



2 2011
ročník XI

**Vysoká škola báňská -
Technická univerzita Ostrava**

SBORNÍK
vědeckých prací Vysoké školy báňské -
Technické univerzity Ostrava
Řada stavební

TRANSACTIONS
of the VŠB - Technical University
of Ostrava
Civil Engineering Series



2 2011
ročník XI

**Vysoká škola báňská -
Technická univerzita Ostrava**

SBORNÍK
vědeckých prací Vysoké školy báňské -
Technické univerzity Ostrava
Řada stavební

TRANSACTIONS
of the VŠB - Technical University
of Ostrava
Civil Engineering Series

ISSN 1213-1962

AGEL Petr, LABUDEK Jiří

OBVODOVÉ KONSTRUKCE PRO PASIVNÍ DOMY S FOUKANOU CELULOZOU 1

ČAJKA Radim, BURKOVIC Kamil, MATEČKOVÁ Pavlína, STARÁ Marie

PROBLEMATIKA POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍCH ŽELEZOBETONOVÝCH
KONSTRUKCÍ 9

ČAJKA Radim, JANULÍKOVÁ Martina, MATEČKOVÁ Pavlína, STARÁ Marie

LABORATORNÍ TESTOVÁNÍ ASFALTOVÝCH PÁSŮ S VLIVEM TEPLoty 15

ČAJKA Radim, MARTINEC Petr

PORUCHY STAVEBNÍCH OBJEKTŮ VLIVEM OBJEMOVÝCH ZMĚN
OCELÁRENSKÉ STRUSKY 21

ČAJKA Radim, STARÁ Marie, MATEČKOVÁ Pavlína, JANULÍKOVÁ Martina

EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKA ZDĚNÉHO ROHU 29

JURČÍKOVÁ Anežka, ROSMANIT Miroslav

NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ SVAŘOVANÉHO T – STYČNÍKU 35

LOKAJ Antonín, VAVRUŠOVÁ Kristýna, AGEL Petr

PEVNOST STĚNY OTVORU KOLÍKOVÝCH SPOJŮ V CEMENTOŠTĚPKOVÝCH
DESKÁCH VELOX 43

RUPRICH Vít

PARTNERSTVÍ VEŘEJNÉHO A PRIVÁTNÍHO SEKTORU V PROCESU OBNOVY
PRŮMYSLové AGLOMERACE 49

ZAVADIL Jiří

REALIZACE ŽELEZNIČNÍCH KORIDOROVÝCH STAVEB, SROVNÁVACÍ
ANALÝZA 59

BOHÁČOVÁ Jana, VAVRO Martin, STANĚK Stanislav

VÝVOJ A VÝZKUM VLASTNOSTÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH ALKALICKY
AKTIVOVANÝCH SYSTÉMŮ 65

DAŇKOVÁ Jana, ŠMÍRA Pavel, MURÍNOVÁ Tereza

VLHKOSTNÍ CHOVÁNÍ STARÉHO JEDLOVÉHO DŘEVA 75

RUBIŠAROVÁ Kateřina

POSUZOVÁNÍ SPRÁVNÉHO UMÍSTĚNÍ MĚSTSKÉ FUNKCE DO
STÁVAJÍCÍCH PLÁNŮ MĚST 81

**VAVRO Martin, BOHÁČOVÁ Jana, MEC Pavel, TOMKOVÁ Václava, VLČEK Jozef,
STANĚK Stanislav**

ALKALICKY AKTIVOVANÉ STAVEBNÍ HMOTY NA BÁZI VYSOKOPECNÍ
STRUSKY A NESTANDARDNÍHO KAMENIVA 89

ALDORF Josef, ĎURIŠ Lukáš

ZHODNOCENÍ ZKUŠENOSTÍ S MODELOVÁNÍM HLUBOKÝCH
STAVEBNÍCH JAM 97

ALDORF Josef, HRUBEŠOVÁ Eva

METODIKA POSUZOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI LIKVIDACE JAM
NEZPEVNĚNÝM ZÁSYPEM 103

KALÁB Zdeněk	
VIBRAČNÍ PROJEVY V HISTORICKÉM DOLE JERONÝM.....	109
STOLÁRIK Martin	
VÝSLEDKY SEIZMICKÝCH MĚŘENÍ NA TUNELECH IV. ŽELEZNIČNÍHO KORIDORU.....	117
JASEK Marek	
ODEZVA ZDĚNÉHO SLOUPU PŘI ZESÍLENÍ CEMETOVÝM KOMPOZITEM ECC	127
KOZÁKOVÁ Markéta	
METODIKA PRO STANOVENÍ ZMĚN TEPELNÝCH ZTRÁT PŘI ZMĚNÁCH TVARU OBJEKTU	135
RYKALOVÁ Eva, FABIAN Radek, HURTA Jan	
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ PORUŠENÝCH SKEL ULTRAZVUKOVOU IMPULZOVOU METODOU.....	141
SOLAŘ Jaroslav	
VEDENÍ TEPLA V DŘEVĚNÝCH PRVCÍCH PŘI HORKOVZDUŠNÉ LIKVIDACI HMYZU	151
SOLAŘ Jaroslav	
OCHRANA STAVEB PROTI METANU VYSTUPUJÍCÍMU Z PODLOŽÍ	157
SOUČKOVÁ Barbora	
TEPELNĚ – TECHNICKÉ POSOUZENÍ SUTERÉNNÍ ČÁSTI PANELOVÉHO OBJEKTU	167
ŠMÍRA Pavel, MURÍNOVÁ Tereza, ŠTĚPÁNEK Jan	
VYUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉHO PŘÍSTROJE PUNDIT PRO ZJIŠŤOVÁNÍ STAVU DŘEVA V KONSTRUKCÍCH	175
ŠTĚPÁNEK Jan, ŠMÍRA Pavel	
VYUŽITÍ TERMOSANACE PŘI ZÁCHRANĚ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ BÝVALÉHO MLÝNA V DOLNÍM NĚMČÍ NAPADENÝCH DŘEVOKAZNÝM HMYZEM.....	181
AUGUSTINKOVÁ Lucie, KNÁPEK Aleš	
STOPY HISTORICKÝCH TOPENÍŠTÍ NA ZÁMKU RYCHVALD	191
FIALA Pavel, SVÁK Ondřej, HUDEČEK Leopold	
TECHNOLOGIE ODSTRANĚNÍ ZÁVAD PARAMETRU PODÉLNÉ VÝŠKY KOLEJE V OBLASTI LEPENÝCH IZOLOVANÝCH STYKŮ	199
HUDEČEK Leopold, KRAMNÝ Jan, OŽANOVÁ Eva	
VLIV KONSTRUKCE KOLEJE NA DETEKCI PLOCHÝCH KOL.....	205
KŘIVDA Vladislav, MAHDALOVÁ Ivana	
VYUŽITÍ VIDEOANALÝZY KONFLIKTNÍCH SITUACÍ PŘI HODNOCENÍ NEVHODNĚ NAVRŽENÝCH STAVEBNÍCH PRVKŮ NA OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVÁTKÁCH	209
OŽANOVÁ Eva, ROHÁČ Otto	
DOPADY DŮLNÍ ČINNOSTI NA VLEČKOVOU SÍŤ SPOLEČNOSTI AWT. A.S.	217
ŘEZÁČ Miloslav	
KAPACITA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ Z HLEDISKA PŘÍPUSTNÉ ZÁTĚŽE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ	223

SEIDLER Tomáš, CIHLÁŘOVÁ Denisa, MIHOLA Marek, KRAJČOVIČ Marián PREDIKCE PORUCH POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ NA PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ	229
SVÁK Ondřej, FIALA Pavel, SEIDLER Tomáš CHARAKTERISTIKA PŘÍČIN NEHODOVOSTI JEDNOSTOPÝCH MOTOROVÝCH VOZIDEL	235
MICHALCOVÁ Vladimíra, BOJKO Marian, KOZUBKOVÁ Milada MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ NÍZKOTEPLTNÍ OXIDACE UHLÍ JEDNOFÁZOVÝM A DVOUFÁZOVÝM MODELEM.....	241
SUCHARDA Oldřich, BROŽOVSKÝ Jiří MODELÝ BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE PRO KONEČNĚPRVKOVOU ANALÝZU KONSTRUKCÍ	249
VARMUŽA Vladislav VÝZKUM VLIVU POČTU VAD A REKLAMACÍ V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ NA DÉLKU ZÁRUČNÍ DOBY	259
VESELÝ Václav, FRANTÍK Petr, VODÁK Ondřej, KERŠNER Zbyněk LOKALIZACE PRŮBĚHU PORUŠOVÁNÍ V BETONOVÝCH VZORCÍCH STANOVENÁ POMOCÍ AKUSTICKÉ A ELEKTROMAGNETICKÉ EMISE A NUMERICKÝCH SIMULACÍ.....	269
ČERNÍKOVÁ Marcela, LABUDEK Jiří, MARTINÍK Lubomír, MICHNOVÁ Lenka MIKROKLIMA POŽÁRNÍHO SCHODIŠTĚ V ZÁVISLOSTI NA SOLÁRNÍM ZÁŘENÍ	279
GALDA Zdeněk TEPELNÁ ZÁTĚŽ BAZÉNOVÝCH HAL A JEJÍ VLIV NA PROVOZ Z HLEDISKA ENERGETIKY	287
LABUDEK Jiří, MARTINÍK Lubomír AEROGEL – MATERIÁL BUDOUCNOSTI PRO STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ.....	297
SVATOŠOVÁ Irena OVĚŘOVÁNÍ PŘEDPOKLÁDANÝCH VYBRANÝCH MIKROKLIMATICKÝCH VLASTNOSTÍ DŘEVOSTAVEB V PRAXI	305
BENEŠOVÁ Anna, VANĚREK Jan VLIV DRUHU DŘEVINY NA PŘÍDRŽNOST FRP KOMPOZITU.....	313

Petr AGEL¹, Jiří LABUDEK²

OBVODOVÉ KONSTRUKCE PRO PASIVNÍ DOMY S FOUKANOU CELULOZOU

CONSTRUCTION FOR PASSIVE HOUSES WITH BLOWN CELLULOSE

Abstrakt

Aplikace foukaných izolačních materiálů do standardních lehkých skeletů typu two-by-four má jeden technologický problém. Je nutné vyřezat do obvodové desky otvory, což je časově náročné. Nový nosný systém by měl snížit objem použitého řeziva a zároveň zjednodušit aplikaci foukaných izolací. Cílem této práce je popis nového dřevěného konstrukčního systému určeného pro foukané izolace a zároveň teplotní analýza některých detailů. Práce obsahuje také výsledky prvních testů aplikace foukané celulózové izolace. V závěru práce je přiřazeno zhodnocení a výhody nového konstrukčního systému.

Klíčová slova

Dřevěná konstrukce, tepelná izolace, celulóza

Abstract

Application of blown insulations in standard two-by-four insulations has one technological problem. This problem is connected with cutting through the board, which is time demanding. The new system should diminish amount of used timber and make application of blown insulations less difficult. The point of this paper is to describe new timber construction system dedicated for blown insulations and also thermal analysis of constructional details. The paper includes first experimental tests of application of blown cellulose insulation. There are benefits of new designed timber construction system in the conclusion of the paper.

Keywords

Wood construction, thermal insulation, cellulose

1 ÚVOD

Stavební materiály použité v prostorech mezi konstrukčními prvky skeletových stěn vykazují stále lepší termoizolační vlastnosti. Stěnové prvky z masivního dřeva navzdory všem výhodám předávají teplo z interiérového prostoru do exteriéru. Tím jsou tvořeny tzv. tepelné mosty. Tepelný most vzniká v dané konstrukci průnikem (úplným nebo částečným) materiálu s vyšší tepelnou vodivostí, nestejnou vrstvou v konstrukci nebo změnou tloušťky jednotlivých vrstev konstrukce (ložná spára, průnik nosného prvku apod.). Tepelné mosty způsobují značné tepelné ztráty. Jedná se o negativní jev, a proto je nutno jejich vliv eliminovat. Stávající sloupkové systémy dřevostaveb umožňují zateplení stěn pomocí tepelně izolačních desek. Problémy tepelných mostů jsou v praxi vyřešeny použitím plnostěnného I profilu s lepenými pásnicemi z rostlého dřeva. Tento profil však nevyhovuje požadavku snadné aplikace foukané izolace. Aplikace foukaných izolací je

¹ Ing. Petr Agel, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: petr.agel@vsb.cz.

² Ing. Jiří Labudek, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: jiri.labudek@vsb.cz.

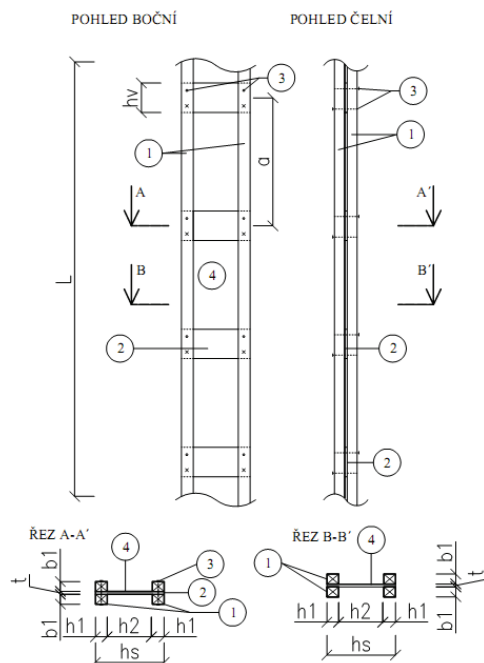
z technologického hlediska znevýhodněna pracností navrtávání potřebných otvorů pro foukání izolaci. Na trhu se vyskytuje stavebnicový systém, složený z malých prvků, který částečně eliminuje i problém aplikace foukaných izolací. Tento systém je však při výstavbě pracný, staticky nevhodně řešený a vyžaduje velkou přesnost a pracnost ve výrobě.

2 POPIS TECHNOLOGIE

Nejčastěji se konstrukce plní z volného prostoru do připravené dutiny. Jedná se o velmi rychlé bezspárové izolování konstrukcí bez vzniku tepelných mostů v izolaci. Další metodou je vyplňování konstrukce předvrtaným otvorem za použití speciální koncovky se zpětným odvodem přepravního vzduchu. Tato metoda je použita při provádění experimentu. Tímto způsobem je možné plnit nejen standardní příčky a předstěny sádkartonového systému, ale i stěny a příčky dřevostaveb. Do optimálně připravené konstrukce lze tepelnou izolaci nafoukat, tak aby měla izolace relativně velkou objemovou hmotnost. Použitá objemová hmotnost se zvyšuje od 35 kg/m^3 . U kolmých stěn a příček se ideálně objemová hmotnost pohybuje okolo $60\text{--}70 \text{ kg/m}^3$. Tímto postupem je docílena objemová stálost aplikované izolace po celou dobu životnosti celé konstrukce – nedochází k nežádoucímu sesednutí izolace. Vnitřní struktura aerogelu se skládá z křemičitých dutých koulí o velikosti řádově několika nanometrů.

3 VÍCEÚČELOVÝ DŘEVĚNÝ NOSNÝ PRVEK

- Ze statického hlediska se jedná o členěný prut
- Nosné stojky + laťové profily
- Spojovací vložky OSB deska, tl.: 15mm
- Možnost spojování – sponky, hřebíky, vruty
- Únosnost: Od 80 kN do 140 kN



Tab. 1: Seznam symbolů a značek

Značení	Význam
1	pásnice I nosníku - lať dřevěná - dřevo třídy S13
2	rámové vložky členěného prutu - OSB deska
3	spoj vložky a pásnice - hřebíkový, nebo vrutový
4	paropropustná folie
l	výška profilu
h_v	výška OSB vložky
a	osová vzdálenost vložek
h_1	výška průřezu latě
h_2	vzdálenost pásnic I profilu
b_1	šířka průřezu latě
t	tloušťka vložky
h_s	mocnost stěny

Obr. 1: Provedení nosného prvku
pro foukané izolace

4 PRÍNOS NOSNÍKŮ SKLÁDANÉHO PRŮŘEZU Z HLEDISKA KONSTRUKCE

4.1 Subtilnější rozměry

Dnešní konstrukční systémy bývají často předimenzovány a to z důvodu vkládání stále větších tloušťek izolačních materiálů. Toto předimenzování má dva následky:

A) Zvýšený objem řeziva na celou stavbu

Zde je potřeba zdůraznit, že se nejedná pouze o sloupky samotné, které bývají tvořeny fošnami o maximálním rozměru 60/160. Jde také o přídavné laťování a to často v obou směrech, do kterého se zakládá přídavné zateplení. Zatímco u skládaných nosníků odpadá problém dalších přídavných izolací. Tab. 2 porovnává vlastnosti standardního sloupku typu „two by four“ a nosníku složeného průřezu.

Tab. 2: Srovnání klasických prvků a nosníků skládaného průřezu

Typ konstrukce	Tloušťka stěny [mm]	Cena [Kč]	Dimenze sloupku [mm]	Objem dřeva na jeden sloupek [m ³]	Únosnost prvku [kN]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	Lineární tepelná propustnost L ^{2D} (W/mK)	Šířka charakteristického výseku [m]
I nosník	160	810	4x40x40	0,02	81,33	0,14	0,08	0,6
Fošna		810	40x160	0,02	68,94	0,14	0,08	0,6
I nosník	180	810	4x40x40	0,02	81,33	0,13	0,08	0,6
Fošna		910	40x180	0,02	89,19	0,13	0,08	0,6
I nosník	200	1010	4x40x50	0,02	119,27	0,12	0,07	0,6
Fošna		1010	40x200	0,02	109,05	0,12	0,07	0,6
I nosník	240	1010	4x50x50	0,02	149,10	0,11	0,07	0,6
Fošna		1010	40x240	0,02	145,75	0,11	0,07	0,6
I nosník	300	1510	4x60x50	0,04	191,60	0,10	0,06	0,6
Fošna		2270	60x300	0,05	293,30	0,11	0,06	0,6
I nosník	350	1550	4x60x60	0,04	149,10	0,09	0,06	0,6
Fošna		-	-	-	-	-	-	-

B) Nižší poměrné přetvoření sesycháním

Dřevo je na stavbu ve většině případů dopravováno s vysokou vlhkostí a při dosychání na sorpční vlhkost ztrácí objem a deformuje se kroucením po výšce prvku. Přičemž celková deformace je přímo úměrná rozměrům prvku. Proto rozdělení celého nosného průřezu na menší a pravidelné prvky snižuje celkovou deformaci sesycháním.

4.2 Použitím skládaného nosníku je možné předejít určitým problémům při statickém návrhu

A) Bezproblémové dodržení doporučených vzdáleností od okrajů a konců pro spojovací prostředky opláštění

Při předpokládaném použití hřebíků pro kotvení opláštění stavby je potřeba dodržení minimálních vzdáleností od okrajů a konců a mezi spojovacími prostředky (viz 8.3.1.2 [1])

Při použití hřebíku 60x2,8mm jsou požadované vzdálenosti tyto:

$$a_2 = 5d = 5 \cdot 2,8 = 14 \text{ mm}$$

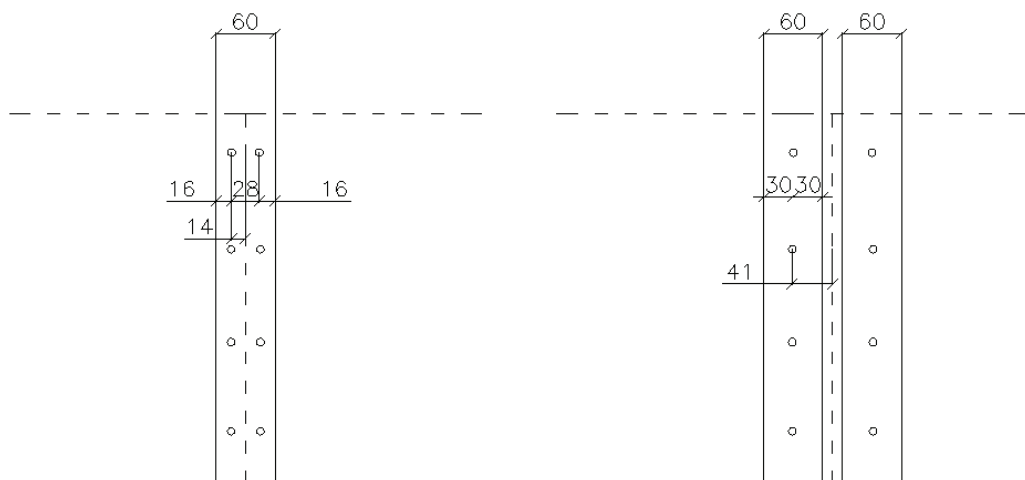
$$a_{3,t} = (10 + 5 \cos \alpha)d = (10 + 5 \cos 90)2,8 = 28 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 10d = 10 \cdot 2,8 = 28 \text{ mm}$$

Provedení spoje jak při použití sloupku klasického čili fošny tl. 60 mm a spoje při použití nosníku složeného průřezu viz obr. 2. Z obrázku jasně vyplývá, že při použití klasického konstrukčního systému nelze dodržet minimální vzdálenosti spojů, při použití složeného průřezu

klasický spoj OSB na sloupku

spoj OSB na složeném průřezu



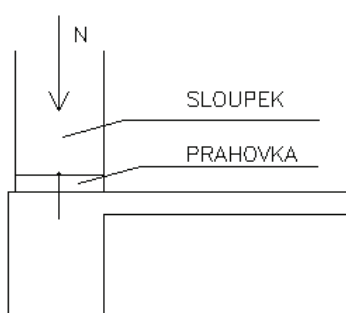
to lze.

Obr. 2: Provedení spoje dvou OSB desek na svislém prvku dřevostavby

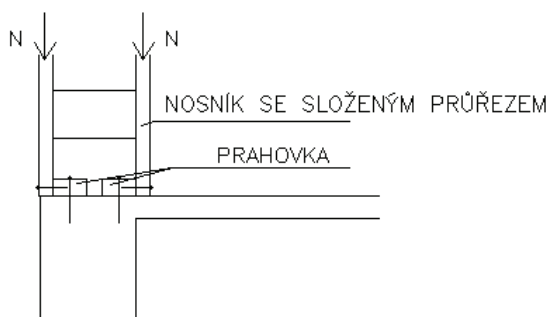
B) Odstranění problému s nevyhovujícím otláčením kolmo k vláknům

Pro svislé prvky dřevostaveb, není kritickým namáháním vzpěrný tlak, neboť ten působí po směru vláken. Jako nevyhovující se nejčastěji ukazuje tlak kolmo k vláknům na usazení sloupku na tzv. „prahovku“. Založení systému nosníků složeného průřezu používá prahovky dvě, ty jsou od sebe odděleny. Je tak eliminován tepelný most stejně tak jako otláčení kolmo na vlákna. Sloupkové prvky totiž na prahovku nedosedají, ale jsou k ní z boku kotveny vruty nebo hřebíky viz obr. 3.

KLASICKÝ SYSTÉM



SYSTÉM S NOSNÍKEM
SE SLOŽENÝM PRŮŘEZEM



Obr. 3: Založení systému nosníků v místě založení stavby

5 TEPELNÉ TECHNICKÉ POSOUZENÍ

Tepelně technické posouzení a výpočty jsou zpracovány dle ČSN 73 0540 [2]. Tato norma stanovuje požadavky na šíření tepla, vlhkosti a vzduchu konstrukcemi a budovami. Cílem konstrukční stránky tepelně technického návrhu je zajištění celistvého izolačního obalu budovy. Součinitel prostupu tepla U , případně tepelný odpor konstrukce R , se hodnotí ustáleným tepelným tokem prostupujícím celými konstrukcemi včetně vlivu tepelných mostů v nich zabudovaných. Součinitel prostupu tepla konstrukcí U vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory oddělenými od sebe danou konstrukcí o tepelném odporu R . Vzájemný vztah součinitele prostupu tepla U [$W/(m^2 \cdot K)$] a tepelného odporu R [$(m^2 \cdot K)/W$] je dán výrazem:

$$U = \frac{1}{R_T} [W/(m^2 \cdot K)] \quad (1)$$

kde:

R_T odpor konstrukce při prostupu tepla [$(m^2 \cdot K)/W$]

Ve vytápěných nebo klimatizovaných budovách musí v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\phi_i < 60\%$ všechny konstrukce splňovat podmínku:

$$U \leq U_N \quad (2)$$

kde:

U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla ve [$W/(m^2 \cdot K)$]

Vhodným programem je možné provést i nejpřesnější výpočet součinitele prostupu tepla v místě charakteristického tepelného mostu. Výpočet je vyjádřen lineární tepelnou propustností L^{2D} [$W/(m \cdot K)$], která se stanovuje řešením pomocí výpočtu dvourozměrného teplotního pole pro charakteristický výsek konstrukce. Přepočtem L^{2D} získáme součinitel prostupu tepla U [$W/(m^2 \cdot K)$]. Při tomto výpočtu je velmi důležité především správné zadání geometrie charakteristického výseku a okrajových podmínek. Jakmile je k dispozici vypočtené dvourozměrné teplotní pole v charakteristickém výseku konstrukce, lze její součinitel prostupu tepla vyjádřit postupně ze vztahů:

$$U = \frac{L^{2D}}{b} \quad (3)$$

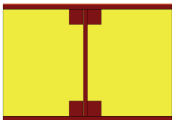
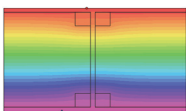
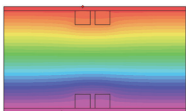
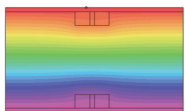
kde:

b šířka hodnoceného výseku [m]

L^{2D} tepelná propustnost výsekem konstrukce [$W/(m \cdot K)$]

V průběhu experimentů došlo k nedokonalému zafoukání v oblasti rámové spojky. Z tohoto důvodu bylo modelování doplněno o variantu se vzduchovou mezerou ve zmíněném místě. Dle modelování nemá tato změna oproti navrženému stavu vliv na součinitel prostupu tepla U .

Tab. 3: Srovnávací tabulka modelovaných variant

Typ konstrukce – obvodový plášť	V místě tepelného mostu	Mimo tepelný most	Mimo tepelný most – se vzduchovou mezerou
Modelovaný stav – úsek 600 mm			
Teplotní pole modelovaného úseku			
Teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,N}$ [-] Požadované hodnoty	0,793	0,793	0,793
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-] - Vypočtené hodnoty	0,951	0,956	0,956
Vyhodnocení $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
Propustnost L	0,08724	0,08401	0,08412
Součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W/(m ² .K)] - Doporučené hodnoty	0,30	0,30	0,30
Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² .K)] - Vypočtená hodnota	0,1454 $\approx$ 0,15	0,1400 $\approx$ 0,14	0,1402 $\approx$ 0,14
Vyhodnocení $U \leq U_N$	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje

6 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉ KONSTRUKCE

Hlavním cílem experimentů bylo ověřit a prozkoumat aplikaci foukané tepelné izolace do vyvinutého dřevěného konstrukčního systému budovy. Naším základním cílem bylo v rámci těchto testů zjistit, zda foukaná tepelná izolace bezezbytku vyplní všechny prostory obvodové konstrukce v oblasti nosných prvků. Výsledky těchto testů jsou dále zapracovány do vývoje tohoto konstrukčního systému. Experimenty byly vytvořeny a navrženy ve spolupráci s firmou zabývající se výrobou foukaných tepelných izolací.

Na počátku příprav experimentů byly stanoveny dvě základní hypotézy:

- Při experimentech bude prokázána funkčnost a aplikovatelnost tepelných izolací do nové konstrukce dřevostaveb
- Bude provedeno měření sednutí foukané izolace.

Celkově byly navrženy tři základní prvky pro ověřování:

- Segment obvodové konstrukce
- Segment rohu stěny
- Segment obvodové konstrukce v místě osazení okenního prvku.

U všech prvků byl proveden test, zda je možno tyto prvky bezchybně zafoukat tepelnou izolací. Segment obvodové konstrukce byl testován na sednutí foukané izolace, pomocí rázové dynamické zkoušky. Tato zkouška spočívá v zavěšení vyrobeného kusu (segmentu obvodové stěny) na ocelovou konstrukci a pomocí volného pádu a dynamických rázů je testováno sednutí tepelné izolace uvnitř segmentu. Sednutí se neprokázalo. Objemová hmotnost dosáhla $74,40 \text{ kg/m}^3$.

Tab. 4: Zkoušené fáze zkušebního vzorku obvodového pláště

Stav před zafoukáním odpláštěného zkušební vzorku	Kompletně zafoukaný odpláštěný zkušební vzorek	Stav po vyčištění středního pole – ověření pevnosti osazení perlínky
		

U segmentu rohu stěny bylo ověřování doplněno novým postupem plnění meziprostor v obvodovém plášti. Toto specifické místo se vyznačuje potenciálním problematickým zafoukáním, jelikož je nutno konstrukci plnit dvěma směry. Pro experiment byl sestaven zkušební kus (segment obvodové konstrukce budovy). Zkušební kus má rozměr $1 \times 1,2 \times 1,2 \text{ m}$. Je sestaven z OSB desek tl. 15 mm a základních nosných prvků nové dřevěné konstrukční soustavy. Při měření měl zkušební prvek po zafoukání hmotnost 162 kg . Objemová hmotnost dosáhla $67,54 \text{ kg/m}^3$. Ve zkušebním prvku je osazen průhledný prvek z plexiskla, aby bylo možno sledovat zafoukávání rohu stěny.

Pro experiment byl dále vyroben zkušební kus o rozměrech 2x2,6x0,43 m. Je také sestaven z OSB desek tl.15mm a základních nosných prvků nové dřevěné konstrukční soustavy. V tomto zkušebním prvku bylo ověřováno zafoukání v atypických částech dřevostaveb, tzn. parapet a nadpraží okenního prvku. Do konstrukce byl opět osazen průhledný prvek z plexiskla v místě osazení okenního prvku, aby bylo možno sledovat zafoukávání. Při měření měl zkušební prvek po zafoukání hmotnost 282 kg. Objemová hmotnost dosáhla 65,8 kg/m³.

Připravili jsme experimenty, které si kladly za cíl otestovat a zhodnotit vhodnost nového dřevěného nosného konstrukčního prvku pro aplikace foukaných izolací. Shrneme-li přínos experimentů, ten spočíval především v ověření aplikace foukané izolace do konstrukce s otevřenými nosníky opatřenými difúzní folií (perlinkou). Experimentální ověření má obecnější ověřovací platnost přesahující rámec těchto zkušebních vzorků.

7 ZÁVĚR

Dle výsledků experimentálních testů a tepelně technických modelů konstrukce je zřejmé, že použití prvků složeného průřezu má z hlediska tepelných i konstrukčních dostatek výhod. Je otázkou, zda tyto výhody budou dostatečnou protiváhou pro zvýšenou pracnost výroby a tedy cenu konstrukčních prvků. Pokud by se konstrukce projevila jako konkurenceschopná na trhu, bude žádoucí vytvořit celý nový konstrukční systém založený výhradně na použití těchto prvků. Tento systém musí projít statickým návrhem, který bude obsahovat i výpočet požární odolnosti, návrhy detailů, řešení spojů a styku a vývoj ideálního opláštění takové konstrukce.

V rámci certifikace celého systému je také nutné provedení požární zkoušky, kterou lze prokázat celistvost konstrukce, její izolaci, nebo sálání tepla.

Na konci by mohl být konstrukční systém vhodný pro sériovou výrobu malých a středních nízkoenergetických a pasivních budov.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl vytvořen v rámci projektu „tvorba a internacionalizace špičkových týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB – TUO“ členy výzkumné skupiny katedry prostředí staveb a TZB v rámci tématu „výzkum v oblasti pasivních domů v tuzemských podmínkách s ohledem na transpozici EPBD 2 do národních právních předpisů“.

LITERATURA

- [1] ČSN 1995 -1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí – obecné zásady
- [2] ČSN 73 0540 – 1-4/2007 – Tepelná ochrana budov, ČNI 2007

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Pavol Ďurica, CSc., Katedra pozemního stavitel'stva a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Ing. Isabela Bradáčová, CSc., Katedra požární ochrany, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Radim ČAJKA¹, Kamil BURKOVIČ², Pavlína MATEČKOVÁ³, Marie STARÁ⁴

PROBLEMATIKA POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍCH ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

QUESTIONS ABOUT EXISTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ASSESSMENT

Abstrakt

Zavedení normy ČSN EN 1992-1-1 [4] a obecně soustavy Eurokódů přináší pro projektanty nejen změny v navrhování nových konstrukcí, ale také problémy s ohledem na posouzení stávajících konstrukcí. Norma ČSN EN 1992-1-1 [4] je koncipována především pro navrhování nových konstrukcí. Posouzení stávajících konstrukcí by mělo být provedeno podle normy ČSN ISO 13822 – Hodnocení stávajících konstrukcí [6]. Základní ustanovení v této normě stanoví, že statické posouzení při rekonstrukci musí být provedeno podle platných norem. Únosnost stávajících konstrukcí často nevyhovuje podle soustavy platných Eurokódů s ohledem na jejich zvýšenou úroveň bezpečnosti. Problematické jsou zejména konstrukce navržené hospodárně podle dříve platných norem ČSN, např. panelové prefabrikované konstrukce. ČSN ISO 13822 nabízí také úlevy při stanovení dílčích součinitelů, pravidla však podle názoru autorů nejsou stanovena jednoznačně. V článku je uvedeno statické posouzení stávající prefabrikované panelové konstrukce při rekonstrukci, analyzují se účinky stálého a proměnného zatížení a únosnost konstrukce.

Klíčová slova

Zatížení stavebních konstrukcí, panelový dům, železobetonový panel, rekonstrukce

Abstract

Implementation of ČSN EN 1992-1-1[4] and Eurocodes generally brings forth for designers not only changes in design procedures but also the question of existing structures assessment. The concept of code ČSN EN 1992-1-1[4] is conceived especially for design of new structures. Assessment of existing structures should be done according to ČSN ISO 13822 - Assessment of existing structures [6]. Basic requirement of this code is that the statics analysis of existing structure should be carried out according to valid codes. Further it brings forth also a few of reliefs when stating the partial safety factors, however in authors opinion they are not stated clearly. Existing structures often do not satisfy the load bearing limit state according to valid codes - Eurocodes with regard to their higher structural safety level. Problematic are especially structures designed in economical way according to formerly valid codes ČSN, e.g. prefab buildings. In the paper

¹ Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

² Ing. Kamil Burkovič, Arming s.r.o., Ocelářská 6/338, Ostrava – Vítkovice, 703 00, tel.: (+420) 596 617 120, e-mail: info@arming.cz.

³ Ing. Pavlína Matečková, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: pavlina.mateckova@vsb.cz.

⁴ Ing. Marie Stará, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: marie.stara@vsb.cz.

assessment of existing panel structure before reconstruction is analysed, with the study of dead and live load action effect and structural load bearing capacity.

Keywords

Action on structures, prefab building, concrete panel, reconstruction

1 ÚVOD

Bydlení na sídlištích v panelových domech je spojeno s řadou technických, estetických a sociálních problémů, přináší však také výhody, mezi které patří např. dostupná infrastruktura, školy a školky a návaznost na hromadnou dopravu. Pro mnoho lidí zajišťují byty v panelových domech přijatelný a dostupný standard bydlení.

Vzhledem ke stárnutí budov prochází řada panelových domů rekonstrukcí a to jak celého objektu (např. zateplení objektu, úprava fasády, oprava balkónů) tak také jednotlivých bytů.

Mezi nejběžnější stavební úpravy v jednotlivých bytech patří změna dispozice spojená s vybouráváním otvorů v nosných i nenosných panelech a vybourání původního montovaného např. umakartového bytového jádra, viz obr. 1, a nahrazení lehkými zděnými stěnami.

Při rekonstrukci je třeba provést statické posouzení a zhodnotit zda nedojde k nadměrnému přetížení stávajících konstrukcí stropů a stěn. Posouzení stávajících konstrukcí by mělo být provedeno podle normy ČSN ISO 13822 – Hodnocení stávajících konstrukcí [6]. Základní ustanovení v této normě však stanoví, že statické posouzení při rekonstrukci musí být provedeno podle platných norem. Panelové domy byly navrženy hospodárně pouze s malou rezervou v únosnosti konstrukce a se zavedením soustavy Eurokódů do inženýrské praxe se s ohledem na zvýšenou bezpečnost konstrukcí často stane, že konstrukce nevyhovují z hlediska mezního stavu únosnosti. ČSN ISO 13822 pak nabízí několik úlev při stanovení dílčích součinitelů, pravidla však podle názoru autorů nejsou stanovena jednoznačně. Výše zmíněné problémy jsou nastíněny ve dvou příkladech, a to rekonstrukce bytového jádra a vybourání dveřního otvoru v nosném panelu.



Obr. 1: Umakartové bytové jádro

2 VÝMĚNA BYTOVÉHO JÁDRA OP 1.11

2.1 Popis rekonstrukce

V rámci modernizace bytové jednotky v osmipodlažním bytovém domě OP 1.11, ilustrační foto viz obr. 2, došlo k vybourání nenosných umakartových dělicích příček a ty byly nahrazeny vyzdívkou z pórobetonových tvárnic tloušťky 75 mm. Soustava OP 1.11 je plně panelová s příčným nosným systémem s modulem 4,2 m a 3,0 m. Pro vnitřní nosné stěny byly použity plošné panely, pro obvodové stěny byly použity sendvičové panely, stropní železobetonový panel je tloušťky 150 mm. Plášťové panely jsou provedeny s železobetonovým nosným jádrem doplněným tepelnou izolací a ŽB obvodovou deskou. Konstruktivní výška všech podlaží je 2,58 m. Původní bytová jádra jsou vyrobena a vmontována jako celek z umakartových sendvičových desek sololit s dřevěným rámem a voštinovou výplní.



Obr. 2: Panelový dům, systém OP 1.11



Obr. 3: Panelový dům, systém T06B

2.2 Odolnost konstrukce

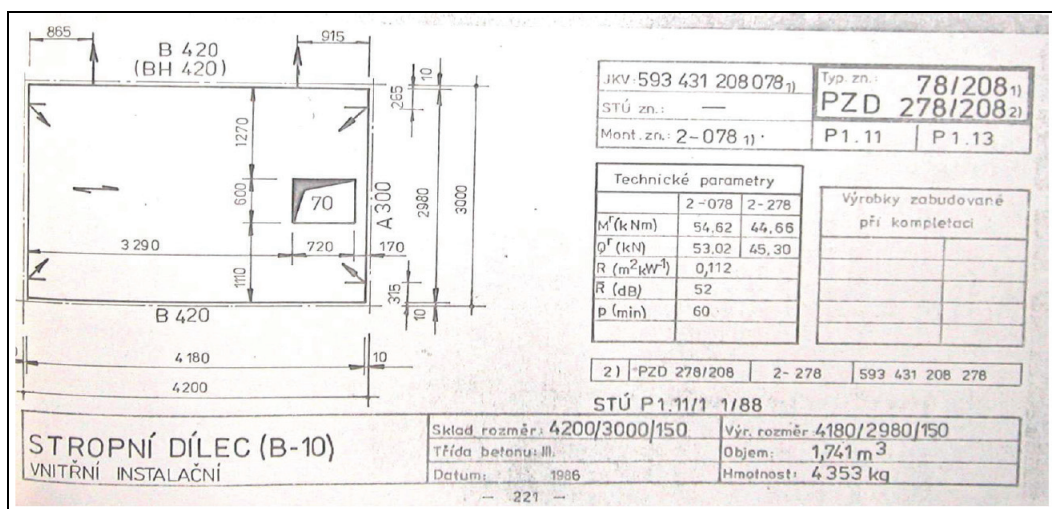
Statické vlastnosti stropního panelu jsou uvedeny v technickém listu realizační dokumentace panelové soustavy P1.11 a P1.13. viz studie k regeneraci panelových domu ZÚS, s.p. [7]. Stropní panel má rozpětí 4,2 m, šířka panelu je 3,0 m. Uspořádání výztuže a kvalitu betonu panelu obvykle nelze dohledat. Ohybový moment a posouvající síla na mezi únosnosti se stanovují podle podkladů, katalogu dílců, stavebních tabulek apod. - viz obr. 4. Na obr. 4 lze odečíst ohybový moment a posouvající sílu na mezi únosnosti stanovené dle ČSN 731201 $M' = 54,62 \text{ kNm}$ a $Q' = 53,02 \text{ kN}$. Označení M' a Q' naznačuje, že ohybový moment a posouvající síla na mezi únosnosti byly určeny podle starší verze ČSN 731201 z roku 1967 [7]. Dle ČSN ISO 13822 – Hodnocení stávajících konstrukcí [6] je možné upravit součinitele spolehlivosti materiálů na základě prošetření stávajícího stavu stropního panelu.

2.3 Účinky zatížení

Zatížení je tvořeno vlastní tíhou stropního železobetonového panelu, podlahovou krytinou, tíhou příček bytového jádra a užitným zatížením. Původní bytové jádro je tvořeno přibližně 12 m umakartových příček výšky 2,6 m, hmotnost příček je 25 kg.m^{-2} . Celková charakteristická hmotnost původního bytového jádra je 780 kg. Nově vyzdžené jádro včetně omítek a keramického obkladu má plošnou hmotnost 78 kg.m^{-2} , celková hmotnost bytového jádra je tedy 2435 kg. Na bezpečné straně se uvažuje, že zatížení jádra se přenáší pouze na jednom panelu, nahradí se zjednodušeně jako spojitě působící zatížení. Porovnání zatížení dle neplatné ČSN 731201 [1],[2] a ČSN EN 1991-1-1 [4] je v tab. 1.

Dle dříve platné ČSN 730031 [7] se pro bytové domy středního společenského a ekonomického významu používal součinitel využití objektu $\gamma_n = 0,95$.

Za určitých podmínek, které dle autorů nejsou zcela jasně specifikovány, lze na základě stávajícího stavu konstrukce dle ČSN ISO 13822 [6] zařadit stávající konstrukci do Třídy spolehlivosti RC1 podle ČSN EN 1990 [8]. Součinitele spolehlivosti pro zatížení se pak vynásobí součinitelem $K_{FI} = 0,9$. Dále lze v některých případech dosáhnout menších ohybových momentů od účinků zatížení při uvážení skutečného umístění příček nově vybudovaného jádra na nosném panelu.



Obr. 4: Katalog dílců jako podklad pro určení únosnosti stropního panelu

Tab. 1: Zatížení stropního panelu

Popis	Poznámka	ČSN 730035			ČSN EN 1991-1-1		
		g_n / γ_n	γ_f	g_d / γ_d	g_k / q_k	γ_f	g_d / q_d
		$kN.m^{-2}$		$kN.m^{-2}$	$kN.m^{-2}$		$kN.m^{-2}$
Stropní panel	Tloušťka: 0.15 m tíha 25 kN.m^{-3}	3,75	1,1	4,13	3,75	1,35	5,06
Podlaha	Přibližně 40 kg.m^{-2}	0,40	1,1	0,44	0,4	1,35	0,54
Bytové jádro	Hmotnost 2435 kg	1,93	1,15	2,22	1,93	1,35	2,61
Užitné zatížení	Byty	1,5	1,5	2,1	1,5	1,5	2,25
CELKEM				8,88			10,46

Tab. 2: Porovnání ohybových momentů od účinků zatížení podle ČSN 731201 a ČSN EN1991-1-1

ČSN 731201 [2]	$M_{sd} = \frac{1}{8} \gamma_n (g_d + q_d) b L^2$ $M_{sd} = \frac{1}{8} \times 0,95 \times (8,88) \times 3,0 \times 4,125^2 = 53,83 \text{ kNm}$
ČSN EN 1991-1-1 [4]	$M_{Ed} = \frac{1}{8} (\xi \cdot g_d + q_d) b L^2$ $M_{Ed} = \frac{1}{8} \times (0,85 \cdot 8,21 + 2,25) \times 3,0 \times 4,125^2 = 58,89 \text{ kNm}$
ČSN ISO 13822 [6]	$M_{Ed} = K_{FI} \frac{1}{8} (\xi \cdot g_d + q_d) b L^2$ $M_{Ed} = \frac{1}{8} \times 0,9 (0,85 \cdot 8,21 + 2,25) \times 3,0 \times 4,125^2 = 53,00 \text{ kNm}$

2.4 Posouzení a diskuse

Porovnáním ohybových momentů od účinků zatížení a ohybových momentů na mezi únosnosti je zřejmé, že podle dříve platné ČSN při posouzení ohybové únosnosti stropní panel ještě těsně vyhoví, při výpočtu dle soustavy Eurokódů však již moment od účinků zatížení převyšuje odolnost konstrukce. Pokud stávající konstrukci zařadíme do třídy spolehlivosti RC1 a snížíme součinitele spolehlivosti koeficientem K_{FI} , dostáváme pak v analyzovaném případě účinky zatížení srovnatelné s původní soustavou ČSN.

Je třeba uvážit, že ohybový moment na mezi únosnosti byl stanoven podle starší ČSN 73 12 01 [7] a podle Eurokódu 2 očekáváme nižší hodnotu momentové únosnosti. Vlastnosti materiálů je možné upravit s ohledem na vyšetření stávající konstrukce.

Samostatný problém by jistě představovalo posouzení mezního stavu použitelnosti, konkrétně mezního stavu přetvoření konstrukce.

3 VYBOURÁNÍ DVEŘNÍHO OTVORU V PANELU, SYSTÉM T06B

3.1 Popis konstrukční soustavy

Bytový dům je postaven z železobetonových prefabrikovaných panelů v konstrukčním systému T06B-OS, viz obr. 3. Nosné stěny mají tloušťku 160 mm. Modulová vzdálenost příčných stěn je 3,6 m. Výztuž stěnových dílců je odstupňována podle počtu nesených podlaží. Stropní železobetonové dílce mají plný průřez a výšku zpravidla 140 mm, u ostravské varianty pro poddolovaná území 150 mm. Prostorové ztužení je zajištěno podélnými stěnami. Konstrukční výška je zpravidla 2,8 m.

3.2 Popis a statická analýza rekonstrukce

V rámci rekonstrukce bylo umakartové jádro nahrazeno zděnými příčkami, ale kromě toho došlo ještě k vybourání části stěny mezi kuchyní a pokojem. Vzhledem k tomu, že prostup byl proveden v nosné příčné stěně, byl navržen výztužný ocelový rám přenášející zatížení od konstrukce

střechy a dalších pater nad otvorem do nosné konstrukce příčných stěn. Ocelový rám z U profilů zároveň stabilizuje zbytkový profil stěny. Alternativně lze vybouraný otvor zpevnit také nalepením uhlíkových lamel.

Vzhledem k tomu, že nově navržený ocelový rám přenáší zpravidla veškeré zatížení od konstrukce střechy a dalších nosných konstrukcí nad otvorem, vyhneme se v tomto případě problému posouzení stávajících konstrukcí.

4 ZÁVĚR

Byty v panelových domech představují pro mnoho lidí přijatelný standard bydlení. V článku se analyzují nejběžnější stavební úpravy v těchto panelových domech a to nahrazení umakartového montovaného jádra zděnou příčkou a vybourání otvoru ve svislé nosné konstrukci panelu. Analyzují se účinky zatížení a odolnost konstrukce dle dříve platné soustavy ČSN a podle soustavy EN, dále se diskutuje použití normy ČSN ISO 13822 - Hodnocení stávajících konstrukcí.

PODĚKOVÁNÍ

Při řešení byly využity výsledky dosažené za finančního přispění MŠMT, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 00 31: Spolehlivost konstrukcí. Zásady navrhování konstrukcí, ÚNM, Praha 1988.
- [2] ČSN 73 00 35: Zatížení stavebních konstrukcí, ÚNM, Praha 1986.
- [3] ČSN 73 12 01: Navrhování betonových konstrukcí, ÚNM, Praha 1967.
- [4] ČSN EN 1991-1-1: Zatížení stavebních konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemová tíha, vlastní tíha, užitná zatížení budov, ČSN Praha 2004.
- [5] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI Praha, 2006.
- [6] ČSN ISO 13 822: Zásady navrhování konstrukcí – Posouzení stávajících konstrukcí. ČNI Praha, 2005
- [7] TAZÚS Praha, pobočka Ostrava: Studie k regeneraci panelových budov, systém OP 1.13. Ostrava, 2005.
- [8] ČSN EN 1990. Zásady navrhování konstrukcí, ÚNM Praha, 2002.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Martin Moravčík, Ph.D., Katedra stavebních konstrukcí a mostov, Stavební fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc., Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, České učení technické v Praze.

Radim ČAJKA¹, Martina JANULÍKOVÁ², Pavlína MATEČKOVÁ³, Marie STARÁ⁴

LABORATORNÍ TESTOVÁNÍ ASFALTOVÝCH PÁSŮ S VLIVEM TEPLoty

LABORATORY TESTING OF ASPHALT BELTS WITH THE INFLUENCE OF TEMPERATURE

Abstrakt

Tento příspěvek se zabývá laboratorním testováním smykové odezvy asfaltových pásů za různých teplot s využitím klimatizační komory. Výsledky smykové odezvy asfaltových pásů získané laboratorními zkouškami, resp. závislosti z nich odvozené, jsou dále využívány při tvorbě nových výpočetních metod pro posuzování přetvářejících se konstrukcí s aplikovanou kluznou spárou. Kluzné spáry se s výhodou využívají pro snížení tření v základových konstrukcích, při provádění betonových podlah nebo např. při provádění dodatečně předpínaných základů pro snížení tření mezi základem a zeminou v průběhu předpínání.

Klíčová slova

Kluzné spáry, smyková odezva, asfaltový pás, klimatizační komora

Abstract

This paper deals with laboratory testing of asphalt belts shear response at different temperatures using temperature controlled room. Test results of asphalt belts shear response, resp. functions derived from testing, are then used to develop new computational methods for assessment of structures with applied sliding joint. Sliding joints are used to reduce friction in foundation structures, concrete floors or e.g. pre-stressed foundations for reducing friction between the foundation and the subsoil during pre-stressing.

Keywords

sliding joint, shear response, asphalt belt, temperature controlled room

1 ÚVOD

Metoda snižování smykových napětí v základových spárách aplikací reologické kluzné spáry je účinná a snadno proveditelná v praxi. Kluzné spáry jsou obvykle tvořeny nataveným či volně položeným asfaltovým pásem na vyrovnávací betonové vrstvě, případně litým asfaltem či umělohmotnou fólií. Současné metody [1] návrhu kluzných spár jsou s ohledem na stále se vyvíjející nové materiály již nedostačující a lze je použít pouze pro orientační výpočty. Správnost návrhu reologické kluzné spáry je podmíněna zejména znalostí mechanické odezvy asfaltového pásu při

¹ Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

² Ing. Martina Janulíková, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: martina.janulikova@vsb.cz.

³ Ing. Pavlína Matečková, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: pavlina.mateckova@vsb.cz.

⁴ Ing. Marie Stará, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: marie.stara@vsb.cz.

dlouhodobě působícím smykovém zatížení, protože ve většině případů má na konstrukce vliv především dlouhodobé přetváření. Na stavební fakultě VŠB bylo pro tyto účely sestaveno vlastní měřicí zařízení a v roce 2007 proběhla první měření pro různé druhy nových asfaltových pásů (viz [2]). Autor ve své práci mimo jiné upozornil také na to, že chování asfaltových pásů v nemalé míře ovlivňuje i teplota konstrukce a okolního prostředí. S ohledem na tuto skutečnost byla v roce 2010 sestrojena klimatizační komora pro nastavení teploty prostředí v rozmezí -20 až $+40^{\circ}\text{C}$.

V současné době probíhá měření na oxidovaných asfaltových pásích jednoho typu, obchodní název IPA V60 S35 viz [3] a [4] za různých teplot a různých velikostí smykového zatížení, předpokládá se však měření širokého spektra novodobých materiálů. Předkládaná práce prezentuje především prozatím dosažené výsledky měření. Z naměřených deformací asfaltových pásů je vytvářena databáze mechanických vlastností, která by měla v budoucnosti tvořit základní soubor dat pro návrh nových výpočetních metod a postupů.

2 LABORATORNÍ TESTOVÁNÍ

2.1 Zkušební zařízení

Pro vnášení svislých a vodorovných zatížení do zkušební vzorku (betonový blok se dvěma vrstvami asfaltu) byla použita ocelová konstrukce, která byla pro tento účel navržena a sestrojena v roce 2007 viz obr. 1.



Obr. 1: Ocelové zkušební zařízení

Pro vytvoření prostředí s konstantní teplotou byla následně sestrojena speciální klimatizační komora, do které byla umístěna ocelová konstrukce zkušebního zařízení (viz obr. 2).



Obr. 2: Zkušební zařízení umístěné v klimatizační komoře

2.2 Postup měření

V první fázi je zkušební blok zatěžován pouze svisle a po 24 hodinách je vneseno vodorovné zatížení. Na elektronických čidlech je po určitých časových intervalech měřen posun zatěžovaného betonového bloku po dobu dalších 6 dnů. Postup měření je zpracován podrobněji v práci [2].

2.3 Zkušební těleso

Zkušební těleso se skládá ze tří betonových bloků 300x300x100mm a dvou kluzných spár mezi nimi. Tyto kluzné spáry jsou vyplněny zkoušeným materiálem. V současné době je prozatím zkoušen jeden druh materiálu, viz [3] a [4] a mění se pouze kombinace různých velikostí zatížení a teplota prostředí.

2.4 Zatížení

S ohledem na časovou náročnost měření (jedno měření trvá 7 dní) bylo vybráno 6 kombinací zatížení – vzájemně se kombinují dvě hodnoty svislého zatížení a tři hodnoty vodorovného zatížení. Jednotlivé kombinace jsou uvedeny v Tabulce 1. Konkrétní hodnoty vnášených zatížení jsou odvozeny ze skutečných napětí a rychlostí posuvů, které mohou v základové spáře vzniknout. Svislá napětí, která obvykle mohou vzniknout v základové spáře, jsou uvažovány v intervalu 100 až 500kPa, přičemž s ohledem na výše zmíněnou časovou náročnost měření jsou zkoušeny mezní hodnoty 100 a 500kPa. Vodorovné zatížení je uvažováno tak, aby rychlost deformace měřená na prostředním betonovém bloku řádově odpovídala rychlostem deformace na skutečné konstrukci.

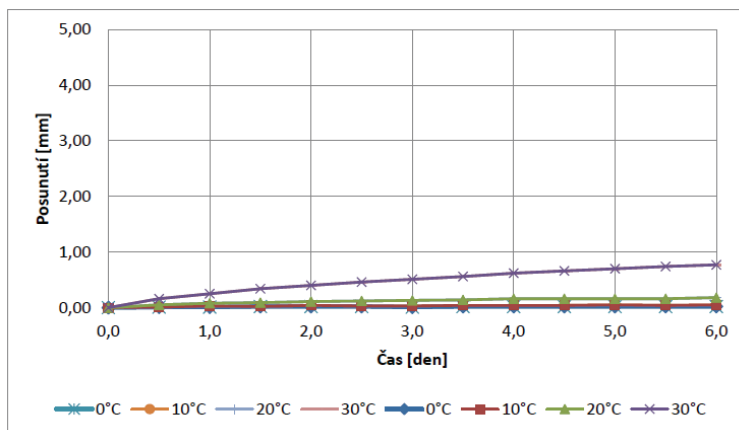
Tab. 1: Měřené kombinace svislého a vodorovného zatížení

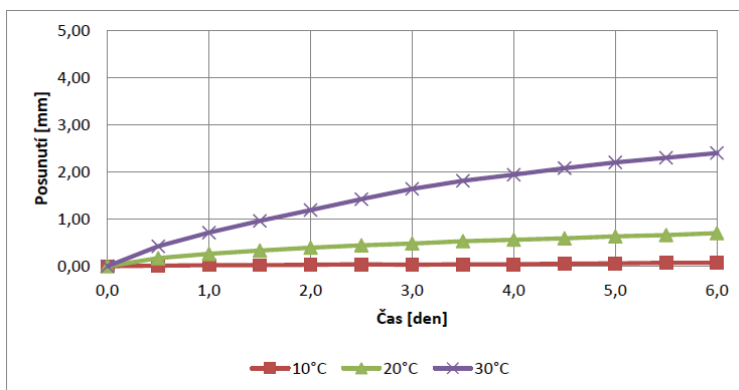
měřené kombinace	svislé zatížení [kPa]	vodorovné zatížení [kN]	poznámka
1	500	0,62	viz Obr. 3
2	500	0,95	viz Obr. 4
3	500	2,00	viz Obr. 5
4	100	0,62	viz Obr. 6
5	100	0,95	bude měřeno
6	100	2,00	bude měřeno

3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

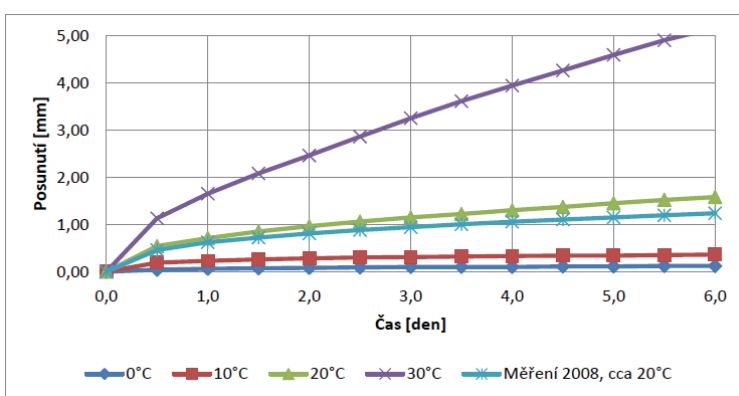
Výsledky měření jsou zpracovávány do tabulek a grafů viz Obrázky 4 až 6 a následně se odvozují další závislosti (viz [5] a [6]). Při znalosti dané problematiky lze bez větších obtíží definovat tzv. třecí parametry, které je možno jednoduše předepsat v některých komerčních programech na bázi metody konečných prvků a naleznou tak využití v běžné projekční praxi. Metodika výpočtu třecích parametrů kluzných spár z laboratorních zkoušek je detailně popsána v práci [2].

Vzhledem k tomu, že nová měření volně navazují na předchozí měření z roku 2007, bylo nejdříve provedeno kontrolní měření a výsledky srovnány s původním měřením, které probíhalo za běžné laboratorní teploty (cca 20°C). Pro názornost jsou v grafu na Obrázku 5 vyznačené hodnoty z původního měření. Jak je z grafu patrné, hodnoty původního a nového měření jsou relativně ve vzájemné shodě. Určitý odklon křivky je způsoben tím, že v případě nového měření je díky klimatizační komoře zajištěna konstantní teplota po celou dobu měření, kdežto v případě původního měření mohlo docházet k určitým odchylkám od uváděné teploty. Dalším důvodem je také změna měřicího zařízení – původně byl posun měřen mechanickými čidly a hodnoty odečítány a zapisovány ručně, nově jsou hodnoty posunů zaznamenávány automaticky pomocí elektronických čidel a to v přesných a pravidelných intervalech. V neposlední řadě je toto odchýlení způsobené také tím, že obě (jak nové, tak původní) měření bylo provedeno pouze jednou a nejedná se o průměr několika měření.

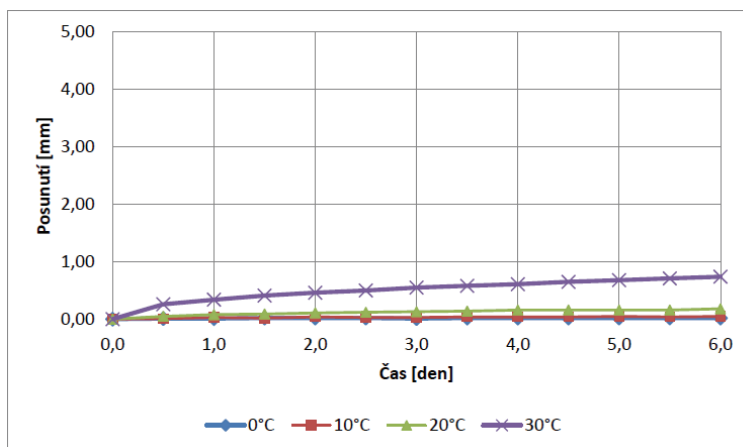
Obr. 3: Kombinace svislé síly $V=500\text{kPa}$ a vodorovné síly $H=0,62\text{kN}$



Obr. 4: Kombinace svislé síly $V=500\text{kPa}$ a vodorovné síly $H=0,95\text{kN}$



Obr. 5: Kombinace svislé síly $V=500\text{kPa}$ a vodorovné síly $H=2,0\text{kN}$



Obr. 6: Kombinace svislé síly $V=100\text{kPa}$ a vodorovné síly $H=0,62\text{kN}$

4 ZÁVĚR

Z uvedených výsledků měření je zřejmé, že smyková odezva asfaltových pásů, jak bylo ostatně předpokládáno, je teplotou značně ovlivněna. Obecně lze konstatovat, že při vyšších teplotách prostředí dochází k větším deformacím a naopak. Při návrhu nových výpočetních metod je tak třeba počítat i s touto skutečností a zahrnout vliv předpokládané teploty v konstrukci a jejím bezprostředním okolí do výpočtu. Zohledníme-li vliv teploty při tvorbě výpočetních postupů, bude odvozování potřebných vztahů komplikovanější a náročnější. Výsledné vztahy však budou lépe popisovat reálné chování daného materiálu v konstrukci.

V tomto článku jsou prezentovány pouze výsledky doposud provedených měření – pro jeden druh oxidovaného asfaltového pásu, měření však stále probíhá a postupně budou měřeny i další novodobé materiály, které se dají využít pro tvorbu kluzné spáry. Vytvoření dostatečně obsáhlé databáze mechanických vlastností asfaltových pásů a dalších materiálů je ale časově velice náročnou záležitostí nejen vzhledem ke značnému sortimentu výrobků, ale také vzhledem ke snaze zohlednit dlouhodobé účinky zatížení. V budoucnu by tato databáze mohla tvořit základ metod pro praktické navrhování konstrukcí s kluznou spárou.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 - Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi a částečné podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0039: *Navrhování objektů na poddolovaném území*. Praha: ČNI, 1989.
- [2] MAŇÁSEK, P. *Základové konstrukce s kluznou spárou*. Disertační práce na Fakultě stavební VŠB-TU, Ostrava, 2008
- [3] DEHTOCHEMA BITUMAT, s.r.o.: *Technický list pro oxidovaný asfaltový pás IPA V60 S35*, dostupné z www.dehtochema.cz
- [4] DEHTOCHEMA BITUMAT, s.r.o.: *Prohlášení o shodě pro oxidovaný asfaltový pás*, dostupné z www.dehtochema.cz
- [5] ČAJKA, R. & JANULÍKOVÁ, M. & MATEČKOVÁ, P. & STARÁ, M.: Modelling of foundation structure with slide joint with temperature dependant characteristics. In *Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. Chania, Crete, Greece, 2011, pp.208. ISBN 978-1-905088-45-4
- [6] ČAJKA, R. & MATEČKOVÁ, P.: Modelling of foundation structure with slide joint depending up the temperature. In *9th International FIB Symposium on High Performance Concrete - Design, Verification & Utilization*. Rotorua, New Zealand, 2011, ISBN 978-0-473-19028-6

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vladimír Řikovský, CSc., VUIS-CESTY spol. s r.o., Bratislava.

Doc. Dr. Ing. Michal Varaus, Ústav pozemních komunikací, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Radim ČAJKA¹, Petr MARTINEC²

**PORUCHY STAVEBNÍCH OBJEKTŮ VLIVEM OBJEMOVÝCH ZMĚN
OCELÁRENSKÉ STRUSKY**

**STRUCTURAL FAILURES OF BUILDINGS CAUSED BY VOLUME CHANGES
OF STEEL SLAG**

Abstrakt

Článek se věnuje poruchám stavebních objektů vlivem objemových změn ocelářenské strusky v podloží nemocnice v Ostravě – Porubě. Budovu tvoří monolitická železobetonová skeletová konstrukce s podlahovými deskami založenými na struskovém podloží. Poslední naměřené přírůstky deformací prokazují, že bobtnání strusky v podloží pokračuje a dle naměřených závislostí nedochází k ustálení pohybů.

Klíčová slova

Ocelářská struska, objemové změny, poruchy staveb

Abstract

The paper deals with structural failures of buildings caused by volume changes of steel slag in subsoil of hospital in Ostrava-Poruba. The building consists of a monolithic reinforced concrete frame structure with floor slabs on slag sub-base. Latest measured increases in deformations show that the slag swelling in the sub-soil continues, and as the measured dependences show, there is no stabilization of the movement.

Keywords

Steel slag, volume changes, structural failures of buildings

1 ÚVOD

Nosnou konstrukci vstupního objektu Fakultní nemocnice v Ostravě – Porubě tvoří monolitická železobetonová skeletová konstrukce se skrytými průvlaky a stropními deskami o půdorysných rozměrech cca 64 x 31 m. Objekt vystupuje jedním podlažím nad úroveň přilehlého terénu a dalšími dvěma podlažími je zapuštěn pod jeho úroveň. Přechody mezi jednotlivými výškovými úrovněmi byly při výstavbě vyrovnány struskovým podsypem, který v některých částech dosahuje mocnosti až 4 m.

Podlahové konstrukce tl. 100 až 200 mm z betonu třídy C 16/20 leží na podkladním betonu tl. 150 mm se svařovanou sítí [1].

Při prohlídce objektu v 10/2006 byly ve vstupní části, sociálních zařízeních, prodejně potravin, skladech a spojovacích chodbách zaznamenány šikmé smykové trhliny v obvodových stěnách

¹ Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

² Prof. Ing. Petr Martinec, CSc., Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 967, e-mail: petr.martinec@vsb.cz.

a navazujících příčkách. Dveřní otvory a zárubně jsou pokřivené a zkosené, povrch podlah je vyboulený směrem nahoru a prostoupen trhlinami. Ve vstupní části před sociálním zařízením (WC muži, ženy, úklidové komory) dochází k vyboulení a odlupování dlaždic viz obr. 1.



Obr. 1: Deformace podlahy a dlažby

Na některých místech již dosahují deformace takových hodnot, že dochází k destrukci zdiva a odpadávání části děrovaných cihel, viz obr. 2 [1].



Obr. 2: Pohled na rozdrčené zdivo příčky

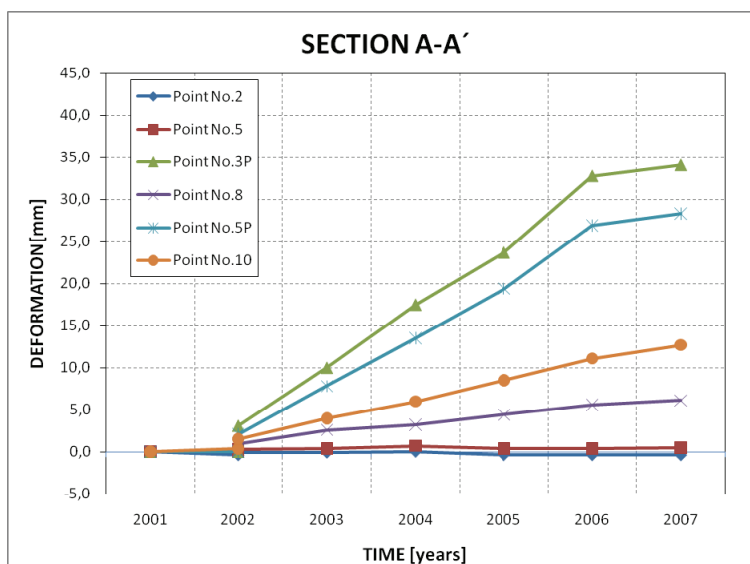
2 NAMĚŘENÉ PŘÍRUSTKY SVISLÝCH POSUNŮ

Pro ověření, zda dochází k sedání základů či zvedání podlahy, bylo provedeno měření svislých deformací pomocí osazených stabilizovaných bodů. Měřící body umístěné na nosných sloupech železobetonového skeletu jsou v grafech naměřených hodnot označeny pouze číslem. Body osazené na podlaze jsou pak označeny pořadovým číslem s indexem "P".

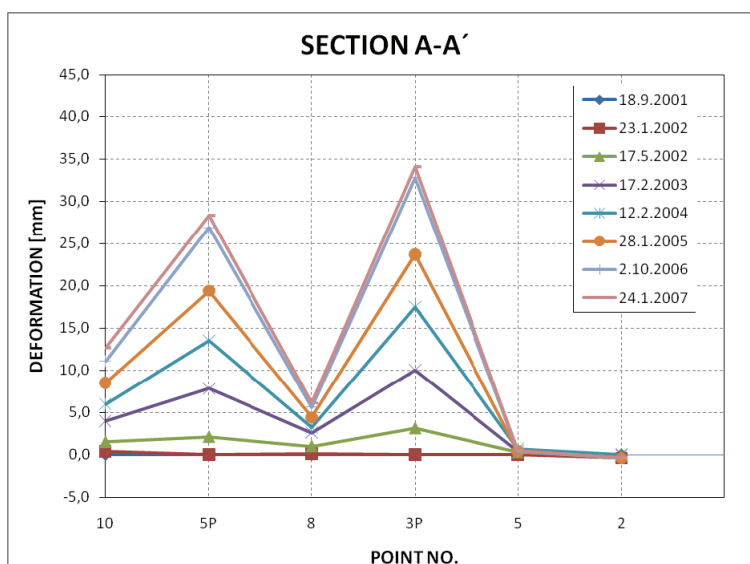
Měření svislých posuvů bylo zahájeno 18. 9. 2001. Naměřené spojitě nerovnosti podlah dosáhly až 110 mm, přičemž však výšky nebyly vztaženy k pevným bodům.

Další měření z 23. 1. 2002 již byly vztaženy k pevně fixovaným (stabilizovaným) výškovým bodům osazených na podlaže a nosných sloupech.

Z výsledků měření jednoznačně vyplývá, že nedochází k sedání pilotových základů, ale k vyboulení podlahových konstrukcí směrem nahoru. U některých sloupů je dokonce naměřena jejich deformace směrem nahoru (negativní sedání).



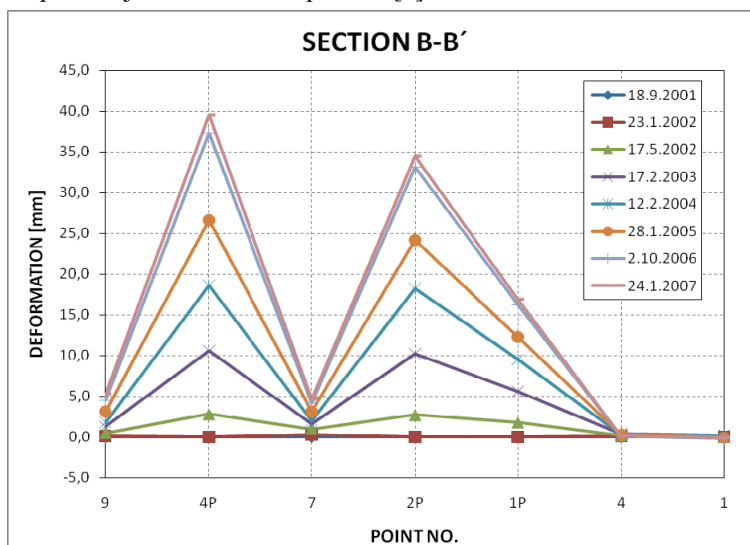
Obr. 3: Časový průběh svislých deformací měřených bodů v řezu A-A



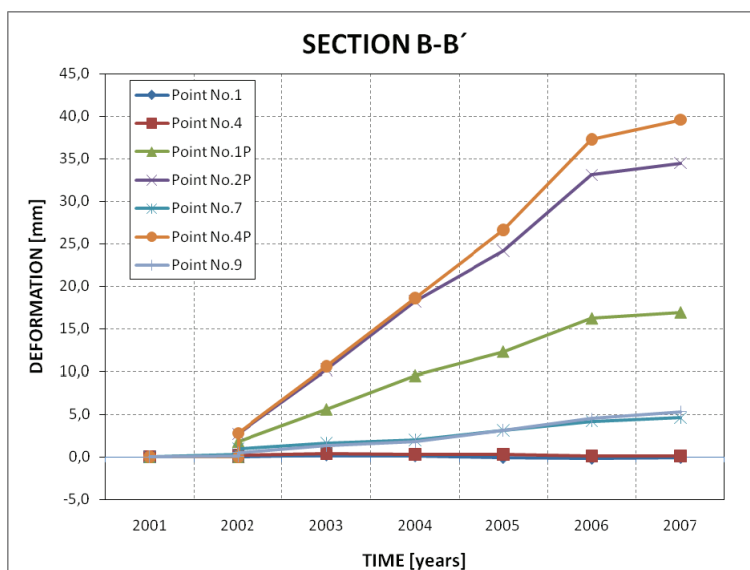
Obr. 4: Průběh svislých deformací měřených bodů na sloupech a na podlaže v řezu A-A

Časový průběh deformací v jednotlivých příčných profilech a bodech je zřejmý z obr. 3 až 6. Maximální vyboulení podlahy dosáhlo za období od 23. 01. 2002 do 24. 1. 2007 hodnoty 39,6 mm a za dalších 15 měsíců k 24. 4. 2008 pak hodnoty 46,1 mm (maximální přírůstek 6,5 mm za 15 měsíců). K této hodnotě je však nutno přičíst počáteční deformace cca 110 mm, takže k poslednímu měření dosáhly výškové nerovnosti podlahy přes 150 mm a deformace stále pokračují. Tyto pokračující deformace zřejmě souvisí s další reakcí s vodou či vodní párou, která může být

do podloží primárně přiváděna ve formě průsaků vody srážkové, sekundárně však i z porušené ležaté kanalizace vlivem pokračujících deformací podloží [1].



Obr. 5: Průběh svislých deformací měřených bodů na sloupech a na podlaze v řezu B-B



Obr. 6: Časový průběh svislých deformací měřených bodů v řezu B-B

3 ANALÝZA TMELÍCÍCH SEKUNDÁRNÍCH MINERÁLŮ

Pro definitivní rozhodnutí o reálných možnostech sanace podloží a rekonstrukce objektu byla provedena analýza tmelících sekundárních minerálů ze zásypu pod podlahou [2]. Pro dodatečné laboratorní zkoušky byl odebrán v boku sondy cca 10-20 cm nade dnem sondy vzorek o hmotnosti 8 kg. Vzorek odebral za přítomnosti zástupce majitele objektu P. Martinec a R. Čajka [1], [2].

3.1 Způsob zpracování vzorku

Vzorek byl ručně přebrán a odděleny volné kusy ocelářské strusky nad 5 mm, odseparovány byly hrudky lehce stmelené drti a prachu s částicemi cca pod 5-10 mm.

Byla provedena prohlídka a popis kusů tmavé ocelářské strusky, separace sekundárních minerálů na povrchu kusů černé ocelářské strusky a připraveny preparáty pro analytický rozbor.

Bylo provedeno rozstívání jemně stmelené prachovité hmoty ze zrn a prachu ocelářské strusky a manuální separace sekundárních minerálů ve tmelu stmelených částic, připraveny preparáty pro analytický rozbor a proveden vodný výluh z pracovité stmelené hmoty bez mletí a stanoveno pH výluhu.

Analytické práce a rozbor jsou provedeny pro každý materiál samostatně.



Obr. 7: Kopaná sonda uvnitř objektu pro odběr vzorků



Obr. 8: Analyzované vzorky strusky odebrané z kopané sondy v podloží stavby

3.2 Ocelářská struska kusovitá

Zrnitostně heterogenní materiál tvořený převážně kusy černé nebo šedé ocelářské strusky, často pórovité o velikosti zrn až do 25 cm, krystalické i semikrystalické, méně často sklovité. Na povrchu strusky v pórech jsou světlé, prachovité výplně krémově bílé barvy až do cca 6 mm. V hrubozrnné frakci jsou úlomky cihly, dinasů, hutní keramiky, betonu a slitků oceli. Sumární podíl cizorodých látek je ve vzorku cca 5%. Rozpad a objemové změny vykazuje z těchto cizorodých materiálů nejvíce hutní keramika a šamotové cihly.

Pomocí optické mikroskopie v procházejícím polarizovaném světle jsou na povrchu sklovitých zrn strusky ve výbrusu patrné tenké lemy hydratovaného struskotvorného skla. Mocnosti lze odhadnout (závisí na podílu krystalů gehlenitu a skla v konkrétním místě) na první desetiny až milimetry.

Infračervenou spektroskopií byly na povrchu kusové strusky zjištěny v pórech světlé, prachovité výplně krémově bílé barvy až do velikosti cca 5-6 mm.

Reakce výluhu je zásaditá (pH 8-9). Podle spektroskopické analýzy lze v tomto odseparovaném materiálu identifikovat produkt hydratace periklasu MgO na brucit $\text{Mg}(\text{OH})_2$ a jeho karbonatovaný produkt magnezit MgCO_3 . Jedná se o minerály mnohonásobně zvětšující objem při hydrataci a karbonataci.

V separovaném vzorku z povrchu kusové sklovité strusky se objevují hydratované $\text{Ca}(\text{Mg})$ silikáty (CSH) spolu s brucitem $\text{Mg}(\text{OH})_2$ a opálovou hmotou opět při hydrataci zvětšující objem druhotného, hydratovaného minerálu.

3.3 Jemně zpevněná prachovito-písčítá hmota mezi kusovou ocelářskou struskou

Prostor mezi kusy ocelářské strusky je vyplněn velmi proměnlivě tmelenou drobně úlomkovitou až prachovito-písčitou hmotou. Při separaci lze oddělit tmavá, černošedá zrna. Při separaci po šetrném rozdužení stmeleného materiálu lze odseparovat :

- kusy a úlomky šedé až černé ocelářské strusky s bílými sekundárními minerály,
- písčítá a prachovitá zrna černá, šedá, často sklovitá z ocelářské strusky,
- nahnědlé až světle bělavě hnědé minerály v pracovité frakci.

Reakce výluhu je mírně kyselá až neutrální pH 6,1. Z mineralogického rozboru je patrné, že tmelem této prachovito-písčité mezerovité hmoty s úlomky ocelářské strusky nad 2 mm jsou sekundární minerály vzniklé hydratací a karbonatací ocelářské strusky a to především brucit a karbonát (magnezit a kalcit) a méně pak opálu podobná hmota a CSH na povrchu zrn především sklovité ocelářské strusky.

Infračervenou spektroskopií byla zjištěna

- písčítá až prachovitá zrna černá, šedá, často sklovitá z ocelářské strusky. Podle spektroskopické analýzy lze v tomto odseparovaném materiálu identifikovat převážně gehlenit nebo Ca -silikáty se slabou hydratací na CSH tj. opět narůstá objem novotvořené fáze na povrchu zrn.
- nahnědlé až světle bělavěhnědé minerály v prachovité frakci. Tyto minerály lze odseparovat gravitačně jen manuálně na papíru a to s různým podílem zrn ocelářské strusky.

V odseparované frakci s krémově světle nahnědlou barvou dominují produkt hydratace periklasu MgO na brucit $\text{Mg}(\text{OH})_2$ a jeho karbonatizovaný produkt magnezit MgCO_3 spolu s kalcitem $\text{Ca}(\text{CO}_3)$.

Dále jsou přítomny hydratované silikáty jako CSH ze strusky. Jedná se o minerály mnohonásobně zvětšující objem při hydrataci a karbonataci.

U šedých pracovitých frakcí narůstá podíl zrn ocelářské strusky s více či méně intenzivní hydratací na CSH. Asociace druhotných minerálů však zůstává zachována.

4 VYHODNOCENÍ ANALYTICKÉHO ROZBORU

Ve struskovém zásypu v místě dna sondy v podlaze prodejny v 1. podlaží objektu nemocnice tvořeném především netříděnou tmavou ocelářskou struskou byly prokazatelně zjištěny sekundární minerály spojené s hydratací a karbonatací ocelářské strusky v prostředí se zvýšenou vlhkostí a za přítomnosti CO_2 za příznivých teplot (cca nad 10°C). Všechny tyto sekundární minerály prokazatelně mnohonásobně mění svůj objem a vedou k celkovým objemovým změnám v zásypu. Tento proces je nerovnoměrný, pomalý, ale trvalý. Podle provedených rozborů a stanovení minerálních asociací nebyl tento proces ukončen.

Kvantifikace procesu zvětšování objemu materiálu v zásypu by si vyžádala detailnější rozborů různých frakcí zásypu za nepoměrně vysokých nákladů. Zastavení hydratačních a karbonatačních procesů přímo v zásypu je podle současných možností a zkušeností obtížné ba nemožné (= úplné vysušení zásypu, neboť pára je ještě účinnějším hydratačním médiem než voda, a zbavení vzduchu v zásypu CO_2).

5 PŘÍČINY PORUCH A NÁVRH OPATŘENÍ

Z dosavadních výsledků měření deformací, charakteru trhlin, revize kanalizace a laboratorních rozborů strusky vyplývají tyto závěry:

- poslední naměřené přírůstky deformací prokazují, že bobtnání strusky v podloží pokračuje a dle naměřených závislostí nedochází k ustálení pohybů,
- při poslední prohlídce stavu trhlin v posuzovaném objektu bylo zjištěno, že se trhliny zvětšují, vlivem narůstajícího svislého tlaku dochází k deformaci podlah, drcení příčkového zdiva, zárubní a dveří,
- svislé tlaky od bobtnající strusky se již přenáší i do nosné konstrukce montovaného skeletu, dochází k deformacím (vyboulením) svislých sloupů, stropní konstrukce a následně i výplňového zdiva v 1.NP,
- struskový podsyp pod podlahou vstupního objektu je tvořen především netříděnou tmavou ocelářskou struskou, u které byly prokazatelně zjištěny sekundární minerály spojené s hydratací a karbonatací ocelářské strusky v prostředí se zvýšenou vlhkostí a za přítomnosti CO_2 za příznivých teplot (cca nad 10°C),
- všechny tyto sekundární minerály prokazatelně mnohonásobně mění svůj objem a vedou k celkovým objemovým změnám v zásypu. Tento proces je nerovnoměrný, pomalý ale trvalý. Podle provedených rozborů a stanovení minerálních asociací nebyl tento proces ukončen,
- podle výsledků kamerové zkoušky a údajů ve zprávě o revizi kanalizace je ležaté kanalizační potrubí pod podlahou v řadě míst porušeno trhlinami s diagnostikovaným únikem splaškových vod,
- vzhledem ke shodě polohy hlavní větve ležaté kanalizace s oblastí s maximálními deformacemi podlah je zřejmé, že chemické změny a bobtnání strusky v podloží je sekundárně způsobováno unikající splaškovou vodou,
- primární porušení kanalizace bylo způsobeno buď ihned při výstavbě, nebo později vlivem vzrůstajícímu tlaku v podloží od bobtnání strusky.

Rozsah poruch podlah a přiček již dosáhl takové intenzity, že je ohrožena únosnost a stabilita výplňového zdiva podle mezního stavu únosnosti (porušení zdiva) a mezního stavu použitelnosti (deformace podlah) ve smyslu platných ČSN EN [4], [5] a [6]. Uvedené poruchy v současné době ohrožují bezpečnost, zdraví a v extrémním případě i životy zaměstnanců či pacientů (upadnutí části zdiva, příčky, zlomení končetin na nerovném a užívání nevyhovujícím povrchu, ale i počínající deformace nosného skeletu).

6 ZÁVĚR

S ohledem na tyto zjištěné skutečnosti lze konstatovat, že podlahové konstrukce, příčkové zdivo, ale již i nosné konstrukce montovaného skeletu se nacházejí v havarijním stavu a s ohledem na bezpečnost je nutno v uvedených prostorách ukončit provoz.

Pro spolehlivé užívání vstupního objektu v budoucnu je nutno zamezit objemovým změnám struskového podsypu a únikům splaškových vod do podloží. S ohledem na zjištěné skutečnosti je nereálné stabilizovat bobtnající strusku a zamezit dalšímu nárůstu deformací. Rovněž porušené kanalizační potrubí nelze opravit bez jeho vybourání. Proto je nutno bezodkladně provést tato opatření:

- ukončit provoz v dotčených provozech, zejména v prodejně potravin, skladech a dalších deformacemi dotčených prostorech,
- odpojit všechny zazděné sítě a vybourat veškeré porušené příčky, kterými se přenáší bobtnající tlaky z podloží do celé nosné konstrukce a již způsobují jejich poruchy,
- provést diagnostiku, vyhodnotit deformace a trhliny vzniklé v montovaném železobetonovém skeletu celého objektu a posoudit jeho statickou únosnost a použitelnost,
- odstranit porušenou ležatou kanalizaci a provést kanalizaci novou,
- vytěžit objemově nestálý struskový podsyp a provést podklad z tříděného a objemově stálého podsypového materiálu (šterku, šterkopísku, recyklovaného betonu) od certifikovaného dodavatele,
- provést nové podlahové konstrukce, příčkové zdivo a rozvody sítí s možností svislých dilatací.

Z provedených sond v objektu a rozboru příčin poruch bylo rovněž zjištěno, že deformacím a poruchám nezamezila ani tepelná izolace z pěnového polystyrenu uložená v kluzné spáře podlah. Projevy objemově nestálé ocelářské strusky v násypech byly rovněž zaznamenány při výstavbě pozemních komunikací [3].

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 - Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi a částečné podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

LITERATURA

- [1] Čajka, R., Posouzení příčin vzniku trhlin a poruch ve vstupním objektu Fakultní nemocnice v Ostravě Porubě. Závěrečná zpráva AR-0715, ARMING spol. s r.o., (2009).
- [2] Martinec, P., Analýza tmelících sekundárních minerálů ze zásypu pod podlahou v prodejně v 1. podlaží FN v Ostravě – Porubě. Dílčí zpráva, Ostrava, (2009).
- [3] Kresta, F., Použití ocelářské strusky a dalších vedlejších produktů hutní výroby železa v zemním tělese pozemních komunikací. *Silniční obzor*, roč. 72, s. 15 – 20, (2011).
- [4] ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings ČNI 11/2006.
- [5] ČSN EN 1996-1-1 (73 1101) Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby – Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce. Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures ČNI 05/2007.
- [6] ČSN EN 1997-1 (73 1000) Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla. Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules, ČNI 9/2006.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D., Institut environmentálního inženýrství, Hornicko–geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Doc. Ing. Karel Kolář, CSc., Experimentální centrum, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Radim ČAJKA¹, Marie STARÁ², Pavlína MATEČKOVÁ³, Martina JANULÍKOVÁ⁴

EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKA ZDĚNÉHO ROHU

EXPERIMENTAL TEST OF BRICK CORNER

Abstrakt

Příspěvek popisuje experimentální měření dodatečně předpjaté zděné konstrukce, která je vyzděná ve zhotovené ocelové konstrukci. Ocelová konstrukce je vyrobena tak, aby bylo možno provádět řadu různých zkoušek s různými vstupními parametry. Předpětí je instalováno pomocí hydraulických válců do předpínacích tyčí. Ty byly vloženy do spár během zdění konstrukce. Výsledné deformace zdiva jsou měřeny potenciometrickými čidly a výsledky jsou vyhodnoceny pomocí grafů.

Klíčová slova

Zdivo, předpínání, deformace, experiment.

Abstract

The paper describes experimental measurements of post tensioned prestressed masonry corner that is built in finished steel structure. The steel structure is designed so that many different tests with different input parameters could be done. Prestress is installed through prestressing bars using hydraulic cylinders. Prestressing bars were installed into the mortar joints during construction. Displacements are measured by potentiometer sensors and the results are evaluated using graphs.

Keywords

Masonry structure, prestressing, deformation, experiment.

1 ÚVOD

Vlivem hlubinné těžby černého uhlí, výstavbou tunelů a kolektorů v městské zástavbě dochází ke vzniku tzv. poklesové kotliny s charakteristickými vlivy na stavební objekty. V takto postižených oblastech je často potřeba zachránit dotčené stavby pomocí dodatečného předepnutí zdiva a základů. Velký význam má toto statické zajištění zejména u staveb historických, neboť ochrana kulturního dědictví patří mezi základní povinnosti vyspělých států. To se provádí mimo jiné i pomocí předpínacích lan popř. tyčí, která jsou vedena na vnitřním či vnějším lici stěn a základů. V místě

¹ Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

² Ing. Marie Stará, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 375, e-mail: marie.stara@vsb.cz.

³ Ing. Pavlína Matečková, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: pavlina.mateckova@vsb.cz.

⁴ Ing. Martina Janulíková, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: martina.janulikova@vsb.cz.

jejich kotvení pak vzniká extrémní prostorová napjatost, která může vést až k rozdrčení a destrukci takto sanovaných konstrukcí.

Ačkoliv je tento postup sanací pomocí dodatečně vneseného předpětí dobře ověřen u železobetonových konstrukcí, pro mnohdy nehomogenní a porušené zdivo není tato technologie dostatečně ověřena zkouškami.

Z tohoto důvodu je nutné provádět experimentální zkoušky, které mají umožnit lepší pochopení chování předpjatého zdiva. Zkoušky jsou prováděny na laboratorním zkušebním zařízení, určeného pro zkoušky trojosé napjatosti zdiva. Předkládané výsledky jsou jedny z prvních dosažených výsledků měření, provedených na laboratorním zařízení, které bylo vyrobeno na Fakultě stavební VŠB – TUO.

2 VÝZTUŽ VE ZDIVU

Vodorovné ztužení zděného objektu se provádí u poddolovaných staveb z důvodu zachycení účinků vodorovného přetvoření terénu i pro zachycení účinků zakřivení terénu.

Tento způsob slouží u staticky porušených objektů pro zvýšení stability objektu a prodloužení jeho životnosti. Základním principem předpínací výztuže je tzv. sevření (spínání) porušeného objektu, tzn. vnesení tlakových sil do zděných konstrukcí tak, aby bylo zamezeno vzniku nových trhlin. Případně může dojít při vnášení tlakových sil k sevření trhlin stávajících. Ve skutečnosti dochází k zvýšení stability a únosnosti zdiva v objektu.

Jedním ze základních způsobů předpínání zdiva je použití injektážních malt a pryskyřic, které zacelí vzniklé trhliny a zajišťují soudržnost mezi zdivem a vkládanou ocelovou výztuží. Výztuž se vkládá do vyfrézované drážky v ložné spáře. Předpínací tyče pomáhají přenášet zatížení převážně tahových sil a eliminuje se vznik dalších trhlin. Tento způsob nazýváme jako dodatečně předpínané zdivo[1], [2].

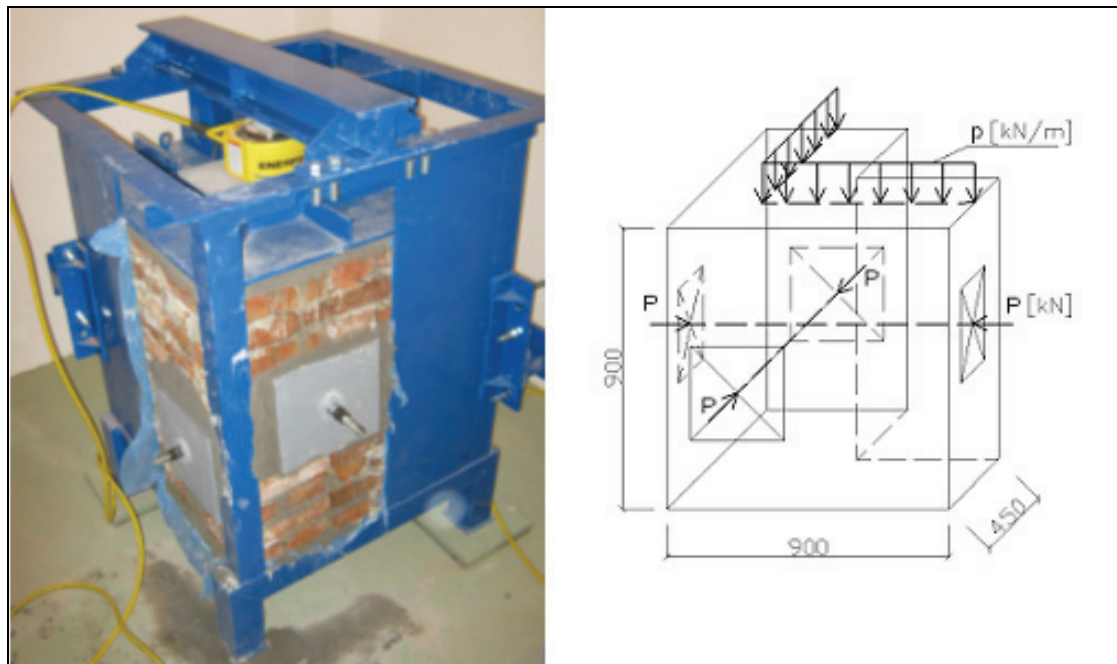
3 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKA

Na zařízení pro zkoušení předpjatého zdiva je možnost provádění řady zkoušek pro různé vstupní parametry, např. použití různých materiálů (zdicí prvky a malta), uspořádání a počet předpínacích lan, velikost předpínacích sil, velikost a tvar kotevních desek, velikost svislého zatížení, počet vrstev zdicích prvků či tloušťek spár, vazba zdiva, způsob uložení zdiva (prosté, kluzná spára apod.). Měření zděné konstrukce bylo provedeno jako modelový příklad pro zkušební provoz experimentálního zařízení, při kterém byl ověřen navržený postup a metodika zkoušek [3].

V první fázi experimentálního měření je vyzdění zděného rohu o půdorysu ve tvaru písmene L. Vyzdění je provedeno do připraveného laboratorního zařízení, které je určeno pro zkoušky trojosé napjatosti předpjatého zděného rohu (obr. 1), o půdorysných rozměrech 900 x 900 mm. Celková výška laboratorního zařízení je 1550 mm, výška vyzdění je 870 mm (11 řad cihel včetně spár). Použitým zdicím materiálem je cihla plná pálená o výrobních rozměrech 290 x 140 x 65 mm na maltu cementovou M10. Hodnoty pevností cihel a malty jsou získány laboratorním měřením vzorků odebraných při zdění konstrukce. Tloušťka zdiva je 450 mm. Teplota, ve které se laboratorní zařízení nachází, se pohybuje v rozmezí 20-25°C.

V této konstrukci jsou vloženy dvě předpínací tyče ve směrech na sebe kolmých, přibližně ve výškách 370 a 445 mm, které jsou ukotveny v roznášecích deskách velikosti 300 x 300 x 10 mm. V tomto měření se předpínací síla instalovala pouze do jedné z tyčí a to až po přitížení svislým zatížením.

V druhé fázi je konstrukce zděného rohu na horní ploše zatížená svislým zatížením pomocí zatěžovací desky. Toto zatížení simuluje v konstrukci svislé zatížení např. od stropu, střechy nebo dalších podlaží. Pro svislé zatížení při laboratorním měření byla zvolena hodnota odpovídající svislému zatížení rodinného domu vyvozující napětí v základové spáře 119,2 kPa. Plocha roznášecí desky pro roznesení svislého zatížení 0,6075 m².



Obr. 1: Laboratorní zařízení pro měření deformací zděného rohu (vlevo), schématický náčrtek (vpravo)

V další fázi jsou na předpínací tyče upevněny roznášecí desky a pomocí hydraulického zařízení je vyvozeno požadované předpětí pouze u jedné tyče. Hodnoty předpínací síly se odvíjí od celkové pevnosti zdiva, která je určena z laboratorních zkoušek cihel a malty zkoušené konstrukce [4]. Hodnoty předpínacích sil se orientačně určily jako 5, 7, 10 a 12 % z charakteristické pevnosti zdiva v tlaku kolmo na ložné spáry. Průběh zkoušky byl proveden dle [5].

Dle výpočtu ČSN P ENV 1996-1-1 [6] charakteristická hodnota pevnosti zdiva pro obvyčnou maltu daná vztahem

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} (N/mm^2), \quad (1)$$

kde dosadíme $K = 0,35$ což odpovídá 4 třídě [7]. Výsledná pevnost v tlaku zdících prvků z laboratorních zkoušek provedených dle [8] je $f_b = 20,88$ MPa a hodnota pevnosti zdící malty v tlaku stanovená dle [9] je $f_m = 9,8$ MPa. Po dosazení do výše uvedeného vztahu bude charakteristická pevnost zdiva rovna $f_k = 5,82$ MPa. Roznášecí plocha pro předpínací zařízení je $0,09$ m². V tabulce jsou uvedeny hodnoty předpínacích sil a jejich přepočet na jednotku tlaku oleje v hydraulickém systému [bar].

Tab. 1: Přepočet předpínacích sil

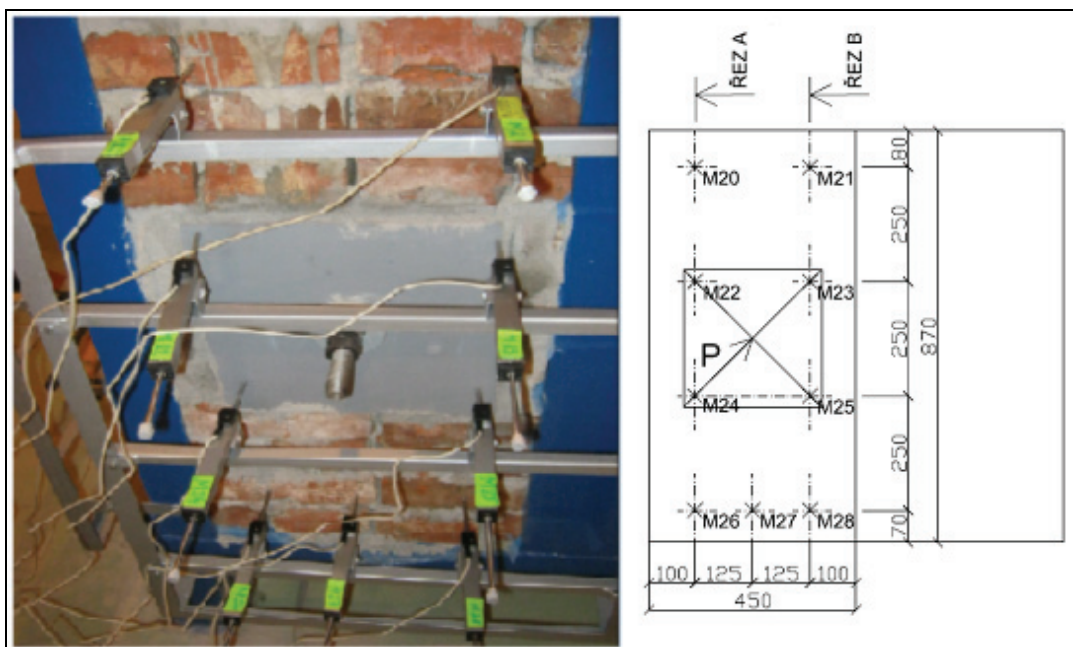
	Napětí v ZS [kPa]	Síla P [kN]	Přepočet [bar]
5%	291,0 kPa	26,19 kN	56,20 bar
7%	407,4 kPa	36,66 kN	78,66 bar
10%	582,0 kPa	52,38 kN	112,40 bar
12%	698,4 kPa	62,85 kN	134,87 bar

Zkušební měření je provedeno pomocí 10 potenciometrických čidel, která jsou upevněna k ocelové konstrukci pomocí ocelových úhelníků. Uložení potenciometrů je pomocí posuvných držáků, které lze fixovat do požadované polohy utahovacími šrouby. Pohyb potenciometrů je umožněn jak ve směru svislém, tak ve směru vodorovném. Umístění potenciometrů je ve čtyřech řadách po 2 ks. Manipulace s čidly je snadná a dobře přístupná. Naměřená data se přenáší do měřicí stanice, poté se data uloží do počítače ve formě tabulkových procesorů. Interval naměřených hodnot jednotlivých posunů je 60s.

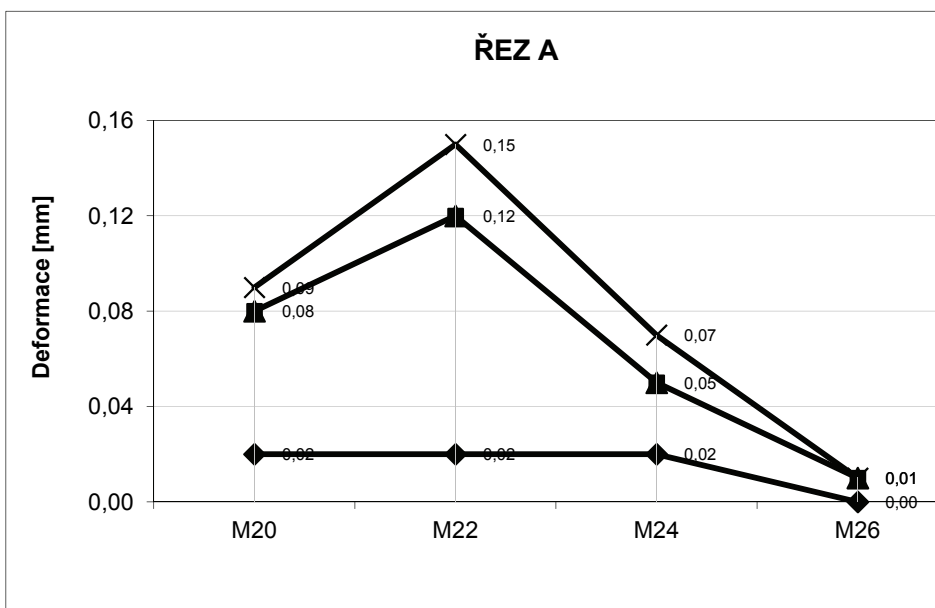
4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Zkoušky zděného rohu probíhaly postupným přitěžováním konstrukce pomocí předpínací tyče. Počáteční předpínací síla byla na 5 % z celkové charakteristické pevnosti zdiva v tlaku kolmo na ložné spáry. Tato hodnota se postupně navyšovala na hodnoty uvedené v tab. 1, kde maximální hodnota předpínací síly byla instalována na 12 % z celkové charakteristické pevnosti zdiva, což odpovídá síle o velikosti 62,85 kN. Po změření konečných deformací od předpínací síly byla konstrukce odtížena.

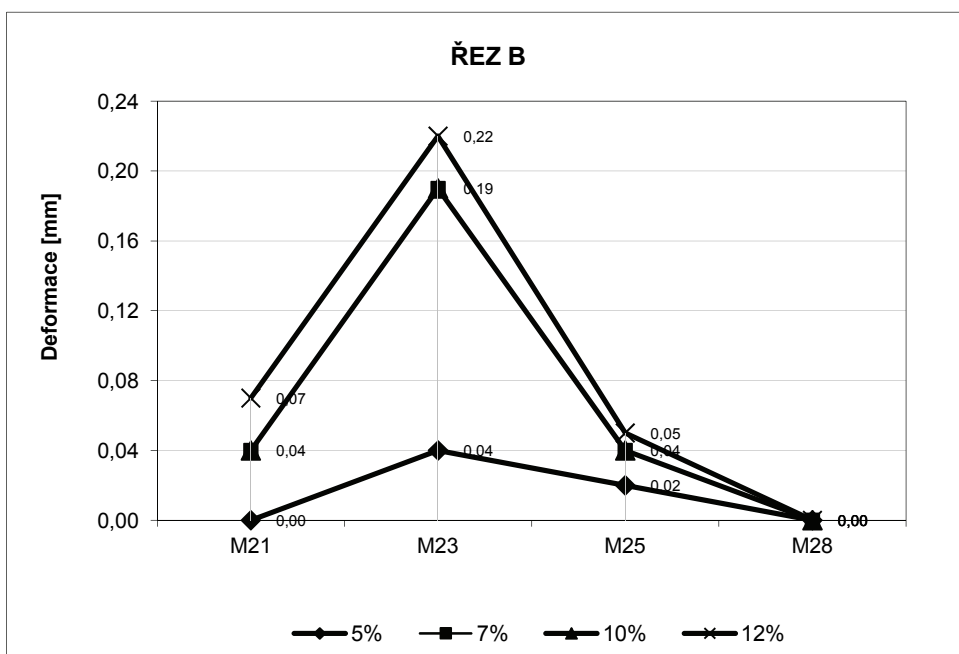
Pro přehlednost jednotlivých výsledků byla potenciometrická čidla označena hodnotami M20 až M28 pro měření posunů od deformace způsobené předpínací tyčí (dle obr. 2) a potenciometrická čidla s označením M0 a M1 byla upevněna ve směru kolmém na předpínací tyč, pro zaměření případných deformací v druhém směru.



Obr. 2: Umístění potenciometrických čidel M20 až M28, roznášecí desky a předpínací síly P [kN]



Graf 1: Deformace ve svislém řezu A procházející body M20, M22, M24 a M26



Graf 2: Deformace ve svislém řezu B procházející body M21, M23, M25 a M28

Nejvýraznější průběhy deformací proběhly v bodech M21 až M25. Tyto deformace odpovídají předpokladům o maximálních napětích a deformacích v místě kotvení předpínací tyče. Pro snazší orientaci ve výsledcích jsou v Grafu 1 vykresleny průběhy deformací vedený řezem A, který prochází body M20, 22, 24 a 26 a v Grafu 2 jsou vykresleny průběhy deformací vedený řezem B, který prochází body M21, 23, 25 a 28, viz obr. 2.

5 ZÁVĚR

Zděná konstrukce vyzděná do připravené ocelové konstrukce byla dodatečně předepnuta předpínací silou pouze v jednom směru, předpínací síly byly vnášeny do konstrukce postupně.

Další směr měření bude zaměřen na předepínání zděné konstrukce s vyšší předpínací silou, poté předpětí ve dvou směrech s použitím vyšších předpínacích sil a také různých hodnot svislého zatížení.

Následně bude provedeno modelování v programu založeném na metodě konečných prvků a poté provedeno srovnávání s výsledky měření. Na základě tohoto porovnání bude možné zlepšovat vytvořené modely a přiblížit se tak přesným a současně jednoduchým postupům pro modelování zdiva.

Experimentální měření zděné konstrukce slouží také jako podklad pro zkoušky kluzných spár, které navazují na projekt MPO číslo FR-TI2/746 Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi, kde se předpokládá ověření jejich teplotně závislých reologických vlastností při běžných venkovních teplotách, ve styku se zděnými konstrukcemi vystavené působení předpětí.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za podpory SGS grantu, interní číslo SP 2011/147.

LITERATURA

- [1] BAŽANT, Z.; KLUSÁČEK, L. Statika při rekonstrukcích objektů. VUT Brno, 2004.
- [2] BRADÁČ, J. Účinky poddolování a ochrana objektů, díl první a druhý. Dům techniky Ostrava. Ostrava, 1999. ISBN 80-02-01276-3
- [3] MYNARZOVÁ, L. Statická analýza konstrukcí zděných staveb. *Disertační práce 2009*. VŠB-TU Ostrava 2009. ISBN 978-80-248-2064-4
- [4] SCHUBERT, P.; HOFFMANN, G. Druckfestigkeit von Mauerwerk parallel zu den Lagerfugen. Mauerwerk-Kalender 1994, Ernst Sohn & Berlin 2004.
- [5] ČSN 73 2030 Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí, Společná ustanovení, Český normalizační institut, 1993
- [6] ČSN EN 1996-1-1 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby – Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce, Český normalizační institut, 2007
- [7] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí, Český normalizační institut, 2005
- [8] ČSN EN 1052-1 Zkušební metody pro zdivo, Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku, Český normalizační institut, 2000
- [9] ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo, Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku, Český normalizační institut, 2000

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Zdeněk Bažant, CSc., Ústav betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Doc. Ing. Petr Bouška, CSc., Oddělení experimentálních a měřicích metod, Kloknerův ústav, České vysoké učení technické v Praze.

Anežka JURČÍKOVÁ¹, Miroslav ROSMANIT²

NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ SVAŘOVANÉHO T – STYČNÍKU

A NUMERICAL MODELING OF WELDED T - JOINT

Abstrakt

Předmětem této práce je vytvoření vhodného numerického modelu (MKP program Ansys) svařovaného trubkového T-styčnicku a porovnání získaných výsledků s hodnotami únosností vypočítaných podle Eurokódu. Získané poznatky budou dále využity pro řešení podobných styčnicků v softwarech dostupných pro běžnou inženýrskou praxi a také pro řešení složitějších styčnicků, jejichž řešení norma přesně neuvádí.

Klíčová slova

Příhradová konstrukce, T-styčnick, porucha, MKP, Shell

Abstract

The subject of this work is to create a suitable numerical model (FEM program Ansys) of welded tubular T-joint and compare obtained results with the load capacity values calculated according to Eurocode. The acquired knowledge will be further used for solving similar joints in the softwares available for common engineering practice and also for more complex joints which solutions are not mentioned exactly in design codes.

Keywords

Lattice structure, T-joints, failure, FEM, Shell

1 ÚVOD

V dnešní době se pro výstavbu halových objektů a pro překlenutí velkých rozponů s výhodou využívají příhradové vazníky i příhradové rámové konstrukce z dutých průřezů, především pro jejich estetický vzhled a příznivé statické působení (dvojose symetrický průřez, zkrácení vzpěrných délek, dosažení požadované únosnosti při zachování subtilnosti konstrukce) [1].

U ocelových příhradových konstrukcí je problematické především řešení jejich styčnicků. Návrhové postupy, které udává norma, jsou komplikované, obtížně kontrolovatelné a mají pouze omezené použití (geometrické podmínky, omezení materiálových charakteristik, pouze určité typy styčnicků s danými způsoby zatížení).

Problematickou navrhování styčnicků ocelových konstrukcí se zabývají mnohá evropská pracoviště, např. [2], [3], [4]. Moderní postupy řešení ocelových styčnicků využívají metodu komponent [5], [6].

¹ Ing. Anežka Jurčíková, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: anezka.jurcikova@vsb.cz.

² Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 398, e-mail: miroslav.rosmanit@vsb.cz.

2 ZÁKLADNÍ PRINCIPY POSUZOVÁNÍ STYČNÍKŮ DLE ČSN EN 1993-1-8 [7]

Aby mohl být svařovaný styčník posouzen normovým postupem, musí průřezy splnit následující podmínky:

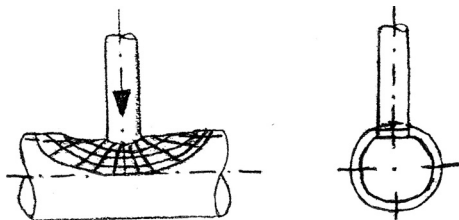
- jmenovitá mez kluzu nemá překročit 460 N/mm^2
- jmenovitá tloušťka stěny nemá mít menší než 2,5 mm a větší než 25 mm
- průřezy tlačných částí prutů mají být třídy 1 nebo 2
- další geometrické podmínky (viz tabulka 1)

Tab. 1: Rozsah platnosti pro svařované styčníky

0,2 ≤ d _i /d ₀ ≤ 1,0		
Třída 2	10 ≤ d ₀ /t ₀ ≤ 50	všeobecně
ale	10 ≤ d ₀ /t ₀ ≤ 40	pro styčníky tvaru X
Třída 2	10 ≤ d _i /t _i ≤ 50	
λ _{ov} ≥ 25%		
g ≥ t ₁ + t ₂		pro styčníky s mezerou
Pozn.: použité symboly jsou vysvětleny na obr. 3		

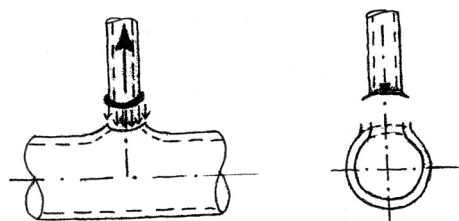
Při určování návrhové únosnosti styčnicků dutých průřezů se mají uvažovat následující typy porušení:

- a) Porušení povrchu pásu (plastické porušení povrchu pásu) nebo plastifikace pásu (plastické porušení průřezu pásu);



Obr. 1: Schéma porušení povrchu pásu

- b) Porušení boční stěny pásu (nebo porušení stojiny pásu) zplastizováním, podrcením nebo ztrátou stability tvaru (borcením nebo vybočením boční stěny nebo stojiny pásu) pod tlačným mezipásovým prutem;
- c) Porušení pásu smykem;
- d) Prolomení smykem stěny dutého průřezu pásu (iniciace trhliny vedoucí k odtržení mezipásového prutu od dutého průřezu);

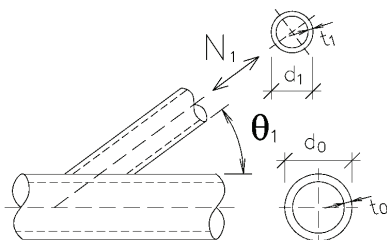


Obr. 2: Schéma prolomení stěny pásu smykem

- e) Porušení mezipásového prutu s redukovanou účinnou šířkou (trhliny ve svařech nebo mezipásových prutech);
- f) Porušení místním vybočením mezipásového prutu nebo dutého průřezu pásu ve styčnicku

Pro stanovení návrhové únosnosti styčnicků se vychází z únosnosti mezipásových prutů v tlaku, která je obecně nižší než v tahu. U svařovaných styčnicků se má při splnění podmínek v Tabulce 1 uvažovat pouze porušení povrchu pásu (a) a prolomení smykem (d), přičemž návrhová únosnost styčnicku je pak menší z obou hodnot osových únosností.

Návrhová osová únosnost svařovaných T a Y styčnicků může být za předpokladu splnění výše uvedených podmínek stanovena takto [7]:



Obr. 3: Geometrie a způsob zatížení Y a T - styčnicku

1) Porušení povrchu pásu

$$N_{1,Rd,1} = \frac{\frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2)}{\gamma_{M5}} \quad (1)$$

kde:

$$\gamma \quad - \quad \text{poměr průměru pásu k dvojnásobku jeho tloušťky}; \quad \gamma = \frac{d_0}{2t_0} \quad (2)$$

$$\beta \quad - \quad \text{poměr průměru mezipásového prutu k průměru pásu}; \quad \beta = \frac{d_1}{d_0} \quad (3)$$

d_0 – vnější průměr prutu dolního pásu [mm]

f_{y0} – mez kluzu materiálu [MPa],

k_p – $k_p = 1,0$ pro $n_p \leq 0$, tzn. pásový prut je tažený

$$n_p \quad - \quad \text{poměr napětí v pásu v místě styčnicku k mezi kluzu}; \quad (\sigma_{p,Ed}/f_{y0}) / \gamma_{M5} \quad (4)$$

t_0 – tloušťka stěny dolního pásu [mm],

d_1 – vnější průměr připojeného prutu [mm]

θ_1 – úhel, který svírají připojené pruty [°] a

γ_{M5} – součinitel bezpečnosti materiálu [1,0].

2) Porušení prolomením smykem

$$N_{1,Rd,2} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} \quad (5)$$

kde:

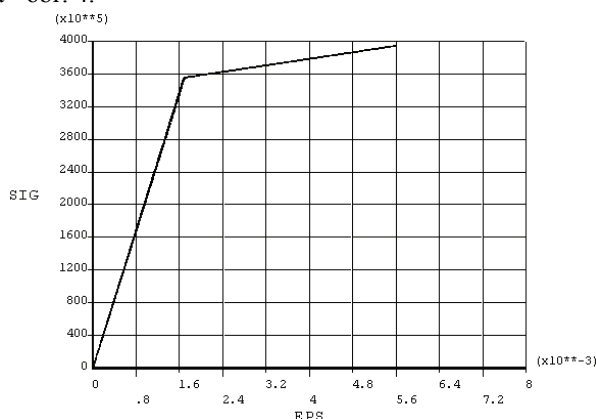
$$d_1 \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

3 NUMERICKÝ MODEL

Jako model byl pro jednoduchost zvolen trubkový svařovaný styčník typu T, jehož mezipásový prut je zatížen osově a spodní pás není zatížen žádnou silou ani deformací.

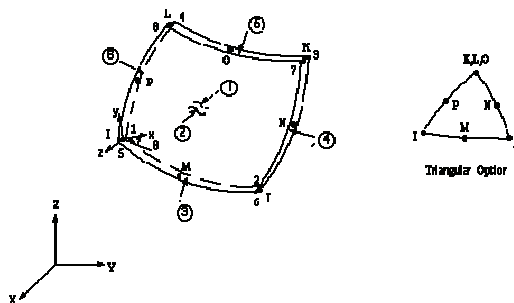
K modelování profilů trubek byl použit 8 – uzlový skořepinový konečný prvek SHELL 93 (viz obr. 5), který je vhodný pro modelování zakřivených ploch (podobně jako [2]). Výhodný je zejména proto, že umožňuje zahrnout do výpočtu plastické chování materiálu i vliv velkých deformací. Tento prvek má 6 stupňů volnosti v každém uzlu: posun ve směrech x , y , a z a pootočení kolem os x , y , a z . Charakterizován je osmi uzly, čtyřmi tloušťkami (v rozích konečného prvku) a ortotropními materiálovými vlastnostmi [8].

V řešeném modelu byla konečnému prvku zadána vždy konstantní tloušťka a následující izotropní materiálové vlastnosti: Youngův modul pružnosti $E = 210$ GPa a Poissonův součinitel $\nu = 0,3$. Při výpočtu byly uvažovány jak fyzikální, tak i geometrické nelinearity (plastický výpočet s uvažováním velkých deformací). Pružno-plastické vlastnosti materiálu jsou vyjádřeny bilineární křivkou (viz např. [3], [9]) s hodnotou modulu pružnosti po zpevnění $E_2 = 10$ GPa a s mezí kluzu materiálu $f_y = 355$ MPa - obr. 4.



Obr. 4: Použitý bilineární pracovní diagram

Vzhledem k tvaru jednotlivých ploch byla síť konečných prvků vytvořena programem automaticky (free mesh) při dodržení kvadratického tvaru konečného prvku. Pro velikost elementu byla zvolena hodnota 0.015, která se ukázala být pro daný model vhodná vzhledem k hustotě sítě a přesnosti výpočtu. Od modelování svaru v přípoji trubek bylo v tomto případě upuštěno.



Obr. 5: Konečný prvek SHELL 93 [8]

Pro model T – styčníku byla zvolena délka pásového prutu $l_0 = 1000$ mm a délka připojeného mezipásového prutu pak $l_1 = 500$ mm. Přesná geometrie jednotlivých modelů viz tabulka 2. Na obou koncích dolního pásu je zabráněno posunům ve směru osy x , y a z a mezipásový prut je pouze osově zatížen. Osově zatížení je na výplňový prut zaváděno předepsanou deformací volného konce mezipásového prutu (podobně jako [3]). Ve styčníku je vyvozováno pouze tahové napětí. Při napětí tlakovém byly v použitém modelu problémy s iterací v konečné fázi výpočtu.

Tab. 2: Parametry řešených styčníků

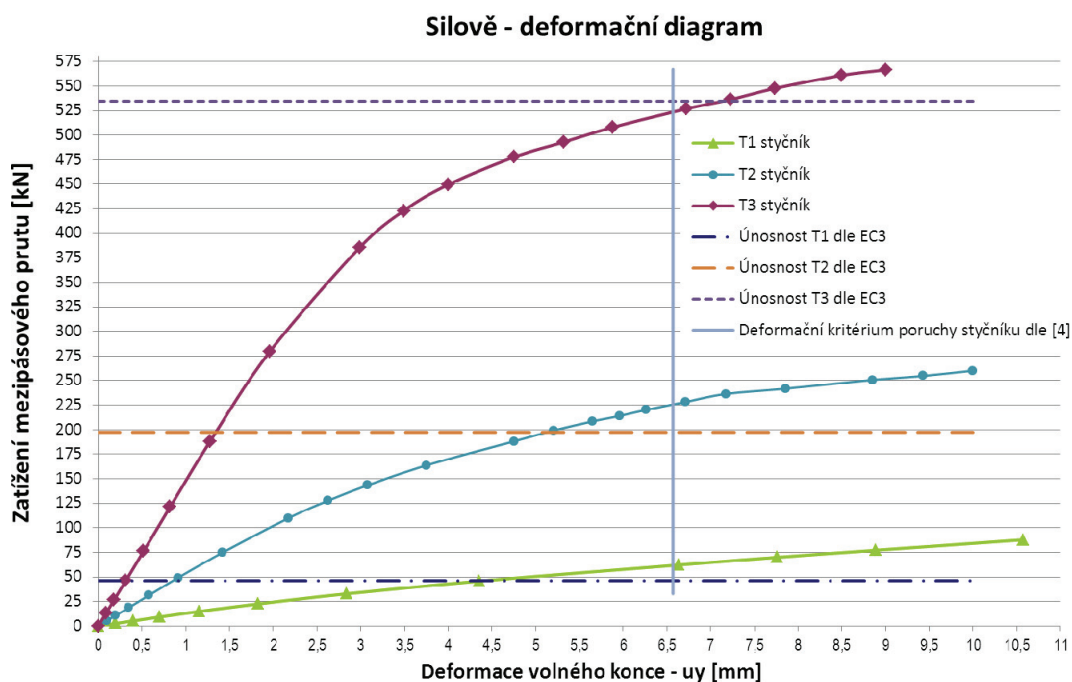
Ozn. modelu	d_0	t_0	d_1	t_1	β	$N_{1,Rd,t}$	$N_{1,Rd,1}$	$N_{1,Rd,2}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]
T1	219	4,5	44,5	4	0,203	94,798	46,091	128,941
T2	219	8	89	5	0,406	241,176	197,277	458,456
T3	219	8	194	6,3	0,886	670,472	534,602	999,331
T4	250	25	50	5	0,200	132,438	1031,037	804,8735

kde: $N_{1,Rd,t}$ – tahová únosnost mezipásového prutu $N_{1,Rd,t} = A_I f_{yd}$ (6)
 $N_{1,Rd,1}$ – únosnost na porušení povrchu pásu
 $N_{1,Rd,2}$ – únosnost na prolomení smykem

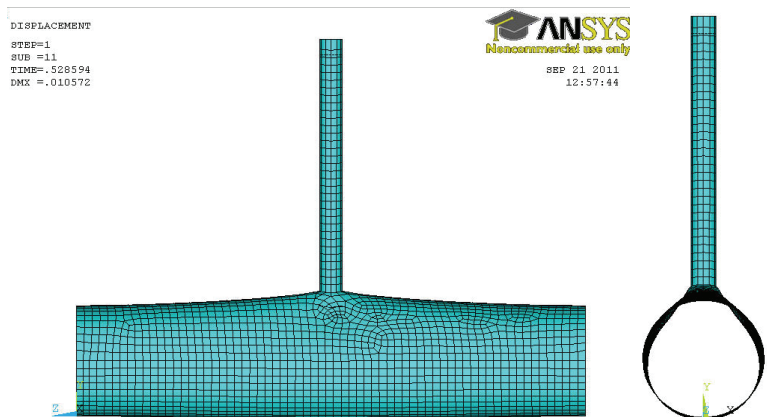
Nepodařilo se najít styčník, který by dle Eurokódu vyhovoval kritériu na prolomení pásu smykem. U těch styčníků, které toto kritérium splňovaly, byla únosnost styčníku větší, než únosnost výplňového prutu (viz např. T4) a nebyly proto ani dále řešeny.

4 VÝSLEDKY NUMERICKÉHO MODELOVÁNÍ

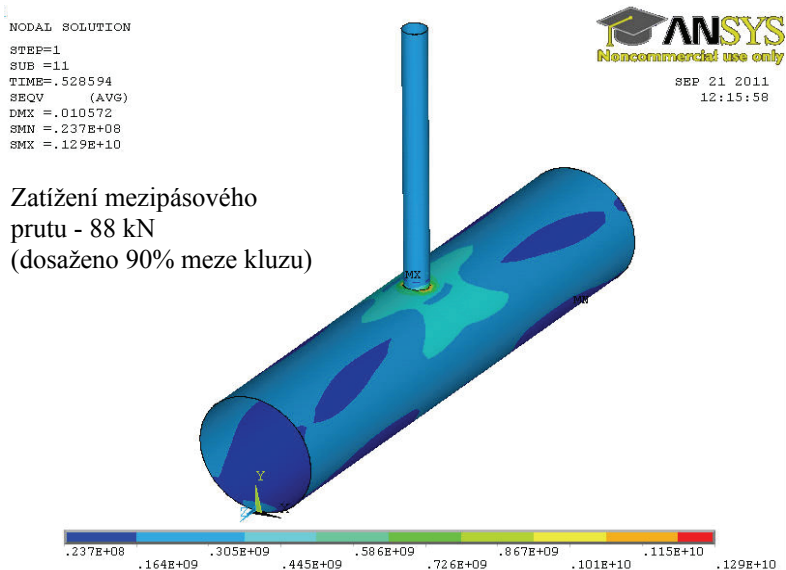
Výsledky jednotlivých modelů jsou prezentovány formou silově - deformačních diagramů (viz obr. 6) a dále pak grafickými výstupy z programu Ansys 12.0, konkrétně deformovaným tvarem a průběhem von Misesova napětí v jednotlivých modelech styčníků (obr. 7 až 12).



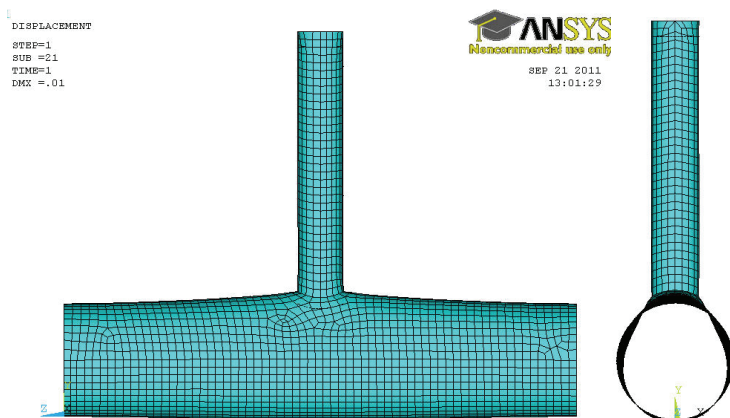
Obr. 6: Silově deformační diagramy jednotlivých modelů T - styčníků, srovnání s únosnostmi dle EC3 [7]



Obr. 7: Deformovaný styčník T1 (zvětšené měřítko)



Obr. 8: von Misesovo napětí [Pa] na styčníku T1 (Top Layer)



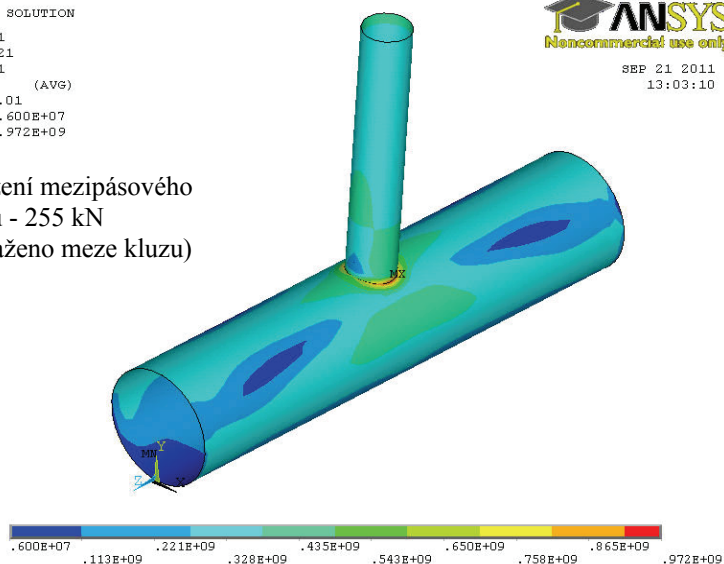
Obr. 9: Deformovaný styčník T2 (zvětšené měřítko)

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =21
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX =.01
SMN =.600E+07
SMX =.972E+09

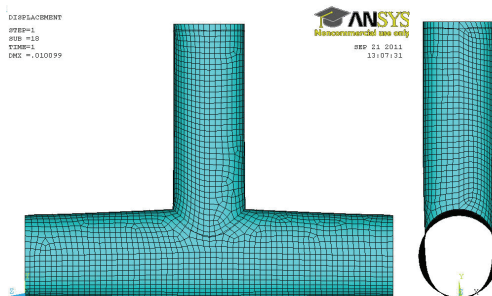


SEP 21 2011
13:03:10

Zatížení mezipásového
prutu - 255 kN
(dosaženo meze kluzu)



Obr. 10: von Misesovo napětí [Pa] na styčnicku T2 (Top Layer)



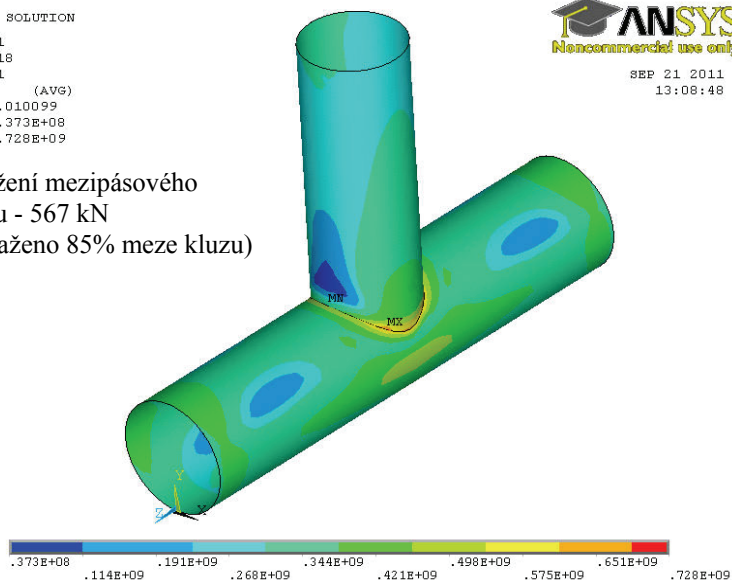
Obr. 11: Deformovaný styčník T3 (zvětšené měřítko)

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =18
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX =.010099
SMN =.373E+08
SMX =.728E+09



SEP 21 2011
13:08:48

Zatížení mezipásového
prutu - 567 kN
(dosaženo 85% meze kluzu)



Obr. 12: von Misesovo napětí [Pa] na styčnicku T3 (Top Layer)

5 ZÁVĚR

Výsledný numerický model vystihuje chování styčnicku. V další fázi výzkumu je nutné zavedení kritérií pro stanovení únosnosti styčnicku (lokální a globální přetvoření, vliv zde neuvažovaných koncentrací napětí, apod.). V mnoha pracích zahraničních autorů toto kritérium není jasně dáno (viz např. [2]). Výsledky byly prozatím porovnávány pouze s návrhovými postupy dle evropských norem, mohlo by být zajímavé porovnání také s jinými existujícími metodami.

Poznatky získané při tvorbě těchto modelů budou využity pro další ověření chování tohoto a jiných typů styčnicků. Současný model je v mnoha ohledech zjednodušený, bylo by např. vhodné ověřit vliv svaru na chování modelu, vliv tloušťky stěny mezipásového prutu nebo vliv zatížení pásu tahem nebo tlakem na únosnost styčnicku, apod. Pokročilejší modely by se také měly zaměřit na omezení nežádoucích špiček napětí v místě spoje. V dalším výzkumu se předpokládá vytvoření komplexnějších numerických modelů složitějších a netypických styčnicků. Po podrobnějším seznámení s touto problematikou by bylo vhodné navrhnout případné změny či doporučení pro navrhování nebo modelování těchto typů styčnicků, např. také v MKP programech běžně dostupných v inženýrské praxi (např. SCIA Engineer, Ing. Software Dlubal).

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za finanční podpory projektu specifického vysokoškolského výzkumu číslo SP2011/185 (Studentská grantová soutěž VŠB - TUO).

LITERATURA

- [1] Wardenier, J. *Hollow Sections in Structural Applications*. CIDECT, 2001. ISBN 0-471-49912-9
- [2] Salem, A. H., Soliman, E. A., Ibrahim, S. A. and Fakhry, K. F. Strength of hollow section T-joints under bending moments. In *Proceedings of Twelfth International Colloquium on Structural and Geotechnical Engineering*. Cairo - Egypt: Ain Shams University, 2007
- [3] de Lima, L. R. O., Vellasco, P. C. G. da S., da Silva, J. G. S., Neves, L. F. da C., Bittencourt, M. C. A numerical analysis of tubular joints under static loading. In *Proceedings of APCOM'07 in conjunction with EPMESC XI*, Kyoto, Japan. December 3-6, 2007.
- [4] Kvočák, V., Beke, P. Problematika konštrukčného riešenia uzlov uzavretých prierezov. *Konstrukce*. 1/2010, pp. II-V. ISSN 1213-8762.
- [5] Wald, F., Sokol, Z. *Navrhování styčnicků*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 144 pp. ISBN 80-01-02073-8
- [6] Odrobiňák, J., Vičan, J. Zavádzanie metódy komponentov pre polotuhý prípoj oceľ - drevo. Sborník prednášok: *Vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou "Drevostavby"*. Vydal: pre ŽU v Žiline - Miroslav Gibala, KNM, 2010. pp. 87-92. ISBN 978-80-970171-2-5
- [7] ČSN EN 1993-1-8, Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčnicků*. Český normalizační institut, 2006. 126s.
- [8] *Release 11.0 Documentation for ANSYS* [online]. [cit. 2011-9-15]. Dostupné z <<http://www.kxcad.net/ansys/ANSYS/ansyshelp>>
- [9] Lojik, O. *Vliv tuhosti styčnicku na chování prostorových prutových konstrukcí*. Praha, srpen 2007. 103s. Disertační práce k získání akademického titulu Ph.D. na Fakultě stavební České vysoké učení technické v Praze. Školitel Doc. Ing. Milan Vašek, CSc.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D., Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, FAST, ČVUT v Praze.

Prof. Ing. Stanislav Kmeť, Ph.D., Katedra kovových a dřevěných konstrukcí, SvF, TU v Košiciach.

Antonín LOKAJ¹, Kristýna VAVRUŠOVÁ², Petr AGEL³

**PEVNOST STĚNY OTVORU KOLÍKOVÝCH SPOJŮ
V CEMENTOŠTĚPKOVÝCH DESKÁCH VELOX**

**THE EMBEDMENT STRENGTH OF DOWEL JOINTS
IN CEMENT-SPLINTER BOARDS VELOX**

Abstrakt

Obsahem příspěvku je stanovení pevnosti stěny otvoru cimentoštěpkové desky VELOX WS v kolíkovém dvojstřížném spoji na základě laboratorních testů těchto spojů, prováděných s kolíky různých průměrů. Je určena závislost této pevnosti na průměru ocelového kolíku.

Klíčová slova

Cimentoštěpková deska, kolíkový spoj, pevnost stěny otvoru.

Abstract

The aim of this paper is determination of embedment strength of cement-splinter board VELOX WS in dowel dual-shear joint on the base of laboratory measurement of these joints with chosen diameters. Reliance of embedment strength on diameter of connecting element (dowel) is determined.

Keywords

Cement-splinter board, dowel joint, embedment strength.

1 ÚVOD

Cimentoštěpkové desky Velox se ve stavebnictví používají, mimo jiné i jako nosné a ztužující opláštění stěn dřevostaveb s dřevěným rámem (obr. 1, 2). Materiálové charakteristiky (fyzikální a mechanické) těchto desek jsou již poměrně detailně laboratorně stanoveny a známy. V českých normách pro navrhování dřevěných konstrukcí však nenalezneme údaje o pevnosti těchto desek v otláčení, což je nezbytný údaj pro správné nadimenzování hřebíkových přípojí těchto desek k dřevěnému nosnému rámu.

Předmětem tohoto příspěvku je proto stanovení pevnosti cimentoštěpkových desek v otláčení v kolíkových, případně hřebíkových spoích a stanovení závislosti pevnosti stěny otvoru na průměru kolíku. Pro testování byly zvoleny tři průměry kolíků: 6 mm, 8 mm a 12 mm. Tyto průměry kolíků

¹ Doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 302, e-mail: antonin.lokaj@vsb.cz.

² Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 375, e-mail: kristyna.vavrusova@vsb.cz.

³ Ing. Petr Agel, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: petr.agel@vsb.cz.

byly zvoleny záměrně tak, aby vzhledem k tloušťce testované desky (35 mm) docházelo primárně k otlacení otvoru v desce a ne k deformaci kolíku.



Obr. 1, 2: užití desek VELOX jako opláštění stěn dřevostaveb s dřevěným rámem

2 POPIS MĚŘENÍ

Laboratorní testování kolíkových spojů v cementoštěpkových deskách Velox WS, tloušťky 35 mm, bylo provedeno s kolíky o průměru 6, 8 a 12 mm, vždy na 56 vzorcích pro každý průměr kolíku.

Před osazením spojovacího prostředku byla zkušební tělesa klimatizována na konstantní hmotnost (výsledky dvou následujících vážení provedených v intervalu 6 hodin se vzájemně neodlišují více než 0,1% hmotnosti zkušebního vzorku). Vlhkost vzorků při laboratorním testování byla 12% (měřeno vpichovacím vlhkoměrem WHT 860).

Destruktivní testování

Destruktivní laboratorní testování, které již bylo podrobně popsáno v [1] bylo provedeno na hydraulickém lisu EU 40 v laboratořích Fakulty stavební dle normativních požadavků, uvedených v [2].

Spojovací prostředky

Jako spojovací prostředky byly pro testování zvoleny kolíky o průměru 6, 8 a 12 mm z oceli pevnostní třídy S235 s pevností v tahu $f_u = 360$ MPa.

Pevnost stěny otvoru

Pevnost stěny otvoru testovaných kolíkových spojů byla stanovena dosazením do následujícího vztahu dle [2]:

$$f_h = \frac{F_{\max}}{d t} \quad (1)$$

kde:

- d – průměr spojovacího prostředku v mm;
- $F_{\max}$ – maximální zatížení v N;
- t – tloušťka desky v mm.

Pro možnost porovnání výsledných hodnot pevností stěny otvoru, získaných na základě destruktivního testování, byly určeny i odhadnuté pevnosti stěny otvoru na základě normových vzorců (blíže popsáno v [1]):

Odhadnutá pevnost stěny otvoru:

$$f_{h,est} = \frac{F_{\max,est}}{d t} \quad (2)$$

kde:

- $F_{\max,est}$ - maximální odhadnuté zatížení v N;

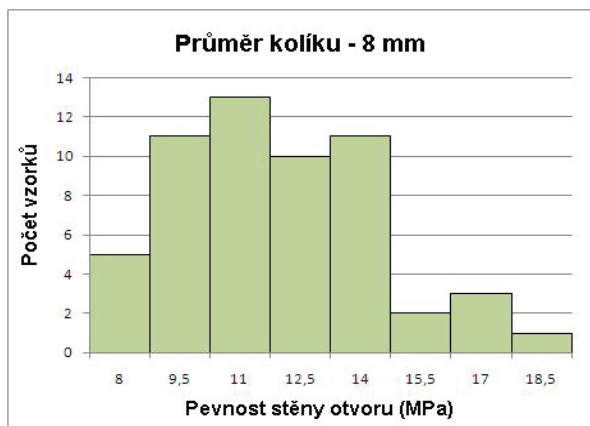
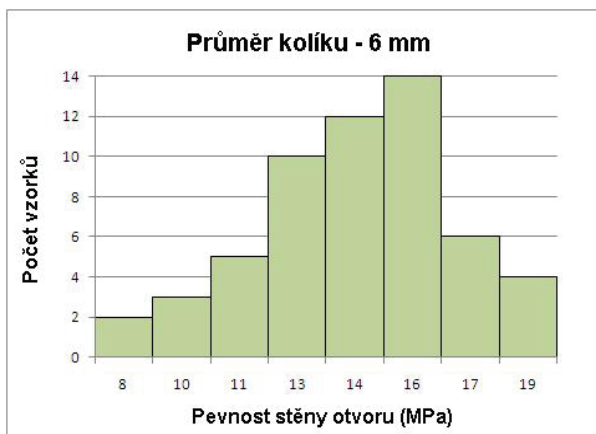
3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Tabulka 1 uvádí stručný přehled výsledků získaných při laboratorním testování kolíkových spojů vybraných průměrů, v cementoštěpkových deskách VELOX WS.

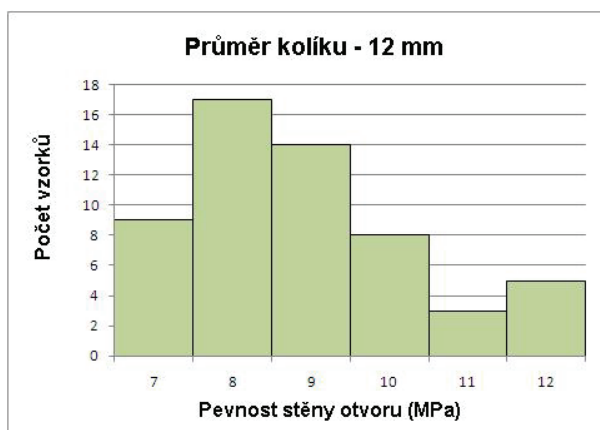
Tab. 1: Tabulka výsledných hodnot pevnosti stěny otvoru (f_h) kolíkových spojů vybraných průměrů v deskách VELOX WS (f_h – průměrná hodnota veličiny, SD - směrodatná odchylka, 5% - 5% kvantil)

Průměr kolíku [mm]	Odhadnutá pevnost stěny otvoru [MPa]	Výsledné statistické hodnoty [MPa]		
	$f_{h,est}$	f_h	SD	5%
6	16,87	14,76	2,65	10,41
8	14,61	12,63	2,64	8,30
12	11,93	9,41	1,57	6,82

Na základě výsledků laboratorního testování byly sestaveny histogramy pevnosti stěny otvoru v cementoštěpkových deskách VELOX WS pro jednotlivé průměry kolíku - 6 mm, 8 mm a 12 mm (obr. 3, 4 a 5).



Obr. 3, 4: Histogram naměřených hodnot a aproximace pevnosti stěny otvoru (f_h) s kolíkem o průměru 6 a 8 mm Gaussovým rozdělením



Obr. 5: Histogram naměřených hodnot a aproximace pevnosti stěny otvoru (f_h) s kolíkem o průměru 12 mm Gaussovým rozdělením

Obrázky 6 – 8 zachycují typickou deformaci stěny otvoru desky VELOX WS v kolíkovém spoji při destruktivním testování.



Obr. 6, 7: Deformace otvoru po destruktivním testování pro průměr kolíku 6 a 8 mm



Obr. 8: Deformace otvoru po destruktivním testování pro průměr kolíku 12 mm

Z výsledných hodnot destruktivního laboratorního testování byl dále sestaven graf závislosti pevnosti stěny otvoru $f_{h,05}$ na průměru kolíku d (obr. 9) a vytvořeny matematické funkce popisující tuto závislost:

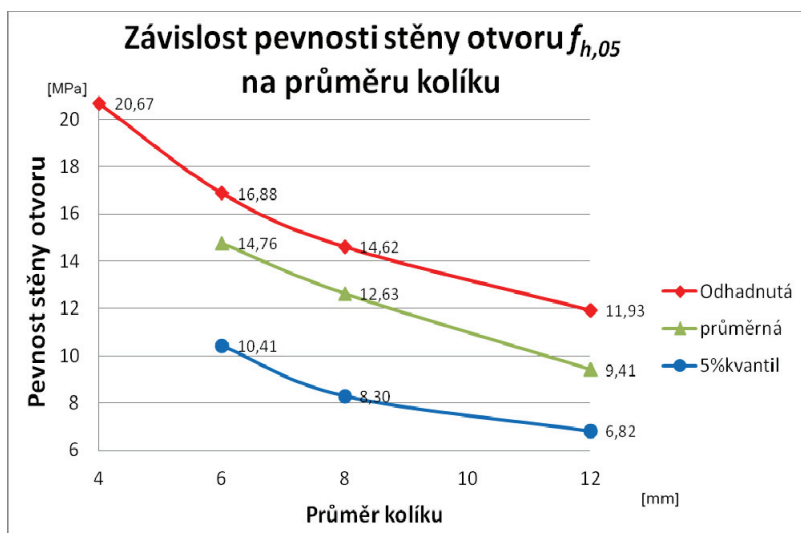
polynomičká funkce:

$$f_{h,05} = 0,1144 d^2 - 2,6567 d + 22,229 \quad (3)$$

mocninná funkce:

$$f_{h,05} = 29,956 d^{-0,601} \quad (4)$$

Hodnoty spolehlivosti pro stanovené matematické funkce jsou následující: polynomičká funkce: $R^2 = 1$, mocninná funkce $R^2 = 0,98$.



Obr. 9: Graf závislosti pevnosti stěny otvoru $f_{h,05}$ na průměru kolíku

4 ZÁVĚR

Z výše uvedených výsledků je patrné, že 5% kvantil pevnosti stěny otvoru $f_{h,05}$ se pro vybrané průměry kolíků pohybuje v rozmezí 6,8 až 10,4 MPa a nelineárně klesá se vzrůstajícím průměrem kolíku. Pokles pevnosti stěny otvoru je popsán pomocí matematických funkcí (3) a (4).

Ze srovnání hodnot odhadnuté pevnosti stěny otvoru $f_{h,est}$ a 5% kvantilu pevnosti stěny otvoru z výsledků destruktivního testování $f_{h,05}$ uvedené v tabulce 1 vyplývá, že pokles pevnosti stěny otvoru se vzrůstajícím průměrem kolíku je u obou srovnávaných pevností nelineární, avšak hodnoty pevnosti stěny otvoru $f_{h,05}$ jsou nižší přibližně o 40% než hodnoty odhadnuté $f_{h,est}$.

Rozdíl těchto hodnot je zřejmě způsoben nepřesným odhadem pevnosti stěny v místě otvoru, který vycházel ze vztahů hodnot pro třískové desky. Tyto desky se svou strukturou a vlastnostmi nejvíce podobají cementoštěpkovým deskám VELOX WS, pro které zatím v našich normách chybí hodnoty pevnosti stěny v místě otvoru kolíkového spoje.

PODĚKOVÁNÍ

Při řešení byly využity výsledky dosažené za finančního přispění MŠMT, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

LITERATURA

- [1] LOKAJ, A., AGEL, P., VAVRUŠOVÁ, K., Laboratorní testování spojů kolíkového typu v cementoštěpkových deskách Velox, In SBORNÍK vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Řada stavební, ročník XI/1, s. 23 – 28, ISSN 1213-1962.
- [2] ČSN EN 383 Dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Stanovení pevnosti stěny otvoru a charakteristik stlačitelnosti pro kolíkové spojovací prostředky, ČNI 06/2007.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Jaroslav Sandanus, Ph.D., Katedra kovových a drevených konstrukcí, Materiálovo-technologická fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave.

Ing. Renáta Korenková, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství a urbanizmu, FAST, ŽU v Žiline.

Vít RUPRICH¹

**PARTNERSTVÍ VEŘEJNÉHO A PRIVÁTNÍHO SEKTORU V PROCESU OBNOVY
PRŮMYSLOVÉ AGLOMERACE**

**PARTNERSHIP OF A PUBLIC AND PRIVATE SECTOR IN A PROCESS
OF RENOVATION OF INDUSTRIAL AGGLOMERATION**

Abstrakt

Pojem **PPP** (Public Private Partnership) je obecně užívaný termín, který popisuje širší skupinu projektů, na nichž se společně podílí soukromý a veřejný sektor, a které směřují k uspokojování služeb tradičně zajišťovaných veřejným sektorem. Provedený výzkum na úrovni obcí Moravskoslezského kraje jasně ukázal, že finanční zdroje samosprávy pro rozvojové projekty jsou omezené a zároveň existuje malé povědomí o možnosti spolupráce s privátním investorem na principu financování formou PPP. Hlavním poznatkem je, že obce nejsou připraveny na financování projektů na základě koncese a tudíž je navrhován model PPP vycházející z dlouhodobých nájemních smluv.

Klíčová slova

Agglomerace, brownfield, PPP (Public Private Partnership), územní plán, hypotéza, model.

Abstract

The notion of PPP (Public Private Partnership) is generally describing a wider group of projects, in which both the private and the public sector participate, and which aim at satisfying services traditionally supplied by the public sector. A research that was carried out on the municipality level of the Moravian-Silesian region clearly indicated that financial resources of municipal authorities for development projects are limited and at the same time there is a little awareness of a chance to cooperate with a private investor on the principle of PPP financing. The main finding is that municipalities are not ready for project financing on the concession basis and therefore a PPP model is suggested that comes from long-term lease contracts.

Keywords

Agglomeration, brownfield, PPP (Public Private Partnership), regional plan, hypothesis, model.

1 ÚVOD

Na zdevastování krajiny se často v rámci průmyslové aglomerace za celou dobu extenzivního rozvoje nepodílel jen privátní vlastník. V historickém vývoji nelze opomenout, že na vývoj krajiny působil i veřejný sektor - stát, regionální a obecní samospráva. Veřejný sektor, vlastník je subjektem veřejného vlastnictví, jehož posláním je produkce veřejných statků nebo poskytování veřejné služby. Proto tu existuje společná odpovědnost privátního vlastníka a samosprávy za obnovu průmyslové aglomerace v intencích trvale udržitelného rozvoje. Nejen společná odpovědnost, ale dosažení

¹ Ing. Vít Ruprich, MBA, Sekce PPP, Sdružení pro rozvoj Moravskoslezského kraje, Výstavní 2224/8, 709 00 Ostrava - Mariánské Hory, tel.: 739 602 923, e-mail : vir.ova@volny.cz.

synergických efektů při využití privátních a veřejných finančních zdrojů, dává této spolupráci nové dimenze.

Avšak spolupráce obou těchto partnerů, na první pohled se zcela odlišnými zájmy, může přinést partnerství výhodné pro oba dva, a tedy i pro občany žijící v daném území. Procesy a oblasti spolupráce, jejich formy a nástroje v rámci regenerace a budoucího využití opuštěných nejen průmyslových ploch, to jsou témata, kterým se chci v této práci věnovat. Tato forma spolupráce na území České republiky může vycházet z poznatků starých členských zemí EU a v současné době může být motorem rychlejší obnovy a rozvoje krajiny v rámci průmyslové aglomerace.

Cílem je prozkoumat výhody a nevýhody spolupráce privátního developera a veřejné správy při obnově brownfields a v souvislosti s tím naplnit tyto specifické cíle:

- Prozkoumat výhody a nevýhody řešení obnovy a rozvoje možnými partnery samostatně,
- Popsat možné nástroje jednotlivých partnerů,
- Analyzovat formy partnerství veřejného a soukromého sektoru - Public Private Partnership (dále PPP),
- Identifikovat soubor problémových oblastí,
- Sestavit priority a předpoklady jejich naplnění,
- Navrhnout zásady modelu partnerství platné pro lokální, maximálně regionální úroveň.

2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY PPP

Asociace PPP definuje pojem **PPP** (Public Private Partnership) jako širší skupinu projektů, na nichž se společně podílí soukromý a veřejný sektor, a které směřují k uspokojování služeb tradičně zajišťovaných veřejným sektorem. PPP obecně označuje formy spolupráce mezi orgány veřejné správy a podnikatelským sektorem za účelem zajištění financování, výstavby, obnovy, správy či údržby veřejné infrastruktury nebo poskytování veřejné služby.

PPP jsou obvykle charakterizována následujícími prvky:

- Relativně dlouhodobým trváním vztahu týkajícího se spolupráce mezi veřejnoprávním a soukromým partnerem na různých aspektech plánovaného projektu,
- Metodou financování projektu - částečně soukromým sektorem - někdy prostřednictvím složitých dohod mezi různými stranami, částečně veřejnými prostředky,
- Významnou úlohou ekonomického provozovatele, který se účastní různých fází projektu (návrh, vyhotovení, provedení, financování). Veřejnoprávní partner se soustředí hlavně na definování cílů, které je nutné z hlediska veřejného zájmu, kvality poskytovaných služeb a cenové politiky dosáhnout, a přebírá odpovědnost za dohled nad jejich dodržením,
- Rozdělením rizik mezi veřejnoprávního partnera a soukromého partnera, na něhož jsou přenesena rizika obvykle nesená veřejným sektorem. PPP však nemusí nutně znamenat, že by soukromý partner nesl veškerá rizika spojená s projektem či jejich podstatnou část. Konkrétní rozdělení rizika se určuje případ od případu podle možnosti zúčastněných stran toto riziko vyhodnotit, kontrolovat jej a vyrovnat se s ním.

Usměrňování územního rozvoje ve smyslu zamezování konfliktů a disparit, hájení a dosahování společných zájmů soukromé a veřejné sféry, to je oblast územního rozvoje, kterou se zabývá územní plánování. Územní plánování řeší dlouhodobě a koncepčně využití území a stanoví principy jeho organizace. Základním postulátem územního plánování je zajišťování trvale udržitelného rozvoje území, což ve své podstatě znamená dosažení rovnovážné úrovně mezi ekonomickým, sociálním a ekologickým využitím území tak, aby nebyly současným rozvojem ohroženy potřeby budoucích generací.

3 URBANISMUS A EKONOMIKA

Pokud se zabýváme sídelní (průmyslovou) krajinou podrobněji, lze dojít k závěru, že zde dochází k prolínání dvou pojmů – **urbanismu a ekonomiky**. Aglomerace (v širším pojmu město) v sobě zahrnuje prostorové ekonomické systémy, v nichž se jednotliví partneři snaží maximalizovat svůj zisk exploatací potenciálu jednotlivých pozemků. Proces urbanizace území chápe Kuta² jako mnohostranný sociálně ekonomický proces, vyznačující se stěhováním obyvatelstva do měst, růstem měst, změnami funkčního využití území sídel, koncentrací, intenzifikací a diferenciací městských druhů činností (funkcí) nebo výroby v širokém slova smyslu, vznikem nových forem a prostorových struktur osídlení a rozšířením městského způsobu života se specifickou strukturou styků, kulturou, systémem hodnotových orientací atd. Dochází zde tudíž ke střetu dvou zájmů, tj. zájmů tržní ekonomiky a zájmů rozvoje území ve jménu obecního prospěchu.

Aktuální urbanistická teorie se neobejde bez vnímání ekonomiky, která především definuje, jak jednotlivé segmenty urbanisticky - ekonomických systémů navzájem spolupracují, jak aglomerace, města fungují. Urbanisté tedy mohou prognózovat, jak se dané území bude ve budoucnosti vyvíjet a s jakými efekty. V této souvislosti lze hovořit o tzv. pozitivní urbanistické ekonomice.

Vedle toho lze mluvit i o tzv. normativní urbanistické ekonomice, která se zabývá tím, jak by se měli urbanisté při definování rozvoje aglomerací a měst chovat, o co a za jakých principů usilovat.

Blíže pohled na průmyslovou a sídelní aglomeraci jasně ukazuje ekonomické strukturální změny, jež měly za následek redukci průmyslové výroby ve městech, s následným opouštěním průmyslových areálů a vzniku brownfields. Tyto opuštěné průmyslové areály mají negativní vliv na rozvoj města nebo jeho částí. Na druhou stranu představují možný rozvojový prostor pro umístění nového druhu podnikání. Avšak přesto, že je lokalizace takovýchto pozemků zahrnuta v průzkumech a rozbořech jednotlivých územních plánů obcí a měst, a tyto pozemky mají navrženy nové funkční využití, není patrné, že se jedná o brownfield. Proto v průběhu hledání nového využití a formulování nové strategie využití pozemku se může dojít k tomu, že je optimální jiné využití pozemku, než je zaneseno v územně plánovací dokumentaci.

Identifikace území brownfieldů je v současné době obsažena v průzkumech a rozbořech územních plánů jednotlivých obcí. Ve schválených územních plánech (ÚPn) jsou tato území označována převážně jako území přestavbová, nebo území transformace. V některých ÚPn je pro tato území pouze navrženo nové funkční využití bez toho, aby bylo zdůrazněno, že se jedná o plochy bývalých brownfieldů. Nicméně stávající platný stavební zákon vymezuje pro územní plán pojem „plocha přestavby“. Toto určení plně postihuje problematiku brownfieldů. Může však zahrnovat i jiná území, která nelze přímo jako brownfieldy označit.

U nově pořizovaných územně analytických podkladů (UAP) je požadována identifikace průmyslových území s tím, že součástí UAP je i tzv. problémový výkres, který by měl poukázat na zjištěné problémy a upozornit na nutnost řešení takových lokalit nejen z hledisek ekologických, ekonomických a sociálních, ale zejména z hledisek urbanistických.

Údaje o těchto územích jsou však na úrovni územně plánovacích dokumentací jednotlivých stupňů (územní plán a regulační plán). U zásad územního rozvoje se podobné informace dají očekávat jen velmi sporadicky a nelze od nich očekávat vyčerpávající informaci, která je nutná pro další zpracování problematiky jednotlivých brownfieldů.

Důležité však je, že pro všechna území, tedy i pro plochy brownfieldů, je ve schválených územně plánovacích dokumentacích stanoveno budoucí funkční využití, tedy názor na to, zda budou tato území nadále využívána pro stávající účel, nebo zda budou přeměněna na jiné stavební, nebo nestavební využití.

² Kuta, V. Rozvojové problémy ostravské aglomerace. Sdružení pro rozvoj severní Moravy a Slezska, Ostrava, 2001.

4 BROWNFIELD – REGENERACE A VYUŽITÍ FORMOU PPP

Existuje mnoho definic pojmu brownfield – hnědé pole. Vládní agentura na podporu podnikání a investic CzechInvest definuje brownfield jako nemovitost (pozemek, objekt, areál), která:

- je nedostatečně využívaná, je zanedbaná a případně i kontaminovaná,
- nelze ji vhodně a efektivně využívat, aniž by proběhl proces její regenerace,
- vzniká jako pozůstatek průmyslové, zemědělské, rezidenční, vojenské či jiné.

Opětovné využití v minulosti již urbanizované oblasti je v současné době stále více aktuální a klade důraz i na roli veřejné správy při řešení tohoto území. Na úrovni obcí, měst a krajů, ale mnohdy i státu, znamenají brownfields znehodnocená aktiva, která lze jen s velkými náklady znovu zapojit do ekonomiky, a ve svém důsledku jsou negativními náklady pro veřejné rozpočty. Existuje zde i hodnotový rozpor mezi opuštěnými, mnohdy ekologicky znehodnocenými plochami a záborem stále nové zemědělské půdy (greenfields) využívané pro nové investice a to celé v kontextu trvale udržitelného rozvoje.

Omezení pro opětovné využití brownfields:

- Nákladová mezera při investicích do brownfield a greenfield, která představuje zároveň jakýsi prvek pozitivní diskriminace při možné podpoře brownfield. Kadeřábková a Piecha³ uvádějí, že vládní agentura CzechInvest stanovuje v rámci operačního programu Nemovitosti vzorec, jehož smyslem je definování tržní hodnoty nemovitosti před a po zhodnocení. Rozdíl těchto hodnot tvoří nákladovou mezeru vyjádřenou vzorcem:

$$NM = N_{\dot{U}} + N_t + N_V - C_p \quad (1)$$

kde:

- $N_{\dot{U}}$ - náklady na nabytí nemovitosti - cena obvyklá,
- N_t - náklady na technickou přípravu území,
- N_V - náklady na výstavbu, rekonstrukci objektu,
- C_p - prodejní cena obvyklá nemovitosti.

- Mnoho uchazečů pro vyjímání půdy ze zemědělského půdního fondu,
- Vyšší nároky na prostor při nových investicích,
- Lokalizace mimo obytná území z důvodu ochrany zdraví.

Model Public-Private-Partnership (dále PPP) není cestou neprozkoumanou. Velmi dobré zkušenosti s tímto finančním nástrojem má například Velká Británie, které se podařilo vrátit takto do života zajímavé brownfieldy. V České republice se k této metodě přikročilo jen v nemnoha lokalitách, a většinou ne na brownfieldech.

Avšak například šetření provedené Svazem měst a obcí České republiky mezi obecní samosprávou zmiňuje tuto problematiku jako jednu z důležitých k řešení, a to hlavně po úbytku finančních prostředků v následujícím plánovacím období EU. Základními cíly jsou zatraktivnit brownfieldy investorům a napomoci veřejné správě bezpečnou a jednoduchou formou využít dané nemovitosti pro požadovaný rozvoj území. Přitom je potřeba si uvědomit množství specifik, které jsou vlastní pouze brownfieldům. Proto je nutné se na formu PPP projektu dívat z nového úhlu. Bohužel dnes je považován za PPP projekt většinou případ koncese uzavřené mezi veřejným a soukromým subjektem. Toto je však tak řídký a složitý právní vztah, že je pro účely regenerace brownfieldu takřka nepoužitelný. Je nutné analyzovat možnosti, jak za stávajících legislativních

³ Kadeřábková B., Piecha M. Brownfields: jak vznikají a co s nimi. C.H.Beck, Praha, 2009, ISBN 978-80-7400-123-9.

podmínek provést regeneraci formou PPP tak, aby byla právně co nejčistší, srozumitelná a jednoduchá z hlediska rozhodovacích procesů municipality ale i investora.

5 VÝZKUM UPLATNĚNÍ PPP V PROCESU OBNOVY PRŮMYSLOVÉ AGLOMERACE V RÁMCI MSK

Jako zdroj pro opravdu kvalitní rozhodnutí při definování modelu spolupráce veřejného a soukromého sektoru při možném financování infrastrukturního projektu v postiženém Moravskoslezském kraji lze využít výsledky provedeného výzkumu mezi obcemi a městy kraje.

Při diskusích s odborníky jaký zvolit nástroj výzkumu, bylo nakonec rozhodnuto zvolit dotazník pro zjištění zájmu obcí, měst a obvodů Statutárního města Ostravy na financování investičních projektů formou PPP. Cílem dotazníku bylo zjistit pro zadavatele, zda je samospráva v rámci Moravskoslezského kraje připravena a ochotna financovat investiční projekty formou spolupráce s privátním sektorem.

Dotazník zahrnuje jednoduché otázky tak, aby byl jednoduše pochopitelný i neodborníkům. Zájemovou a cílovou skupinu tvořili starostové a primátoři obcí, městysů a měst Moravskoslezského kraje. Způsob výběru byl realizován na základě poskytnuté databáze vedením Moravskoslezského kraje. Starostové a primátoři byli kontaktováni písemně, telefonicky a s představiteli velkých měst byly uskutečněny osobní rozhovory. Shromažďování informací proběhlo na jaře roku 2010 s tím, že mnohé docházely ještě v říjnu. Na základě diskusí s vedením Statutárního města Ostravy proběhlo ještě v měsíci září až říjen dotazníkové šetření mezi starosty 23 městských obvodů. Následně probíhalo upřesňování odpovědí a vyhodnocování dotazníkové akce, poněvadž míra návratnosti se snižovala s blížícím se termínem komunálních voleb v říjnu 2010.

Cílem realizovaného výzkumu bylo potvrzení nebo vyvrácení definovaných hypotéz a shrnutí dalších informací, a to i osobní návštěvou, ohledně informovanosti, připravenosti a ochoty samosprávy pustit se do realizace investičních projektů, převážně infrastrukturních, formou spolupráce s privátním investorem, developerem.

Vytvoření plánu výzkumu:

- zvolená metoda: písemné, a jako doplňující osobní, dotazování,
- typologie sesbíraných údajů: vlastní primární výzkum, následně sekundární,
- výzkumný nástroj: dotazník pro zjištění zájmu,
- výběr vzorku: nereprezentativní výběr metodou vhodného úsudku,
- velikost souboru: 299 obcí a měst Moravskoslezského kraje,
- cílová úroveň: starostové a primátoři obcí a měst na území Moravskoslezského kraje,
- časový harmonogram:
 - sběr dat v rozmezí červen až říjen 2010,
 - zpracování dat postupně říjen až listopad 2010,
 - analýza výsledků a dat postupně listopad 2010 až leden 2011.

Ze zjištěných odpovědí dotazníkového průzkumu mezi obcemi v Moravskoslezském kraji vyplývá nedostatek vlastních finančních zdrojů na infrastrukturní akce. Mimo vlastní zdroje využívají obce především státní dotace, ale v současné době i zdroje EU. Informovanost, případně využití zdrojů od privátních investorů je na nízké úrovni, avšak z toho vyplývá zájem o větší informovanost.

V problematice brownfield se jedná o plochy, které nemají ekologické limity, mnohé jsou ve vlastnictví i soukromých vlastníků, nevyžadují změnu územního plánu.

Problematika využití soukromých investorů pro spolupráci s veřejnou správou není dosud využívána, obce nemají dostatečné informace o této možnosti.

Lze konstatovat, že na základě popsanych výsledků provedeného dotazníkového průzkumu mezi obcemi v Moravskoslezském kraji byly definované hypotézy, až na výjimku v případě hypotézy č. 3, potvrzeny:

„Starostové obcí MSK pocítují pokles daňových příjmů, které mají dopad do investičních zdrojů obcí.“

Tato hypotéza byla potvrzena nejen na základě provedeného dotazníkového šetření, ale i na základě osobních rozhovorů se starosty na Kongresu starostů a primátorů 15. června 2010 v Klimkovicích, kde byla realizována přednáška na téma Public-Private-Partnership. Tuto tendenci potvrzují i rozhovory s vedením Moravskoslezského kraje.

Tato definována hypotéza byla potvrzena.

„Obce a města MSK dosud nerealizovala projekt a nemají podrobnější informace o realizaci investičních projektů formou PPP.“

Z provedeného výzkumu vyplynulo, že 87% obcí nemá vůbec žádné zkušenosti se soukromým investorem v rámci realizace investičních projektů. Jedná se většinou o malé obce, maximálně do úrovně tzv. trojkových obcí. To se projevilo i v informovanosti o metodě PPP, kde většina tazatelů má zájem dozvědět se více informací, a to na základě osobního kontaktu, osobní konzultace. Nezanedbatelné procento má rovněž zájem o popsání, vysvětlení a navržení modelu spolupráce. Tuto problematiku lze definovat jako podstatnou pro další rozpracování a proto optimálním výstupem je navrhnout všeobecný, univerzální model spolupráce.

Tato hypotéza se potvrdila s tím, že je platná pro obce do úrovně trojkových obcí. Specifické je statutární město Ostrava, které nebylo součástí šetření pro své specifické postavení.

„Obce a města MSK mají připravené investiční projekty (alespoň studie proveditelnosti), které mohou nabídnout ke spolupráci soukromému partnerovi.“

Z provedené dotazníkové akce vyplývá, že většina obcí nemá připravené investiční projekty do etapy studie proveditelnosti. Týká se to především malých obcí, města, která k tomu mají potřebný aparát, mají mnohdy několik připravených projektů. Nepřipravenost vyplývá i z nedostatku finančních prostředků na zadání takových to studií proveditelnosti. Města, případně větší obce, mají připravených několik takových projektů. Jedná se většinou o projekty, které chtěly uplatnit pro spolufinancování ze zdrojů EU.

Tato hypotéza nebyla potvrzena, poněvadž většina obcí, 62%, nemá připravené projekty, natož projektové listy.

„Obce a města mají zmapované tzv. brownfieldy na svém území, které mohou nabídnout soukromému investorovi v rámci PPP.“

Z odpovědí jednotlivých obcí v rámci dotazníkového šetření lze vysledovat, že obce mají přehled o postižených lokalitách na svém území. To jednoznačně vyplývá i z plánovacích dokumentů tzv. trojkových obcí. Více jak polovina těchto lokalit však není ve vlastnictví obce, což následně dokazuje i zjištění z Národní databáze brownfield. Pokud na území obce brownfield leží, obec o něm má povědomí. Území je jasně definováno v územním plánu, případně se jeho změna připravuje. Většina takto definovaných lokalit nemá vážné ekologické limity, tzn. nákladová mezera, která by znevýhodňovala vstup privátního investora, není podstatná.

Tato hypotéza se potvrdila, obce mají zmapované brownfieldy na svém území a lokality, které vlastní chtějí nabídnout privátním investorům.

Jaké typy projektů možných pro spolupráci se soukromým sektorem z dotazníků obcí MS kraje vyplynuly -

- Infrastruktura - rekonstrukce komunikací, chodníků, veřejného osvětlení, přechod pro chodce a umístění zastávek, přednádražní prostor, kanalizace,
- Rekonstrukce a výstavba školských zařízení – základní školy, mateřské školy, dětská hřiště, sportovní víceúčelové hřiště,

- Rekonstrukce kulturních staveb – kulturní dům, rekonstrukce zámku,
- Výstavby parkovacích objektů,
- Sportovní stavby – sportovní hala, zimní stadion, krytý bazén, potápěčské zázemí na břidlicovém lomu,
- Sociální stavby – polyfunkční dům, bytová výstavba, revitalizace bývalého areálu nemocnice, domov seniorů.

6 IDENTIFIKACE PROBLÉMOVÝCH OBLASTÍ, NÁVRH OPATŘENÍ A PŘEDPOKLÁDANÝ PŘÍNOS PRO MSK

Hlavní přínosem tohoto výzkumu bylo ověření definované hypotézy o smyslnosti partnerství veřejné správy a privátního developera při obnově průmyslové aglomerace v Moravskoslezském kraji. Moravskoslezský kraj se po krátkém období konjunktury na začátku tohoto tisíciletí stává stále více ovlivněn dopadající celosvětovou recesí a definovaný model partnerství může napomoci řešit mnohé infrastrukturní projekty, které tento kraj potřebuje k posílení ekonomického potenciálu.

Investiční procesy, které jsou ve formě strategických dokumentů nebo byly již započaty se tak náhle ocitají v ohrožení. Toto ohrožení vidím v několika oblastech:

- Veřejná správa a soukromý developer se ještě nenaučili spolupracovat na PPP projektech, a to jak z důvodů legislativních, tak i z důvodů neznalosti této problematiky,
- Soukromým developerům chybí dlouhodobé finanční zdroje, které byly finančními institucemi zastaveny nebo pozastaveny v důsledku přezkoumávání finanční návratnosti,
- Veřejné sféře chybí připravenost projektů a ochota jít do nových způsobů financování,
- Ani jeden z partnerů doposud nezrealizoval v kraji reálný projekt v kombinaci i s využitím zdrojů z fondů Evropské unie.

Ohrožení PPP projektu existují na obou stranách investičního procesu, to je jak na straně veřejné správy, tak i na straně soukromého developera. Tato ohrožení je potřeba umět identifikovat a reagovat na ně.

Podle čeho by se tedy měl subjekt veřejné správy rozhodovat při volbě finančního zdroje:

- Chci nemovitost vlastnit, nebo snesu kreditní riziko vlastníka?
- Chci si zachovat kontrolu nad využitím nemovitosti (cenou služby)?
- Chci nezatížit svůj rozpočet nebo tuto investici nevykazovat jako dluh?
- Chci se o projekt do budoucna starat a zodpovídat za jeho vývoj?
- Subjekt soukromé sféry musí vnímat následující ohrožení:
- Realizovat potřebné projekční práce v rámci realizace projektu,
- V rámci potřeby zajistit demolici zrekonstruované stavby v lokalitě určené pro výstavbu,
- Obstat potřebná povolení pro výstavbu a provozování projektu,
- Zajistit finanční zdroje pro financování projektu,
- Vystavět budovy zajistit jejich fungování pro uživatele,
- Podstoupit riziko v návaznosti na výše uvedené činnosti,
- Uhradit pronajimateli smluvní nájemné po celou dobu nájemního vztahu.

Tyto všechny argumenty následně způsobují, že průmyslová aglomerace jako celek čeká na obnovu a rozvoj a krajina se dosud nezbavila vředů, které na ní zanechal minulý nešetrný rozvoj.

7 NÁVRH ZÁSAD MODELU SPOLUPRÁCE A OBECNÝCH PRINCIPŮ PRO PARTNERSTVÍ

Specifické propojení spolupráce veřejného sektoru se soukromým při řešení problematiky regenerace brownfieldů zatím nebylo podrobně zpracováno a tedy do jisté míry může být unikátní.

Jedná se o spolupráci veřejného subjektu a soukromého subjektu (investora), do které veřejný subjekt vkládá vlastněnou nemovitost na dobu určenou smlouvou a investor projektový záměr. Výsledkem je realizace projektového záměru investora na dané nemovitosti. Průběh a ukončení spolupráce těchto dvou subjektů je definováno smlouvou, ve které je tento čas ohraničen vyrovnáním vzájemných pohledávek – konečný prodej nemovitosti, dosud vlastněné veřejným subjektem, investorovi po kolaudaci záměru do data určeného smlouvou. Tím končí spolupráce těchto dvou subjektů a jediným vlastníkem realizovaného projektu se stává investor.

Očekávaným výsledkem je, že veřejný subjekt vyřeší problém s nevyužívanou nemovitostí, tj. brownfieldem, investor jej nebude muset uhradit hned, ale může ho splácet po dobu určenou smluvním vztahem. Po ukončení spolupráce investor vlastní a provozuje činnost na pozemcích a v budovách, které mu patří a které mu tímto způsobem prodal dosavadní vlastník.

Zásady nového modelu:

- Veřejný vlastník má po celou dobu pod kontrolou, zdali se realizuje požadovaný (investorem deklarovaný) projekt – důležité např. u obcí, které mají zájem, aby regenerací BF vznikla např. sociálně potřebná služba v dané lokalitě (typicky dům s pečovatelskou službou, sportoviště, obchodní pasáž). Vlastník je totiž účastníkem povolenáčního řízení (územního, stavebního, apod.),
- Jednoduchost pro pochopení i pro schvalovací proces municipalit,
- Po dobu smluvního nájmu tj. realizace a vlastního provozu nenese vlastník náklady s držbou nemovitosti (např. daň z nemovitosti, konzervační práce, stavební úpravy, hlídací službu, temperování),
- Formou PPP regenerace získává municipalita dlouhodobý socioekonomický i finanční užitek oproti krátkodobému finančnímu užítku formou okamžitého prodeje dané nemovitosti,
- Dle nově navrhované metodiky nemusejí obce platit nákladné konzultantské a právní služby,
- Investor má rozloženy náklady na nákup brownfieldu v dlouhodobém pronájmu,
- Rizika spojená s nepředvídatelnými jevy (např. kontaminace) nesou společně vlastník i investor.
- Jaké jsou tedy základní rozdíly mezi možným modelem PPP regenerace brownfieldů a dnes standardně používaným modelem koncese?
- Na rozdíl např. od dálnic, parkovacích domů realizovaných koncesí je žádoucí naplnění potřeby veřejnosti, naproti tomu brownfield již existuje a z hlediska veřejného zájmu se primárně jedná o odstranění negativního jevu s tím, že výsledný projekt je „třešničkou na dortu“,
- Budoucím vlastníkem projektu je investor, nikoliv veřejný sektor,
- Nikoliv vlastník (municipalita), ale investor definuje své zájmy. Vlastník pouze vymezuje zájmy územního rozvoje a společenských potřeb formou územně plánovací dokumentace a vzorovou nájemní smlouvou s následnou opcí, apod.,
- Postupuje se standardně dle zákona o obcích s tím, že investor je pro daný projekt aktivně vyhledáván, nevyhlašuje se tedy žádné výběrové řízení,
- Nový model by měl být co nejsrozumitelnější především pro zastupitele, kteří o daném projektu hlasují. Právní vztah je co nejjednodušší, aby se zamezilo

netransparentnosti a pochybnostem zastupitelů, o čem při schvalování PPP regenerace vlastně hlasují,

- V procesu prosazování nového modelu PPP by měly být aktivní zájmová sdružení. Toto je náplní i Sekce PPP při Sdružení pro rozvoj MS kraje.

8 NÁMĚTY PRO REALIZACI A ROZHODOVACÍ PROCESY VEŘEJNÉ SFÉRY

Z pohledu veřejné sféry, jak již bylo zmíněno, je problematika PPP při řešení brownfieldů dosud ne zcela prozkoumána a využita. Subjekty, které tuto problematiku mají na starosti na úrovni:

- Státu – MPO ČR, Vládní agentura pro podporu podnikání a investic CzechInvest a MMR ČR. V novém konceptu „New CzechInvest“ je problematika zmíněna a bude na základě konzultací rozpracována.
- Samosprávy – obec, městys, město a kraj, si dosud tuto problematiku neosvojili a maximálně využívají variantu prodeje brownfieldu soukromému investorovi.

Výsledky výzkumu provedeného formou ověření stanovených hypotéz na základě nejen dotazníkového průzkumu mě opravňují k definování následujících námětů:

- Zatraktivnit brownfieldy pro potenciální investory jako nemovitosti vhodné pro umístění investičních projektů.
- Nezbytným krokem pro dosažení tohoto cíle je vytvoření metodiky pro realizaci PPP projektů pro regeneraci brownfieldů v institucionálním rámci a podmínkách českého právního řádu.,
- Nedržet se stávající podoby PPP projektů formou koncese, potažmo kvazikoncese.
- Minimalizovat náročnost zadávacího řízení se současným zachováním transparentnosti celého procesu (zejm. u malých PPP projektů),
- Definovat postup a návrh relevantních smluvních vztahů, potřebných pro realizaci typu spolupráce na úrovni municipalita – investor (viz výše) tak, aby celý její průběh byl transparentní, nezpochybnitelný, co nejjednodušší a pro obě zainteresované strany rovněž co nejsrozumitelnější.

Na navrhovaných zásadách metodiky by se mělo dále pracovat tak, aby byla komplexně zajištěna metodika v následujících bodech:

- Vypracování celkového návrhu nové, srozumitelné a transparentní metodiky PPP projektů pro regeneraci brownfieldů, tj. postupu spolupráce na úrovni municipalita – investor v oblasti regenerace brownfieldů.
- Vypracování popisu a chronologie (časové posloupnosti) rozhodovacích procedur municipality.
- Zpracování návrhu vzorů smluv, potřebných pro realizaci PPP spolupráce na úrovni municipalita – investor.
- Navržení matice rizik - podklad pro návrh smluvní dokumentace
- Komplexní identifikace a popis výhod i rizik navržené metodiky.
- Zpracování právní analýzy a komparace nově navržené metodiky realizace PPP projektů se stávajícím pojetím PPP projektů (tj. projektů realizovaných formou koncese nebo tzv. kvazikoncese).
- Vypracování analýzy možnosti uplatnění navrhované metodiky PPP projektů, resp. zjištění absorpční kapacity využití této metodiky.

9 ZÁVĚR

Z uvedených výsledků dotazníkového šetření a po ověření stanovených hypotéz vyplývá, že samospráva obcí Moravskoslezského kraje neoplývá dostatkem investičních zdrojů na rozvojové projekty. Většina obcí, vyjma Statutárního města Ostrava, nemá připravené ani studie proveditelnosti. Existuje však zmapování brownfieldů, které na území obce leží, a to bez ohledu na vlastnictví. Obce mají nedostatečné povědomí o možnosti a formě zapojení privátního investora do řešení postižených území.

Výstupem je proto následně navržení zásad modelu spolupráce formou zapojení privátního investora bez využití složitého koncesního zákona, který vychází z dlouhodobého nájemního vztahu, který by alespoň částečně vykryl tzv. nákladovou mezeru s doporučením orgánům veřejné správy, jak postupovat.

LITERATURA

- [1] Kuta, V. *Rozvojové problémy ostravské aglomerace*. Sdružení pro rozvoj severní Moravy a Slezska, Ostrava, 2001.
- [2] Maier G., Tödtling F. *Regionálna a urbanistická ekonomika*. ELITA, Bratislava, 1997, ISBN 80-8044-044-1.
- [3] Zamarský, V., Tylčer, J., Střelec, T. *Regenerace průmyslových ploch*. VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, ISBN 978-80-248-2132-0.
- [4] Kadeřábková B., Piecha M. *Brownfields : jak vznikají a co s nimi*. C.H.Beck, Praha, 2009, ISBN 978-80-7400-123-9.
- [5] Ruprich V. : PPP projekty v Moravskoslezském kraji - ukázka řízení typového PPP projektu regionálního charakteru. Podnikání pro nové desetiletí: JSME PŘIPRAVENI? Sborník z mezinárodní konference k 10. výročí Vysoké školy podnikání, a. s., Ostrava, 2010, ISBN 978-80-7410-016-1.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Vítězslav Zamarský, CSc., Vysoká škola podnikání, a.s., Ostrava.

Prof. Ing. Jiří Kern, CSc., Katedra regionální a environmentální ekonomiky, Ekonomická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Jiří Zavadil¹

REALIZACE ŽELEZNIČNÍCH KORIDOROVÝCH STAVEB, SROVNÁVACÍ ANALÝZA

REALIZATION OF CORIDOR RAILWAY CONSTRUCTIONS, COMPARATIVE ANALYSIS

Abstrakt

Srovnávací analýza realizace staveb a stavebních technologií metodou experimentální komparace. Experimentální komparace provedena při samotné realizaci staveb Modernizace linie E65 LSC Ciechanów a stavbě Optimalizace trati st. Hr. SR - Mosty u Jablunkova - Bystřice nad Olší. Srovnání provedeno zásadně objektivním způsobem. Uvedeny jsou zásadní rozdíly při realizaci a na projektech staveb. Uvedeny a zpřehledněny jsou klady a zápory při výstavbě a při následném užívání staveb. V závěru jsou uvedeny doporučení.

Klíčová slova

Srovnávací analýza, koridor, experimentální komparace, garance udržitelného rozvoje, vyklápecí systém vlakových souprav, optimalizace, kynety, bezvýkopová technologie, horizontálně řízený protlak, násp, eroze, extravilán, evapotranspirační, intravilánech, reprofilaci, bleskových, ekologické.

Abstract

Comparative analysis of realization of constructions and constructions technologies with method of experimental comparison. Experimental comparison was done on the constructions Modernizace linie E65 LSC Ciechanów a construction Optimalizace trati st. Hr. SR - Mosty u Jablunkova - Bystřice nad Olší. The comparative was done on principle of objective. There are fundamental differences between construction and project. There are strengths and weaknesses of constructions and usage. At the end are advices.

Key words

Comparative analysis, passageway, experimental comparison, guarantee of development, system of lean train, optimization, excavations, without excavations technology, horizontally controlled pushing, bank, erosion, suburbs, evapotranspirations, metropolis, modification, in a flash, ecological.

1 ÚVOD

Předem upozorňuji, že veškeré výsledky a závěry této práce jsou originální, jedná se o srovnávací analýzu, všechny poznatky byly získány experimentálně na výše uvedených stavbách. Ukazuje se užitečným aktuálně porovnávat analogické investiční záměry a jejich realizaci (např. též v případě, že je taková možnost, porovnávat situaci u nás se situací v sousedních státech),

¹ Ing. Jiří Zavadil, Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 737 381 905, e-mail: jirkazavadil@centrum.cz.

a to aktivněji, než tomu bylo v minulosti. V tomto příspěvku je nabízeno takové konkrétní srovnání metodou experimentální komparace staveb: „Optimalizace trati st. hr. SR – Mosty u Jablunkova – Bystřice nad Olší (je to součást III. koridoru Cheb – Plzeň – Praha - Č. Třebová – Ostrava – Dětmárovice - Mosty u Jablunkova - st. hr. SR), a stavby Modernizacja linii E 65 LSC Ciechanów (modernizace úseku na trati Varšava – Gdyně, což je to počáteční úsek VI. Transevropského dopravního koridoru E 65 Gdyně – Varšava – Vídeň - Rijeka)“ [1]. Příspěvek dále nabízí srovnání s užitím měřítka „garance udržitelného rozvoje území“ pro konkrétní realizace stavebních prací na výše uváděných koridorových stavbách železnic v České republice a v Polsku (Ing. Jiří Zavadil).

2 ZÁKLADNÍ ROZDÍLY NA STAVBÁCH

Rozdíly mezi těmito stavbami jsou již v zadávacích podmínkách, např. v hodnotách návrhové rychlosti. V obou státech došlo k zvětšení návrhové rychlosti, na 160 km/h v ČR a na 200 km/h v Polsku (údaje platí pro osobní vlaky s vyklápějícím systémem vlakových souprav např. typu Pendolino). Nároky větších návrhových rychlostí, vyvolávají úpravu samotné trasy železnice (musí dojít ke zvětšení poloměru oblouků; v nich např. též k úpravám sklonových a směrových parametrů stavby) [2]. A často není výjimkou, že při zachování jednosměrného provozu v průběhu realizace je při návrhu rekonstrukce (včetně žádoucí optimalizace) rozdíl v niveletě koleje nově navržené a stávající cca jeden metr. V projektech „polských staveb“ je mnoho úrovněových přejezdů, což zvyšuje nebezpečí provozu (u konkrétně sledované stavby, viz výše, jsou zde jen 2 mimoúrovňové přejezdy a cca 18 úrovněových přejezdů). Je rovněž diametrálně odlišný způsob řešení odvodnění drážního tělesa. V projektech „českých staveb“ bývá velká část trasy odvodněna podélným trativodem z PE HD DN 150 a DN 200 (perforované trouby), šachty jsou pak rovněž z PE-HD 400. Přibližně deset procent trasy je odvodněno nezpevněným příkopem a zpevněným příkopem TZZ3 a TZZ4. V „polských projektech“ je devadesát procent trasy odvodněno nezpevněným a zpevněným příkopem alternativy TZZ4 (obr. 1 a 2), podélný trativod se používá jen v úsecích území železničních stanic a zastávek (to pak v kombinaci s odvodněním nástupišť).

3 STAVEBNÍ POSTUPY

Stavební postupy jsou přímo vymezené prováděcími projekty s tím, že rychlost výstavby je v Polsku o 50 % větší. To je dáno rychlostí výstavby nezpevněných a zpevněných příkopů, které jsou zde aplikovány a obsluhují většinu úseků stavby. U staveb tohoto typu v ČR je provádění podélných trativodů časově náročnější (klade větší nároky na bezpečnost, stavební mechanizaci, pracovní síly, na dopravu materiálu apod.).

Postup budování podélných trativodů a zpevněných příkopů je navzájem provázaný (probíhá paralelně s výkopem samotné kynety), což stavbu jako celek opět zpomaluje. Provedení podélných trativodů musí být realizováno ještě před započítím úprav konstrukčních vrstev železničního spodku a svršku. Při stavbě zpevněných příkopů je hrubý výkop prováděn společně s kynetou a ostatní práce se mohou provádět, až když jsou provedeny konstrukční vrstvy železničního spodku a svršku [3]. Tyto technologické postupy jsou mnohem bezpečnější jak pro samotné dělníky, tak pro paralelní provoz na železnici apod. Rovněž je toto řešení jednodušší z hlediska tvorby časových harmonogramů.

Jaký je stav řešení propustků v železničních náspech na polských stavbách: v 90-ti procentech jsou na polských stavbách propustky řešeny metodou horizontálně řízeného protlaku betonových či plastbetonových trub. Tato bezvýkopová technologie (obr. 1) je výhodná jak svou rychlostí provedení (betonové trub DN 400, cca 6 bm/ den), tak zachováním dopravního provozu po celou dobu realizace protlaku. Tato technologie neomezuje celkový stavební provoz a postup např. též z hlediska pojezdu stavebních mechanismů.

Řešení propustků na srovnatelných stavbách v ČR: propustky jsou monolitické, jsou zhotovovány vždy po etapách (po částech). Vždy pod samostatnou kolejí, která se právě rekonstruuje. Konec dílčí provedené části propustku se zaslepí, a při stavební výluce druhé koleje se druhá část propustku po odstranění záslepky napojí na již vybudovanou první část. Toto řešení je časově

mnohem náročnější (technologické postupy, monolitická čela, zhotovení mostovky, hydroizolace, odvodnění propustku v průběhu realizace apod.). Toto řešení rovněž znemožňuje pojezd dalších stavebních mechanismů po stavbě, zvyšuje nároky na koordinaci a na parametry přístupových a příjezdových cest.

Řešení přemostění a násypů: V českých projektech je řešení finančně náročnější, stávající mostní konstrukce jsou vyměňovány za nové, místo snahy o prostou obnovu těchto objektů (např. zmenšením vzdálenosti mezi čely mostu, v kombinaci s prodloužením náspu apod.).

V Polsku na takovýchto stavbách dochází při řešení ke zvětšení rozsahu zemních prací i při současné minimalizaci počtu a rozsahu mostních objektů. Největší násypy dosahují výšky až 9 m. Násypy se upravují z důvodu změny sklonových a směrových poměrů (jedná se o navýšení náspu a jeho rozšíření; tyto úpravy jsou náročné na hutnění materiálu). Na druhé straně, když je drážní těleso v zářezu, dochází ke snížení nivelety a tedy k prohlubování jak drážního tělesa, tak odvodňovacího systému. Z toho vycházejí tyto větší nároky na zemní práce. Nevýhodou vysokých násypů a zářezů je jejich citlivost na vnější vlivy vyvolávající jejich částečnou nestabilitu (např. jde o vlivy povrchové eroze). Ta se eliminuje položením travních pásů (vyztužených PE sítí) s rozměry 400 x 1500 mm a vysetím travin na zbytek svahu. Nestabilita svahu je dočasná, do doby, než traviny zakoření.

Konstrukční vrstvy jsou obdobné, ale rozdíl je v provedení konstrukční vrstvy z kameniva frakce O-32. V ČR má vrstva v příčném řezu tvar lichoběžníku [4]. V Polsku má tato vrstva stejný sklon jako zemní pláň a je tedy její mocnost konstantní. Ostatní vrstvy jsou již totožné.

Dále lze připomenout jeden netradiční způsob zakládání betonových patek trakčních stožárů uplatňovaný v Polsku a to, jejich beranění. Tento stavební postup, rovněž zrychluje obnovu traťového úseku. Výše uvedená stavební opatření zrychlují výstavbu o polovinu. Lze dále konstatovat, že při snaze o minimalizaci počtu inženýrských objektů (např. mostů, propustků, apod.) jsou stavby rychleji realizovány a s úsporou finančních zdrojů o cca 10- 15 % na kilometr stavby. Velkou výhodou představuje užití bezvýkopové technologie při realizaci propustků, příkopů apod., včetně větší bezpečnosti provádění.



Obr. 1: Příklad propustku zhotoveného řízeným horizontálním protlakem (v kombinaci s odvodněním zpevněným příkopem se zatravnovacími pásy)



Obr. 2: Detail zpevněného dna příkopu betonovými tvárniciemi
v kombinaci se zatravnovacími pásy

4 REKAPITULACE VÝSLEDKŮ SROVNÁNÍ Z HLEDISKA OVLIVNĚNÍ ODTOKOVÝCH REŽIMŮ

Rekapitulace výsledků srovnání z hlediska stupně ovlivnění přirozeného odtokového režimu povrchových i podzemních vod v extravilánu na stavbách a v jejich okolí v České republice a v Polsku: V České republice jsou odvodňovací prvky zaústřovány do blízkých vodotečí. Voda z dopravních staveb je odváděna pryč z dopravních staveb a jejich okolí [5]. U železničních staveb prováděných v zářezech dochází často k jímání a následnému odvádění podzemní vody, a tím ke snižování hladiny podzemní vody (podzemní voda je po krátké dráze odváděna do vodotečí). V Polsku se odvodňovací systémy ve srovnatelných případech zakončují nádržemi s funkcí vsakovací a evapotranspirační. Tyto nádrže jsou vybaveny bezpečnostními přelivy s potrubím převádějícím vodu do blízkých recipientů. Tzn., že v Polsku zbytečně nesnižují přirozenou hladinu podzemní vody a neodvádějí srážkovou a podzemní vodu bezprostředně do vodotečí. Toto řešení je z ekologického hlediska šetrnější, více chrání životní prostředí.

Rekapitulace výsledků srovnání z hlediska stupně ovlivnění přirozeného odtokového režimu podzemních vod v intravilánech na stavbách a v jejich okolí v České republice a v Polsku: v intravilánech v České republice často probíhají tyto investiční akce jako sdružené stavby železnic, místních komunikací a veřejných kanalizací. Odvodňovací systémy dopravních staveb jsou v intravilánech měst napojovány do nově budovaných veřejných kanalizačních sítí. Velké množství relativně čistých odpadních vod z železničních dopravních staveb pak představuje balastní vody ve veřejné kanalizaci. Železniční stavby tak v ČR vyvolávají permanentní pokles hladiny podzemní vody ve svém okolí. V Polsku rovněž dochází k časovému souběhu železničních a staveb technické infrastruktury [6]. Voda je převáděna do podzemních vsakovacích objektů (jejich vhodné umístění je pak především v plochách veřejné zeleně). Toto řešení nezatěžuje místní veřejnou kanalizační síť a nevyvolává trvalé snížení hladiny podzemní vody v okolí.

Řešení odvodnění železničních staveb v Polsku je výrazně šetrnější tj. srážková a podzemní voda není rychle převáděna do vodotečí, ale do nádrží a příkopů, které mají vedle funkce retenční a vsakovací případně též funkci odpařovací. Toto řešení však vyžaduje pravidelnou údržbu tj. reprofilaci příkopů a vyklizení sedimentů z nádrží. Řešení je též náročnější na využití volné plochy v okolí dopravních staveb. Toto řešení však snižuje riziko místních „bleskových povodní“ a přirozeně zpomaluje odtok vody z krajiny. Riziko vzniku škod při haváriích za provozu na dopravních stavbách je z těchto důvodů v Polsku menší než v ČR. Škodlivé (znečišťující) látky se bezprostředně nedostávají do vodních toků. Je tedy možno je snadno sanovat.

Řešení odvodnění železničních staveb v ČR je méně prostorově náročné, nevyžaduje tolik volných ploch a jsou též menší nároky na přesuny zeminy. Bezpečnost provádění stavebních prací je v ČR horší (např. při nutnosti pažení výkopů apod.). Realizaci systému odvodnění je nutno zvládat souběžně s prováděním ostatních zemních prací (s výkopem kynety apod.). Výsledky srovnávací analýzy přehledně nabízí tab. 1.

Tab. 1: Výsledky srovnávací analýzy

Typ stavby	Výhody řešení	Nevýhody řešení	Uplatňována opatření
ČR: intravilán	Malé prostorové nároky	Zatěžuje místní veřejné kanalizační systémy a vodoteče, snižuje hladinu podzemní vody	Povrchová retence se zaústěním do odvodňovacích systémů
Polsko: intravilán	Zachovává hladinu podzemní vody, nezatěžuje místní veřejné kanalizační síť	Větší nároky na údržbu systému, větší nároky na zemní práce	Nezpevněné systémy příkopů a nádrží vhodně zpevněné prefabrikáty, které zajišťují prostorovou stálost systému
ČR: extravilán	Odvádí co nejrychleji vodu z okolí železničních dopravních staveb (delší životnost stavebních konstrukcí)	Dochází ke snižování hladiny podzemní vody, riziko úniku nebezpečných látek při haváriích do vodoteče je vysoké	Povrchová retence se zaústěním do odvodňovacích systémů
Polsko: extravilán	Rychlost provedení je příhodnější, nedochází ke snižování přirozené hladiny podzemní vody	Větší nároky na údržbu systému, větší nároky na zemní práce	Nezpevněné systémy příkopů a nádrží je vhodné zpevnit prefabrikáty, které mohou zabezpečit prostorovou stálost systému

5 ZÁVĚR

Z hlediska udržitelného rozvoje urbanizovaného území se jeví účelné provádět srovnávání technologických postupů výstavby železničních i jiných druhů staveb. Lze se tak včas poučit a prosazovat taková řešení, která jsou kvalitní, technicky a ekonomicky konkurenceschopná a současně maximálně ekologicky šetrná.

Z tohoto hlediska lze též doporučit pružně promítat takové výstupy do normativních a dalších podkladů.

Připomenout lze též nutnost vždy v jednotlivých případech přihlídnout ke konkrétním i specifickým podmínkám dílčích zadání investičních záměrů (zejména např. k širším hydrologickým, hydrogeologickým a geologickým poměrům).

Z pohledu trvale udržitelného rozvoje, je vyšší návrhová rychlost příznivější (jednak zkracuje dobu přepravy, a příznivější sklonové a směrové parametry snižují valivé odpory podvozkových souprav a přeprava z hlediska ekologického je mnohem příznivější).

Ve výhledech se bude vždy návrhová rychlost železnic jen zvyšovat a tím více bude konkurovat jiným konvenčním druhům dopravy.

Spolehlivost železniční dopravy je neporovnatelně výhodnější (omezují ji jen výpadky na trakčním vedení, a ty jsou podmíněny klimatickými jevy; spadlé stromy apod.).

Další doporučení se jeví jako přínosné využití bezvýkopových technologií, které nenarušují stávající provoz (přímo- nutnost výluk při zřizování pažení apod., nepřímo- následné deformace stávajícího železničního svršku a nutnost provést udržovací práce).

V nynějším období, kdy do dopravní infrastruktury je investováno stále méně finančních prostředků, se jeví užitečné, projektovat, nebo upravovat již existující projekty (menší počet inženýrských objektů a popř. snížit kategorii komunikace), aby nebyly tak finančně náročné, jak se tomu děje nyní.

LITERATURA

- [1] Interní časopis Eiffage Construction ČR, s. r. o., *Mezi námi*: 2/2010
- [2] Interní časopis Eiffage Construction ČR, s. r. o., *Mezi námi*: 1/2011
- [3] Interní časopis Eiffage Construction ČR, s. r. o., *Mezi námi*: 2/2011
- [4] ČD S3 Železniční svršek, České dráhy, účinnost od 1. 1. 2003
- [5] ČD S4 Železniční spodek, České dráhy, účinnost od 1. 7. 1998
- [6] www.eccr.cz (31.10 2001)

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Bohumil Kubát, CSc., Ústav dopravních systémů, Fakulta dopravní, České vysoké učení technické v Praze.

Ing. Milan Ondrovič, Ph.D., Katedra dopravních stavieb, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave.

Jana BOHÁČOVÁ¹, Martin VAVRO², Stanislav STANĚK³

**VÝVOJ A VÝZKUM VLASTNOSTÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH ALKALICKY
AKTIVOVANÝCH SYSTÉMŮ**

**PROPERTIES OF THERMAL INSULATING ALKALI ACTIVATED SYSTEM
RESEARCH AND DEVELOPMENT**

Abstrakt

Příspěvek se zabývá laboratorním výzkumem a vývojem alkalicky aktivovaných systémů s tepelně izolačními vlastnostmi, ve kterých je jako plnivo použit materiál s nízkou objemovou hmotností. Experiment je zaměřen na pevnosti a tepelnou vodivost vytvořených hmot.

V rámci výzkumu bylo připraveno pět druhů záměsí. Hodnoty pevnosti v tlaku a součinitele tepelné vodivosti u zkoumaných receptur kvalitativně korespondují s komerčně dostupnými stavebninami. Výsledky jsou základem pro další výzkum a vývoj lehčených alkalicky aktivovaných systémů se zaměřením na praktické využití ve výstavbě.

Klíčová slova

Lehčené alkalicky aktivované systémy, tepelně izolační materiály, vysokopecní granulovaná struska, aktivované vodní sklo, expandovaný perlit, ekostyren, Liapor, expandovaný vermikulit

Abstract

The paper deals with laboratory research and development of alkali activated system with thermal insulating properties, where, such as additive, low density materials are used. The experiment is focused on strength and heat conductivity of prepared substances.

In research five kinds of mixtures were prepared. The values of compressive strength and thermal conductivity of tested admixtures qualitatively correspond to commercially available building material. Results are foundations for next lightweight alkali activated system development and research focused on practical application in building.

Keywords

Lightweight alkali activated system, thermal insulating materials, blast furnace slag, activated water glass, expanded perlite, ekostyren, Liapor, expanded vermikulit

¹ Ing. Jana Boháčová, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 968, e-mail: jana.bohacova@vsb.cz.

² Ing. Martin Vavro, Ph.D., Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 382, e-mail: martin.vavro@vsb.cz.

³ Ing. Stanislav Staněk, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 968, e-mail: stanislav.stanek.st@vsb.cz.

1 ÚVOD

Současný vývoj cen energií a rovněž zvyšující se ekologické nároky na provedení staveb, nutí každého z nás vybírat při výstavbě budovy, případně při adaptaci stávajícího objektu takové materiály a konstrukční systémy, aby tepelné ztráty při jeho užívání byly co nejmenší.

Na dnešním trhu stavebnin se vyskytuje široká škála tepelně izolačních materiálů, u nichž se, v závislosti na vlastnostech, liší jejich umístění v konstrukci. Zateplení budovy provádíme pěti způsoby, a to kontaktním zateplovacím systémem, systémem sendvičového zdiva, odvětrávaným zateplovacím systémem, pomocí tepelně izolační omítky, nebo použitím tepelně izolačního zdiva [8].

Nejlépe izolující materiály, u kterých se součinitel tepelné vodivosti pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,09 W.m⁻¹.K⁻¹, se používají zejména v kontaktním tepelně izolačním nebo sendvičovém systému, kde se ukotvují na hlavní nosnou část konstrukce. Mezi nejčastěji používané izolanty v této skupině se řadí pěnový polystyren, minerální vlákna a pěnové sklo [8]. Předností těchto materiálů je snadná opracovatelnost a tvarovatelnost. Nedostatkem bývá nízká odolnost vůči mechanickému poškození, vysoká náročnost na kvalitu provedení a mnohdy také snížená odolnost vůči vnějším vlivům, případně hořlavost [7].

Pro zateplení odvětrávaným zateplovacím systémem, kdy se izolant připevňuje na nosnou část konstrukce do volného prostoru za předepsanou pohledovou stěnu, se nejčastěji používají polyuretany, ovčí vlna, nebo celulózové výrobky. Nevýhodou tohoto řešení jsou vysoké pořizovací náklady [7, 8].

V případě zateplení pomocí izolačních omítek jsou používány tzv. termoomítky, které kromě klasických složek obsahují tepelně izolující částice, nejčastěji expandovaný perlit a polystyren. Uplatňují se především při zateplování členitých fasád historických budov [8]. Nevýhodou jsou horší tepelně izolační vlastnosti, náročnost úpravy podkladu a nutnost dodržovat přesně technologický postup přípravy směsi.

Poslední možnost tepelné ochrany stavby je použití nosného zdiva, které je samo o sobě tepelně izolačním materiálem. K tomuto, v současnosti hojně používanému způsobu výstavby, se používají zejména pórobetonové tvárnice a duté cihelné bloky. Výhodou těchto systémů je rychlost a jednoduchost zdění, nevýhodou jsou nízké pevnosti v tlaku a nízká akumulace tepla, horší zvukové izolační vlastnosti a v případě pórobetonu i vysoká nasákavost [12].

Ve všech výše uvedených systémech bývá do základu nosné konstrukce používán některý z tradičních stavebních materiálů, nejčastěji jsou to pálené cihly, cihelné bloky a tvárnice na bázi cementu. Výroba zmíněných stavebnin značným způsobem zatěžuje životní prostředí, a to především vysokou energetickou náročností výpalu. Vhodnou alternativou těmto materiálům jsou alkalicky aktivované systémy, označované také jako geopolymery. Jedná se o produkty vznikající tzv. geopolymizací, což je řízený proces polykondenzace vhodných částic. Vznikají tak zeolity, alkalické alumosilikáty nebo alumosilikáty alkalických zemin, které jsou vysoce stabilní a odolné vůči vnějším vlivům prostředí a dosahují vynikajících pevnostních parametrů [5].

Předmětem výzkumu byl vývoj tepelně izolačního materiálu na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky, který by konečnými vlastnostmi vyhověl jak pevnostním tak i tepelně izolačním požadavkům pro použití ve výstavbě.

2 POUŽITÉ MATERIÁLY

V experimentu byly jako vstupní suroviny pro alkalickou aktivaci použity granulovaná vysokopecní struska (dále také GVS), vodní sklo a hydroxid sodný. Na základě dříve provedených výzkumů [1, 2] byl z vodního skla a 50% roztoku NaOH připraven tzv. aktivátor, jehož smísením s vysokopecní struskou v optimálním poměru vznikají geopolymerní vazby.

Jako plnivo s tepelně izolační funkcí byly pro experiment vybrány expandovaný perlit, expandovaný vermikulit, Liapor a ekostyren.

2.1 Expandovaný perlit

Expandovaný perlit (experlit) je lehká, zrnitá hmota, vznikající tepelným zpracováním surového perlitu. Perlit, kyselá hornina sopečného původu, je v podstatě amorfni křemičitan hlinitý a od ostatních vulkanických skel se liší množstvím chemicky vázané vody. Při tepelné úpravě za teploty 900 - 1300 °C dochází k expandaci perlitu, vznikají bílé duté kuličky různých velikostí a dochází k pěti až desetinásobnému zvětšení objemu původní horniny. Takto vzniklý experlit má výborné tepelně i zvukově izolační vlastnosti, je nehořlavý, netoxický, chemicky inertní. Je objemově stálý, má výborné sorpční vlastnosti a velmi nízkou objemovou hmotnost, která se pohybuje v rozmezí 70 až 100 kg.m⁻³ [4, 11].

V experimentu byl použit experlit EP 180 se zrnitostí 0-2 mm, o sypané hmotnosti 95 kg.m⁻³ a součiniteli tepelné vodivosti 0,049 W.m⁻¹.K⁻¹.

2.2 Expandovaný vermikulit

Expandovaný vermikulit se vyrábí z hydratovaného laminárního hořečnatu-hlinito-železitého silikátu, vermikulitu. Při působení teplot okolo 1000 °C dochází k expandaci šupinek vlivem přeměny interlaminární vody v páru a následnému osmi až dvacetinásobnému zvětšení původního objemu. Sypaná hmotnost vzniklé suroviny se pohybuje v rozmezí 60 až 200 kg.m⁻³. Expandovaný vermikulit je vysoce nasákavý, má nízkou tepelnou vodivost, je žáruvzdorný, odolný vůči mikroorganismům a plísním [4].

V experimentu byl použit expandovaný vermikulit o zrnitosti 1,4 - 6 mm, s objemovou hmotností 80 kg.m⁻³ a součinitelem tepelné vodivosti 0,065 W.m⁻¹.K⁻¹.

2.3 Liapor

Liapor je velmi lehké kamenivo kulovitěho tvaru, které vzniká expandováním přírodního jílu. Proces probíhá v rotačních pecích při teplotě 1100 až 1200 °C. Výsledný produkt má téměř kulovitá zrna, vnitřní stejnoměrnou pórovitou strukturu a uzavřený slinutý povrch. Svou podstatou se Liapor řadí mezi keramické kamenivo, mezi jeho hlavní přednosti patří minimální nasákavost, stálost, zdravotní nezávadnost, vynikající tepelně izolační schopnosti a nízká objemová hmotnost, která se v závislosti na zvolené frakci pohybuje v rozmezí 300 až 500 kg.m⁻³ [9].

V experimentu byly použity tři různé frakce kameniva Liapor viz tab. 1.

Tab. 1: Vlastnosti použitého kameniva Liapor [10]

Název materiálu	Frakce [mm]	Sypaná hmotnost [kg.m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Liapor 1-4/500	0/4	500	0,11
Liapor 4-8/450	4/8	450	0,11
Liapor 8-16/275	8/16	275	0,09

2.4 Ekostyren

Jedná se o speciálně upravenou drť polystyrenu. Ekostyren je pouze minimálně nasákavý, dobře odolává působení kyselin i zásad, je objemově stálý a má nízkou objemovou hmotnost, která se pohybuje kolem 30 kg.m⁻³ [6].

V experimentu byl použit ekostyren s objemovou hmotností 30 kg.m⁻³ a součinitelem tepelné vodivosti 0,035 W.m⁻¹.K⁻¹.

3 PŘÍPRAVA HMOT

Alkalicky aktivované systémy v současnosti patří mezi hojně zkoumané skupiny materiálů. Ve stavební praxi však dosud nejsou téměř vůbec používány a ani neexistují normy pro jejich zkoušení. Proto byla všechna zkušební tělesa připravena a následně zkoušena podle norem pro zkoušení malt a cementů.

Vzhledem ke značné rozdílnosti použitého plniva (různá nasákavost, granulometrie, objemová hmotnost) bylo již na začátku výzkumných prací jasné, že není možné všechny receptury sjednotit podle některého z parametrů tak, aby mohly být na jeho základě výsledky u jednotlivých záměsů porovnávány mezi sebou. Proto bylo snahou tohoto experimentu najít u každého z použitých materiálů ideální poměr mezi pojivovou složkou a plnivem, pro získání co nejlepšího poměru mezi výslednými pevnostními parametry a tepelně izolačními vlastnostmi, s ohledem na bezproblémovou zpracovatelnost při případném použití v průmyslové výrobě.

Základem pro přípravu všech záměsů byla ověřená receptura na bázi alkalicky aktivované granulované vysokopeční strusky (GVS), v níž byl jako plnivo použit normový písek. Složení této referenční receptury je uvedeno v tab. 2 [2].

Tab. 2: Složení referenční receptury

Materiál	GVS [g]	Aktivátor [ml]	Voda [g]	Normový písek [g]
Množství	450	118,6	90	1350

V první fázi experimentu byly záměsi připraveny podle receptury referenční směsi. Plnivo bylo vzhledem k jeho nízké objemové hmotnosti nutno dávkovat objemově. Na základě měření bylo zjištěno, že 1350 g normového písku z referenční receptury odpovídá objemu 800 ml ve volně sypaném stavu. Následně tedy byly zpracovávány receptury obsahující vždy 800 ml tepelně izolačního materiálu jako plniva, GVS a aktivátor dle referenční záměsi, a bylo zjišťováno potřebné množství vody pro vhodnou zpracovatelnost směsí.

V průběhu experimentálních prací pak byla postupně upravována množství jednotlivých složek v závislosti na stanovených požadavcích. Na základě porovnání výsledků pevnostních parametrů, konzistencí a zpracovatelnosti u jednotlivých směsí, které zde, vzhledem k rozsahu výzkumu, záměrně neuvádíme, bylo vybráno pro další zkoušky celkově pět receptur, přičemž z každého ze zvolených materiálů byla vybrána vždy jedna záměs, výjimku představoval Liapor, ze kterého byla připravena směs obsahující jako plnivo pouze frakci 4/8 a další receptura, složená z frakcí 1/4 a 8/16 v poměru objemů 40:60.

Konečná složení jednotlivých receptur jsou uvedena v tab. 3.

Tab. 3: Složení výsledných receptur

Vzorek	GVS [g]	Aktivátor [ml]	Voda [g]	Množství plniva [ml]
Liapor 4/8	450	118,6	80	1300
Liapor 1/4+8/16	300	79,0	50	400 + 600
Vermikulit	585	154,0	300	1300
Experlit	585	154,0	220	1300
Ekostyren	450	118,6	90	800

Pro zkoušení mechanických vlastností připravených hmot byla vyrobena zkušební tělesa o rozměrech (160 x 40 x 40) mm. Tělesa byla uložena do vlhkostní skříně a po 7 a 28 dnech zrání byla ve vlhkém stavu podrobena zkoušce pevnosti v tlaku dle ČSN EN 196-1 [3]. Pevnosti v tahu

za ohybu nebyly zjišťovány. U všech receptur byla stanovena objemová hmotnost jak ve vlhkém, tak ve vysušeném stavu. Bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti.

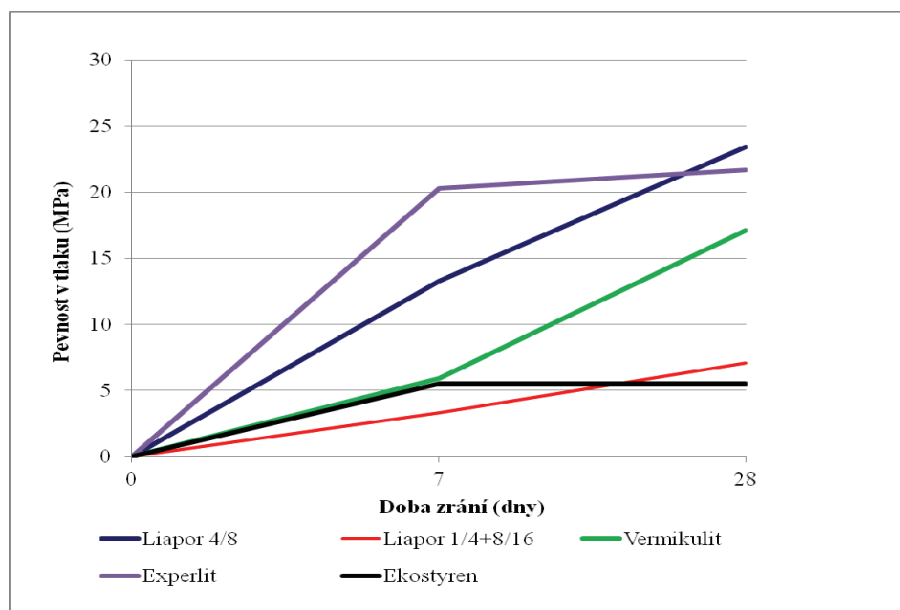
4 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Zkoušky pevností v tlaku po 7 a 28 dnech zrání byly prováděny vždy na šesti zkušebních tělesech, z naměřených hodnot byl vypočten aritmetický průměr. Rovněž byla stanovena objemová hmotnost vlhkých a vysušených vzorků. Výsledky jsou uvedeny v tab. 4. Grafické znázornění nárůstu pevností je na obr. 1.

Tab. 4: Výsledné pevnosti v tlaku po 7 a 28 dnech zrání a průměrné objemové hmotnosti

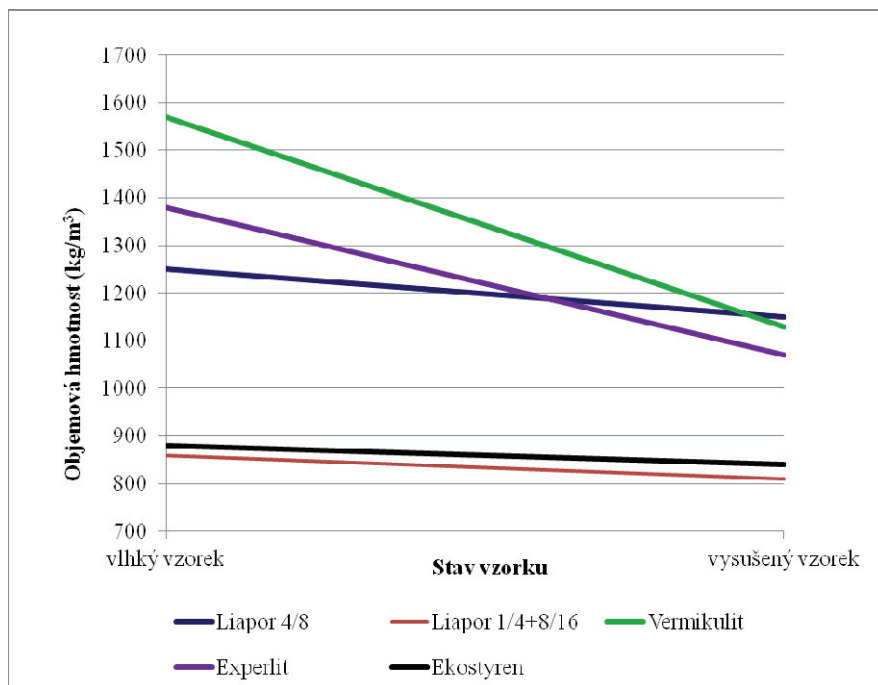
Vzorek	Pevnost v tlaku po 7 dnech [MPa]	Pevnost v tlaku po 28 dnech [MPa]	Objemová hmotnost vlhký vzorek [kg.m ⁻³]	Objemová hmotnost vysušený vzorek [kg.m ⁻³]
Liapor 4/8	13,3	23,4	1250	1150
Liapor 1/4+8/16	3,3	7,1	860	810
Vermikulit	5,9	17,1	1570	1130
Experlit	20,3	21,7	1380	1070
Ekostyren	5,5	5,5	880	840

Z výsledků vyplývá, že nejvyšších pevností v tlaku po 28 dnech zrání bylo dosaženo u vzorků s Liaporem 4/8 a experlitem, kde se průměrné hodnoty pohybovaly nad 20 MPa. Oproti ostatním recepturám u vzorku s ekostyrenem již po 7 dnech zrání nedošlo k nárůstu pevnosti. Všechny navržené receptury se průměrnou pevností v tlaku po 28 dnech vyrovnávají komerčně dostupným tepelně izolačním stavebninám typu pórobetonových tvárnic.



Obr. 1: Grafické znázornění nárůstu pevností v tlaku

V důsledku vysušení zkušebních těles došlo k největšímu poklesu hodnoty objemové hmotnosti u vzorků, které obsahovaly vysoce nasákavá plniva, tedy u záměsí s vermikulitem a experlitem. Nejnižší objemová hmotnost byla zjištěna u směsi s Liaporem 1/4 + 8/16 a u ekostyrenu viz obr. 2.



Obr. 2: Pokles objemové hmotnosti vzorků po vysušení

Nejdůležitějším krokem předkládaného výzkumu bylo ověření tepelně izolačních vlastností vytvořených hmot, konkrétně stanovení součinitele tepelné vodivosti (λ). K tomuto účelu byla speciálně připravena zkušební tělesa ve tvaru komolého kužele, která byla po dobu zrání (28 dní) ponechána ve vlhkostní skříni. Následně byly vzorky vysušeny při teplotě 105 °C, jejich povrch byl vyhlazen a poté na nich bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti. Tento parametr byl stanoven na Oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů Ústavu geoniky AV ČR v.v.i. v Ostravě. Měření bylo provedeno přístrojem ISOMET 2104, paní Anežkou Duškovou. U každého ze vzorků bylo provedeno pět jednotlivých měření, ze získaných hodnot byl vypočten aritmetický průměr. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5: Součinitel tepelné vodivosti zkušebních těles

Vzorek	Liapor 4/8	Liapor 1/4 + 8/16	Vermikulit	Experlit	Ekostyren
λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,237	0,165	0,306	0,219	0,123

Hodnoty λ se u všech záměsí pohybovaly v rozmezí 0,1 až 0,3 W.m⁻¹.K⁻¹, což řadí připravené hmoty mezi materiály s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, směs s ekostyrenem se dokonce blíží skupině vysoce tepelně izolačních materiálů (λ v rozmezí 0,03 až 0,1 W.m⁻¹.K⁻¹).

Na obr. 3 až 12 jsou vyobrazena tělesa pro stanovení součinitele tepelné vodivosti. Vlevo je vždy vzorek po dozrání, napravo vysušené těleso po úpravě povrchu.



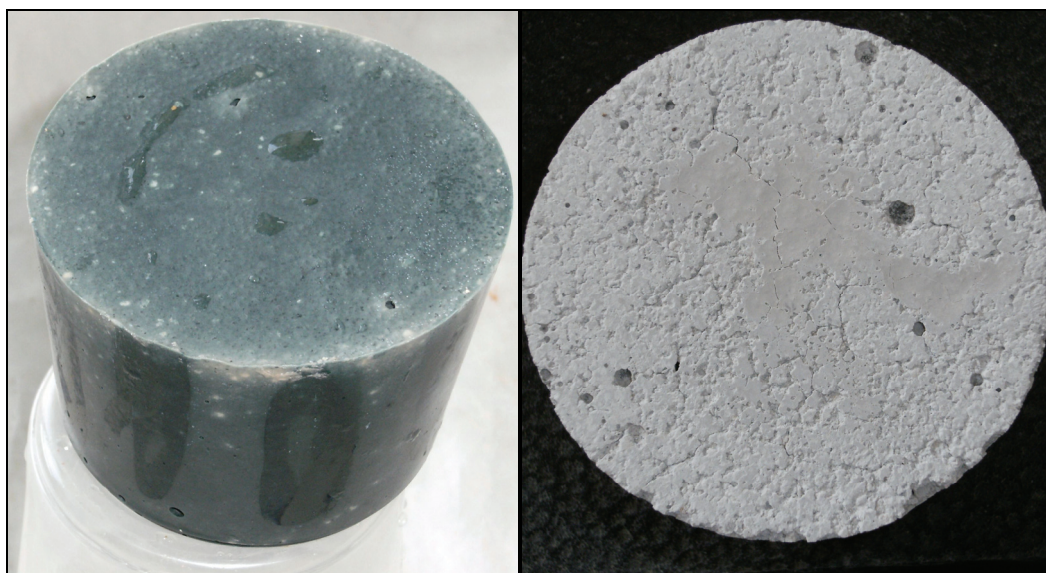
Obr. 3 a 4: Vzhled těles s plnivem Liapor 4/8



Obr. 5 a 6: Vzhled těles s plnivem Liapor 1/4 + 8/16



Obr. 7 a 8: Vzhled těles s plnivem vermikulit



Obr. 9 a 10: Vzhled těles s plnivem experlit



Obr. 11 a 12: Vzhled těles s plnivem ekostyren

5 ZÁVĚR

Výsledky provedených laboratorních zkoušek prokázaly, že se i alternativní pojivové systémy mohou velmi dobře uplatnit při výrobě tepelně izolačních stavebních materiálů.

Alkalicky aktivované vysokopeční strusky dosahují nadprůměrných pevnostních parametrů, jsou odolné vůči působení agresivních látek, jsou mrazuvzdorné, žáruvzdorné a jejich vynikající zhutnitelnost, krátké doby tuhnutí a tvrdnutí je předurčují pro použití v prefabrikované výrobě stavebnin [1, 2].

Použitím lehkého kameniva do těchto systémů vznikají hmoty s nízkým součinitelem tepelné vodivosti. V souvislosti se snižováním objemové hmotnosti dochází ke zhoršování pevnostních vlastností, díky použití alkalicky aktivované strusky jsou však pevnosti v porovnání s komerčními výrobky dostačující. V současnosti jsou vybrané receptury podrobovány trvanlivostním zkouškám, je zjišťována jejich mrazuvzdornost a odolnost vůči působení solí a rozmrazovacích látek.

V závěru je nutné konstatovat, že možnosti vylehčení materiálu ještě nebyly vyčerpány a dalším výzkumem je možné snížením objemové hmotnosti vlivem zvýšení podílu plniva, dosáhnout ještě lepších tepelně izolačních vlastností.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění MŠMT, podporou specifického vysokoškolského výzkumu - Studentské grantové soutěže VŠB - TU Ostrava pod identifikačním číslem SP2011/168.

LITERATURA

- [1] BOHÁČOVÁ, J.: *Příprava a ověření vlastností geopolymérů na bázi metakaolínu a dalšího pojiva*. Diplomová práce. VŠB - TUO. Fakulta stavební, 2009, Ostrava. 95 s.
- [2] BOHÁČOVÁ, J.: *Studium vlivu různých typů plniv na vlastnosti geopolymerních systémů na bázi alkalicky aktivovaných strusek*. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební, 2008, Ostrava. 65 s
- [3] ČSN EN 196-1 *Metody zkoušení cementu - Stanovení pevnosti*. Český normalizační institut. 2005
- [4] Svoboda, L. a kolektiv: *Stavební hmoty*. JAGA, Bratislava, 2005, 471s. ISBN 80-8076-007-1
- [5] Tomková, V.: *Vliv fázového složení a mikrostruktury na funkční vlastnosti geopolymerních systémů z technogenních pucolánů*. VŠB - TUO . 2008
- [6] <http://www.ekostyren.cz/materialovy-list-2>
- [7] http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zakladni-prehled-tepelne-izolacnich-materialu_80
- [8] http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zpusoby-zatepleni-obvodoveho-plaste-domu_81
- [9] <http://www.Liapor.cz/cz/keramicke-kamenivo-Liapor#technicke-info>
- [10] <http://www.Liapor.cz/dokumenty/technicke-listy/kamenivo/Liapor01.pdf>
- [11] http://www.perlit.cz/expand_perlit.php
- [12] <http://www.xstavba.eu/jaky-porobeton-ytong-hh-porfix-nebo-ift/>

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vlasta Ondrejka Harbuláková, PhD., Katedra environmentálního inženýrstva, Fakulta stavební, Technická univerzita v Košiciach.

Doc. Ing. Jiří Brožovský, CSc., Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Jana Daňková¹, Pavel Šmíra², Tereza Murínová³

VLHKOSTNÍ CHOVÁNÍ STARÉHO JEDLOVÉHO DŘEVA

THE HUMIDITY BEHAVIOR OF OLD FIR WOOD

Abstrakt

Zkušební tesaři říkají, že staré dřevo ve stavbě je pro konstrukční účely lepší materiál, než nejkvalitnější dřevo nové, nedávno pokácené a vysušené. Toto tvrzení nemá, zdánlivě, fyzikální logiku. A přece je pravdivé a bylo experimentálně prokázáno. Tento článek pojednává o hygroskopickém chování starého jedlového dřeva. V experimentální části je popsáno laboratorní ověření hygroscopicity dřeva, které bylo odebráno z dřevěných konstrukcí různého stáří. Experimentálně byla prokázána závislost mezi příjmem vzdušné vlhkosti a stářím vzorku.

Klíčová slova

Staré dřevo, hygroscopicita, klimatické zkoušky.

Abstract

Experienced carpenters say, that the old wood in building is better material for construction purpose than new high quality wood, recently felled and dried. This claim has not, seemingly, physical logic. And yet it is true and has been experimentally demonstrated. This article deals with the hygroscopic behavior of old fir wood. The experimental section describes laboratory verification of hygroscopicity of wood, which was removed from the wooden structures of various ages. Has been demonstrated experimentally the dependence between the intake air humidity and age of the sample.

Keywords

Old wood, hygroscopicity, environment tests.

1 ÚVOD

Dřevo je jedním z nejstarších stavebních materiálů. Spektrum využití dřeva a materiálů na bázi dřeva je velmi široké. Mezi „nežádoucí“ vlastnosti z hlediska použití ve stavebních konstrukcích patří zejména hygroskopičnost dřeva.

Dřevo je hygroskopický materiál, což znamená, že je schopno přijímat vodu ze vzduchu ve formě vodní páry. Jímání vody dřevem je složitý fyzikálně – chemický proces, na kterém se významně podílí struktura dřeva a jeho chemické složení.

¹ Ing. Jana Daňková, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 322, e-mail: jana.dankova@vsb.cz.

² Ing. Pavel Šmíra, Thermo sanace, s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, tel.: (+420) 602 714 382 e-mail: pavel@smira-print.cz.

³ Ing. Tereza Murínová, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 322, e-mail: tereza.murinova@vsb.cz.

Hygroskopičnost dřeva je možno cíleně měnit fyzikálními nebo chemickými prostředky, hovoříme o modifikaci dřeva.

Málo se hovoří ještě o jednom mechanismu, který snižuje hygroskopičnost dřeva, a tímto mechanismem je přirozené stárnutí dřeva. Stárnutí ve smyslu rozvoje „žádoucích“ vlastností, přesněji je použití výrazu „zrání“ dřeva.

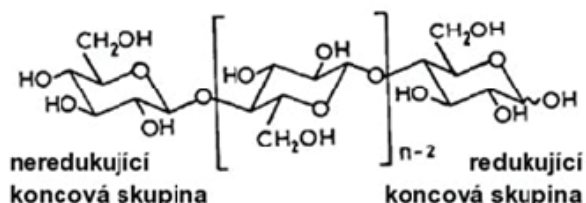
Snížení hygroskopicity starého dřeva je doprovázeno vyšší objemovou stabilitou dřeva. Snížení hygroskopicity starého dřeva je ovlivněno nejen stářím (dobou od pokácení stromu), ale také tzv. historií konstrukce, tzn. četností procesů navlhání – vysychání. Čím více těchto procesů konstrukce „prožila“ a čím vyšší byla při tom vlhkost dřeva, tím výraznější je projev hygroskopického stárnutí [1].

2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ DŘEVA A HYGROSKOPICITA

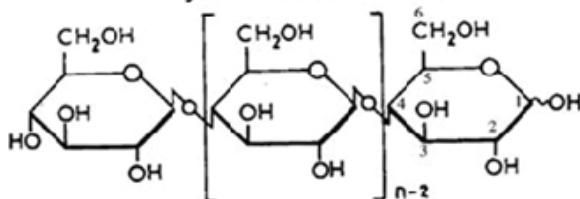
Dřevo jako stavební materiál má řadu žádoucích vlastností. Je to zejména vysoká pružnost a pevnost v ohybu a tahu rovnoběžně s vlákny, nízká objemová hmotnost a dobrá opracovatelnost.

Dřevní hmota je složena převážně z celulózy, hemicelulóz a ligninu (90-97%). Z tohoto množství tvoří polysacharidický podíl, tj. celulóza a hemicelulózy 70% a lignin, který má charakter polyfenolický, zbytek. Ostatní, doprovodné složky dřeva nazýváme extraktivy a ty tvoří 3-10% dřevní hmoty. Extraktiva tvoří organické i anorganické látky a ovlivňují vůni, barvu a další vlastnosti dřeva.

Celulóza vytváří lineární makromolekuly (obr. 1), které jsou složeny z různého počtu glukózových jednotek. Lineární molekuly se mohou prostřednictvím intermolekulových vodíkových vazeb (vazby mezi -OH skupinami sousedních makromolekul) spojovat a vytvářet tak nadmolekulovou strukturu celulózy. U části celulózy jsou vodíkové vazby mezi řetězcovými makromolekulami rozloženy pravidelně a toto uspořádání je podobné mřížce krystalu. Hovoříme o krystalizaci celulózy. Makromolekuly celulózy, které nevytváří prostorové struktury s vodíkovými vazbami, nazýváme amorfni celulózu.



Někdy se kreslí následovně:



Obr. 1: Molekula celulózy [8]

Poměr krystalické a amorfni celulózy ve dřevě je velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva [6]. Čím vyšší je podíl krystalické celulózy, tím má dřevo vyšší hustotu, modul pružnosti, pevnost v tahu, tvrdost a má vyšší rozměrovou stabilitu. Naopak poklesne jeho chemická reaktivita, navlhavost a bobtnání. Krystalická celulóza je velmi stabilní, reakce se nejdříve odehrávají v amorfni celulóze [6].

Hemicelulóza je směs polysacharidů s nižším polymerizačním stupněm. Hemicelulózy mají rozvětvenou strukturu. Jejich funkcí je doprovázet celulózu v jednotlivých vrstvách buněčných stěn dřeva a vytvářet jakousi kontaktní vrstvu mezi celulózą a ligninem. Vlastnosti hemicelulóz závisí na délce základního řetězce, stupni rozvětvení a acetylaci. Hemicelulózy také ovlivňují chemické a fyzikální vlastnosti dřeva.

Lignin vyplňuje prostory mezi vláknitými strukturami polysacharidů. Předpokládá se, že je na polysacharidy vázán elektrostatickými interakcemi a van der Waalsovými vazbami. Lignin dodává dřevu specifické vlastnosti jako vyšší pevnost v ohybu, snižuje propustnost dřeva a má funkci ochrannou. Lignin je amorfni polyfenolická látka, chemicky méně stabilní, než celulóza [6].

3 HYGROSKOPICITA STARÉHO DŘEVA, MECHANISMY

V průběhu času, působením tepla a některých chemických látek nebo působením některých dřevokazných organismů, se ve dřevě mění počet hydroxylových skupin schopných vázat molekuly vody prostřednictvím vodíkových vazeb [5, 1]. Mechanismus tohoto jevu je však jiný pro každý výše uvedený vliv.

Například hygroskopicitu dřeva napadeného dřevokaznými houbami, které eliminují hemicelulózu, se snižuje, jelikož hemicelulóza je nejhygroskopičtější složkou dřeva. Mechanismus snížení hygroskopicity starého dřeva je popsán, a experimentálně ověřen různými autory [2], nicméně příčina tohoto jevu dosud není jednoznačně určena.

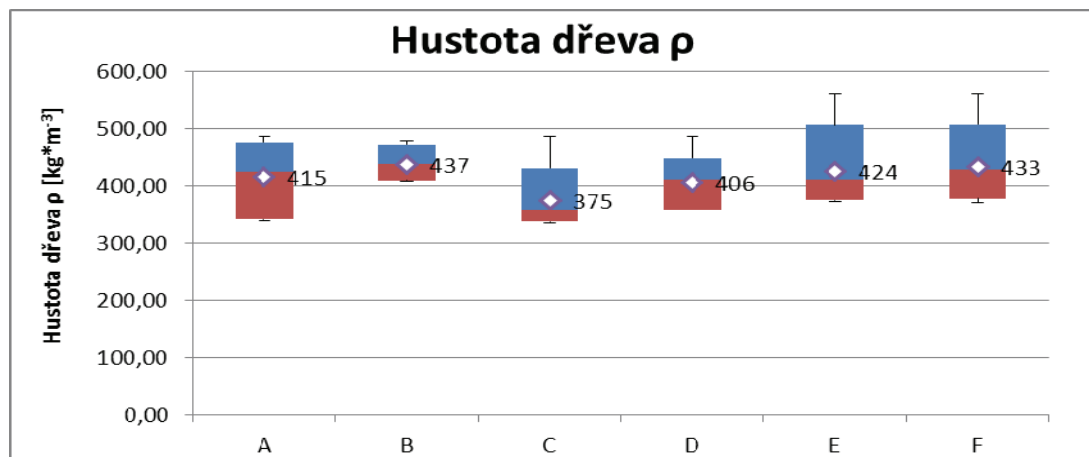
4 EXPERIMENT

Schopnost přijímat vzdušnou vlhkost byla stanovována na malých bezvadných vzorcích jedlového dřeva *Abies pectinata* různého stáří. Vzorky o rozměrech 15 mm x 25 mm x 50 mm (15 mm radiálně, 25 mm tangenciálně, 50 mm podélně) byly, dle datace původních konstrukčních prvků rozděleny do 6 skupin, z nichž každá obsahuje 16 vzorků (tab. 1).

Tab. 1: Identifikace vzorků – původ, datování

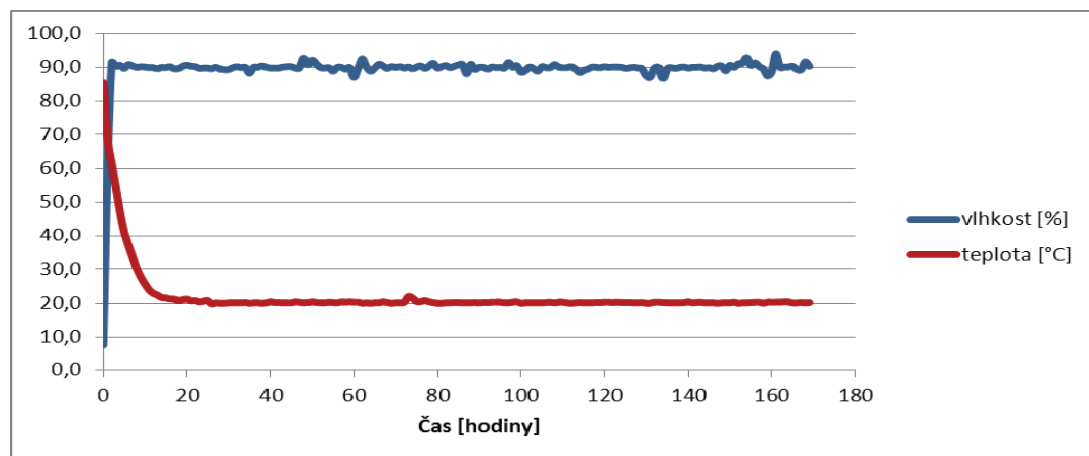
OZN. VZORKU	KUSY	PŮVOD VZORKŮ
A	16	Stropní trámy – zámek Rychvald, dendrochronologicky datováno [4] 1622-1623. Stropní trámy druhotně použity jako nosná konstrukce podlahy mladšího objektu postaveného po roce 1866.
B	16	Stropní trámy – zámek Rychvald, dendrochronologicky datováno [4] 1725-1726. Stropní trámy druhotně použity jako nosná konstrukce podlahy mladšího objektu postaveného po roce 1866.
C	16	Roubená vnější stěna chalupy č.p. 691 v Palkovicích, dendrochronologicky datováno 1773.
D	16	Stropní trámy dvou staveb postavených kolem roku 1866: zámek Rychvald [4] a objekt hospodářského dvora č.p. 57 v Bernarticích nad Odrou.
E	16	Stropní trámy, vnitřní schodiště objekt sýpky č.p. 164 ve Velké Polomi, datování objektu 1903 – 1905 [3].
F	16	Referenční vzorky z čerstvě pokáceného stromu v lednu 2011

Rozměry vzorku byly změřeny posuvným měřidlem s přesností měření 0,01 mm a jejich hmotnost byla určena na analytických vahách s přesností měření 0,0001 g. Pro stanovení hustoty dřeva byly vzorky nejdříve vysušeny do absolutně suchého stavu (obr. 2).



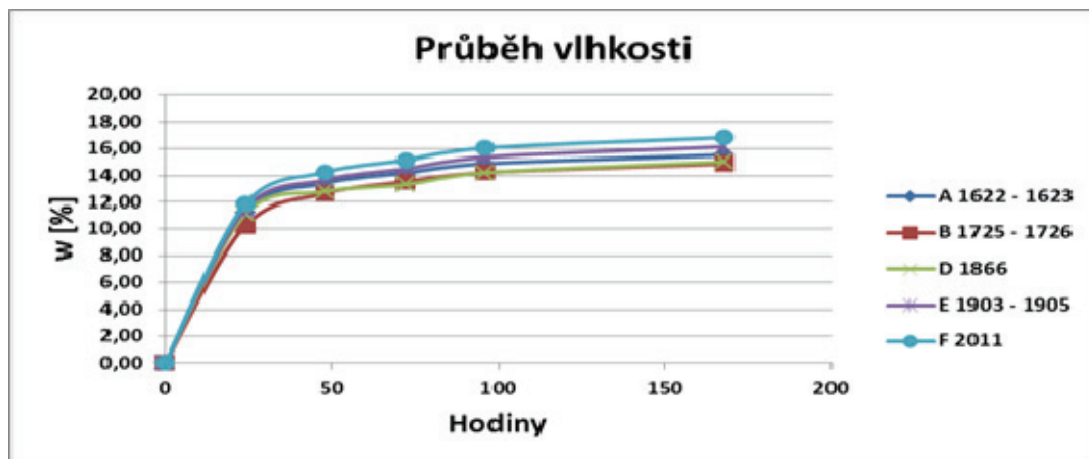
Obr. 2: Hustota dřeva pro jednotlivé skupiny vzorků

Poté byly zkoušené vzorky umístěny do klimatické komory, ve které byly nastaveny parametry prostředí $R.V.=90\%$, $t=20^{\circ}\text{C}$ (obr. 3). Zde byly vzorky klimatizovány po dobu 7 dnů a průběžně váženy po 24, 48, 72, 96 a 168 hodinách.

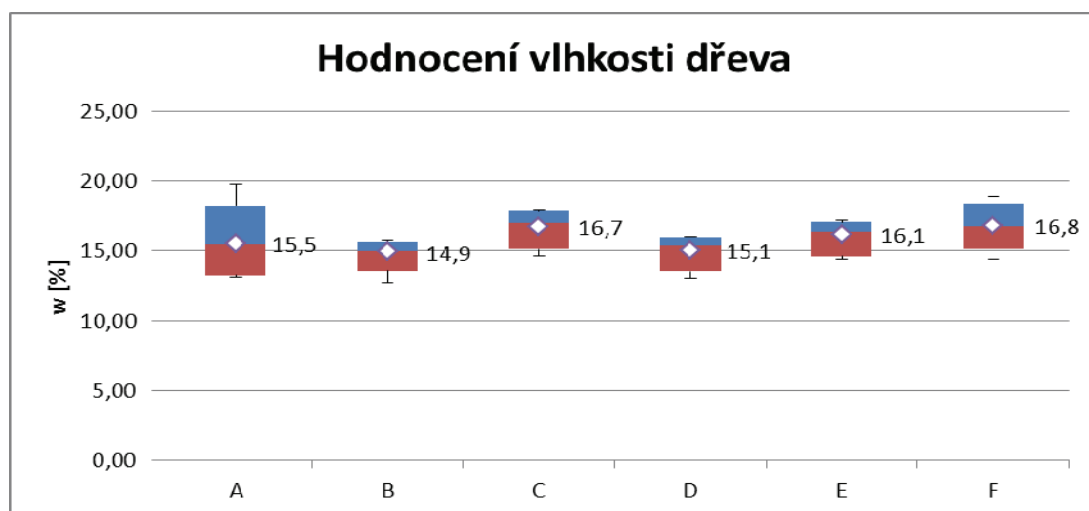


Obr. 3: Průběh vlhkosti a teploty v klimatizované komoře

Pro hodnocení vlivu stáří dřeva na jeho hygroskopicitu byla stanovena dynamika příjmu vzdušné vlhkosti (obr. 4) a také konečná rovnovážná vlhkost dřeva pro jednotlivé zkoušené skupiny vzorků (obr. 5).



Obr. 4: Dynamika vzrůstu vlhkosti vzorků podle stáří vzorku



Obr. 5. Hodnocení vlhkosti zkoušených skupin vzorků dřeva

Z uvedených výsledků vyplývá, že největší schopnost hygroskopicitu vykazuje, kromě vzorků C, nové dřevo označené jako F.

Z konečného hodnocení experimentu byly vyloučeny vzorky skupiny C, jelikož dřevo konstrukčních prvků bylo napadeno dřevokazným hmyzem a hustota dřeva u skupiny vzorků C byla podstatně nižší (obr. 2), než u ostatních skupin vzorků.

Z výsledků měření je možno konstatovat, že se stářím konstrukce klesá schopnost dřeva přijímat vzdušnou vlhkost. Tato tendence je znázorněna na obr. 5. Výjimku zde tvoří vzorky označené písmenem A.

Tuto situaci lze vysvětlit jednak historií vzorku (druhotné použití dřevěné konstrukce ve vlhkově méně namáhané expozici), nebo strukturními a chemickými změnami dřeva. Z těchto důvodů je vhodné provést mikroskopické a chemické rozborů zkoušených těles, jejichž vyhodnocení je klíčové pro pochopení závislosti mezi zkoumanou hygroskopicitou a změnami ve struktuře a chemickém složení starého dřeva.

5 ZÁVĚR

Nepoškozené staré dřevo je vysoce hodnotný stavební materiál, který si zachovává své mechanické vlastnosti [7]. Schopnost hygroskopicity starého dřeva se snižuje v závislosti na jeho stáří (době od skácení stromu). Snížení hygroskopicity starého dřeva se projevuje vyšší objemovou stabilitou dřeva, snížením vnitřního napětí ve dřevě a celkovým nižším příjmem vlhkosti u starého dřeva v porovnání se dřevem novým.

Příčina tohoto jevu zatím není zcela objasněna, ale pravděpodobně souvisí se změnami v chemickém složení dřeva. Hygroskopické stárnutí dřeva je jev nevratný a souvisí s „historií konstrukce“, přičemž rozhoduje počet cyklů bobtnání – vysychání a úroveň nasycení buněčných stěn během těchto cyklů [1].

Sekundární využití starého nepoškozeného dřeva např. na opravu starých historických dřevěných konstrukcí je tedy technickou, nikoli pouze filosofickou, záležitostí. V tesařských spojích sanovaných starým dřevem tak nevznikají nežádoucí deformace a přídavná napětí, což vede k celkové vyšší spolehlivosti nosného konstrukčního systému.

PODĚKOVÁNÍ

Článek vznikl za podpory SP/2011203.

LITERATURA

- [1] ESTEBAN L. G., GRIL J., et al. *Reduction of wood hygroscopicity and associated dimensional response by repeated humidity cycles*, www.sciencedirect.com
- [2] ESTEBAN L. G., FERNANDÉZ F. G., et al. *Comparsion of the hygroscopic behavior of 205year-old and recently cut juvenile wood from Pinus sylvestris L.*, www.sciencedirect.com
- [3] KYNCL T. *Dendrochronologické datování dřevěných konstrukčních prvků sýpky u tvrže ve Velké Polomi*, Výzkumná zpráva č. 109-08, 12/2008. Nepublikováno.
- [4] KYNCL T. *Dendrochronologické datování dřevěných konstrukčních prvků zámku v Rychvaldě*, Výzkumná zpráva č. 122-10, 10/ 2010. Nepublikováno.
- [5] REINPRECHT L.: *Ochrana dřeva*, Zvolen, Technické učení Zvolen 2008. ISBN 978-80-228-1863-6.
- [6] ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L.: *Stavba dřeva*, Brno, MZLU 2008. ISBN 978-80-7157-636-5.
- [7] YOKOYAMA M., GRIL J., et al. *Mechanical characteristics of aged Hinoki wood from Japanese historical buildings*, www.sciencedirect.com
- [8] www.wikipedia.cz (15. 11 2011)

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Ladislav Reinprecht, CSc., Katedra mechanické technologie dřeva, Dřevářská fakulta, Technická univerzita vo Zvolene.

Doc. Ing. Petr Kuklík, CSc., Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Kateřina RUBIŠAROVÁ¹

**POSUZOVÁNÍ SPRÁVNÉHO UMÍSTĚNÍ MĚSTSKÉ FUNKCE
DO STÁVAJÍCÍCH PLÁNŮ MĚST**

**ASSESSMENT OF THE LOCATIONS SUITABLE FOR CITY FUNCTIONS
IN A FRAME OF CITY PLAN**

Abstrakt

Návrh matematického modelu, kritériálního seznamu a aplikace pro výpočet srovnávací hodnoty lokalit typovaných v rámci funkce městské aglomerace. Výsledek aplikován na lokalitách určených pro seniorské bydlení v návaznosti na čerpání klíčových informací z GIS či jiných vhodných zdrojů relevantních informací.

Klíčová slova

Seniorské bydlení, typování lokalit, univerzální systém hodnocení lokalit.

Abstract

Design of a mathematical model, criteria list and applications for calculating of comparison value of locations predicted or intended for city functions (senior housing). The result was applied at locations meant for senior housing in relationship with key information obtained from GIS or other pertinent resources of relevant information.

Keywords

Senior housing, predicting of locations, versatile system of location evaluation.

1 ÚVOD

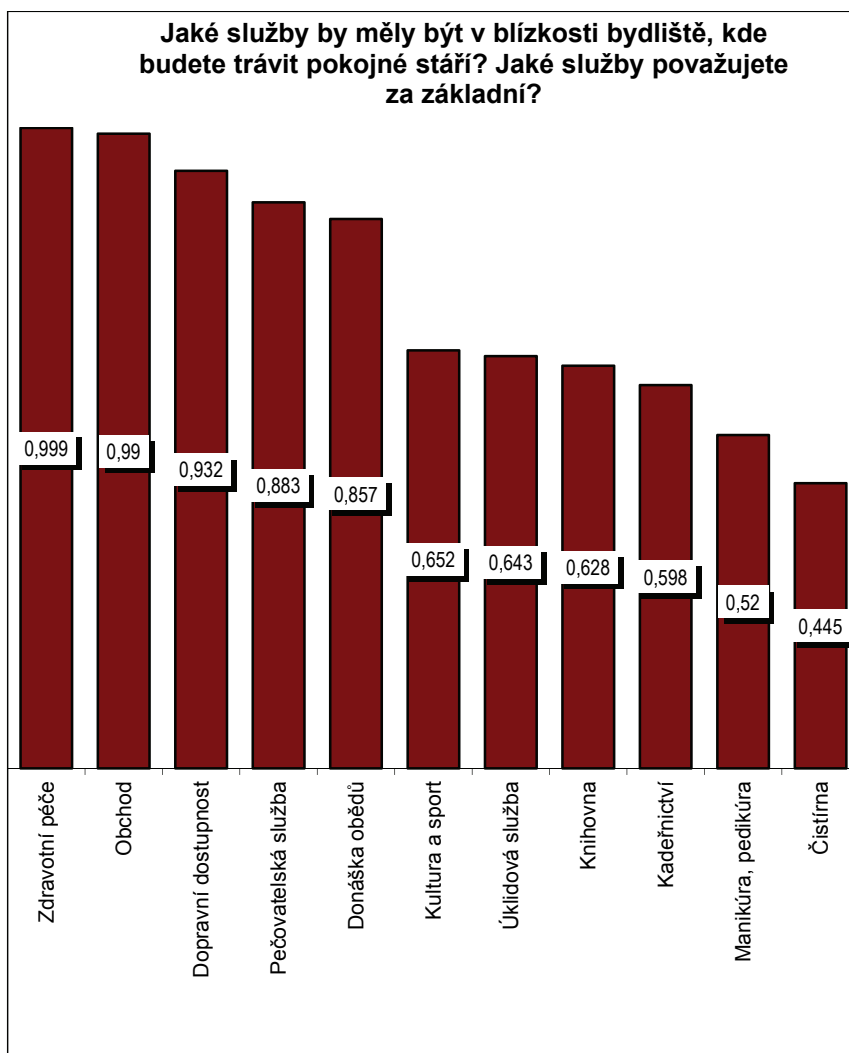
Demografický vývoj v České republice i v Evropě s sebou nese nárůst seniorské populace. V rámci komplexního řešení seniorské problematiky, který zahrnuje především adekvátní důchodovou reformu, je třeba řešit i zajištění péče o seniory včetně otázky bydlení. Dnešní rodinný život, především ve městech, již většinou neumožňuje soužití se seniory způsobem, který byl obvyklý dříve. Proto je třeba hledat jiná vhodná řešení, která by umožnila příjemný život a důstojné dožití generacím v seniorském věku. Jednou z klíčových potřeb je bydlení, a proto je tato práce zaměřena právě na tuto problematiku, protože vhodné nebo méně vhodné umístění této služby v urbanistické struktuře města, může významně ovlivnit spokojenost klientů. Níže popsany nástroj by měl sloužit na úrovni měst k vyhodnocení vhodnosti potenciálně možných lokalit k umístění seniorského bydlení.

2 VOLBA KRITÉRIÍ PRO HODNOCENÍ LOKALIT

Výběr kritérií prošel rozsáhlou analýzou a následným testováním jejich užitelnosti ve spojitosti s hodnocením vhodnosti lokalit pro seniorské bydlení. Z původního intuitivního návrhu přes menší dotazníkový průzkum nakonec došlo k využití rozsáhlého výzkumu Jihomoravského kraje s názvem

¹ Ing. Kateřina Rubišarová, externí doktorand, Katedra stavebních hmot, Fakulta stavební, Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 723 238 218, e-mail: korabecna@seznam.cz.

Průzkum a analýza potřeb seniorů v Jihomoravském kraji za účelem rozšíření možností sociálně a ekonomicky dostupné nabídky bydlení [3] (viz graf 1).



Graf 1: Preference kritérií upřednostňované seniory

Na ose x tohoto grafu jsou uvedeny kritéria, které byly součástí průzkumu pro Jihomoravský kraj [3]. Tento seznam kritérií odpovídal s významné části i našemu průzkumu, proto byl převzat a v další části používán jako referenční seznam kritérií výpočtu vhodnosti lokalit pro seniorské bydlení.

3 VOLBA METODIKY PRO HODNOCENÍ LOKALIT

Bylo třeba vytvořit váhové funkce či vícekritériální matice vhodné pro vyhodnocování vhodnosti lokalit – dle zvolených metod provést vyhodnocení vhodnosti dané lokality. Tyto parametry výpočtu jsou klíčovým faktorem pro funkci a výsledky ohodnocení. Jejich přesná definice umožní provedení srovnávacích výpočtů, jejichž výsledkem je procentuální hodnota vhodnosti lokality.

Aplikace zjištěných skutečností byla provedena na několik aktuálních lokalit a tím byla ověřena správnost modelu či modelů – zvolená metoda a vytvořená váhová funkce či matice

vícekritériálního rozhodování byla ověřena na základě skutečných definic lokalit. Tímto testovacím způsobem na předem zvolených lokalitách byl proveden výpočet, kterým byla ověřena vhodnost tohoto modelu a definice kritérií. Na základě těchto testů byla vybrána nejvhodnější kombinace metody a kritérií, které nejlépe vyhovovali řešení dané problematiky.

Při aplikaci metod vícekritériální analýzy byla zjištěna skutečnost, že všechny uvažovaná kritéria lze převést na konkrétní vzdálenost a tento údaj dále přepočítat na konkrétní hodnotu. Z toho důvodu vyplynulo, že pokud lze sjednotit metriku řešení, není třeba metodu aplikovat v oblasti vícekritériální matematiky, ale šlo by navrhnout jednoduchý hodnoticí model jen prostřednictvím základní matematiky.

Problémem je převod metrické vzdálenosti na bezrozměrnou hodnotu definující váhu jednotlivého kritéria. Funkce se musí co nejvíce přibližovat diskretním hodnotám v následující tabulce, která byla zvolena intuitivně:

Tab.1: převod vzdálenosti na váhu kritéria

Vzdálenost v metrech	Procentuální hodnota	Poznámka
0 m	100%	Potřeba je součástí areálu
50 m	95%	Vedlejší budova
100 m	90%	Budova v rámci ulice
200 m	80%	Dochodná vzdálenost
500 m	50%	Dojezdová vzdálenost MHD
1000 m	25%	Dojezdová vzdálenost autem
5000 m	1%	Mimo město či okres

Je zřejmé, že pro tento převod je třeba použít exponenciální funkci a proto bylo odzkoušeno exponenciální rozdělení při stanovených kritériích maximální uvažované vzdálenosti (v tomto případě 10 km) a funkční rozdělení, jež pro matematický přepočet splní co nej přesněji diskretní hodnoty pro 50m a 5km.

Veškeré vzdálenosti, které jsou uvažovány v rámci výpočtů, jsou vzdálenosti pochozí, tj. nejkratší dráha, kterou lze urazit chůzí. Ve výpočtech pro tento článek není řešena složitost terénu či bezbariérovost dráhy k cíli. Tyto data by měly být čerpány z GIS a dle rozsahu a kvality informací map bude aktualizován vstup vzdáleností tohoto výpočtu. Příkladem může být výpočet vzdálenosti z třírozměrné mapy, kdy bude možno výpočet dráhy provádět z prostorových veličin a ne jen jako rovinový útvar.

Takto navržené rozložení funkce bylo převedeno na spojitý charakter funkce

$$K_i = e^{-10 \cdot x / \text{maxvzdalenost}} \quad (1)$$

K – kritérium

x – vzdálenost v metrech

i – index kritéria v kritériálním listu

maxvzdalenost – představuje maximální uvažovanou vzdálenost v rámci uvažované aglomerace

Tento přepočet s tolerancí 5% splňuje námi požadované hodnoty převodu, jak bylo nastíněno výše uvedenou tabulkou 1. Konstanta 10 nej přesněji vyhovuje spodnímu kritérii pro 5 km a je určena ze strmosti exponenciální funkce jako první hodnota pro výsledek této funkce pro poloviční vzdálenost maximální uvažované vzdálenosti.

Dále je potřeba pro vlastní výpočet stanovit referenční hodnoty kritérií, vůči kterým budeme ostatní lokality porovnávat. Optimální je stanovit průměrné hodnoty lokalit, které chceme posuzovat a tyto hodnoty prohlásit za optimální. Pro ilustraci výpočtu je hodnota optimálních vzdáleností

nepodstatná a proto je můžeme zvolit tak, jak si představujeme nejvhodnější lokalitu seniorského bydlení. Viz tabulka 1, kdy K_{opt} se počítá dle stejného vzorce pro kritérium, jež je uveden výše:

Tab. 2: Výpočet hodnoty optimálního kritéria

Kritérium	Vzdálenost optimální varianty	Hodnota optimálního kritéria K_{opt}
Zdravotní péče	500 m	1,65
Obchod	500 m	1,65
Dopravní dostupnost	250 m	1,28
Pečovatelská služba	350 m	1,42
Donáška obědů	100 m	1,11
Kultura a sport	500 m	1,65
Úklidová služba	200 m	1,22
Knihovna	500 m	1,65
Kadeřnictví	250 m	1,28
Manikúra, pedikúra	250 m	1,28
Čistírna	350 m	1,42

Protože se jedná o optimální variantu je proto součin procentuální hodnoty kritéria (K_{opt_i}) a váhy (V_{opt_i}) roven 1. Výpočet váhy jednotlivého kritéria lze tedy určit z jeho vzdálenosti:

$$V_i = e^{\frac{10 \cdot x}{\max \text{vzdálenost}}}. \quad (2)$$

V – váha kritéria – vzdálenost v metrech

i – index kritéria v kritériálním listu

$\max \text{vzdálenost}$ – představuje maximální uvažovanou vzdálenost v rámci uvažované aglomerace

Tab. 3: Výsledek jednotlivých ohodnocení kritérií

Kritérium	Skutečné vzdálenosti lokality	Součin kritéria a jeho váhy
Zdravotní péče	480 m	1,02020134
Obchod	320 m	1,197217363
Dopravní dostupnost	400 m	0,860707976
Pečovatelská služba	150 m	1,221402758
Donáška obědů	150 m	0,951229425
Kultura a sport	650 m	0,860707976
Úklidová služba	320 m	0,886920437
Knihovna	880 m	0,683861409
Kadeřnictví	200 m	1,051271096
Manikúra, pedikúra	330 m	0,923116346
Čistírna	580 m	0,794533603

Z tohoto důvodu zde stačí pro jednotlivá kritéria stanovit jejich váhu. Následným aritmetickým výpočtem součinu kritéria a jeho příslušné váhy určit kompletní ohodnocení vhodnosti lokality.

$$H = \frac{\sum_{i=0}^n K_i \times V_i}{n} \quad (3)$$

kde:

H – hodnota vhodnosti lokality,

K – hodnota kritéria,

V – váha kritéria

i – představuje index v kritériálním listu

n – počet kritérií

Proto lze stanovit kritéria a k nim optimální variantu pro konkrétní typ seniorského bydlení. Z těchto hodnot je možno vypočítat váhy jednotlivých kritérií viz tabulka 3.

Hodnoty součinu $K_1 * V_1$ jsou uvedeny v tabulce 3 ve sloupci Součin kritéria a jeho váhy. Jejich dosazením do vzorce lze získat konkrétní ohodnocení lokality, kterou uvažujeme.

Následně lze vypočítat průměrnou hodnotu kritérií, jež lze označit jako Výslednou váhu dané lokality:

$$H = \frac{\sum_{i=0}^n K_i \times V_i}{n} = \frac{K_1 * V_1 + K_2 * V_2 + K_3 * V_3 \dots}{n} = \frac{1,65 * 0,62 + 1,65 * 0,72 + 1,28 * 0,67 \dots}{11} = \mathbf{95,01\%}$$

Daný výpočet je možné automatizovat prostřednictvím základního tabulkového kalkulátoru.

Vypočtená hodnota 95,01% představuje porovnání s optimální variantou (100%). Tj. daná lokalita na ohodnocení 95,01% je tedy o 4,99% horší než optimální varianta (100%).

4 VERIFIKACE FUNKČNOSTI MODELU NA KONKRÉTNÍ LOKALITĚ - DOMOV PRO SENIORY SLUNEČNICE

Domov pro seniory na Opavské ulici nabízí své sociální služby ve dvou bezbariérových budovách D1 a D2, postavených vedle sebe, na okraji městského obvodu Poruba, v dosahu zastávek MHD. Tento areál prošel v letech 2003 – 2006 rozsáhlou rekonstrukcí interiéru a exteriéru. V areálu se rovněž nachází S – centrum s denním provozem.

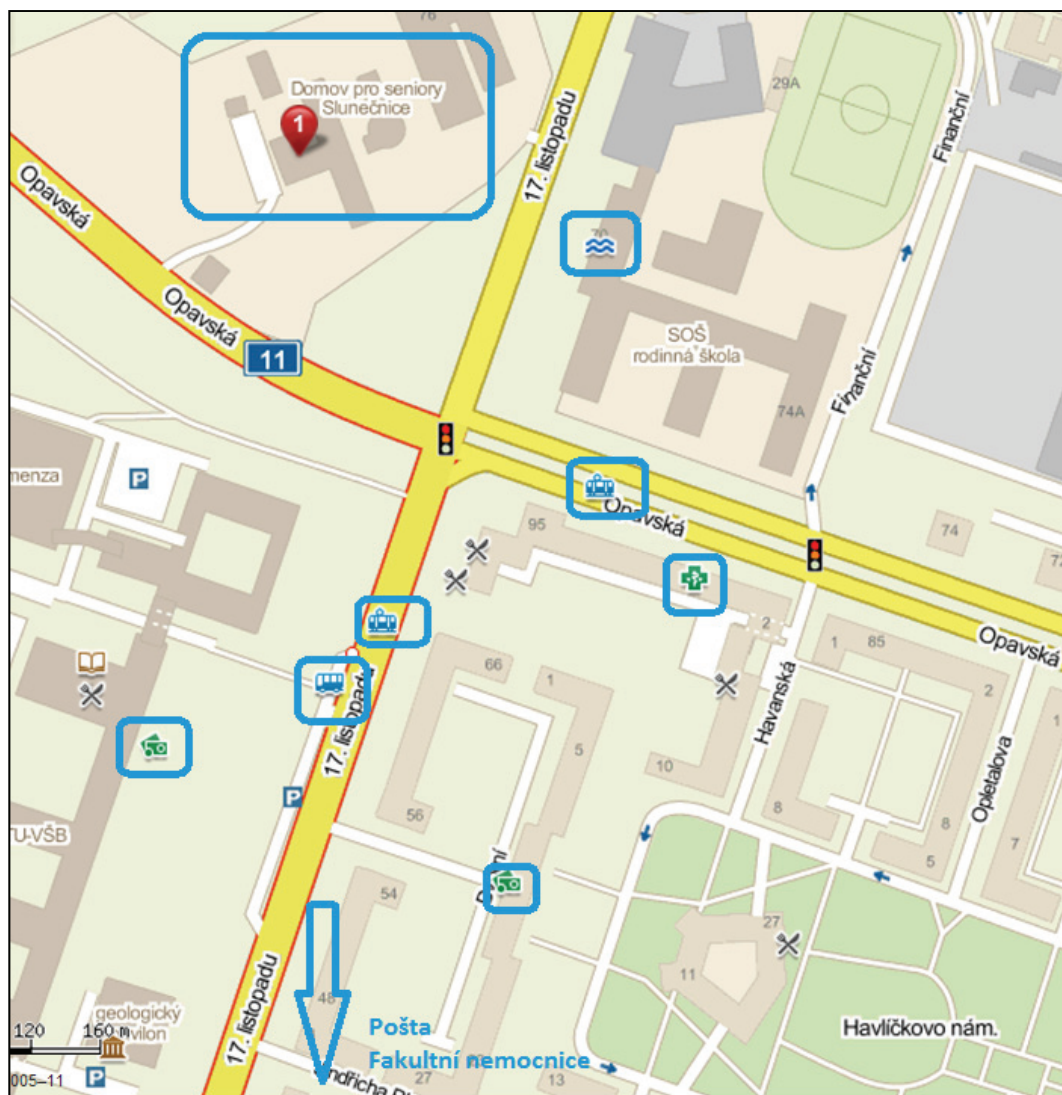
V budově D1 nabízí 210 míst, z toho 114 v jednolůžkových, 39 v dvoulůžkových a 6 v třílůžkových pokojích. Většina z nich má vlastní sociální zařízení. V pokoji je možno mít vlastní televizor a drobné předměty jako jsou obrazy, nástěnné hodiny nebo křeslo. Služba "Domovy se zvláštním režimem" má kapacitu 72 míst a služba "Domovy pro seniory" má kapacitu 138 míst.

Cílovou skupinou jsou senioři, kteří potřebují podporu a pomoc druhé fyzické osoby při základních činnostech spojených s péčí o vlastní osobu.

Komplexní zdravotní péče je nabízena klientům v obou budovách. Je poskytována denně praktickým lékařem a vyškoleným personálem. V nově vybavené rehabilitaci je vodoléčba, elektroléčba, rehabilitační bazén, tělocvična. V budově jsou pro klienty dále tyto služby – kadeřnictví, kosmetika, pedikúra a bufet s posezením. Je samozřejmostí, že klient může i nadále využívat služeb ve svém přirozeném prostředí.

Stravovací provoz se zabezpečuje prostřednictvím dvou vlastních kuchyní, které vydávají celodenní stravy včetně diet. Rovněž je možno poskytnout stravování seniorům z blízkého okolí. Organizace má živnostenské oprávnění pro vaření i pro externí zájemce.

Její lokace je uvedeno na mapce z obrázku 1 situované níže s vyznačením klíčových bodů, jež uvažujeme jako kritéria pro výpočet vhodnosti lokality seniorského bydlení.



Obr. 1: Umístění Domova pro seniory Slunečnice

Volnočasové aktivity jsou přizpůsobeny zájmům klientů. Jedná se o kurzy vaření, ručních prací, keramiky, muzikoterapie, trénování paměti. Pro klienty jsou pořádány kulturní a společenské akce, výlety do blízkého okolí a sportovní hry. Ve společenských místnostech nebo malém sále je možno konat menší rodinné oslavy. U klientů je velmi oblíbená canisterapie.

Objekt má velkou vlastní zahradu s parkovou úpravou a možností venkovního posezení a drobných sportovních aktivit (kuželky, obří šachy, dětský koutek apod.). Novinkou je otevření tzv. Fit parku pro seniory v zahradě, který má blahodárný vliv na tělo i na duši. V horním patře budovy D1 se nachází nová kaple a knihovna s internetem pro klienty.

Tab. 4: Výpočet vhodnosti lokality vzhledem ke zvolené optimální variantě

Domov pro seniory Slunečnice, Ostrava-Poruba				
Kritérium	Optimální varianta	Hodnota váhy pro optimální kritérium	Skutečné vzdálenosti lokality	Součin kritéria a jeho váhy
Lékárna	250 m	1,28	280 m	0,970445534
Praktický lékař	250 m	1,28	280 m	0,970445534
Specializované zdravotnické zařízení	500 m	1,65	280 m	1,246076731
Zastávky MHD	150 m	1,16	240 m	0,913931185
Nákupní centrum	500 m	1,65	500 m	1
Park	250 m	1,28	550 m	0,740818221
Rehabilitace	500 m	1,65	500 m	1
Kulturní centrum	500 m	1,65	860 m	0,697676326
Kadeřnice	250 m	1,28	300 m	0,951229425
Parkoviště	250 m	1,28	260 m	0,990049834
Finanční služby	250 m	1,28	440 m	0,826959134
Hodnota lokality 94,23%				

Vypočtená hodnota 94,23% představuje porovnání s optimální variantou (100%). Tj. daná lokalita na ohodnocení 94,23% je tedy o 5,77% horší než optimální varianta (100%).

Tento výpočet byl experimentálně ověřen jako základně použitelný pro řešení ohodnocení vhodnosti lokality. Navíc je tato metoda univerzální pro jakékoliv hodnocení lokalit při čerpání metrických veličin prostřednictvím GIS.

Byly vytipovány tři skutečné seniorské rezidence na území Ostravy a nad jejich umístěním byl proveden výpočet. Ohodnocení jednotlivých lokalit a jejich vhodnosti je uvedeno v tabulce 5.

Tímto způsobem lze provést ohodnocení libovolné lokality (ať již stávajícího zařízení, nebo plánované lokality pro nové zařízení) vhodně zvolnými kritérii a maximální vzdálenosti. Celý výpočet funguje i pro násobně vyšší či nižší hodnoty vzdáleností.

Tab. 5: Porovnání výpočtu několika Domovů pro seniory

Domov pro seniory IRIS	92,24%
Domov pro seniory Slunečnice	94,23%
Domov Důchodců Čujkovova	104,57%
Testovací lokalita Varenská	123,17%

Z této tabulky si lze ihned zjistit, které lokality jsou v rámci toho posuzovacího modelu vhodnější a které méně a též, jaký je vzhledem k tomuto výpočtu mezi nimi rozdíl.

5 ZÁVĚR

V článku je stručně popsán postup, jakým byl proveden návrh hodnotícího modelu pro lokalizaci seniorského bydlení. Zjednodušeně jsou zde popsány jednotlivé kroky a hlavní části výpočtu spolu s popisem jedné z aplikací modelu a to na konkrétní lokalitu. Rozsah článku neumožňuje ukázkou výpočtu pro některou lokalitu, kde se o seniorském bydlení uvažuje nebo příklad aplikace na jiné město. Navržený model – jeho výpočtová část může mít také další možné použití například při hledání lokality pro školu nebo jiné podobné funkce. Zde je samozřejmě nutná úprava vstupních kritérií. Mechanismus úpravy matematického modelu pro jiný typ uvažované lokality (města, okresu, státu) není vzhledem k rozsahu článku a složitosti popisu možný.

LITERATURA

- [1] KOPECKÁ, P. 2002. Koncept kvality života seniorů v České republice. *Zdravotnictví v České republice* 5 (1-2): 71-75
- [2] www.dsporuba.com (cit. 2011-07-06).
- [3] AUGUR Consulting s.r.o. Průzkum a analýza potřeb seniorů v Jihomoravském kraji za účelem rozšíření možností sociálně a ekonomicky dostupné nabídky bydlení. *Závěrečná zpráva projektu*. 15.12.2010, 1, s. 84
- [4] KUTA, Vítězslav, KUDA, František. Regenerace bytových domů - proměny bydlení. In *Regenerace bytových domů - proměny bydlení (2005 : Ostrava, Česko)* . 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská , 2005. Regenerace bytových domů - proměny bydlení . s. 23-32
- [5] KUTA, Vítězslav, KUDA, František. Sborník referátů z odborné konference pořádané dne 23. března 2004 v Karviné Průmyslová krajina. In *Sborník referátů z odborné konference pořádané dne 23. března 2004 v Karviné Průmyslová krajina* . 1. vyd. Ostrava : Slezská univerzita , 2004. s. 213-220
- [6] GLOSOVÉ, Dagmar. *Bydlení pro seniory*. 1. vyd. Brno: ERA, 2006. 192 s. ISBN 80-7366-057-1
- [7] VIDOVIČOVÁ, Lucie, RABUŠIC, Ladislav. Senioři a sociální opatření v oblasti stárnutí v pohledu české veřejnosti: zpráva z empirického výzkumu. Brno: Výzkumný ústav práce a sociálních věcí, 2003. 67 s

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Josef Šamánek, CSc., Ostrava.

Prof. Ing. arch. Zdeněk Strnadel, Praha.

**Martin VAVRO¹, Jana BOHÁČOVÁ², Pavel MEC³, Václava TOMKOVÁ⁴, Jozef VLČEK⁵,
Stanislav STANĚK⁶**

**ALKALICKY AKTIVOVANÉ STAVEBNÍ HMOTY NA BÁZI VYSOKOPECNÍ STRUSKY
A NESTANDARDNÍHO KAMENIVA**

**ALKALI-ACTIVATED BUILDING MATERIALS BASED ON BLAST FURNACE SLAG
AND NON-STANDARD AGGREGATES**

Abstrakt

Příspěvek se zabývá alkalicky aktivovanými materiály na bázi jemně mleté granulované vysokopecní strusky. Současně jsou v těchto hmotách jako plnivo použity odpadní suroviny jak z výroby a úpravy stavebních surovin a hmot, tak také z oblasti demolice staveb. Vytvořený materiál je testován na mechanické a trvanlivostní parametry. Výsledky mohou přispět k dalšímu výzkumu a vývoji alkalicky aktivovaných systémů se zaměřením na praktické využití ve stavebnictví.

Klíčová slova

Alkalicky aktivované materiály, granulovaná vysokopecní struska, odpadní suroviny, fyzikální a mechanické vlastnosti stavebních hmot.

Abstract

This paper deals with alkali activated materials based on fine grained granulated blast furnace slag. Waste aggregates from building materials and building demolition are used as the filler. Material is tested on mechanical and durability parameters. Results may contribute to next alkali activated system development and research focused on practical application in building industry.

Keywords

Alkali activated materials, blast furnace slag, waste materials, physical and mechanical properties of building materials.

¹ Ing. Martin Vavro, Ph.D., Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321382, e-mail: martin.vavro@vsb.cz.

² Ing. Jana Boháčová, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321968, e-mail: jana.bohacova@vsb.cz.

³ Ing. Pavel Mec, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321952, e-mail: pavel.mec@vsb.cz.

⁴ Doc. Ing. Václava Tomková, CSc., Katedra tepelné techniky, Ústav průmyslové keramiky, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321607, e-mail: vaclava.tomkova@vsb.cz.

⁵ Doc. Ing. Jozef Vlček, Ph.D., Katedra tepelné techniky, Ústav průmyslové keramiky, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321523, e-mail: jozef.vlcek@vsb.cz.

⁶ Ing. Stanislav Staněk, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321968, e-mail: stanislav.stanek.st@vsb.cz.

1 ÚVOD

Alkalicky aktivované materiály, resp. geopolymery představují specifickou skupinu anorganických bezcementových hmot. Vznikají reakcí latentně hydraulických látek nebo pucolánů (granulovaná struska, popílek, metakaolíny) s vhodným aktivátorem. Jako aktivátory lze použít roztoky rozpustných sloučenin alkalických kovů, především sodných a draselných, konkrétně uhličitánů, hydroxidů nebo křemičitanů [6]. Produktem této aktivace jsou hydraulická pojiva, která, po přidavku vody, jsou využitelná pro tvorbu kompozitních látek výborných užitných vlastností [7]. Alkalicky aktivované materiály mohou prakticky sloužit jako alternativy klasických stavebních hmot, zejména cementového betonu, ale díky svým parametrům se mohou uplatnit v řadě ostatních oborů (např. při restaurování památek apod.). Především ve stavebnictví je ale jejich potenciál v současnosti využit jen ve sporadickém měřítku, a to přesto, že výzkumy alkalicky aktivovaných materiálů probíhají již od šedesátých let minulého století.

Nespornou výhodou použití alkalicky aktivovaných materiálů jsou jejich ekonomické a ekologické přednosti. V těchto materiálech se totiž mohou významně zhodnotit druhotné suroviny, vykazující latentní hydraulicitu nebo pucolánovou aktivitu, především velkoobjemové vedlejší produkty z metalurgie a energetiky. Příprava alkalicky aktivovaných pojiv a kompozitů probíhá za běžných nebo jen málo zvýšených teplot, nevyžaduje předcházející výpal poloproduktů na vysokou teplotu (jako je tomu např. u portlandského slínku), ani zpevňování slinováním za vysokých teplot a omezuje se tedy vznik CO_2 ze spalovacích procesů a z rozkladu vápence. Předností alkalicky aktivovaných hmot je také možnost širokého využití často nestandardních plniv, která nejsou používána v technologii výroby betonu.

V tomto příspěvku jsou prezentovány základní vlastnosti laboratorně připravených alkalicky aktivovaných kompozitních materiálů na bázi jemně mleté granulované vysokopecní strusky a recyklovaných nebo nestandardních kameniv.

2 POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro vlastní přípravu vzorků bylo použito několik druhů vstupních surovin. Funkci pojiva tvoří alkalicky aktivovaná jemně mletá granulovaná vysokopecní struska. Aktivace se provedla roztokem vodního skla, jehož silikátový modul byl upraven 50% roztokem hydroxidu sodného na hodnotu $M_s = 2,0$. Jako plnivo byl použit jednak normový zkušební písek používaný pro přípravu cementových zkušebních těles při zkoušení pevnosti cementu. Záměs se zkušebním pískem sloužila jako srovnávací (referenční) záměs. V dalších záměsích byly použity nestandardní druhy plniv. Konkrétně se jednalo o cihelný a betonový recyklát, výsivku z výroby kameniva a odpadní písek, vznikající při plavení kaolínu. U všech druhů pojiv byla síťováním upravena granulometrie, a to tak, aby maximální zrno bylo o velikosti 2mm. Následně byly připraveny jednotlivé testované směsi, ve kterých byl normový písek nahrazen 50 nebo 100% nestandardního kameniva. Jednotlivé záměsi byly následně zkoušeny na mechanické a trvanlivostní vlastnosti. Jednotlivé výsledky jsou porovnány s referenčním vzorkem.

2.1 Vysokopecní struska

Vysokopecní struska představuje vedlejší produkt z primární metalurgie železa. Při rychlém ochlazení žhavotekuté hmoty vzniká granulovaná vysokopecní struska, která se vyznačuje latentně hydraulickými vlastnostmi. Pro alkalickou aktivaci latentně hydraulických látek je pak nutnou podmínkou to, aby významné podíly SiO_2 a Al_2O_3 v jejich složení byly zastoupeny v nekrystalické, reaktivní formě. Podobně jako při hydrataci portlandských cementů jsou i u alkalicky aktivovaných materiálů nositelem pevnostních parametrů vznikající C-S-H fáze. Pro vlastnosti zatvrdlých alkalicky aktivovaných hmot je však významné, že souběžně nevzniká portlandit (Ca(OH)_2) tak, jak je tomu v případě portlandského cementu.

V experimentu byla použita jemně mletá granulovaná vysokopecní struska SMŠ 380, standardní produkt firmy Kotouč Štramberk, s.r.o.

2.2 Aktivátor

Pro aktivaci vysokopecní strusky bylo použito sodné vodní sklo firmy Kittfort. Před samotným použitím aktivátoru byl upraven silikátový modul (poměr $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) vodního skla na hodnotu 2,0. K úpravě silikátového modulu se použilo 50% roztoku hydroxidu sodného.

2.3 Cihelný recyklát

Cihelný recyklát byl pro účely experimentu připraven laboratorně, a to podrcením tří kusů plných cihel na laboratorním čelistovém drtiči. Použité cihly pocházejí ze dvou zdrojů – dva kusy jsou „nové“ cihly, zakoupené v obchodní síti, třetí kus pocházel z demolice rodinného domu ve Frýdlantu nad Ostravicí. Před samotným drcením byla u jednotlivých vzorků stanovena pevnost v tlaku. Zjištěné hodnoty pevnosti uvádí tab. 1. Po zdrobnění byl získaný recyklát upraven síťováním na maximální velikost zrna 2 mm.

Tab. 1: Pevnost v tlaku.

Vzorek	Pevnost v prostém tlaku [MPa]
cihla z demolice	29,9
„nová cihla 1“	26,9
„nová cihla 2“	26,1

2.4 Betonový recyklát

Betonový recyklát byl připraven rozdrčením několika kusů zkušebních betonových krychlí po provedení zkoušky v tlaku v Laboratoři stavebních hmot Fakulty stavební VŠB – TUO. Všechna použitá zkušební tělesa byla představována prostým cementovým betonem pevnostní třídy C30/37 po 28 dnech zrání. Po zdrobnění byl získaný recyklát opět upraven síťováním na maximální velikost zrna 2mm.

2.5 Výsivka

Výsivka představuje kamenivo frakce 0/4 s vysokým obsahem jemných částic, vznikající v procesu úpravy drceného kameniva. Použitá výsivka byla po petrografické stránce představována drobou, vzorek byl odebrán v lomu Bohučovice u Hradce nad Moravicí. Před aplikací tohoto materiálu byla upravena jeho granulometrie tak, že byla odstraněna zrna nad 2 mm.

2.6 Odpadní písek z plavení kaolínu

Odpadní (resp. „sekundární“) písek představuje drobné kamenivo o velikosti zrn 0 – 4 mm, které vzniká při procesu úpravy kaolínu plavením. Z hlediska mineralogického složení je tento písek tvořen zejména křemenem, živci, slídami (muskovit > biotit), zbytkovým kaolinitem, v menší míře limonitem (goethitem), anatasem a blíže neidentifikovaným karbonátem. V současnosti se jedná o jen málo využívaný přírodní materiál, který je většinou deponován ve vytěžených prostorách povrchových těžeben. U tohoto písku byla rovněž upravena zrnitost odstraněním zrn nad 2 mm.

3 RECEPTURY SMĚSÍ A ZKOUŠENÉ VLASTNOSTI

Pro účely laboratorního testování alkalicky aktivovaných hmot s obsahem recyklátů a odpadních kameniv bylo připraveno celkem 9 záměsí, jejichž receptury jsou uvedeny v tab.2. Receptura s označením Z1 představuje referenční směs se 100 % zkušebního křemenného písku ve formě plniva. U směsí Z1A – Z1D bylo 50 % zkušebního písku nahrazeno nestandardním kamenivem a směsi Z1E – Z1H obsahovaly pouze nestandardní kamenivo jako plnivo. Pro většinu zkoušek bylo využito normových postupů pro zkoušení malt či betonů. Zkušební tělesa měla rozměr

40x40x160mm [1]. Vzhledem k rozdílné objemové hmotnosti normového písku a použitých odpadních surovin byly tyto dávkovány objemově. Čerstvé záměsi byly upraveny na jednotnou konzistenci 200 mm, měřenou metodou rozlití [2].

Tab. 2: Receptury alkalicky aktivovaných směsí.

Vzorek	Struska [g]	Zkušební písek [g]	Aktivátor[ml]	Cihelný recyklát [g]	Betonový recyklát [g]	Výsivka [g]	Písek z plavení kaolínu [g]
Z1	450	1350	127	-	-	-	-
Z1A	450	675	127	482	-	-	-
Z1B	450	675	127	-	597	-	-
Z1C	450	675	127	-	-	580	-
Z1D	450	675	127	-	-	-	603
Z1E	225	-	127	964	-	-	-
Z1F	225	-	127	-	1195	-	-
Z1G	225	-	127	-	-	1160	-
Z1H	225	-	127	-	-	-	1206

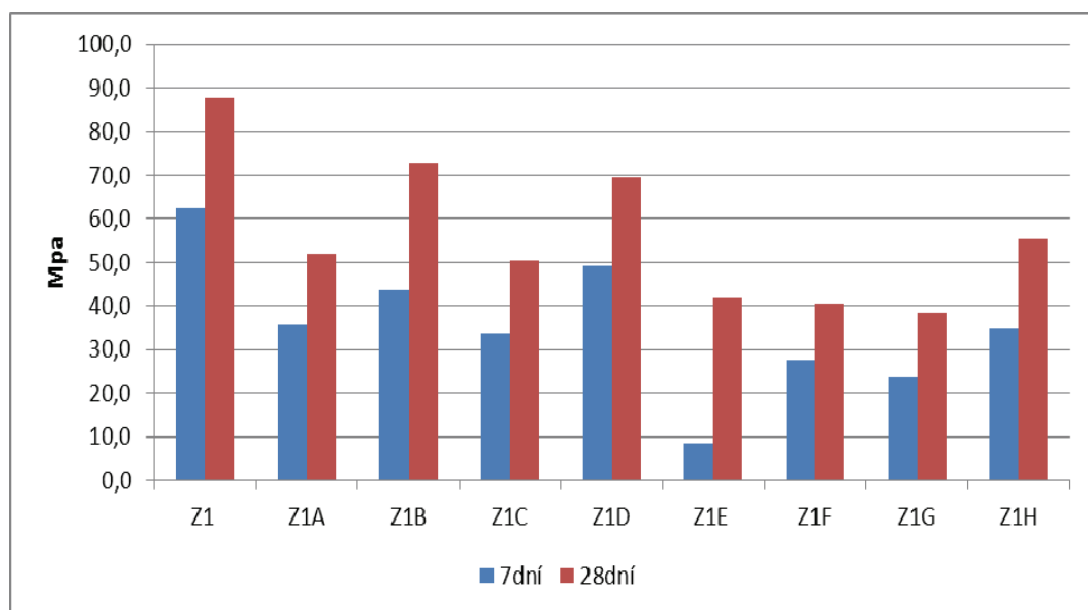
Na připravených vzorcích byla zkoušena pevnost v tlaku a v tahu za ohybu po 7 a 28 dnech [3]. Z odolnostních zkoušek se prováděly zkoušky mrazuvzdornosti a zkouška odolnosti vůči působení vody a chemických rozmrazovacích látek (CHRL) [4, 5]. Provedena byla také zkouška odolnosti vůči působení kyselin. Při této zkoušce byly vzorky, vyrobené z jednotlivých směsí, po 28 dnech ponořeny na 7 dní do 3% roztoku kyseliny chlorovodíkové. Následně se na těchto zkušebních tělesech zkoušela pevnost v tlaku a tahu za ohybu. V neposlední řadě byla také testována odolnost proti působení vysokých teplot. Příslušné vzorky byly vypáleny v komorové peci na teplotu 800 °C po dobu 2 hodin a následně po vychlazení byla zkoušena na pevnost v tahu za ohybu a v tlaku.

4 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Jednotlivé zkoušky byly prováděny vždy na třech zkušebních tělesech, z dílčích výsledků byl pak následně vypočten aritmetický průměr. Výsledky stanovení pevnostních parametrů, mrazuvzdornosti, odolnosti vůči CHRL a působení kyselin a vysokých teplot jsou prezentovány v tab. 3 a 4 a na obr. 1 – 5.

Tab. 3: Pevnost v tahu za ohybu a v prostém tlaku po 7 a 28 dnech

Vzorek	Pevnost v tahu za ohybu po 7 dnech [MPa]	Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech [MPa]	Pevnost v tlaku po 7 dnech [MPa]	Pevnost v tlaku po 28 dnech [MPa]
Z1	8,1	9,9	62,3	87,8
Z1A	4,9	7,5	35,5	52,0
Z1B	5,8	7,4	43,8	72,7
Z1C	5,2	5,5	33,9	50,5
Z1D	7,4	6,9	49,3	69,7
Z1E	2,7	5,0	8,5	41,7
Z1F	5,1	5,2	27,6	40,7
Z1G	6,4	6,1	23,5	38,5
Z1H	6,1	7,1	35,0	55,2



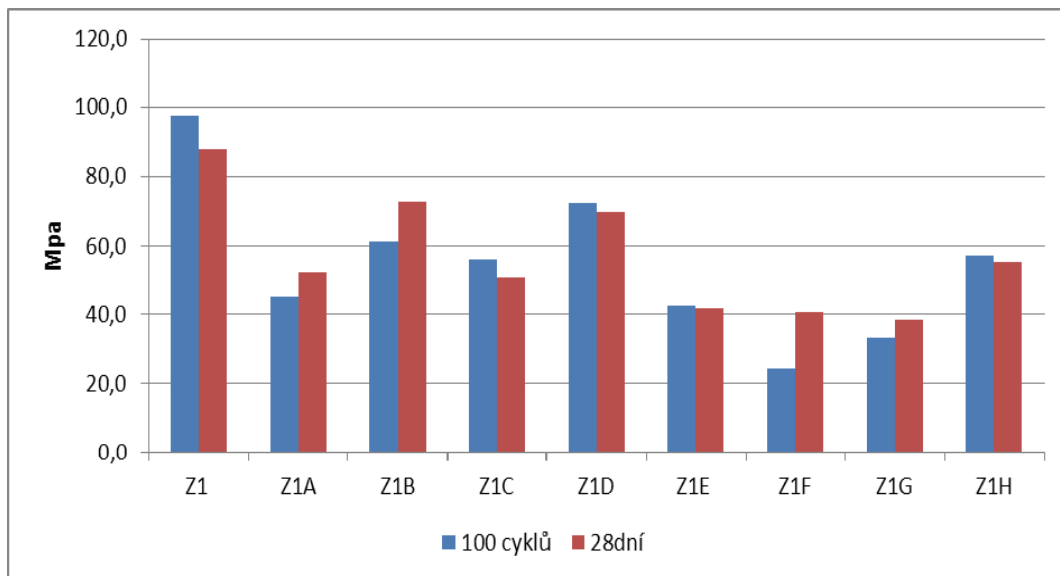
Obr. 1: Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na čase

Výsledky prezentované v tab. 3. a na obr. 1. dokumentují, že nejvyšší pevnosti v tlaku po 28 dnech dosáhla, zcela logicky, referenční směs Z1. Hodnota pevnosti u referenční směsi dosahovala téměř 90 MPa. Je však třeba zdůraznit, že i vzorky z některých směsí s 50% obsahem nestandardních kameniv (Z1B s betonovým recyklátem a Z1D s odpadním pískem z plavení kaolínu) nebo dokonce se 100 % nestandardních plniv (Z1H s odpadním pískem z plavení kaolínu) přesahovaly hodnotu 50 MPa pevnosti v tlaku.

Při zkoušení odolnosti vůči střídavému působení kladných a záporných teplot byla zkušební tělesa vystavena celkem 100 zmrazovacím cyklům podle postupu uvedeného v ČSN 72 2452 [4]. Z výsledků, uvedených v tab. 4 a na obr. 2 vyplývá, že u vzorků vyrobených z některých modifikovaných záměstí s nestandardním kamenivem došlo k nárůstu hodnot pevností oproti stavu před zmrazováním.

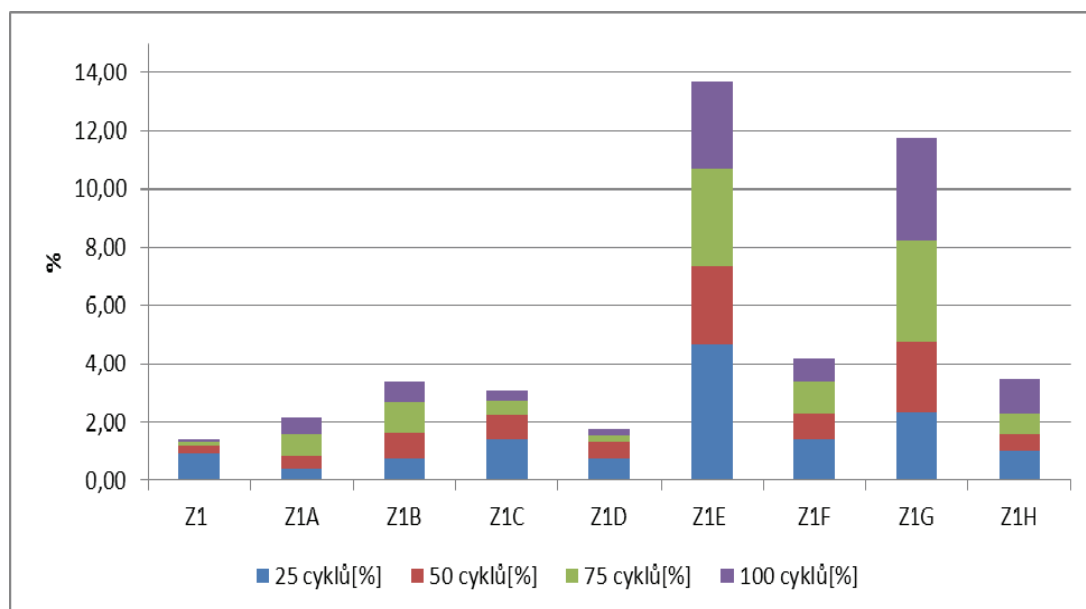
Tab. 4: Pevnost v tahu za ohybu a tlaku po 100 zmrazovacích cyklech.

Vzorek	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Pevnost v prostém tlaku [MPa]
Z1	11,5	97,4
Z1A	7,2	45,0
Z1B	9,5	61,1
Z1C	9,3	56,2
Z1D	9,3	72,2
Z1E	6,4	42,5
Z1F	0,8	24,3
Z1G	4,3	33,0
Z1H	7,8	57,1

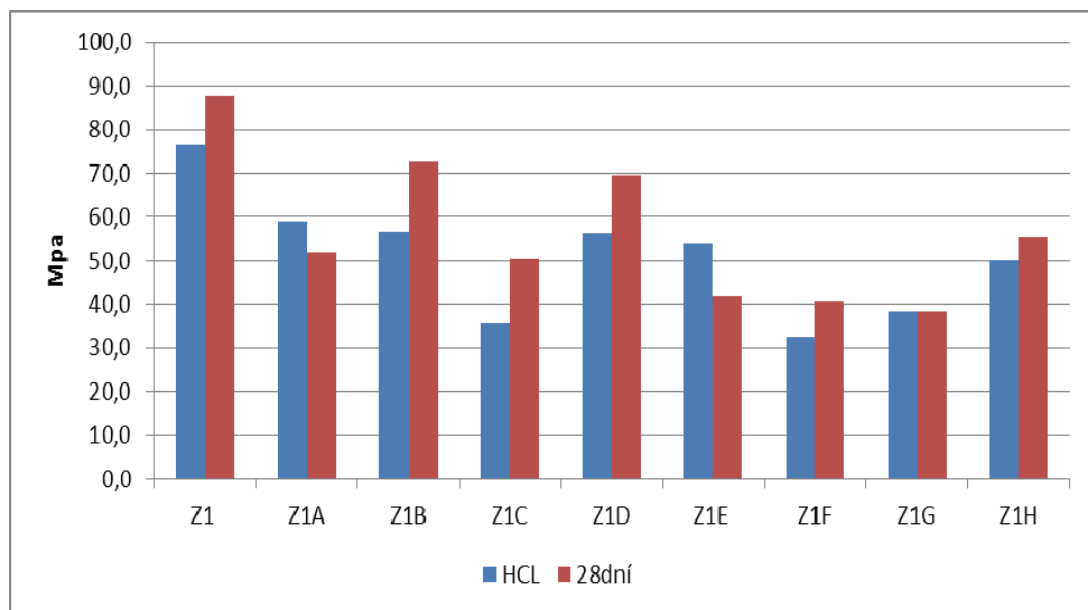


Obr. 2: Pevnost v tlaku po 100 zmrazovacích cyklech v porovnání s pevností po 28 dnech

Zkouška odolnosti testovaných záměstí vůči působení CHRL byla prováděna podle postupu uvedeného v ČSN 73 1326 [5]. Z výsledků na obr. 3 je zřejmé, že jak u referenční směsi, tak také u většiny směsí modifikovaných dosahovaly odpady po 100 zmrazovacích cyklech maximálně hodnoty 4 % původní hmotnosti zkušebního tělesa. Výjimku představují směsi Z1E (se 100% obsahem cihelného recyklátu) a Z1G (se 100 % obsahem výsivky), kde množství odpadu přesáhlo 10 %.

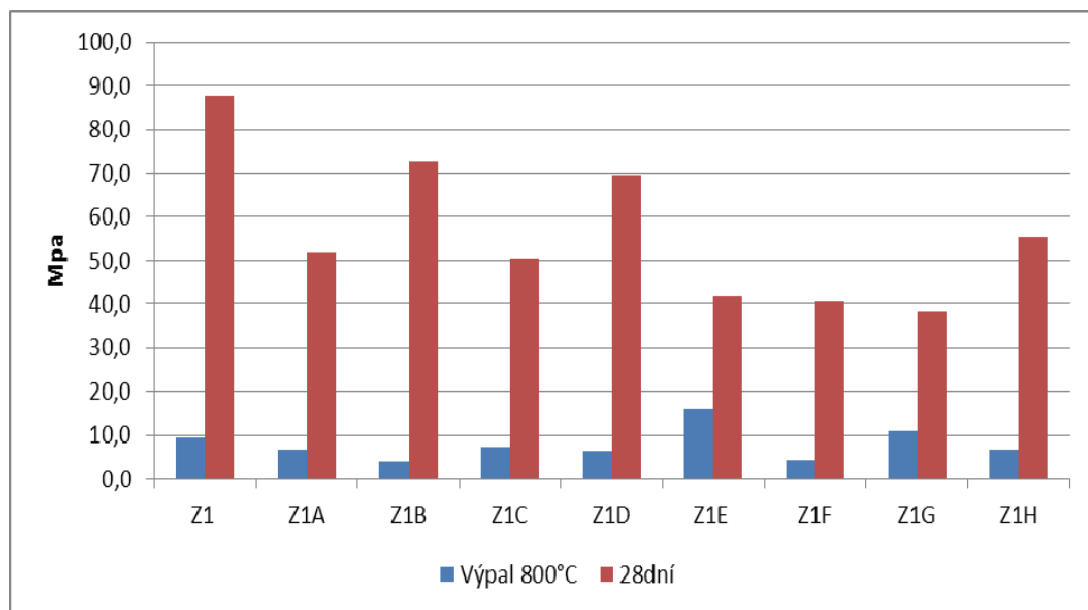


Obr. 3: Hodnoty hmotnosti odpadu z povrchu zkušebníh těles v % hmotnosti původního vzorku po 25, 50, 75 a 100 cyklech zkoušky odolnosti vůči působení CHRL



Obr. 4: Pevnost v tlaku po vystavení 3% roztoku HCl v porovnání s pevností po 28 dnech

Obr. 4 prezentuje výsledky testování odolnosti vzorků z jednotlivých směsí vůči působení 3% roztoku HCl. Z výsledků je zřejmé, že u většiny hmot došlo k poklesu pevnosti oproti stavu před vystavením působení kyseliny, avšak v případě záměsí s obsahem 50 %, ale i 100 % cihelného recyklátu (směsi Z1A a Z1E) se pevnost naopak zvýšila. V případě směsi Z1E činilo toto zvýšení dokonce více než 20 % původní pevnosti.



Obr. 5: Pevnost v tlaku po vystavení teplotě 800°C v porovnání s pevností po 28 dnech

Na obr. 5 je zachyceno porovnání pevností v tlaku po 28 dnech u vzorků z jednotlivých směsí s pevnostmi po následném výpalu na 800°C s dobou izotermické výdrže 2 hodin. U všech testovaných vzorků došlo k poměrně výraznému poklesu pevností vlivem působení vysoké teploty. Nejnížší pokles byl, zaznamenán u vzorků směsi Z1E, která obsahovala 100 % cihelného recyklátu jako plniva. Tento fakt lze pravděpodobně přičíst skutečnosti, že cihla představuje materiál s určitou tepelnou historií a proto reakce hmoty s tímto plnivem bude jiná, než u ostatních plniv.

4 HODNOCENÍ A ZÁVĚR

Výsledky experimentálního studia vybraných vlastností alkalicky aktivovaných materiálů s obsahem nestandardních kameniv naznačují, že použití plniv na bázi odpadních surovin nebo recyklátů je v těchto systémech velmi perspektivní. Podařilo se vytvořit směsi, které i přes obsah 50 %, popř. i 100 % alternativního kameniva z celkového objemu plniva, dosahují v zatvrdlém stavu pevností vyšších než 50 MPa, jsou velmi odolné vůči působení mrazu a CHRL a jejich mechanické vlastnosti nejsou podstatným způsobem snižovány ani působením kyselého prostředí.

Význam zjištěných výsledků a závěrů této fáze laboratorních výzkumů je obzvláště důležitý i z hlediska skutečnosti, že některá testovaná plniva (např. kyselé písky z plavení kaolínu) nejsou v žádném případě použitelná v technologii betonu a maltovin na bázi portlandského cementu.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění Grantové agentury ČR, projekt GAČR ev. č. 106/09/0588 „Vliv fázového složení a mikrostruktury na funkční vlastnosti geopolymerních systémů z technogenních pucolánů“.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1015-2 – *Zkušební metody malt pro zdivo* - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt, Český normalizační institut, Praha, 1999.
- [2] ČSN EN 1015-3 – *Zkušební metody malt pro zdivo* - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešovacího stolku), Český normalizační institut, Praha, 1999.
- [3] ČSN EN 1015-11 – *Zkušební metody malt pro zdivo* - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku, Český normalizační institut, Praha, 2000.
- [4] ČSN 72 2452 – *Zkouška mrazuvzdornosti malty*, Český normalizační institut, Praha, 1968.
- [5] ČSN 73 1326 – Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemickým rozmrazovacím látkám, Český normalizační institut, Praha, 1985.
- [6] Davidovits, J., *Geopolymer chemistry and applications*, Geopolymer Institute, 2008.
- [7] Shi, C., Roy, D., Krivenko, P., *Alkali-activated cements and concretes*, Spon press, 2006.

Oponentní posudek vypracovali:

Prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc., Ústav chemie, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D., Institut environmentálního inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Josef ALDORF¹, Lukáš ĎURIŠ²

ZHODNOCENÍ ZKUŠENOSTÍ S MODELOVÁNÍM HLUBOKÝCH STAVEBNÍCH JAM

EVALUATION OF EXPERIENCE IN MODELLING OF DEEP FOUNDATION PITS

Abstrakt

Zakládání nových staveb uprostřed městské zástavby s sebou přináší mnoho komplikací. Pro maximální využití prostoru jsme nuceni zakládat ve větších hloubkách, což přináší obtíže se zajištěním takovýchto stavebních jam. K řešení stability a založení objektu můžeme využít i prostředků matematického modelování. U komplikovaných staveb se vyplatí využít prostorových modelů. Požívání těchto prostředků ovšem vyžaduje určité zkušenosti uživatele.

Klíčová slova

Stavební jáma, MKP, Plaxis.

Abstract

Foundation of new buildings in the middle of urban areas brings many challenges. For maximum utilization of space, we have to choose greater depth for foundations, resulting in difficulties with stabilization of foundation pits. For analysis of foundation structure and stability of pit can be used tools of mathematical modeling. For complex structures it pays to take advantage of 3D modeling. The enjoyment of these techniques, however, requires some user experiences.

Keywords

Foundation pit, FEM, Plaxis.

1 ÚVOD

Budování nových objektů a využívání volných ploch s sebou přináší nutnost zakládat objekty ve složitých podmínkách. Pro využití místa se často buduje i rozsáhlá podzemní část pod objekty. Potom je nutné zakládat ve větších hloubkách a budovat stavební jámy. Obvykle se dostáváme do hloubek 7 až 10 m pod povrchem. Zajištění stability takto hlubokých stavebních jam je poměrně složité, zejména tehdy, když nelze pažící konstrukce kotvit, a je nutné zajistit vodotěsnost pažící konstrukce. Téměř úplně můžeme vyloučit svahované stavební jámy, pro které v husté zástavbě není místo. Ideálním řešením je záporové pažení, nebo podzemní stěny. Při hloubce větší než 4 m je obvykle nutné stěnu kotvit či rozeprít přes ocelové převázky. Obecně ji lze realizovat do hloubky 10 m, maximálně do 20 m při rozdělení lavičkami. Využívá se především pro pažení stěn výkopu nad úrovní hladiny podzemní vody nebo tam, kde je základová spára nepřiliš ponořená pod hladinu podzemní vody a nehrozí, že při odčerpávání přítoků do stavební jámy dojde k porušení stability okolních objektů vynášením jemných částic z jejich podzákladí (tj. sufozí či vnitřní erozí).

¹ prof. Ing. Josef Aldorf DrSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321945, e-mail: josef.aldorf@vsb.cz.

² Ing. Lukáš Ďuriš, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321948 e-mail: lukas.duris@vsb.cz.

Mikrozáporové pažení představuje pažící, zpevňující a stabilizující konstrukci, která však svou funkci plní pouze dočasně. Téměř vždy je nutné jej rozpírat, případně kotvit za pomoci ocelových převázek. Této technologii se využívá ve stísněných podmínkách městské zástavby a při rekonstrukcích ve špatně přístupných prostorech, ale pouze pro mělké výkopy. Jako dočasné či trvalé pažící konstrukce, které by měly plnit i funkci těsnící, se využívají štětové stěny. Zabraňují průtoku vody, zachycují hydrostatický tlak a umožňují tak vodotěsné uzavření výkopu. Jejich instalace beraněním či vibroberaněním představuje značnou nevýhodu v městské aglomeraci, neboť vznikající otřesy mohou mít negativní vliv na okolní zástavbu. Důležitou podmínkou pro použití štětovnicového pažení jsou vhodné geologické podmínky. Převrtávané pilotové stěny jsou jednou z variant, kterou lze i bez dalších opatření považovat za těsnící, a používá se tak v nesoudržných zeminách pro zajištění stavebních jam, jejichž dno leží pod hladinou podzemní vody. Pilotové stěny se navrhují buď jako volně stojící, tzn. nekotvené, nebo v případě větších hloubek jako kotvené, zřídka i rozepřené.

Jednu z nejmladších metod pro trvalé pažení a těsnění stavebních jam představují stěny z tryskové injektáže. Jelikož jsou velice nákladné, využívají se pouze lokálně v místech, kde není možné jiné řešení, a především k podchycování stávajících základů ke stavební jámě přiléhajících budov. Podle geotechnických poměrů na staveništi a požadovaného geometrického tvaru prvků se využívá jednofázového, dvojfázového či trojfázového systému provádění. Pro trvalé pažení rozsáhlých stavebních jam se čím dál častěji používají podzemní stěny (tzv. milánské stěny), které obvykle plní i funkci těsnící. Navíc mohou být využity jako nosné konstrukce podzemní části objektu a přenášet zatížení od horní stavby. Nejčastěji se realizují jako monolitické, v opodstatněných případech jako prefabrikované, výjimečně jako čistě těsnící ze samotvrdnoucí suspenze. Podzemní stěny je možné kotvit, respektive rozpírat v jedné i více úrovních [1, 4, 3].

2 MODELOVÁNÍ STAVEBNÍCH JAM

Pro komplexní řešení návrhu stavební jámy a sedání objektů se v dnešní době poměrně často využívá matematického modelování a v geotechnické praxi zejména metody konečných prvků. Při výpočtu a posuzování složitých objektů je vhodné využít zejména prostorových modelů, které umožňují reálnější přístup a přípravu geotechnického modelu. Pro modelování stavebních jam je vhodné využít speciálních programů. Jedním z takovýchto je například program Plaxis 3D Foundation, pro prostorové modelování.

Prostorové modely, jak je zvykem u 3D Plaxis programů, vznikají „protažením“ rovinného modelu do třetího rozměru. Rovinný model je potřeba sestavit na základě podkladů dané situace. Vytvořením základního půdorysu geometrie modelu, využíváme půdorys do všech dalších pracovních rovin. Tyto pracovní roviny jsou definovány uživatelem opět podle potřeby, díky tomu si můžeme snadno definovat např. hloubku stavební jámy, případně délku piloty, úroveň základové spáry, různé hloubky založení, apod. Pracovní roviny nesouvisí s geologickou skladbou. Program je speciálně zaměřen na zakládání, a proto obsahuje speciální geometrické prvky, které usnadňují práci při vytváření modelů. Jedná se zejména o prvky pro stěnové konstrukce (wall), základové desky (floor), piloty (pile). Pomocí těchto desko-stěnových prvků můžeme vytvořit například nosnou konstrukci budovy, která bude založena ve stavební jámě i nad ní. Konstrukce mohou být zatíženy třemi druhy zatížení. Jedná se o plošné, liniové a bodové zatížení. Nově byla přidána i možnost použití zemních kotev. Po vytvoření pracovních úrovní, které nám slouží k simulaci pracovních hloubek je potřeba nadefinovat i horninové prostředí. K tomu nám slouží funkce vrt (borehole), kde definujeme podle mocností jednotlivých vrstev rozhraní mezi zeminami. Vrtů může být i více a program sám interpolací stanoví tvar průběhů jednotlivých vrstev a také zde můžeme určit hladinu podzemní vody. Velikost respektive hloubku modelu stanovíme podle zvolené délky vrtu. Dostatečná hloubka nám zajistí správnost výpočtu bez ovlivnění okrajovými podmínkami. Okrajové podmínky modelu jsou automaticky přiřazeny a není možné je měnit.

Tvorba sítě je zajištěna automatickým generátorem jak v rovině tak následně v prostoru. Geometrie je rozdělena 15 uzlovými klínovými prvky. Ty jsou tvořeny 6 bodovými trojúhelníky a 8 uzlovými čtyřúhelníky. Toto dělení je nastaveno pevně a nelze ho změnit. Kvalita síť se dá

ovlivnit pouze hustotou a to jak v rovině, tak i ve třetím směru. Po vytvoření geometrie je možno spustit kalkulačního programu pro výpočet. V kalkulačním programu definujeme fáze modelování, vkládání prvků, odtěžení zeminy apod. Délka výpočtu je výrazně ovlivněna hustotou sítě konečných prvků a složitostí a velikostí modelu. Pomocí postprocesoru si můžeme zobrazit vypočtené výsledky deformací, přetvoření a napětí. Deformace se dají zobrazit samostatně v jednotlivých směrech nebo jako totální hodnota. Můžeme zobrazovat i hodnoty rozdílů deformací od předchozích fází apod. Napětí se zobrazují jako totální a efektivní, případně je možno zobrazit i hodnotu pórových tlaků.

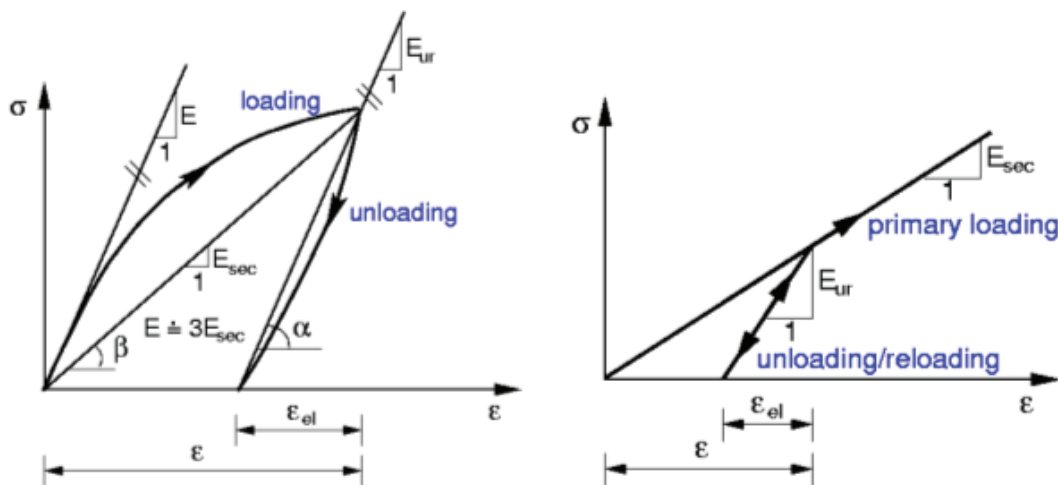
3 VSTUPNÍ PODMÍNKY MODELU

Chování zemního prostředí lze simulovat různými konstitutivními modely jako např. lineární: Mohr Coulomb, Hardening soil model, Soft soil creep. Základním a nejčastěji používaným je Mohr-Coulombový model. Tento elasto-plastický model vyžaduje několik základních vstupů a to zejména deformační modul E a Poissonovo číslo ν , a dále smykové parametry zeminy (c a ϕ). Předpoklad tohoto modelu je ideální plasticita. Při použití tohoto modelu se uvažuje konstantní tuhost v každé vrstvě. Využití této konstantní tuhosti je pro rychlé stanovení deformací. Deformační modul nám ovlivňuje zejména deformace. Hodnota deformačního modulu je velice důležitá a její stanovení se prakticky musí zohlednit podle dané úlohy, a zda se jedná o zatěžování nebo odlehčování. Pro zatěžování, jako je například základ, násyp a podobně je potřeba uvažovat modul E_{oed} nebo E_{50} z triaxiální zkoušky. Pro odlehčování co je případ například tunelování nebo výkop je potřeba uvažovat modul E_{ur} (Unloading/Reloading), který je stanoven ze zatěžovacích a odlehčovacích cyklů (viz obr. č. 1). Tuhost podle odlehčení/zatížení (U/R) je vyšší než pro zatížení.

Stanovení jednotlivých modulů je pak následné:

$$E_{def} = \tan \beta = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon$$

$$E_{ur} = \tan \alpha = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon^{el} \quad (1)$$

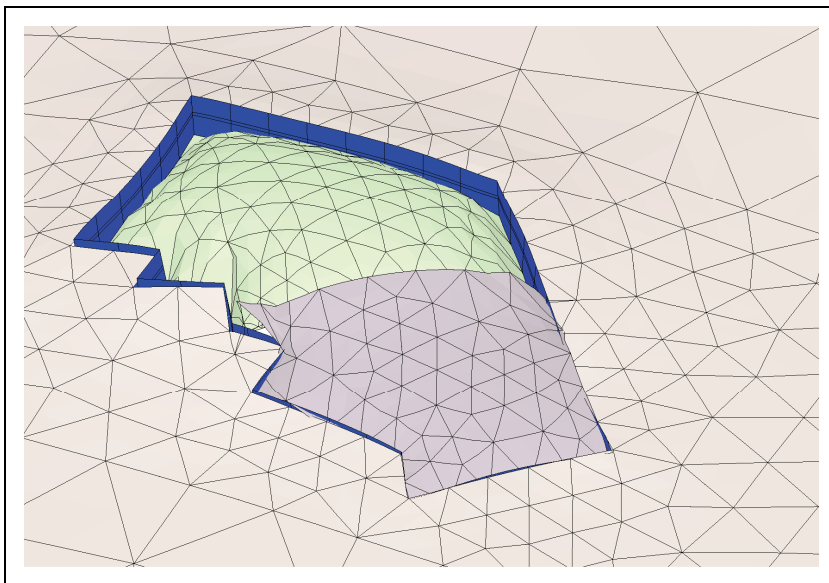


Obr. 1: Napěťo-deformační diagram (převzato z www.fine.cz)

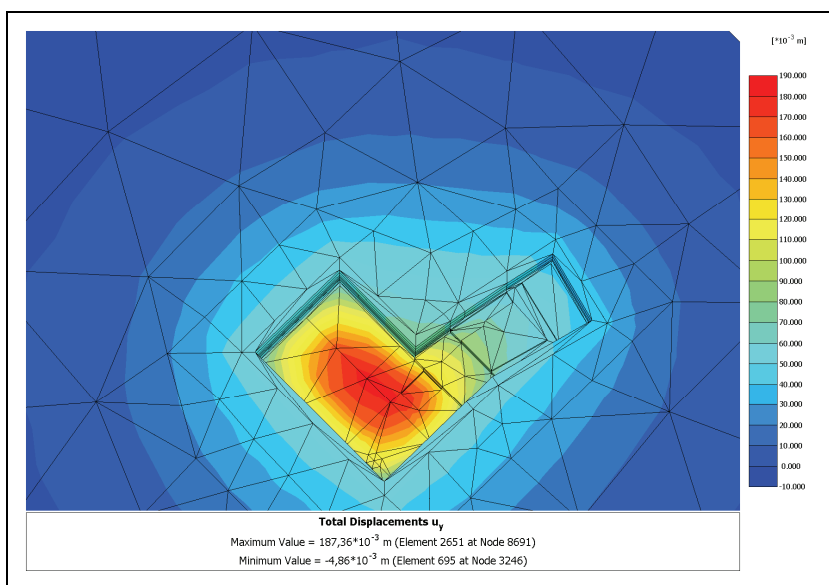
Hodnota Poissonova čísla je dána na základě výsledků triaxiálních zkoušek. Tato hodnota je důležitá pro stanovení koeficientu bočního tlaku K_0 při gravitačním zatížení. Obvykle se hodnoty pohybují mezi 0,25 až 0,45. Toto je opět hodnota vhodná pro modely se zatížením vycházející z jednoosého zatížení. Pro odlehčovací podmínky je vhodné použití hodnot v rozmezí mezi

0,15 až 0,25. Doporučení vychází z manuálu programu [2]. Správné stanovení vstupních parametrů je proto velice důležité.

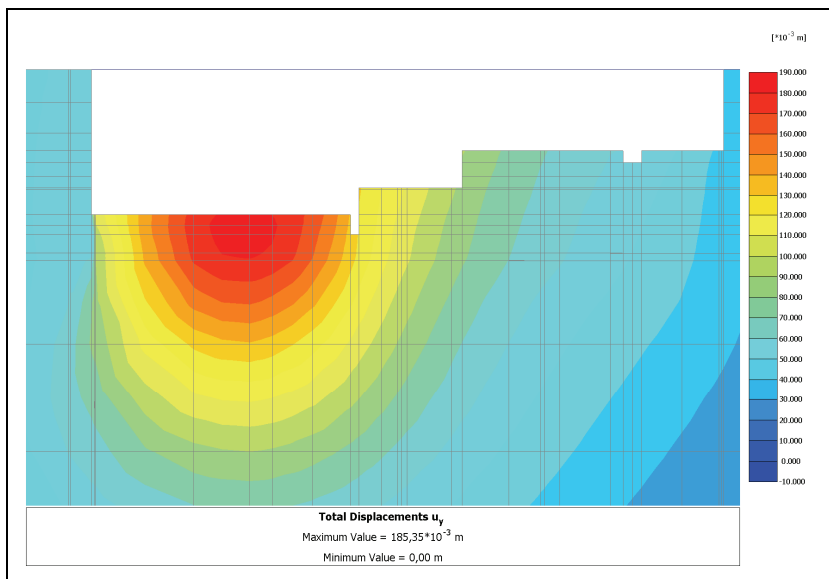
Hodnoty například pro tuhé jíly mohou být až dvojnásobně vyšší. Podle poznatků získaných při modelování zejména hlubokých stavebních jam hraje hodnota deformačního modulu velice významnou roli. Tento vliv byl ověřen na několika různých modelovaných stavbách. Po odtěžení horniny (deaktivace horniny v modelu) dochází k poměrně vysokému odlehčení a nárůstu deformací. Při nízkých hodnotách modulů deformace dochází ke zdvihnutí dna jámy v řádech stovek milimetrů. Při použití správného modulu deformace se tato hodnota výrazně snižuje a blíží se realitě. Vzednutí dna v modelu je vidět na obrázku č. 2 (100 násobně zvětšeno).



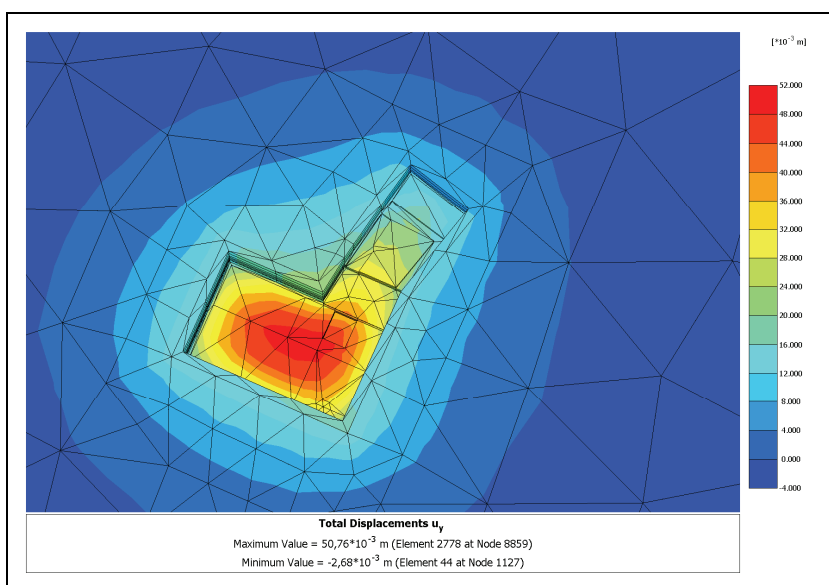
Obr. 2: Zdvih dna stavební jámy



Obr. 3: Zdvih dna stavební jámy

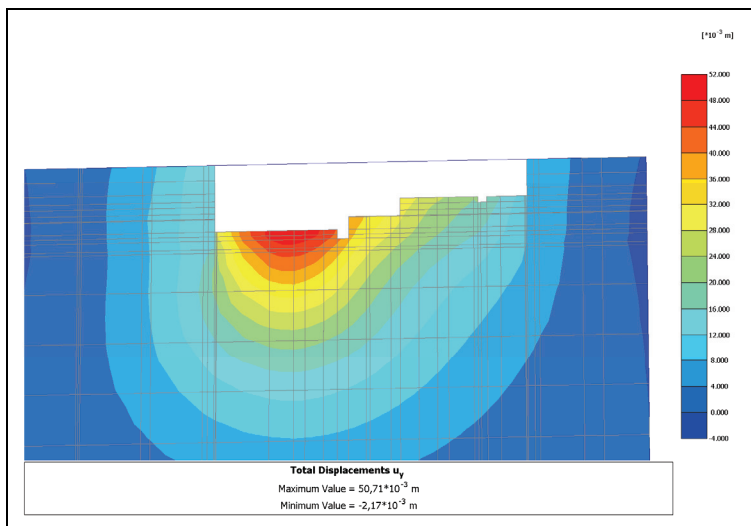


Obr. 4: Zdvih dna stavební jámy v podélném řezu



Obr. 5: Zdvih dna stavební jámy, zvýšený modul deformace

Na obrázcích 3 až 5 je vidět rozdíl vypočtených deformací (vzednutí) dna jámy při rozdílném modulu deformace. V prvním případě byla zadána hodnota oedometrického modulu i ve fázi odlehčení (cca 15 MPa). Zdvih dna jámy je až 185 mm (viz obr. č. 3 a 4). Při využití výsledků z laboratorních zkoušek, kde byly sledovány jak hodnoty pro zatížení vzorků tak i jeho odlehčení je vidět rozdíl. Hodnota oedometrického modulu na odlehčovací větvi je vyšší (cca 60 MPa). Tyto hodnoty byly využity při modelování výkopu stavební jámy (viz obr. č 4 a 5). Následně pro zatížení od budovy byl využit modul ze zatěžovací větve. Rozdíl deformací je poměrně významný cca 135 mm.



Obr. 6: Zdvih dna stavební jámy v podélném řezu, zvýšený modul deformace

4 ZÁVĚR

Úkolem příspěvku bylo prezentovat zkušenosti s prací s prostorovými modely. Holandská firma Plaxis bv nabízí dva programy pro 3D úlohy a to Plaxis 3D Tunnel a Plaxis 3D Foundation. Nyní jsou uváděny v jedné vylepšené verzi Plaxis 3D 2011. Tyto programy vytvářejí prostorový model s extruzí sítě konečných prvků do třetího směru. Rozdíl je ve směru protažení. U Plaxis Tunnel je to ve směru osy z (vodorovná osa) a u Plaxis 3D Foundationu je to ve směru osy y (svislá osa). S výhodou můžeme využít prostorový model pro řešení komplikovaných geotechnických úloh, což se prokázalo při modelování komplikovaných stavebních objektů.

Velmi zásadní vliv na celkové deformace má vhodná volba vstupních parametrů. U komplikovanějších staveb, spadající do třetí geotechnické kategorie, by se geotechnický průzkum a příprava projektu nesmí podceňovat. Poměrně často se stává, že projektant má velice málo informací o dané lokalitě z důvodů finančních úspor na průzkumu. Potom je nucen přistoupit k získávání různých vstupních hodnot, které nemusí odpovídat dané realitě. Nepřesnost vstupních parametrů pak vede k zavádějícím výsledkům. Citlivost na vstupy se projevuje zejména u matematických modelů, které se v dnešní době poměrně často využívají. Tyto problémy vznikají často nezkušeností nebo neznalostí s danou problematikou.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl vypracován s podporou studentské grantové soutěže při VŠB-TUO SP2011/92. Autoři děkují za podporu při zpracování tohoto článku.

LITERATURA

- [1] MIGOVÁ, Marcela., GLISNÍKOVÁ, Věra.: *Návrh a realizace složitých stavebních jam v městské zástavbě*, časopis Konstrukce 1/2008.
- [2] Reference Manuál Plaxis 3D Foundation, version 2
- [3] HULLA, Jozef., TURČEK Peter.: *Zakladanie stavieb*, Bratislava: Jaga Media, s.r.o., 2004. ISBN: 80-88905-99-0
- [4] ĎURIŠ, Lukáš.: *JUNIORSTAV 2010*. Brno: 2011. ISBN 978-80-214-4042-5.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Marián Drusa, Ph.D., Katedra geotechniky, Stavební fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.
Doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ústav geotechniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Josef ALDORF¹, Eva HRUBEŠOVÁ²

METODIKA POSUZOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI LIKVIDACE JAM NEZPEVNĚNÝM ZÁSYPEM

RELIABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY FOR THE SHAFT DISPOSAL USING UNPAVED BACKFILL

Abstrakt

V příspěvku se autoři zabývají problematikou spolehlivosti likvidace jam nezpevněným zásypem, rizikovými faktory této likvidace, možnostmi jejich eliminace a požadavky na obsah projektu likvidace z hlediska spolehlivosti stability zásypu. Součástí příspěvku jsou rovněž grafy ilustrující vývoj horizontálních napětí v zásypu jámy, délky autostabilizační zátky a závislost sedání zásypu na vybraných určujících vstupních parametrech.

Klíčová slova

Jáma, nezpevněný zásyp, likvidace, autostabilizační zátky, spolehlivost

Abstract

In this paper, the authors present reliability problem of the shaft disposal using unpaved backfill, risk factors of this disposal, possibility of eliminating this risk and requirements for the disposal in terms of reliability of backfill stability. Part of the paper are also graphs illustrating the development of the horizontal stress in the shaft backfill, length of the self-stabilization plug and backfill settlement dependence on selected input parameters.

Keywords

Shaft, unpaved backfill, disposal, self-stabilization plug, reliability

1 ÚVOD

Problematika stability zásypu v širším kontextu spolehlivosti likvidace jámy je pojmem, jehož obsah je nepříliš určitě definován v implicitně vyjádřených požadavcích vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 Sb. Vyhláška tento pojem nespécifikuje ani v závislosti na konkrétních podmínkách likvidované jámy, ani v závislosti na zvoleném technickém a technologickém řešení.

Stabilita zásypu je proto pojmem se širokým obsahem a záběrem, vyjadřující komplexní požadavek na spolehlivost likvidace jámy. Při použití nezpevněného zásypu tyto požadavky na spolehlivost zásypu lze definovat v obecných rysech:

1) minimalizace sedání (stlačování) zásypu z hlediska:

- vlivu materiálových vlastností zásypu (hutnění, zrnitosti, stlačitelnosti, obsahu jílovitých a rozložitelných příměsí, stability struktury atd.),

¹ Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321944, e-mail: josef.aldorf@vsb.cz.

² Doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

- vlivu technologie provádění zásypu (množství zasypávaného materiálu, způsobu dopravy do jámy, provádění zásypu do suché jámy, do zatopené jámy apod.),
- vlivu technické přípravy jámy pro provádění zásypu (likvidace zařízení v jámě, odstranění překážek (lezni oddělení, rozpony, průvodnice, kabely, potrubí)),
- vlivu hydrogeologických poměrů v jámě v době likvidace a jejich vývoje po ukončení likvidace (zatopení či odvodňování důlního pole apod.),
- vlivu způsobu likvidace pater, nárazišť a proniků důlních děl do jámy (výstavba uzavíracích hrází, volba jejich konstrukce, dlouhodobá funkčnost a spolehlivost, likvidace proniků bez uzavíracích hrází apod.),
- způsobu a kvality kontroly zasypávaných objemů.

2) umožnění realizace opatření vedoucích k rychlé eliminaci následků zvýšeného sedání zásypu (monitoring sedání, konstrukce ohlubňové zátky umožňující dosypání zásypu)

3) zajištění stability ústí jámy a eliminace nebezpečí vytvoření propadlin v okolí ústí jámy z hlediska:

- konstrukce a délky uzavírací jámové zátky,
- vlivu hydrogeologických poměrů v okolí ústí jámy,
- stability jámové zátky,
- způsobu likvidace jámových kanálů a děl pod ohlubní,
- realizace uzavíracího ohlubňového povalu a jeho únosnosti.
- nutné velikosti a tvaru bezpečnostního pásma kolem jámy.

4) stavu stability jámy v době před započítáním její likvidace:

- porušenost a deformace výztuže jámy a náchylnost k zavalování,
- strukturní stabilita nevyztužené jámy,
- zatopení jámy a potřeba provádět zásyp „do vody“,
- stabilita ústí jámy.

Výše uvedené faktory determinují spolehlivost likvidace a v jejím projektu i při samotné realizaci prací musí být vzaty v úvahu, sledovány a kontrolovány. Hlavní zásady pro návrh a posouzení dlouhodobé spolehlivosti likvidace jámy při použití nesoudržného materiálu plynulé zrnitosti cca 50-250 mm musí respektovat jeho výslednou strukturu, která po částečné degradaci zrn způsobené pádem a nárazy padajícího materiálu na překážky v jámě (rozpony, nosníky), dosahuje prakticky konečné zrnitosti 0-250 mm s minimem mezer ve výsledném uloženém zásypu. Tato okolnost vede k jinému druhu chování zásypu v jámě, především v místech proniků horizontálních děl, charakterizovanému „vtlačováním“ zásypu do horizontálních děl a vytváření tzv. autostabilizačních zátek (obr. 2) v těchto dílech. Toto rozdílné chování ve srovnání se zásypem s tzv. štětovou bází na likvidovaných patrech rovněž nevyžaduje striktně realizovat opatření k ochraně vnějšího svahu vtlačeného zásypu (popílkové a jiné hráze dostatečné únosnosti).

Rozdíl v mechanickém chování „štětové báze“ (obr. 1) vyplývá z její vysoké strukturní pevnosti dosahované výběrem materiálu (kvalitní kámen s kusovitostí 200-300 mm) a geometrií zásypu v jámě.

Koncepce zajištěného vtlačeného zásypu je tedy variantou likvidace se srovnatelnou spolehlivostí nevyžadující realizaci štětového zásypu v místech proniků.

2 RIZIKA DETERMINUJÍCÍ SPOLEHLIVOSTI LIKVIDACE

S ohledem na současný stav jámy a technologii její likvidace je zapotřebí v projektu definovat rizika, která determinují spolehlivost likvidace a dlouhodobě vytvářejí stavy ohrožení okolí jámy. Z těch hlavních to jsou:

- způsob sypaní materiálu a optimální zrnitost zásypového materiálu (vč. nutnosti sypaní do vody),
- stabilita zásypu v jámě ve vztahu k možnosti vyjetí zásypu do prostor nárazišť, sedání

zásypu, vzniku dutin a nezaplnění prostoru jámy,

- vznik samovolné zátky v jámě,
- nadměrné sedání zásypu v důsledku velké stlačitelnosti materiálu zásypu (vč. zásypu prováděného „do vody“),
- nestabilita ústí jámy a ohrožení okolí jámy vznikem propadliny.

Rizika, která jsou vázána na použití nepevněného zásypového materiálu, můžeme definovat v těchto hlavních bodech:

- nestabilita zásypu vzniklá překročením únosnosti uzavíracích stěn slojových proniků, nárazišť apod., která by mohla vést ke vzniku dodatečných poklesů zásypu v jámě v důsledku „vtlačení“ zásypu do horizont. děl; hlavní příčinou vzniku tohoto typu nestability je obvykle působení hydrodynamických sil od proudění vody,
- nestabilita zásypu vzniklá na základě přítomnosti nezaplněných míst v jámě (vytváření samovolných zátek, nezaplnění prostor lezního oddělení apod.),
- nestabilita zásypu vzniklá překročením únosnosti uzavíracích zděných stěn v pronicích a náražích,
- nestabilita zásypu daná vysokými hodnotami sedání zásypu v důsledku vysoké stlačitelnosti, přítomnosti dutin v zásypu a oblastí nízkého zhutnění, vzniku hydrodynamických sil v zásypu apod.,
- nestabilita zásypu vzniklá snížením (degradací) mechanických vlastností zásypového materiálu (při vysokém obsahu jílovitých příměsí a zvodnění zásypu); snížení pevnostních vlastností zásypu by vedlo ke zvýšení horizontálního tlaku na uzavírací hráze a stěny, ke zvětšení délky autostabilizačních zátek v náražích a ve svých důsledcích ke zvětšení poklesů zásypu v jámě,
- nestabilita zásypu vznikající v důsledku nestability autostabilizačních zátek v horizontálních dílech (náraží); nestabilita těchto zátek je determinována jak degradací pevnostních vlastností zásypu, tak působením hydrodynamických sil při absenci opěrných hrází,
- nestabilita ohlubňové zátky determinující stabilitu ohlubně a ústí jámy.

Eliminaci uvedených rizik je možno zajistit:

- průkazem únosnosti uzavíracích stěn a hrází ve vztahu k jejich očekávanému zatížení pro jeho nejméně příznivý případ,
- používáním zásypového materiálu s nízkým obsahem jílovitých příměsí (do cca 3% objemu) a vhodné zrnitosti,
- povinností dodržování předepsané technologie provádění zásypu a její kontroly ve smyslu požadavků vyhl. ČBÚ č.52/1997 (§ 4, 6, 7, 16)
- pečlivě a důsledně prováděným dlouhodobým monitoringem sedání zásypu pod ohlubňovou zátkou a pečlivě prováděným dosypáváním materiálu do vzniklých prostor pod zátkou,
- použitím hrubozrnného materiálu zrnitosti 80-250 mm (typu štětu) pro zásyp v oblasti proniků a nárazišť (s převahou frakce 250 mm).

Příznivými faktory pro realizaci likvidace jsou především:

- dobré geotechnické a geologické podmínky v místech proniků jam a náraží; pokud se zde nachází velmi pevné vrstvy prachovců a pískovců, což zajišťuje vysokou stabilitu jam i přilehlých horizontálních děl, je spolehlivost likvidace obvykle vysoká,
- únosné uzavírací hráze provedené ve všech přístupových dílech do jámy, jejichž lokalizace (vzdálenost od proniků) i délka (únosnost) může spolehlivě stabilizovat vtlačený nesoudržný zásyp,
- nízké zvodnění jámy a případné trvalé odvodňování zásypu,

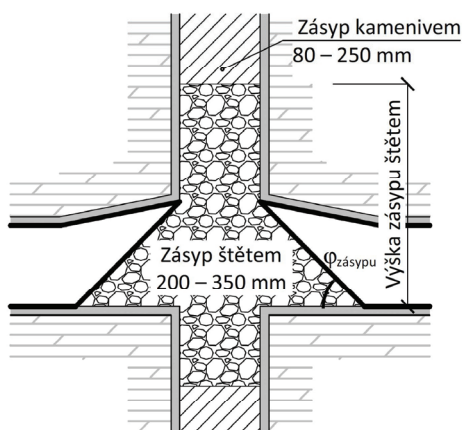
- spolehlivá ohlubňová zátka, obsahující kontrolní a dosypávací potrubí, kterým lze provádět případné dosypávání zásypu, u kterého by došlo k případnému poklesu.

3 POŽADAVKY NA OBSAH PROJEKTU LIKVIDACE Z HLEDISKA SPOLEHLIVOSTI STABILITY ZÁSYPU

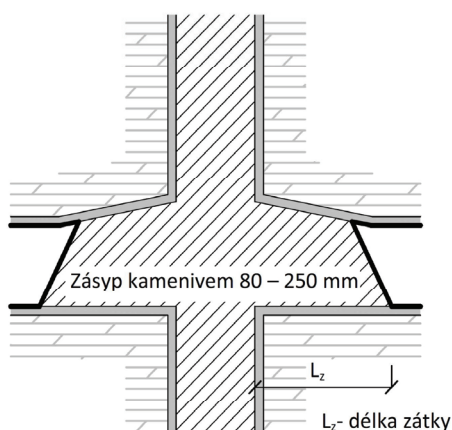
Projekt likvidace jámy, z hlediska požadavků na spolehlivost stability zásypu, musí obsahovat povinně následující minimální specifikace a průkazy:

- specifikace zásypového materiálu z hlediska dlouhodobé stability jeho struktury, petrografického složení, zrnitosti, znečištění zdrojů materiálu, kapacit zdrojů, dopravy atd., průkazy ekologické nezávadnosti, prohlášení o shodě,
- stanovení technologie provádění zásypu pro dané podmínky jámy, způsob kontroly provádění, kontroly zasypávaných objemů, specifikaci technických opatření pro dodržení stanovených postupů (okatosť mříže, rychlost provádění zásypu), specifikaci požadavků pro provádění zásypu při překážkách v jámě (lezní oddělení apod.),
- větrání během likvidace jámy,
- stanovení fyzikálně-mechanických vlastností zásypového materiálu na základě zkoušek, odborných odhadů, analogie apod.,
- stanovení a popis stabilitního stavu jámy, způsoby uzavření starých proniků,
- geologický profil jámou s uvedením stabilitně rizikových úseků jámy,
- způsob zajištění pater a proniků a konstrukce navrhovaných patrových hrází, vč. průkazu jejich únosnosti a jejich lokalizace,
- stanovení velikostí sedání zásypu, vč. ocenění a kvantifikace rizik při porušení patrových uzávěr a hrází, stanovení únosnosti uzavíracích hrází,
- stanovení velikostí autostabilizačních zátek v horizontálních dílech a ocenění jejich vlivu na velikost a průběh sedání zásypu,
- návrh konstrukce ohlubňové zátky, stanovení jejich materiálových a geometrických parametrů, průkaz únosnosti ohlubňové zátky i pro mimořádné zatížení,
- způsob likvidace přípovrchových děl pod ohlubní,
- konstrukce, geometrie a průkaz únosnosti ohlubňového povalu.

Pro posouzení hlavních stabilitních a spolehlivostních parametrů likvidace je zapotřebí využívat doporučené algoritmy pro jejich stanovení, příp. posouzení.

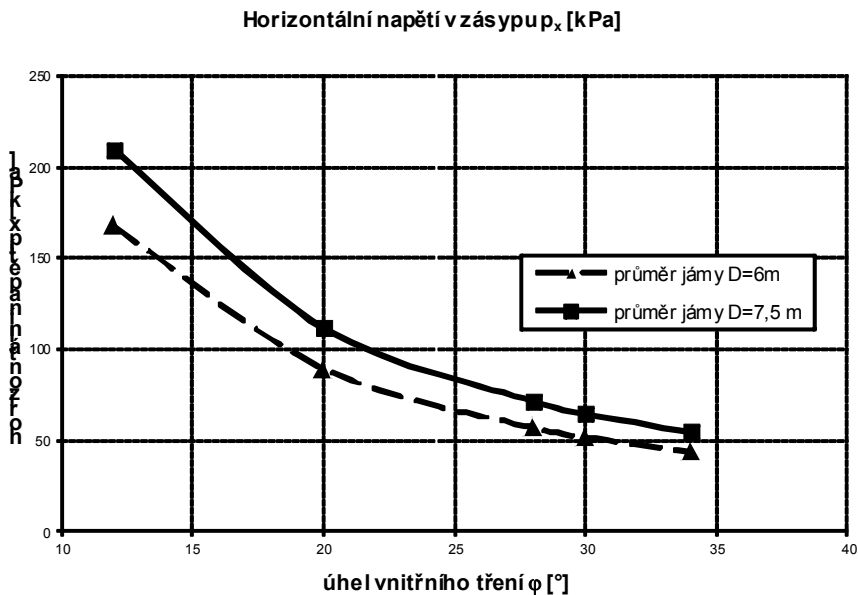


Obr.1: Štěťová báze v náraží

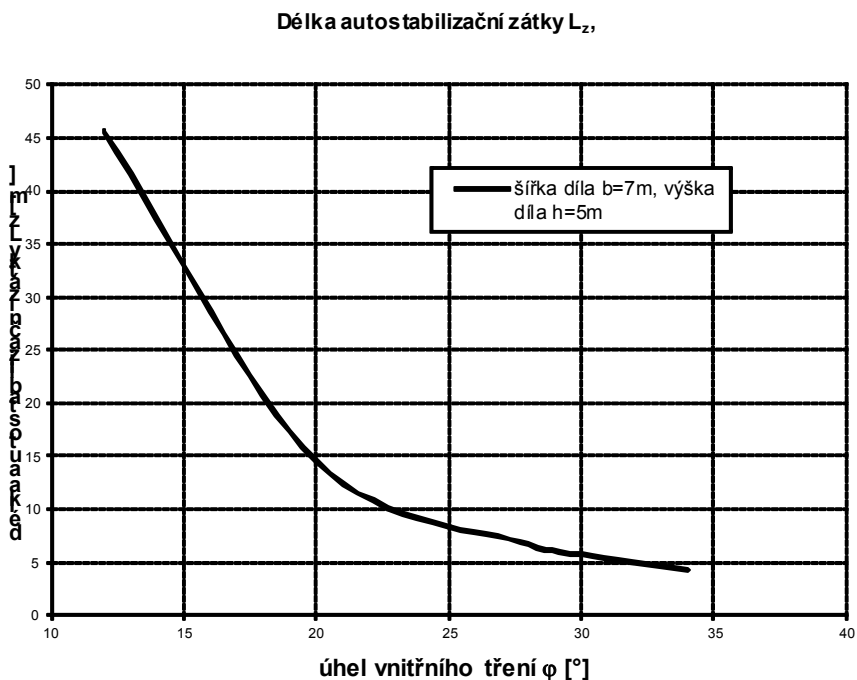


Obr.2: Autostabilizační zátka v náraží

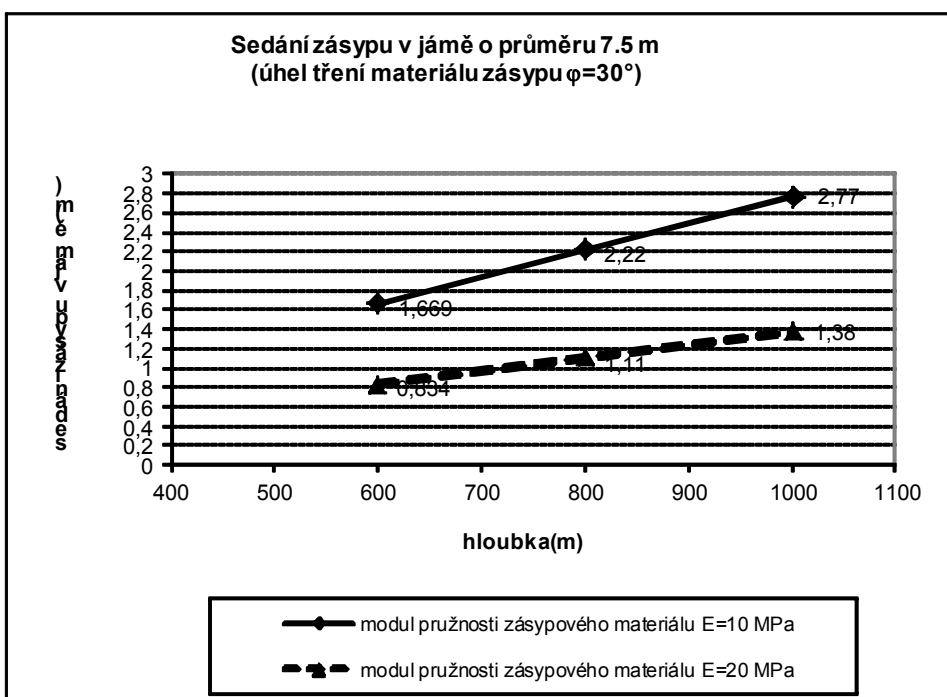
Příklady výsledků řešení základních parametrů spolehlivosti likvidace jsou uvedeny na obr. č. 3-5 pro velikost horizontálních napětí v zásypu, délku autostabilní patrové zátky (délka vtlačeného zásypu) a sedání zásypu, v závislosti na hloubce likvidované jámy. Popis použitých algoritmů je uveden v lit. [1].



Obr. 3: Graf závislosti horizontálního napětí v zásypu jámy na úhlu vnitřního tření



Obr. 4: Graf závislosti délky autostabilizační zátky na úhlu vnitřního tření



Obr. 5: Graf vývoje sedání zásypového materiálu v závislosti na hloubce

PODĚKOVÁNÍ

Článek byl realizován za finanční podpory projektu ČBÚ 36-05 “ Možnosti likvidace hlavních důlních děl nebezpečným zásypovým materiálem”.

LITERATURA

- [1] ALDORF, J., HRUBEŠOVÁ, E.: *Likvidace jam nesoudržným materiálem*. Souhrnné doporučení projektu ČBÚ č. 36-05. Ostrava 2007.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jiří Ptáček, Ph.D., Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Ostrava.

Ing. Milan Stoniš, Green Gas DPB, a.s., Paskov.

Zdeněk KALÁB¹

VIBRAČNÍ PROJEVY V HISTORICKÉM DOLE JERONÝM

VIBRATION EFFECTS IN THE JERONÝM MINE

Abstrakt

Príspevok popisuje hodnotenie seizmického zatížení na príklade historického Dolu Jeroným. K tomu je využito experimentálneho merania seizmickou aparaturou umiestnenou v podzemí. Záznamy naměřené touto stanicí lze rozdělit do následujících skupin: přirozená seizmicita (mikrozemětřesení ze západních Čech a části vzdálených intenzivních zemětřesení) a technická seizmicita (trhací práce realizované při rekonstrukci dědičné štoly a v blízkých okolních lomech, doprava na silnici nad důlním dílem).

Klíčová slova

Zemětřesení, Kraslicko, technická seizmicita, seizmické zatížení, historický Důl Jeroným.

Abstract

This contribution deals with evaluation of seismic loading of medieval mine named Jeroným. Experimental seismological measurement using seismic recorder located in underground space is used for this purpose. Recorded seismic events can be divided into following types: natural seismicity (microearthquakes from West Bohemia and parts of distant intensive earthquakes) and technical seismicity (blasting operations – during reconstruction of the adit and in adjacent quarries, traffic – on road above the mine).

Keywords

Earthquake, Kraslice area, technical seismicity, seismic loading, medieval Mine Jeroným.

1 ÚVOD

Historický Důl Jeroným v Čisté představuje velmi významný doklad o středověkém rudném hornictví. V knize „1000 let hornictví ve Slavkovském lese“ (Beran et al., 1995) je uváděna řada těžebních lokalit z bližšího i vzdálenějšího okolí, do současné doby však zůstaly zachovány pouze výše citované důlní prostory. V nich lze dodnes nalézt ukázky ručního dobývání ložiska, různé typy dobývek, pilířů, sázení ohněm a další příklady činnosti středověkých horníků. V části nazývané Stará důlní díla byla těžba ukončena již ve středověku, v části Opuštěná důlní díla byla těžba sporadicky obnovována až do likvidace dolu v období po 2. světové válce. Celý komplex důlních děl byl v roce 2008 prohlášen národní kulturní památkou. Ucelenější souhrn historie, geologických a geomechanických informací a též výsledků již déle než desetiletí geomechanického monitoringu v této lokalitě lze nalézt v literatuře, např. Žůrek et al. (2008), Tomíček (2010) a také monotematické číslo časopisu Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE 1/2011).

Důl Jeroným dnes představuje složitou strukturu štol, šachtic a komor v nejméně třech výškových úrovních. Dlouhodobé působení větrané či nevětrané důlní atmosféry, jakož i protékající

¹ Prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 381, e-mail: zdenek.kalab@vsb.cz.

a stojatá voda v důlních prostorách způsobily zvětrání „obnažených“ hornin. Na horninový masiv působily a působí také další negativní faktory z hlediska stability důlních prostor, proto jsou některé části považovány za dlouhodobě nestabilní (podle Žurek et al., 2001). Jedním z vnějších činitelů, který může mít negativní vliv na horninový masiv, jsou vibrace vyvolané zemětřeseními nebo umělými zdroji. Seismologický monitoring v důlním díle byl spuštěn po zahájení rekonstrukce dědičné štol v roce 2004. Součástí ražební technologie bylo také používání trhacích prací. Tyto práce byly při posuzování seismického zatížení důlního díla vyhodnoceny jako rizikový faktor (např. Kaláb, 2003).

Posuzování seismického zatížení objektů se v České republice hodnotí podle Eurokódu 8 v případě zatížení objektu přirozenou seismicitou, resp. podle ČSN 73 0040 pro technickou seismicitu. Tabulka tříd odolností objektů řadí podzemní objekty do odolnostních tříd C až F, přičemž třída C představuje keramické a kamenné obklady a dlažby v podzemních objektech metra, v podchodech, ..., třída D reprezentuje cihelné, kamenné a tvárnice vyzdívky v podzemních objektech. Obě tyto normy však uvažují pouze stavební konstrukce, pro hodnocení netypických konstrukcí, např. důlní prostory, se navrhuje provedení experimentálního měření a na základě výsledků stanovení přípustných hodnot vibrací pro jednotlivé stupně poškození. Přípustné hodnoty se pro konkrétní situaci určují inženýrským odhadem, přičemž za základ je považována hodnota z normy zmenšená násobným koeficientem, který vychází z výsledků experimentálního měření (např. z nalezených poškození objektu, poškození terčíků ...). Tento koeficient zahrnuje také vlivy jako je stáří objektu, náchylnost sledovaného prvku k rezonančnímu kmitání a další. Na příkladu více než 400 let starého důlního díla jsou v tomto článku představeny různé zdroje vibrací a jejich projev v důlním díle.

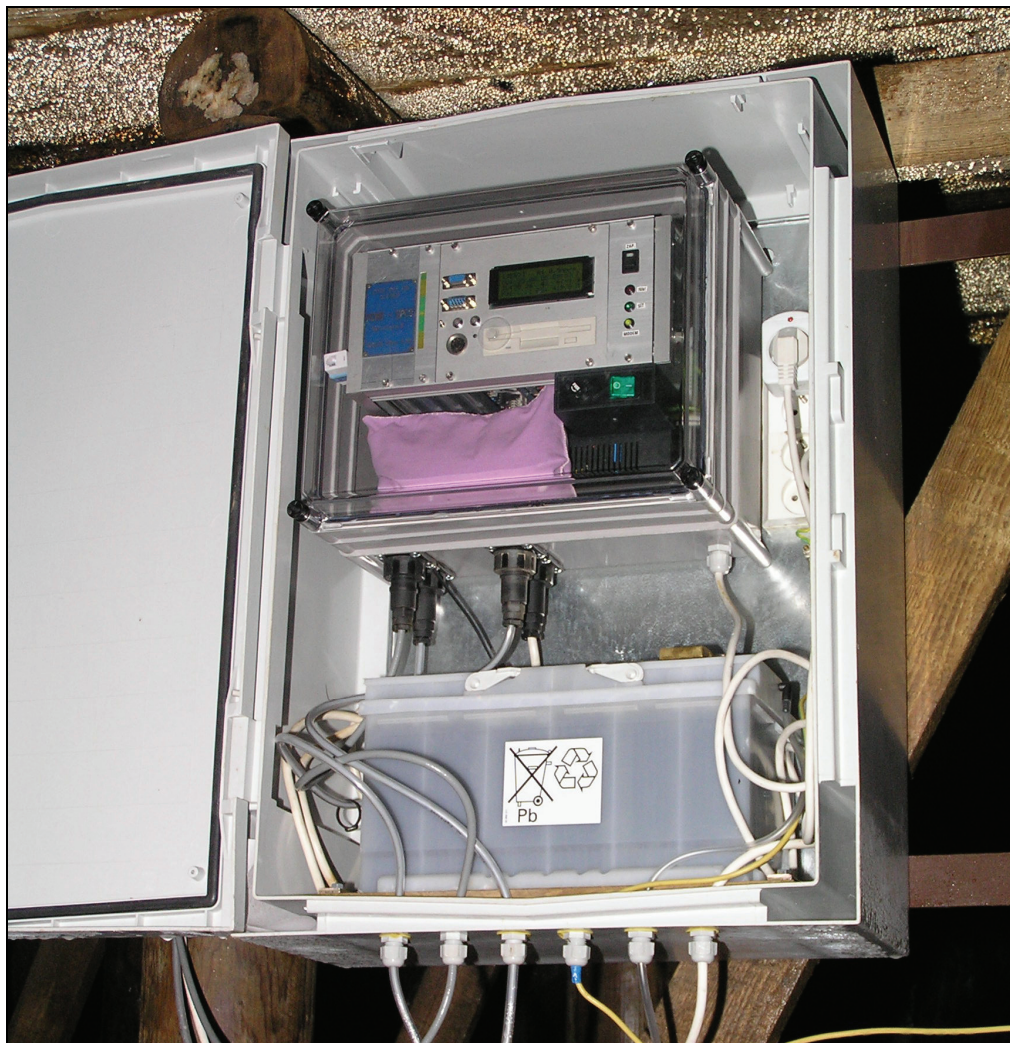
2 SEISMOLOGICKÁ APARATURA

V Ústavu geoniky AV ČR, v.v.i., byla pro instalaci na lokalitě Jeroným vyvinuta registrační seismologická aparatura PCM3-EPC3 s vysokým krytím IP64 pro umístění v důlní prostora s vysokou vlhkostí vzduchu (např. Kaláb et al., 2006). Tato aparatura koncepčně vychází z aparatur PCM3-EPC2, které jsou popsány v práci Knejzlík a Kaláb (2002); jde tedy o tříkanálový číslicový zapisovač se spouštěným záznamem dat v PC. Spouštění záznamu je vyvoláváno překročením sledované amplitudy seismického signálu přes nastavenou komparační úroveň. Každý seismický jev je zaznamenán jako samostatný datový soubor. Časová základna aparatury je synchronizována časovým normálem DCF.

S využitím komunikačního programu pcAnywhere fy Symantec je vyřešen vzdálený přístup přes sériový port (a vhodný modem) do vestavěného PC v registrační aparatuře. Na stanici v Dole Jeroným je použit GSM modem Siemens TC35 Terminal. Vzdálený přístup do PC umožňuje především operativní kontrolu funkčnosti aparatury, což je na vzdáleném stanovišti složitý problém, a také telemetrický přenos zaregistrovaných seismických dat (po rozšíření o distribuovaný systém v roce 2006 se také přenáší soubory naměřených geomechanických dat, např. Knejzlík, 2006, Knejzlík a Rambouský, 2008).

Při konstrukci seismologické aparatury bylo v maximální míře používáno obvodů CMOS, aby bylo dosaženo co nejnižší spotřeby napájecího proudu a tedy prodloužení doby funkce ze záložní baterie. Také jako PC je použit nejjednodušší jednodeskový počítač PCM3864 firmy Advantech. Jako hard disk je použita Compact Flash karta 512 MB. Tím bylo dosaženo příznivé spotřeby energie cca 20 W, což je výhodné nejen z hlediska záložního napájení, ale i z hlediska oteplení při vysokém krytí.

Pro spolehlivý provoz registrační aparatury na vzdálené stanici je důležitá dostatečná kapacita záznamového média, co nejdelší doba funkce ze záložního zdroje napájení a hlavně automatický start při obnovení napájení po úplném vybití záložního napájecího zdroje nebo po zastavení běhu řídicího programu. Důležitá je také ochrana proti účinkům atmosférické elektřiny. Proto jsou síťový přívod a všechny vstupy a výstupy registrační aparatury vybaveny transientními přepětovými ochranami a anténní svod GSM modemu koaxiální bleskojistkou.



Obr. 1: Seizmologická aparatura PCM3-EPC3 se záložní baterií ve dvojité vodotěsné skříni

Seizmologická registrační aparatura byla v dole uvedena do trvalého provozu v červnu v roce 2004 (obr. 1). Zesilovače seizmického signálu mají mezní frekvenci 60 Hz, vzorkovací frekvence analogově-číslicového převodu je nastavena na 250 Hz. Rozsahy měření lze nastavit od 0,25 mm/s do 32 mm/s v binárních stupních a nastavuje se podle aktuální situace. Zpravidla je využíván nejnižší rozsah, aby byly dostatečně vzorkovány i nejslabší seizmické jevy. Rozsah je upravován při očekávaném zvýšeném zatížení lokality technickou seismicitou nebo po vzniku seizmického roje v nedaleké kraslické oblasti. K aparatuře je připojena trojice jednosložkových seismometrů SM3 v geografickém uspořádání (třísložkový záznam vlnového obrazu). Seismometry jsou ukotveny na betonový seizmický pilíř zhotovení v jedné z komor důlního díla cca 30 m pod povrchem (obr. 2). V době experimentálních měření seizmického zatížení jsou používány další autonomní stanice.



Obr. 2: Seizmometry SM3 na pilíři v důlním díle

3 ZEMĚTŘESNÁ AKTIVITA V OKOLÍ DOLU JERONÝM

Při stanovení seizmického zatížení lokality musíme vzít do úvahy všechny možné typy, tj. přirozenou lokální a vzdálenou seizmicitu a seizmicitu technickou (např. Kaláb, 2003). Nejbližší ohnisková oblast přirozených zemětřesení ke sledované oblasti lokality Dolu Jeroným v Čisté se nachází ve vzdálenosti přibližně 30 km severozápadním směrem (Kraslicko), ojedinělá ohniska jsou detekována i blíže. Mladé tektonické pohyby doprovázené vulkanickou činností ovlivnily geologickou stavbu tohoto regionu již během terciéru. I v současné době jsou v západních Čechách a v Německu detekována slabší zemětřesení, nejsilnější z nich jsou pociťována lidmi, kteří zde žijí, nebo mohou poškodit budovy. Podle mapy seizmického ohrožení České republiky (příloha národního aplikačního dokumentu Eurokódu 8) lze v zemětřesné západočeské oblasti očekávat zemětřesení s makroseizmickou intenzitou 6° až $6,5^{\circ}$. Ve studované oblasti jsou dále detekována intenzivní evropská zemětřesení. Dokladované jevy pochází nejčastěji z alpských zemětřesných oblastí (Rakousko, Švýcarsko, Itálie), dále Slovinska a rýnské oblasti (Německo, Nizozemí). Tato zemětřesení, i s ohledem na blízkost kraslické zdrojové oblasti, zřejmě významně nepřispívají k seizmickému zatížení studované oblasti.

Je evidentní, že nejsilnější vibrační projevy lze očekávat z nedaleké kraslické oblasti. Doposud nejintenzivnější instrumentálně zaznamenané západočeské zemětřesné roje se vyskytly v roce 1908, kdy nejsilnější otřes dosáhl magnitudo 5,0 (stupeň 5 Richterovy škály). Ve druhé polovině 20. století došlo několikrát k oživení zemětřesné aktivity. Mezi intenzivnější zemětřesné roje, které byly pociťovány místními obyvateli, patří roje z podzimu 1962, ze zimního období let 1985-86, dále roků 1997, 2000 a 2008. Nejintenzivnější otřes z 21. 12. 1985 měl podle Richterovy stupnice magnitudo 4,6. Nejsilnější zemětřesení způsobily škody i na budovách a vyvolaly paniku mezi obyvatelstvem (podle www.ig.cas.cz; Horálek et al., 2009, Fischer et. al., 2010).

Po dobu monitorování v Dole Jeroným bylo zaznamenáno několik projevů seizmické aktivity z kraslické oblasti. Největší změřený projev pochází ze zemětřesení vzniklých při seizmickém roji v roce 2008. Právě probíhající seizmický roj pravděpodobně nyní končí (září 2011).

3.1 Seizmický roj 2008

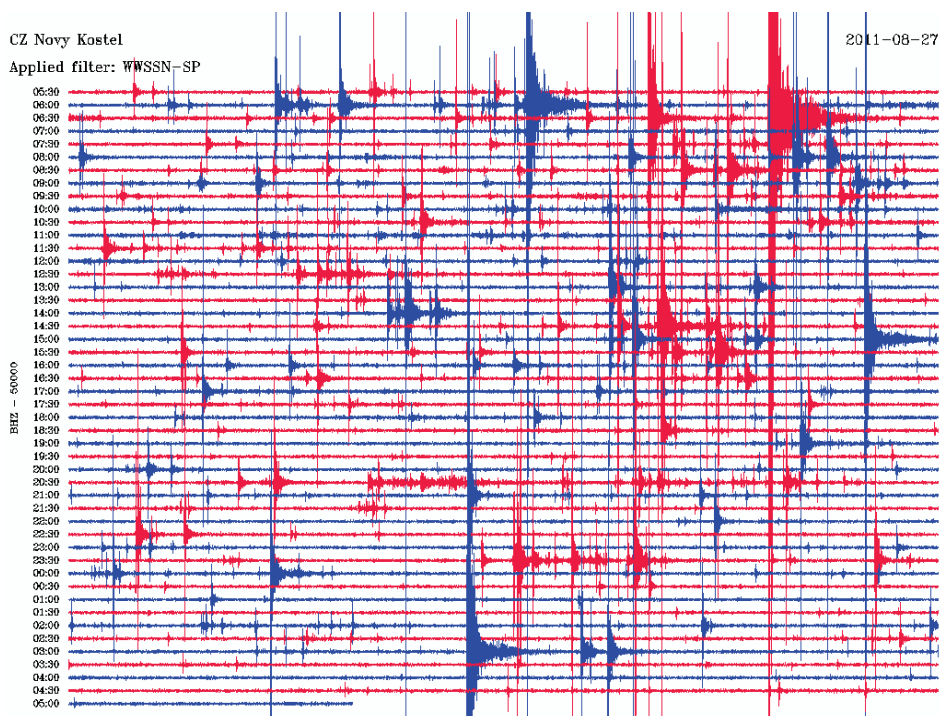
V roce 2008 bylo na seizmické stanici v důlním díle celkem realizováno ve spouštěném režimu 722 záznamů (podle Kaláb et al., 2011). Do 6. 10. 2008 můžeme seizmické zatížení posuzovat

jako nízké, situace se změnila po vzniku roje. Jednalo se o roj s epicentry v blízkosti obce Nový Kostel, ohniska zemětřesení byla lokalizována do hloubky okolo 10 km. Po vzniku zemětřesného roje významně vzrostl počet zaznamenaných seizmických jevů i seizmické zatížení důlního díla. Protože amplituda kmitání intenzivního zemětřesení z 9. 10. 2008 přesáhla aktuální maximální rozsah seizmické aparatury (tj. $0,25 \text{ mm.s}^{-1}$), byl rozsah aparatury zvýšen na $0,5 \text{ mm.s}^{-1}$. Nejsilnější zemětřesení s lokálním magnitudem 3,9 vzniklo 12. 10. v 9:44 SEČ a bylo pocíteno obyvateli i ve velké vzdálenosti od epicentra, např. na západě Prahy. Další silnější zemětřesení s lokálním magnitudem také 3,9 bylo 14. 10. v 21:01 SEČ a lokálním magnitudem 3,7 bylo zaznamenáno 28. 10. v 9:30 SEČ. Kromě toho mohlo být v epicentrální oblasti pocíteno dalších několik desítek otřesů s lokálními magnitudy většími než 2,0. Tento zemětřesný roj je nejsilnější zemětřesnou aktivitou v západních Čechách od roku 2000.

Na stanici v důlním díle bylo v období roje celkem zaznamenáno 451 zemětřesení. Nejintenzivnější projev od zemětřesení z popisovaného roje byl zaznamenán 14. 10. v 21:00 SEČ (např. Kaláb et al., 2011), při kterém složková hodnota rychlosti kmitání dosáhla $0,435 \text{ mm.s}^{-1}$ (max. zrychlení $43,7 \text{ mm.s}^{-2}$), vibrace trvaly cca 5 s. Maximální hodnoty byly pozorovány v krátkém časovém intervalu ve skupině S vln. Při kvartálním geomechanickém měření na podzim 2008 a na jaře 2009 nebylo při vizuální prohlídce dostupných důlních prostor zjištěno poškození následkem vibrací vyvolaných během výše popsaného seizmického roje (tj. větší opady, rozevření puklin, praskání pilířů, ...).

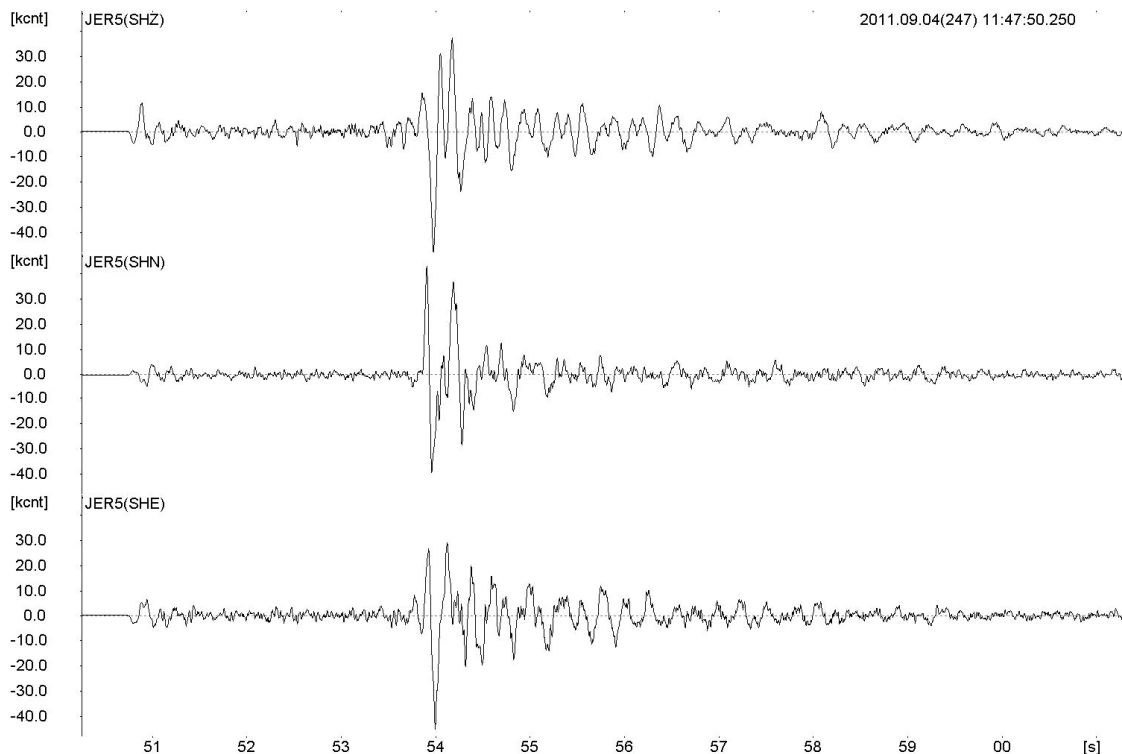
3.2 Seizmický roj 2011

Zatím poslední významná seizmická aktivita se objevila 23. srpna 2011 v oblasti Nového Kostela, seizmický roj aktuálně pravděpodobně končí (15.9.). Lokální síť Webnet bylo zaznamenáno několik tisíc zemětřesení, často vznikajících velmi rychle za sebou. Příklad časové posloupnosti jevů ze stránky „živých seizmogramů“ je na obr. 3. „Živé seizmogramy“ ukazují záznamy vertikální složky kmitání půdy na stanicích národní sítě (Geofyzikální ústav AVČR, v.v.i.). Modré a červené křivky se střídají po 30 minutách pro lepší přehlednost záznamu. Časy na "živých" seizmogramech jsou uváděny ve světovém čase (UTC).



Obr. 3: Příklad záznamu vertikální složky na stanici Nový Kostel z 27. 8. 2011, (www.ig.cas.cz)

Stanice v Dole Jeroným zaznamenala více než 800 jevů z tohoto roje. Maximální složková rychlost kmitání byla naměřena při záznamu jevu z 26. 8. 2011 v 01:33 (magnitudo 3,5, www.ig.cas.cz), naměřená hodnota rychlosti kmitání v dole nepřekročila maximální hodnotu z roku 2008. Příklad záznamu vlnového obrazu intenzivnějšího zemětřesení z tohoto seizmického roje je na obr. 4.



Obr. 4: Příklad záznamu vlnového obrazu intenzivnějšího zemětřesení ze stanice v důlním díle ze seizmického roje v roce 2011 (lokální magnitudo dle GfŮ AVČR Praha je 3,3); maximální amplituda rychlosti kmitání je $0,15 \text{ mm.s}^{-1}$ (v obrázku ve vzorkovacích úrovních)

4 TECHNICKÁ SEIZMICITA

Projevy technické seizmicity registrované v Dole Jeroným lze rozdělit do následujících typů: vibrační projevy během rekonstrukčních prací v důlním díle, odstřely v okolních povrchových lomech a projevy dopravy na silnici nad důlním dílem. Vibrační efekt těchto aktivit je malý a lze ho při posuzování seizmického zatížení historických důlních prostor víceméně zanedbat (výjimky viz níže). Maximální hodnoty rychlosti kmitání se zpravidla vyskytují v rozmezí řádů $10^{-3} - 10^{-2} \text{ mm.s}^{-1}$. Tyto hodnoty nepředstavují významnější zásah do stability důlních prostor (např. Kaláb et al., 2011).

Z pohledu seizmického zatížení bude třeba důsledně monitorovat velikosti vibrací vyvolaných při úpravách důlního díla a jeho okolí. Plánována je například prorážka štoly, která by měla propojit dva dnes oddělené podzemní komplexy. Tyto vibrace mohou nabývat i vyšších hodnot, a to především vibrace vzniklé při provádění trhavých prací. V roce 2003-2006 byla realizována rekonstrukce dědičné štoly, která vede na jih od historických prostor v délce cca 500 m. Záznamy odstřelů trhavin pořízené během rekonstrukce byly typické ostrým nasazením, rychle utlumeným projevem a vyššími frekvencemi kmitání (např. Kaláb a Knejzlík, 2004). Největší zaznamenaná

složková amplituda rychlosti kmitání dosáhla hodnoty $0,17 \text{ mm.s}^{-1}$ (měření na seizmickém pilíři, nikoliv v nejmenší vzdálenosti). Provedeme-li srovnání této maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání s amplitudou nejintenzivnějšího zemětřesení z roku 2008, tj. hodnota $0,43 \text{ mm.s}^{-1}$, byla během seizmického roje naměřena hodnota cca 3-krát větší. Je však třeba mít na paměti, že seizmické zatížení není úplně srovnatelné, neboť vyvolané vibrace mají rozdílný charakter, a to především dobu trvání a frekvenční rozsah, také rozložení zatížení od blízkého zdroje je značně proměnné.

Významnější vibrace jsou vyvolávány průjezdem vozidel po komunikaci nad Starými důlními díly. Průjezd vozidel vyvolává slabé rezonanční vibrace (složkové hodnoty jen do $5 \cdot 10^{-2} \text{ mm.s}^{-1}$; popis experimentálního měření tohoto jevu je uveden v článku Kalába et al. (2010). Původ těchto rezonančních vibrací zatím není spolehlivě ověřen, spekuluje se o vlivu dnes neznámé podzemní prostory. Povrchový geofyzikální průzkum již některé neznámé prostory lokalizoval (Beneš, 2011).

V důlním díle bylo provedeno několik měření autonomními aparaturami sledujících velikost vibrací vyvolaných technologickými pracemi v důlním díle. Šlo především o odstřely trhavin při rekonstrukci důlního díla (např. Kaláb, Lednická, 2006). Dále proběhla například měření při realizaci vrtů pro měření změn napětí v masivu. S výjimkou efektu trhacích prací nebylo zjištěno zvýšené zatížení důlního díla, sledované konvergence a měření pohybu bloků masivu po puklinách neposkytlo žádné informace o tomto vlivu.

5 ZÁVĚR

Z pohledu hodnocení stability tohoto podzemního objektu, tj. historického důlního díla, je nutné vzít do úvahy také vliv seizmického zatížení. Analýza seizmického zatížení okolí Dolu Jeroným a jeho podzemních prostor byla zpracována při zahájení rekonstrukčních prací na dědičné štolě Jeroným v roce 2003. Ze studií vyplynulo, že dílo může být ovlivněno intenzivnějšími zemětřeseními z kraslické oblasti, technická seismocita zde bude na velmi nízké úrovni. Při rekonstrukci díla je však nutno pečlivě sledovat vyvolané vibrační projevy. Tyto vibrace mohou nabývat i vyšších hodnot, především vibrace vzniklé při provádění trhacích prací. Nejvýznamnější seizmické zatížení na popisované lokalitě představují lokální zemětřesení z nedaleké kraslické oblasti. Dosud nejintenzivnější projev byl zaznamenán při seizmickém roji v roce 2008 (složková hodnota rychlosti kmitání dosáhla $0,435 \text{ mm.s}^{-1}$).

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl zpracován za částečné finanční podpory GAČR, projekt č. 103/09/2007 „Vliv technické a přírodní seismicity na statickou spolehlivost a životnost staveb. Data byla získána v rámci projektu GAČR 105/09/0089 „Prognóza časoprostorových změn stability důlních prostor technické památky Důl Jeroným v Čisté“.

LITERATURA

- [1] www.ig.cas.cz (internetový odkaz Geofyzikálního ústavu AVČR, v.v.i. Praha)
- [2] BERAN, P., JANGL, L., MAJER, J., SUČEK, P., OTFRIED, W. *1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese*. Okresní muzeum Sokolov, 1995. 195 pp.
- [3] BENEŠ, V. Geofyzikální průzkum nad Dolem Jeroným. *EGRSE*, 2011, XVIII. 1, pp. 40-49. ISSN 1803-1447.
- [4] *EGRSE*, monotematické číslo časopisu, XVIII. 1, 2011. 119 pp. ISSN 1803-1447.
- [5] FISCHER, T., HORÁLEK, J., MICHÁLEK, J., BOUŠKOVÁ, A. The 2008-West Bohemia Earthquake Swarm in the Light of the WEBNET Network. *J. seismol.*, 2010, 14, pp. 665-682.
- [6] HORÁLEK, J., FISCHER, T., BOUŠKOVÁ, A., MICHÁLEK, J., HRUBCOVÁ, P.: The West Bohemian 2008-earthquake swarm: When, where, what size and data. *Stud. geophys. et geod.*, 2009, 53, No. 3, pp. 351-358. ISSN 0039-3169.
- [7] KALÁB, Z. Posouzení seismického zatížení středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca*. 2003, Roč. 8(2003), č.1, Košice, Slovensko, pp. 36-41.

- [8] KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J. Metodika posuzování seizmického zatížení historických důlních děl na příkladu Dolu Jeroným v Čisté. In *Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2004*, CD, příspěvek T6.
- [9] KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Interpretace seizmických záznamů trhacích prací prováděných ve štolě Jeroným v Čisté. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava)*. 2006, Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, 155-160. ISSN 1213-1962.
- [10] KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KOŘÍNEK, R., ŽŮREK, P. Cultural Monument Jeroným Mine, Czech Republic – Contribution to the Geomechanical Stability Assessment. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2006, M-29(395), pp. 137-146. ISSN 0138-015X.
- [11] KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., LEDNICKÁ, M. Seismic Loading of Underground Bridge above Medieval Mine. In *Transport and City Tunnels, 14-16 June 2010, Proceedings of the 11th international conference Underground Constructions Prague*. Praha: Czech Tunelling Association ITA/AITES, 2010. pp. 619-625. ISBN 978-80-254-7054-1.
- [12] KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., KNEJZLÍK, J. Měření a analýza vibrací v Dole Jeroným. *EGRSE*, 2011, XVIII.1, pp. 50-61. ISSN 1803-1447.
- [13] KNEJZLÍK, J. Distribuovaný systém pro monitorování v Dole Jeroným v Čisté. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava)*. 2006, Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, 181-187. ISSN 1213-1962.
- [14] KNEJZLÍK, J., KALÁB, Z. Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2002, M-24(340), pp. 187-194. ISBN-83-88765-12-4.
- [15] KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z. Recent Solution of the Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. *Acta Geodyn. Geomater.* 2008, Vol. 5, No. 2(150), pp. 205-212. ISSN 1214-9705.
- [16] TOMÍČEK, R. *Důl Jeroným Čistá (Hieronymus Zeche – Lauterbach)*. Montánně historický průzkum, Horní Slavkov, 2010, nepublikováno, 59 pp. + přílohy.
- [17] ŽŮREK, P. et al. *Geomechanická stabilita kulturní památky Důl Jeroným – Čistá, okr. Sokolov*. Odborný báňský posudek, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001, nepublikováno, 47 pp. + přílohy.
- [18] ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., KALÁB, Z., HRUBEŠOVÁ, E., KNEJZLÍK, J., DANĚK, T., KUKUTSCH, R., MICHALÍK, P., LEDNICKÁ, M., RAMBOUSKÝ, Z. *Historický Důl Jeroným v Čisté. Monografie*. 2008, VŠB – TU Ostrava a Ústav geoniky AVČR, v.v.i. Ostrava, 82 pp. ISBN 978-80-248-1757-6.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc., GEOtest, a.s., Brno.

RNDr. Vojtěch Beneš, G Impuls Praha spol. s r.o., Praha.

Martin STOLÁRIK¹

VÝSLEDKY SEIZMICKÝCH MĚŘENÍ NA TUNELECH IV. ŽELEZNIČNÍHO KORIDORU

RESULTS OF SEISMIC MEASUREMENT IN TUNNELS ON THE RAILWAY CORRIDOR IV

Abstrakt

Na tunelech IV. železničního koridoru bylo realizováno několik unikátních experimentálních měření seizmické odezvy trhací práce. Tyto trhací práce byly prováděny během ražby tunelů v rámci modernizace úseku trati Votice-Benešov u Prahy, ležícím na IV. národním železničním koridoru. Seizmické experimenty byly soustředěny na vibrační efekt v blízké zóně, tzn. první desítky metrů. Senzory byly umístěny na počvě tunelu a na povrchu. Nejbližší senzor byl umístěn ve vzdálenosti 4,5 m od zdroje vibrací. Tento příspěvek prezentuje výsledky experimentálních měření a jejich interpretaci, zejména pak závislost mezi vzdáleností a maximální amplitudou rychlosti kmitání.

Klíčová slova

Tunel, trhací práce, seizmické měření, blízká zóna.

Abstract

In the Railway Corridor IV tunnels were realised several unique experimental measurements of blasting operation seismic response. These blasts were performed during tunnels' driving in frame of the Votice-Benešov u Prahy rail track modernization on the National Railway Corridor IV. seismic experiments were concentrated on vibration effect in near zone, i.e. first tens of meters. Sensors were placed on bottom of tunnel and on the surface. The nearest sensor was located in distance 4.5 m from source of vibrations. This paper presents selected results of experimental measurements and their interpretation, especially relation between distances and maximal velocity amplitudes.

Keywords

Tunnel, blasting operation, seismic measurements, near zone.

1 ÚVOD

Tunely budovaného IV. železničního koridoru jsou součástí transevropské železniční magistrály E55 vymezené na našem území trasou Děčín státní hranice – Praha – České Budějovice – Horní Dvořiště státní hranice. Úsek trati Votice – Benešov u Prahy patří ke IV. Železničnímu koridoru, byl zbudován kolem roku 1870 jako jednokolejný. Mezi Voticemi a Benešovem probíhaly po vzniku Československa práce na zdvoukolejnění tohoto úseku trati, ty však nebyly dokončeny a trať zde zůstala pouze jednokolejná. Na tomto úseku, který je dlouhý 18,3 km, je nyní v rámci stavby Modernizace trati Votice – Benešov u Prahy plánováno zbudování celkem pěti tunelů: hloubený Votický (590 m) a čtyři tunely ražené, a to Olbramovický (480 m), Zahradnický (1044 m), Tomice I (324 m) a Tomice II (252 m). Všechny tunely jsou projektovány jako dvojkolejné s návrhovou rychlostí 150 km/hod., respektive 160 km/hod. Zahradnický tunel je vzhledem ke své délce vybaven i únikovou štolou a šachtou. Výstavba byla zahájena v srpnu 2009, termín dokončení

¹ Ing. Martin Stolarík, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 945, e-mail: martin.stolarik@vsb.cz.

je plánován na prosinec 2013. Celé zájmové území patří do geomorfologické soustavy Jihočeská vysočina, celku Benešovské pahorkatiny. Území se nachází při jihovýchodním okraji středočeského plutonu, v blízkosti výběžku moldanubika, a je budováno zejména paleozoickými vyvřelinami, hlubinnými a žilnými. Horniny jsou zde obecně velmi variabilní a jsou charakteristické značnou petrografickou pestrostí. Převažujícími horninovými typy jsou v daném zájmovém území drobnozrnné žilné granity a aplity, v části území pak také porfyrické, středně zrnité, amfibol-biotitické žuly a porfyrické, středně zrnité biotitické žuly s amfibolitem sedlčanského typu. Lokálně se zde vyskytují kontaktní metamorfity zastoupené cordieritickými rulami a migmatity. Rozpukání hornin je značné, převažuje zde velmi velká až velká hustota diskontinuit, pouze výjimečně byla zjištěna střední hustota diskontinuit. Pukliny jsou zpravidla všesměrné, neprůběžné a sevřené, případně vyhojené žilným křemenem. V okolí tektonických linií a poruchových zón jsou horniny intenzivně alterované a zpravidla podrcené. Kvartérní pokryv je zastoupen deluviálními a fluviálními sedimenty, jejichž mocnost se pohybuje od 0,5 do 10 m. Z hydrogeologického hlediska jsou granitické horniny jako celek poměrně málo propustné a disponují jen omezenou puklinovou propustností. Dotace vody do zvodně je zajišťována výhradně infiltrací atmosférických srážek v hydrogeologickém povodí, k odvodnění dochází v morfologických depresích do místních vodotečí. [1, 2]

Experimentální seizmická měření byla prováděna na tunelech Olbramovice, Tomice I a Tomice II. Tyto železniční tunely jsou budovány Novou rakouskou tunelovací metodou, jejíž součástí je také rozpojování hornin za pomoci trhacích prací.

Všechna měření byla prováděna seizmickými aparaturami Gaia2T se senzory ViGeo2 (obojí vyrábí firma Vistec Praha). Aparatura Gaia2T je tříkanálová seizmická stanice s možností spouštěného i kontinuálního záznamu digitálních dat. Výhodou těchto senzorů je frekvenční rozsah do vyšších frekvencí, tj. od vlastní frekvence 2 Hz až do 200 Hz, a jejich větší hmotnost, což umožňuje stabilnější usazení. Horizontální osy senzorů byly orientovány podél a napříč vedení tunelu, třetí osa byla svislá. Záznamové parametry byly pro tato měření nastaveny na maximální vzorkovací frekvenci - 500 Hz/kanál.

Pro zpracování celého souboru dat byla zvolena metodika, při níž jsou odečteny maximální hodnoty amplitud rychlosti kmitání na jednotlivých složkách (vertikální, horizontální radiální a horizontální transversální) a následně je dopočítána složka prostorová podle vztahu:

$$v = (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)^{0,5} \quad (1)$$

Z této hodnoty jsou následně počítány koeficienty útlumu „K“ a sestavovány příslušné závislosti. Ke grafickému zobrazení byl použit obecně známý Langeforsův vztah [např. 3, 4, 5, 6, 7].

Nedílnou součástí interpretace naměřených dat je i studium záznamů vlnových obrazů ve frekvenční oblasti za pomoci Fourierovy transformace (FFT spektra).

Díličí výsledky jsou prezentovány také v příspěvku Examples of law of seismic wave attenuation autorského kolektivu Kaláb, Pandula, Stolárik, Kondela, odeslaném do časopisu Tunnelling and Underground Space Technology.

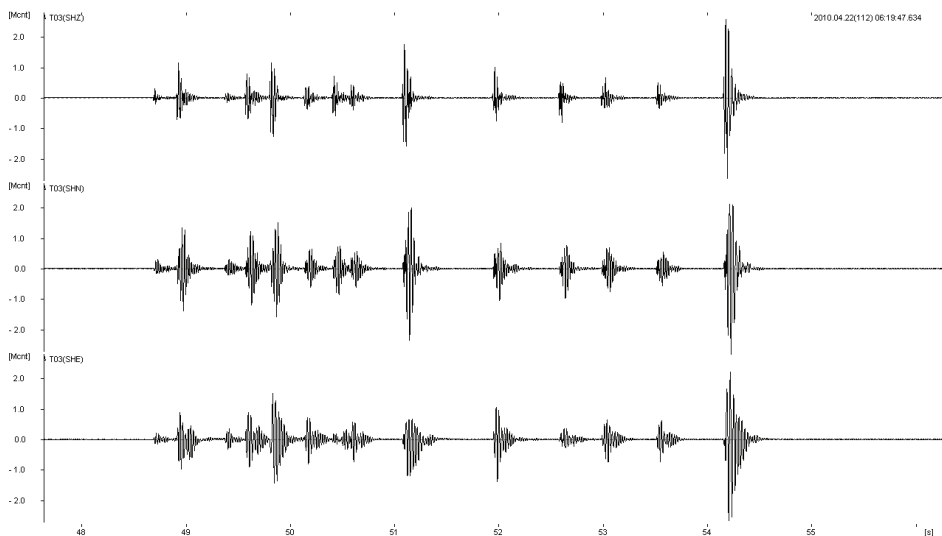
2 EXPERIMENTÁLNÍ SEIZMICKÉ MĚŘENÍ NA TUNELU OLBRAMOVICE

Experimentální seizmické měření bylo prováděno při trhacích pracích prováděných na jádře mezi staničením 220,0 a 245,0 se senzory nejdále na staničení 265,0. Na horní lávce raženého tunelu bylo realizováno celkem 12 měření ve vzdálenosti 6,5 m až 35 m od čelby (resp. 4,5 m až 33 m od paty vývrtů). Ve všech případech se jednalo o trhací práce s celkovou náloží do 25 kg a s mezní náloží na jeden časový stupeň 3 kg. Vývrty byly vrtány ve směru osy díla a záběr byl 2 m.

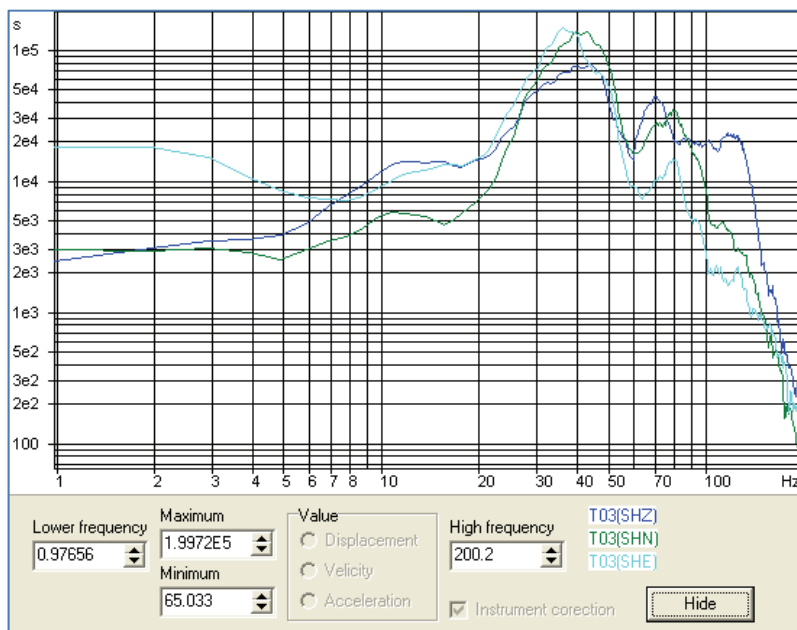
Příklad záznamu vlnového obrazu naměřeného v tunelu je uveden na obrázku 1. Na tomto obrázku je shora dolů zobrazena složka vertikální /Z/, dále složka horizontální radiální /N/ a transversální /E/, vodorovná osa je čas v sekundách (osy jsou ve stejném amplitudovém i časovém měřítku). Zpracovatelský SW neumožňuje přepočtení hodnot amplitud kmitání na fyzikální jednotky [mm.s⁻¹], proto jsou v obrázcích svislé osy vyneseny v kvantovacích úrovních [Mcnt]. Na záznamu

je na všech třech osách zřetelně vidět časování trhací práce do jednotlivých časových stupňů, vyvolané vibrace jsou po odstřelech jednotlivých stupňů téměř utlumeny a nedochází tudíž ke sčítání seizmického efektu po sobě jdoucích časových stupňů. Délka celého záznamu odpovídá časovému rozsahu prováděné trhací práce a je cca 5 s.

Příklad frekvenčního spektra k danému záznamu je na následujícím obrázku 2. Převládající frekvence v záznamech se ve všech spektrech nacházejí v rozmezí 30 – 50 Hz. Ve spektrech lze identifikovat široké výrazné píky s uvedeným rozsahem. Zvláště na záznamu svislé složky lze pozorovat také méně výrazné píky na vyšších frekvencích, tj. 60 – 70 Hz.



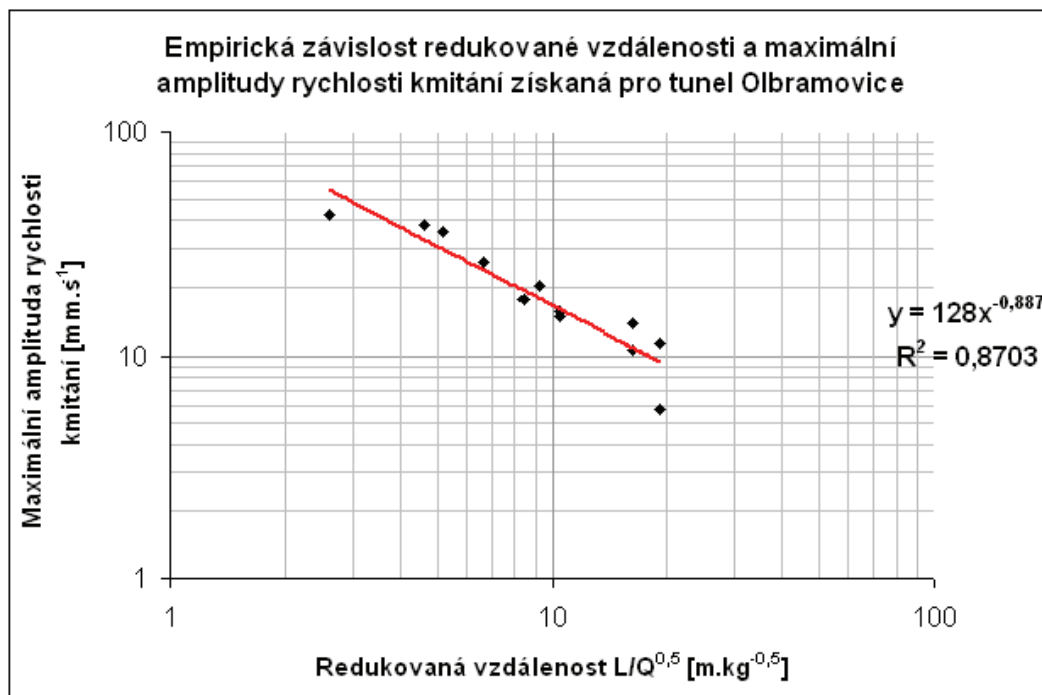
Obr. 1: Příklad vlnového obrazu záznamu trhací práce na tunelu Olbramovice



Obr. 2: Příklad frekvenčního spektra záznamu trhací práce na tunelu Olbramovice

Získané záznamy z jednotlivých odstřelů jsou si navzájem velmi podobné, a to v časové i spektrální oblasti. To vede k závěru, že data z realizovaného měření je možno použít k zobrazení Langeforsova empirického vztahu do grafické závislosti. Výrazné změny v zaznamenaných datech by zřejmě ukazovaly na významné změny v lokální geologii či registraci různých typů vln.

Získaná závislost hodnot maximálních prostorových složek kmitání na redukované vzdálenosti je představena v grafu 1. Zde je vidět, že závislost je v tomto zobrazení velmi těsná (koeficient korelace R^2 pro zobrazená data je 0,87). Tato skutečnost je zřejmě důsledek monotónní geologické stavby (z pohledu šíření seizmických vln masivem) v místě měření. Výjimečnost tohoto získaného vztahu je v tom, že křivka začíná již na hodnotě redukované vzdálenosti $2,6 \text{ m.kg}^{-0,5}$ (to umožnilo měření seizmických účinků ve velmi malé vzdálenosti od „těžiště trhací práce“).

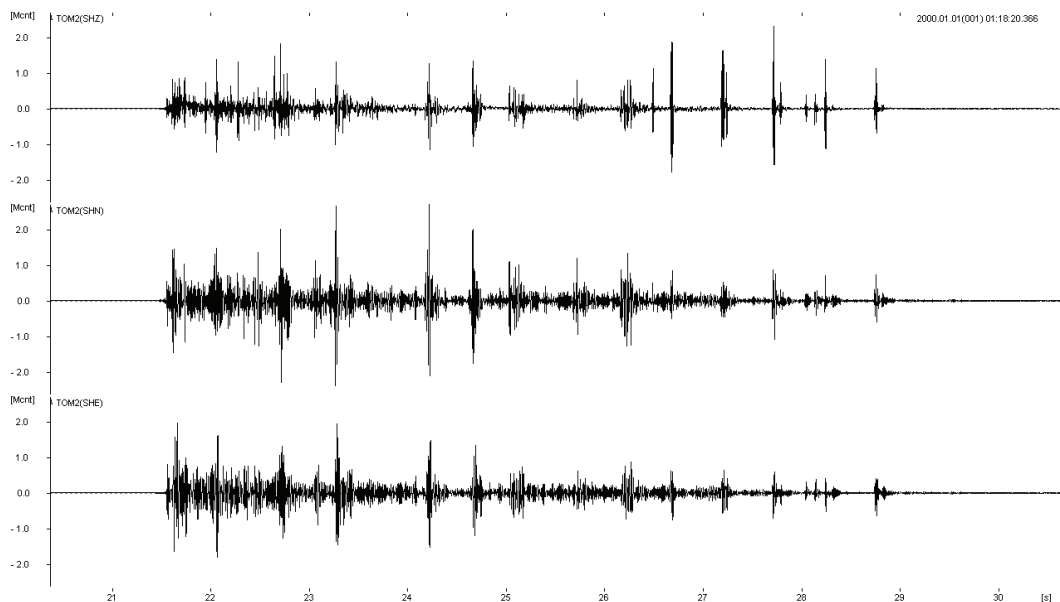


Graf 1: Empirická závislost redukované vzdálenosti a maximální amplitudy rychlosti kmitání získaná pro tunel Olbramovice

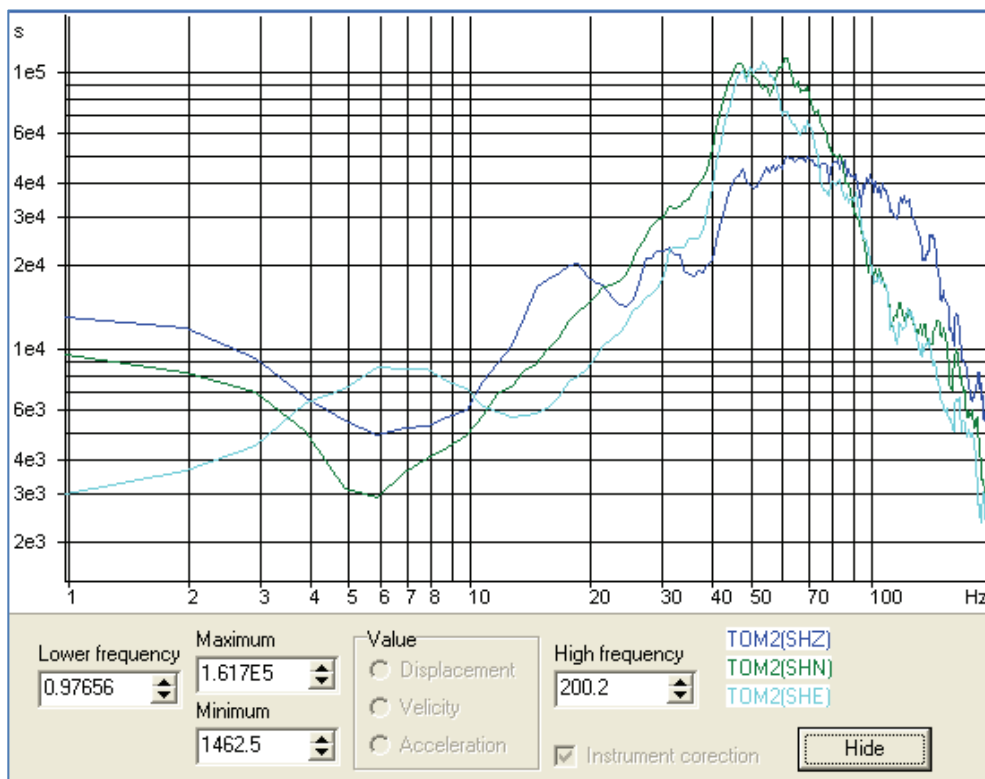
3 EXPERIMENTÁLNÍ SEIZMICKÉ MĚŘENÍ NA TUNELU TOMICE I

Experimentální seizmické měření bylo prováděno při trhacích pracích prováděných na kalotě mezi staničením 215,0 a 225,0. Na počtvě raženého tunelu bylo realizováno celkem 12 měření ve vzdálenosti 20 m až 55 m od čelby. Ve všech případech se jednalo o trhací práce s celkovou náloží 72 kg a s mezní náloží na jeden časový stupeň 7,2 kg. Vývrty byly vrtány ve směru osy díla a záběr byl 3 m.

Příklad záznamu vlnového obrazu naměřeného v tunelu je uveden na obrázku 3. Délka celého záznamu odpovídá časovému rozsahu prováděné trhací práce a je cca 8 s. Příklad frekvenčního spektra k danému záznamu je na následujícím obrázku 4. Převládající frekvence v záznamech se ve spektrech horizontálních složek nacházejí v rozmezí 45 – 70 Hz. Ve spektru složky vertikální 45 – 120 Hz.

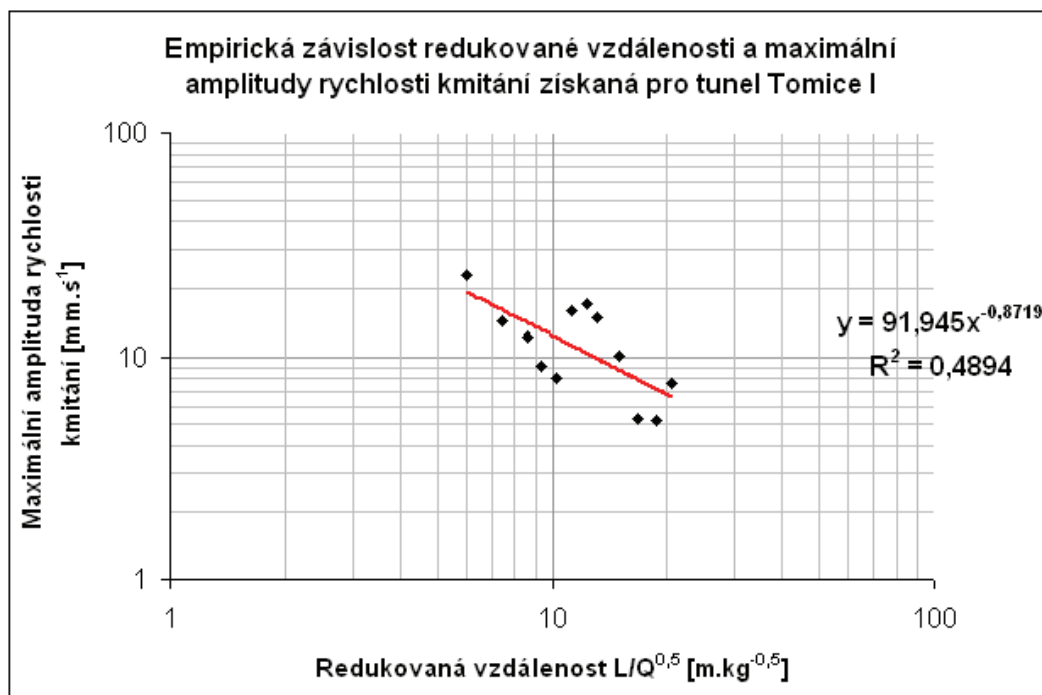


Obr. 3: Příklad vlnového obrazu záznamu trhačí práce na tunelu Tomice I



Obr. 4: Příklad frekvenčního spektra záznamu trhačí práce na tunelu Tomice I

Data z realizovaného měření byla opět použita k zobrazení Langeforsova empirického vztahu do grafické závislosti. Získaná závislost hodnot maximálních prostorových složek kmitání na redukované vzdálenosti je představena v grafu 2. Koeficient korelace R^2 pro zobrazená data je 0,49.

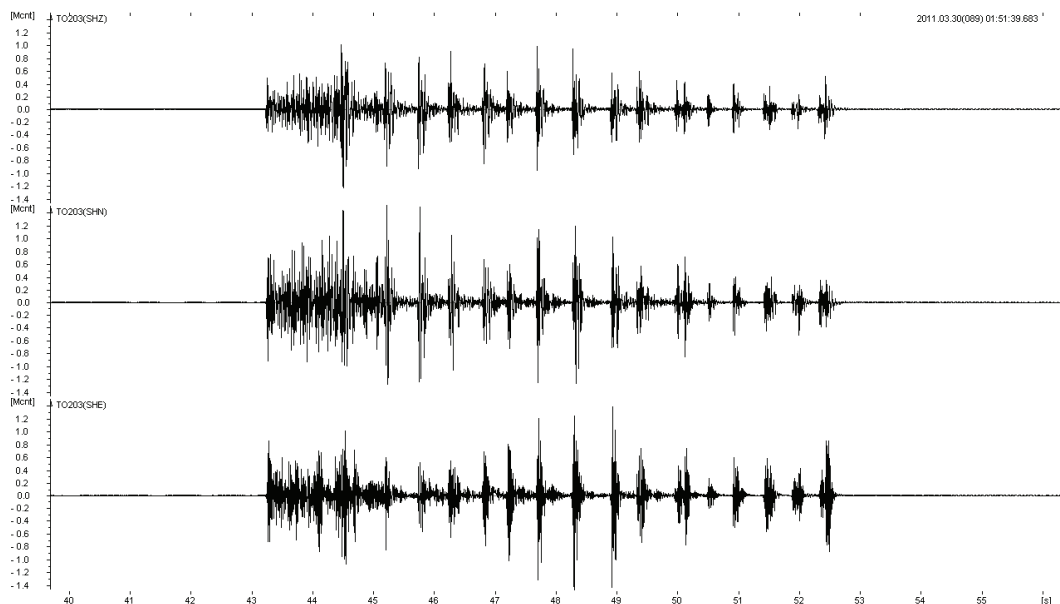


Graf 2: Empirická závislost redukované vzdálenosti a maximální amplitudy rychlosti kmitání získaná pro tunel Tomice I

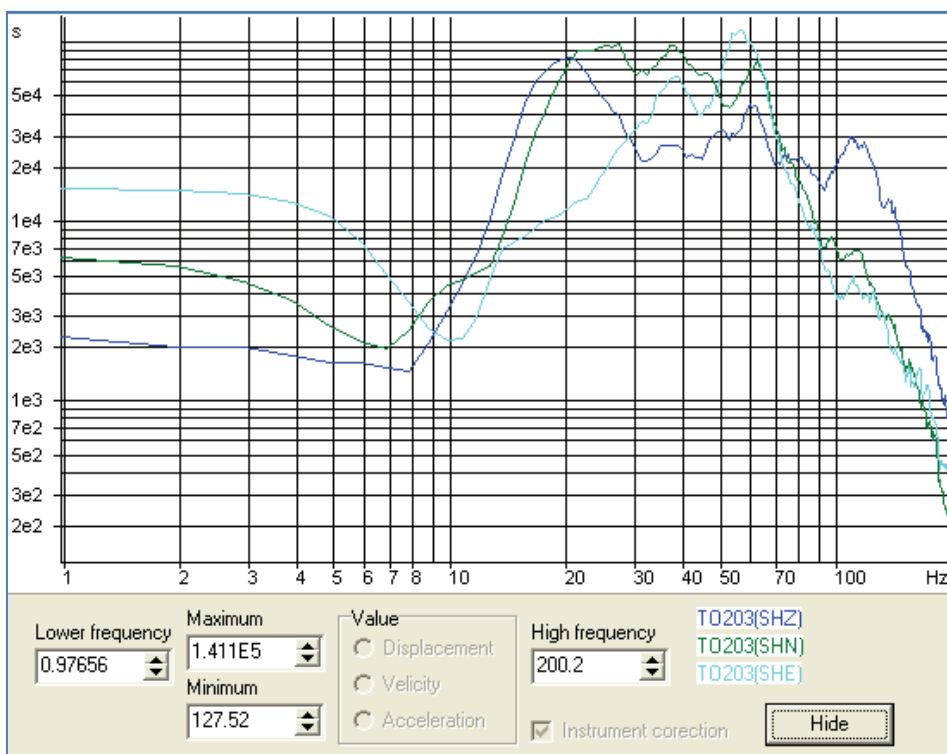
4 EXPERIMENTÁLNÍ SEIZMICKÉ MĚŘENÍ NA TUNELU TOMICE II

Experimentální seizmické měření bylo uskutečněno při trhacích pracích prováděných na kalotě mezi staničením 168,2 a 175,7. Na povrchu nad tunelovou rourou (nadloží cca 7 m) bylo realizováno celkem 27 měření ve vzdálenosti 13,5 m až 50 m od čelby. Ve všech případech se jednalo o trhací práce s celkovou náloží 82 kg a s mezní náloží na jeden časový stupeň 4,8 kg. Vývrty byly vrtány ve směru osy díla a záběr byl 1,5 m.

Příklad záznamu vlnového obrazu naměřeného na povrchu je uveden na obrázku 5. Délka celého záznamu odpovídá časovému rozsahu prováděné trhací práce a je cca 10 s. Příklad frekvenčního spektra k danému záznamu je na obrázku 6. Výrazný pik ve spektru svislé složky je na frekvenci 20 Hz, méně výrazný pak na frekvencích 60 a 110 Hz. Převládající frekvence ve spektru horizontální složky radiální je v rozsahu 20 – 60 Hz a ve spektru složky horizontální transversální v rozsahu 40 – 70 Hz.

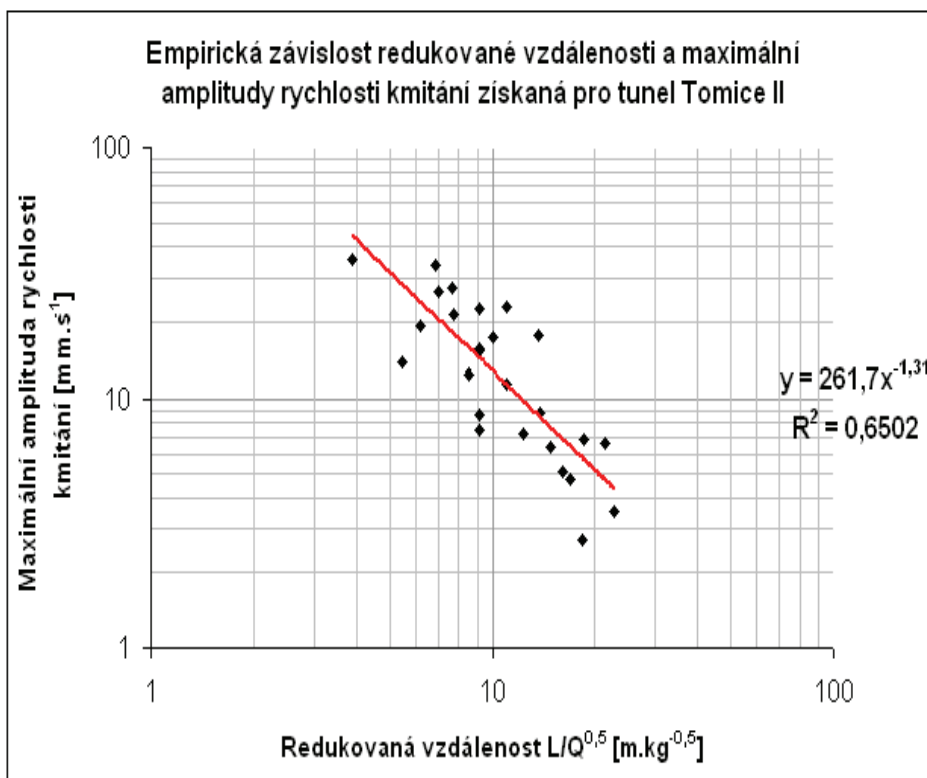


Obr. 5: Příklad vlnového obrazu záznamu trhačí práce na tunelu Tomice II



Obr. 6: Příklad frekvenčního spektra záznamu trhačí práce na tunelu Tomice II

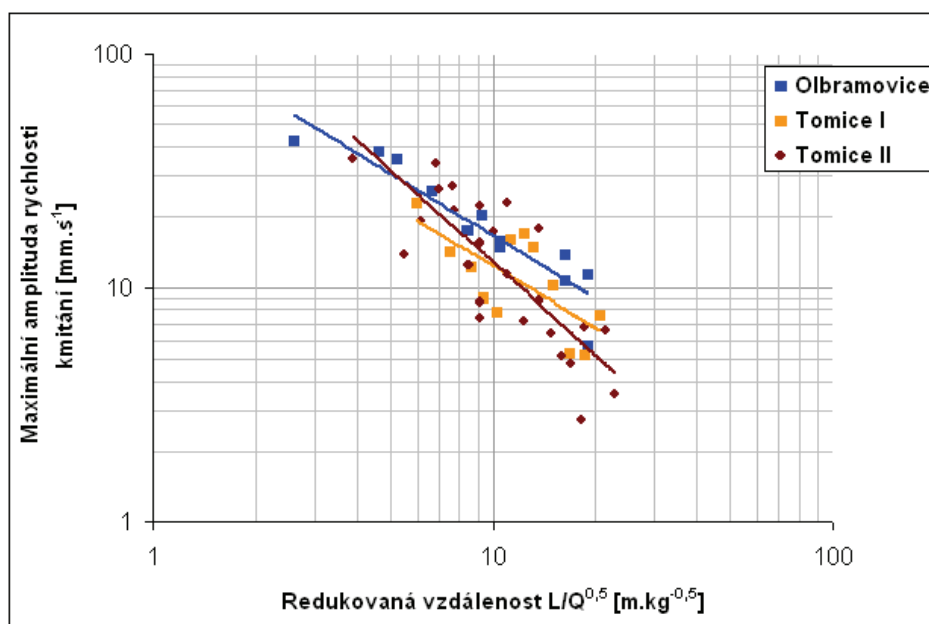
Stejně jako u předchozích dvou případů z podzemí, byla i zde data opět použita k zobrazení Langeforsova empirického vztahu do grafické závislosti. Získaná závislost je představena v grafu 3. Koeficient korelace R^2 pro zobrazená data je 0,65.



Graf 3: Empirická závislost redukované vzdálenosti a maximální amplitudy rychlosti kmitání získaná pro tunel Tomice II

5 ZÁVĚR

V příspěvku byly představeny výsledky seizmických měření ze tří tunelů budovaných na území České republiky Novou rakouskou tunelovací metodou. Ve dvou případech se jednalo o experimentální měření odezvy trhačí práce v blízké zóně přímo v raženém tunelu na počvě. V třetím případě pak na povrchu nad raženým tunelem. Získaná data z měření byla použita k vykreslení Langeforsova empirického vztahu do grafické závislosti (graf 4) a ke spočítání konstant přenosu K daných tímto vztahem.



Graf 4: Empirické závislosti redukované vzdálenosti a maximální amplitudy rychlosti kmitání získaná pro tři sledované tunely

Pro tunel Olbramovice byla závislost těsná s koeficientem korelace $R^2 = 0,87$. U tunelů Tomice I a Tomice II jsem získali poněkud volnější závislost s koeficienty korelace $R^2 = 0,49$ resp. $R^2 = 0,65$.

Z předchozího vztahu byly definovány dvě hodnoty konstant přenosu K a to pro nejmenší ($K1$) a největší ($K2$) redukovanou vzdálenost (danou vzdáleností od zdroje vibrací L a mezní náloží Q) při maximální amplitudě rychlosti kmitání v dané redukované vzdálenosti (tab. 1).

	Olbramovice		Tomice I		Tomice II	
	<u>K1</u>	<u>K2</u>	<u>K1</u>	<u>K2</u>	<u>K1</u>	<u>K2</u>
	109,92	216,06	137,69	157,03	137,91	80,06
$v_{\max}$ [mm.s ⁻¹]	42,31	11,34	23,09	7,66	35,55	3,51
L [m]	4,5	33	16	55	8,5	50
Q [kg]	3		7,2		4,8	

Tab. 1: Přehled krajních hodnot konstanty přenosu K pro sledované tunely

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za podpory projektu: „*Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO*“.

Experimentální měření byla realizována v rámci projektu GAČR 105/09/1415 „*Studium seizmických projevů trhacích prací a dalších vibrací v blízké zóně vyvolaných při ražbě mělkých podzemních děl*“.

LITERATURA

- [1] GRAMBLIČKA, M., MÁRA, J., MAŘÍK, L. Nové železniční tunely na traťovém úseku Votice-Benešov. *Tunel*. 2008, roč. 17., č. 1, s. 41-47. Praha.
- [2] ŠPONAR, R. a KOSSLER, M. Ražba tunelů na dopravní stavbě Modernizace trati Votice-Benešov u Prahy. *Tunel*. 2010, roč. 19., č. 3, s. 14-21. Praha.
- [3] KALÁB, Z., STOLÁRIK, M.: *Analýza koeficientu K v rovnici pro odhad maximální amplitudy rychlosti kmitání vyvolané trhací prací*, Proceedings of the 4th International Conference on the Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering, 253-258, Žilina, 2008.
- [4] PANDULA, B., KONDELA, J., MIHÁLIK, J., KAMENSKÁ, K. Zákon útlmu seizmických vln při trhacích pracích, *Trhacia technika 2010 – zborník prednášok*, 2010, Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce, s. 193-202, Banská Bystrica.
- [5] PANDULA, B. a KONDELA, J. *Methodológia seizmiky trhacích prác*, Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce – ZSVTS, 2010, 156 s., Banská Bystrica.
- [6] DOJČÁR, O., HORKÝ, J., KOŘÍNEK, R. *Trhacia technika*, MONTANEX, a.s., 1996, 421 s., Ostrava.
- [7] OZER, U. Environmental impacts of ground vibration induced by blasting at different rock units on the Kadikoy–Kartal metro tunnel, *Engineering Geology*. 2008, č. 100, s. 82-90, Amsterdam.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Katedra geotechniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Doc. RNDr. Blažej Pandula, Ph.D., Ústav geovied, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach.

Marek JAŠEK¹

ODEZVA ZDĚNÉHO SLOUPU PŘI ZESÍLENÍ CEMENTOVÝM KOMPOZITEM ECC

RESPONCE OF MASONRY COLUMNS FOR STRENGTHENING WITH CEMENT COMPOSITE ECC

Abstrakt

Při zesilování zděných sloupů a pilířů se často používá tradiční metoda zesílení pomocí ocelové bandáže. V posledních letech se rovněž objevují nové pokročilé inovační materiály. Příspěvek se zabývá možností využití nového inovačního materiálu při zesilování zděných sloupů a to cementového kompozitního materiálu ECC.

Klíčová slova

Zděný sloup, zesilování zdiva, cementový kompozit ECC.

Abstract

The traditional method of reinforcement using steel banding is often used for strengthening of masonry columns and pillars. In recent years, there are also new advanced materials and innovative technology. The paper deals with possibilities of new innovative materials for strengthening of masonry columns with cement composite material ECC.

Keywords

Masonry columns, strengthening masonry, cement composite material ECC.

1 ÚVOD

V posledních letech se můžeme setkat s novými pokročilými inovačními materiály a technologiemi, které se objevily na stavebním trhu nebo jsou teprve v pokročilé fázi výzkumu. Tyto novodobé materiály a technologie nacházejí ve stavebnictví využití nejen při návrhu nových konstrukcí a prvků, ale také při opravách, rekonstrukcích a zejména z důvodu stávajících konstrukcí při zesilování. Jedním z těchto novodobých materiálů je cementový kompozit ECC (Engineered Cementitious Composites). V rámci tohoto příspěvku je pojednáno o problematice statického posouzení tohoto vyztuženého zděného sloupu.

Početní posouzení únosnosti a spolehlivosti zesíleného zděného sloupu je realizováno na výpočetních modelech vypracovaných ve výpočetním softwaru ANSYS verze 12.

Porovnání je provedeno na zděném sloupu o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm o dané výšce ($v = 3,0$ m) při zesílení výše uvedeným materiálem. Jako výchozí srovnávací model je zvolen nezesílený zděný sloup viz (Jašek, 2011).

2 KOMPOZITNÍ MATERIÁL ECC

V posledních letech se setkáváme s celou řadou nových typů betonů, nebo spíše by se už mělo použít pojmenování kompozity, které jsou poměrně vzdálené klasickému betonu. Kompozitní

¹ Ing. Marek Jašek, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 927, e-mail: marek.jasek@vsb.cz.

materiál ECC (Engineered Cementitious Composites) představuje velmi tvárný jemnozrnný beton (malta) s matricí na bázi portlandského cementu vyztuženou krátkými vlákny. ECC kompozit představuje novou generaci vysokohodnotného betonu (HPC – High Performance Concrete) a také bývá označován jako ohebný beton. Tento kompozitní materiál neobsahuje jako plnivo hrubé kamenivo, nýbrž obsahuje jen drobné kamenivo o velikosti v řadu μm nebo maximálně v mm . S ohledem na tuto skutečnost by se spíše mělo jednat o cementovou maltu nebo pastu (Li, 2008). V odborné literatuře se však ujal pojem beton.

2.1 Mechanicko-fyzikální vlastnosti kompozitu ECC

Mechanické chování cementových kompozitů (betony, malty, pasty) vyjádřené pracovním diagramem lze rozdělit na fázi před vznikem trhliny a na fázi po vzniku trhliny, kdy dochází k výraznému rozvoji deformačního přetvoření v důsledku působícího zatížení (Kolisko, 2008).

Dle chování cementového kompozitu (materiálu) po vzniku trhliny (tzn. po překročení pevnosti při vzniku první trhliny) lze průběh křivky pracovního diagramu rozdělit na s chováním (Kolisko, 2008):

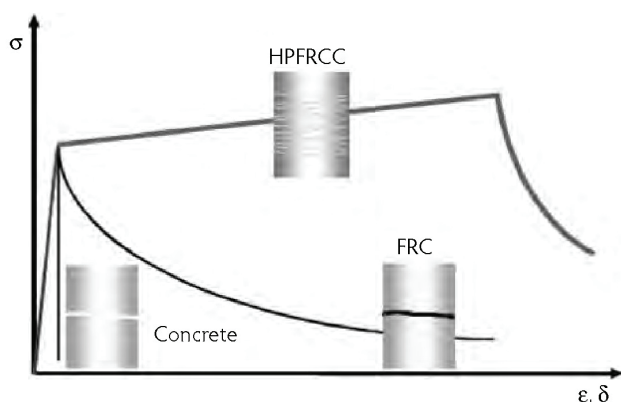
1. Strain-softening – po překročení pevnosti při vzniku první trhliny dochází k tzv. „deformačnímu změkčení“ materiálu a poklesu odolnosti materiálu přenášet zatížení. Do této skupiny lze zařadit beton s normální pevností (NSC – Normal Strength Concrete), včetně většiny vláken vyztužených betonů (FRC - Fiber Reinforced Concrete).
2. Strain-hardening - překročením pevnosti při vzniku první trhliny dochází k tzv. „deformačnímu zpevnění“ materiálu a k dalšímu nárůstu pevnosti (odolnosti) daného materiálu. Do této skupiny patří zejména kovové materiály, ale i kompozitní materiál ECC.

Jak je zřejmé z pracovního diagramu betonu s normální pevností (viz obr. 1), po překročení pevnosti při vzniku první trhliny dochází k prudkému poklesu křivky pracovního diagramu (tzv. „změkčení“) a následnému porušení kvazi-křehkým lomem. Vznik prvních trhlin v cementové matrici má za následek následné porušení materiálu.

U vláken vyztuženého betonu (FRC) se po dosažení pevnosti při vzniku první trhliny dochází k tahovému „změkčení“ materiálu (viz obr. 1), tzn. k poklesu napětí při současném růstu poměrného přetvoření a k pozvolnému otevření trhlin až do mezního stavu, kdy je materiál porušen lomem. V této oblasti sestupné křivky pracovního diagramu se začíná projevovat účinek rozptýlených vláken, do kterých se převádí působící zatížení a vlákna přemostují a svazují vznikající trhliny v křehké matrici. Během vlastního přemostování trhlin se vlákna deformují a vznikají další úzké trhlinky.

U kompozitního materiálu ECC naopak po dosažení pevnosti při vzniku první trhliny dochází k „zpevnění“ materiálu (viz obr. 1), tzn. k zvýšení napětí při současném růstu poměrného přetvoření až po dosažení meze pevnosti daného materiálu. Jak je zřejmé z tohoto pracovního diagramu, kompozitní materiál ECC se v první fázi fyzicky a mechanicky chová jako beton s normální pevností (NSC), ve druhé fázi se už spíše chová jako kov, kdy po dosažení meze „kluzu“ na konci pružné (první) fáze pracovního diagramu se objevují první trhliny. První trhlina vzniká přibližně při hodnotě deformačního přetvoření $\varepsilon \approx 0,01 \%$ a při deformačním přetvoření $\varepsilon \approx 1 \%$ se šířka trhliny zvětšuje přibližně na $60 \mu\text{m}$. Při dalším zatížení se zvětšuje počet mikrotrhlin, ale šířka jednotlivých mikrotrhlin se nezvětšuje a zůstává ustálená na hodnotě $60 \mu\text{m}$ (Li, 2008). K selhání dochází až tehdy, kdy se jedna z mnohonásobných trhlin poruší lomem (vytvoří se lomová plocha).

U kompozitního materiálu ECC se vytváří synergická interakce mezi vlákny, matricí daného kompozitu a rozhraním těchto materiálů. Dochází zde k rozvoji úzce rozložených mnohonásobných mikrotrhlin v důsledku mikromechanických vazeb. Účinná vazba mezi cementovou matricí a vlákny je zde dosažena prostřednictvím maximálního zhutnění, což má za následek vysokou pevnost po vzniku první trhliny až do okamžiku vyčerpání pevnosti vláken.



Obr. 1: Porovnání idealizovaných pracovních diagramů betonu s normální pevností (NSC), kompozitu FRC (Fiber Reinforced Concrete) a vysokohodnotného betonu HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites) - typu ECC (Li, 2008)

Tento kompozit se oproti betonu s normální pevností (NSC) vyznačuje vynikajícími mechanickými vlastnostmi, a to zejména extrémní poddajností tzv. tvárností (duktilitou) - schopnost přetvářet se bez porušení (Kohoutková, 2007), houževnatostí, trvanlivostí (trvanlivost je až 10 krát vyšší než u betonu s normální pevností (NSC) (Li, 2008)) a dobrou adhezí čerstvého betonu. U kompozitního materiálu ECC mezní poměrné přetvoření (tvárnost) dosahuje hodnot 1 - 8 % viz tab. 1. Těchto základních mechanicko-fyzikálních vlastností je dosaženo bez závislosti na vysoký obsah vláken. Základní mechanicko-fyzikální vlastnosti lze přizpůsobit pomocí mikromechanických nástrojů (Li, 2008).

Tab. 1: Základní mechanicko-fyzikální vlastnosti kompozitního materiálu ECC (Li, 2008)

Pevnost v tlaku (MPa)	Pevnost při vzniku první trhliny (MPa)	Mezní pevnost v tahu (MPa)	Mezní poměrné přetvoření (%)	Modul pružnosti (Youngův modul) (GPa)	Pevnost v ohybu (MPa)	Hmotnost (kg.m^{-3})
20-95	3-7	4-12	1-8	18-34	10-30	950-2300

Kompozitní materiál ECC se už v zahraničí začíná pomalu využívat v pozemním a dopravním stavitelství, u nás je tento kompozitní materiál teprve ve fázi laboratorního zkoumání. Mezi známé realizace patří např. oprava gravitační zemní záchytné stěny v Japonsku a mostovky na mostě v Michiganu apod. (Li, 2008).

3 STATICKÉHO POSOUZENÍ ZDĚNÉHO SLOUPU

Pro modelování zděného sloupu je používán detailní mikromodel vytvořený v nekomerční verzi softwaru ANSYS 12. Cihly a malta jsou po výšce rozděleny na dvě stejné části z důvodu vyhodnocení napětí či deformací v polovině výšky těchto prvků. Jako výpočtový model je zvolen zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm s mechanicko-fyzikálními vlastnostmi, které jsou uvedené v následujících tabulkách. U zděného sloupu je respektována řádná vazba zdiva. Sloup je modelován z celých cihel, resp. z tříčtvrtek.

Zděný sloup je zjednodušeně vymodelován jako konzolový prut bez uvážení vlivu vzpěry prvku. To proto, že prvek SOLID 65 nelze použít pro geometricky nelineární úlohy. Sloup je v patě vetknutý a v hlavě zatížen normálovou silou. Osová síla působí na hlavu sloupu prostřednictvím rovnoměrného plošného zatížení. Zatížení je do samotného zděného sloupu vnášeno pomocí tužšího spojovacího prvku o výšce 100 mm, který má stejné mechanicko-fyzikální vlastnosti jako cihla.

Vytvořením spojovacího prvku se snažíme docílit pokud možno co nejreálnějšího přenosu zatížení do zděného sloupu.

3.1 Vstupní údaje materiálů

Malta a cihly jsou modelovány jako 8 uzlový prvek SOLID 65 s isotropními vlastnostmi. Malta je na rozdíl od cihel modelována jako fyzikálně nelineární materiál. Při zadání fyzikálně nelineárního chování malty se vychází z Willam-Warnkeho podmínky plasticity viz (Willam, 1975). Do vstupních údajů nelineárního chování malty se dle (Willam, 1975) a (Ansys, 2010) zadává:

- Open Shear Transfer Coef: v rozmezí 0 – 0,5 (zadaná hodnota 0,4),
 Closed Shear Transfer Coef: v rozmezí 0.5 – 0.9 (zadaná hodnota 0,7),
 Uniaxial Cracking Stress: f_t (pevnost v tahu),
 Uniaxial Crushing Stress: f_c (pevnost v tlaku),
 Biaxial Crushing Stress: $f_{bc} = 1,2 * f_c$, (1)
 Hydrostatic Pressure: $\sigma_h = \sqrt{3} * f_c$, (2)
 Hydro Biax Crush Stress: $f_l = 1,45 * f_c$, (3)
 Hydro Uniax Crush Stress: $f_2 = 1,725 * f_c$, (4)
 Tensile Crack Factor: 0,6.

Mechanicko-fyzikální vlastnosti cihel a malty jsou převzaty z experimentálních zkoušek cihel a malty (Vorel, 2007) a hodnoty jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Mechanicko-fyzikální vlastnosti cihly a malty (Vorel, 2007)

Mechanicko-fyzikální vlastnosti	Cihly	Malta
Objemová hmotnost (kg.m^{-3})	1800	2000
Modul pružnosti v tahu a tlaku (GPa)	8,26	4,33
Součinitel příčné roztažnosti (Poissonův součinitel)	0,15	0,2
Pevnost v tlaku (MPa)	12,74	2,53
Pevnost v tahu (MPa)	1,83	0,58

Obetonování zděného sloupu při jeho zesílení pomocí ECC kompozitu je navrženo v tloušťce 60 a 80 mm. ECC kompozit je pak vymodelován jako 8 uzlový prvek SOLID 65 s izotropními vlastnostmi materiálu. Při modelování je uvažováno s dokonalým spolupůsobením zděného prvku a ECC kompozitu. Jednotlivé mechanicko-fyzikální vlastnosti ECC kompozitu jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3: Mechanicko-fyzikální vlastnosti kompozitu ECC (Kajima Technical Research Institute, 2006)

Mechanicko-fyzikální vlastnosti	ECC
Objemová hmotnost (kg.m^{-3})	1854
Modul pružnosti v tahu a tlaku (GPa)	17,5
Součinitel příčné roztažnosti (Poissonův součinitel)	0,2
Pevnost v tlaku (MPa)	37,5
Pevnost v ohybu (MPa)	4,9
Pevnost při vzniku první trhliny (MPa)	4,0
Mezní poměrné přetvoření (%)	3,7

Návrhová únosnost zděného sloupu o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm vypočtena dle ČSN EN 1996-1-1 je 170,75 kN. Normálová síla pro zatížení sloupu tlakem je zvolena o hodnotě 170 kN. Plošné zatížení zjištěné přepočtem na půdorysnou plochu pak vychází 878 kN/m². Z důvodu zanedbání vzpěru je třeba brát výsledky spíše jako orientační.

3.2 Podklad statického posouzení zděného sloupu

Pro posouzení jednotlivých metod zesílení zděného sloupu je vybrána střední část sloupu od výškové úrovně +1,3925 do +1,8425 m, což odpovídá výškové úrovni od poloviny zdicích prvků (cihel) 18. řady do poloviny zdicích prvků 25. řady.

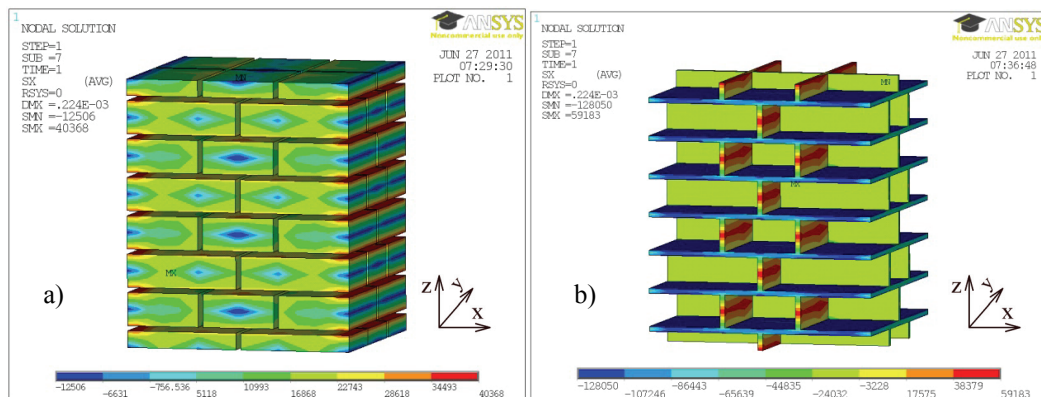
U zděného sloupu je posuzováno napětí ve směru osy x a z i deformace ve směru osy x . Pro posouzení zděného sloupu jsou jednotlivé zesilující prvky odelektovány a napětí se posuzují zvlášť pro zdicí prvky (cihly) a maltu. U posouzení deformace ve směru osy x jsou cihly a malta brány jako jeden společný prvek z důvodu minimálního rozdílu výsledných deformací v obou prvcích odpovídajících řádu 10^{-6} m, přičemž deformace v maltě je nepatrně větší než deformace v cihlách.

V následujících tabulkách jsou použité zkratky, kde:

$\sigma_{x,max,c}$	je maximální napětí v cihlách ve směru osy x ,
$\sigma_{x,max,m}$	maximální napětí v maltě ve směru osy x ,
$\sigma_{z,max,c}$	maximální napětí v cihlách ve směru osy z ,
$\sigma_{z,max,m}$	maximální napětí v maltě ve směru osy z ,
$u_{x,sloup}$	maximální deformace zděného sloupu ve směru osy x .

3.2.1 Nezesílený zděný sloup

U nezesíleného zděného sloupu jsou největší tlaková napětí v cihlách ve směru osy x umístěna u povrchu zděného sloupu a to v polovině výšky cihel. Maximální tahová napětí se pak nacházejí v oblasti ložné spáry u povrchu zděného sloupu. Ve směru osy z jsou největší lokální tlaková napětí v místě vnitřních styčných spár.



Obr. 2: Nezesílený zděný sloup: a) napětí v cihlách ve směru osy x , b) napětí v maltě ve směru osy x

V maltě jsou největší tlaková napětí ve směru osy x umístěna v ložných spárách, totéž platí i pro napětí ve směru osy z . V polovině výšky styčných maltových spár se nacházejí maximální tahová napětí ve směru osy x .

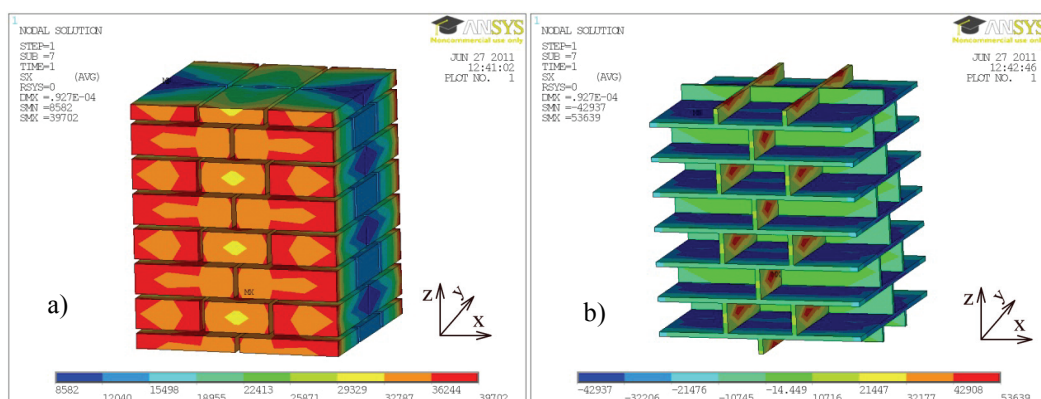
Na obr. 2 jsou znázorněna napětí nezesíleného zděného sloupu ve směru osy x , vlevo na obrázku je zobrazeno napětí v samotných cihlách a vpravo napětí v maltových spárách. Maximální tlaková a tahová napětí pro nezesílený sloup ve směru osy x a z jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4: Výsledná maximální napětí a deformace pro nezesílený zděný sloup

$\sigma_{x,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{x,max,m}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,m}$ (kPa)	$u_{x,sloup}$ (m)
-12,506	-128,050	-1060	-931,357	$4,39 \cdot 10^{-6}$
40,368	59,183			

3.2.2 Metoda zesílení pomocí ECC kompozitu

U metody zesílení pomocí ECC kompozitu o tloušťce 60 mm nedochází v cihlách k tlakovému namáhání ve směru osy x . Největší tahová napětí ve směru osy x se nacházejí u povrchu sloupu a její hodnoty přibližně odpovídají maximálnímu tahovému napětí v cihlách nezesíleného sloupu. Ve směru osy z je zřejmý rapidní pokles tlakového napětí v cihlách, které nám přebírá obetonování sloupu. Maximální hodnoty tlakového napětí v cihlách se nacházejí v místě křížení styčných spár, resp. v místě styku styčné spáry a obetonování ECC kompozitem.



Obr. 3: Metoda zesílení pomocí ECC kompozitu – tloušťka vrstvy 60 mm:

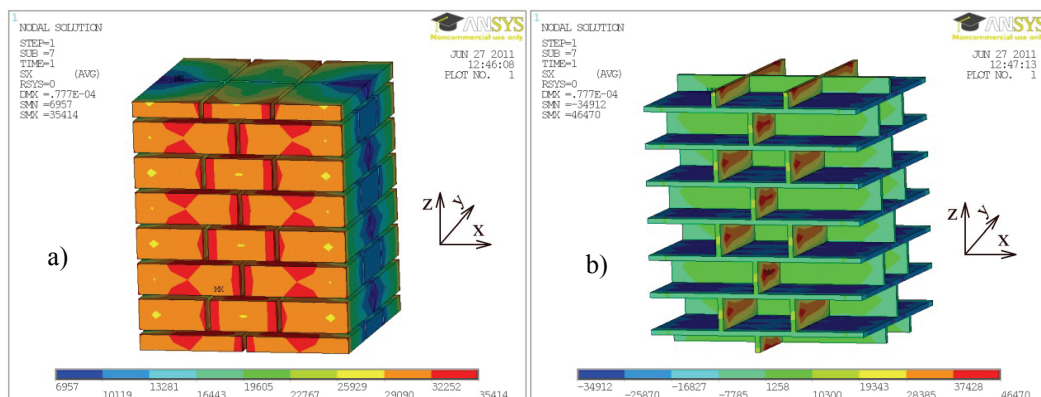
a) napětí v cihlách ve směru osy x , b) napětí v maltě ve směru osy x

U tlakového napětí v maltě ve směru osy x taktéž dochází k poklesu napětí a to cca o 65 %. V případě tahového napětí v maltě ve směru osy x vychází pokles napětí nižší jen o 10 % oproti nezesílenému sloupu. Největší lokální napětí se nalézají v polovině výšky styčné spáry umístěné ve směru osy y a to přibližně ve vzdálenosti 1/3 třičtvrtěcí cihly od okraje sloupu. Největší lokální tlaková napětí v maltě ve směru osy z se nacházejí taktéž v ložné spáře ve vzdálenosti 1/3 třičtvrtěcí cihly od okraje sloupu. Deformace sloupu ve směru osy x se snížila přibližně o 45 %.

Tab. 5: Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí ECC kompozitu- tloušťka vrstvy 60 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{x,max,m}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,m}$ (kPa)	$u_{x,sloup}$ (m)
-	-42,937	-403,568	-421,807	$2,43 \cdot 10^{-6}$
39,702	53,639			

Jako u předešlé varianty ECC kompozitu, taktéž u tloušťky obetonávky 80 mm se v cihlách ve směru osy x nenacházejí žádná tlaková napětí. Průběh napětí v cihlách ve směru osy x a z je obdobný jako u ECC kompozitu o tloušťce 60 mm a výsledné maximální hodnoty napětí v cihlách mají cca o 10 % nižší hodnoty než u předešlé varianty.



Obr. 4: Metoda zesílení pomocí ECC kompozitu – tloušťka vrstvy 80 mm:

a) napětí v cihlách ve směru osy x , b) napětí v maltě ve směru osy x

Jak je patrné z obr. 4, je průběh napětí v maltě taktéž obdobný jako u obetonování o tloušťce 60 mm. Výsledná maximální napětí, ať už ve směru osy x či z , jsou o několik procent nižší. Maximální deformace sloupu ve směru osy x vychází o 55 % menší než u nezesíleného sloupu. V tab. 6 jsou uvedeny hodnoty pro metodu zesílení pomocí ECC kompozitu o tloušťce 80 mm.

Tab. 6: Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí ECC kompozitu – tloušťka vrstvy 80 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{x,max,m}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,m}$ (kPa)	$u_{x,sloup}$ (m)
-	-34,912	-335,307	-330,536	$2,04 \cdot 10^{-6}$
35,414	46,470			

3.2.3 Vyhodnocení zesílení zděného sloupu

Pro srovnání dané metody zesílení zděného sloupu o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm je vybráno tahové napětí v maltě ve směru osy x , neboť první tahové trhliny ve zděném sloupu vznikají ve styčných maltových spárách. Při použití ECC kompozitu o tloušťce obetonování 60 mm dochází ke snížení tahového napětí v maltě ve směru osy x cca o 10%, u tloušťky obetonování 80 mm cca o 22%.

Při zatížení zděného sloupu tlakovou normálovou silou kolmou na ložnou spáru dochází k svislému poměrnému stlačení a vodorovnému poměrnému roztažení. Dalším možným kritériem pro srovnání dané metody zesílení je deformace zděného sloupu ve směru osy x , tzn. maximální hodnota vodorovného poměrného roztažení ve směru osy x .

Deformace zděného sloupu metody zesílení pomocí kompozitu ECC při tloušťce obetonování 60 mm dosahuje snížení cca o 45%, při použití obetonování tloušťky 80 mm pak cca o 44 % vzhledem k nezesílenému zděnému sloupu.

4 ZÁVĚR

Ze srovnání kompozitu ECC a nezesíleného zděného sloupu vyplývá, že metoda zesílení pomocí kompozitu ECC výrazně přispívá nejen ke snížení tahového napětí v maltě ve směru osy x , ale také ke zmenšení deformace zděného sloupu ve směru osy x . Jak je patrné z (Jašek, 2011), výsledné hodnoty (napětí ve směru osy x a z , deformace ve směru osy x) metody zesílení zděného sloupu o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm pomocí kompozitu ECC jsou skoro totožné s tradiční metodou zesílení zděného sloupu pomocí ocelové bandáže. Z hlediska finančního vychází ECC kompozit oproti ocelové bandáži cca o 10 % dražší. Doba realizace zesílení pomocí ECC kompozitu je pak z důvodu technologické přestávky při tvrdnutí kompozitu cca 4 krát delší než u ocelové bandáže viz (Jašek, 2011). Z těchto důvodů vychází jako nejvhodnější metoda pro zesilování zděných sloupů metoda zesílení pomocí ocelové bandáže. Při zesilování zděných sloupů pomocí ocelové bandáže je ale nutné dodržovat technologickou kázeň při realizaci zesílení pro zajištění požadovaného spolupůsobení zesilovaného sloupu a zesilující konstrukce.

LITERATURA

- [1] Ansys, Inc. 2010. *ANSYS Mechanical APDL Programmer's Manual : Release 13* [online]. Canonsburg : Southpointe, 11.2010 [cit. 2011-07-15]. Dostupné z [www: <http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/130/ans_prog.pdf>](http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/130/ans_prog.pdf).
- [2] JAŠEK, Marek. 2011. *Posouzení nových materiálů a technologií pro zesilování zděných konstrukcí*. Ostrava, 2011. 182 s. Disertační práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [3] Kajima Technical Research Institute. 2006. *Mixing Manual of ECC Dry-Mix for Casting*, KaTRI, Japan. 2006.
- [4] KOHOUTKOVÁ, Alena. 2007. Betony s rozptýlenou výztuží. *Materiály pro stavbu*, 6/2007, Praha: Springer media CZ, 2007, s. 39-41. ISSN 1213-0311.
- [5] KOLÍSKO, Jiří. 2008. *Vliv krátkých všesměrně rozptýlených polypropylénových mikro a makrovláken na vlastnosti cementových malt a betonů*. Praha: České vysoké učení technické, 2008. 24 s., ISBN 978-80-01-04072-0.
- [6] LI, Victor C. 2008. *Concrete Construction Engineering Handbook*. Second Edition. Rutgers University, Piscataway, New Jersey, USA. Boca Raton: CRC Press, 2008. Engineered Cementitious Composite (ECC): Material, Structural, and Durability Performance, s. 1024-1069. ISBN 9780849374920.
- [7] VOREL, Jan; SÝKORA, Jan. 2007. Experimentální a numerická identifikace materiálových parametrů zdiva. In *9. Odborná konference doktorského studia Juniorstav*, Brno, 24. ledna 2007. Brno: Fakulta stavební, Vysoké učení technické, 2007. ISBN 978-80-214-3337-3.
- [8] WILLAM, Kaspar J.; WARNKE, E. P. 1975. *Constitutive models for the triaxial behavior of concrete*. Proceedings of the International Assoc. for Bridge and Structural Engineering. 1975, vol 19, pp. 1- 30.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., Ústav betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., Kloknerův ústav, České vysoké učení technické v Praze.

Markéta_KOZÁKOVÁ¹

**METODIKA PRO STANOVENÍ ZMĚN TEPELNÝCH ZTRÁT
PŘI ZMĚNÁCH TVARU OBJEKTU**

**METHODOLOGY FOR CHANGES IN HEAT LOSS DETERMINATION
ON CHANGES IN THE SHAPE OF THE OBJECT**

Abstrakt

Tvar domu významně ovlivňuje jeho energetickou náročnost. Pro běžnou projekční praxi ve fázi návrhu dosud není stanoven ověřený teoretický podklad pro posouzení závislosti změny tepelných ztrát objektu na tvaru a velikosti objektu běžných rodinných domů.

Navržené řady objektů mají funkci etanolů, se kterými se mají porovnávat konkrétní případy přesnými výpočty, ale etanoly předem vymezují s dostatečnou pravděpodobností užší oblast, v jaké se realita bude pohybovat.

Klíčová slova

Tvar objektu, tepelné ztráty, konstrukce.

Abstract

The shape of the house significantly affects its energy intensity. For general design has not yet been established proven theoretical basis for assessing changes in heat loss, depending on the shape of the object and the object size normal family home.

The proposed series of ethanol to function with which to compare the specific cases of precise calculations, but the ethanol pre-defined with a reasonable probability region closer to what the reality will move.

Keywords

Object shape, heat loss, construction.

1 ÚVOD

Tvar domu významně ovlivňuje jeho energetickou náročnost. Dnešní ekonomickou nutností v oblasti navrhování domů je snížení energetické náročnosti budov tak, aby spotřeba byla minimální, ale optimální vzhledem ke stavebním nákladům a provozu objektu. K tomu účelu jsou stanoveny třídy energetické náročnosti budov, podle kterých je optimální stupeň C pro kvalitu minimálně vyhovující. Kompaktní budova, především bez různých výstupků, má menší poměr ochlazovaných ploch k její užité půdorysné ploše a k jejímu objemu. Každá členitost obvodového pláště tento podíl zvyšuje a nadto přibývají detaily v obvodovém plášti zvyšující riziko vzniku tepelných mostů.

Podle průzkumu, který provedla Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States tvoří spotřeba energie v obytných domech téměř 40 % celkové spotřeby energie v rámci EU a je tak jejím největším podílem.

¹ Ing. Markéta Kozáková, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 916, e-mail: marketa.kozakova@vsb.cz.

Tab. 1: Průměrná roční spotřeba energie u rodinných domů

Druh budovy	Spotřeba energie (kWh/m ²)
Staré domy	269
Staré, částečně renovované domy	197
Nově renovované domy	74 – 113
Nově postavené domy	74 – 113
Energeticky pasivní domy	3

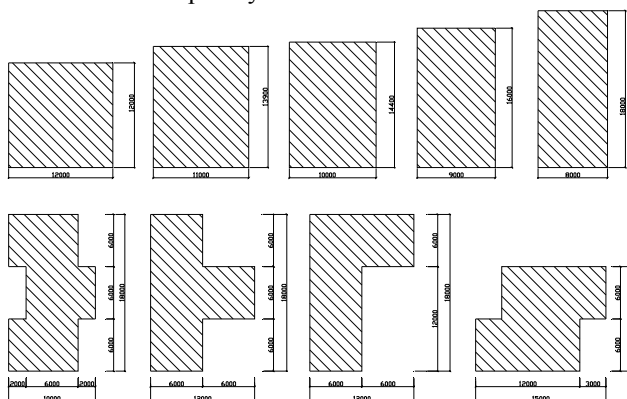
Hlavním cílem metody, o které tento článek referuje, je stanovit závislost změny tepelných ztrát objektu na tvaru a velikosti objektu při zachování minimálních předepsaných tepelně technických vlastností samostatně stojícího rodinného domu. Podmínkou pro výpočet je konstrukční řešení objektu, které odpovídá kategorii energetické náročnosti C – vyhovující a požadavkům normy ČSN 730540 [1]. Vytvořená metoda bude sloužit jako ověřený teoretický podklad pro posouzení závislosti změny tepelných ztrát objektu na jeho tvaru a velikosti pro běžnou projekční praxi již ve fázi návrhu.

2 TVARY OBJEKTŮ

V realizaci jsou nejčastější uzavřené obdélníkové tvary, ale velmi často s různými výstupky. Další obměny tvarů využívají půdorysnou plochu rozvrženou do křídel, jak je patrné z vybraných modelů na obr. 1.

Běžné tvary objektů jsou vybrány z typových katalogů samostatně stojících rodinných domů (Porotherm, Velox, Durisol, Ytong). Objekty jsou zpravidla navrženy jako jednopodlažní a dvoupodlažní. Minimální zastavěná plocha jednopodlažního objektu je 144 m², pokud jde o více podlažní objekty, zastavěná plocha je větší o prostory schodiště.

Základní tvary etalonů jsou uvedeny na obr. 2 a jejich tvary jsou schematizovány do pěti typů řad podle růstu velikosti ochlazované plochy.



Obr. 1: Tvary běžných rodinných domů o ploše 144 m²

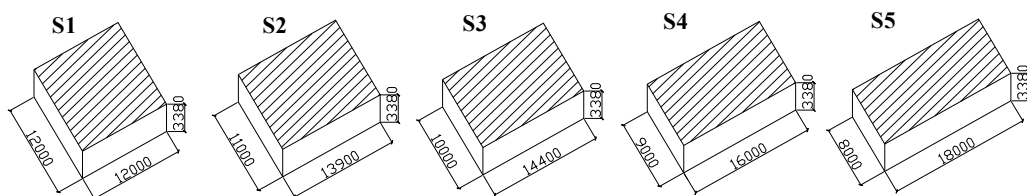
3 STANOVENÍ VÝPOČETNÍCH STANDARDŮ

3.1 Rozměry a objemy objektů

Etalony jsou navrženy v teoretické povaze, aby jejich použitelnost měla obecnou platnost. Pro výpočet tepelných ztrát a k tomu návrh pro případné úpravy konstrukcí (plášť, zastřešení a podlahy na terénu) není v jejich řadě rozhodující tvar objektu, ale jen rozsah ochlazovaných ploch. Tvar se proto redukuje na pravoúhlé čtyřúhelníky s pravidelně stupňovitými rozměry podle celkové zastavěné plochy a podle počtu podlaží. Výchozím objektem je zvolen objekt o půdorysné ploše

144 m² (12x12 m) a o jednom nadzemním podlaží. Objekt je následně navržen v dalších čtyřech stupních v poměru stran 1:2 (11,09x13 m), 1:4 (10x14,4 m), 1:8 (9x16 m) a 1:2,2 (8x18 m) s odchylkou ± 1,6% podle obr. 2.

Standardní konstrukční výška podlaží je včetně stropní a podlahové konstrukce a při minimálním zaokrouhlení pro jednoduchost pro výpočet etalonů stanovena 3 m a uvažovaná konstrukce střechy v tloušťce 0,380 m tj. stropní konstrukce a veškeré další konstrukce střešního pláště. Střecha je pro všechny řady etalonů uvažována vždy plochá. Pro variantu jednopodlažního objektu je výška 3,380 m.



Obr. 2: Základní tvary etalonů

3.2 Kategorie energetické náročnosti

Zásadním požadavkem je, aby objekt odpovídal kritériu kategorie C. Etalon je navržen na minimální hodnotu klasifikačního ukazatele CI ≤ 1 podle tab. 2

Ve výpočtu energetické náročnosti se uvažuje také potřeba energie na vytápění, chlazení, ohřev teplé vody, větrání a osvětlení. V tomto řešení se nebudou tyto potřeby uvažovat, ale kritérium bude sníženo o standardní podíl na ně. Větrání je navrženo přirozené. Rovněž nebude uvažována spotřeba energie na výrobu použitých stavebních hmot apod.

Tab. 2: Minimální hodnoty klasifikačních tříd Energetického štítku obálky budovy

Klasifikační třída	Slovní vyjádření klasifikace	Klasifik. ukazatel CI
A	Velmi úsporná	≤ 0,3
B	Úsporná	≤ 0,6
C	Vyhovující	≤ 1,0
D	Nevyhovující	≤ 1,5
E	Nehospodárná	≤ 2,0
F	Velmi nehospodárná	≤ 2,5
G	Mimořádně nehospodárná	≥ 2,5

K vyjádření míry energetické úspornosti slouží pak Energetický štítek obálky budovy – ESOB, který zavedla ČSN 730540-2/2002 (Tepelná ochrana budov – Část 2 : Požadavky). ESOB nepracuje již s měrnou spotřebou tepla, ale se součiniteli prostupu tepla. V novele této normy z roku 2007 je zjednodušené hodnocení stavebně-energetických vlastností budovy na hodnocení prostupu tepla obálkou budovy průměrnými hodnotami vypočteného součinitele prostupu tepla U_{em} udávaným ve [Wm⁻²K⁻¹], požadovaného normového součinitele prostupu tepla $U_{em,rq}$ a součinitele prostupu tepla stavebního fondu $U_{em,s}$.

3.3 Ostatní dané a zvolené standardy

a) Klimatické podmínky zimní

Klimatické pásmo podle ČSN 730540-3 příloha H je zvoleno pro teplot. oblast II tj. – 15 °C.

b) Vnitřní dispozice objektu

Vnitřní členění prostorů v objektu není rozhodující, neboť tepelné ztráty souvisí pouze s plochami obálky objektu jako celku.

c) Okenní a dveřní otvory

Podle empirických pravidel se uvažuje 10-15 % podlahové plochy. Pro výpočet je brána plocha zasklení 15 % z teoretické vnitřní půdorysné plochy v každém podlaží tj. 21,6 m².

V 1. NP jsou uvažovány jedny vstupní dveře.

Tepelně izolační vlastnosti výplní otvorů jsou převzaty podle standardního typu plastových oken a dveří se zdvojeným zasklením v minimální předepsané, nebo v obvyklé hodnotě tepelné propustnosti. Podle požadavků normy je tato hodnota $U=1,4$ [Wm⁻²K⁻¹] ($U_{req}=1,7$ [Wm⁻²K⁻¹]).

d) Teplota a relativní vlhkost vnitřního vzduchu

V etanolu se uvažuje jednotná teplota 20 °C optimální pro obytné prostory a relativní vlhkost v interiéru 50 % z důvodu pohody vnitřního mikroklima.

e) Konstrukce

fa) Obvodové stěny

Obvodové stěny jsou v systému Porotherm P+D tloušťky 440 mm, s vnější univerzální omítkou + tepelně izolační omítkou tl. 35 mm a vnitřní univerzální omítkou tl. 10 mm. Hodnota součinitele prostupu tepla je $U=0,34$ [Wm⁻²K⁻¹] ($U_{req}=0,38$ [Wm⁻²K⁻¹]).

fb) Podlaha na terénu

Podlaha na terénu je pro etalon navržena ze šterkového podsypu tl. 100 mm, podkladového betonu tl. 100 mm, izolace proti vodě, tepelné izolace z pěnového polystyrenu tl. 60 mm, separační vrstvy, betonové mazaniny tl. 50 mm a podlahové krytiny tl. 2 mm. Hodnota součinitele prostupu tepla je $U=0,44$ [Wm⁻²K⁻¹] ($U_{req}=0,45$ [Wm⁻²K⁻¹]).

fc) Střešní plášť

Skladba střešní konstrukce etalonu je tvořena železobetonovou stropní konstrukcí tl. 200 mm, penetračním asfaltovým nátěrem, parozábranou z asfaltového pásu, spádové izolační desky o minimální tloušťce 180 mm a vrchním modifikovaným asfaltovým pásem. Hodnota součinitele prostupu tepla je $U=0,23$ [Wm⁻²K⁻¹] ($U_{req}=0,24$ [Wm⁻²K⁻¹]).

fd) Okna

Okna jsou navržena klasická plastová pětikomorová s izolačním dvojsklem, součinitel prostupu tepla $U_w = 1,4$ [Wm⁻²K⁻¹] při zasklení $U_g = 1,1$ [Wm⁻²K⁻¹] ($U_{req}=1,7$ [Wm⁻²K⁻¹]).

g) Tepelné mosty

Tepelné mosty nejsou uvažovány. Předpokládá se, že konstrukce je navržena a provedena odborně, bez vad v tomto smyslu, a technologicky nutné tepelné mosty jsou v tak malém rozsahu, že neovlivňují výpočty teoretického objektu v míře, kterou by bylo nutno brát v úvahu.

h) Kondenzace vodní páry

U všech v etalonu navržených konstrukcí je zajištěno, aby nedocházelo ke kondenzaci vodní páry jak na vnitřním povrchu, tak kdekoli uvnitř konstrukční skladby. Předpokládá se, že ve skutečné realizaci bude také zabráněno kondenzaci vodních par.

i) Orientace ke světovým stranám

Orientace ke světovým stranám není v tomto případě uvažována. Jednotlivé stupně etalonu jsou posuzovány na základě poměru ochlazovaných ploch k jejich užitému půdorysné ploše a k jejich objemu, nikoliv podle spotřeby energie na vytápění a tudíž je i vliv tepelných zisků nepodstatný.

4 KRITÉRIA POSOUZENÍ

Posouzení je provedeno podle současných platných norem a vyhlášek:

- ČSN 730540 Tepelná ochrana budov. Český normalizační institut, Praha,
- ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu,

Pro výpočet jsou použity nástroje Tepelné ztráty a Teplo ze softwaru Stavební fyzika (2009) pro svou dostupnost.

Ověření nejnižších normou předepsaných hodnot pro kategorii C (klasifikačním ukazatelem $CI \leq 1$), výpočet tepelných ztrát budovy a výpočet průměrného součinitele prostupu tepla budovy jsou provedeny výpočtním programem Tepelné ztráty.

Tepelně technické vlastnosti jednotlivých konstrukcí jsou ověřeny v nástroji Teplo.

Základní vstupní hodnoty pro posouzení v programu Ztráty:

Okrajové podmínky: Návrhová venkovní teplota v zimním období $T_e = -15^\circ\text{C}$

Návrhová vnitřní teplota $T_a = 20^\circ\text{C}$

Průměrná roční teplota venkovního vzduchu $T_{em} = 8,3^\circ\text{C}$

Geometrie budovy: Plocha podlahy A_p je stejná pro všechny varianty, a to 144 m^2

Exponovaný obvod podlahy P pro jednotlivé stupně:

$P_{S1} = 48 \text{ m}$, $P_{S2} = 48 \text{ m}$, $P_{S3} = 48,8 \text{ m}$, $P_{S4} = 50 \text{ m}$, $P_{S5} = 52 \text{ m}$

Obestavěný prostor vytápěných částí budovy $V = 486,72 \text{ m}^3$

Pro posouzení Energetického štítku obálky budovy se použije průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em} [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$, který se stanoví ze vztahu:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (1)$$

kde:

H_T je měrná ztráta prostupem tepla stanovená ze součinitelů prostupu tepla všech teplotních konstrukcí tvořících obálku budovy,

A je plocha obálky budovy.

5 VYHODNOCENÍ TVARŮ OBJEKTŮ

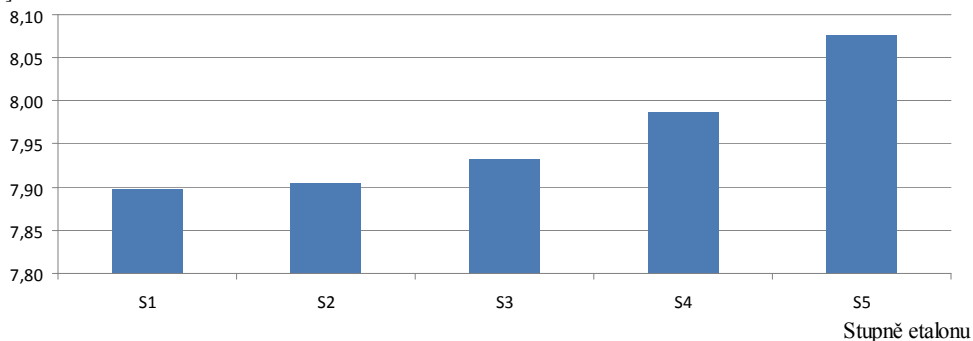
5.1 Průměrný součinitel prostupu tepla

Hodnota průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} je totožná pro všechny stupně etalonů, a to $U_{em} = 0,31 [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$. Klasifikační ukazatel Energetického štítku obálky budovy je $CI = 0,7$ a etalon je tudíž zařazen do klasifikační třídy C1 – vyhovující.

5.2 Celkové tepelné ztráty

Vzájemná souvislost tepelných ztrát $F_{i,HL} [\text{kW}]$ na jednotlivých stupních etalonu při zachování minimálních předepsaných tepelně technických vlastností samostatně stojícího rodinného domu je patrná z grafu 1. S narůstající změnou původní čtvercové plochy v postupně se prodlužující obdélník vzrůstá i obvodová ochlazovaná plocha objektu a s ní také tepelné ztráty objektu.

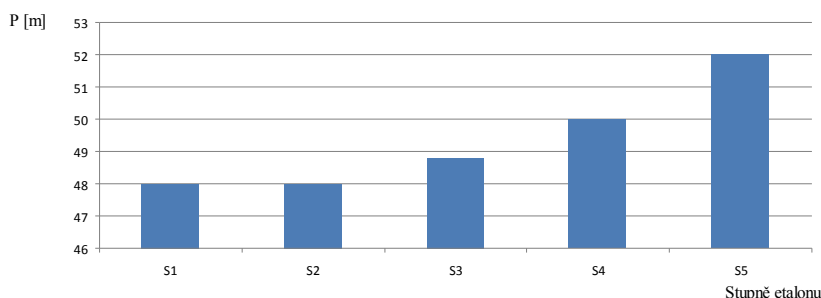
$F_{i,HL} [\text{kW}]$



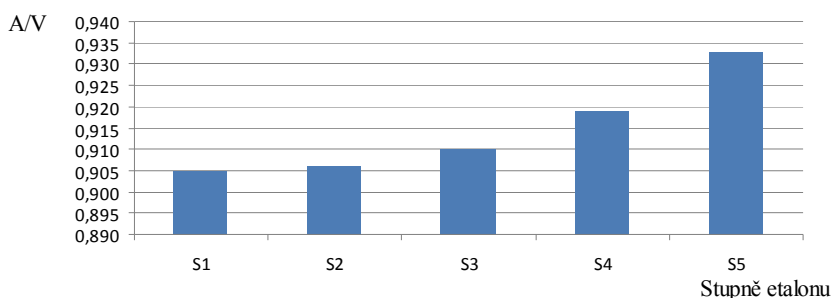
Graf 1: Závislosti tepelných ztrát $F_{i,HL} [\text{kW}]$ na stupních etalonu

5.3 Faktor A/V a velikost exponovaných ploch

Vzájemná závislost půdorysné plochy podlahy objektu A_p [m²] a velikosti exponované podlahové plochy P [m] a tedy i následné plochy obálky budovy A [m²] má prokazatelný vliv jak na tepelné ztráty objektu $F_{i,HL}$ [kW], tak i na faktor A/V znázorněný na grafu 3. Na grafu 2 je znázorněn růst exponované podlahové plochy na jednotlivých stupních etalonu při zachování stejné plochy půdorysu.



Graf 2: Závislosti exponovaného obvodu podlahy P [m] při ploše $A_p=144$ m²



Graf 3: Závislosti faktoru A/V na stupních etanolu

5 ZÁVĚR

Tento článek referuje o návrhu na vytvoření etalonů pro orientační posouzení vlivu tvaru objektu na tepelné ztráty obalovým zdívkem při zachování stejné zastavěné plochy u jednopodlažních rodinných domů. Jednak prokazuje velký vliv půdorysného tvaru, jednak prokazuje praktický smysl vytvoření etalonů zejména v případech, kdy je předem stanoveno, jaké klasifikační kvality musí být dosaženo.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov, Část 2 - Požadavky, Část 3-Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*, Praha: Český normalizační institut, 2005. 48s.
- [2] Vaverka J. a kol. *Stavební tepelná technika a energetika budov*, Brno: Vutium, 2006, ISBN 80-214-2910-0
- [3] Program Teplo 2009 a Tepelné Ztráty 2009, firma K-CAD Praha s.r.o., autor Dr. Ing. Zbyněk Svoboda
- [4] Kubeckova Skupinová D., Kubenkova K. *Snižování energetické náročnosti budov, udržitelná výstavba*, Polska Akademia Nauk, oddział w Katowicach, Komisja Inżynierii Budowlanej, Roczniki Inżynierii Budowlanej, Zeszyt 6, Katowice-Opole 2006, ISSN 1505-8425, str.117-25

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph. D., Ústav pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, Katedra konstrukcí pozemních staveb, FAST, ČVUT v Praze.

Eva RYKALOVÁ¹, Radek FABIAN², Jan HURTA³

**EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ PORUŠENÝCH SKEL
ULTRAZVUKOVOU IMPULZOVOU METODOU**

**EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF DAMAGED GLASSES
BY ULTRASONIC PULSE METHOD**

Abstrakt

Měření pomocí ultrazvuku napomáhá k odhalování jakosti různých stavebních materiálů. Tyto zkoušky se provádějí podle platných norem. Pro skleněné konstrukce neexistuje platná norma, která by určovala postup měření ultrazvukem. Článek popisuje experimentální měření porušených skleněných konstrukcí ultrazvukem.

Klíčová slova

Ultrazvuk, porucha stavebního materiálu, norma, skleněná konstrukce

Abstract

Ultrasound measurement helps to detect damage of various building materials. These tests are performed according to current standards. Valid standard for glass structures, which would establish a method of ultrasound measuring, doesn't exist. This article describes an experimental ultrasound measurement of broken glass structures.

Keywords

Ultrasound, damage of building material, standard, glass structure

1 ÚVOD

Sklo vyniká mezi ostatními stavebními materiály svými charakteristickými vlastnostmi, například schopností propouštět denní světlo, odolávat povětrnostním vlivům a vyniká maximální neměnností svých užitných vlastností v čase. Velkou nevýhodou tohoto materiálu je křehkost, čímž je limitováno jeho využití. Pro širší užití se v dnešní době vyrábějí bezpečnostní skla, která i po určité míře porušení mohou plnit svůj účel.

Bezpečnostní skla se skládají z minimálně dvou skleněných tabulí, které jsou vzájemně spojeny např. fólií PVB (polyvinyl-butyrál). Fólie zajišťuje soudržnost skleněných tabulí po jejich porušení (zabrání se vysypání skleněných tabulí).

Už při výrobě nelze absolutně vyloučit imperfekce skleněných tabulí. Imperfekce se nejčastěji projevují formou mikrotrhlinek nebo vzduchových bublinek. Ignorované imperfekce způsobují snížení požadovaných parametrů skleněné tabule.

¹ Ing. Eva Rykalová, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 309, e-mail: eva.rykalova@vsb.cz.

² Ing. Radek Fabian, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 913, e-mail: radek.fabian@vsb.cz.

³ Ing. Jan Hurta, Laboratoř stavebních hmot, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 910, e-mail: jan.hurta@vsb.cz.

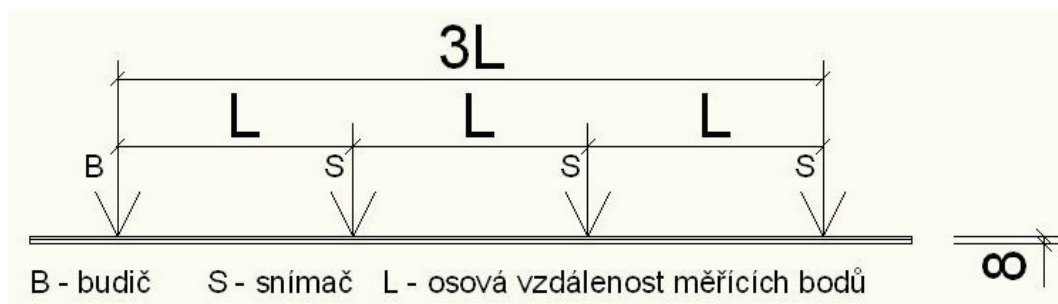
Pro prokazování míry porušení skleněných tabulí není dosud platná česká státní norma. Jedním z možných řešení je aplikace metodiky používané pro ověřování jiných stavebních materiálů. Z tohoto důvodu byly ověřovány skleněné tabule ultrazvukem, jedná se o nedestruktivní metodu zkoušení.

2 ULTRAZVUKOVÁ IMPULZOVÁ METODA

Touto metodou se nejčastěji zkouší betonové a dřevěné konstrukce. Pro skleněné konstrukce není zatím stanoven způsob měření ultrazvukem. Pro naše experimentální měření jsme se řídili normami ČSN 73 1371[1], ČSN 73 1370[2] a ČSN EN 12504 – 4[3].

Ultrazvuková impulzová metoda se zakládá na měření rychlosti průchodu impulzů ultrazvukového vlnění mezi sondami. Touto metodou, která je založená na odvozeném vztahu mezi rychlostí šíření ultrazvukových vln a vlastnostmi materiálu, lze určit fyzikálně mechanické vlastnosti materiálů. Cílem tohoto experimentálního měření bylo zjištění závislosti rychlosti šíření ultrazvukových vln na závažnosti a rozsahu poškození zkoumaných vzorků. Norma uvádí tři možnosti měření ultrazvukovou impulzovou metodou v závislosti na poloze sond na zkoumaném vzorku – protilehlá, šikmá a na povrchu.

Z důvodů rozměrů zkoumaných vzorků a jejich materiálového složení byla vybrána poloha sond na povrchu zkoumaných vzorků (obr. 1).



Obr. 1: Schématické znázornění polohy sond

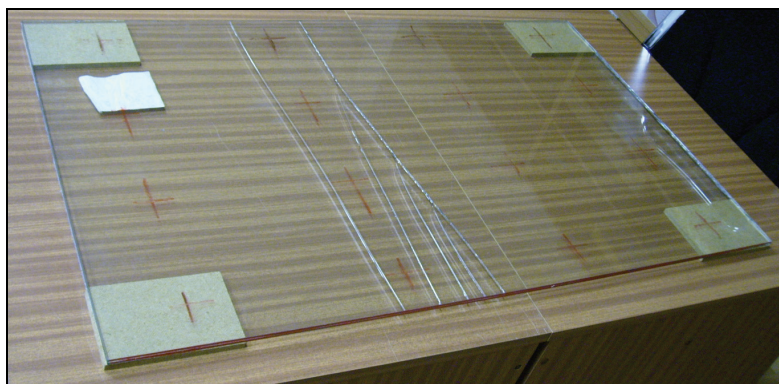
3 POPIS EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

Experimentální měření bylo prováděno na dvou vzorcích bezpečnostního skla skládajícího se ze dvou skel tl. 4 mm a z bezpečnostní fólie PVB o rozměrech 600 x 1000 mm. Oba zkoumané vzorky měly porušenou jednu dílčí skleněnou tabuli, lišily se intenzitou porušení (množství trhlin ve skleněné tabuli). Porušení vzorků bylo vyvoláno ohybovým zatížením [4]. Zkoumané vzorky byly v průběhu měření podloženy v rozích destičkami z lisované hobry.

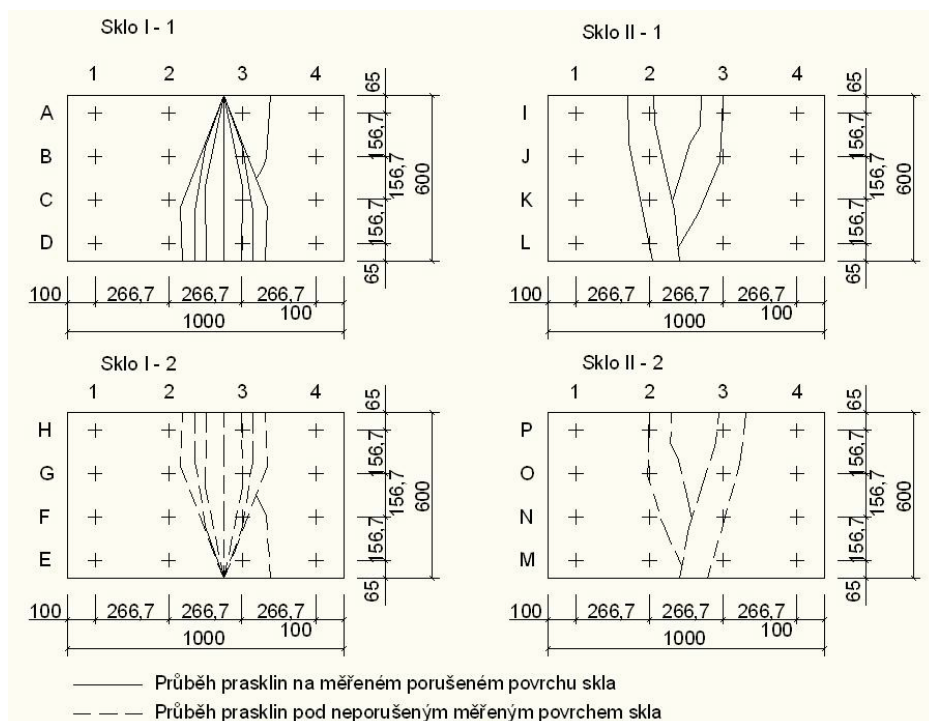
První zkoumaný vzorek (obr. 2) byl více poškozen než druhý zkoumaný vzorek (obr. 3). Každý vzorek byl měřen z obou dvou stran, nejprve na povrchu porušené skleněné tabule (Sklo I – 1, Sklo II – 1) a následující měření bylo provedeno na neporušené straně skleněné tabule stejným způsobem (Sklo I – 2, Sklo II – 2). Na obrázku č. 4 jsou znázorněny měřicí body, kdy každé měření probíhalo mezi dvěma sondami. U každého měření skla byla změřena rychlost v třetinové vzdálenosti maximální vzdálenosti sond a následně rychlost ve dvoutřetinové a v celé vzdálenosti (obr. 1). Z naměřených hodnot měřicím zařízením byla spočítána rychlost šíření ultrazvukových vln zkoumaným vzorkem (tab. 1, tab. 2).



Obr. 2: Měřené sklo I



Obr. 3: Měřené sklo II



Obr. 4: Poloha sond při měření

Měření bylo prováděno pomocí ultrazvuku typu TICO verze 1.12 od firmy Proceq (Obr. 5). Měrný rozsah přístroje byl od 15 do 6550 μs s rozlišením 0,1 μs .



Obr. 5: Ultrazvuk typu TICO verze 1.12

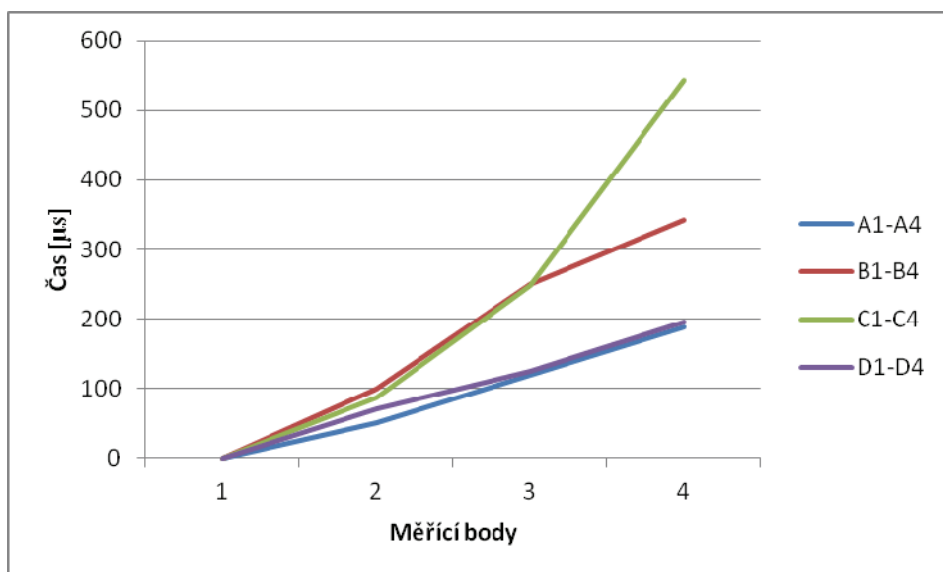
Měření probíhalo mezi dvěma zvukovými sondami 54 kHz. Před každým měřením byl přístroj kalibrován prostřednictvím kalibrační tyče. Správný průběh kalibrace byl ověřován naměřenou hodnotou času na kalibrační tyči, která musela odpovídat hodnotě času uvedené na kalibrační tyči. V tomto případě to byla hodnota 20,7 μs .

Tab. 1: Impulzová rychlost podélného ultrazvukového vlnění v_L [km.s^{-1}] (Sklo I)

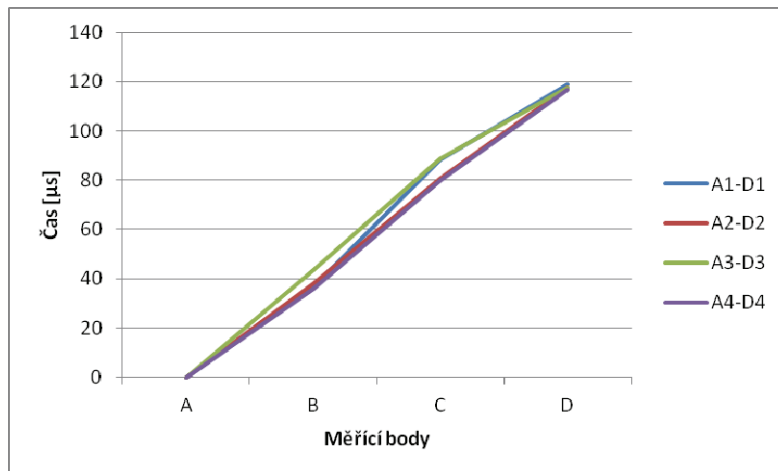
Poloha sond	A1-A2	A1-A3	A1-A4	B1-B2	B1-B3	B1-B4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	5,41	4,51	4,25	2,70	2,13	2,33
Poloha sond	C1-C2	C1-C3	C1-C4	D1-D2	D1-D3	D1-D4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	3,11	2,15	1,47	3,78	4,26	4,09
Poloha sond	A1-B1	A1-C1	A1-D1	A2-B2	A2-C2	A2-D2
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	4,25	3,55	3,95	4,14	3,89	3,99
Poloha sond	A3-B3	A3-C3	A3-D3	A4-B4	A4-C4	A4-D4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	3,61	3,52	4,00	4,35	3,92	4,02
Poloha sond	E1-E2	E1-E3	E1-E4	F1-F2	F1-F3	F1-F4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	3,96	3,40	2,05	2,64	1,62	1,28
Poloha sond	G1-G2	G1-G3	G1-G4	H1-H2	H1-H3	H1-H4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	3,22	1,24	1,01	4,69	1,53	1,49
Poloha sond	E1-F1	E1-G1	E1-H1	E2-F2	E2-G2	E2-H2
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	4,69	5,05	5,18	2,66	3,52	4,02
Poloha sond	E3-F3	E3-G3	E3-H3	E4-F4	E4-G4	E4-H4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	4,64	4,98	3,96	4,75	3,44	4,57

Tab. 2: Impulzová rychlost podélného ultrazvukového vlnění v_L [km.s^{-1}] (Sklo II)

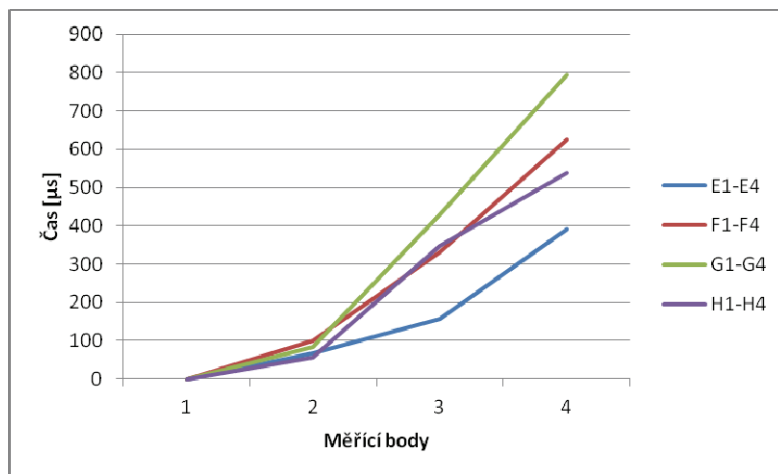
Poloha sond	I1-I2	I1-I3	I1-I4	J1-J2	J1-J3	J1-J4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	5,30	4,51	4,74	3,20	2,42	2,32
Poloha sond	K1-K2	K1-K3	K1-K4	L1-L2	L1-L3	L1-L4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	2,55	2,18	2,26	4,13	4,63	4,88
Poloha sond	I1-J1	I1-K1	I1-L1	I2-J2	I2-K2	I2-L2
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	3,94	3,11	3,02	4,16	4,55	3,96
Poloha sond	I3-J3	I3-K3	I3-L3	I4-J4	I4-K4	I4-L4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	3,92	4,03	4,41	3,94	4,41	2,47
Poloha sond	M1-M2	M1-M3	M1-M4	N1-N2	N1-N3	N1-N4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	4,57	2,14	1,67	2,57	2,26	2,31
Poloha sond	O1-O2	O1-O3	O1-O4	P1-P2	P1-P3	P1-P4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	3,22	2,59	2,67	3,08	2,68	3,14
Poloha sond	M1-N1	M1-O1	M1-P1	M2-N2	M2-O2	M2-P2
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	4,39	4,71	3,87	4,13	4,69	4,85
Poloha sond	M3-N3	M3-O3	M3-P3	M4-N4	M4-O4	M4-P4
Impulzová rychlost v_L [km.s^{-1}]	4,25	4,65	4,86	3,34	2,93	2,66



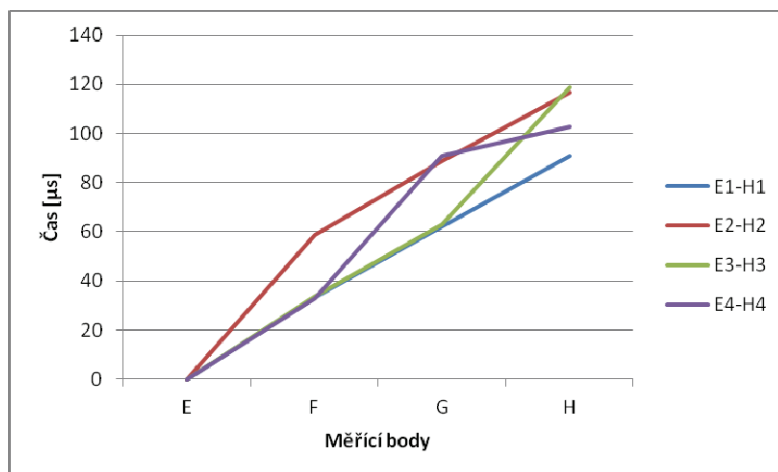
Graf 1: Šíření rychlosti impulsu v podélném směru při nepřímém prozvučování (Sklo I-1)



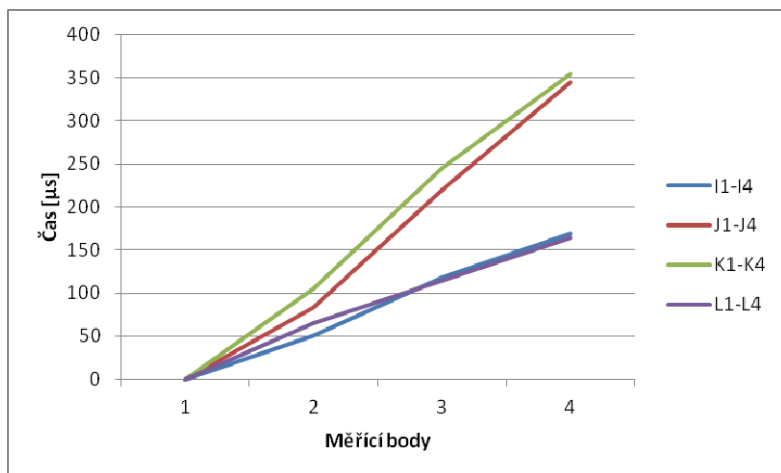
Graf 2: Šíření rychlosti impulsu v příčném směru při nepřímém prozvučování (Sklo I-1)



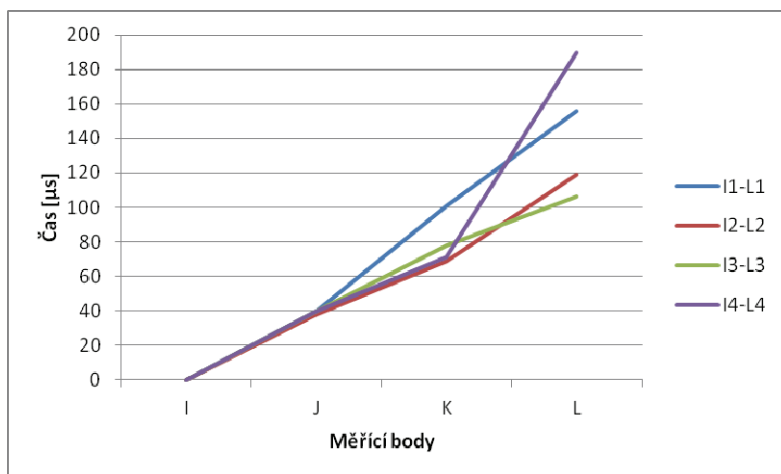
Graf 3: Šíření rychlosti impulsu v podélném směru při nepřímém prozvučování (Sklo I-2)



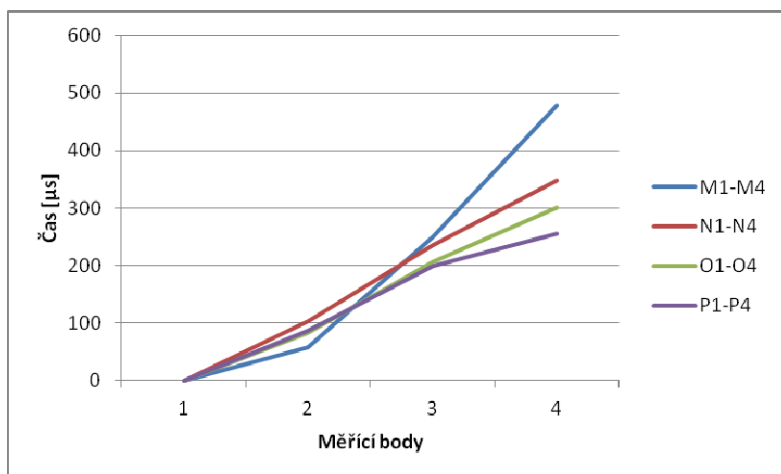
Graf 4: Šíření rychlosti impulsu v příčném směru při nepřímém prozvučování (Sklo I-2)



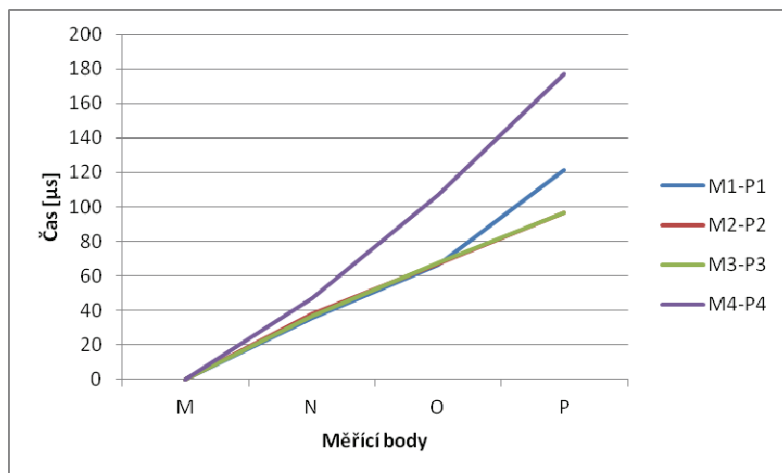
Graf 5: Šíření rychlosti impulzu v podélném směru při nepřímém prozvučování (Sklo II-1)



Graf 6: Šíření rychlosti impulzu v příčném směru při nepřímém prozvučování (Sklo II-1)



Graf 7: Šíření rychlosti impulzu v podélném směru při nepřímém prozvučování (Sklo II-2)



Graf 8: Šíření rychlosti impulsu v příčném směru při nepřímém prozvučování (Sklo II-2)

Na základě získaných výsledků z výše popsaného měření byl spočítán dynamický modul pružnosti E_{cu} [MPa] skleněných tabulí:

$$E_{cu} = \rho \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \quad (1)$$

kde:

- ρ – objemová hmotnost zkoušeného materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] (pro tento případ $\rho = 2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
- v_L – impulzová rychlost podélného ultrazvukového vlnění [$\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$],
- k – součinitel rozměrnosti prostředí [-].

Tab. 3: Dynamický modul pružnosti E_{cu} [MPa] zkoušených skleněných tabulí v tlaku nebo v tahu (Sklo I)

Poloha sond	A1-A2	A1-A3	A1-A4	B1-B2	B1-B3	B1-B4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	73100	50800	45100	18200	11400	13600
Poloha sond	C1-C2	C1-C3	C1-C4	D1-D2	D1-D3	D1-D4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	24200	11600	54000	35800	45300	41900
Poloha sond	A1-B1	A1-C1	A1-D1	A2-B2	A2-C2	A2-D2
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	45100	31500	39100	42900	37800	39800
Poloha sond	A3-B3	A3-C3	A3-D3	A4-B4	A4-C4	A4-D4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	32600	31100	40100	47400	38500	40400
Poloha sond	E1-E2	E1-E3	E1-E4	F1-F2	F1-F3	F1-F4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	39100	29000	10500	17500	6500	4100

Tab. 3: Dynamický modul pružnosti E_{cu} [MPa] zkoušených skleněných tabulí v tlaku nebo v tahu (Sko I) (pokračování)

Poloha sond	G1-G2	G1-G3	G1-G4	H1-H2	H1-H3	H1-H4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	25900	3900	2500	54900	5900	5600
Poloha sond	E1-F1	E1-G1	E1-H1	E2-F2	E2-G2	E2-H2
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	55000	63900	67000	17800	31100	40400
Poloha sond	E3-F3	E3-G3	E3-H3	E4-F4	E4-G4	E4-H4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	53700	62000	39100	56400	29600	52200

Tab. 4: Dynamický modul pružnosti E_{cu} [MPa] zkoušených skleněných tabulí v tlaku nebo v tahu (Sko II)

Poloha sond	I1-I2	I1-I3	I1-I4	J1-J2	J1-J3	J1-J4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	70200	50800	56300	25600	14700	13400
Poloha sond	K1-K2	K1-K3	K1-K4	L1-L2	L1-L3	L1-L4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	16300	11900	12800	42600	53700	59500
Poloha sond	I1-J1	I1-K1	I1-L1	I2-J2	I2-K2	I2-L2
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	38700	24100	22800	43200	51700	39200
Poloha sond	I3-J3	I3-K3	I3-L3	I4-J4	I4-K4	I4-L4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	38400	40600	48700	38700	48700	15300
Poloha sond	M1-M2	M1-M3	M1-M4	N1-N2	N1-N3	N1-N4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	52300	11500	70000	16500	12800	13300
Poloha sond	O1-O2	O1-O3	O1-O4	P1-P2	P1-P3	P1-P4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	25900	16800	17800	23700	18000	24600
Poloha sond	M1-N1	M1-O1	M1-P1	M2-N2	M2-O2	M2-P2
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	48200	55500	37400	42700	55000	58800
Poloha sond	M3-N3	M3-O3	M3-P3	M4-N4	M4-O4	M4-P4
Dynamický modul pružnosti E_{bu} [MPa]	45100	54000	58900	27900	21500	17700

Tab. 5: Statistické vyhodnocení rychlostí šíření impulzů

Měřený povrch	Sklo I - 1	Sklo I - 2	Sklo II - 1	Sklo II - 2
Aritmetický průměr	3,641	3,316	3,710	3,426
Výběrová směrodatná odchylka	0,902	1,406	0,952	1,009
Variační součinitel	24,777	42,386	25,664	29,464

4 ZÁVĚR

Z dosažených výsledků měření vyplývá, že rychlost šíření ultrazvukového vlnění je závislá na míře porušení zkoumané skleněné tabule. Se vzrůstající mírou porušení je rychlost šíření ultrazvukových vln menší. V mezních případech nedojde k šíření ultrazvukových vln mezi sondami, což je způsobeno například velkou hustotou trhlin ve zkoumaném materiálu. Dalšími vlivy, které ovlivňují rychlost šíření ultrazvukových vln, jsou odklonění trhlin od normály měřené plochy skleněné tabule, přechod ultrazvukové vlny z měřené horní plochy skleněného vzorku přes PVB fólii na spodní neměřenou plochu téhož skleněného vzorku nebo směr šíření vln, kdy měření šíření ultrazvukových vln v podélném směru trhliny je rychlejší než v příčném směru trhliny. Neočekávané anomálie ve výsledcích (tab. 1, tab. 2) mohou být způsobeny výše zmíněnými příčinami, kdy je problematické určit příčiny vzniklých odchylek měření.

Využitím ultrazvukových sond s vyšší frekvencí než 54 kHz by se ověřily dosud naměřené hodnoty. Bohužel, tímto měřicím zařízením naše fakulta nedisponuje.

Tabulka č. 5 obsahuje statistické vyhodnocení rychlostí šíření impulzů. Malý rozdíl variačních součinitelů u vzorku Sklo II napovídá o malé míře porušení zkoumaného vzorku oproti vzorku Sklo I, kde je variační součinitel skoro dvojnásobný.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění MŠMT, projekt Ohybové zkoušky skleněných konstrukcí SP2011/11.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 1371 *Nedestruktivní zkoušení betonu – ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Praha: Vydavatelství ÚNMZ, 2011
- [2] ČSN 73 1370 *Nedestruktivní zkoušení betonu – společná ustanovení*. Praha: Vydavatelství ÚNMZ, 2011
- [3] ČSN EN 12504 – 4 *Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu*. Praha: Vydavatelství ČNI, 2007
- [4] RYKALOVÁ, E., FABIAN, R. *Bezpečnostní sklo na zastávkách MHD*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 1/2011, Ostrava: VŠB – TUO, 2011, s. 131-138, ISSN 1213-1962.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Petrem Cikrle, Ph.D., Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Prof. Ing. Petr Konvalinka, CSc., Katedra mechaniky, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze.

Jaroslav SOLAŘ¹

VEDENÍ TEPLA V DŘEVĚNÝCH PRVCÍCH PŘI HORKOVZDUŠNÉ LIKVIDACI HMYZU

THE CONDUCTING OF HEAT IN TIMBER'S ELEMENTS BY HOT-AIR EXTERMINATION OF INSECTS

Abstrakt

Jednou z možností likvidace dřevokazného hmyzu u dřevěných konstrukcí (např. krovů, stropů apod.) je horkovzdušná likvidace. Dřevěné prvky se ohřívají horkým vzduchem o teplotě 100 až 120 °C až do doby, kdy dosáhnou v celém průřezu teplotu 55 °C po dobu alespoň jedné hodiny. Příspěvek pojednává o problematice řešení vedení tepla v projekční fázi u dřevěných prvků, které z důvodu svého umístění v konstrukci nemohou být ohřívány ze všech stran.

Klíčová slova

Sanace dřevěných konstrukcí, horkovzdušná likvidace dřevokazného hmyzu, vedení tepla v dřevěných prvcích, krovky, historické krovky

Abstract

One of the possibilities of wood-borer clean-up in wooden structures (ie. trusses, ceilings etc.) is a dry heat clean-up. The wooden components are heated by a hot air with temperature of 100 to 120°C up until the time, when they reach temperature of 55°C in the entire section for as long as one hour. This article describes concerns relating to the thermal flow at the phase of planning and solution for wooden components that are placed at the structure and that are not exposed to heat from all sides.

Keywords

Rehabilitation of buildings, wooden structure, dry heat clean-up, wood-borer, thermal flow in wooden components, trusses, historical trusses

1 ÚVOD

Jedním ze způsobů sanace dřevěných prvků napadených dřevokazným hmyzem – např. tesaříkem krovovým (viz obr. 1), červotočem, hrbohlavem apod., je horkovzdušná likvidace. Tento způsob, který je rozšířen například v sousedním Německu se v současné době začíná uplatňovat také v České republice. Principem uvedené metody je, že k likvidaci dřevokazného hmyzu dochází při zahřátí dřevěných prvků horkým vzduchem v celém průřezu na teplotu nejméně 55 °C. A to po dobu nejméně jedné hodiny.

Horký vzduch o teplotě 100 až 120 °C, který se ohřívá ve speciálních ohřivačích, se pomocí potrubí vhání do místa, ve kterém jsou napadené dřevěné prvky situovány – např. do půdního prostoru (viz obr. 2 a 3).

¹ Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 32 1301, e-mail: jaroslav.solar@vsb.cz.

Vzhledem k tomu, že dřevo je z hlediska šíření tepla materiálem poměrně málo vodivým je třeba, v závislosti na velikosti průřezu dřevěných prvků, působit horkým vzduchem obvykle několik hodin. Přičemž se provádí kontinuální měření teploty uvnitř vybraných, z hlediska vedení tepla nejnepříznivějších, dřevěných prvků (viz obr. 4). Tento způsob je energeticky dosti náročný, ale je šetrný k životnímu prostředí.

Horkovzdušné ošetření dřeva provádějí specializované firmy. Pro projektování a provádění tohoto způsobu sanace neexistuje v České republice žádný předpis. Je možno vycházet například z dokumentu WTA [1].



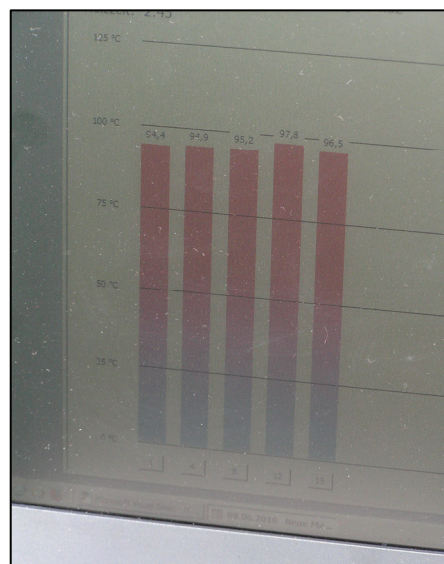
Obr. 1: Dřevěný prvek napadený tesaříkem krovovým



Obr. 2: Pohled na horkovzdušné ohříváče a rozvodná potrubí



Obr. 3: Pohled na rozvodná potrubí s vyústěním v sanovaném prostoru



Obr. 4: Pohled na výstup z měření teplot uvnitř vybraných dřevěných prvků

2 ANALÝZA VEDENÍ TEPLA V DŘEVĚNÝCH PRVCÍCH

Jak již bylo uvedeno, pro likvidaci dřevokazného hmyzu je nutno, aby ve všech prvcích, v celém jejich průřezu, byla po dobu jedné hodiny dosažena teplota 55 °C. To může být u některých prvků problematické. Jedná se zejména o prvky, které nebudou horkým vzduchem ohřívány ze všech čtyř stran. Jedná se například o pozednice, které leží na obvodovém zdivu a jsou ochlazovány prouděním venkovního vzduchu, nebo odváděním tepla v důsledku jejich uložení na obvodovém venkovním zdivu. Dále pak zhlaví vazných trámů, zhlaví stropních trámů u dřevěných trámových stropů, středové či vrcholové vaznice v místech uložení krokví, složitější tesařské spoje (viz obr. 5), svislé či vodorovné kouty u obvodových stěn, resp. celé obvodové stěny dřevěných roubených lidových staveb (viz obr. 6) apod.



Obr. 5: Ukázka typu složitějšího tesařského spoje



Obr. 6: Pohled na svislý kout u obvodových stěn dřevěné roubené stavby

Z tohoto důvodu je třeba v rámci projekční přípravy horkovzdušné likvidace dřevokazného hmyzu provést tepelně technické posouzení vybraných detailů s dřevěnými prvky, jež jsou napadeny dřevokazným hmyzem, u kterých by mohlo být dosažení požadované teploty 55 °C problematické. Výpočet se provede řešením dvourozměrného, případně trojrozměrného teplotního pole – například pomocí výpočtových programů AREA 2009 [2], resp. CUBE 3D 2009 [3].

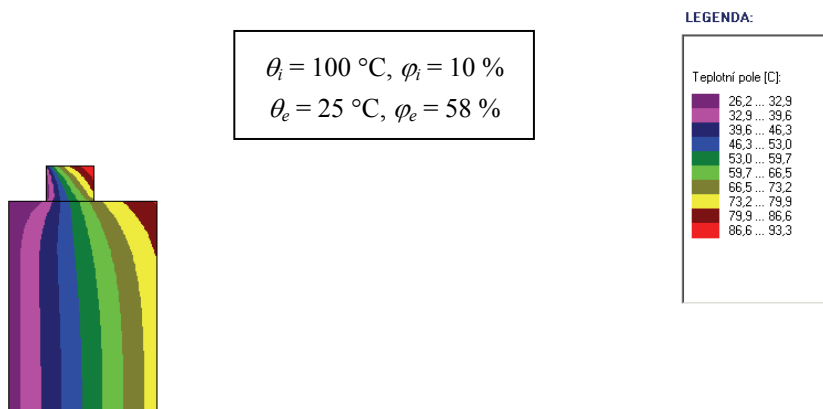
Pokud se výpočtem prokáže, že u některého sanovaného prvku dosažení požadované teploty 55 °C není možné, navrhne se u tohoto prvku likvidace dřevokazného hmyzu také některým jiným způsobem (např. mikrovlnným ohřevem, chemickou injektáží apod.).

2.1 Příklady řešení vedení tepla v dřevěných prvcích

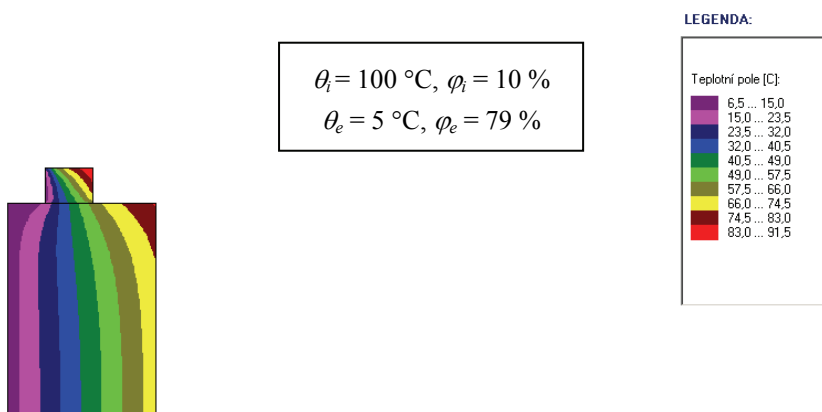
1. Pozednice uložená na obvodovém půdním zdivu

Na obr. 7 a 8 jsou pro ilustraci znázorněny průběhy 2D teplotních polí při provádění horkovzdušné likvidace dřevokazného hmyzu u pozednice. Pro porovnání byly provedeny výpočty pro případy, že by horkovzdušná likvidace byla prováděna za působení venkovních teplot 25 °C a 5 °C. Z průběhu teplotních polí znázorněných na obr. 7 plyne, že i v letním období může

být dosažení požadované teploty 55 °C v celém průřezu pozednice problematické, resp. nereálné. Tím spíše za nižších venkovních teplot.



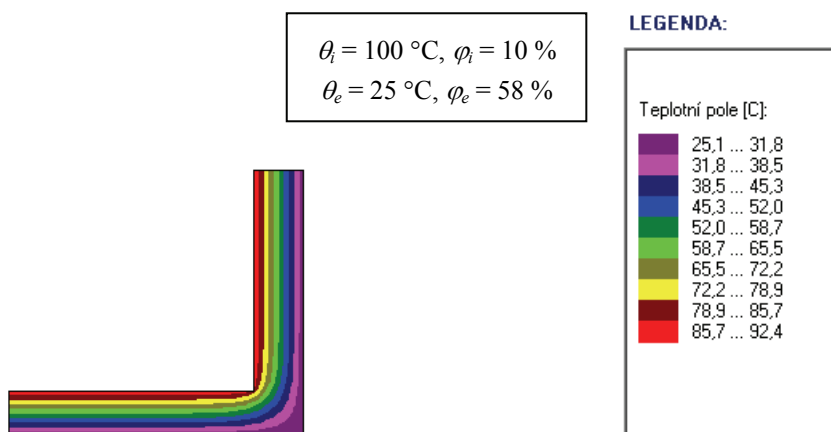
Obr. 7: Průběh teplot v pozednici a v části přilehlého cihelného zdiva při venkovní teplotě $\theta_e = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výstup z programu AREA 2009 [2].



Obr. 8: Průběh teplot v pozednici a v části přilehlého cihelného zdiva při venkovní teplotě $\theta_e = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výstup z programu AREA 2009 [2].

2. Svislý kout u dřevěné roubené lidové stavby

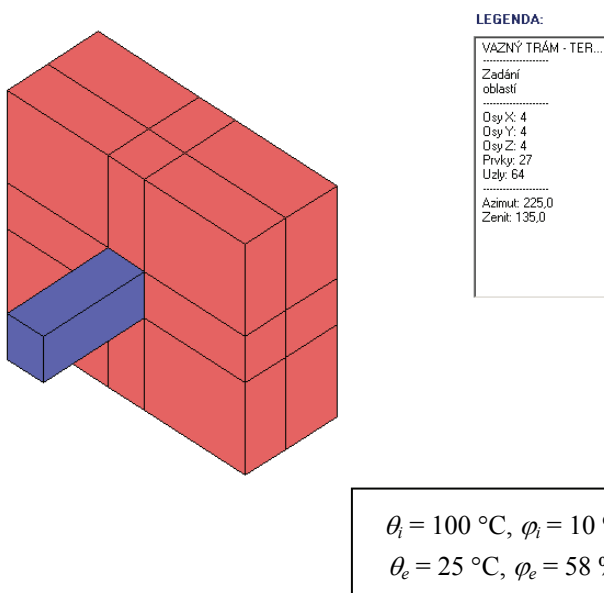
Na obr. 9 jsou pro ilustraci znázorněny průběhy 2D teplotních polí při provádění horkovzdušné likvidace dřevokazného hmyzu u svislého koutu v místě kontaktu obvodových stěn u dřevěné roubené lidové stavby. Z průběhu teplotních polí znázorněných na obr. 9 vyplývá, že také v tomto případě může být v letním období dosažení požadované teploty 55 °C v celém průřezu koutu, resp. v celé šířce obvodových stěn taktéž velmi problematické.



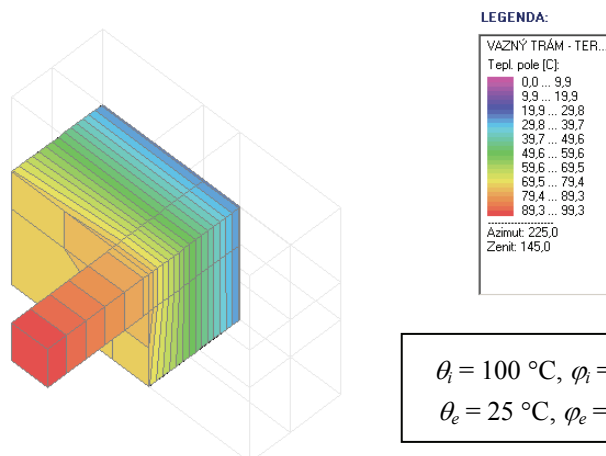
Obr. 9: Průběh teplot ve svislém koutě u dřevěné roubené lidové stavby při venkovní teplotě $\theta_e = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výstup z programu AREA 2009 [2].

3. Vazný trám uložený na obvodovém půdním zdivu

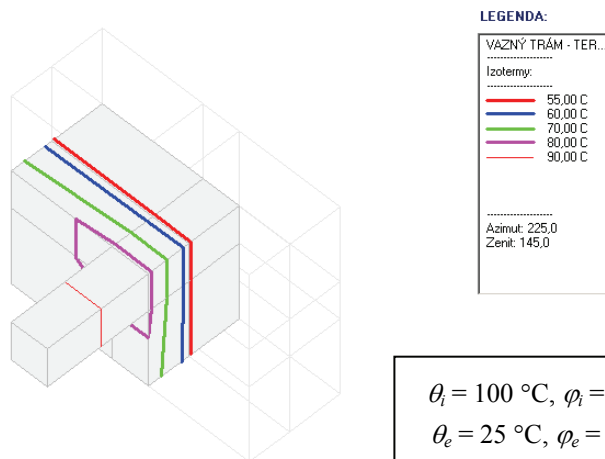
Na obr. 10 až 12 jsou znázorněny průběhy teplot při provádění horkovzdušné likvidace dřevokazného hmyzu v místě zhlaví vazného trámu uloženého na obvodovém zdivu. Výpočet byl proveden pomocí výpočetního programu CUBE 3D [3].



Obr. 10: Výpočtový model pro řešení průběhů teplot v místě uložení vazného trámu na obvodové cihelné při venkovní teplotě $\theta_e = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výstup z programu CUBE 3D 2009 [3].



Obr. 11: Průběhy teplot v místě uložení vazného trámu na obvodové cihelné při venkovní teplotě $\theta_e = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výstup z programu CUBE 3D 2009 [3].



Obr. 12: Průběhy izoterm v místě uložení vazného trámu na obvodové cihelné při venkovní teplotě $\theta_e = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Červená izoterma znázorňuje požadovanou teplotu $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výstup z programu CUBE 3D 2009 [3].

LITERATURA

- [1] Leták 1-1WTA: *Horkovzdušná metoda likvidace živočišných škůdců dřeva v konstrukcích*. WTA, München, 2006. ISBN 978-3-8167-7752-6.
- [2] SVOBODA, Z.: *AREA 2009*. Výpočtový program pro PC.
- [3] SVOBODA, Z.: *CUBE 3D 2009*. Výpočtový program pro PC.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. František Kulhánek, CSc., Katedra konstrukcí pozemních staveb, FAST, ČVUT v Praze.

Prof. Ing. Ladislav Reinprecht, CSc., Katedra mechanické technologie dřeva, Dřevářská fakulta, Technická univerzita vo Zvolene.

Jaroslav SOLAŘ¹

OCHRANA STAVEB PROTI METANU VYSTUPUJÍCÍMU Z PODLOŽÍ

THE PROTECTION OF BUILDINGS FROM METHAN COMING OUT OF BEDROCK

Abstrakt

Metan se vyskytuje na zemském povrchu zpravidla na poddolovaném území, zejména v lokalitách, kde již bylo hlubinné dobývání ukončeno. Ochranu podzemních liniových staveb proti pronikání metanu z podloží zajistíme povlakovou izolací z vhodného typu polymerní fólie. Příspěvek pojednává o problematice návrhu izolace proti pronikání metanu z podloží do podzemních liniových staveb (např. kolektorů, šachet, jímek, zásobníků, vodojemů apod.).

Klíčová slova

Poddolované území, metan, izolace proti pronikání metanu.

Abstract

On the surface of the Earth, methan is usually located in undermined areas, especially in places where the mining was stopped already. The protection of buildings from methan coming out of bedrock can be provided by layer isolation made of suitable type of polymer foil. The entry deals with the matter of designing the isolation against penetrating methan coming out of bedrock into surface line buildings (e.g. shaft, reservoir, water tower etc.)

Keywords

Undermined area, methan, insulation against infiltration of methan.

1 ÚVOD

Metan se vyskytuje na zemském povrchu zpravidla na poddolovaném území, zejména v lokalitách, kde již bylo hlubinné dobývání ukončeno. A to v okolí starých důlních děl, která nejsou větrána, kde důlní plyny pronikají skrze propustnost nadložních vrstev na zemský povrch. Poddolovaným územím se v souladu s ČSN 73 0039 [1] rozumí území v dosahu účinků hlubinného dobývání.

Problém spočívá ve skutečnosti, že směs metanu se vzduchem může vytvořit výbušnou nebo hořlavou koncentraci. Výbušná koncentrace metanu, v závislosti na obsahu plynu ve směsi se vzduchem, se pohybuje přibližně v rozmezí 5 – 15 %.

Území s výstupem důlních plynů rozdělujeme na kategorie:

A – území s možným nahodilým výstupem.

B – území ohrožené výstupy.

C – území nebezpečné výstupy.

¹ Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 32 1301, e-mail: jaroslav.solar@vsb.cz.

D – výchozy karbonu.

E – území v okolí starého důlního díla, nebo v okolí likvidovaného hlavního důlního díla nebo vrtu.

Stavby podle ohrožení výstupem důlních plynů dělíme do následujících kategorií:

- a) **1. stupeň – stavba bezpečná** – naměřené koncentrace metanu v žádném místě v interiéru nepřesáhnou **0,1 %**,
- b) **2. stupeň – stavba ohrožená** – naměřené koncentrace metanu v interiéru jsou vyšší než **0,1 %**, ale nepřesahují **0,5 %**,
- c) **3. stupeň – stavba je nebezpečná** – naměřené koncentrace metanu v interiéru jsou vyšší než **0,5 %**.

Problematiku metanu vystupujícího z podloží, jehož koncentrace v půdním vzduchu se výrazně mění v závislosti na barometrickém tlaku, a který proniká skrze kontaktní konstrukce (podlahy, obvodové stěny) dovnitř staveb, je nutno řešit pomocí stavebních opatření, jenž radikálně omezí jeho přísun. A to tak, aby ve vnitřních prostorách staveb byla po celou dobu životnosti zajištěna koncentrace metanu pod limitní hodnotou 0,1 %, která zajišťuje jejich bezpečné užívání.

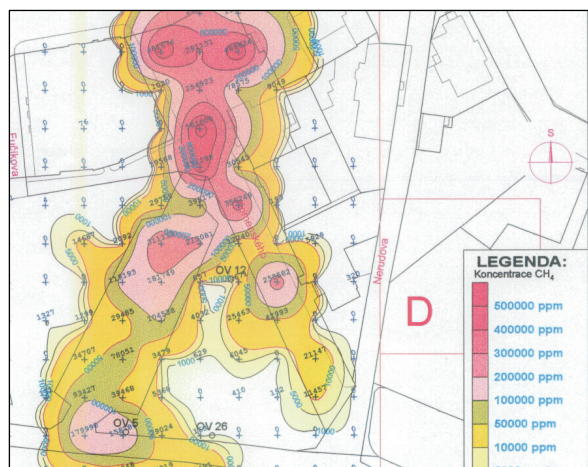
2 OCHRANNÁ OPATŘENÍ PROTI METANU

Ochranná opatření proti pronikání metanu z podloží dovnitř stavebních objektů rozlišujeme pro:

1. **Nové stavby.**
2. **Stávající stavby.**

Jak u novostaveb, tak také u stávajících staveb je nutno nejprve rozlišit, zda se jedná o **stavbu typu M** – stavby, u které se může důlní plyn hromadit (např. uzavřené budovy, podzemní stavby, kolektory, apod.), nebo o **stavbu typu N** – stavby, u kterých je hromadění důlního plynu vyloučeno (např. otevřené stavby, liniové nadzemní stavby, apod.). **Opatření proti pronikání metanu se navrhuje pouze u staveb typu M. U staveb typu N nejsou žádná opatření potřebná.** Ochranná opatření musí být, pokud je to technicky možné, navržena tak, aby jejich funkce byla nezávislá na uživateli stavby.

Základním podkladem pro návrh opatření proti pronikání metanu dovnitř stavebních objektů jsou atmogeochemická měření koncentrací metanu v půdním vzduchu. Hodnoty naměřených koncentrací se pak zakreslí do výkresu situace, ze kterého jsou posléze patrné různé hodnoty v různých půdorysných plochách – viz obr. 1.

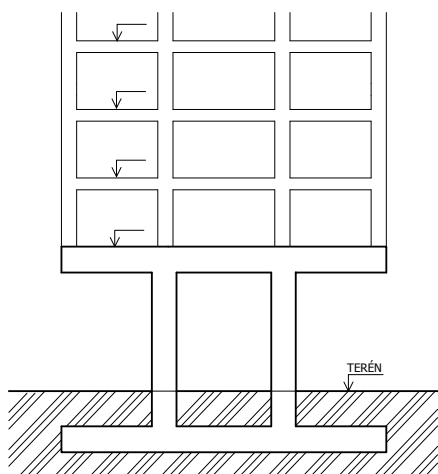


Obr. 1: Ukávka ze situační mapy se znázorněním ploch s různými hodnotami koncentrací metanu obsaženého v půdním vzduchu

3 OCHRANNÁ OPATŘENÍ U NOVOSTAVEB

U novostaveb rozlišujeme dvě základní konstrukční opatření, a to:

1. Provedení povlakové izolace proti pronikání metanu.
2. Osazení vstupního podlaží nad úroveň terénu. A to tak, aby byl úplně vyloučen jeho kontakt s podložím. Princip je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2: Příklad řešení objektu se vstupním podlažím výškově osazeným nad úroveň terénu

V obou případech je nutno zajistit plynotěsnost spojů vnitřní kanalizace (včetně provedení její zkoušky v souladu s ČSN 73 6760 [6]). Ventilační hlavice vnitřní kanalizace pak musí být osazeny v takové výšce nad rovinou střechy, aby v místě jejich vyústění nemohlo dojít k manipulaci s otevřeným ohněm (např. v budoucnu při opravě střechy, klempířských prvků, apod.). Případně se tento požadavek zajistí jiným vhodným způsobem, který je v souladu s příslušnými bezpečnostními předpisy.

Veškeré podzemní konstrukce (základové konstrukce, revizní šachty, apod.) musí být navrženy tak, aby v nich nemohlo docházet ke kumulaci metanu.

U obou způsobů je zároveň nutno v kontaktním podlaží objektu instalovat zařízení na registraci a informaci o výskytu důlního plynu a metanu (CH_4) včetně příslušného počtu čidel. Zmíněné zařízení je pak napojeno na centrální záchranný systém, který v případě výskytu nadměrné koncentrace zajistí vyslání zásahové jednotky, která učiní opatření pro její snížení (zpravidla intenzivním odvětráním).

3.1 Povlaková izolace proti pronikání metanu z podloží

Povlaková izolace proti pronikání metanu z podloží se provede na konstrukcích kontaktního podlaží, které jsou v kontaktu s podložím (podlaha, svislé obvodové stěny nejnižšího podlaží). Zároveň se zajistí splnění požadavku uvedeného v odst. 7. 2. 1 ČSN 73 0540 – 2 [2], který stanoví nejnižší hodnotu intenzity výměny vzduchu v neužívané místnosti $n_{\min,N} = 0,1 \text{ h}^{-1}$. To proto, aby v případě, že budova, nebo její určité místnosti budou uzavřeny a nebudou delší dobu užívány, nemohlo dojít ke kumulaci metanu v interiéru. Zmíněná bariérová izolace radikálním způsobem snižuje difúzi metanu skrze kontaktní konstrukce dovnitř objektu, a to v závislosti na hodnotě jejího koeficientu difúze $D [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ pro metan.

Při aplikaci povlakové izolace je vhodné provést i následující doplňková opatření:

1. Pokud je to možné, omezit kontakt stavby s podložím na minimum,
2. Na zásypy kolem objektů použít materiály s vysokou plynopropustností, tzn. zeminou šterkovitou nebo písčitou třídy G1, G2, G3, S1, S2, S3 podle ČSN 73 1001 [4]. Nepoužívat

kolem staveb ve větších plochách terénní úpravy z materiálů, které mají nízkou plynopropustnost (např. asfalt, beton, apod.).

3.2 Dimenzování tloušťky povlakové izolace proti pronikání metanu

Návrh druhu a tloušťky povlakové izolace proti pronikání metanu závisí také na dalších požadavcích, které má izolace splňovat. Z tohoto důvodu musí být provedeno její komplexní posouzení z hlediska všech funkcí, které budou na ni kladeny v konkrétních podmínkách.

Níže uvedený postup návrhu tloušťky povlakové izolace proti pronikání metanu byl sestaven na základě [5], ze které byly převzaty vztahy (2) a (4). Tento postup umožňuje navrhnout minimální potřebnou tloušťku izolace $b_{min.}$ [m] tak, aby intenzita hmotnostního toku metanu přes izolaci dovnitř objektu Q_m byla menší, než je její maximální dovolená hodnota $Q_{m, max.}$

Návrh tloušťky povlakové izolace provádíme pro jednu výpočtovou místnost. Za výpočtovou místnost volíme vždy nejnepríznivější místnost v kontaktním podlaží.

a) Nejnepríznivější místnost je místnost, která má největší hodnotu poměru P [m]:

$$P = \frac{A}{V} \quad [m^{-1}] \quad (1)$$

kde: A [m²] – celková plocha konstrukcí, které jsou v kontaktu s podložím – viz vztah (3),

V [m³] – celkový objem posuzované místnosti

Pokud bychom navrhovali tloušťku izolace proti pronikání metanu podle skutečné hodnoty intenzity větrání infiltrací u posuzované místnosti n [–], pak by se tato vypočetla podle ČSN 06 0210 [3]. Nejnepríznivější místnost by se pak musela klasifikovat také podle tohoto kritéria, tedy s nejnižší hodnotou intenzity větrání infiltrací n [–], obdobně, jak je tomu v případě navrhování protiradonových izolací podle ČSN 73 0601 [7]. Zde však z důvodu zajištění bezpečnosti uvažujeme vždy $n = 0,05 \text{ h}^{-1}$ (viz níže).

b) Minimální potřebnou tloušťku izolace $b_{min.}$ [m] proti pronikání metanu určíme ze vztahu:

$$b_{min.} = D_m \cdot \frac{A \cdot (v_1 - v_2)}{n \cdot V \cdot v_2} \quad [m] \quad (2)$$

kde: D_m [m².s⁻¹] – součinitele difúze metanu,

v_1 [%] – koncentrace metanu vycházejícího z podloží,

v_2 [%] – maximální přípustná koncentrace metanu za izolací (uvnitř objektu),

A [m²] – celková plocha konstrukcí, které jsou v kontaktu s podložím – viz vztah (3),

V [m³] – celkový objem posuzované místnosti,

n [s⁻¹] – intenzita větrání infiltrací u posuzované místnosti.

Do vztahu (2) dosazujeme následující hodnoty:

– $v_2 = 1.10^{-3}$, tedy 0,1 % (viz kap. 1).

– Hodnotu v_1 pak dosazujeme následovně:

a) Na území kategorie **A** hodnotou **10 %**.

b) Na území kategorie **B až D** dvojnásobek hodnoty naměřené jako podklad pro projektování. Nejméně však 10 % a nejvýše 100 %.

c) Na území kategorie **E** hodnotou **100 %**.

– Hodnotu D_m [m².s⁻¹] dosadíme podle konkrétního izolačního materiálu. A to z naměřených hodnot v ploše a ve spoji hodnotu nepríznivější, tedy hodnotu vyšší.

– Z bezpečnostních důvodů dosadíme hodnotu $n = 0,05 \text{ h}^{-1}$ ($n = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), tedy hodnotu poloviční než je $n_{\min,a} = 0,1 \text{ h}^{-1}$.

Celkovou plochu konstrukcí $A \text{ [m}^2\text{]}$, které jsou v kontaktu s podloží, vypočteme ze vztahu:

$$A = A_p + A_s \text{ [m}^2\text{]} \quad (3)$$

kde: $A_p \text{ [m}^2\text{]}$ – plocha podlahy, která je v kontaktu s podloží,

$A_s \text{ [m}^2\text{]}$ – celková plocha všech částí stěn, které jsou v kontaktu s přilehlou zeminou.

d) Dobu $t_k \text{ [s]}$, za kterou vzroste koncentrace metanu v místnosti na kritickou hodnotu koncentrace metanu $v_{2,krit.} = 4 \%$ vypočteme ze vztahu:

$$t_k = \frac{V \cdot b}{D_m \cdot A} \cdot \ln \frac{v_1 - v_2}{v_1 - v_{2,krit.}} \text{ [s]} \quad (4)$$

Kde: $b \text{ [m]}$ – navržená skutečná tloušťka izolace,

$v_{2,krit.} \text{ [%]}$ – kritická koncentrace metanu. Dosazujeme vždy $v_{2,krit.} = 4 \%$.

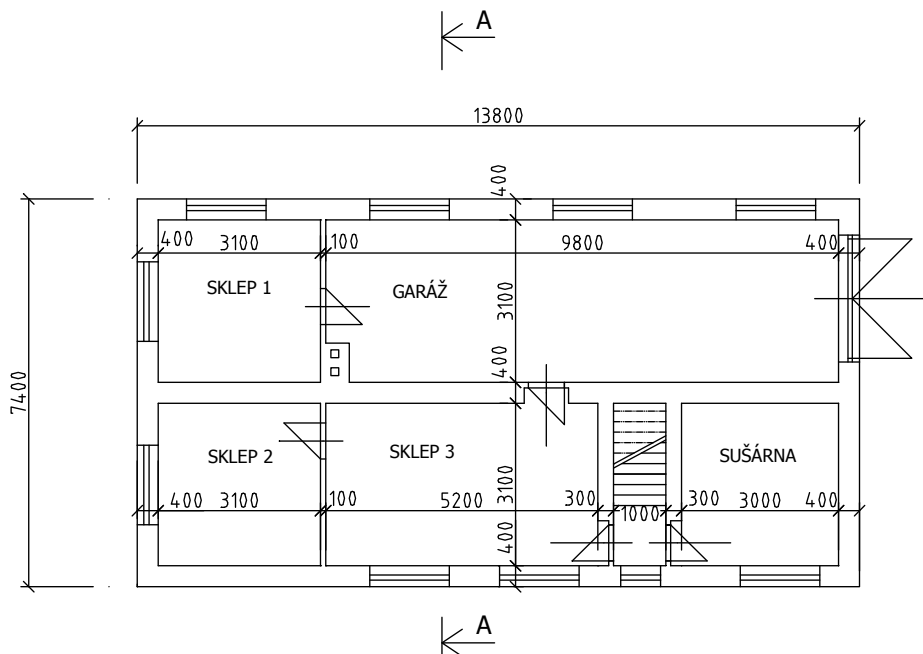
Význam ostatních veličin je stejný jako u vztahu (2). Doba t_k se počítá za předpokladu hodnoty intenzity větrání $n = 0$.

Musí být splněna podmínka:

$$t_k \geq 90 \text{ dní} \quad (5)$$

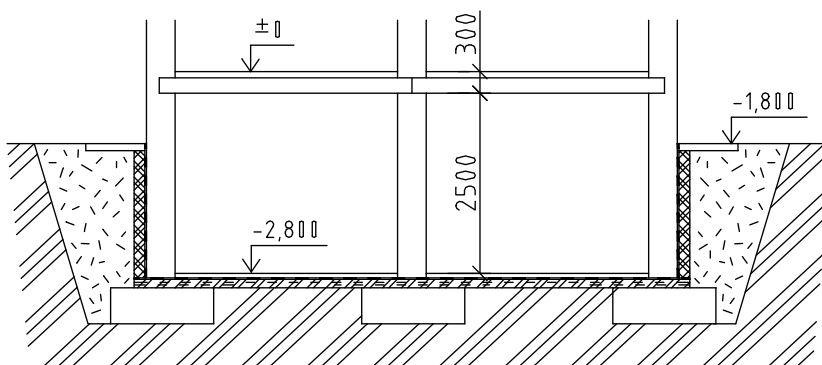
3.3 Příklad návrhu izolace proti pronikání metanu z podloží

Uvažujme novostavbu rodinného domku, který je plně podsklepen. Půdorys jeho suterénu je patrný z obr. 3, řez je pak znázorněn na obr. 4. Objekt se nachází v rovinném terénu a je do něj zapuštěn tak, že horní povrch nášlapné vrstvy podlahy v suterénu se nachází 1,0 m pod úrovní okolního terénu.



Obr. 3: Půdorys suterénu rodinného domku

ŘEZ A-A



Obr. 4: Řez A – A

1. Určíme výpočtovou místnost

Výpočtovou místností bude sušárna, protože ze všech suterénních místností má největší hodnotu poměru P [m].

Celkový objem posuzované místnosti: $V = 3,0 \cdot 3,1 \cdot 2,5 = 23,25 \text{ m}^3$

Celková plocha konstrukcí, které jsou v kontaktu s podložím:

$$A = A_p + A_v = 3,0 \cdot 3,1 + 3,0 \cdot 1,0 + 3,1 \cdot 1,0 = 15,40 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{A}{V} = \frac{15,40}{23,25} = 0,66 \text{ m}^{-1}$$

2. Vypočteme minimální potřebnou tloušťku izolace b [m]

Výpočtová hodnota intenzity větrání $n = 0,05 \text{ h}^{-1} = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, $v_1 = 1,0$, $v_2 = 0,001$.

Navržena polymerní fólie Penefol 950 (výrobce VK Lithotex, a. s. Žďár nad Sázavou) na bázi PE-HD. : Hodnoty koeficientu difúze pro metan D_m jsou:

a) V ploše fólie (bez spoje) – $D_m = 3,461 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,

b) ve spoji – $D_m = 4,223 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

$$b_{\min.} = D_m \cdot \frac{A \cdot (v_1 - v_2)}{n \cdot V \cdot v_2} = 4,223 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{15,40 \cdot (1 - 0,001)}{1,39 \cdot 10^{-5} \cdot 23,25 \cdot 0,001} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,2 \text{ mm}$$

Navrhne minimální vyráběnou tloušťku fólie Penefol 950 $b = 0,6 \text{ mm}$.

3. Vypočteme dobu t_k [s], za kterou vzroste koncentrace metanu v místnosti na kritickou hodnotu koncentrace metanu $v_{2,krit.} = 4 \%$ (při $n = 0$)

$$t_k = \frac{V \cdot b}{D_m \cdot A} \cdot \ln \frac{v_1 - v_2}{v_1 - v_{2,krit.}} = \frac{23,25 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}}{4,223 \cdot 10^{-12} \cdot 15,4} \cdot \ln \frac{1 - 0,001}{1 - 0,04} = 8\,541\,810 \text{ s} = 98,8 \text{ dne} > 90 \text{ dnů} \Rightarrow$$

navržená tloušťka fólie $b = 0,6 \text{ mm}$ **vyhovuje**

4 OCHRANNÁ OPATŘENÍ U STÁVAJÍCÍCH STAVEB

Podkladem pro zpracování projektu návrhu opatření proti metanu pronikajícímu z podloží je průzkum objektu. **Součástí průzkumu stávajícího objektu na území s výskytem důlního plynu jsou:**

- Měření koncentrace metanu v interiéru.**
- Stavebně technický průzkum.**
- Vlhkostní průzkum.**

Pokud jde o **měření koncentrace metanu v interiéru**, toto smí provádět jen akreditovaná zkušební laboratoř podle metod schválených Českým institutem pro akreditaci. Měření se provádí buďto na základě žádosti organizace, která zajišťuje zahlazování následků hornické činnosti, nebo na základě požadavku vlastníka objektu.

Stavebně technický průzkum sestává z:

- Vyhodnocení dokumentace objektu.** Pokud je tato k dispozici, je nutno její ověření se skutečností. Není-li k dispozici, je nutno provést zaměření a zakreslení stávajícího stavu.
- Vizuální prohlídky všech kontaktních konstrukcí** (obvodových stěn a podlahových konstrukcí v kontaktních podlažích) za účelem zjištění případných statických poruch kontaktních konstrukcí a míst průniku metanu dovnitř objektu.
- Případného provedení sond do kontaktních konstrukcí** za účelem zjištění jejich skladby, resp. dalších potřebných vlastností.

Vlhkostní průzkum se provede podle ČSN P 73 0610 [8] tehdy, jestliže je v kontaktním podlaží zjištěná nadměrná vlhkost svislých konstrukcí či podlahy.

Výsledky průzkumů objektu se řádně zdokumentují a prezentují se formou odborných posudků. Ty jsou pak závazným podkladem pro zpracování projektové dokumentace ochrany objektu proti pronikání metanu z podloží.

Pokud bude shledáno statické narušení kontaktních konstrukcí, je nutno v rámci ochranných opatření proti pronikání metanu z podloží zajistit také sanaci statických poruch.

V případě, že vlhkostním průzkumem bude shledána v kontaktních konstrukcích zvýšená vlhkost, je nutno v rámci ochranných opatření proti pronikání metanu z podloží vyřešit také odvlhčení kontaktních konstrukcí. A to v souladu s ČSN P 73 0610 [8].

U objektů pozemních staveb je nutno proti pronikání metanu z podloží dovnitř stavby je nutno provést také následující úpravy:

- Utěsnění všech trhlin v obvodových i vnitřních stěnách a v podlaze kontaktního podlaží.
- Utěsnění všech prostupů vnějšími stěnami a podlahou v kontaktním podlaží.
- Utěsnění revizních šachet vnitřní kanalizace.
- Zajištění plynotěsnosti podlahových vpustí.
- Zajištění plynotěsnosti dilatačních spár.
- Zajištění plynotěsnosti vnitřní kanalizace a zároveň jejího řádného odvětrání.

U stávajících staveb je možno, v závislosti na konkrétních podmínkách (četnost výskytu zvýšených koncentrací metanu v kontaktním podlaží a velikosti naměřených hodnot, hodnoty koncentrací metanu v půdním vzduchu) navrhnout v zásadě dvojí způsob řešení:

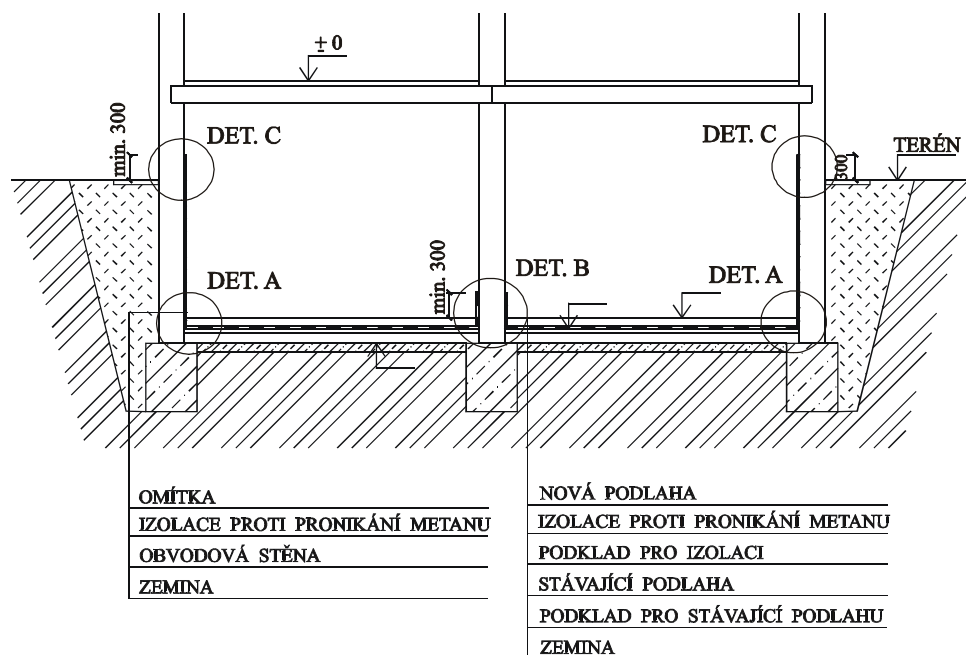
- Dodatečné provedení povlakové izolace proti pronikání metanu.**
- Úprava větrání kontaktního podlaží.**

4. 1 Dodatečné provedení izolace proti pronikání metanu

Provede se dodatečná izolace proti pronikání metanu na konstrukcích kontaktního podlaží, které jsou v kontaktu s podložím (podlaha, svislé obvodové stěny nejnižšího podlaží) a zároveň zajištění požadavku uvedeného v odst. 7. 2. 1 ČSN 73 0540 – 2 [2], který stanoví nejnižší hodnotu intenzity výměny vzduchu v neužívané místnosti $n_{min,a} = 0,1 \text{ h}^{-1}$. Tedy stejným způsobem jako u novostaveb (viz kap. 2. 1) s tím rozdílem, že navržená izolace se vloží dodatečně a vytáhne se na svislé konstrukce do výše min. 300 mm nad povrch nášlapné vrstvy nové podlahy u vnitřních stěn, u obvodových stěn pak min. 300 mm nad úroveň přilehlého terénu. Ukončení izolace na svislých stěnách (viz detaily A, B, a C v obr. 5) musí být řešeno jako plynotěsné. Stejně tak prostupy skrze izolaci. Princip je znázorněn na obr. 5.

Pokud není na objektu provedena vodorovná izolace proti zemní vlhkosti, nebo je již nefunkční, je nutno návrh vodorovné izolace proti metanu realizovat tak, aby nemohlo dojít v důsledku jejího provedení ke zvýšenému vzlinání zemní vlhkosti do svislých konstrukcí. K tomu může dojít následkem toho, že zemní vlhkost, která difundovala skrze podlahu do interiéru, se bude následně kumulovat pod vodorovnou izolací a posléze vzlinat do přilehlých svislých konstrukcí.

Jestliže má být izolace proti pronikání metanu navržena zároveň jako izolace proti zemní vlhkosti, nebo jako součást sanačního opatření proti nadměrné vlhkosti kontaktních konstrukcí, pak je nutno problematiku vyřešit komplexně.



Obr. 5: Princip funkce dodatečně vložené izolace proti pronikání metanu z podloží u podsklepeného objektu bez hydroizolace

Pokud se v objektu nachází stávající hydroizolace polymerní fólie je vhodné, pokud není známa hodnota jejího součinitele difuze pro metan D_m , provést odběr vzorku ve vhodném místě (např. v horní části svislé hydroizolace; místo odběru se posléze odborným způsobem doplní) a zmíněnou hodnotu D_m stanovit měřením. V případě, že jeho hodnota bude dostatečně nízká tak, že realizovaná tloušťka hydroizolace vyhoví i z hlediska prostupu metanu, hydroizolace se ponechá i pro účel zabránění pronikání metanu. Provede se pouze plynotěsné napojení prostupů potrubí a kabelů. Takto může dojít k vysokým úsporám nákladů, které by bylo nutno vynaložit na novou

vrstvu protimetanové izolace. V těchto případech budou vyhovující zejména fóliové hydroizolace vyrobené z materiálů na bázi vysokohustotního polyetylenu (PEHD).

V rámci projekčního návrhu protimetanových opatření je nutno vždy řádně vyřešit problematiku případných dutých prostorů, které se v kontaktním podlaží vyskytují (např. revizních šachet vnitřní kanalizace, vodoměrných šachet apod.). To proto, aby v nich nemohlo docházet ke kumulaci metanu.

Totéž platí také v případě demolice objektu. V místech již zbouraných objektů je nutno ověřit, zda v lokalitě nenacházejí původní základy objektu, případně jiné podzemní konstrukce (např. žumpa, septik, revizní šachta, ležaté kanalizační potrubí, drenážní potrubí apod.), ve kterých by mohlo docházet ke kumulaci metanu.

4. 2 Úprava větrání kontaktního podlaží

Úprava větrání kontaktního podlaží se provede tak, aby se zamezilo kumulaci metanu v jedné místnosti a zvyšování jeho koncentrace.

Tento způsob však nezabraňuje pronikání metanu dovnitř objektu. Proto je vhodný pouze u objektů, které jsou situovány v místech o velmi nízkých koncentracích metanu v půdním vzduchu ($v_l \leq 10 \%$). Zároveň je nutné, aby veškeré konstrukce, které jsou v kontaktu s podloží (podlaha, obvodové stěny) byly provedeny jako celistvé (viz 3. kategorie těsnosti podle ČSN 73 0601 [8]) s plynotěsně utěsněnými prostupy (viz výše, kap. 2. 2. 1). Zmíněný způsob je možné uplatnit u objektů, kde by provedení dodatečné izolace proti metanu bylo neúměrně nákladné.

Zároveň je možné uvedený způsob použít pouze v kontaktních podlažích, které nejsou určeny k pobytu lidí (např. suterény, apod.). To proto, že by docházelo k narušení jejich tepelné pohody v důsledku proudění studeného vzduchu v zimním období. Navíc by také docházelo v důsledku neustálé cirkulace vzduchu ke zvýšeným tepelným ztrátám v z důvodu vytápění prostorů na požadované teploty pro příslušné prostory podle ČSN 73 0540-2 [2] (např. s $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$), které by byly podstatně vyšší, než pro prostory, které nejsou provozní (např. s $t_i = 5 \text{ }^\circ\text{C}$). Je vhodné provést také dodatečnou tepelnou izolaci stropů v kontaktním podlaží. Způsob úpravy větrání kontaktního podlaží bude zpravidla méně nákladný, než dodatečné provedení izolace proti pronikání metanu z podloží.

5 DALŠÍ NUTNÁ OPATŘENÍ

S ohledem na skutečnost, že stávající objekty jsou zpravidla připojeny na veřejnou kanalizaci, která prochází územím, ve kterém je zaznamenán výskyt půdního metanu, **je nutno vždy prověřit, zda nedochází k distribuci metanu dovnitř objektů v důsledku jeho proudění ve veřejné a posléze ve vnitřní kanalizaci** (provedením zkoušky plynotěsnosti vnitřní kanalizace podle ČSN 73 6760 [6]).

Dále je nutno **provést vizuální kontrolu řádného odvětrání všech svislých odpadních potrubí nad vnějším povrchem střechy**. Stávající ventilační hlavice, které ukončují svislá odpadní potrubí nad rovinou střechy, musí být funkční a umožňovat řádné odvětrávání vnitřní kanalizační sítě. Dále je nutno osadit do takové výšky nad rovinu střechy, aby v místě jejich vyústění nemohlo dojít k manipulaci s otevřeným ohněm (např. v budoucnu při opravě střechy, klempířských konstrukcí, apod.). Případně tento požadavek zajistit jiným vhodným způsobem, který je v souladu s platnými předpisy týkajícími se problematiky bezpečnosti práce v prostředí s výskytem důlních plynů a metanu.

U stávajících objektů je v obou případech rovněž nutno v kontaktním podlaží objektu instalovat zařízení na registraci a informaci o výskytu důlního plynu a metanu (CH_4) včetně příslušného počtu čidel.

6 REALIZACE A UŽÍVÁNÍ

Pro realizaci prací je nutno v rámci projektové dokumentace zpracovat bezpečnostní technologický předpis pro konkrétní stavbu, s ohledem na práce konané v prostředí s vyskytujícím se metanem.

Po dokončení prací v rámci jejich převzetí musí být uživatelé objektu prokazatelně seznámeni se zákazem jakéhokoliv svévolného zásahu do stavebních úprav, které jsou určeny k zabránění průniku metanu dovnitř objektu, nebo ke snížení koncentrace metanu uvnitř objektu.

7 EKONOMICKÉ HLEDISKO

U nově realizovaných objektů pozemních staveb představuje izolace proti pronikání metanu z podloží jen velmi malé zvýšení finančních nákladů oproti objektům, jež jsou situovány mimo území s výstupy důlního plynu. U stávajících objektů pak dodatečné provedení izolace proti pronikání metanu představuje podstatně vyšší finanční náklady než úprava větrání kontaktního podlaží.

V současné době je na územích s výstupy důlního plynu realizováno také tzv. centrální odplynění podloží, čímž dochází k výraznému snižování koncentrací půdního metanu, v některých místech dokonce až k nulové hodnotě. To má následně příznivý dopad na návrh protimetanových opatření jak u novostaveb, tak také u stávajících staveb. Zejména v případě dodatečných protimetanových opatření u stávajících staveb je možno dosáhnout úspory značných finančních nákladů, jestliže v důsledku radikálního poklesu koncentrace půdního metanu následkem centrálního odplynění, je možno namísto dodatečného provedení protimetanové izolace realizovat pouze úpravu větrání kontaktního podlaží.

Z tohoto hlediska je rovněž vhodné nově navrhované objekty situovat na území, kde je již provedeno centrální odplynění podloží.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území (1989).
- [2] ČSN 73 0540 – 2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky (2007).
- [3] ČSN 06 2010 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění (1994).
- [4] ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy (1987).
- [5] Blaha A., Fojtů D.: Metodika posuzování postačitelnosti protiplynové izolace proti pronikání metanu z podloží do stavebních objektů. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, červenec 2003. Nепublikováno.
- [6] ČSN 73 6760 Vnitřní kanalizace (2003).
- [7] ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží (2006).
- [8] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb. Sanace vlhkého zdiva. Základní ustanovení (2000).

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Martin Jiránek, CSc., Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Ing. Michael Balík, CSc., MICHAEL BALÍK - Odvlhčování zdiva, Praha.

Barbora SOUČKOVÁ¹

TEPELNĚ-TECHNICKÉ POSOUZENÍ SUTERÉNNÍ ČÁSTI PANELOVÉHO OBJEKTU

TECHNICAL REVIEW FROM THERMAL ENVIRONMENT OF PREFAB'S BASEMENT PART

Abstrakt

Tento příspěvek se zaměřuje na řešení detailů suterénní části montovaných objektů bytové výstavby, soustavy T 06-B Prefa Olomouc BP-70 [3] z vnější strany. Pojednává o rozdílech průběhů teplot a tlaků vodní páry při dvou variantách zateplení stěnové obvodové konstrukce z vnější strany panelového objektu. Posuzování vybraných detailů je prováděno porovnáním výsledků tepelně-technického posouzení konstrukcí namodelovaných v počítačovém softwaru Area [3].

Klíčová slova

Tepelně-technické posouzení, panelový objekt, suterén.

Abstract

This article concentrates on solving details from exterior of building basement. The type of this block of flats is the system T 06-B Prefa Olomouc. This article deals with differences of continuance of temperatures and water vapor pressures on two variants of the building envelope wall insulation from the outside of the building panel. Assessment of the selected details is done by comparing the results of thermal-technical assessment of structures modeled in the computer software Area [3].

Keywords

Technical review from thermal environment, prefab, basement.

1 ÚVOD K PROBLEMATICE

Z celkového počtu trvale obydlených bytů v České republice tvoří přibližně 32 % [2, str. 9] panelové bytové domy. Tyto obytné prefabrikované vícepodlažní budovy byly stavěny podle tzv. „konstrukčních soustav“ (systémy budov dle umístění jejich jednotlivých stavebních prvků) a v dnešní době jsou často rekonstruovány v rámci tzv. „Revitalizace“. Vlivem nedostačujících tepelně-technických parametrů u konstrukcí stávajících obytných panelových domů, nesprávného vnitřního prostředí uvnitř budov a s tím souvisejícím prochlazováním obálky budov často dochází v kritických místech k nadměrnému kumulování vlhkosti, jehož následkem je často vznik plísní, což může způsobit zdravotní problémy obyvatelům žijícím v takto infikovaném vnitřním prostředí.

Tento příspěvek se zaměřuje na řešení detailů suterénní části panelového objektu konstrukční soustavy typu T 06-B Prefa Olomouc, který se skládá z betonového základového pásu, obvodové stěnové konstrukce přilehlé k zemině, podlahové konstrukce 1.PP a 1.NP (včetně stropní konstrukce 1.PP). Pojednává o rozdílech průběhů teplot a tlaků vodní páry při opatření posuzovaných detailů suterénní části tepelnou izolací protaženou 1 m pod terén a jako tepelně izolovaný chodník [1, str. 12]. Posuzování vybraných detailů je prováděno porovnáním výsledků tepelně-technického

¹ Ing. Barbora Součková, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 916, e-mail: barbora.souckova@vsb.cz.

posouzení konstrukcí namodelovaných v počítačovém programu Teplo [4] a Area [3]. Nastíněný problém je zde řešen pouze teoreticky.

2 MODELOVANÉ KONSTRUKCE

Jak již bylo napsáno v úvodu, posuzovaný detail suterénní části panelového objektu je konstrukční soustava typu T 06-B Prefa Olomouc a skládá se z betonového základového pásu, obvodové stěnové konstrukce přilehlé k zemině, podlahové konstrukce 1. PP a 1. NP (včetně stropní konstrukce 1. PP). Obvodové panely jsou železobetonové vrstvené (sendvičové), tloušťky 290 mm (145 mm železobeton + 2x40 mm tepelná izolace + 65 mm železobeton).

Skladby modelovaných obvodových konstrukcí:

a) Skladba obvodové stěny (od interiéru směrem k exteriéru):

	d [mm]	λ [W/(mK)]	μ [-]
obvodová stěna: železobetonový panel	145	1,58	29
obvodová stěna: pěnový polystyren	40	0,051	40
obvodová stěna: pěnový polystyren	40	0,051	40
obvodová stěna: železobetonový panel	65	1,58	29
izolace proti zemní vlhkosti: 2x Bitagit S35	7	0,21	14400

b) Skladba podlahové konstrukce – 1.NP (od interiéru 1.NP směrem k 1.PP):

	d [mm]	λ [W/(mK)]	μ [-]
nášlapná vrstva podlahy – PVC	3	0,17	1000
nášlapná vrstva podlahy – lepidlo	2	0,60	50
potěr cementový	45	1,16	19
stropní konstrukce – železobeton	150	1,58	29

c) Skladba podlahové konstrukce – 1.PP (od interiéru 1.PP směrem k exteriéru):

	d [mm]	λ [W/(mK)]	μ [-]
nášlapná vrstva podlahy: cementový potěr	15	1,16	19
betonová mazanina	35	1,30	20
betonová mazanina II	80	1,23	17
izolace proti zemní vlhkosti: 2x Bitagit S35	7	0,21	14400
betonová mazanina	100	1,23	17
rostlý terén	-	-	-

d) Skladba základové konstrukce:

	d [mm]	λ [W/(mK)]	μ [-]
základový pás z betonu hutného 600x600 mm	600	1,43	23

3 TEPELNĚ-TECHNICKÉ POSOUZENÍ OBVODOVÝCH KONSTRUKCÍ

Celkem je zde posuzován jeden detail suterénní části panelového objektu typu T 06-B Prefa Olomouc s přidanou tloušťkou tepelné izolace protažené 1 m pod terén a jako tepelně izolovaný chodník [1, str. 12]. Je zde porovnáván průběh teplot a tlaků vodní páry v daném detailu. Na vnější stranu jeho stěnové obvodové konstrukce je postupně po 10 mm přidávána tepelná izolace (parametry: $\lambda = 0,045$ W/(mK), $\mu = 2$) o tloušťce 0 mm až 150 mm. Tepelná izolace je buď protažena 1 m pod terén (V1), nebo 1 m od objektu rovnoběžně s terénem (V2) jako tepelně izolovaný chodník [1, str. 12]. Hydro-izolace je ukončena 300 mm nad terénem.

Posouzení je provedeno dle ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov [1]. Pro hodnocení konstrukcí ve styku s terénem platí ČSN EN ISO 13370: Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody. Nejprve jsou v počítačovém programu Teplo [4] modelované a posuzované jednotlivé dílčí konstrukce těchto variant detailu – obvodové stěny, stropy a podlahy. Poté jsou celé varianty detailu modelované v počítačovém programu Area [3].

Výpočetní okrajové podmínky posuzovaných detailů jsou situovány do prostředí teplotní oblasti Ostravy nacházející se v České republice. Převážná část řešených detailů leží nad úrovní terénu. Interiér podzemního podlaží (1. PP) je uvažován jako nevytápěný prostor s vnitřní teplotou vzduchu 15 °C. Jelikož se v přízemí nacházejí byty, jsou zde interiérové podmínky zvoleny jako u obytné místnosti.

Okrajové podmínky:

a) zemina:	$\theta_{gr} = 5 \text{ °C};$	$\varphi_{gr} = 100 \text{ %};$	$R_{se} = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$
b) exteriér:	$\theta_{a,e} = -15 \text{ °C};$	$\varphi_e = 84 \text{ %};$	$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
c) interiér 1. PP:	$\theta_{a,i} = 15 \text{ °C};$	$\varphi_i = 50 \text{ %};$	$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
d) interiér 1. NP:	$\theta_{a,i} = 21 \text{ °C};$	$\varphi_i = 50 \text{ %};$	$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Veličiny [c2]:

$\theta_{gr} / \theta_{a,e} / \theta_{a,i} [\text{°C}]$ = teplota zeminy / venkovního vzduchu / vnitřního vzduchu,
 $\varphi_{gr} / \varphi_e / \varphi_i [\text{‰}]$ = relativní vlhkost zeminy / venkovního vzduchu / vnitřního vzduchu,
 $R_{se} / R_{si} [\text{m}^2\text{K/W}]$ = tepelný odpor při přestupu tepla na vnější / vnitřní straně konstrukce,
 $\lambda [\text{W/(mK)}]$ = součinitel tepelné vodivosti,
 $\mu [-]$ = faktor difuzního odporu

Detail C1 už před přidáním tepelné izolace na vnější stranu jeho stěnové obvodové konstrukce vyhověl požadavkům na povrchovou teplotu t_{si} a teplotní faktor $f_{R,si}$ dle ČSN 73 0540-3 [1] (požadavek $f_{R,si,n} < f_{R,si} [-]$ je splněn). Tato konstrukce z hlediska součinitele prostupu tepla U_k vyhoví po přidání 30 mm zvolené tepelné izolace, a po přidání zvolené tepelné izolace o tloušťce 90 mm splní i nízkoeenergetickou hodnotu této veličiny.

Průběhy vypočtených teplotních faktorů $f_{R,si}$ jsou zapsány v tab. 1a graficky znázorněny v tab. 3. Je patrné, že s přidanou tloušťkou tepelné izolace se vlastnosti konstrukce tohoto detailu postupně zlepšují. Z grafického znázornění je patrné, že tyto průběhy nejsou lineární, ale polygonální.

Údaje o vypočtených množstvích zkondenzované a vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukcí $M_{c,a}$ a $M_{ev,a}$ jsou zapsány v tab. 2 a graficky znázorněny v grafu 2. Při podrobnějším zkoumání hodnot jejich vypočtených množství je viditelné, že v obou případech (V1 – protažení tepelné izolace 1 m pod terén, V2 – protažení tepelné izolace 1 m od objektu rovnoběžně s terénem) jsou mezi jednotlivými hodnotami velmi malé rozdíly a jejich průběhy jsou skoro totožné. Vlhkostní vlastnosti konstrukce tohoto celého vymodelovaného detailu se zvětšující se přidanou tloušťkou tepelné izolace se postupně zlepšují, avšak v žádné variantě nedojde k úplnému vypaření ročního množství zkondenzované vlhkosti z konstrukce (požadavek $M_{c,a} < M_{ev,a} [\text{kg}/(\text{m}^2\text{rok})]$ není splněn), i když je jejich rozdíl v posledních detailech velmi malý (jedna třetina vypočtených hodnot) – nikde nedojde k protnutí obou k sobě náležících veličin o stejné barvě a tím i k vyhovění požadavku na šíření vlhkosti konstrukcí.

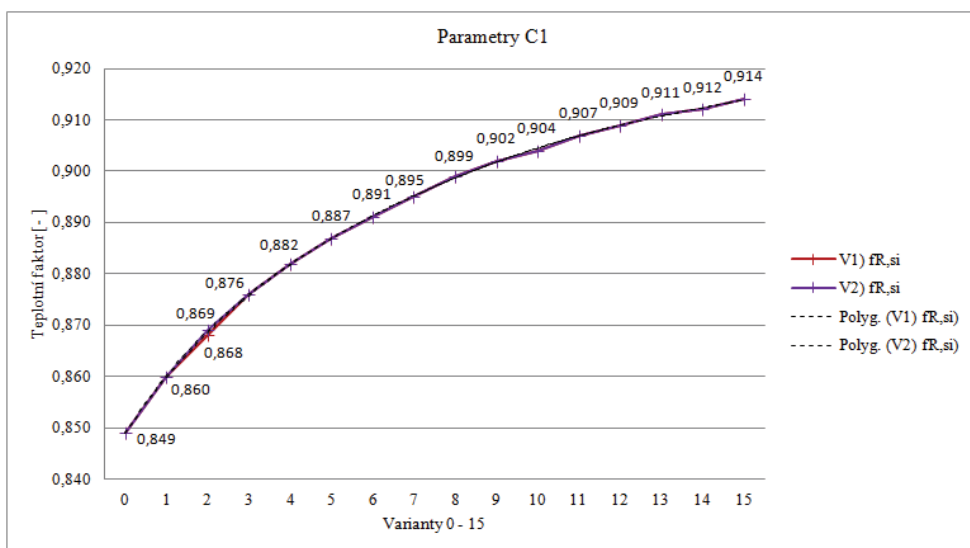
4 VÝSTUPY A POROVNÁNÍ

V této části jsou vybrány nejdůležitější výstupy z tepelně-technického posouzení obvodových konstrukcí, které je provedeno v počítačovém programu Area 2007 [3].

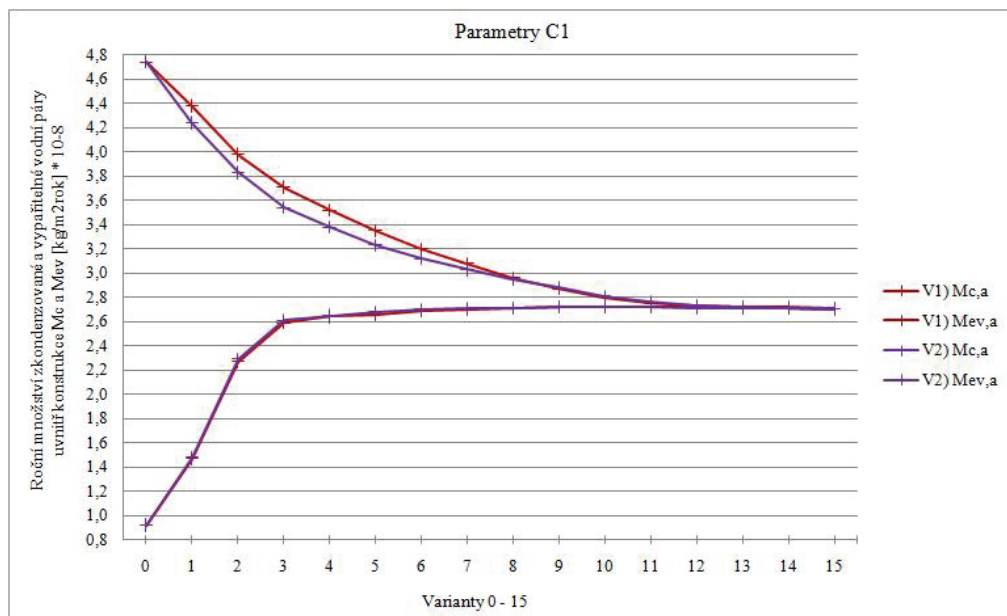
Průběhy vypočtených teplotních faktorů $f_{R,si}$ jsou zapsány v tab. 1 a graficky znázorněny v grafu 1. Tepelně-technické vlastnosti konstrukce tohoto detailu se postupně zlepšují s přidanou tloušťkou tepelné izolace. Při porovnání průběhů vypočtených teplotních faktorů $f_{R,si}$ u varianty V1 (tepelná izolace je protažena 1 m pod terén) s variantou V2 (tepelná izolace je protažena 1 m od objektu rovnoběžně s terénem jako tepelně izolovaný chodník) vyplývá, že jsou tyto průběhy vypočtených teplotních faktorů $f_{R,si}$ u obou variant V1 a V2 stejné.

Při podrobnějším zkoumání hodnot vypočtených množství zkondenzované a vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce $M_{c,a}$ a $M_{ev,a}$, zapsaných v tab. 2 a znázorněných v grafu 2, je patrné, že se zvětšující se přidanou tloušťkou tepelné izolace se vlhkostní vlastnosti konstrukce tohoto celého vymodelovaného detailu postupně zlepšují – množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ uvnitř konstrukce se postupně zmenšuje a množství vypařitelné vodní páry z konstrukce $M_{ev,a}$ se postupně

zvětšuje (rozdíly mezi těmito dvěma veličinami se postupně zmenšují). V žádné z variant nedojde k úplnému vypaření ročního množství zkondenzované vlhkosti z konstrukce, i když při tloušťce přidané tepelné izolace okolo 130 mm a větší vychází hodnoty množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ jen minimálně vyšší než hodnoty množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$. Při porovnání hodnot množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$ u varianty V1 s variantou V2 vyplývá, že jsou tyto průběhy u obou variant V1 a V2 skoro totožné. Při porovnání hodnot množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ u varianty V1 s variantou V2 vyplývá, že jejich rozdíly nejsou příliš velké. Největší rozdíly $M_{c,a}$ jsou při tloušťce přidané tepelné izolace 30 mm a od tloušťky 80 mm se jednotlivé hodnoty $M_{c,a}$ skoro rovnají.



Graf 1: Porovnání grafického znázornění průběhů vypočtených teplotních faktorů $f_{R,si}$ [-] (Area [3])



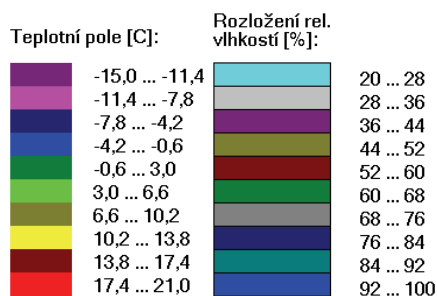
Graf 2: Porovnání grafického znázornění průběhů vypočtených množství zkondenzované a vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukcí $M_{c,a}$ a $M_{ev,a}$ [kg/(m²rok)] (Area [3])

Tab. 1: Detail s přidanou tloušťkou tepelné izolace – vyhodnocení tepelně-technického posouzení dle Teplo [4] i Area [3] - $f_{R,si,n} < f_{R,si}$ [-]: $f_{R,si,n}$ = normová hodnota teplotního faktoru, $f_{R,si}$ = vypočtený teplotní faktor, TI = tepelná izolace, T = Teplo, A = Area

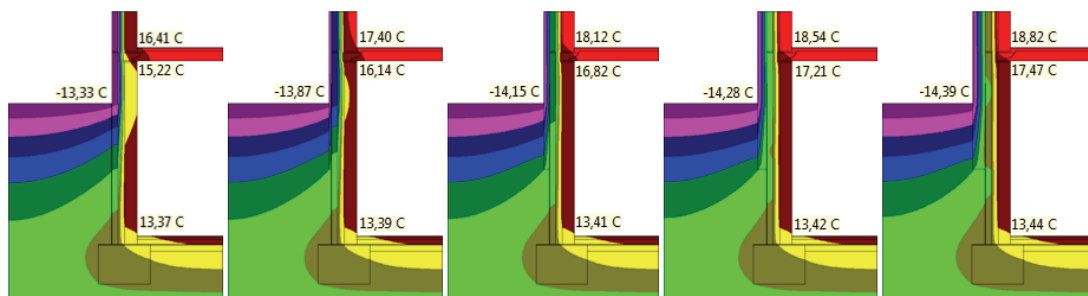
	Přidaná tloušťka TI [mm]	Teplotní faktor [-]						
		$f_{R,si,n}$	V1		V2		V1 + V2	
			$A f_{R,si}$	požadavek	$A f_{R,si}$	požadavek	$T f_{R,si}$	požadavek
0	Bez TI	0,798	0,849	splněn	0,849	splněn	0,874	splněn
1	10	0,798	0,860	splněn	0,860	splněn	0,887	splněn
2	20	0,798	0,868	splněn	0,869	splněn	0,897	splněn
3	30	0,798	0,876	splněn	0,876	splněn	0,906	splněn
4	40	0,798	0,882	splněn	0,882	splněn	0,913	splněn
5	50	0,798	0,887	splněn	0,887	splněn	0,919	splněn
6	60	0,798	0,891	splněn	0,891	splněn	0,925	splněn
7	70	0,798	0,895	splněn	0,895	splněn	0,930	splněn
8	80	0,798	0,899	splněn	0,899	splněn	0,934	splněn
9	90	0,798	0,902	splněn	0,902	splněn	0,937	splněn
10	100	0,798	0,904	splněn	0,904	splněn	0,941	splněn
11	110	0,798	0,907	splněn	0,907	splněn	0,944	splněn
12	120	0,798	0,909	splněn	0,909	splněn	0,946	splněn
13	130	0,798	0,911	splněn	0,911	splněn	0,949	splněn
14	140	0,798	0,912	splněn	0,912	splněn	0,951	splněn
15	150	0,798	0,914	splněn	0,914	splněn	0,953	splněn

Tab. 2: Detail s přidanou tloušťkou tepelné izolace – vyhodnocení posouzení šíření vlhkosti konstrukcí dle Area [3] - $M_{c,a} < M_{ev,a}$ [kg/(m²rok)]: $M_{c,a}$ = zkondenzovaná vodní pára, $M_{ev,a}$ = vypařitelná vodní pára, TI = tepelná izolace

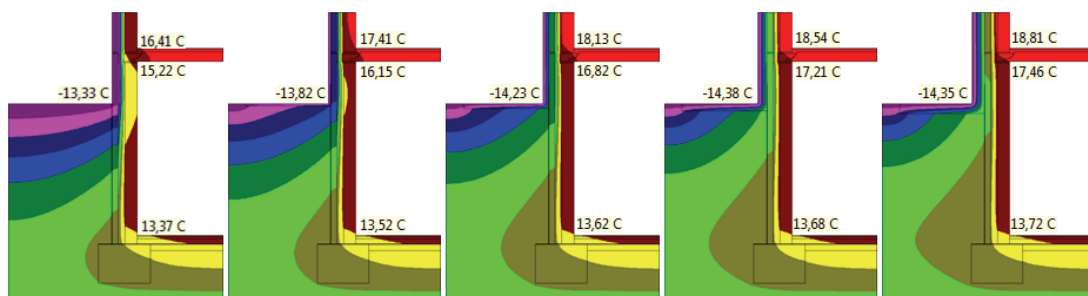
	Přidaná tloušťka TI [mm]	Zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce $M_{c,a}$ [kg/(m²rok)] * 10^{-8} a vypařitelná vodní pára uvnitř konstrukce $M_{ev,a}$ [kg/(m²rok)] * 10^{-8}					
		V1			V2		
		$M_{c,a}$	$M_{ev,a}$	požadavek	$M_{c,a}$	$M_{ev,a}$	požadavek
0	Bez TI	4,74	0,92	nesplněn	4,74	0,92	nesplněn
1	10	4,38	1,47	nesplněn	4,24	1,48	nesplněn
2	20	3,98	2,27	nesplněn	3,83	2,29	nesplněn
3	30	3,71	2,59	nesplněn	3,54	2,61	nesplněn
4	40	3,52	2,64	nesplněn	3,38	2,65	nesplněn
5	50	3,35	2,66	nesplněn	3,23	2,68	nesplněn
6	60	3,20	2,69	nesplněn	3,12	2,70	nesplněn
7	70	3,08	2,70	nesplněn	3,03	2,71	nesplněn
8	80	2,96	2,71	nesplněn	2,95	2,71	nesplněn
9	90	2,87	2,72	nesplněn	2,88	2,72	nesplněn
10	100	2,80	2,72	nesplněn	2,81	2,72	nesplněn
11	110	2,75	2,72	nesplněn	2,76	2,72	nesplněn
12	120	2,73	2,72	nesplněn	2,73	2,71	nesplněn
13	130	2,72	2,71	nesplněn	2,72	2,71	nesplněn
14	140	2,72	2,71	nesplněn	2,71	2,71	nesplněn
15	150	2,71	2,70	nesplněn	2,71	2,70	nesplněn



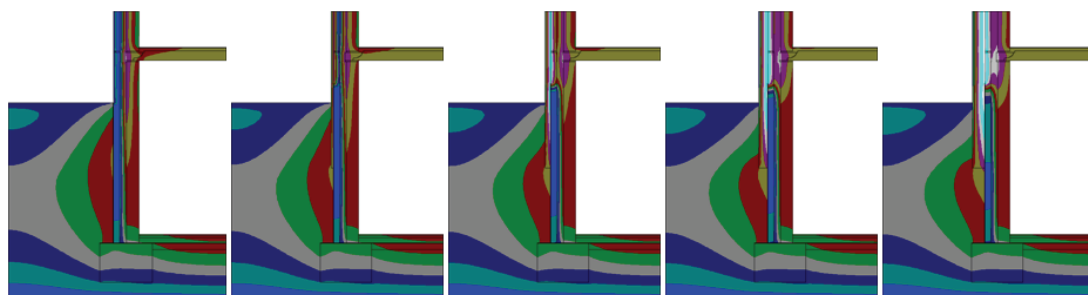
Obr. 1: Přiřazení barev teplotním a vlhkošním polím na obr. 2 až obr. 5 (Area [3])



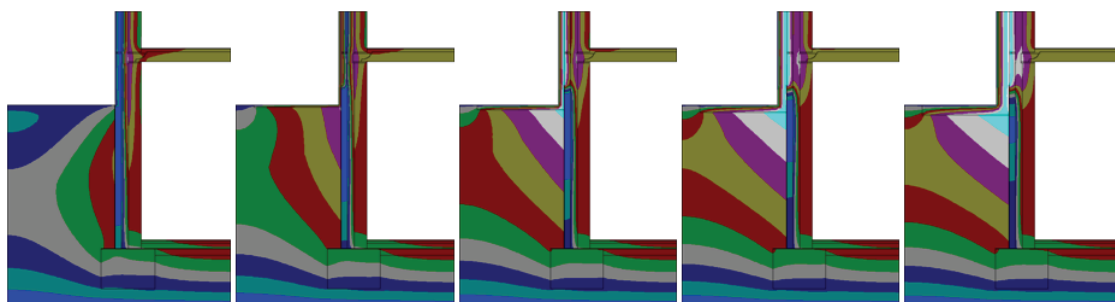
Obr. 2: Porovnání průběhů teplotních polí u některých variant detailu s přidanou tepelnou izolací protaženou 1 m pod terén (Area [3]): bez zateplení, 30 mm, 70 mm, 110 mm a 150 mm



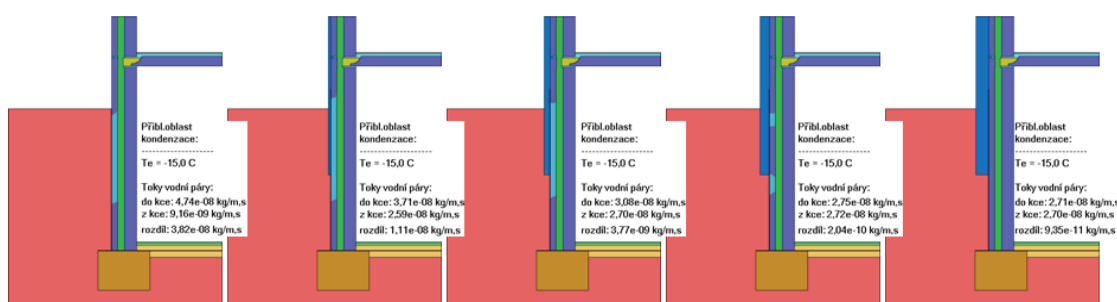
Obr. 3: Porovnání průběhů teplotních polí u některých variant detailu s tepelnou izolací protaženou 1 m od objektu rovnoběžně s terénem (Area [3]): bez zateplení, 30 mm, 70 mm, 110 mm a 150 mm



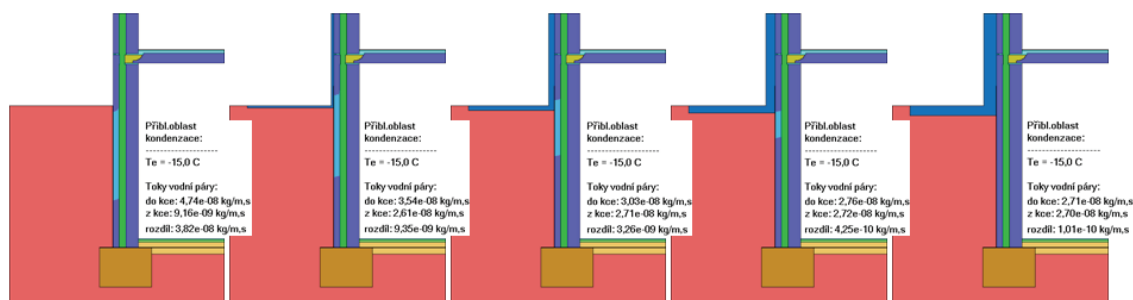
Obr. 4: Rozložení relativních vlhkostí u některých variant detailu s přidanou tepelnou izolací protaženou 1 m pod terén (Area [3]): bez zateplení, 30 mm, 70 mm, 110 mm a 150 mm



Obr. 5: Rozložení relativních vlhkostí u některých variant detailu s tepelnou izolací protaženou 1 m od objektu rovnoběžně s terénem (Area [3]): bez zateplení, 30 mm, 70 mm, 110 mm a 150 mm



Obr. 6: Kondenzace vodní páry u některých variant detailu s přidanou tepelnou izolací protaženou 1 m pod terén (Area [3]): bez zateplení, 30 mm, 70 mm, 110 mm a 150 mm



Obr. 7: Kondenzace vodní páry u některých variant detailu s přidanou tepelnou izolací protaženou 1 m od objektu rovnoběžně s terénem (Area [3]): bez zateplení, 30 mm, 70 mm, 110 mm a 150 mm

Na výše uvedených obrázcích (obr. 2 až obr. 7) jsou znázorněny: porovnání průběhů teplotních polí, rozložení relativních vlhkostí a kondenzace vodní páry v jednotlivých variantách detailu. Pro názornost zde byly z grafických výstupů vybrány varianty bez zateplení, s tloušťkou tepelné izolace 30 mm, 70 mm, 110 mm a 150 mm (uvedeno v obr. 2 až obr. 7).

5 ZÁVĚR

V tomto příspěvku je řešeno tepelně-technické posouzení detailu suterénní části u částečně podsklepeného panelového objektu konstrukční soustavy typu T 06-B Prefa Olomouc. Posuzovaný detail se skládá z betonového základového pásu, obvodové stěnové konstrukce přilehlé k zemině, podlahové konstrukce 1.PP a 1.NP (včetně stropní konstrukce 1.PP). Na vnější stranu jeho stěnové obvodové konstrukce je přidávána tepelná izolace o tloušťce 0 mm až 150 mm. Tepelná izolace je buď protažena 1 m pod terén (V1), nebo 1 m od objektu rovnoběžně s terénem (V2) jako tepelně izolovaný chodník.

Při porovnání průběhů vypočtených teplotních faktorů $f_{R,si}$ u varianty V1 s variantou V2 vyplývá, že jsou tyto průběhy vypočtených teplotních faktorů $f_{R,si}$ u obou variant V1 a V2 stejné. Při podrobnějším zkoumání hodnot vypočtených množství zkondenzované a vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce $M_{c,a}$ a $M_{ev,a}$ je patrné, že se zvětšující se přidanou tloušťkou tepelné izolace se vlhkostní vlastnosti konstrukce tohoto celého vymodelovaného detailu postupně zlepšují, avšak v žádné z variant nedojde k úplnému vypaření ročního množství zkondenzované vlhkosti z konstrukce. Při porovnání hodnot množství zkondenzované a vypařitelné vodní páry $M_{c,a}$ a $M_{ev,a}$ u varianty V1 s variantou V2 vyplývá, že jejich rozdíly nejsou příliš velké a varianta V2 vychází o něco málo lépe než varianta V1.

Protože toto zlepšení tepelně-technických parametrů konstrukcí není lineární a nejvýraznější rozdíly jsou patrné ze začátku přidávání tepelné izolace, měly by být při volení tloušťky přidávané tepelné izolace také brány v úvahu další faktory, jako je cena materiálu, výsledná tloušťka konstrukce a celková efektivita návrhu konstrukcí tak, aby výsledné parametry konstrukce, jako je součinitel prostupu tepla U_k a teplotní faktor $f_{R,si}$ (dle ČSN 73 0540-3 [1]), byly voleny hospodárně a efektivně.

Zde tepelně-technicky posuzované konstrukce vybraných detailů jsou modelovány v počítačovém programu Teplo [4] a Area [3], které zohledňují jen vedení tepla a přestupy tepla na površích – ve vlhkostní oblasti uvažují jen s difúzí vodní páry podle Glaserova kondenzačního modelu a neuvažují s kapilárním vztlínáním vlhkosti. K tepelně-technickému posuzování, hlavně vlhkostní oblasti, dnes existují přesnější počítačové programy.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0540–2 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha : Český normalizační institut, 2007, 44 s.
- [2] Státní fond rozvoje bydlení. (2009). PanelSCAN 2009 - Výtah ze závěrečné zprávy Studie stavu bytového fondu panelové zástavby v ČR. Retrieved August 08, 2011, from <http://www.sfrb.cz/file/104/>.
- [3] SVOBODA, Z.: *Area 2007* [počítačový program].
- [4] SVOBODA, Z.: *Teplo 2007* [počítačový program].

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Pavol Ďurica, CSc., Katedra pozemního stavitelství a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Pavel ŠMÍRA¹, Tereza MURÍNOVÁ², Jan ŠTĚPÁNEK³

**VYUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉHO PŘÍSTROJE PUNDIT PRO ZJIŠŤOVÁNÍ STAVU DŘEVA
V KONSTRUKCÍCH**

**THE USE OF ULTRASONIC INSTRUMENT PUNDIT FOR DETECTING THE STATE
OF WOOD IN STRUCTURES**

Abstrakt

Stanovení mechanických vlastností dřevěných konstrukcí je nezbytným podkladem pro návrh a realizaci účinné sanace. Z tohoto důvodu jsou prováděny stavebně technické průzkumy. V tomto příspěvku jsou popsány možnosti konkrétního využití ultrazvukového přístroje PUNDIT LAB pro zkoušení dřevěných stavebních konstrukcí in situ. Zároveň byla ověřována vhodnost této nedestruktivní metody pro diagnostiku zabudovaných prvků konstrukčních rozměrů.

Klíčová slova

Ultrazvuk, nedestruktivní zkoušení, diagnostika dřevěných prvků.

Abstract

Determination of mechanical properties of timber structures is necessary for the design and implementation of effective rehabilitation. For this reason, the technical building surveys are performed. This paper describes the possibilities of practical use of ultrasonic instrument PUNDIT LAB for testing of timber construction in situ. They were also verifying the suitability of this non-destructive method for the diagnosis of built-in elements with structural dimensions.

Keywords

Ultra sound, nondestructive testing, diagnostics of wooden elements.

1 ÚVOD

Rozvoj využití nedestruktivních zkušebních metod má v současné době vzestupnou tendenci. Výhodou nedestruktivních metod je minimalizace zásahu do vyšetřované konstrukce nebo prvku. V případě, že nedojde k žádnému poškození sledovaného objektu, hovoříme o tzv. čistých metodách. U ostatních nedestruktivních metod dochází pouze k lokálnímu narušení.

Mezi čistě nedestruktivní zkoušky jsou řazeny elektroakustické metody, které zahrnují kladívkovou metodu, metodu tlumeného rázu, vibrační metody, zkoušení pomocí ultrazvuku apod. Přístroje pracující na bázi šíření ultrazvukových vln jsou používány běžně na zkoušení oceli a betonu. Možná je však i jejich aplikace na materiály značně nehomogenní, tedy i na dřevo.

¹ Ing. Pavel Šmíra, Thermo sanace, s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, tel.: (+420) 602 714 382 e-mail: pavel@smira-print.cz.

² Ing. Tereza Murínová, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 322 e-mail: tereza.murinova@vsb.cz.

³ Ing. Jan Štěpánek, Thermo sanace, s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, tel.: (+420) 604 861 591, e-mail: stepanek@thermosanace.eu.

2 PŘÍSTROJE PRACUJÍCÍ NA BÁZI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKOVÝCH VLN

Pro nedestruktivní hodnocení dřevěných konstrukcí je zde popsáno využití ultrazvukové impulzové metody, jejíž výhodou je možnost několikanásobného stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu v daném prostředí v témže místě. Tímto postupem je možné získat značné množství dat pro statistické hodnocení získaných výsledků, případně je možné danou veličinu sledovat v čase.

2.1 Princip metody

U dřevěných konstrukcí se nejčastěji používá systém produkující impulzové vlnění se dvěma sondami, jehož cílem je stanovení rychlosti vlnění v daném prostředí. Princip těchto zkoušek spočívá v tvorbě krátkých svazků tlumených mechanických pulzů, které jsou prostřednictvím jedné sondy – budiče, vnášeny do materiálu, a následně druhou sondou – snímačem, je vlnění prošlé zkoumanou hmotou zaznamenáno.

Rychlost ultrazvukového vlnění je ovlivněna mnoha faktory zejména hustotou materiálu, jeho poškozením, nehomogenitami (dutiny, trhliny, materiály s jinou hustotou apod.), vlhkostí dřeva, teplotou prostředí, atd. [3,4] Z tohoto důvodu je pro hodnocení dřevěných konstrukcí klíčové zejména stanovení rychlosti vlnění pomocí ultrazvukové impulzové průchodové metody [3,6]. Pomocí zjištěné vzdálenosti mezi sondami (měřicí základny) a doby průchodu vlnění je možné určit hledanou rychlost šíření ultrazvukového impulsu V dle vztahu z ČSN EN 12504 – 4:

$$V = \frac{L}{T} \text{ [km.s}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

kde:

L [mm] - je délka měřicí základny (vzdálenost středů dotkových ploch obou sond),

T [μs] - je čas, který uplyne při průběhu impulsu měřicí základnou [2].

Pokud je známa hustota zkoumaného materiálu, je možné vypočítat dynamický modul pružnosti E_{cu} podle vztahu z ČSN 73 1371:

$$E_{cu} = \rho \cdot v_L \cdot \frac{1}{k^2} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

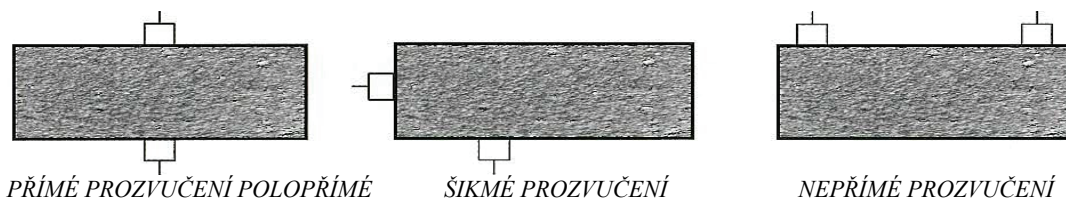
kde:

v_L [km.s⁻¹]- je impulzová rychlost podélného ultrazvukového vlnění,

ρ [kg.m⁻³] - je objemová hmotnost zkoušeného materiálu,

k - je součinitel rozměrnosti vlnění (např. pro jednorozměrné prostředí je roven 1) [1].

Pro stavební materiály se užívají frekvence vlnění v rozsahu 20 kHz až 500 kHz, které se volí v závislosti na charakteristikách zkoušeného prostředí a rozměrnosti zkoumaného prvku [3,6]. Kromě rychlosti průchodu vlnění daným materiálem může být u přístrojů k tomu určených zaznamenáván také obraz prošlého vlnění [3].



Obr. 1: Umístění sond [6]

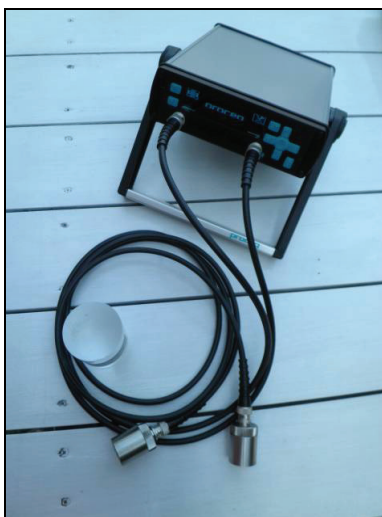
Přímé prozvučení je voleno pro stanovení rychlosti šíření impulsů v dřevěných prvcích nejčastěji, jelikož ve směru kolmém na plochu budiče je energie pulsů maximální. U prozvučení polopřímého jsou sondy taktéž na protilehlých stranách vyšetřovaného prvku, ovšem neleží

na téže normále, což se využívá především u špatně přístupných konstrukcí. Rychlost pulsů v místech s nepřístupnými protilehlými povrchy je stanovována polopřímým – šikmým prozvučením, u nějž jsou sondy přikládány na přilehlé strany. Ke zjišťování kvality povrchu nebo u prvků s pouze jednou přístupnou plochou se aplikuje nepřímé prozvučování, kdy jsou sondy umístěny na téže straně. Místa, kde budou přikládány sondy, musí být jednoznačně označena [2, 6].

2.2 PUNDIT LAB

Přístroj PUNDIT LAB (obr. 2), pracující na bázi šíření ultrazvukových vln, je ve stavební praxi často používán, zejména pro hodnocení betonových a ocelových konstrukcí. V současné době se aplikuje také při diagnostických prohlídkách dřevěných prvků. Nastavením parametrů je možné zvolit frekvenci vlnění, jež může nabývat hodnot 24, 37, 54, 82, 150, 200, 220, 500 kHz, a variabilní průrazné napětí s hodnotami 125, 250, 350, 500 V. Pomocí uvedené elektroakustické metody je možno provádět:

- měření rychlosti šíření ultrazvukového impulsu;
- měření vzdálenosti mezi sondami;
- hodnocení stejnoměrnosti;
- měření povrchové rychlosti šíření ultrazvukového impulsu;
- měření hloubky trhliny. [6]



Obr. 2: Přístroj PUNDIT LAB

Základní příprava se provádí u každého druhu aplikace. Vzdálenost mezi dvěma sondami by měla být změřena s maximální přesností. Dále je důležité zajistit adekvátní akustické spojení mezi příložitelnými sondami a povrchem vzorku během testu [2]. Nejčastěji jsou prováděny základní měření, skládající se pouze z jednoho měření bez potřeby přemístění sond. Zde existují dva základní druhy zkoušení závisící na parametru, který je známý. Jedná se o vzdálenost sond, nebo o rychlost šíření ultrazvukového impulsu [6].

Objeví – li se během prováděného měření na displeji přístroje chybové hlášení, znamená to, že nebyl přijat žádný stabilní signál. Získání spolehlivých výsledků je podle návodu výrobce zaručeno příjmem stabilního signálu alespoň 75 %. Minimální vzdálenost sond musí být rovna nebo větší než vyslaná vlnová délka. V ostatních případech musí být zajištěno snížení pulsní rychlosti [6].

Jak již bylo řečeno, původně byl tento přístroj určen pro provádění diagnostických prohlídek betonových a železobetonových konstrukcí. Dřevo, jako materiál značně nehomogenní, anizotropní a obvykle povrchově značně poškozený, vyžaduje speciální kalibraci přístrojů a modifikaci již používaných zkušebních postupů.

3 DIAGNOSTIKA DŘEVĚNÝCH PRVKŮ POMOCÍ ULTRAZVUKU

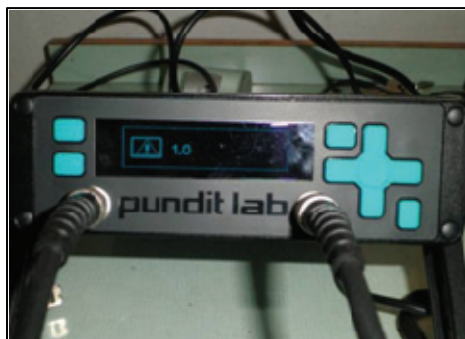
Mezi obvyklé metody pro hodnocení dřevěných konstrukcí náleží vizuální prohlídka, jež zaznamenává viditelná poškození dřevokazným hmyzem a houbami, mechanická poškození apod. Určení vnitřního poškození dřevěných prvků je však tímto způsobem nemožné. Z tohoto důvodu je nutné použít některé z dalších metod. Princip diagnostických metod využívajících ultrazvukové vlnění spočívá ve stanovení rychlosti průchodu vlny prvkem, která je závislá na hustotě dřeva. V případech výskytu defektu se čas průchodu vln prodlužuje, čímž lze zjistit jednotlivá poškození, suky, trhliny atd. [1,2,3,5]. Využití přístrojů pracujících na bázi ultrazvuku je výhodné zejména kvůli svému nedestruktivnímu charakteru a poměrně nízkým prováděcím nákladům.

Pro získání dostatečně přesných výsledků je nutné použít vhodnou vodivou látku, která zajistí vodivý kontakt mezi sondou a zkoumaným materiálem [2]. Tato hmota ve formě gelů, nebo past se aplikuje na povrch sond i dřeva. Při kalibraci přístroje je nutné použít stejnou vodivou látku jako u prováděného měření. U některých prvků je nutné také pro zlepšení příjmu stabilního signálu provádět úpravy jeho povrchu například hoblováním, či broušením [2,3]. V tomto případě dochází k odstranění povrchových vrstev, což především u historických konstrukcí není preferováno.



Obr. 3 a obr. 4: Kalibrace přístroje a laboratorní měření s přístrojem PUNDIT

Před zahájením měření je nutné přesně zjistit rozměry zkoumaného prvku, z důvodu určení vzdálenosti sond, a vlhkost dřeva. Musí být také provedena kalibrace přístroje pro zvolené průrazné napětí, frekvenci ultrazvukového vlnění a použitou vodivou látku. Samotné měření se skládá z přiložení sond opatřených vodivým přípravkem na povrch zkoumaného materiálu. Poté je stanoven čas průchodu vlnění a ze vzdálenosti sond určena hledaná rychlost pulsů. Jestliže je prováděna diagnostika ultrazvukovým testováním u větších nebo silně degradovaných profilů, přesnost měření se snižuje, případně není možné vůbec odečíst stabilní signál. Z tohoto důvodu je vhodné pro poškozené konstrukční prvky volit průrazné napětí maximální. Tuto hodnotu lze u přístroje PUNDIT nastavit pouze na 500 V. Frekvence je pro prováděné měření určena na základě výsledků zkoušek konstrukčních profilů nového dřeva pomocí ultrazvuku, kdy byly použity frekvence 54, 82 a 150 kHz. Frekvence 150 kHz se jeví jako optimální, jelikož vykazovala nejstabilnější signál [6].



Obr. 5: Chybová obrazovka u nestabilního příjmu signálu

V případech, kdy není možné získat stabilní signál ani u konstrukcí s upraveným povrchem, je možné postupovat dvěma způsoby. V prvním případě je možné prohlásit, že prvek je již natolik poškozený, není jej možné dále využít a musí být vyměněn. Jestliže je ovšem nutné provést statické zhodnocení konstrukce, například z důvodu určení zbytkové únosnosti prvku, musí být hodnoty impulzové rychlosti a dynamického modulu pružnosti stanoveny na odebraných vzorcích. Tato varianta zkoušení dřevěného materiálu se řadí ke zkouškám destruktivním.

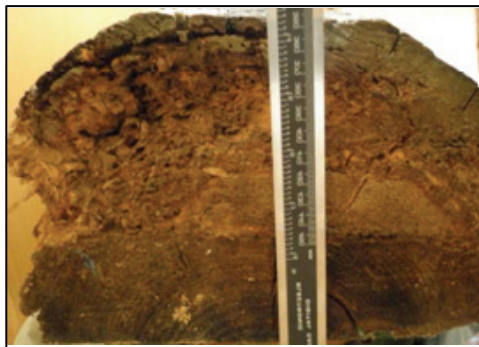
V souvislosti se stanovením dynamického modulu pružnosti pomocí přístrojů pracujících na bázi šíření ultrazvukových vln je nutné pro výpočet dle vzorce (2) stanovit hustotu dřeva. Tato zkouška se provádí na vzorcích odebraných z konstrukce a řadí se proto ke zkušebním metodám destruktivním. Hustota může být také přibližně určena z výsledků semidestruktivní zkoušky PILODYN a vlhkosti pomocí experimentálně odvozených rovnic.

4 HODNOCENÍ VÝSTUPŮ MĚŘENÍ

Základním výstupem měření je čas průchodu ultrazvukového vlnění a z něj odvozená impulsová rychlost. U prvků se známou hustotou dřeva je možné také vypočítat dynamický modul pružnosti zkoumaného materiálu.

Měření rychlosti vlnění je ovlivněno mnoha faktory, přičemž zásadní snížení je způsobeno výskytem defektů ve formě trhlin, suků a poškození způsobených dřevokazným hmyzem a houbami, působením teploty, vlhkosti, UV záření apod. Právě existence zmíněných vad a degradací je zjišťována pomocí prováděného měření, což vede k odhadu míry poškození zkoušeného dřevěného prvku. Změnu rychlosti šíření ultrazvukových impulsů způsobuje i vlhkost, s jejíž rostoucí hodnotou klesá. K dalším méně významným faktorům je řazena teplota a způsob povrchové ochrany dřeva.

Významný vliv má také orientace směru měření k dřevěným vláknům. Obecně se uvádí, že hodnota přenosové rychlosti rovnoběžně s vlákny se v závislosti na druhu dřeviny pohybuje mezi 3500 a 5000 m.s⁻¹ a kolmo na vlákna mezi 1000 a 1500 m.s⁻¹. Poměr rychlostí šíření mezi radiálním a tangenciálním směrem je 5:3,95 [4]. Jestliže je naměřená hodnota menší, pak zkoumaný dřevěný prvek je označen jako degradovaný. Hodnocení stupně poškození probíhá na základě velikosti poklesu rychlosti vlnění. U zabudovaných stavebních prvků vyrobených ze dřeva je impulzová rychlost, vzhledem k jejich umístění, stanovována nejčastěji ve směrech příčných [3,4].



Obr. 6 a obr. 7: Vzorky odebrané z původních konstrukčních profilů

Při praktickém měření bylo použito 10 vzorků odebraných z konstrukčních profilů stropních a střešních konstrukcí. Jednotlivé prvky byly degradovány lokálně i v celém objemu dřevokazným hmyzem, houbami, trhlinami apod. Byly stanoveny rozměry vzorku, jež sloužily jako údaje pro určení vzdálenosti sond. Vodivá látka byla aplikována ve formě indiferentního vodivého gelu i pasty s kaolinitickým glycerinem, v některých případech byl povrch zkoušeného prvku ohoblován. Profily vzorků jsou zdokumentovány (obr. 6 a 7).

Zkoušky byly prováděny s nastavenou frekvencí vlnění 150 kHz a průrazným napětím 500 V zejména ve směrech kolmých k podélnému rozměru prvku. Takovou situaci lze očekávat i při měření in situ. Rychlost vlnění byla stanovována v několika místech vzorku. Vzdálenosti sond se

pohybovaly od 75 mm do 270 mm. Měřením bylo možné určit rychlost šíření ultrazvukových impulsů pouze pro menší vzdálenosti sond (přibližně do 200 mm), a to pouze pro povrchově nedegradované prvky, u nichž se zároveň nevyskytují žádné výrazné poškození a dutiny. Změřeny byly hodnoty rychlosti pulsů v příčných směrech prvků mezi 620 a 960 m.s⁻¹. V ostatních případech nebylo možné ani s upraveným povrchem odečíst stabilní signál (obr. 5), což se týkalo přibližně 80 % měření. Komplexní informaci o degradaci zkoušených prvků tak nebylo možné získat.

Interpretace výsledků změřené rychlosti vlnění je obtížná, jelikož ji ovlivňují pro dřevo typické nehomogenity a strukturní vady. Z tohoto důvodu je třeba měření ultrazvukem doplnit také jinými vhodnými metodami, například vizuálním hodnocením nebo měřením s přístroji PILODYN, RESISTOGRAPH a FRACTOMETR [1].

5 ZÁVĚR

Dřevěné konstrukční prvky se nacházejí u většiny stavebních objektů a pro hodnocení jejich stavu jsou užívány zejména metody vizuální. Pro lokalizaci vnitřních poškozených částí se využívají přístroje pracující na bázi šíření ultrazvukových vln. Určení charakteru degradace ultrazvukovými přístroji je ovšem obtížné, jelikož hledaná impulsová rychlost je ovlivňována mnoha faktory.

U zkoušených prvků odebraných z reálných konstrukcí bylo zjištěno, že u větších rozměrů a povrchově poškozených vzorků nebylo možné stanovit impulzovou rychlost. Příčinou je nestabilní signál. Ke zkvalitnění výstupů měření by mohlo vést především zvýšení průrazného napětí, které je u přístroje PUNDIT LAB limitováno hodnotou 500 V. Možná je také změna frekvence sond.

Užití ultrazvukových metod, jako jediného způsobu vyšetření vad a poruch, se u stávajících dřevěných konstrukcí jeví jako nevhodné. Vždy je třeba je kombinovat s dalšími diagnostickými metodami.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu
- [2] ČSN EN 12504-4 Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu
- [3] KLOIBER, M. & KOTLÍNOVÁ M. Nedestruktivní defektoskopické přístroje používané při provádění stavebně technických průzkumů historických dřevěných konstrukcí. *Stavební ročenka*. 2005, XV. Nr. 1, pp. 39-43. ISSN 0232-0819.
- [4] KLOIBER, M. & KOTLÍNOVÁ M. Vliv orientace a šířky letokruhů na šíření ultrazvuku ve struktuře dřeva. *Workshop NDT 2005, Non-destructive Testing in Engineering Practice*. 2005, Brno, pp. 53-59. ISBN 80-7204-420-6.
- [5] SCHMID, P. a kol. *Základy zkušebnictví*. 2nd ed. Brno: CERM, 2004. 112 pp. ISBN 80-214-2584-9.
- [6] User manual for PUNDIT LAB, Schwerzenbach: PROCEQ SA, 2010

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ivan Makovíny, CSc., Banská Štiavnica.

Ing. Jan Vaněrek, Ph.D., Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Jan ŠTĚPÁNEK¹, Pavel ŠMÍRA²

**VYUŽITÍ TERMOSANACE PŘI ZÁCHRANĚ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ BÝVALÉHO
MLÝNA V DOLNÍM NĚMČÍ NAPADENÝCH DŘEVOKAZNÝM HMYZEM**

**UTILIZATION OF HOT AIR SANITATION IN SAVING WOODEN STRUCTURES
OF THE WOODWORM INFESTED FORMER WATER MILL IN DOLNI NEMCI**

Abstrakt

Termosanace je v České republice rozvíjející se metodou likvidace aktivně působícího dřevokazného hmyzu. Příklad termosanace dřevěných konstrukcí bývalého mlýna v obci Dolní Němčí představuje praktickou ukázkou horkovzdušné sanace interiérových prvků i konstrukcí krovu objektu vedeného jako kulturní památka České republiky.

Klíčová slova

Termosanace, likvidace, dřevokazný hmyz, památka

Abstract

Thermal sanitation - hot air sanitation - is a developing elimination method of actively working wood-destroying insects in the Czech Republic. The example of the thermal sanitation of wooden structures of the former mill in Dolní Němčí gives a practical demonstration of hot-air sanitation of interior elements and roof timber of the building registered as a cultural monument of the Czech Republic.

Keywords

Thermal sanitation, elimination, wood-destroying insect, monument

1 ÚVOD

Objekt bývalého mlýna je kulturní památkou České republiky, představující ojediněle zachovaný typ větší venkovské usedlosti. Objekt si uchoval velkou část prvků dřívějšího způsobu výstavby. Trámové stropy v interiéru nesou datování z let 1763, 1838 a 1844. Po r. 1914, kdy zcela shořel krov mlýna a některé interiéry, byl objekt stavebně upravován, přičemž byl tehdy vztyčen současný krov. V interiéru bývalé obytné části mlýna je instalována expozice lidových řemesel a bydlení našich předků v podobném typu stavení, součástí areálu je restaurace a stodola. Metoda termosanace byla pro objekt bývalého mlýna čp. 105 v obci Dolní Němčí v okr. Uherské Hradiště vybrána investorem akce na základě stavebně – technického průzkumu Ing. Michala Kloibera, Ph.D., ze dne 26. ledna 2011. Z výsledků průzkumu vyplývá, že aktivně napadenými dřevěnými konstrukcemi jsou zachovalý trámový strop z konce 18. a počátku 19. století, jeho bedněný prkenný záklop v 1. NP a 2. NP (nadzemní patro) muzejní části (bývalé obytné části) a dřevěný krov nad celým objektem. Bylo zde zjištěno aktivní napadení dřevokazným hmyzem z čeledi červotočovití.

¹ Ing. Jan Štěpánek, Thermo Sanace s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, tel.: (+420) 604 861 591, e-mail: stepanek@thermosanace.eu.

² Ing. Pavel Šmíra, Thermo Sanace s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, tel.: (+420) 602 714 382, e-mail: smira@thermosanace.eu.



Obr. 1: Celkové pohled na sanovaný objekt bývalého mlýna čp. 105 (exteriér a interiér)

Napadeny jsou nejen historické nosné trámy stropů, ale i prkenné podbití a dřevěné exponáty muzea. V případě krovu se místy vyskytuje i napadení tesaříkem krovovým. Aktivita dřevokazného hmyzu se projevuje častým výskytem požerkového prášku a velkým množstvím výletových otvorů.



Obr. 2: Dřevěné součásti expozice napadené aktivním červotočem (požerkový prášek)

Principem likvidace dřevokazného hmyzu horkým vzduchem, je prohřátí všech napadených dřevěných konstrukcí v plném průřezu na teplotu min. 55°C. Při této teplotě dochází k rozpadu bílkovin, z nichž je složeno tělo škůdce ve všech jeho vývojových fázích, čímž dochází k jeho uhynutí. Jedná se však o kompletní ošetření konstrukce v daný okamžik. Metoda však nezajišťuje preventivní ochranu dřevěné konstrukce do budoucna. Z tohoto důvodu je nutno provést včasný preventivní insekticidní nátěr vhodným prostředkem. Metoda termosanace byla zvolena v případě objektu bývalého mlýna čp. 105 v Dolním Němčí z několika důvodů:

- vysoká památková hodnota objektu
- nedestruktivní zásahy do cenných dřevěných konstrukcí a objektu vůbec
- účinnost metody
- finanční nenáročnost oproti jiným metodám likvidace dřevokazného hmyzu
- metoda je ekologická
- rychlost provedení
- v kombinaci s insekticidním nátěrem prevence do budoucna

2 PRAKTICKÉ PROVEDENÍ TERMOSANACE

2.1 Dokumentace a rekognoskace sanovaného objektu

Prohlídkou objektu dne 15. února 2011 byly předem zjišťovány skutečnosti potřebné pro danou technologii – možnosti přístupu techniky, navezení materiálu, elektro přípojka apod. Majitel objektu byl upozorněn na nutnost vyklizení interiéru objektu, který je využíván pro expoziční účely, od veškerých prvků, které neodolávají teplotám vyšším než 80°C.

2.2 Přípravné práce termosanace

Vlastní realizace termosanace byla zahájena dne 16. června 2011. Vzhledem k rozsahu sanovaných a ošetřovaných prostor byly veškeré přípravné práce rozděleny do 2 etap příprav a nahřívání:

- 1. a 2. NP interiérů s dubovými trámovými stropy a podbitím
- Krovy nad objektem

2.3 Montáž horkovzdušného potrubí a agregátů

V další etapě prací byla provedena montáž rozvodů horkovzdušného hliníkového potrubí pro první fázi nahřívání a následovně pro druhou fázi. Těmto etapám bylo podřízeno i postupné izolování a příprava interiérů, stejně jako rozmístění horkovzdušných agregátů (2 x Nolting 4500 m³ horkého vzduchu za hodinu pro 1.NP a Nolting 7500 m³/h pro 2.NP)

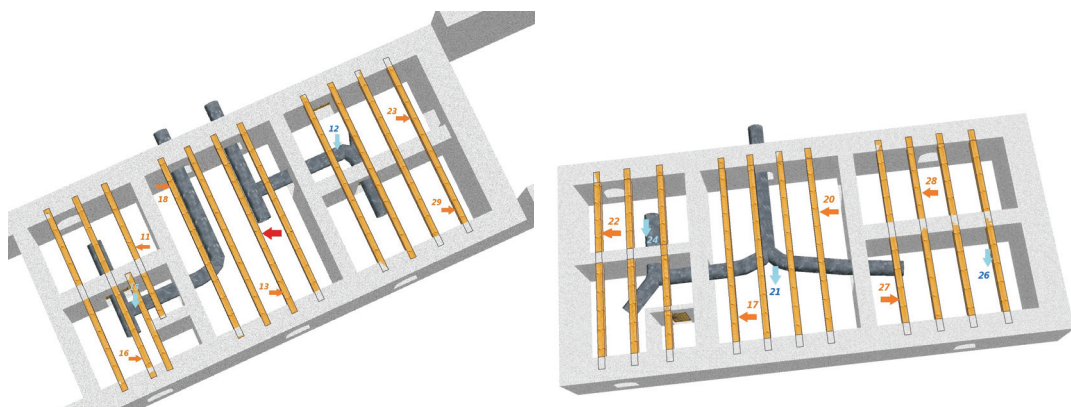


Obr. 3: Horkovzdušné potrubí rozmístěné v interiéru 1.NP a vně objektu

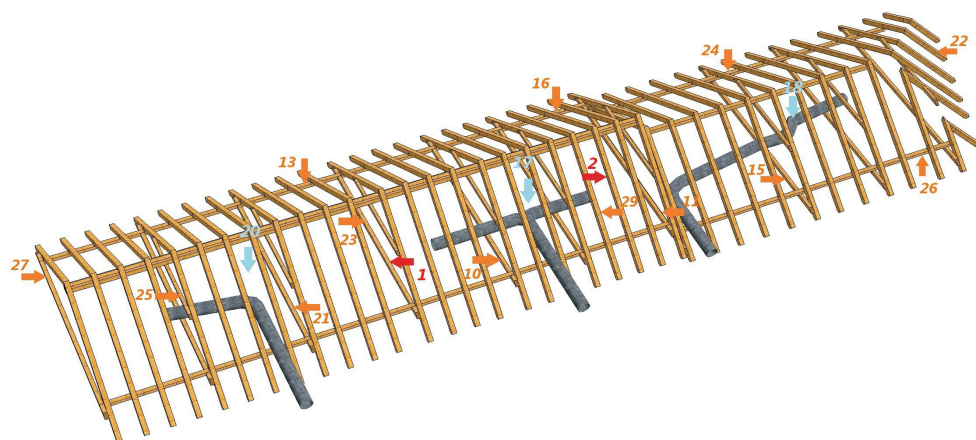
2.4 Termočlánky a tenzometry

Nejdůležitější součástí příprav termosanace je rozmístění a instalace přesných elektronických teplotních čidel (tzv. termočidel) pro aktuální a online sledování změn teploty v sanovaném prostoru a materiálu. Rozmístěno bylo pro 1. etapu nahřívání celkem 6 ks termočidel do masivu dřevěných trámů v 1.NP a 5 ks ve 2.NP a 5 ks pro měření teploty vzduchu v 1. NP a ve 2.NP. Součástí příprav byla i instalace elektronického tenzometru pro měření rozevírání stávajících trhlin (viz. Obr. 4). Pro 2. etapu nahřívání bylo rozmístěno celkem 13 termočidel do masivu dřevěných trámů a 3 pro měření teploty vzduchu v prostoru podkrovní. Součástí příprav byla i instalace elektronických tenzometrů pro měření rozevírání stávajících trhlin (viz. Obr. 5).

Pro zamezení ovlivnění výsledků teplot termočidel ve dřevě okolním horkým vzduchem, byly jejich obvody pečlivě zaizolovány. Termočidla byla napojena soustavou kabelů k PC, umístěnému mimo sanovaný prostor, odkud byl proces sledován. Využití přesných elektronických měřidel dává investorovi jistotu korektních výsledků termosanace.



Obr. 4: 3D znázornění situace v 1.NP (vlevo) a ve 2.NP (vpravo) – oranžově jsou vyznačena termočidla umístěná v masivu dřevěných konstrukcí, modře měřící teplotu vzduchu a červeně umístění tenzometru



Obr. 5: 3D znázornění situace krovu celého objektu (pohled od východu) – oranžově jsou vyznačena termočidla umístěná v masivu dřevěných konstrukcí, modře měřící teplotu vzduchu a červeně umístění tenzometrů.



Obr. 6: Termočidlo zabudované do napadených dřevěných konstrukcí. V ústí měřidel do dřeva je nainstalována tepelná izolace pro zamezení ovlivnění výsledků měření horkým vzduchem vnějšího prostředí. Tenzometr (vlevo) byl instalován do staršího stropního trámu se stávající starší trhlinou.

2.5 Výsledky termosanace obou etap

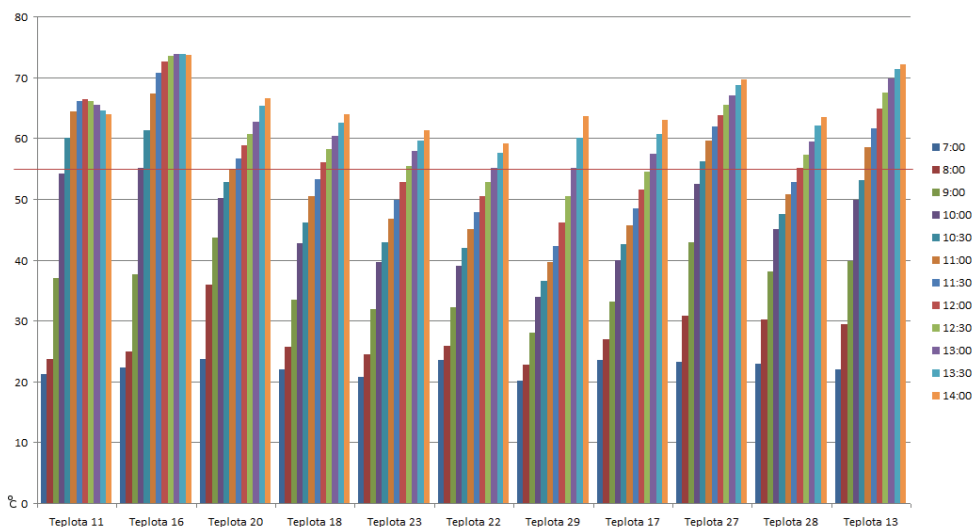
Níže uvedené tabulky a grafy dokládají průběh nahřívání sanovaného prostoru s trámovými a stropy a dosažení požadovaných teplot ve všech místech termosanace pro obě etapy nahřívání.

A) 1. etapa termosanace: 1.NP a 2.NP

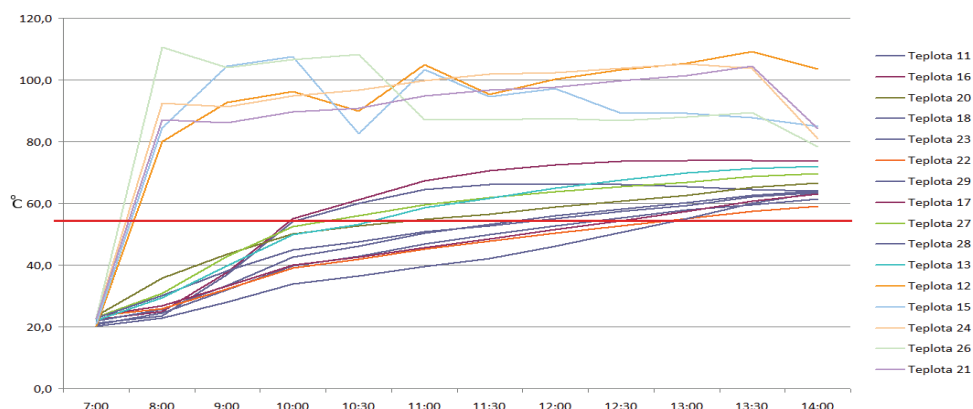
Tab. 1: Tabulka hodnot teplot naměřených pomocí termočidel

°C	7:00	8:00	9:00	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:15	14:30	15:00	MIN	MAX
Teplota 20	23,6	35,9	43,6	50,2	52,7	54,8	56,6	58,8	60,7	62,7	65,3	66,5	65,9	65,1	63,6	23,5	66,7
Teplota 22	23,6	25,8	32,2	39,0	41,9	45,1	47,9	50,4	52,7	55,0	57,5	59,2	59,9	60,5	61,0	23,5	61,1
Teplota 17	23,6	26,9	33,1	39,9	42,6	45,7	48,5	51,5	54,5	57,4	60,7	63,0	63,7	64,5	65,2	23,5	65,3
Teplota 27	23,2	30,7	42,9	52,5	56,1	59,5	61,9	63,8	65,4	66,9	68,7	69,6	69,7	69,4	68,5	23,1	69,7
Teplota 28	22,9	30,2	38,1	45,0	47,6	50,7	52,8	55,1	57,3	59,4	62,1	63,5	63,2	62,6	61,1	22,8	63,6
Teplota 11	21,2	23,6	37,0	54,1	60,0	64,4	66,1	66,4	66,1	65,4	64,6	63,9	63,3	62,7	61,5	21,1	66,5
Teplota 16	22,3	24,9	37,6	55,1	61,3	67,2	70,6	72,6	73,5	73,8	73,8	73,7	73,3	73,0	72,1	22,2	73,9
Teplota 18	21,9	25,7	33,4	42,6	46,1	50,4	53,3	56,0	58,2	60,3	62,5	63,9	64,3	64,7	65,0	21,9	65,1
Teplota 23	20,7	24,4	31,9	39,7	42,9	46,7	49,8	52,8	55,3	57,9	59,6	61,4	61,8	61,9	61,4	20,7	62,0
Teplota 29	20,1	22,8	28,0	33,9	36,6	39,6	42,2	46,1	50,5	55,1	60,1	63,6	64,6	65,3	65,8	20,1	65,9
Teplota 13	22,0	29,4	39,7	49,9	53,1	58,5	61,6	64,9	67,5	69,8	71,3	72,0	72,1	72,0	71,6	22,0	72,3
Teplota 12	20,1	80,1	92,8	96,1	90,0	104,9	95,3	100,3	103,2	105,4	109,2	103,6	57,1	50,3	39,0	20,0	110,8
Teplota 15	20,9	84,5	104,4	107,6	82,7	103,3	94,7	97,1	89,3	89,1	87,8	84,9	62,2	55,1	49,9	20,8	110,2
Teplota 24	22,7	92,5	91,2	94,8	96,7	99,7	101,9	102,3	103,8	105,2	103,8	81,0	73,0	68,7	62,0	22,7	105,4
Teplota 26	22,8	110,6	104,0	106,5	108,3	87,1	87,1	87,5	86,9	87,9	89,4	78,5	70,4	66,2	58,7	22,7	119,9
Teplota 21	22,6	87,0	86,0	89,6	90,7	94,8	96,7	97,7	99,8	101,4	104,4	84,2	73,2	68,5	58,3	22,5	104,9

Tabulka č. 1 představuje hodnoty teplot naměřených pomocí online měřících elektronických termočidel. Teplota 11 – 29 představují jednotlivá termočidla. Modře jsou vyznačeny hodnoty teplot získané pomocí termočidel měřících teplotu uvnitř sanovaných dřevěných konstrukcí ve 2.NP, bíle hodnoty teplot měřených uvnitř dřevěných konstrukcí v 1.NP a žlutě hodnoty teplot vzduchu v sanovaném prostoru (světle žlutá 1.NP, tmavší žlutá 2.NP) - (viz. schéma č. 1). Šedé hodnoty představují vývoj teploty na jednotlivých termočidlech po celkovém ukončení 1. etapy termosanace. Červeně zvýrazněné hodnoty dokazují, že na všech měřených místech dřevěných konstrukcí bylo dosaženo teploty 55°C a vyšší po dobu minimálně 1 hodiny a je tedy možno termosanaci označit za úspěšně provedenou.



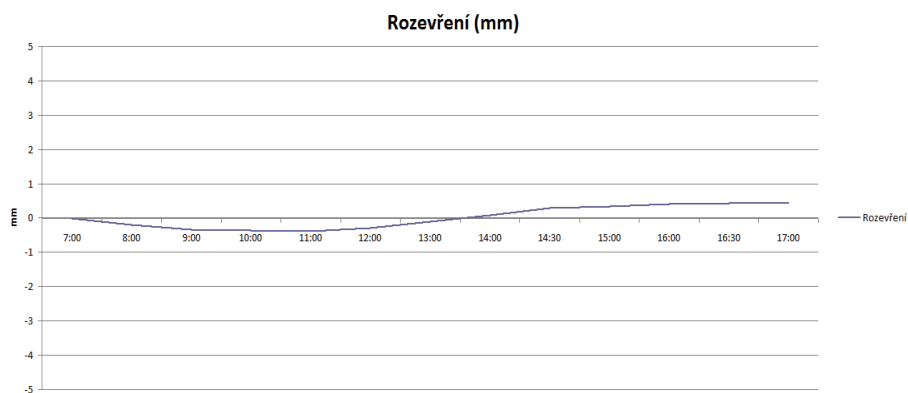
Graf 1: Graf vývoje a dosažení teplot nad 55°C na všech termočidlech uvnitř dřevěných prvků.



Graf 2: Graf vývoje teplot měřených elektronickými termočidly

Tab. 2: Tabulka hodnot rozevření (sevření) stávající trhliny v historickém stropním dubovém trámu

mm	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	14:30	15:00	16:00	16:30	17:00	18:00
Rozevření	0	-0,21	-0,35	-0,36	-0,39	-0,29	-0,09	0,09	0,28	0,34	0,42	0,44	0,45	0,47



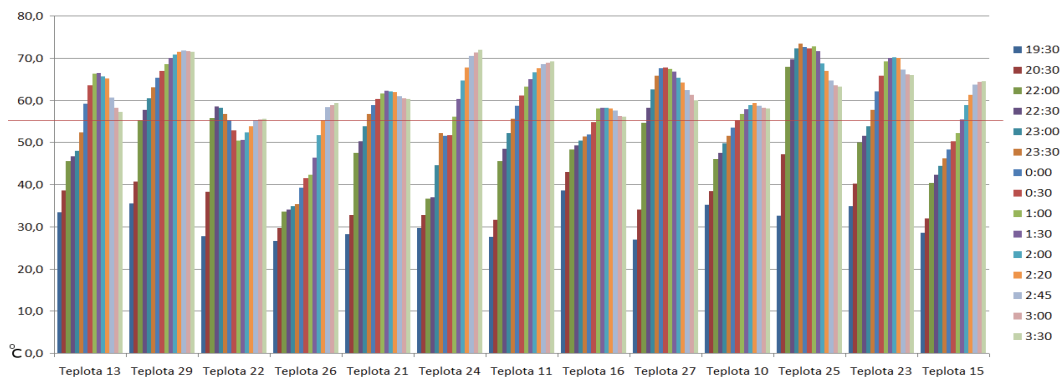
Graf 3: Graf znázorňující průběh sevření a rozevření stávající trhliny v dubovém trámu

B) 2. etapa termosanace: krovy

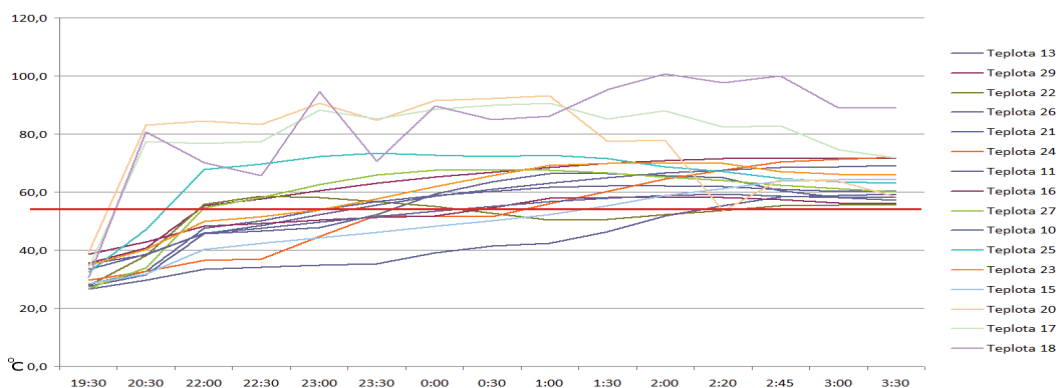
Tab. 3: Tabulka hodnot teplot naměřených pomocí termočidel

°C	19:30	20:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:20	2:45	3:00	3:30	MIN	MAX
Teplota 13	33,4	38,5	45,6	46,6	47,9	52,2	59,2	63,6	66,3	66,4	65,6	65,0	60,5	58,1	57,1	33,4	66,7
Teplota 29	35,5	40,6	55,3	57,6	60,4	63,1	65,2	66,8	68,5	70,0	70,8	71,5	71,7	71,5	71,4	35,5	71,7
Teplota 22	27,7	38,2	55,7	58,5	58,2	56,7	55,0	52,8	50,4	50,6	52,2	53,7	55,3	55,4	55,6	27,6	58,6
Teplota 26	26,6	29,6	33,5	34,0	34,8	35,3	39,1	41,5	42,3	46,3	51,7	55,2	58,4	58,8	59,3	26,4	59,3
Teplota 21	28,2	32,7	47,5	50,2	53,8	56,8	58,8	60,2	61,5	62,2	62,1	61,8	61,0	60,3	60,2	28,1	62,3
Teplota 24	29,6	32,8	36,6	37,0	44,6	52,1	51,4	51,6	56,0	60,2	64,6	67,6	70,4	71,2	72,0	29,5	72,0
Teplota 11	27,5	31,6	45,6	48,5	52,2	55,6	58,6	61,0	63,2	65,0	66,5	67,6	68,5	68,8	69,1	27,4	69,1
Teplota 16	38,6	42,9	48,2	49,2	50,4	51,3	51,9	54,7	58,0	58,1	58,1	58,0	57,4	56,3	56,1	38,5	58,3
Teplota 27	26,9	34,0	54,6	58,1	62,6	65,8	67,5	67,7	67,4	66,7	65,2	64,1	62,3	61,2	60,0	26,9	67,8
Teplota 10	35,2	38,4	45,9	47,5	49,6	51,5	53,4	55,0	56,7	57,9	58,8	59,3	58,6	58,2	58,1	35,2	59,4
Teplota 25	32,5	47,1	67,8	69,7	72,3	73,3	72,6	72,2	72,7	71,5	68,7	67,0	64,6	63,5	63,1	32,5	73,3
Teplota 23	34,8	40,2	49,9	51,5	53,8	57,7	62,0	65,7	69,1	69,9	70,1	69,9	67,2	66,1	65,9	34,8	70,2
Teplota 15	28,5	31,8	40,3	42,3	44,3	46,1	48,3	50,1	52,2	55,4	58,8	61,2	63,7	64,3	64,4	28,4	64,4
Teplota 20	39,3	83,2	84,6	83,4	90,7	84,6	91,5	92,2	93,3	77,3	77,9	53,3	64,5	63,7	58,4	31,2	93,9
Teplota 17	33,9	77,4	76,8	77,5	88,3	85,2	88,5	89,9	90,7	85,3	88,0	82,4	82,9	74,6	71,7	31,9	91,0
Teplota 18	30,6	80,6	70,2	65,8	94,6	70,6	89,7	84,9	86,1	95,3	100,6	97,6	100,0	89,0	88,9	29,8	102,7

Tabulka č. 3 představuje hodnoty teplot naměřených pomocí online měřících elektronických termočidel. Teplota 11 – 29 představují jednotlivá termočidla. Bíle jsou vyznačeny hodnoty teplot získané pomocí termočidel měřících teplotu uvnitř sanovaných dřevěných konstrukcí krovu, žlutě hodnoty teplot vzduchu v sanovaném prostoru - (viz. Schéma č. 2). Červeně zvýrazněné hodnoty dokazují, že na všech měřených místech dřevěných konstrukcí bylo dosaženo teploty 55°C a vyšší po dobu minimálně 1 hodiny a je tedy možno termosanaci označit za úspěšně provedenou.



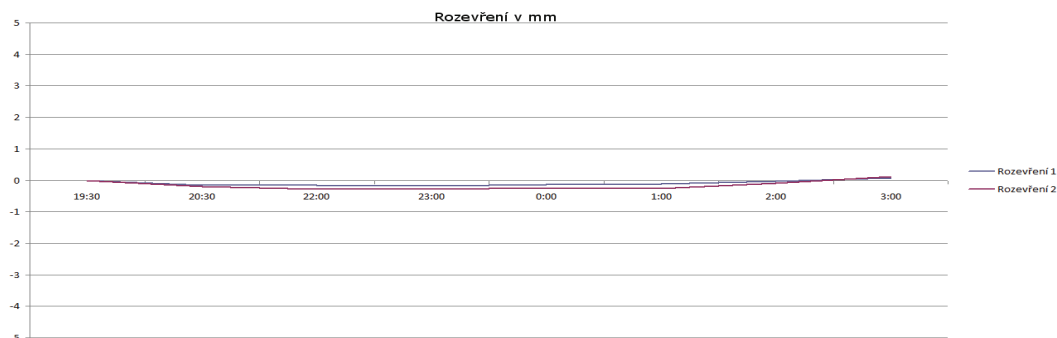
Graf 4: Graf vývoje a dosažení teplot nad 55°C na všech termočidlech uvnitř dřevěných prvků.



Graf 5: Graf vývoje teplot měřených elektronickými termočidly

Tab. 4: Tabulka hodnot rozevření (sevření) stávajících trhlin ve vazné trámu (č.1) a v krokvi (č. 2) v závislosti na čase

mm	19:30	20:30	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00
Rozevření 1	0	-0,16	-0,16	-0,17	-0,14	-0,11	-0,04	0,07
Rozevření 2	0	-0,2	-0,28	-0,27	-0,24	-0,26	-0,09	0,12

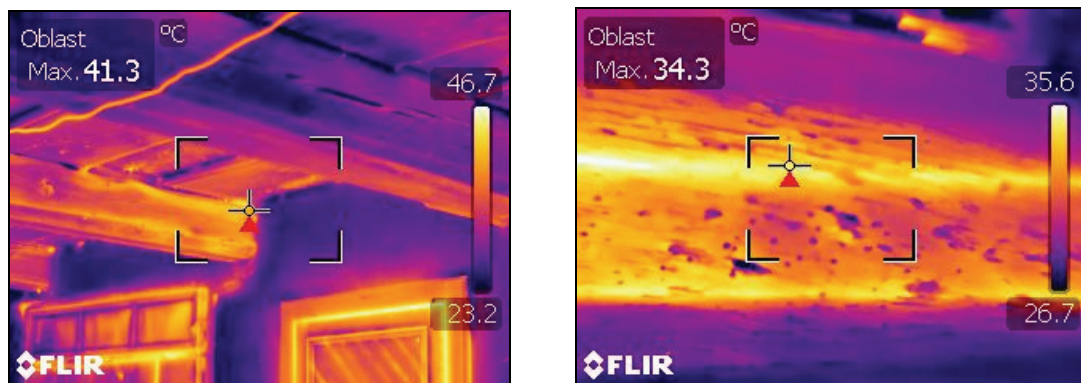


Graf 6: Graf průběhu sevření a rozevření stávajících prasklin ve vazné trámu (č.1) a v krokvi (č. 2)

Z výše uvedené tabulky č. 2 a 4 a grafu č. 3 a 6 vyplývá, že v důsledku zahřívání sanovaných prostor docházelo zprvu k mírnému sevření stávající trhliny v historickém dubovém trámu i prvků krovu, následovalo ustálení a po přeměrování přímého proudu horkého vzduchu se rozevření praskliny vrátilo takřka na svou nulovou výchozí pozici. Po skončení sanace a vypnutí agregátů došlo setrvačností k mírnému konečnému rozevření trhliny o max. 0,47 mm v důsledku přijímání vodních par obsažených ve vzduchu, což nepředstavuje pro historickou konstrukci výraznou závadu, ne větší než je běžný pružný pohyb těchto prvků. Sledování procesu chování dřeva při realizaci termosanace slouží jako doklad její nezávadnosti pro vzhled daných sanovaných prvků.

2.6 Termokamera

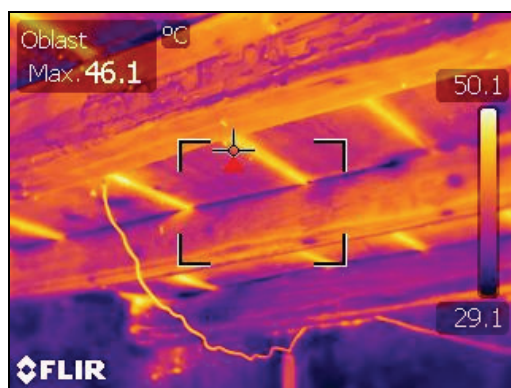
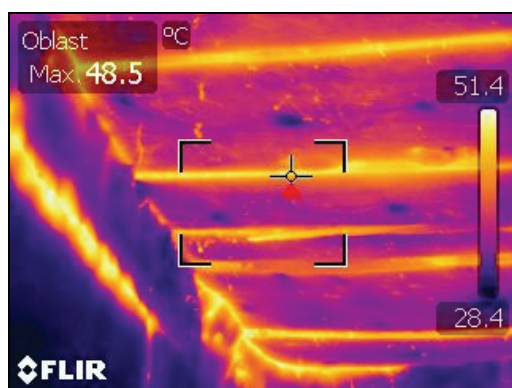
Jako doplňková metoda evidence a sledování teplot byla využita termokamera typ FLIR 425B. S pomocí této technologie byla kontrolována a sledována teplota z vnějších míst sanovaného prostoru s důrazem na sledování teplotních změn konstrukcí navazujících na sanované.



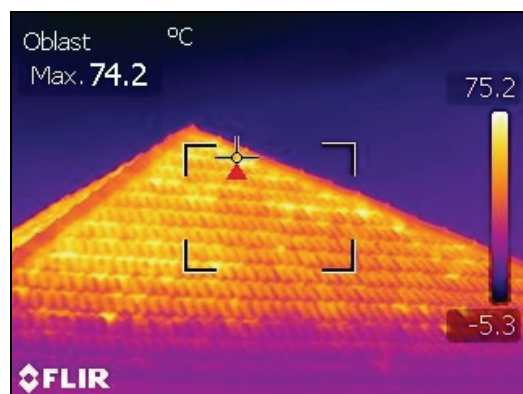
Obr. 7: Využití termokamery při sledování teplotních změn při procesu termosanace – celkový pohled na stropní trámy (vlevo) a detail výletových otvorů na jednom z nich



Obr. 8: Využití termokamery při sledování teplotních změn při procesu termosanace – pohled na deskový záklop



Obr. 9: Využití termokamery při sledování teplotních změn při procesu termosanace – strop na rozhraní sanovaného krovu a stodoly



Obr. 10: Využití termokamery při sledování teplotních změn při procesu termosanace – celkový pohled na krov zvenčí a zevnitř

2.7 Demontáž zařízení a provedení preventivního nátěru

Po skončení vlastní termosanace obou etap bylo nutno přistoupit k demontáži horkovzdušného potrubí, mechanizace a elektronických měřidel.

Jako prevence před případným novým napadením ošetřeného dřeva bylo nutné provést ochranný insekticidní nátěr všech sanovaných dřevěných trámů a podhledů interiéru a konstrukci krovu přípravkem Bochemit Optimal - bezbarvý. Tento širokospektrální koncentrovaný fungicidní a insekticidní vodou ředitelný přípravek je určený pro preventivní ochranu, se zvýšenou odolností proti vymývání ze dřeva.

3 ZÁVĚR

Na základě dosažených hodnot teplot v měřených místech sanovaných konstrukcí uvedených v tabulkách je možno konstatovat úspěšné splnění zadaného úkolu - to znamená, že na všech měřených místech byla dosažena teplota 55°C dostatečně dlouho. Proto můžeme veškerý aktivní dřevokazný hmyz prohlásit za uhynulý.

Provedený preventivní nátěr zajistí ochranu před opětovným napadením ošetřených dřevěných konstrukcí.

Povinností každého majitele památky by však mělo být především předcházení havarijních stavů dřevěných konstrukcí a provádět raději málo nákladné občasné prohlídky konstrukcí než později konstatovat havarijní stav a řešit jej drastickými a nenávratnými metodami s vysokými finančními náklady.

LITERATURA

- [1] Směrnice 1-1,87 WTA vypracoval Dr. G. Grosser Mnichov, A. Weisbrodt Borgholzhausen
- [2] DIN 68 800 část 4 – Ochrana dřeva, listopad 1992
- [3] Leták WTA 1-1 z 06 2008/D Horkovzdušná metoda likvidace živočišných škůdců dřeva v konstrukcích
- [4] [ČSN EN 370] Ochranné prostředky na dřevo. Stanovení ničivého účinku ochranného prostředku zabráňujícímu výletu *Anobium punctatum* (De Geer)
- [5] ŠMÍRA, P. – ŠTĚPÁNEK, J.: Horkovzdušná sanace krovu Horního kostela ve Velké Lhotě u Dačic. In: *Sanace a rekonstrukce staveb 2010*, sborník odborných příspěvků k 32. Konferenci (12. konferenci WTA CZ). Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, 2010, s. 61 – 67
- [6] ŠMÍRA, P. – ŠTĚPÁNEK, J.: Horkovzdušná sanace krovu Horního kostela ve Velké Lhotě u Dačic. In: *Materiály pro stavbu – 3/2011*
- [7] ŠMÍRA, P. – ŠTĚPÁNEK, J.: Termosanace – horkovzdušná sanace dřevokazným hmyzem napadených dřevěných konstrukcí a její praktické využití na příkladě Horního kostela ve Velké Lhotě u Dačic. In: *Sborník k semináři Historické krovy a nové možnosti jejich zachování*. Olomouc: Muzeum umění Olomouc, 2011, s. 2 – 21, ISBN: 978 – 80 – 87427 – 10 – 1
- [8] ŠMÍRA, P. – ŠTĚPÁNEK, J.: Termosanace – likvidace dřevokazného hmyzu horkým vzduchem. In: *Zborník príspevkov k IV. konferenci s medzinárodnou účasťou DREVOSTAVBY*, Žilinská univerzita v Žilíně. Terchová: hotel Boboty, 2011, ISBN: 978 – 80 – 970171 – 9 – 4

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ivan Makovíny, CSc., Banská Štiavnica.

Doc. Ing. Jana Pařílková, CSc., Ústav vodních staveb, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Lucie AUGUSTINKOVÁ¹, Aleš KNÁPEK²

STOPY HISTORICKÝCH TOPENIŠŤ NA ZÁMKU RYCHVALD

TRACES OF THE HISTORICAL FIRE CHAMBERS IN THE CASTLE RYCHVALD

Abstrakt

Na zámku Rychvald se podařilo před památkovou obnovou a během ní zdokumentovat historická topeniště pro kuchyně, s chlebovými pecemi i topeniště vyhřívací a srovnat je se stavem zachyceným souborem plánů F. Střelce z poloviny 30. let 20. století.

Klíčová slova

Nepřímé vytápění, černá kuchyně, zámek, obec Rychvald.

Abstract

In the castle Rychvald was documented before and during the reconstruction the historical fire chambers for kitchen, fire chambers with the ovens and the heaters. They were compared with the plans made by F. Střelec in the half of the 30th years of the 20th century.

Keywords

Indirect heating, black kitchen, castle, village Rychvald.

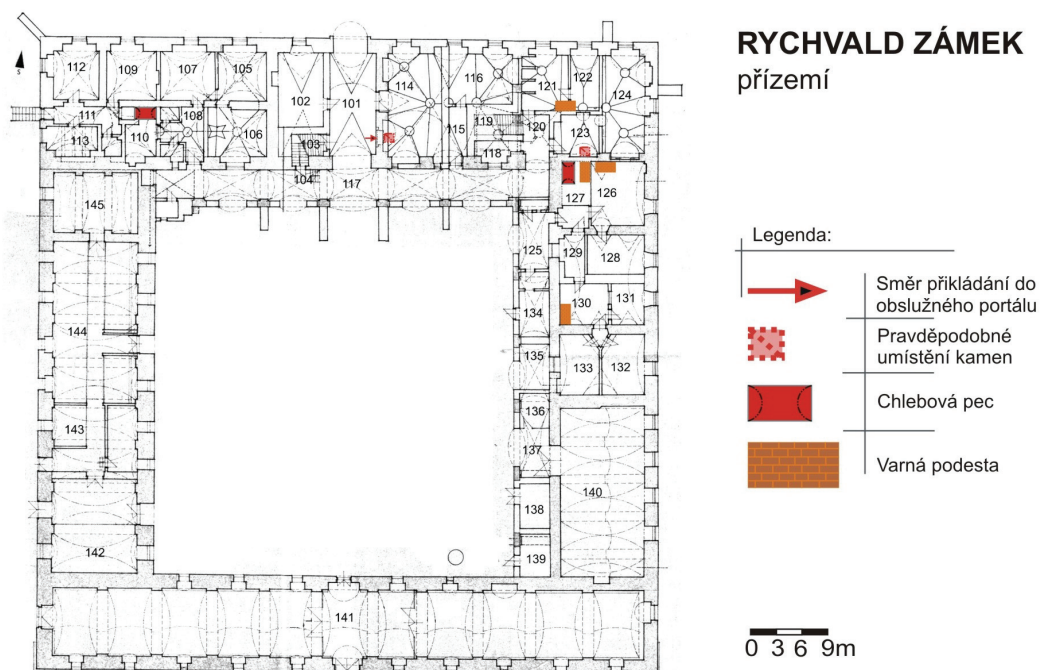
1 ÚVOD

Ve východní části města Rychvald leží zámek (k. ú. Rychvald, č. parc. 6580, čp. 1) renesančního původu. Literaturou (Spurný, 1983, s. 205) byl objekt dosud posuzován jako zámecká novostavba. Při dalším zkoumání (Augustinková, 2011) se ukázalo, že dnešní stav budovy je výsledkem dlouhodobého organického vývoje směřujícího od proměny původního hospodářského dvora na zámek koncem 16. věku, přes barokní členění dispozice a přístavbu arkád, zpětnou proměnu patra severního křídla v sýpku v 60. letech 19. století, až po modernizaci areálu místním stavitelem Ferdinandem Střelcem ve 20. a 30. letech 20. století (Augustinková, 2011).

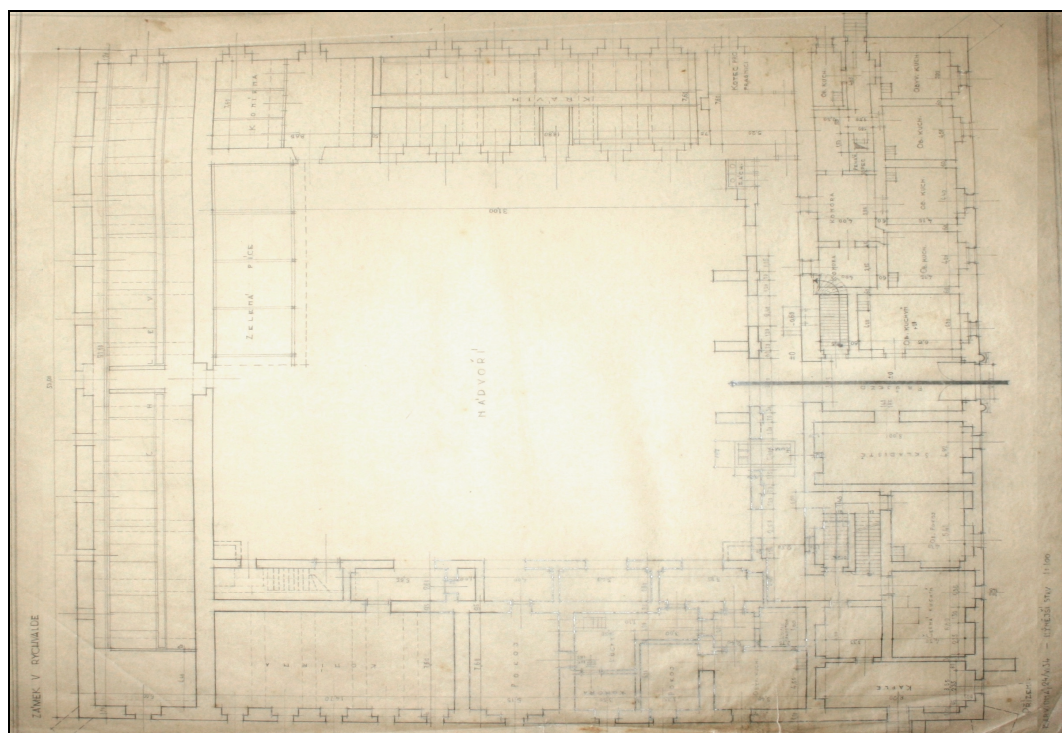
Zámek nebyl v podstatě od konce 80. let 20. století celoplošně využit, určitou dobu chátral a koncem 20. století dostal jiné majitele, kteří se pokusili jej opravit. Po provedení některých prací proces obnovy ustrnul. Teprve současný vlastník začal v roce 2010 s komplexní obnovou. Při památkové obnově objektu byla rozkryta a zdokumentována celá řada nálezových situací, jejichž interpretace významně přispěla k poznání nejen rychvaldského aristokratického sídla, ale i ke znalostem funkčních schémat renesanční architektury v regionu. Jedním z takových dílčích problémů, jejichž řešení mohou významně přispět ke znalostem zvláště o starších fázích vývoje architektury, jsou historická topeniště, zdokumentovaná a vyhodnocená na zámku Rychvald autory této studie.

¹ Mgr. Lucie Augustinková, Katedra architektury, Fakulta stavební, Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava, L. Poděšť 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 364, e-mail: lucie.augustinkova@vsb.cz.

² Mgr. Aleš Knápek, Muzeum Novojičínka, 28. října 12 741 11 Nový Jičín, tel.: (+420) 556 701 156, e-mail: ales_knappek@seznam.cz.



Obr. 1: Rychvald, zámek, půdorys přízemí se zákresem situace topenišť, do plánu L. Plavce zanesli A. Knápek a L. Augustinková



Obr. 2: F. Střelec, půdorys přízemí zámku v Rychvaldě, 1934. SOkA Karviná

2 TOPENIŠTĚ S KUCHYNÍ

Tak bylo objeveno a zdokumentováno poměrně velké množství autentických detailů a konstrukcí, které bývají spojovány s provozem historických kuchyní. Novodobou situaci včetně historických stop stavu v době pokročilého novověku zachycuje soubor plánů přestavby zámku od místního stavitele Ferdinanda Střelce z poloviny 30. let 20. století. (Státní okresní archiv Karviná, zámek Rychvald, nezpracovaný fond)



Obr. 3: Rychvald, vnitřní prostor m. č. 127 v pohledu k severu se stopami po zaklenutí chlebové pece, a zaústění topeniště sousední místnosti, překrytého ve fázi III tělesem varné podesty, foto, 2011

2.1 Topeniště ve východním křídle (127)

Rozměrná historická kuchyně se nachází v přízemí zámku v poloze v rohu mezi severním a východním křídlem (místnosti 126 a 127). Topeniště a na něj navazující konstrukce byly zdokumentovány a časově zařazeny v souvislostech stavebního vývoje hospodářského dvora a zámku.

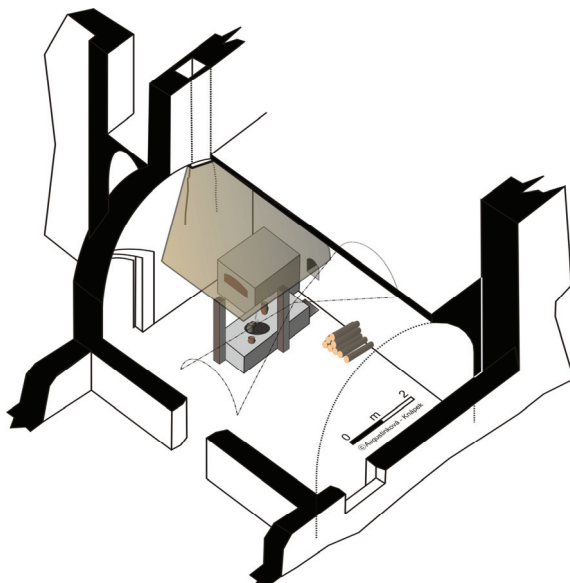


Obr. 4: A. Knápek, rozkreslení 4 hlavních vývojových fází kuchyně v m. č. 127 na zámku v Rychvaldě, 2011

Ve vývoji místa byly zachyceny 4 základní časové stavební fáze, jejichž struktury byly zaznamenány do půdorysu. II. stavební fáze byla rozkreslena i v axonometrii.

I. stavební fáze – časově pravděpodobně ještě renesanční, zařaditelná snad před přestavbu objektu na zámek, asi velkokapacitní kuchyně hospodářského dvora. Z této kuchyně se podařilo zachytit její varnou podestu. Nad celou podestou předpokládáme dymník, jehož hypotetická poloha je

v nákresu zaznamenána červeně čárkovaně. Stopy se podařilo zachytit pouze v úrovni podlahy, na zdi je viditelné očazení, ale stopa dymníku již nikoli, protože se vázal velmi pravděpodobně ještě k plochostropé místnosti. Odvod kouře už nelze ve vyšších patrech kvůli pozdějším přestavbám sledovat, zeď byla zbořena. Kuchyně měla cihlovou podlahu.



Obr. 5: A. Knápek, rekonstrukce II. stavební fáze vývoje kuchyně v m. č. 127, nákres, 2011

II. **stavební fáze** následující po přestavbě na zámek a sahající časově již k ranému baroku zahrnuje podle dochovaných stop v podlahových vrstvách a na stop na zdech chlebovou pec v severozápadním rohu, podestu pro vaření a pravoúhlý cihlami vyzděný otvor v zemi, který mohl sloužit pravděpodobně jako jímka, kam se rychle shrnul z podesty a kamen v severní sousední místnosti žhavý popel, který se zřejmě po naplnění jímky vynášel. Podobný otvor v podlaze má ve vazbě na historická topeniště dosud jen málo známých analogií (Velká Polom, pivovar čp. 164, Raduň, vošárna, Kouřilová – Skalická, 2011; zámek Bečváry, Rykl, 2011). Jeho interpretace je nyní stále ještě v rovině pracovní hypotézy. Nad celou varnou plochou byl již mírně asymetrický dymník v severozápadním rohu místnosti, který sváděl kouř do komína v tloušťce západní zdi. Podlaha místnosti byla tehdy přibližně o 30 cm zvýšena a v západní části místnosti opatřena novou cihlovou podlahovou krytinou odlišné skladby.



Obr. 6: Rychvald, vnitřní prostor m. č. 127 v pohledu k západu, stopa po dymníku, foto, 2011

III. stavební fázi charakterizovalo posunutí varné podesty severním směrem a vyzdění příček v místě dymníku, které měly zřejmě efektivněji odvádět kouř tak, který by tak neunikal do prostoru kuchyně či chodby.

Ve **IV. stavební fázi** fungovala v 19. století pravděpodobně ještě chlebová pec, varná podesta byla zrušena a byla sem napojena dvoje kamna.

Toto velmi pravděpodobně nejstarší topeniště již v plánu Ferdinanda Střelce zakresleno není. Obezdění odtahu kouře sice zaznamenáno je, ale prostor, dělený na obytnou místnost a chodbu má jen označení *pokoj* pro svou jižní část.



Obr. 7: Rychvald, pohled k východu k odtahu kouře chlebové pece místnosti č. 111, foto, 1985. NPÚ, ú. o. p. v Ostravě.

2.2 Kuchyňské topeniště v navázání severního a západního křídla (mezi 110 a 111)

Další velké prokazatelně kuchyňské topeniště se dochovalo v západním křídle. Jeho jádrem je východozápadně položená chlebová pec s cihlovou segmentovou klenbou. Pec vyhřívala místnost 110, pod jejíž klenbu byla sekundárně vložena. Pec se otevírá obloukem na západní stranu do chodby 111. Na severní bočnici prostupu jsou dva trny nestejného tvaru a délky pro uchycení dveří. Interiér topeniště byl už upraven vložením cihlového stropu do kovových profilů, odtah kouře z chlebové pece není nyní funkční. Severní zeď topeniště člení odkládací nika. Západně od ústí této pece je odtah kouře, do něhož vedou mladší odvody kouře z místností 109 a 113 (patrně provizorní). Nad vstupním obloukem se nachází vymetací otvor. Chlebová pec musela být používána ještě v 1. čtvrtině 20. století, ve Střelcových plánech je totiž zakreslena i označena.

Odtah vede v patře dodatečně upraveným prostorem sýpky a ústí již novodobě zřízenou komínovou hlavicí nad střechu severního křídla. Toto řešení pochází bezpochyby z doby před přestavbou patra severního křídla na sýpku.

2.3 Topeniště mezi místnostmi 121 a 122

V jižní části místnosti 121 bylo lokalizováno další topeniště. Jeho stopa byla čitelná i před památkovou obnovou, kdy reliéfně vystupoval obrys reliktu varné podesty zpod betonové podlahy. Při snižování podlah byl pak vyňat zbytek cihlové podesty v okolí s popelem a v zásypu rozptýlenými střepy kachlí.

Ve Střelcově plánu z roku 1934 je varná podesta zakreslena a místnost označena jako *černá kuchyň*.



Obr. 8: Rychvald, varná podesta využitá jako podesta kamen v m. č. 128 - 131, foto, 2011

2.4 topeniště v místnosti 128 až 131

V jihozápadním rohu místnosti 128 až 131 bylo při snižování podlahy zachyceno další topeniště s podestou shora krytou kamennými deskami a s navazujícím pravoúhlým úsekem cihlové dlažby. Kuchyň sloužila zřejmě po dlouhý časový úsek, na Střelcově plánu z roku 1934 je topeniště ještě zachyceno, nicméně již jako kamna, na které mohla být dřívější varná podesta přestavěna.

3 TOPENIŠTĚ S KAMNY

Z nálezů zachycených během památkové obnovy byla lokalizována i topeniště s kamny.



Obr. 9: Příkládací portál ve východní zdi průjezdu 101 pro obsluhu topeniště v m. č. 114, foto, 2011



Obr. 10: Příkládací ostění v chodbě 208 východního křídla v patře upravené na vymetací otvor novodobého topeniště, foto, 2011

3.1 Topeniště vedle průjezdu

Z průjezdu bylo obsluhováno přes kamenný příkládací portál pravděpodobně barokní topeniště v místnosti č. 114. Stopy po dalším topeništi s kamny byly nalezeny i v místnosti 102 ze strany interiéru místnosti na její jižní zdi. Mezi arkádou a místností mohla před vybudováním schodiště do patra severního křídla procházet příkládací chodba.

3.2 Systém vytápění v přízemí východního křídla

V přízemí východního křídla byla v renesanci a zřejmě i raném baroku vyhřívací topeniště navázána na topeniště kuchyňská.

3.3 Vytápění patra východního křídla

V chodbě patra východního křídla, vybudovaného nebo znovuvyzděného v pokročilém novověku, patrně na přelomu 17. a 18. století nad již stojícím přízemím (Augustinková, 2010) bylo použito obvyklého systému nepřímého vytápění kamen v obytných pokojích s obsluhou z chodby. Ve východní zdi chodby zůstalo 5 upravovaných příkládacích ostění.

3.4 Vytápění patra severního křídla

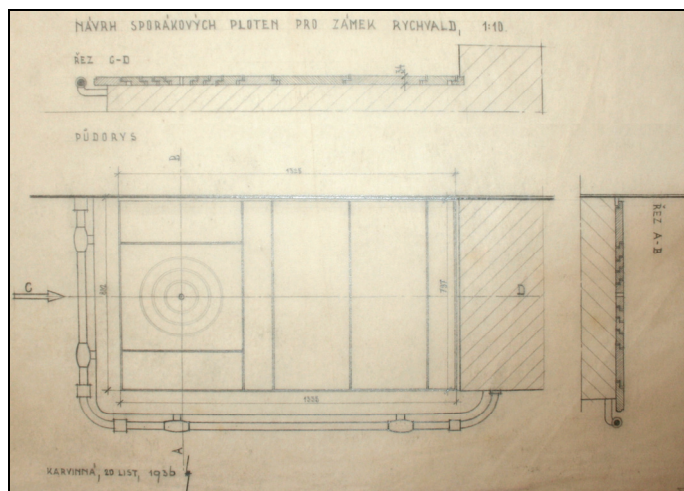
Západní polovina křídla měla před památkovou obnovou na počátku 21. století hospodářskou funkci. Jde o sýpku, jejímž vnitřním prostorem prochází odtah kouře z topeniště v severním křídle v místnostech 110 a 111, což je neobvyklé a takové řešení bylo z požárního hlediska považováno za nebezpečné. Jeho užití v Rychvaldě je důsledkem úpravy obytného prostoru v patře severního křídla na sýpku teprve v 19. století. O obytné funkci křídla tak kromě relikvií nástěnných maleb svědčí i topeniště ve východní zdi místnosti.

4 STŘELCOVY ZÁSAHY V POLOVINĚ 30. LET 20. STOLETÍ

V polovině 30. let 20. století byl zámek modernizován místním stavitelem Ferdinandem Střelcem (1884 - 1950). Z jeho plánů se podařilo zachytit některá historická topeniště a lokalizovat topeniště další. (SOKA Karviná, nezpracovaný fond)

4.1 Přeložení kuchyně do patra

Pravděpodobně až Střelec nechal přeložit kuchyňská topeniště z přízemí do patra, což po zavedení vodovodu již neznamenovalo provoz tak náročný na vynášení vody. Velkokapacitní kuchyně fungovala v navázání mezi severním a východním křídlem. Pro nové vybavení této kuchyně navrhl Střelec rovněž konkrétní podobu zařízení, jako byly sporákové plotny.



Obr. 11: F. Střelec, návrh sporákových ploten pro Rychvald, 1936. SOKA Karviná.

Kromě velkokapacitní kuchyně měla být nyní vlastní kuchyni vybavená každá bytová jednotka v patře, jak je patrné na Střelcově návrhu patra zámku.

5 ZÁVĚR

Na zámku Rychvald byla autory článku zdokumentována a vyhodnocena historická topeniště či jejich stopy, určená pro vaření, pečení i ohřev. Rozbor zachycené situace nám umožňuje vytvořit si lepší představu o celkové struktuře obytných zámeckých prostor na Rychvaldě.

Situace v přízemí východního křídla odráží ještě stav z doby fungování hospodářského dvora. Teprve při proměně na zámek byla kuchyňská topeniště, alespoň, jak tomu bylo v případě velké

kuchyně východního křídla často modernizována tak, aby odpovídala možnostem daným úpravami křídla. (Nutnost modernizace kuchyně ve východním křídle si například vynutila změna proudění vzduchu zapříčiněného přístavbou arkád a komunikací.) V severním křídle musely být rozloženy v době zámku jako sídla velké reprezentativní prostory, které byly později v baroku rozděleny příčkami a využity asi už také pro bydlení, což si vyžádalo odpovídající zmnožení topenišť.

Ačkoli dostal zámek podobu stavby s arkádovým nádvořím, jeho systém topenišť neodpovídá zámecké novostavbě s příkládáním z arkád, v podobě, v jaké se objevuje i u dalších renesančních zámků (Bravantice...). Jeho arkády byly v přízemí evidentně přiložené k již existující stavbě zřejmě až jako raně barokní. (dvě vrstvy sgrafit na severní zdi severní arkády.) Zámek totiž vznikl přestavbou staršího hospodářského dvora, z něž převzal některá topeniště, proto se musel stavebník vyrovnat s již existujícími kamny v dosavadních lokacích.

V patře východního křídla, které vzniklo jako novostavba, respektive jako stavba v patře v nové hmotě, bylo už použito běžného systému nepřímo obsluhovaných kamen s portály z chodby.

Historický systém vytápění se na zámku Rychvald lišil od renesančních či raně barokních novostaveb nebo staveb po zásadní rekonstrukci (Škabrada, 2003), které mívají obsluhu topenišť řešenou z arkád či ve vyšších patrech z pavlačí jako tomu bylo například na biskupském zámku Jeseník. Jistou analogii představuje vývoj Starého zámku v Bravantících, který obsahuje sice také relikty středověké tvrze, ale prošel několika zásadními přestavbami a vyvíjel se směrem od tvrze k ryze sídelnímu a pak správnímu objektu. (Augustinková, 2007, Augustinková, 2010).

Vývoj Rychvaldu vedl naopak od hospodářského dvora se správou směrem k sídelnímu objektu a pak k budově s dvojitou funkcí – obytnou i hospodářskou. Formální znaky raně barokního zámku, jako jsou arkády, pak dostalo pouze severní a východní křídlo. Systém vytápění na Rychvaldě tak poměrně čitelně odráží funkční skladbu objektu a její stavební proměny.

LITERATURA A PRAMENY

- [1] AUGUSTINKOVÁ, L. Zámek Bravantice – obraz beznaděje? In Kulturní památky a opuštěné objekty. Hradec nad Moravicí: Fakulta stavební, Vysoká škola Báňská-Technická univerzita, Politechnika Opolska, 2010, pp. 74 – 83. ISBN 978-80-248-2224-2.
- [2] AUGUSTINKOVÁ, L.: Nálezová zpráva ke Starému zámku v Bravantících – 1. NP a 2. NP. Ostrava 2007. Nepublikovaný materiál uložený v archivu autorky.
- [3] AUGUSTINKOVÁ, L. - Baruchová, K: Stavebně historický průzkum zámku v Rychvaldě (čp. 1). Ostrava 2011. Nepublikovaný materiál uložený v archivu autorky.
- [4] AUGUSTINKOVÁ, L.: Zámek v Rychvaldě – předběžná dokumentace omítek na průčelích. Nálezová zpráva Ostrava 2010. Nepublikovaný materiál uložený v archivu autorky.
- [5] SPURNÝ, F. (edd.) *Hrady, zámky a tvrze v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*. Praha 1983, s. 205.
- [6] ŠKABRADA, J. Konstrukce historických staveb. Praha: Argo, 2003. 395 pp. ISBN 80-7203-548-7.
- [7] KOUŘILOVÁ, Dana – SKALICKÁ, Pavla. Nálezová zpráva dům čp. 50 zvaný „vošárna“ Raduň, okr. Opava. Identifikace původních detailů stavby v úrovni podlahových vrstev. NPÚ ÚOP v Ostravě 2010. Nepublikovaný materiál uložený v archivu autorky.
- [8] Státní okresní archiv Karviná, nezpracovaný fond, soubor plánů stavitele Střelce k zámku v Rychvaldě.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. arch. Michael Rykl, Ph.D., Fakulta architektury, České vysoké učení technické v Praze.

PhDr. Dana Kouřilová, Ústav historických věd, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Slezská univerzita v Opavě.

Pavel FIALA¹, Ondřej SVÁK², Leopold HUDEČEK³

**TECHNOLOGIE ODSTRANĚNÍ ZÁVAD PARAMETRU PODÉLNÉ VÝŠKY KOLEJE
V OBLASTI LEPENÝCH IZOLOVANÝCH STYKŮ**

**TECHNOLOGY ELIMINATE DEFECTS OF LEVEL LONGITUDINAL RAILS
OF GLUED INSULATED JOINT**

Abstrakt

Předmětem článku je seznámení s novou zkoušenou technologií pro opravy závad v parametru podélné výšky koleje v místech lepených izolovaných styků na tratích SŽDC, možnost prodloužení cyklu liniového strojního zásahu a vyzkoušení technologie, při které není zapotřebí zřizovat výluky tratových kolejí. Uvedena je zde samotná technologie, podrobnosti o zřízení zkušebního úseku a jeho sledování. Součástí článku jsou i fotografie pořízené při zřizování zkušebního úseku a grafy z průběžného sledování.

Klíčová slova

Lepený izolovaný styk (LIS), parametr podélné výšky koleje, technologie podkládání.

Abstract

The subject article is to introduce the new technology being tested for repairing defects in the longitudinal height parameter tracks glued in places isolated contacts on the lines of SŽDC, the possibility of extending the cycle of the line of mechanical intervention and testing technology, in which there is no need to set up exclusions track rails. Stated there is technology itself, the details of setting up a test section and its monitoring. There are photographs taken in setting up the test of time and graphs of continuous monitoring in the article.

Keywords

Glued insulated joint, the height parameter of the longitudinal rails, wedge technology.

1 ÚVOD

Na tratích Správy železniční dopravní cesty se v současné době vyskytuje přes 300 tisíc lepených izolovaných styků (dále LIS), které zajišťují funkci odizolování kolejnic na jednotlivé úseky.

Jejich bezproblémová funkce a dlouhá životnost je nezbytná pro správné, bezpečné a ekonomické fungování sítě tratí na území České republiky. Jako jedna z možností prodloužení životnosti a bezproblémového fungování vysoce namáhaných LIS se jeví použití podložení LIS s upevněním Vossloh W14 na pražcích B91S pomocí regulačních podložek Apw150.

¹ Ing. Pavel Fiala, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 608 556 720, e-mail: pavel.fiala.st@vsb.cz.

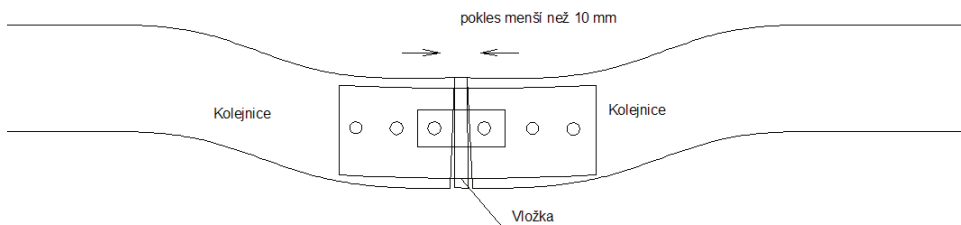
² Ing. Ondřej Svák, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 604 149 545, e-mail: ondrej.svak.st@vsb.cz.

³ Ing. Leopold Hudeček Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 310, e-mail: leopold.hudecek@vsb.cz.

Metoda podkládání vysoce namáhaných konstrukcí, které jsou vystaveny dynamickým účinkům, již byla úspěšně vyzkoušena při použití podkládání srdcovkové části výhybky.

Technologie podložení dynamicky namáhané konstrukce, např. srdcovkové části výhybky či LIS, je účinná v době vznikající závady v parametru podélné výšky koleje do hodnoty 10 mm.

Včasné podložení a tím odstranění počáteční závady v parametru podélné výšky koleje se jeví finančně výhodné a oddaluje strojní, finančně nákladnější zásah do konstrukce či samotnou výměnu dynamicky namáhané konstrukce.



Obr. 1: Schéma znázornění lokální závady v parametru podélné výšky koleje u LIS

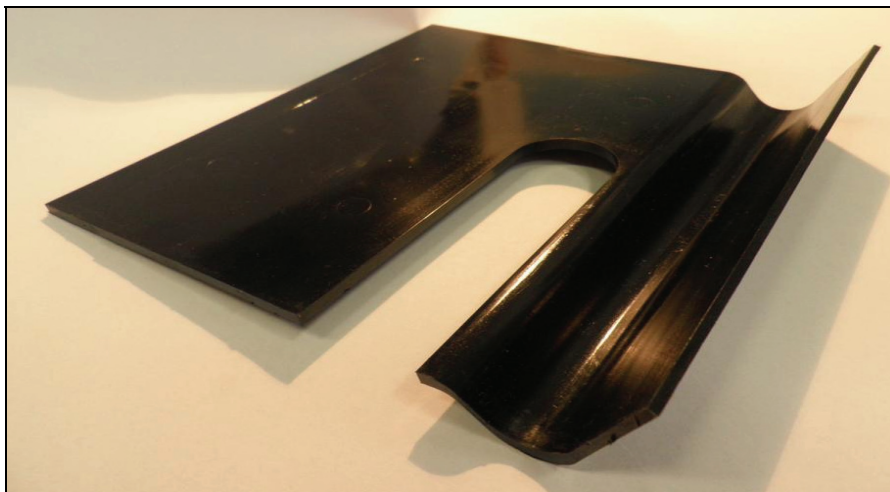
2 ZKUŠEBNÍ ÚSEK

Na trati Správy železniční dopravní cesty byl v tomto roce zřízen zkušební úsek na sledování účinnosti této technologie. Zkušební úsek byl zřízen na hlavních traťových kolejích č. 1 a č. 2 v žst. Zábřeh na Moravě u odjezdových návěstidel ve směru Česká Třebová.

2.1 Parametry zkušebního úseku

- trať SŽDC č. 270,
- kilometrická poloha 39,610
- 3. řád koleje,
- traťová rychlost 140 km.h⁻¹, RP3
- trať je v přímé, bez převýšení,
- stoupá směrem do České Třebové 5,2 ‰,
- provozní zatížení ($T_s = T_v + T_m$) za rok 2009: 22,35 mil. hrt/rok v koleji č. 1,
22,54 mil. hrt/rok v koleji č. 2,
- traťová třída zatížení D4 (22,5 t / 8,0 t/m),
- skupina přechodnosti 1, 2, 3,
- svršek typu UIC 60 na betonových pražcích B91S s upevněním Vossloh W14.

LISy vykazovaly na tomto místě počáteční závadu v parametru podélné výšky koleje do 10 mm a byly vytipovány pro zřízení zkušebního úseku a ověření účinnosti technologie podkládání LIS.



Obr. 2: Podložka typu Apw150 pro podložení LIS u systému upevnění Vossloh W14

Účelem zkušebního úseku je:

- ověřit účinnost technologie aplikace regulačních podložek,
- posoudit ekonomické porovnání s klasicky používanou technologií podbíjení,
- posoudit životnost úpravy, přestože příčina vzniku závady (projetí konců kolejnic v místě styku), trvá a dá se předpokládat, že po opravě podélné výšky se opět v určitém časovém horizontu objeví,
- životnost úpravy porovnat s životností po opravě klasickou technologií (na konci zkušebního období).

3 TECHNOLOGIE PODKLÁDÁNÍ

Před samotným podložení LIS je nutné daný úsek změřit technickou nivelací a určit potřebný počet regulačních podložek do jednotlivých uzlů upevnění.

Podložky pro regulaci výšky Apw150 Vossloh W14 zajišťují pomocí různých tloušťek vypodložení kolejnic a možnou regulaci malých lokálních závad v parametru podélná výška koleje. V průběhu zřizování je zapotřebí uvolnit stávající upevňovací v potřebné délce dle předem stanoveného měření lokálního místa, kde budou podložky pro regulaci výšky použity. Po uvolnění upevňovadel se provede vsunutí regulační podložky pod stávající gumovou podložku tak, aby regulační podložka ležela na pražci, na regulační podložce byla položena gumová podložka pod kolejnici a poté samotná kolejnice. Regulační podložky Apw150 se vsazují vždy po 2 kusech stejné tloušťky na jeden uzel upevnění (vsazeny proti sobě). Následně se vloží stávající úhlová vložka s pružnou sponou Sk114 a vrtulí R1 nebo R2 dle tloušťky vkládané regulační podložky.

Maximální možná výška pro regulaci je 10 mm. Použitím podložek tloušťky vyšší než 6 mm je zapotřebí místo uchycení vrtulí R1 použít vrtuli typu R2. Regulační podložka se vkládá mezi patu kolejnice a pražec B91S. Výrobce Vossloh umožňuje pro vytvoření požadované regulační výšky max. 10 mm použít i více regulačních podložek položením na sebe. Např. pro regulační výšku 6 mm lze použít regulační podložky 2 a 4 mm položením na sebe a vytvořením požadované regulační výšky. Výrobce Vossloh dodává regulační podložky ve velikostech 2, 4, 6, a 8 mm. Výrobce Vossloh nevyrábí regulační podložky o tloušťkách 1, 3, 5, 7 a 9 mm. Potřebu vypodložení místa s naměřenou lichou hodnotou je vhodné použít regulační podložku o sudé tloušťce, která je o 1 mm vyšší než naměřená lichá hodnota.

Pro vypodložení předem určeného místa postačuje klíč na uvolnění a následně upevnění vrtulí, hydraulický zvedák a potřebný počet podložek.

Vypodložení lze provádět za běžného provozu, není zapotřebí zřizování výluk a daný opravený úsek je ihned sjízdný.

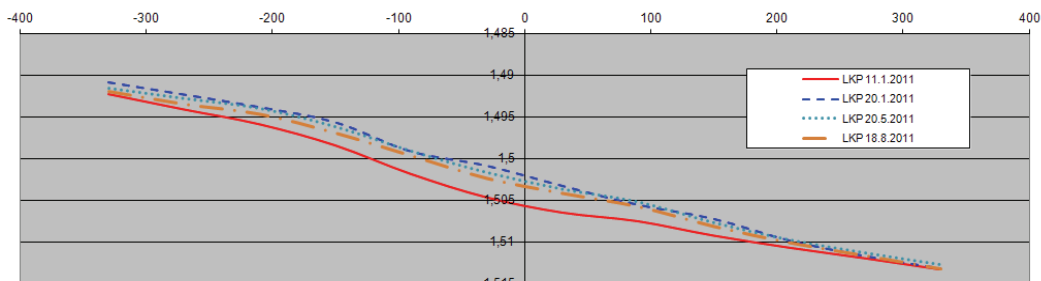


Obr. 3: Vlevo podložka Apw150 před utažením vrtule R1 na upevňovacím uzlu a vpravo po dotažení vrtule R1 uzlu upevnění

4 PRŮBĚŽNÉ VÝSLEDKY SLEDOVÁNÍ ZKUŠEBNÍHO ÚSEKU

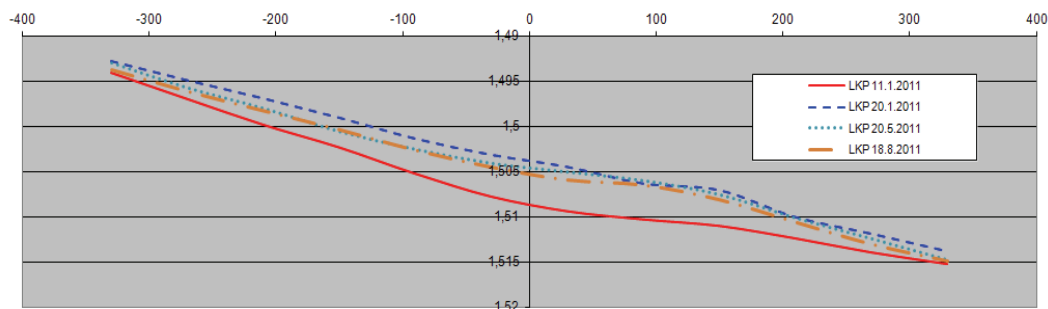
Technická nivelace před osazením podložek pro zkušební úsek proběhla 11. 1. 2011 a poté dne 20.1.2011 byl daný úsek osazen regulačními podložkami. Následné sledování a měření zkušebního úseku bylo prováděno zaměstnanci SŽDC v intervalech po jednom měsíci a následně po třech měsících. Délka sledování zkušebního úseku je stanovena na 18 měsíců.

Graf LKP na traťové koleji č. 1 v místě LIS u odjezdového návěstidla v žst. Zábřeh na Moravě



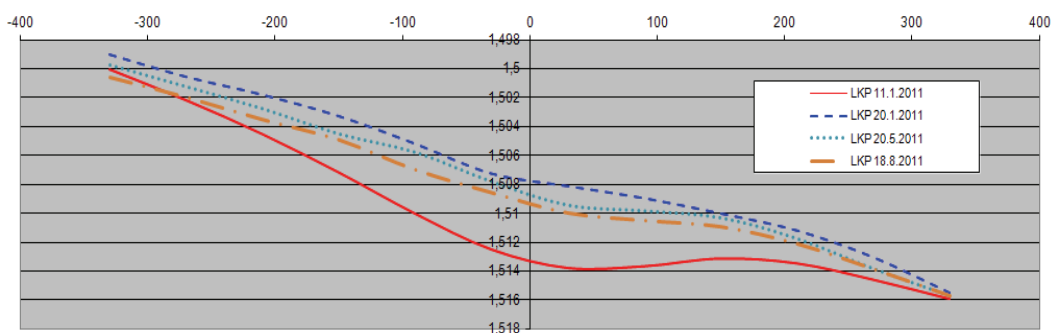
Obr. 4: Graf LKP na traťové koleji č. 1 v žst. Zábřeh na Moravě ze dne 11.1.2011 –
- před podložením, 20.1.2011 - izolované styky byly podloženy,
20.5.2011 - měření po 3 měsících a 18.8.2011 – měření po 8 měsících.

Graf PKP na traťové koleji č. 1 v místě LIS u odjezdového návěstidla v žst. Zábřeh na Moravě



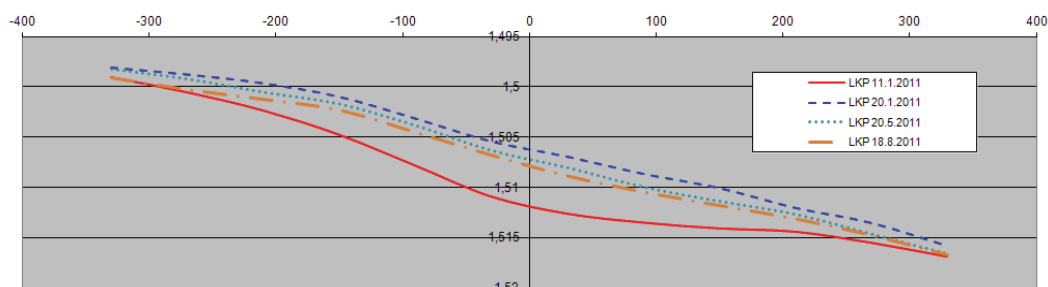
Obr. 5: Graf PKP na traťové koleji č. 1 v žst. Zábřeh na Moravě ze dne 11.1.2011 –
- před podložením, 20.1.2011 - izolované styky byly podloženy,
20.5.2011 - měření po 3 měsících a 18.8.2011 – měření po 8 měsících.

Graf LKP na traťové koleji č. 2 v místě LIS u odjezdového návěstidla v žst. Zábřeh na Moravě



Obr. 6: Graf LKP na traťové koleji č. 2 v žst. Zábřeh na Moravě ze dne 11.1.2011 –
- před podložením, 20.1.2011 - izolované styky byly podloženy,
20.5.2011 - měření po 3 měsících a 18.8.2011 – měření po 8 měsících.

Graf PKP na traťové koleji č. 2 v místě LIS u odjezdového návěstidla v žst. Zábřeh na Moravě



Obr. 7: Graf PKP na traťové koleji č. 2 v žst. Zábřeh na Moravě ze dne 11.1.2011 –
- před podložením, 20.1.2011 - izolované styky byly podloženy,
20.5.2011 - měření po 3 měsících a 18.8.2011 – měření po 8 měsících.

Měření technickou nivelací probíhalo a probíhá přístrojem Leica Data sprinter 250M s přesností na 0,1 mm a šablonou PŠR 1, na kterou je ustavována měřicí lat. Měření probíhalo ve vzdálenostech rozdělení prážců, tedy po 600 mm, vždy ± 3300 mm od středu LIS ve směru staničení na levém kolejiškovém pásu (LKP) a na pravém kolejiškovém pásu (PKP).

5 ZÁVĚR

Na obrázcích 4 až 7 je vidět příznivý průběh podélné výšky koleje po 8 měsících sledování od podložení. Tato technologie se již jeví jako velmi příznivá v prodloužení životnosti a ve snížení degradačních účinků dynamického namáhání, které předává železniční soukolí na LIS a způsobuje závalu v podélné výšce v místě LIS.

Z prozatímních výsledků sledování se dá říci, že včasným zásahem do konstrukce LIS, podložením a zachycením počáteční závady v podélné výšce koleje se prodlouží životnost a oddálí se cyklus zásahu strojního podbíjení, jak již bylo z minulých výzkumů podkládání srdcovkových částí výhybek zjištěno, až na dvojnásobnou dobu, pokud by tato technologie nebyla použita.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 6360-2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba.
- [2] *Vossloh AG* [online]. 8.9.2011 [cit. 2011-09-15]. Dostupné z WWW: <www.vossloh.de>.
- [3] *SŽDC* [online]. 15.9.2011 [cit. 2011-09-15]. Dostupné z WWW: <intranet.szdc.cz>.
- [4] *Portál provozování dráhy* [online]. 15.9.2011 [cit. 2011-09-15]. Dostupné z WWW: <<http://provoz.szdc.cz/portal/>>.
- [5] Předpis SŽDC S3 Železniční svršek
- [6] Předpis SŽDC S3/1 Práce na železničním svršku

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Ivana Švábeníková., Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, Praha.

Prof. Ing. Libor Ižvolt, Ph.D., Katedra železničního stavitelství a traťového hospodářstva, Stavební fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Leopold HUDEČEK¹, Jan KRAMNÝ², Eva OŽANOVÁ³

VLIV KONSTRUKCE KOLEJE NA DETEKCI PLOCHÝCH KOL

INFLUENCE OF THE TRACK CONSTRUCTION ON THE FLAT WHEEL DETECTION

Abstrakt

Článek se zabývá vlivem provozního stavu kola a typu poježděné kolejnice na vibrace v přímém okolí tramvajové trati. Celé měření vycházelo z předpokladu, vyšších hodnot hluku a vibrací při průjezdu tramvajového vozidla s tzv. „plochým kolem“ a možném rozdílu v hodnotách vertikálních vibrací u jednotlivých typů poježděných kolejnic.

Klíčová slova

Tramvajová doprava, hluk a vibrace, ploché kolo, detekce plochých kol, typy kolejnic

Abstract

The article deals with the influence of the wheel technical state and type of the rail on the vibrations in the immediate vicinity of tram tracks. The entire measurement was based on the assumption of higher values of noise and vibration during the pass of the tram car with a "flat wheel" and possible difference in the values of vertical vibration on the track sections with different types of the rails.

Keywords

Tram traffic, noise and vibration, flat wheel, flat wheel detection, types of rails.

1 ÚVOD

Tento článek se zabývá výskytem tzv. plochých kol u tramvajových vozidel, vlivem typu poježděné kolejnice na úroveň zrychlení vertikálních vibrací a způsobem detekce plochých kol. Tzv. ploché kolo vzniká při zablokování kol tramvajové soupravy při prudkém brzdění a současném dopředném pohybu soupravy. Tím dochází ke „sklouznutí“ soupravy po koleji a vlivem tření ke zbroušení profilu kola a vzniku plošky. Takto vzniklá asymetrie ve tvaru kola je zdrojem velké úrovně zrychlení vertikálních vibrací a samozřejmě i hluku. Tyto vibrace výrazně ovlivňují tramvajový svršek a přímé okolí tramvajové trati. Vlivem působení nadměrných vibrací z provozu vozidla s plochým kolem dochází k rychlejší degradaci provozního stavu tramvajového svršku a tím i k nárůstu nákladů na jeho údržbu. Rovněž není možné opomenout šíření těchto vibrací a vliv na okolní zástavbu a její obyvatele.

V případě překročení hygienických limitů je možné a potřebné tlumit vibrace instalací pružných materiálů do konstrukce tramvajového svršku. Tato opatření jsou sice velice efektivní,

¹ Ing. Leopold Hudeček, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 310, e-mail: leopold.hudecek@vsb.cz.

² Ing. Jan Kramný, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 981, e-mail: jan.kramny@vsb.cz.

³ Ing. Eva Ožanová, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 310, e-mail: eva.ozanova@vsb.cz.

nicméně náklady na jejich instalaci omezují jejich širší a plošné použití v celé síti tramvajových tratí. Při nedostatečné údržbě tramvajových vozidel a specificky kontrole okrouhlosti kol, klesá i efektivita tlumících materiálů. Je třeba si uvědomit, že tramvaj s plochým kolem generuje nadměrné vibrace a hluk v celé délce trasy, na které se pohybuje. Vzhledem k finanční náročnosti stavebních opatření se jako vhodné jeví zavedení důsledné detekce vozů s plochým kolem a jejich bezodkladné odeslání k přebroušení.

Detekce i následné broušení už v podmínkách Dopravního podniku Ostrava, a.s. (DPO, a.s.) funguje řadu let, ovšem v omezené formě. Detektor je osazen pouze v jedné ze dvou vozoven na koleji s kolejnicemi S 49. Samotný detektor snímá zrychlení vertikálních vibrací a pomocí speciálního převodního vztahu zaznamenává bezrozměrnou veličinu vyjadřující míru asymetrie každého kola a přiřazuje je typu a číslu vozu (obr.1). Při překročení limitní hodnoty je vůz odeslán na přebroušení (v současné době je nastavena hodnota 10).

Identifikace vozidla: 01132

Datum: 24.7.2011.

Čas: 16:41:59

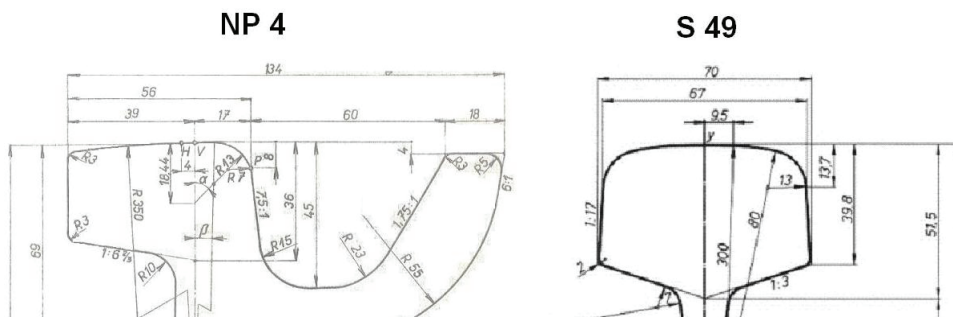
Průměrná rychlost= 34.9 km/hod

Levá strana	13.48	9.51	9.40	6.50	6.04	11.57	7.85	17.53
-------------	-------	------	------	------	------	-------	------	-------

Pravá strana	6.44	6.46	5.57	4.61	4.39	8.05	9.07	5.91
--------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Obr. 1: Záznam průjezdu vozu č. 01132 detektorem plochých kol instalovaným ve vozovně DPO, a.s. Jednotlivé údaje vyjadřují míru asymetrie jednotlivých kol.

Vstupním předpokladem tohoto experimentu byl rozdíl v geometrii hlavy kolejnic typu S 49 a NP 4 (obr. 2) a z toho vyplývající možnost rozdílné polohy případné plošky na pojížděné ploše kola. Jinými slovy možnost, že ploška vytvořená na kolejnici typu NP 4 by nemusela být zachycena detektorem instalovaným na koleji s kolejnicemi S 49 a případně naopak. Vzhledem k 60% zastoupení kolejnic typu NP 4 v síti tramvajových tratí DPO, a.s. by potvrzení tohoto předpokladu vedlo k jednoznačnému doporučení instalace detektoru plochých kol i na kolej s kolejnicemi typu NP 4 a výraznému snížení množství vibrací v celé délce tramvajových tratí v síti DPO, a.s.



Obr. 2: Průřez hlavou kolejnice typu NP 4 a S 49.

2 MĚŘENÍ

Samotné měření bylo realizováno 26. 7. 2011 ve spolupráci s kolegy z Katedry částí a mechanismů strojů, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava. Byly vybrány dva testovací úseky v areálu Vozovny Poruba DPO, a.s. Oba se srovnatelnými podmínkami pro šíření vibrací. Jeden s otevřeným svrškem a kolejnicí typu S 49, druhý se svrškem zakrytým středně znečištěnou šterkdrť a kolejnicí typu NP 4 (obr.3).



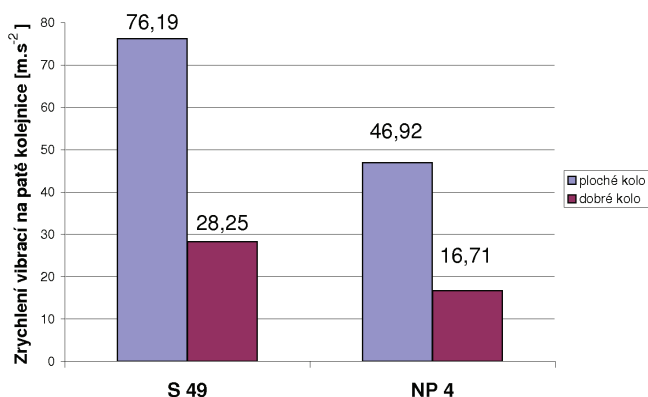
Obr. 3: Situace umístění měřicích úseků. Šipkou je vyznačen směr jízdy referenčního vozidla.

Při tomto měření byl jako referenční vozidlo zvolen jeden vůz typu T6 ev. č. 1129 beze známek poškození poježděného povrchu kol a druhý vůz T6 ev. č. 1132 s výraznou ploškou na zadním podvozku. Vůz 1132 byl vytipován techniky DPO, a.s. na základě hodnot z detektoru pl. kol. Bylo měřeno 5 průjezdů každého vozu na obou testovacích úsecích.

Pro snímání hodnot vertikálních vibrací na patě kolejnice byl použit snímač vibrací Wilcoxon research, který byl zašroubován do ocelového držáku upevněného svrškou na patu kolejnice.

3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Po odečtení hodnot efektivních hodnot zrychlení vertikálních vibrací paty kolejnice $a_{eq,2s}$ a vyjádření střední hodnoty, je jasně patrný pokles v případě vozu s dobrým provozním stavem kol. Rovněž stojí za pozornost porovnání jednotlivých úseků mezi sebou. Je vidět značný pokles hodnot zrychlení vertikálních vibrací na patě kolejnice na testovacím úseku vybaveném kolejnicemi typu NP 4 a to bez ohledu na použitý vůz.



Obr. 4: Střední efektivní hodnoty zrychlení vertikálních vibrací paty kolejnice u dobrého a špatného provozního stavu kol s přihlédnutím k typu poježděné kolejnice

Procentuální pokles je přehledně uveden v tabulce Tab. 1. Zde je rovněž uveden procentuální rozdíl hodnot zrychlení vertikálních vibrací při použití referenčního vozidla a vozidla s plochým kolem.

Tab. 1: Srovnání efektivních hodnot vertikálních vibrací dle typu kolejnice a provozního stavu kol.

Stav kola	Typ kolejnice		Poměr S 49/NP 4
	S 49	NP 4	
Ploché kolo [m.s ⁻²]	76,19	46,92	61,58%
Dobré kolo [m.s ⁻²]	28,25	16,71	59,15%
Poměr ploché kolo/ dobré kolo	37,08%	35,61%	

Z těchto hodnot jasně vyplývá, že procentuální poměr zůstal zachován jak při porovnání vozu s plochým a dobrým kolem (pokles na cca 36% původní hodnoty), tak při porovnání hodnot měřených na různých typech kolejnic (pokles na cca 60 % u NP 4 oproti S 49).

4 ZÁVĚR

Z naměřených hodnot vyplývá, že procentuální poměr mezi hodnotami měřenými při průjezdu vozu s plochým kolem a vozu referenčního zůstal na obou typech kolejnic proporcionálně zachován přibližně na hodnotě 60 %, viz Tab. 1. Při vlastním porovnání naměřených hodnot vychází lépe testovací úsek s kolejnicemi typu NP 4. Tento jev je dán konstrukcí koleje se žlábkovými kolejnicemi NP 4, kdy hodnoty vibrací ovlivňuje jak tvar kolejnice, tak tlumení vibrací ke kterému dochází zasypáním stojiny kolejnice šterkem (v případě měřicího úseku).

Při porovnání efektivních hodnot zrychlení vertikálních vibrací na patě kolejnice u vozu s plochým kolem a vozu referenčního získáme přibližně stejný procentuální poměr hodnot na kolejnici typu S 49, tak i na kolejnici typu NP 4 a to cca 36% původní hodnoty. V úvodu uvedený předpoklad, že se ploché kolo vytvořené na jednom typu kolejnice se na druhém neprojeví, případně projeví méně, se tímto měřením nepotvrdil. Dílčí závěry z měření jiných odhlučňovacích opatření tento závěr rovněž podporují. Vytvoření dalšího detektoru plochých kol na úseku s kolejnicí typu NP 4 se proto momentálně jeví nepotřebným. Tento dílčí závěr je však třeba ještě potvrdit dalším měřením.

Vzhledem k vysokému poklesu hodnot zrychlení vertikálních vibrací na patě kolejnice při průjezdu referenčního vozu (cca 60 %) je třeba nastavit přísný systém detekce plochých kol a následného bezodkladného odeslání vozu na přebroušení. Ze záznamu detektoru plochých kol pořízeného v čase měření vyplývá fakt, že v současné době nastavená limitní hodnota na stupni 10 je s největší pravděpodobností příliš benevolentní. Po vyfiltrování záznamů obsahujících alespoň jednu hodnotu vyšší než 10 se nám vůz ev.č. 1132 v seznamu vůbec neobjevuje. A to i přesto, že hodnoty vertikálních vibrací při jeho průjezdu stouply na 2,7 násobek hodnot vozu referenčního na kolejnici typu S 49 a 2,8 násobek na typu NP 4!

Z těchto procentuálních poměrů vyplývá nutnost včasné a pravidelné údržby geometrie pojižděné plochy kol tramvajových vozů podpořené vhodně kalibrovaným detektorem plochých kol (vždy dle podmínek v místě umístění), zejména vezmeme-li v potaz výhodný poměr nákladů na detekci plochých kol a jejich broušení a nákladů na instalaci tlumících prvků. Včas přebroušené kolo se projeví útlumem vibrací v celé délce provozované tramvajové trati a to s finančními náklady mnohonásobně nižšími, než jsou náklady na plošnou instalaci stavebních prvků tlumících vibrace v koleji. Kolektiv autorů jednoznačně doporučuje instalaci detektoru plochých kol i do druhé vozovny DPO, a.s. Pro zjištění parametrů nejlépe vyhovujícího nastavení detektoru plochých kol je nutno doplnit stávající údaje a proto doporučujeme provést další měření.

LITERATURA

- [1] Hudeček, L., & Ožanová, E., & Kramný, J.: Enviromentální aspekt tramvajových tratí. *Nová železniční technika*. 2010, XXVI. Nr. 2, pp. 56-58. ISSN 1234-5678.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D., Ústav železničních konstrukcí a staveb, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Ing. Eva Panulinová, Ph.D., Katedra geotechniky a dopravného stavitel'stva, Fakulta stavebná, Technická univerzita v Košiciach.

Vladislav KŘIVDA¹, Ivana MAHDALOVÁ²

**VYUŽITÍ VIDEOANALÝZY KONFLIKTNÍCH SITUACÍ PŘI HODNOCENÍ NEVHODNĚ
NAVRŽENÝCH STAVEBNÍCH PRVKŮ NA OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATKÁCH**

**USE OF VIDEO ANALYSIS OF CONFLICT SITUATIONS BY THE EVALUATION
OF INAPPROPRIATELY DESIGNED BUILDING ELEMENTS ON ROUNDABOUTS**

Abstrakt

Článek se zabývá možnostmi využití videoanalýzy konfliktních situací při sledování poškození nevhodně navržených stavebních prvků a jiných problémů na okružních křižovatkách. Článek rozebírá vybrané situace jako například špatná jízda vozidel v těsné blízkosti obrubníku, problematika výjezdu z dvoupruhového okružního pásu a vliv blízké křižovatky se světelným signalizačním zařízením.

Klíčová slova

Videoanalýza, konfliktní situace, okružní křižovatka.

Abstract

The article deals with possibility of use of video analysis of conflict situations during observation of damaged inappropriately designed building elements and the other problems on roundabouts. This article analysis selected situations for example wrong way of drive vey near curb, problems during exiting the double-lane roundabout and influence of near intersection with traffic lights.

Keywords

Video Analysis, Conflict Situation, Roundabout.

1 ÚVOD

Silniční doprava přináší lidské společnosti na jedné straně řadu výhod, ale straně druhé řadu problémů. Jedním ze zásadních problémů v silničním provozu je mnohdy pochybné, sporné, nejisté či jinak problematické chování účastníků silničního provozu. Takové chování může nakonec způsobit dopravní nehodu a je pak otázkou, zda se této nehodě dalo či nedalo zabránit. K nehodě může dojít jednak nepozorností řidiče (účastníka provozu) a jednak „chybnou infrastrukturou“ (např. nevhodně navržena pozemní komunikace, křižovatka, přechod pro chodce atp.), která zapříčiní špatné chování řidiče a následný problém, tj. například konfliktní situaci (skoronehodu) nebo přímo dopravní nehodu.

¹ Ing. Vladislav Křivda, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 315, e-mail: vladislav.krivda@vsb.cz.

² doc. Ing. Ivana Mahdalová, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 342, e-mail: ivana.mahdalova@vsb.cz.

Statistiky dopravní nehodovosti nám dávají jistý přehled o počtech a příčinách dopravních nehod, statistiky tzv. skoronehod však logicky neexistují a je tedy v případě potřeby provést analýzu chování účastníků provozu na místě samém s využitím např. videoanalýzy konfliktních situací. Konfliktní situace, tak jak ji definoval doc. Folprecht (viz např. [1] a [2]), je taková situace, kdy vzniká pro některé účastníky silničního provozu větší než obvyklá míra nebezpečí. Lze říci, že konfliktní situace je potenciální nehodová situace a v nehodu buď vyústí, nebo ne.

Neocenitelným pomocníkem při analýze konfliktních situací je právě využití videoaparatury a to jednak (a především) pro možnost pořízení videozáznamu zpomalit či opakovat a jednak pro možnost využití videozáznamu pro analýzu dalších dopravně-inženýrských dat (intenzity, složení dopravních proudů atp.). U konfliktních situací pak sledujeme účastníky konfliktu, způsob vzniku situace a její závažnost. Metodika sledování konfliktních situací se samozřejmě neustále vyvíjí a s tím se vyvíjí i způsob popisu jednotlivých vysledovaných situací (viz např. [3] a [4], aktuálně pak [5]).

Základem videoanalýzy je pořízení minimálně hodinového videozáznamu analyzovaného místa (pokud možno z co nejvýše umístěného pozorovacího stanoviště). Dále se provede vyhodnocení tohoto záznamu (pro objektivizaci závěrů je nutné sledování více osobami současně) a analýza dat (tabelárně a graficky). Jako veličinu, která nám poté dá určitou představu o míře nebezpečnosti provozu na daném místě, je možno použít tzv. ukazatel relativní konfliktnosti, který uvádí počet konfliktních situací na sto projetých vozidel. Na základě této analýzy může zodpovědná osoba (projektant, dopravní inženýr) již pouhým posouzením těchto výstupů provést odpovědný návrh na úpravu uspořádání daného místa.

V příspěvku je tedy poukázáno na některé vypořizované situace na okružních křižovatkách, které mohou mít za následek dopravní nehody způsobené nejen samotným řidičem, ale rovněž nevhodně navrženou křižovatkou. Jde o situace, které byly vypořizovány z videoanalýz konfliktních situací prováděných na vybraných okružních křižovatkách v České republice v rámci výzkumného projektu [6]. Celkem bylo sledováno 16 okružních křižovatek různých typů – např. 3 křižovatky měly dvoupruhový okružní pás (ostatní pouze jednapruhový). Většina sledovaných okružních křižovatek byla čtyřramenná s výjimkou dvou, které byly třiramenné a po jedné křižovatce pěti a šestiramenné. Všechny záznamy byly pořízeny v roce 2010 s tím, že některé křižovatky byly sledovány opakovaně.

2 VYSLEDOVANÉ KONFLIKTNÍ SITUACE

V této kapitole budou podrobněji popsány vybrané konfliktní situace, jako například najíždění k těsné blízkosti obrubníku na výjezdu z okružní křižovatky, porušení obrubníku středového ostrova, resp. obrubníku spojovací větve, problematika výjezdu z dvoupruhového okružního pásu a vliv blízké křižovatky se světelným signalizačním zařízením.

2.1 Najíždění k těsné blízkosti obrubníku

Z hlediska analýzy nejvýznamnějšími konfliktními situacemi byly situace, kdy vozidla při opouštění okružní křižovatky přejížděla pravou vodící čáru v bezprostřední blízkosti obrubníku – viz obr. 1. Obrubník je v tomto na tomto výjezdu z křižovatky ve dvou místech porušen (viz obr. 2) a je tedy vidět, že zde již došlo k dopravní nehodě. Podle § 47 zákona č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích v platném znění je dopravní nehodou i událost, při které dojde ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu. Zda šlo o ojedinělou událost, nebo k této nebezpečné situaci dochází pravidelně, ukázala právě provedená videoanalýza.

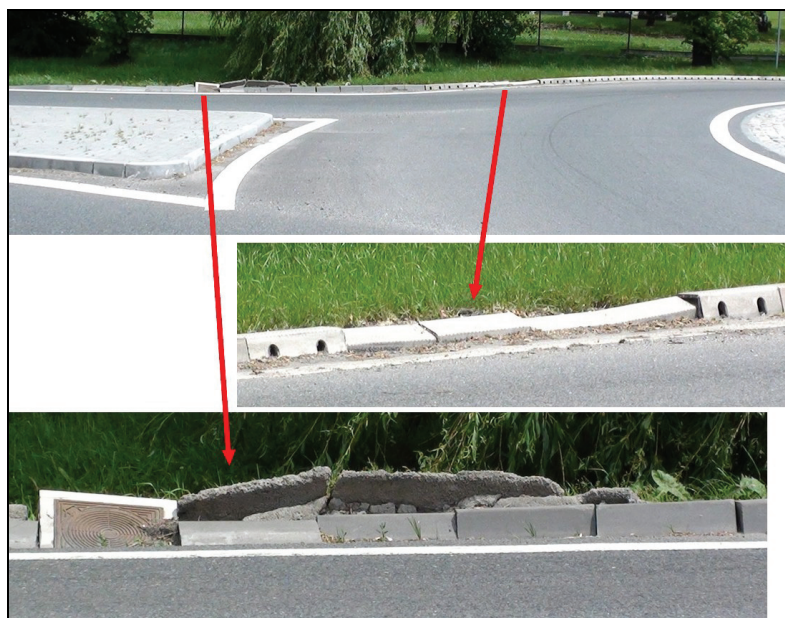
Během hodinového pozorování došlo k této situaci 23x, přičemž ve většině případů šlo o návěsové jízdní soupravy (61 %), dále pak o nákladní automobily (26 %), přívěsové soupravy (9 %) a autobusy (4 %) – při intenzitě 1290 voz/h na celé křižovatce a 521 voz/h na sledovaném výjezdu (z toho 83 vozidel uvedených typů, tj. nákladních automobilů, jízdních souprav a autobusů).

K této situaci může obecně docházet buď chybně navrženým výjezdem (lze ověřit vlečnými křivkami), nebo chybným odbočovacím manévrem. V případě sledované křižovatky (Masarykova – parking Tesco ve Valašském Meziříčí), která je první okružní křižovatkou ve směru od Hranic

na Moravě, řidiči při opouštění křižovatky směrem na Hranice (tj. z města) jsou pohledem na širokou komunikaci sváděni k rychlejší jízdě. Toto chování je samozřejmě nepřipustné, nicméně použití např. srpovité zpevněné krajnice by zde našlo vhodné uplatnění.



Obr. 1: Okružní křižovatka Masarykova – parking Tesco ve Valašském Meziříčí (nahore)
s detailními pohledy na pojezdění vodící čáry na výjezdu (dole)

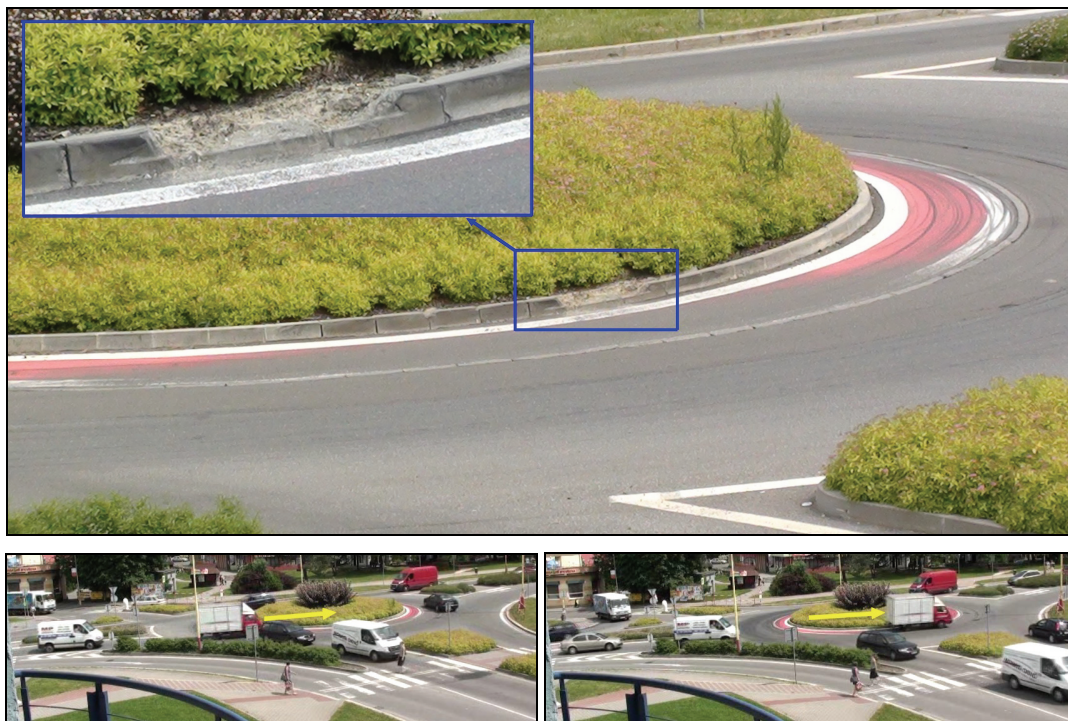


Obr. 2: Detailními pohledy na porušený obrubník na výjezdu z okružní křižovatky
Masarykova – parking Tesco ve Valašském Meziříčí

2.2 Porušení obrubníku středového ostrova

Další problémy se týkají obrubníků středových ostrovů. Jak je vidět na obr. 3 (horní obrázek), řidiči pojíždějí optický prstenec až k těsné blízkosti obrubníku. Příčinou tohoto chování může být buď chybný průjezd okružním pásem a to úmyslně, nebo objíždění fronty vozidel, která vznikla před přechodem pro chodce, jak ukazují dolní snímky na obr. 3.

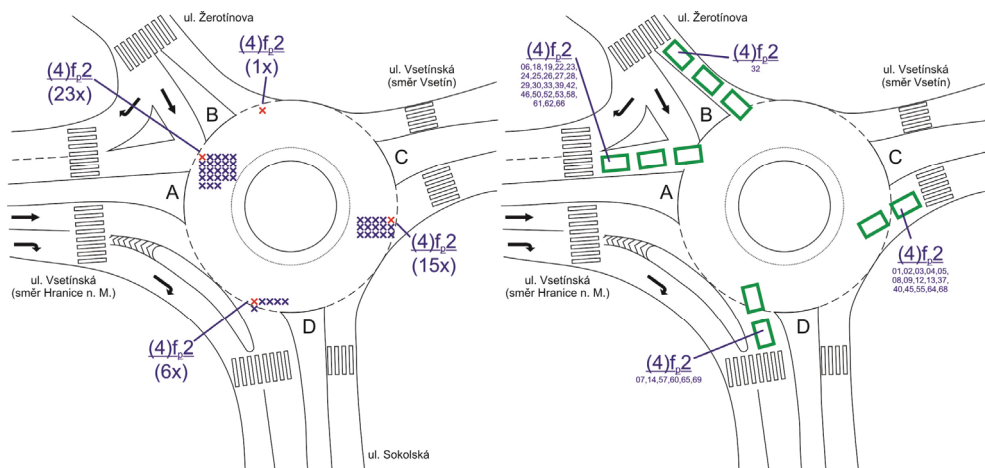
Tento problém lze sice řešit například posunutím přechodu dále od okružního pásu, tím se však jednak prodlouží trasa pěších a jednak řidiči již budou v tomto místě (dále od křižovatky) dosahovat větších rychlostí, což může způsobit další nebezpečné situace. Zrušení přechodu není vždy z hlediska intenzit chodců vhodné (to se týká i okružní křižovatky prezentované na obr. 3).



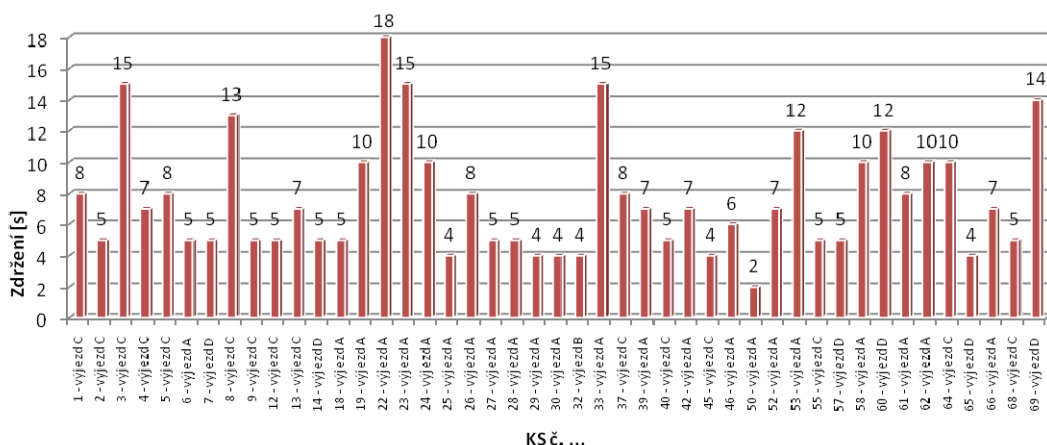
Obr. 3: Vznik fronty vozidel před přechodem pro chodce na okružní křižovatce
Vsetínská – Sokolská – Žerotínova ve Valašském Meziříčí

Na obr. 4 jsou schematicky zakresleny konfliktní situace a jejich četnosti, které byly zjištěny během hodinového záznamu na okružní křižovatce Vsetínská – Sokolská – Žerotínova ve Valašském Meziříčí (při celkové intenzitě 2115 voz/h).

V grafu na obr. 5 jsou pak pro zajímavost uvedeny doby zdržení vozidel vlivem zastavení dopravního proudu před přechodem pro chodce.



Obr. 4: Schematické znázornění konfliktní situace, vzniklé vlivem zastavení dopravního proudu před přechodem pro chodce na okružní křižovatce Vsetínská – Sokolská – Žerotínova ve Valašském Meziříčí.



Obr. 5: Doby zdržení vozidel vlivem zastavení dopravního proudu před přechodem pro chodce na okružní křižovatce Vsetínská – Sokolská – Žerotínova ve Valašském Meziříčí (KS = konfliktní situace).

2.3 Porušení obrubníku spojovací větve

Na stejné okružní křižovatce (viz předchozí subkapitola 2.2) dochází rovněž k narušování vnějšího obrubníku spojovací větve (obr. 6). Jak je vidět z obr. 4 (jde o směr z ul. Žerotínova vpravo do ul. Vsetínské) je zde poloměr obruby poměrně malý a proto dochází k pojíždění v tomto místě snížené obruby. Jako vhodné se zde jeví použití tzv. srpovité zpevněné krajnice, přičemž je třeba zajistit bezpečnost osob pohybujících se na chodníku v blízkosti tohoto místa.



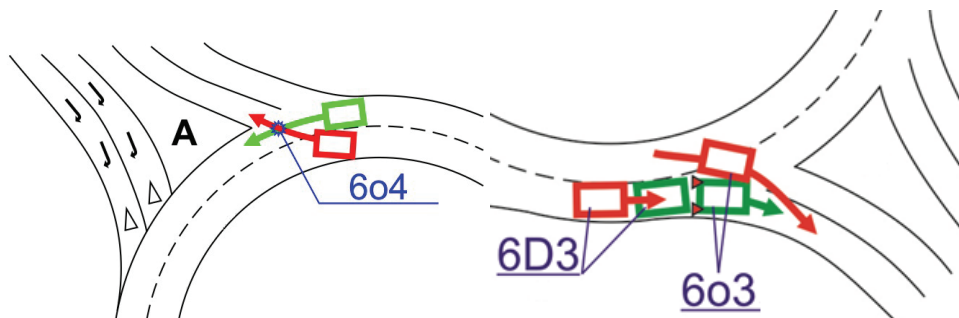
Obr. 6: Porušení vnějšího obrubníku spojovací větve na okružní křižovatce
Vsetínská – Sokolská – Žerotínova ve Valašském Meziříčí

2.4 Výjezd z dvoupruhového okružního pásu

Opouštění okružní křižovatky z dvoupruhového okružního pásu je vždy problematické a přináší vznik řady konfliktních situací. Na obr. 7 jsou schematicky znázorněny situace při jednopruhovém výjezdu a na obr. 8 při dvoupruhovém výjezdu. Trojmístným symbolem jsou označeny konfliktní situace podle [5], přičemž první znak (zde „6“) značí situaci mezi automobily, druhý znak (zde „o“ – omezení nebo ohrožení v jízdě; resp. „D“ – možnost střetu najetím zezadu) a třetí znak závažnost konfliktu (zde zjednodušeně řečeno „2“ – slabá reakce, „3“ – silná reakce, „4“ – dopravní nehoda). Tyto konfliktní situace byly vypořádávány na všech sledovaných okružních křižovatkách tohoto typu (vč. zaznamenaných dopravních nehod).



Obr. 7: Možné konfliktní situace při opouštění dvoupruhového okružního pásu
do jednopruhového výjezdu



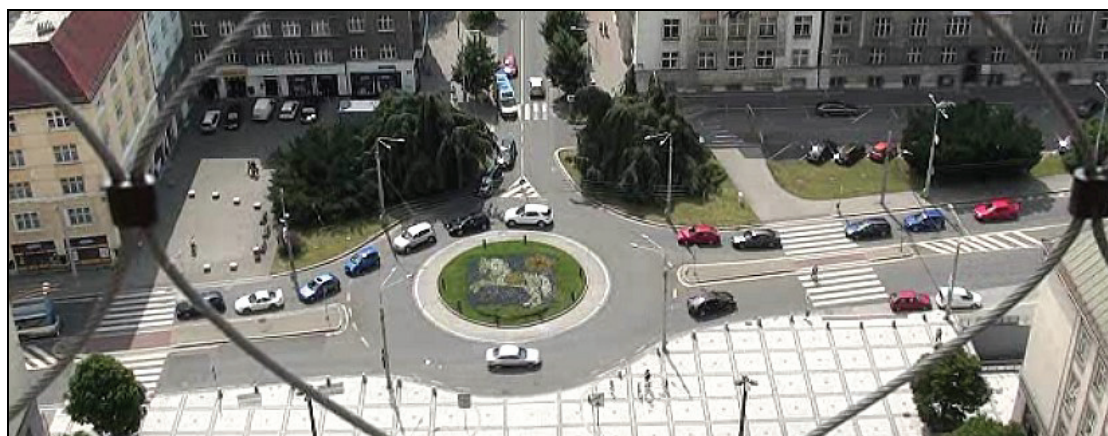
Obr. 8: Možné konfliktní situace při opouštění dvoupruhového okružního pásu
do dvoupruhového výjezdu

Od konvenčních dvoupruhových křižovek se již upouští a jsou nahrazovány různými typy alternativních, tzv. turbo okružních křižovek. Bohužel i na nich mohou vznikat problémy, což je téma na samostatný článek.

2.5 Blízké křižovatky

Poslední situace, kterou zde uvádíme, nesouvisí sice přímo se stavebními prvky křižovatky, ale spíše s volbou vhodného typu křižovatky. Okružní křižovatka na obr. 9 je ve vzdálenosti cca 140 m od světelně řízené křižovatky (na obrázku směrem vlevo od předmětné křižovatky). Při vyšších intenzitách dochází na světelné křižovatce ke vzdutí vozidel, které zasahuje až do okružní křižovatky a její provoz je buď omezen, nebo zcela zastaven.

Na tomto příkladu je zřetelně vidět nevhodná kombinace dvou různých typů křižovek, které leží v malé vzdálenosti od sebe. Místo okružní křižovatky by zde byla vhodnější křižovatka světelná, která by byla vzájemně zkoordinovaná s druhou světelně řízenou křižovatkou. Je však zřejmé, že použití právě okružní křižovatky na tomto místě (před vyhlídkovou věží radnice) má spíše estetický význam.



Obr. 9: Zastavení provozu na okružní křižovatce Sokolská tř. – ul. 30. dubna
vlivem vzdutí vozidel na blízké světelně řízené křižovatce Sokolská tř. - Českobratrská

3 ZÁVĚR

V článku byly prezentovány některé typy konfliktních situací na okružních křižovatkách, které mohou být způsobeny nevhodným uspořádáním stavebních prvků na křižovatce. Byla použita videoanalýza, která se výborně osvědčila jako průkazní metoda potvrzující poškození nevhodně navržených stavebních prvků. Videozáznam mimo jiné spolehlivě dokumentuje četnost najíždění vozidel do těsné blízkosti obrubníků na vnější straně vjezdů a výjezdů, případně i na okraj středového ostrova. Videozáznam ukazuje, že řidiči velkých vozidel na nevhodně uspořádané okružní křižovatce i při největším úsilí nejsou schopni volit jinou jízdní dráhu, chtějí-li realizovat plynulý průjezd okružní křižovatky bez opakovaného zastavování. Výsledkem takového způsobu jízdy je zaznamenaná destrukce obrubníků v kolizních místech a případně i další poškození v prostoru za obrubníkem (směrové sloupky, dopravní značky a podobně). Podle zákona se jedná o dopravní nehodu, protože je poškozován cizí majetek, jedná se však v zásadě o nehody nehlášené, které nejsou podchyceny v žádné evidenci.

Závěrem nutno podotknout, že výše uvedené výsledky měření jsou pouze malou ukázkou několika hodinových záznamů, které byly v rámci projektu [6] pořízeny.

PODĚKOVÁNÍ

Videozáznam byl pořízen za finanční podpory projektu výzkumu a vývoje č. CG911-008-910 „Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod“ Ministerstva dopravy ČR [6].

LITERATURA

- [1] FOLPRECHT, J. *Metoda sledování a hodnocení konfliktních situací v silniční dopravě a její význam pro zvyšování bezpečnosti provozu*. Mezinárodní vědecká konference při příležitosti 50 let působení VŠB v Ostravě. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1995. 419 s.
- [2] FOLPRECHT, JAN; KŘIVDA, VLADISLAV. *Organizace a řízení dopravy I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. 158 s. ISBN 80-248-1030-1
- [3] KŘIVDA, VLADISLAV. *Posouzení účinnosti okružních křižovatek*. Disertační práce. Ostrava: Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 80-248-0207-4 (autoreferát). 2003
- [4] KŘIVDA, VLADISLAV. *New Findings in the Sphere of the Conflict Situations Analysis on the Czech Republic Road Traffic*. ss. 161-169, Sborník vědeckých prací FS. Ostrava: VŠB – TUO Ostrava, 2009, ISBN 978-80-248-1633-3, ISSN 1210-0471
- [5] KŘIVDA, V. Video-Analysis of Conflict Situations on Selected Roundabouts in the Czech Republic. *Communications*. Nr. 3/2011. Žilina: University of Zilina, Slovakia, EV 3672/09, ISSN 1335-4205
- [6] *Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod*. Projekt výzkumu a vývoje č. CG911-008-910 Ministerstva dopravy ČR. Řešitel Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2009 – 2010

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Daniela Ďurčanská, CSc., Katedra cestného stavitelstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Prof. Ing. Bystrík Bezák, PhD., Katedra dopravných stavieb, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave.

Eva OŽANOVÁ¹, Otto ROHÁČ²

DOPADY DŮLNÍ ČINNOSTI NA VLEČKOVOU SÍŤ SPOLEČNOSTI AWT. A.S.

IMPACT OF MINING ACTIVITIES IN THE SIDING OF COMPANY AWT. INC.

Abstrakt

Vlivem hornické činnosti dochází k ovlivnění a celkové změně struktury krajiny a ke změně jejího funkčního využití. Velikost a časový průběh ovlivnění jsou závislé na celé řadě podmínek, ale rovněž na způsobu provedení liniové stavby a její schopnosti reagovat na předpokládané změny vlivem přetvoření krajiny. Příspěvek poukazuje na uvedené vlivy, které se projeví na vlečkové síti společnosti AWT a.s., která vlastní největším soukromou sítí železničních vlečků.

Klíčová slova

Železnice, kolej, vlečka, důlní činnost

Abstract

Due to mining activities the landscape structure is subjugated to overall change and change of its functional use. Amount and course of this effect depends on the many conditions but also onto how chosen procedure of the line construction and on its ability to respond to the expected changes due to the landscape deformation. This paper points out the effects of the undermining which occurs in the siding network of the AWT Inc., which owns the largest network of private railway sidings.

Keywords

Railroads, rail, siding, mining activities.

1 ÚVOD

Na tvářnost krajiny Ostravska a Karvinska se ve velké míře podílelo hlubinné dobývání černého uhlí. Vlivem hornické činnosti dochází k ovlivnění a celkové změně struktury krajiny a ke změně jejího funkčního využití. Velikost a časový průběh ovlivnění jsou závislé na celé řadě podmínek, ale také na způsobu provedení liniové stavby a její schopnosti reagovat na předpokládané změny vlivem přetvoření krajiny.

2 VLIVY A PROJEVY HORNICKÉ ČINNOSTI

Při dobývání dochází obecně po rozpojení a transportu dobývané nerostné suroviny k vytváření volných prostor v horninovém prostředí. Tato okolnost vede k narušení rovnovážného napětového stavu v horninovém masivu a následně vyvolává adekvátní deformace okolí nově vzniklých volných prostor, které se mohou projevit až na povrchu. Tato skutečnost se pak v poddolovaném území projevuje pohybem nadložních hornin směrem do těžiště zavalovaných

¹ Ing. Eva Ožanová, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 310, e-mail: eva.ozanova@vsb.cz.

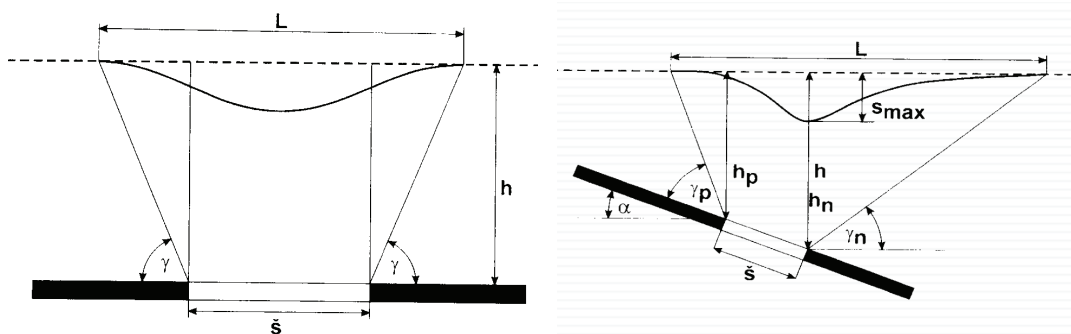
² Ing. Otto Roháč, MBA, Green Gas DPB, a.s., vedoucí Divize speciální sanace, Rudé armády 637, 739 21 Paskov, tel.: (+420) 558 612 151, e-mail: otto.rohac@dpb.cz.

podzemních prostor, který postupně zasahuje vyšší nadložní vrstvy a ve většině případů dosáhne až k povrchu. Tento pohyb má pak dvě složky (pokles a vodorovný posun), které tvoří na povrchu poklesovou kotlinu.

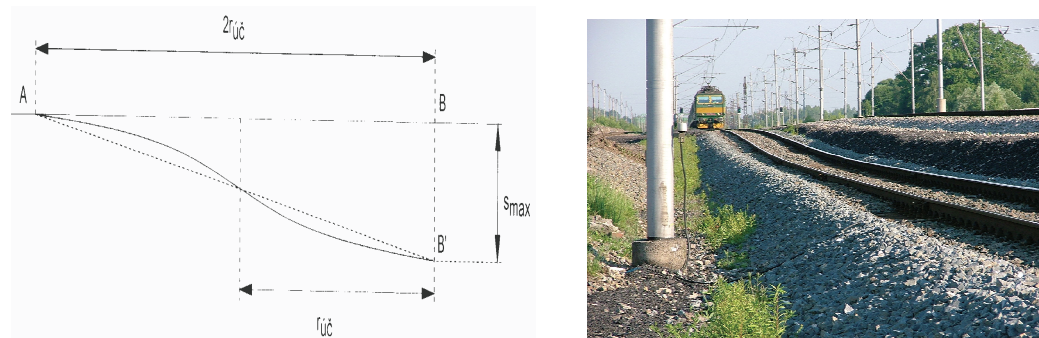
Dle [1] je půdorysná velikost poklesové kotliny závislá na účinné ploše vyrubání, hloubce vytvářené účinné plochy pod povrchem a mezním úhlu vlivů (velikosti až 50°-80°).

Hloubka poklesové kotliny ve zvoleném časovém horizontu je dle [1] daná součinem maximálního poklesu, závislého na mocnosti vyrubaných prostor, koeficientu dobývání (na zával nebo na zakládku), účinkovém koeficientu (části vyrubání plně účinné plochy a časového součinitele) a četnosti dřívějších dobývacích prací. Maximální pokles se projeví, v závislosti na průvodních horninách, většinou po 5 až 15 letech.

Na svahu poklesové kotliny se pak projevuje v důsledku nerovnoměrného klesání sousedních bodů naklonění (denivelace), zakřivení se specifickým poloměrem a v důsledku nestejných vodorovných posunů sousedních bodů pak poměrné podélné přetvoření (relativní vodorovná deformace). Dle [2] jsou všechny výše uvedené skutečnosti znázorněny na Obr.1 a Obr.2, kde L - délka poklesové kotliny, $h_{(p,n)}$ - hloubka uložení ložiska pod povrchem, $\bar{s}$ - šířka vydobytých ploch, α - úklon ložiska, $\gamma_{(p,n)}$ - mezní úhel vlivu, s_{max} - maximální pokles, $r_{úč}$ - poloměr plně účinné plochy, s_{max} - maximální pokles, I - inflexní bod, kde se mění konvexní zakřivení svahu na konkávní.



Obr. 1: Poklesová kotlina při vodorovně uloženém ložisku a při šikmo uloženém ložisku



Obr. 2: Svah poklesové kotliny

Pro výpočet parametrů poklesové kotliny se vzhledem ke geomechanickým vlastnostem původních hornin a hornin v nadloží, geometrii ložiska a technologii dobývání, používá v podmínkách ostravsko-karvinského revíru Knotheho upravená výpočetní metoda (metoda Budryk-Knothe).

Výsledné projevy důlní činnosti na povrchu (poklesy, naklonění, poměrné přetvoření) jsou zaznamenávány do mapových podkladů. Například poklesy území jsou vypočítávány či měřeny geometrickou nivelací a následně zaznamenávány do map v centimetrech. Zájmové území je pak v mapě vymezeno hranicí chráněného ložiskového území. Informace, které mapa obsahuje, se vztahují k dobývacím prostorům jednotlivých důlních závodů. Plocha všech dobývacích prostorů

v ostravsko-karvinském revíru (OKR) byla v roce 2000 celkem 320 km² a poklesy ovlivněná plocha, jako důsledek projevu exploatační činnosti na povrch, byla celkem 255 km².

3 PROJEVY PŮSOBNÍ DŮLNÍ ČINNOSTI NA ŽELEZNIČNÍ TRATĚ

Jedním z nejviditelnějších projevů dobývání je vznik poklesů povrchu, v kritických případech i propadů, které mají vliv na morfologii krajiny nacházející se na povrchu. Odpovědnost za škodu má těžební společnost dle Zákona č. 44/1988 Sb. (Horní zákon) ve znění pozdějších změn a doplňků. Pro řešení ochrany povrchu proti vlivům poddolování má zásadní význam znalost tvaru poklesové kotliny, znalost časového průběhu pohybu a především pak jeho spolehlivé předvídání.

Po právní stránce jde zejména o stanovení počátku, rozsahu a ukončení působení důlních vlivů na povrch. Po stránce ekonomické jde pak o koexistenci důlní činnosti s jinými aktivitami na povrchu.

Z uvedeného vyplývá, že projevy důlní činnosti na liniové stavby, jakými jsou železniční tratě a doprovodné objekty, mají negativní vliv na jejich provoz a následnou údržbu. Především poklesy, naklonění a vodorovný posun mají nepříznivý vliv na stavbu železničního svršku, železničního spodku včetně doprovodných objektů, elektrické trakce sdělovacího a zabezpečovacího zařízení, signalizace apod.

4 PROJEVY DŮLNÍ ČINNOSTI NA VLEČKOVOU SÍŤ

Kromě železničních tratí ve správě SŽDC, jsou hornickou činností na Ostravsku a především na Karvinsku ovlivňovány také vlečky v majetku jiných vlastníků. Nejvýznamnějším z nich je Advanced World Transport a.s. (AWT a.s.) dříve OKD, Doprava, a.s. Tato společnost provozuje vlečkovou síť v délce cca 310 km, která protíná důlní pole činné i utlumené části revíru. Provozní zatížení spolu s vlivy poddolování zásadně ovlivňují provozuschopnost a propustnost sítě. Udržení kvalitativních parametrů sítě je úkol strategického významu ovlivňující úroveň poskytované služby strategickým zákazníkům. Schéma vlečkové sítě společnosti je uvedeno na Obr.4.

U železničních staveb dochází ke změnám ve tvarování nivelety, což je spojováno se vznikem celé řady dalších charakteristických poruch, které lze specifikovat takto:

- putování kolejnic,
- opotřebení kolejnic, výhybek, drobného kolejiva,
- vybočení koleje,
- destrukce kolejnicového styku,
- snížení únosnosti pláně a vznik blátivých míst,
- změna podélného spádu,
- změna strmosti vzestupnice a změna převýšení,
- ztráta stability tělesa,
- ztráta funkčnosti doprovodných objektů (zabezpečovací zařízení, osvětlení aj.).

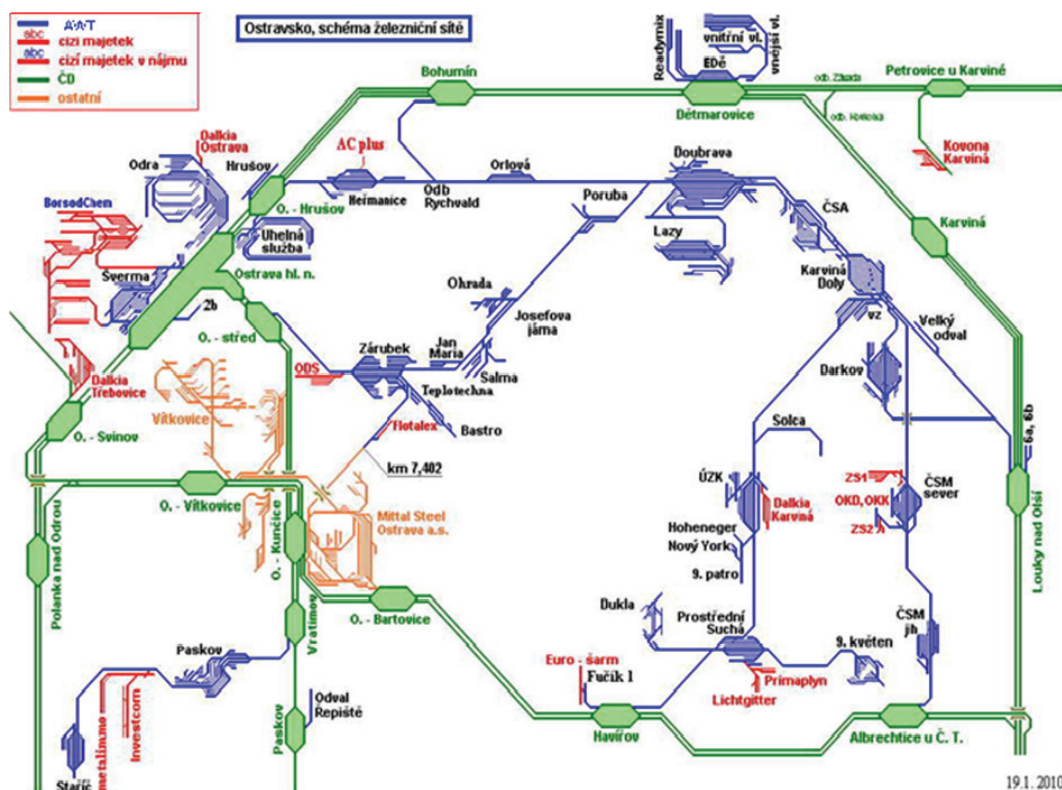
S těmito projevy je třeba se vypořádat při odstraňování důlních škod i navrhování nových liniových i pozemních děl na poddolovaném území.

Vodorovný posun bodu a vodorovné poměrné přetvoření se hlavní měrou podílí na závadách geometrické polohy koleje, jako je opotřebení svršku, destrukce kolejnicových styků, závady v dilatacích a putování kolejnic (jeho výsledkem je excentricita kolejnicového styku), vybočení. Jedná se tedy o závady ohrožující bezpečnost provozu.

Závažnou závadou je také výše zmíněné vybočení koleje. Dosáhne-li nárůst příčných vodorovných sil v důsledku vodorovného přetvoření větších hodnot, než je odpor šterkového lože, pak výsledkem je vybočení koleje, což obvykle vede k vyloučení provozu.



Obr. 3: Vybočení koleje rok 2010



Obr. 4: Schéma železniční sítě AWT a.s.

Vznik poklesových kotlin a pokles terénu, vlivem tahových a tlakových sil působících v čase, je příčinou zamokřování a zvodnění lokalit. Výsledkem je ztráta funkce odvodnění, zhoršení únosnosti pláně, následná destrukce železničního svršku a závady v geometrické poloze koleje.

Poklesem terénu dochází také k přetváření nivelety a ke vzniku nepřijatelných spádů a závad geometrické polohy koleje. Při odstraňování důlní škody tohoto rozsahu je třeba provést rozsáhlejší stavební úpravy spočívající v úpravě nivelety, která se provádí nejčastěji zdvihem koleje (v ojedinělých případech i snížením nivelety) a úpravou (rektifikací) souvisejících objektů.

Pokles terénu má také vliv na vodoteče a následně na objekty železničního spodku. Často dochází k zahlcení propustů. Při řešení železničního spodku a dimenzování propustů je na tuto skutečnost pamatováno. V souvislosti s výhledem poklesů je vybudováno i několik propustů v různých výškových úrovních, kde po zahlcení prvního přebírá plně funkci propust výše založený.



Obr.5: Rámové propusty o různé úrovni založení a naklonění řídícího stavědla na vlečce ÚŽK

Železniční násypy vleček ostravsko-karvinského revíru jsou vytvořeny z hlušiny. Jejich složení bylo a je dáno technickou úrovní a vyspělostí úpravárenského procesu. Násypy vytvořené z hlušiny, pocházejících ze starších úprav, obsahují větší procento spalitelných látek, a tak může dojít ke vzniku záparu nebo k samovznícením, jak je patrné z Obr.6. Četnost takových jevů není významná, avšak jejich dopady jsou fatální a náklady na odstranění jsou velmi vysoké.



Obr. 6: Zápar v koleji chlazený zasakováním a zahoření prachů

V případě pozemních objektů na liniových stavbách, pokud se jedná o pozemní objekty malých půdorysných rozměrů a monolitické konstrukce, nepředstavuje pokles zásadní problém, ale naklonění. Jedná se povětšinou o řídící stavědla s releovým zabezpečovacím zařízením, která jsou citlivá na tyto změny. Naklonění taktéž vytváří nevhodné pracovní podmínky pro efektivní pracovní výkon. Z těchto důvodů je nutné budovy a technologická zařízení rektifikovat. V případě vysoké hladiny spodní vody může být problémem i pokles objektu, kdy dochází k zamokření základové spáry a podmáčení objektu.

Objekty větších půdorysných rozměrů jsou velmi citlivé na vlivy poddolování, zejména pokud se jedná o nespojitý pokles. V případě společnosti AWT, a.s. se jedná o objekty lokomotivních dep a opraven železničních vozů. V případě, že objekt není dostatečně dilatován, dochází ke vzniku trhlin a narušení celého statického systému. K zajištění funkčnosti objektu je pak nutno vynaložit vysoké finanční náklady.

5 VÝVOJ V OBLASTI ÚDRŽBY VLEČEK

V oblasti údržby dochází postupně k významnému kvalitativnímu posunu. Vytvářením a využitím databází GIS a systémů „facility managementu“ je zkvalitňována fáze koncepce i plánování. Ve stále větší míře jsou uplatňovány principy projektového řízení. Pro plánování zdrojů

a času jsou využívány vhodné softwarové produkty (takové jako je „MS Project“) a stále více je využívána práce týmů pracujících v maticových i ryzích projektových strukturách. Také současná technika a trendy v měříčství a její vývoj umožňuje efektivnější monitoring. Trendem je efektivnější vynakládání nákladů s důrazem na prevenci a snížení osobních nákladů na management procesu.

Mění se také pohled na rozsah a způsob údržby. Zatímco v minulosti byla snaha udržovat síť výhradně vlastními kapacitami, v posledních letech se postupně prosazuje trend koncentrace na „core business“ a outsourcing služeb souvisejících s údržbou.

Původní přístup společnosti, spočívající v udržování nivelety tratí z pohledu konstantního odporu, byl změněn v posledních letech na přístup spočívající v tom, že se ponechávají nivelety tvarovat a k jejich zásadnější úpravě je přistoupeno, až po skokovém růstu provozních nákladů na sledovaném úseku. Tento přístup ovšem předpokládá kvalitní kontinuální monitoring stavu konstrukční a geometrické polohy koleje a kvalitní controllingový systém.

Z hlediska dlouhodobého vývoje se předpokládá, že po ukončení těžby uhlí může dojít k úplnému útlumu dopravy na tomto unikátním drážním systému, pokud nebude nalezena nová forma využití, naplňující územní potřeby a požadavky dneška a budoucnosti.

6 ZÁVĚR

Autoři článku doporučují jmenované společnosti, aby se v blízké budoucnosti zabývala zásadní myšlenkou, jak naložit s železniční sítí v ostravskokarvinské aglomeraci, neboť tato situace představuje jak ohrožení tak i příležitost využít nabízený potenciál.

Při řešení budoucího využití vleček lze vycházet z analogií obdobných průmyslových aglomerací v zahraničí. S úspěchem bude možno využít benchmarkingu. Podnikatelské prostředí ostravské aglomerace svou koncentrací obyvatelstva, probíhající restrukturalizací průmyslu, zvyšující se dopravní vzdáleností za pracovními příležitostmi a stavem životního prostředí stále více vytváří potřebu dobudování efektivního systému veřejné, ale i nákladní dopravy, který by využil stávající liniová díla. Tuto úvahu umocňuje fakt, že technické aspekty veřejné a industriální sítě jsou tomuto řešení nakloněny, neboť vykazují řadu shodných technických parametrů. Tato myšlenka nového nebo širšího využití je strategickou vizí, avšak s předpokladem vypořádat se s doznívající důlní činností.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území. Základní ustanovení. ČNI 1989
- [2] MARTINEC P. *Vliv ukončení hlubinné těžby uhlí na životní prostředí*. Ostrava. ANAGRAM, 2006, ISBN 80-7342-098-8
- [3] DIRNER V. a kolektiv. *Ochrana životního prostředí*. Praha. Ministerstvo životního prostředí, Vysoká škola Báňská- Technická univerzita v Ostravě 1997, ISBN 80-7078-490-3
- [4] ZAMARSKÝ V., TYLČER J., STŘELEČEK T. *Regenerace průmyslových ploch*. Ostrava: Vysoká škola Báňská- Technická univerzita v Ostravě, 2009, ISBN 978-80-248-2132-0
- [5] OŽANOVÁ E. Zahlazování následků hornické činnosti v krajině. In *Železniční dopravní cesta 2010*. Děčín: Vysoká odborná škola a Střední průmyslová škola stavební Děčín, 2010, s. 55-62. ISBN 978-80-254-6195-2.
- [6] NESET K. *Vlivy poddolování – Důlní měříčství IV*. Praha. SNTL Praha 1984.
- [7] Projekt č. 39-05. *Stanovení hranic dotčeného území a ověřování předpokládaných poklesů*. Ostrava. ČBÚ, Ostrava 2007.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Janka Šestáková, Ph.D., Katedra železničního stavitelství a traťového hospodářství, Žilinská univerzita v Žiline.

Prof. Ing. Ivo Černý, CSc., Ostrava.

Miloslav Řezáč¹

KAPACITA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ Z HLEDISKA PŘÍPUSTNÉ ZÁTĚŽE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

CAPACITY OF ROADS IN TERMS OF ALLOWABLE LOAD ENVIRONMENT

Abstrakt

Článek se zabývá možností zpracování metodiky pro komplexní posouzení negativních vlivů dopravy na okolí liniových a plošných dopravních staveb, která by vyhodnotila jak jednotlivé faktory, tak i jejich synergické působení. Jednotný postup by byl určen pro odborníky stavební sféry (příprava, realizace, správa), pracovníky ochrany životního prostředí, ochrany zdraví, úředníky státní správy případně i pro zájemce z řad veřejnosti.

Klíčová slova

Dopravní stavby, environmentální kapacita, životní prostředí.

Abstract

This article deals with possibility of process procedure for the complex assessment of the negative effects of transport on the surrounding of line and surface traffic building, which it would be evaluate individual factors and their synergistic causation. The Integrated practice would be diagnosis for the specialists of construction scope (preparation, realization, mending), workers of the environment conservation, health protection, executive officer and others interested persons.

Keywords

Transport constructions, environmental capacity, environment.

1 TEORIE ENVIRONMENTÁLNÍ KAPACITY

Prudký nárůst dopravy přináší sebou i významné environmentální dopady na globální i lokální úrovni. Doprava na pozemních komunikacích představuje riziko překročení environmentální kapacity oblasti, kterou prochází na životní prostředí, působí řada negativních vlivů, vyvolaných dopravou (hluk, vibrace, zplodiny, prašnost a další) a to jak jednotlivě, tak i spolupůsobením.

Environmentální kapacita závisí na typu krajiny a neměla by být překračována negativními vlivy např. z dopravy, ale ani v synergii s jinými zdroji. Je možno předpokládat hypotézu, že nepřekročí-li se environmentální kapacita každého jednotlivého prvku oblasti, nepřekročí se ani celková environmentální kapacita oblasti a bude zabezpečen její trvale udržitelný rozvoj.

Pro stanovení environmentální kapacity dopravní infrastruktury daného území je potřebné definovat environmentální kapacitu pozemní komunikace (PK), železnice, letiště, světelně řízené křižovatky, parkoviště, atd. Kapacitu pozemní komunikace je možno obecně popsat hodnotou, do které je pozemní komunikace schopná umožnit dopravní pohyb za daných okolností.

¹ Doc. Ing. Miloslav Řezáč, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podestě 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba, tel.: (+420) 597 321 313, e-mail: miloslav.rezac@vsb.cz

Tato definice umožňuje různé použití slova „kapacita“

- ekonomická kapacita PK
- dopravní kapacita PK
- environmentální kapacita PK

Zatímco dopravní kapacita je pojem známý a jeho stanovení se věnuje relativně dostatečná pozornost, zejména termín environmentální kapacita není dosud u nás používán (i když není neznámý), protože pro něj nejsou stanovená kritéria a podmínky používání.

Koncepce environmentální kapacity je v souladu se zásadou udržitelného rozvoje, že činnost, kterou tento rozvoj vyžaduje, nesmí přesáhnout únosnou kapacitu životního prostředí. Považujeme-li za tuto činnost v daném území dopravu po pozemních komunikacích, potom je cílem stanovit hranice, kdy nepřesáhneme jejich environmentální kapacitu.

Environmentální kapacita pozemní komunikace je pojem, který byl obvykle aplikovaný, při plánování dopravních skeletů a tras komunikací, které ovlivňují převážně osídlené oblasti. Je popisována jako schopnost komunikace přenést dopravu dynamickou a statickou s ohledem na potřebu udržet vybrané (zvolené) environmentální standardy.

Dopravní inženýr tak musí řešit problém zajistit na uvažované komunikaci kapacitu pro výhledovou velikost dopravního proudu vozidel a zároveň nepřekročit stanovenou kapacitu environmentální. Například [2] zahrnuje termín „ekologická kapacita komunikace“, definovaná jako „povolená maximální intenzita jejího výhledového zatížení za uvažovaných geometrických a dopravních podmínek (rychlost a skladba dopravního proudu vozidel apod.), při které ještě nejsou překročeny limitní hodnoty negativních účinků z dopravy (hluk, emise, vibrace) životního prostředí v okolí komunikace“.

Pojmy „ekologická kapacita PK“ a „environmentální kapacita PK“ je možno považovat za rovnocenné - jejich správné použití zatím není jednoznačné - v zahraniční literatuře převládá pojem environmentální kapacita.

Dále se uvádí, že „kapacita navrhované komunikace musí být větší než její předpokládané návrhové zatížení a nemá se při jejím dosažení překročit ekologická kapacita“.

Pro výpočet ekologické/environmentální kapacity neexistuje žádný postup, který by řešil komplexní hodnocení vlivu komunikace na její okolí zahrnutím většiny vlivů jedním algoritmem nebo sumární kritériální hodnocení.

2 PODKLADY PRO VÝPOČET ENVIRONMENTÁLNÍ KAPACITY

Z hlediska uvedené definice environmentální kapacity PK je zřejmé, že pro stanovení environmentální kapacity je potřebné určit i kritickou úroveň (limitní hodnoty) znečištění (příp. dalších negativních jevů), která je definovaná jako maximální povolená hladina znečištění - emisní standard - hluku, exhalátů, vibrací z hlediska bezpečnosti a pohody chodců a cyklistů a vizuálního rušení, jejichž zdrojem je pozemní komunikace - doprava na ní. Environmentální standardy přípustné v dané lokalitě se mohou podstatně měnit v závislosti na času, typu pozemní komunikace apod.

Na určení environmentální kapacity PK je tedy potřebné určit celkové emise znečištění, generované všemi faktory spojenými s pozemní komunikací, přičemž cílem je stanovit environmentální kapacitu různých typů pozemních komunikací - určit dopravní podmínky - kvantifikovat dopravní charakteristiky, při kterých je dosažená environmentální kapacita pozemní komunikace. Obecně je možno formulovat:

$$EKPK = f(H, E, V, N, P, Ú) \quad (1)$$

kde:

EKPK - environmentální kapacita PK - nejvyšší intenzita hodnocené pozemní komunikace (voz/h/profil) při které ještě nejsou překročeny limitní hodnoty hluku a zároveň exhalátů a zároveň vibrací v jejím okolí

<i>H</i> -	hluk z dopravy
<i>E</i> -	emise z dopravy
<i>V</i> -	vibrace z dopravy
<i>N</i> -	dopravní nehodovost
<i>P</i> -	prašnost
<i>Ú</i> -	ropné úkapy

Praktické naplnění takto definované funkce environmentální kapacity pozemní komunikace si vyžaduje stanovení konkrétního matematického postupu, podle požadované přesnosti výsledků je nutno volit mezi vybranými faktory nebo jejich co nejširší škálou. Výsledkem bude výpočet dopravního zatížení jako parametru ekologické/environmentální kapacity pozemní komunikace při stanovených kritériích.

3 HLUK JAKO JEDEN Z LIMITUJÍCÍCH FAKTORŮ ENVIRONMENTÁLNÍ KAPACITY POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

Jedním z faktorů je hluk, který byl vybrán jako představitel negativního působení dopravy na okolí liniových či plošných dopravních staveb. Popisem výskytu hluku ve venkovním prostoru – dopravního, průmyslového a komunálního - se zabývá urbanistická akustika. Akustická situace je dána znalostí o prostoru a času působení všech zdrojů akustické energie. Praktické možnosti omezují získat a ve výpočtu využít neúměrného množství informací, proto se akustická situace ve venkovním prostoru charakterizuje do modelu:

- A – v sídlech s vysokým stupněm motorizace dominuje v denní době silniční provoz, s výjimkou lokalit v blízkosti výrazných zdrojů hluku, respektive s výjimkou míst, jež jsou ovlivňována přelety letadel či jízdou dopravních prostředků kolejové dopravy.
- B – při zvětšující se vzdálenosti observačních míst od pozemních dopravních cest začínají převládat účinky lokální zdroje hluku – komunální aktivity, provoz průmyslových zařízení atd.
- C – v noční době dochází v důsledku poklesu intenzity provozu na pozemních dopravních cestách k přechodu od výskytu liniových zdrojů hluku (související dopravní proud) ke zdrojům bodovým (jednotlivé dopravní prostředky).
- D – součtem (superpozicí) akustických účinků uváděných zdrojů akustické energie (hluku) vzniká akustická situace (pole), která je závislá na typech a době výskytu zdrojů hluku.

Závažnost zdrojů hluku z dopravy je dána možností působení v kterékoli denní či noční době, přičemž díky své mobilitě dostanou co nejbližší k místům pobytu lidí (bytům, školám, zdravotnickým zařízením).

Hladina hluku generovaného dopravou na PK závisí na mnoha faktorech a je možné ji vypočítat podle různých modelů s rozdílnou přesností. Je nutné vytvořit model, který by umožňoval výpočet hluku z dopravy pro všechny možné kombinace geometrických a dopravních podmínek všech typů PK.

Tento požadavek naznačuje, že najít takový, který by umožňoval přesný výpočet hluku na místních komunikacích (vliv na obyvatelstvo) je náročné, protože provoz na místních komunikacích zahrnuje různé režimy a jejich matematický popis je komplikovaný. Hladina hluku je přímo výsledkem vztahu hluku a dopravních charakteristik pozemních komunikací. Hladina hluku v okolí komunikací je výsledkem vztahu hluku a dopravních charakteristik pozemních komunikací.

Při stanovení environmentální kapacity pozemní komunikace z pohledu hluku budeme vycházet z u nás platného výpočtového modelu podle [2] ve smyslu novely metodiky a platné legislativy pro ochranu životního prostředí a zdraví obyvatel.

Pro základní dopravně-urbanistickou situaci můžeme stanovit:

1. environmentální kapacitu v referenční vzdálenosti 7,5 m od zdroje hluku
2. environmentální kapacitu v posuzované vzdálenosti se zahrnutím korekcí (útlumu hluku), které zohledňují
 - terén mezi zdrojem a referenčním bodem pohltivý/odrazivý,
 - šířku komunikace,
 - délku úseku komunikace,
 - útlum hluku nízkou zástavbou,
 - útlum hluku překážkou nebo konfigurací terénu,
 - vliv přilehlé souvislé zástavby,
 - narušování plynulosti dopravního proudu,
 - vliv zeleně,
 - případně další prokazatelné vlivy mohou měnit hladinu hluku ze zdroje

Vzhledem k odlišným limitním hodnotám hladin hluku v průběhu dne (den/noc), bude i environmentální kapacita PK odlišná pro den/noc. Výsledná hodnota environmentální kapacity PK je vždy nižší z nich - u řady typů PK jsou limitní hodnoty hluku překračovány v noční době. Problémem, který ve vztahu k výpočtu environmentální kapacity PK možno označit, je kvantifikování dopravních charakteristik pro výpočet environmentální kapacity a jeho sladění s postupy výpočtu (dopravní) kapacity PK. Hlavní problémy:

- stanovení hodinové intenzity dopravy – přepočty na intenzitu den/noc vychází z hodnoty ročního průměru denních intenzit (RPDI)
- přepočet přípustné intenzity v celém profilu pozemní komunikace (resp. pro jeden, více zatížený směr/jeden jízdní pruh)
- sladění výpočtu s požadavky na kvalitu pohybu dopravního proudu (DP) - funkční úroveň PK
- definování (kvantifikace) korekcí (útlumu hluku), které mohou při specifické dopravně-urbanistické situaci environmentální kapacitu PK zvýšit - změna jedné dopravní charakteristiky způsobí změnu všech ostatních a následně vyvolá i okamžitou změnu charakteru hluku.

Z hlediska efektivního využití investice na výstavbu PK při zachování jej dopravně-technické úrovně by měl platit požadavek vyjadřující vztah mezi EKPK a kapacitou PK:

$$x_n > I_p \quad (2)$$

kde:

x_n - intenzita dopravy, při které se dosáhne v posuzovaném bodě limitní úroveň akustického tlaku,

I_p - hodinová dopravní kapacita PK

Když je podmínka dána vztahem (2) splněna, environmentální kapacita PK z hlediska hluku je dostatečná a posuzovaný rozsah dopravy na předmětném úseku PK nebude nadměrně zatěžovat svoje okolí, v opačném případě budou přípustné hladiny hluku překročeny.

Při všech úvahách je třeba si uvědomit, že když hovoříme o dopravní kapacitě PK, máme na mysli její kapacitu za daných dopravních a geometrických podmínek - to znamená rychlosti DP, skladby DP a podmínky samotné komunikace.

4 DALŠÍ LIMITUJÍCÍ FAKTORY ENVIRONMENTÁLNÍ KAPACITY POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

Vibrace z dopravy na pozemních komunikacích patří mezi výrazně negativní účinky, které působí na bezprostřední okolí. Provozem dopravních prostředků jsou vyvolávány otřesy a vibrace jako důsledek změn dotykových sil mezi koly vozidel a povrchem vozovky; vybuzují napěťové vlny, které se šíří do okolního prostředí. Výraznou charakteristikou vibrací (otřesů z dopravy) je, že:

- mají náhodný nepravidelný charakter s délkami vln v rozmezí od 2 až 10m, při amplitudách posunutí 20 mikrometrů,
- člověk je pociťuje subjektivně jako nepříjemné a v některých případech se projevují nepříznivými účinky na lidském zdraví,
- v okolí komunikací dopravně zatížených těžkými vozidly působí prakticky nepetržitě,
- zrychlení těchto otřesů dosahují takových hodnot, že vyvolávají vnitřní změny ve hmotách otřásaných objektů, snížení jejich pevností a krácení jejich životnosti, popř. až ohrožení jejich stability.

Účinky vibrací na okolí, vyvolané dopravou a jejich velikost, jsou dány skladbou dopravního proudu, stavem a konstrukcí vozovky (trati), kvalitou povrchu, podmínkami pro šíření vln půdou, stavebním uspořádáním objektů apod. Nejvyšší přípustné vážené hodnoty zrychlení vibrací a otřesů ve stavbách stanoví nařízení vlády č. 148/2006 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Emise - složení a množství výfukových plynů je závislé na druhu motoru (zážehový, vznětový), na dalších konstrukčních parametrech vozidel, na pracovním režimu motoru, na složení pohonných látek apod. Tyto škodliviny nepůsobí samostatně, ale v kombinaci jako vznikající spaliny ve spalovacím motoru. Z látek emitovaných motorovými vozidly se spalovacími motory je možno jmenovat oxid uhelnatý (CO), který se vytváří v průběhu spalování při nedostatku kyslíku. Vznik uhlovodíků (C_xH_y) je vyvolán neúplným spalováním paliva, případně oleje v motoru. Zkoumána je otázka karcinogenity některých emitovaných polycyklických uhlovodíků. Z oxidu dusíku (NO_x) emitují spalovací motory, především oxid dusnatý, jako produkt spalování paliva ve vzduchu při vysokých teplotách. Oxid dusnatý v ovzduší rychle reaguje na oxid dusičný, který je považovaný za jedovatý a působí dráždivě na sliznice očí a horních cest dýchacích.

Jako doporučení ke snížení absolutního množství emisí lze uvést plynulost dopravy (koordinace křižovatek), rovinatost tras a rozmístění a výšku zástavby.

Nehodovost – vyhodnocení celospolečenských ztrát způsobených nehodovostí v silničním provozu je prováděna technikou přímého zjišťování nákladů na zdravotní péči, administrativu (policie, soudy, pojišťovny), vyšší sociální výdaje a hmotných škod. Pro ocenění ztrát na produkci bylo použito tzv. hrubého výnosu, tj. výše hrubého domácího produktu na obyvatele. Jsou to náklady přímé, které mají přímý dopad na výdaje státního rozpočtu.

Do ztrát nejsou zahrnuty subjektivní škody, mezi které patří bolest, utrpení, šok, ztráta naděje na dožití, ztráta životní pohody a obvyklého způsobu života, narušení rodiny a jiné, zpravidla nenahraditelné škody. Výše ocenění subjektivních škod je obtížně srovnatelná a monetárně nemůže být spolehlivě vyjádřena, i když je minimálně stejně závažnou stránkou tragédie dopravních nehod jako jejich ekonomické důsledky.

5 ZÁVĚR

Škála faktorů negativně ovlivňující okolí dopravních cest a staveb může být daleko širší, dokážeme-li vyjádřit zákonitosti působení na životní prostředí, případně jejich spolupůsobení s dalšími faktory, zhoršujícími životní prostředí. Právě tak může být výsledek přesnější, což vede ke zvýšení náročnosti řešení úkolu. Vzhledem k tomu, že v mnoho případech jde o prognózu řady prvků systému:

- trasa budoucího dopravního spojení
- budoucí dopravní zatížení dopravní cesty či plochy
- budoucími dopravními prostředky s kvalitativně lepšími technickými parametry

se domnívám, že by postup měl být úměrně náročný na rozsah a přesnost dat, jakož i na zpracování. Pro stanovení environmentální kapacity pozemní komunikace (a obecně jakékoli dopravní cesty či zařízení) by měla být sestavena pomůcka nebo metodika, podobně jako v jiných zemích, zahrnující v jednom postupu spektrum faktorů negativních vlivů na okolí těchto staveb. Její využití by mělo opodstatnění a využití pro odborníky stavební sféry (příprava, realizace, správa), pracovníky ochrany životního prostředí, ochrany zdraví, úředníky státní správy případně i pro veřejnost.

LITERATURA

- [1] Kolektiv. Environmentálna kapacita pozemných komunikácií a jej aplikácia v dopravnom plánovaní. *Výzkumný úkol VEGA 1/1127/04, Technická univerzita Košice.*
- [2] Kolektiv. Parametre environmentálnej únosnosti dopravných staveb. *Výzkumný úkol VEGA 1/3314/06, Technická univerzita, STÚ Bratislava.*
- [3] SALAIOVÁ, B. Dopravno-inžinierske charakteristiky pre zvýšenie dopravno-technickej úrovne pozemných komunikácií. *Habilitační práce, Technická univerzita, Stavebná fakulta Košice, 2008.*
- [4] STN 73 6110 Projektovanie miestnych komunikácií.
- [5] Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod. Centrum dopravního výzkumu, Brno, 2001

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Daniela Ďurčanská, Ph.D., Fakulta stavebná, Žilinská univerzita v Žiline.

Doc. Ing. Petr Jůza, Ústav pozemních komunikací, CSc., Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Tomáš SEIDLER¹, Denisa CIHLÁŘOVÁ², Marek MIHOLA³, Marián KRAJČOVIČ⁴

PREDIKCE PORUCH POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ NA PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ

ROADS DISTURBANCES PREDICTION ON UNDERMINED AREA

Abstrakt

Příspěvek pojednává o možnostech predikovat vznik poruch pozemních komunikací vlivem důlní činnosti. Statisticky hodnotí dostupná archivní data o poruchách ve vztahu k predikčním poklesovým mapám. Nastihuje dva možné modely predikce budoucích poruch od důlních škod a hodnotí jejich věrohodnost.

Klíčová slova

Poddolované území, poklesová mapa, systém hospodaření s vozovkou.

Abstract

The paper discusses how to predict road disturbances due to mining activities and statistically evaluates the available data of disturbances on roads in relation to the prediction maps of subsidence. It outlines two possible prediction models of future disturbances caused by mining influences and assesses their credibility.

Keywords

Undermined area, map of subsidence, pavement management system.

1 ÚVOD

V dnešní době vyznačující se velkými škrty v rozpočtu a krácením investic ve všech odvětvích, je důležité více než kdy jindy správně každou investici zvážit. V oblasti dopravních staveb a pozemních komunikací je potřeba věnovat pozornost kvalitní údržbě. Nové investice se oddalují, a proto musí být zachovaná v co nejvyšší kvalitě stávající silniční síť. Ideálním prostředkem pro řešení této problematiky by bylo systémové a důsledné používání systému hospodaření s vozovkou (SHV). Jeho nasazení v prostředí české republiky však není stále plnohodnotné a systémy a správa je v různých krajích různá. Bohužel nastavení SHV, v dobách kdy byly investice na dopravní infrastrukturu, se příliš nepodařilo a v současné době již toto nebude zcela jednoduché. Počáteční investice pro nastavení SHV jsou totiž poměrně vysoké, nicméně správně fungující SHV pak dokáže v každém roce velkou část finančních prostředků ušetřit.

¹ Ing. Tomáš Seidler, CSc., Katedra dopravních staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 981, e-mail: tomas.seidler@vsb.cz.

² Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D., Katedra dopravních staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 315, e-mail: denisa.cihlarova@vsb.cz.

³ Ing. Marek Mihola, Ph.D., Katedra dopravních staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 981, e-mail: marek.mihola@vsb.cz.

⁴ doc. Ing. Marián Krajčovič, CSc, Katedra dopravních staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 336, e-mail: marian.krajcovic@vsb.cz.

Například dle studie přínosů používání SHV [1] ve státě Arizona, USA, z roku 2000, každý dolar utracený na provoz, vývoj a správu SHV znamená 30 dolarů úspor ve výdajích na opravy vozovky. Pokud by se započítaly také náklady uživatelů silniční sítě, úspora na každý dolar vynaložený na SHV byla přibližně 250 dolarů. Tato čísla jsou výsledkem šestnáctiletého používání SHV.

Obecně jsou přínosy používání SHV nesporné, pro jeho spuštění je však spousta překážek. V MSK je jednou z překážek jeho specifická poloha na území s dlouhou historií důlní činnosti. Setkáváme se s dvěma oblastmi, důlně aktivních oblastí v okrese Karviná a oblastí s doznívajícími, nebo dozněnými vlivy v okrese Ostrava. Dále se článek věnuje okresu Karviná, kde jsou vlivy z poddolování stále aktivní a lze zde tedy získat data pro další analýzy.

2 KLASIFIKACE OBLASTÍ A PORUCH

Vlivy důlní činnosti jsou dle českých předpisů řešeny v rámci ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území, tj. [2]. Volba zajištění stavby proti vlivům poddolování je dle [2] vždy založena na několika faktorech:

- typ a velikost spojitých nebo nespojitých deformací povrchu,
- doba, po kterou je objekt vystaven vlivům poddolování,
- význam a předpokládaná životnost stavby,
- konstrukční řešení objektu,
- požadavky na funkci a technologické zařízení.

Předpokládaný vliv poddolování je tříděn dle parametrů terénu (vodorovné poměrné přetvoření „ ε “, poloměr zakřivení „ R “ a naklonění „ i “) do tzv. skupin stavenišť. Těchto skupin je pět, přičemž staveniště „V“ je takové, které nevyžaduje zvláštní opatření. Staveniště IV a III lze zajistit v rámci ekonomicky akceptovatelných opatření. Staveniště II a I nejsou pro stavbu vhodná, použít je lze pouze v odůvodněných případech. Obdobou tohoto třídění v rámci českých podmínek je třídění do stavenišť poddolování užíváno i v jiných státech (viz tabulka 1).

Tab. 1. Třídění poddolovaných území do stavenišť (zdroj : [2], [3])

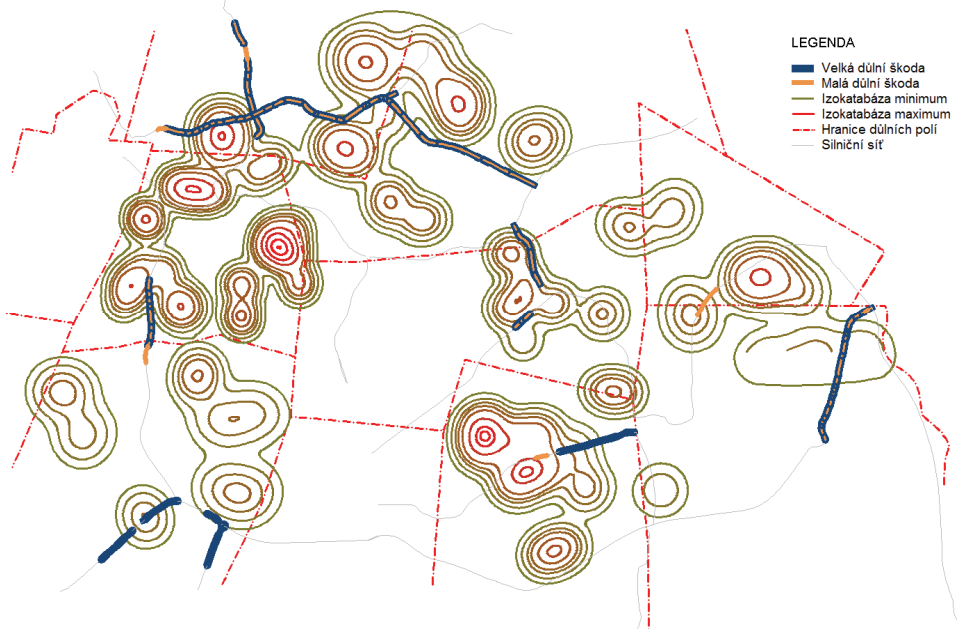
Skupina staveniště	ČR	Polsko	Ruská federace
I	$\varepsilon > 7 \cdot 10^{-3}$ $R < 3 \text{ km}$ $i > 10 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$\eta > 120 \cdot 10^{-6} / \text{m}$	$T < 10 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 7,5 \text{ mm/m}$ $\rho > 3 \text{ km}$
II	$7 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 5 \cdot 10^{-3}$ $3 \geq R > 7 \text{ km}$ $10 \cdot 10^{-3} \geq i > 8 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$T < 15 \text{ mm / m}$ $\eta < 120 \cdot 10^{-6} / \text{m}$ $\varepsilon > 9 \text{ mm/m}$	$T < 8 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 6 \text{ mm/m}$ $\rho > 5,5 \text{ km}$
III	$5 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 3 \cdot 10^{-3}$ $7 \geq R > 12 \text{ km}$ $8 \cdot 10^{-3} \geq i > 5 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$T < 10 \text{ mm / m}$ $\eta < 90 \cdot 10^{-6} / \text{m}$ $\varepsilon > 6 \text{ mm/m}$	$T < 5 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 3,5 \text{ mm/m}$ $\rho < 12 \text{ km}$
IV	$3 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 1 \cdot 10^{-3}$ $12 \geq R > 20 \text{ km}$ $5 \cdot 10^{-3} \geq i > 2 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$T < 5 \text{ mm / m}$ $\eta < 50 \cdot 10^{-6} / \text{m}$ $\varepsilon > 3 \text{ mm/m}$	$T < 4,5 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 2,5 \text{ mm/m}$ $\rho < 18 \text{ km}$
V	$\varepsilon = 1 \cdot 10^{-3}$ a méně $R = 20$ a více km $i = 2 \cdot 10^{-3}$ a méně rad	$T < 2,5 \text{ mm / m}$ $\eta < 20 \cdot 10^{-6} / \text{m}$ $\varepsilon > 1,5 \text{ mm/m}$	$T < 4 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 2 \text{ mm/m}$ $\rho > 20 \text{ km}$
R – poloměr zakřivení, ε – vodorovné poměrné přetvoření, i – naklonění, T – změna sklonu, η – zakřivení terénu, $\rho = 1/h$			

Základní členění poruch vychází z typu deformací terénu a člení se na spojité a nespojitě. Tyto deformace mohou mít různý vliv na pozemní komunikaci. Poruchy vzniklé na silniční síti v okrese Karviná jsou správcem členěny na tzv. velké důlní škody (VDŠ) a malé důlní škody (MDŠ).

Mezi MDŠ patří zejména frézování krytu menších ploch (vysprávk), zálivka trhlín, úprava odvodnění, vyzvednutí poklopů kanalizačních šachet, dále opravy vybavení jako je osazení nových svodidel, výsadba nové zeleně, případně osazení nového svislého a vodorovného značení. Obecně lze MDŠ sloučit do kategorie poruch, které jsou do celkové částky přibližně 100 000 Kč. Mezi VDŠ patří všechny opravy většího rozsahu, tzn. opravy za více než 100 000 Kč. Nejčastěji mezi ně patří poruchy typu deformace povrchu, příčné trhliny, hrby, deformace směrové a výškové a celková denivelace povrchu.

3 ANALÝZA PORUCH A TVORBA MODELU PRO JEJICH PREDIKCI

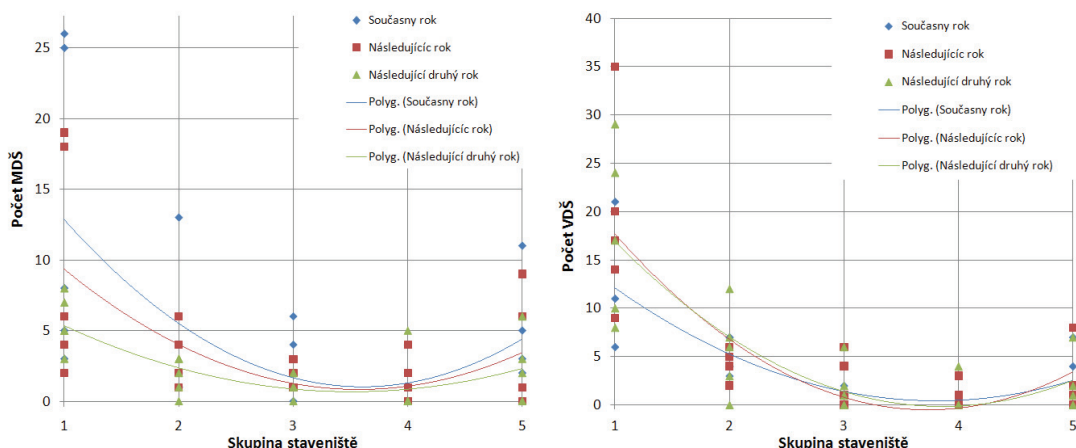
Poruchy zaznamenané na silniční síti v okrese Karviná za posledních 9 let byly statisticky zhodnoceny a zanalyzovány. Zůstalo zachováno třídění poruch na VDŠ a MDŠ. Základním cílem pro analýzu je otázka, kdy se porucha na silniční síti projeví v závislosti na její lokalizaci vůči tzv. poklesové mapě. Pro analýzu byly použity mapy předpokládaných poklesů pro jednotlivé roky tedy mapy prognózní, které byly zpracovány v programu ArcGIS. Z poklesových map tvořených izokatabázami bylo vypočítáno zakřivení (rastrový model), jež bylo kategorizováno do jednotlivých skupin stavenišť. Poruchy získané z archivu Správy silnic Moravskoslezského kraje (SSMSK) přiřazené na silniční síť byly následně lokalizovány vůči takto zpracovaným poklesovým mapám a mapám zakřivení ve snaze určit tzv. nejvýznamnější rok projevu vlivu poddolování na pozemních komunikacích při známé skupině stavenišť.



Obr. 1: Prognózní poklesová mapa pro rok 2003 spolu se záznamem poruch z téhož roku

3.1 Určení nejvýznamnějšího roku

Pro určení nejvýznamnějšího roku plného projevu důlních škod na silniční síti byl výchozí předpoklad, že nejvyšší výskyt poruch bude právě v roce predikovaných poklesů. Další variantou je ta, že nejvýznamnější rok bude v roce následujícím po predikci, případně v následujícím druhém roce. Jako kritérium pro jeho stanovení byla brána skupina stavenišť I a II. Jedná se totiž o nejméně příznivou skupinu a u dalších tříd při menším přetvoření terénu může vznik a vývoj poruch postupovat pomaleji.



Obr. 2: Závislost vzniku VDŠ a MDŠ na skupině staveniště v čase

Z grafů na obr. 2, kde je výskyt VDŠ a MDŠ vyjádřen pomocí logaritmických křivek, vyplývá následující:

- Poruchy se na silniční síti projeví v aktuálním roce nejvíce v podobě MDŠ
- VDŠ se na silniční síti výrazněji projeví až v roce následujícím a druhém následujícím

Tento fakt může být způsoben několika faktory. Jednak zpracovaná data jsou záznamy o opravě poruch, jejich vznik tedy může být v čase posunut do doby dřívější. Tato skutečnost se v rámci MDŠ nemusí výrazně projevit, jelikož se převážně jedná o opravy menšího charakteru, jak již plyne z jejich finanční náročnosti. Naopak VDŠ jsou škody rozsahu většího a finančně, ale také organizačně, značně náročnější. Proto může být oprava poruchy v čase posunuta.

Zajímavá je také skutečnost, že výskyt poruch jak VDŠ tak i MDŠ znovu roste v nejméně ohrožené páté skupině staveniště. Tento fakt bude předmětem dalšího zkoumání.

3.2 Predikční modely vzniku poruch

Dalším krokem je stanovení predikce výskytu počtu důlních škod na dotčených komunikacích, v závislosti na skupině staveniště a poškození v roce současném „ x “, následujícím „ $x + 1$ “ a následujícím druhém „ $x + 2$ “. Predikční rovnice byly sestaveny pomocí mnohonásobné lineární regrese. Pro sestavení predikčních rovnic byl použit celkový soubor, získaný analýzou dat v programu ArcGIS. Vždy byla porovnána poklesová mapa roku „ x “ s počty poruch v letech „ x “, „ $x+1$ “ a „ $x+2$ “ obdobně jako v případě zjišťování nejvýznamnějšího roku.

Pro sestavení predikční rovnice umožňující z hodnot a počtu poruch z roku „ x “ získat počet poruch v roce „ $x + 1$ “, „ $x + 2$ “, byly použity dvě metody.

První metoda

Z informace o skupině staveniště a počtu důlních škod (PDŠ) v roce „ x “ byly nejprve predikovány počet poruch pro rok „ $x + 1$ “ a tato hodnota byla dále použita pro predikci pro rok „ $x + 2$ “. Matematicky je tato závislost a predikce vyjádřena rovnicemi (1) a (2).

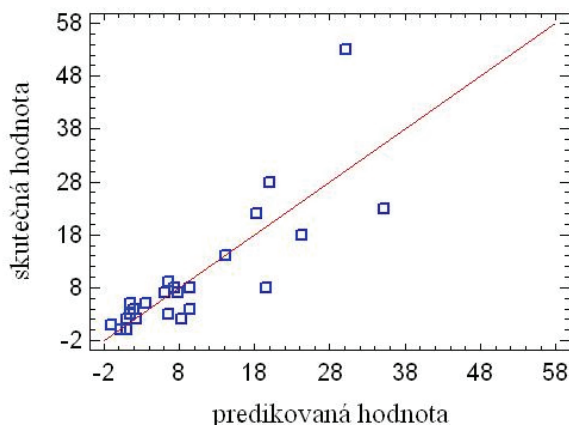
$$PDŠ_{x+1} = 5,2 + 0,8 \cdot DŠ_x - 1,2 \cdot TŘ, \quad (1)$$

$$PDŠ_{x+2} = 1,3 + 0,8 \cdot PDŠ_{x+1} - 0,3 \cdot TŘ, \quad (2)$$

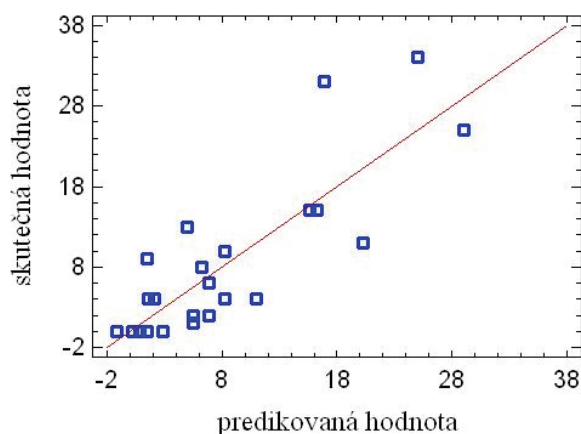
kde:

- $PD\check{S}_{x+1}$ – predikovaný počet důlních škod v následujícím roce,
- $PD\check{S}_{x+2}$ – predikovaný počet důlních škod v druhém následujícím roce,
- $D\check{S}_x$ – počet důlních škod v současném roce,
- $T\check{R}$ – skupina stavenišť.

Spolehlivost tohoto modelu je vyjádřena grafy na obrázcích 3 a 4. Červená přímka je spojnice bodů se 100% shodou ($R=1$), tzn. situace, kdy predikovaná data jsou rovna datům výsledovým.



Obr. 3: Vztah mezi výsledovým a predikovaným počtem důlních škod v roce „ $x+1$ “



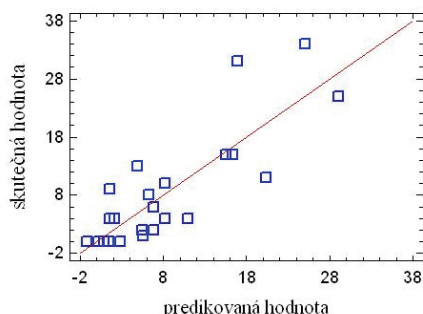
Obr. 4: Vztah mezi výsledovým a predikovaným počtem důlních škod v roce „ $x+2$ “

Druhá metoda

Ze skupiny stavenišť a počtu důlních škod v roce „ x “ byla přímo predikován počet poruch důlních škod v roce „ $x+2$ “.

$$PD\check{S}_{x+2} = 5,4 + 0,7 \cdot D\check{S}_x - 1,3 \cdot T\check{R}, \quad (3)$$

Spolehlivost tohoto modelu je vyjádřena grafem na obr. 5. Červená přímka je spojnice bodů se 100 % shodou ($R=1$), tzn. situace, kdy predikovaná data jsou rovna datům skutečným.



Obr. 5: Vztah mezi skutečným a predikovaným počtem důlních škod v roce „ $x + 2$ “

Hodnota P -value je pro všechny výše uvedené predikční rovnice menší než 0,01, tzn. mezi proměnnými je statistický významný vztah, který se pohybuje v rozmezí 93 – 99 % na úrovni spolehlivosti. Korelační koeficient se nachází v rozmezí hodnot 0,83 – 0,84 což svědčí o relativně silném vztahu mezi predikovaným a skutečným počtem důlních škod. Při porovnání obou metod predikce bylo zjištěno, že oběma způsoby bylo dospěno k téměř stejným výsledkům (korelační koeficient 0,99). Přičemž přesnější je metoda první (výpočet hodnoty „ $x+2$ “ z hodnoty „ $x+1$ “) ovšem na druhou stranu je časově náročnější a je nutné brát v úvahu, že výsledek může být zatížen chybou z již vypočtené hodnoty $PD_{x+1}^{\hat{}}$.

4 ZÁVĚR

Pokud lze ze stavu „ x “ odvodit stav pro roky „ $x + 1$ “, „ $x + 2$ “, je možné zjistit stav pro rok „ $x + n$ “. Samozřejmě s omezenou přesností a v závislosti na dostupných mapových podkladech, či dostupných informacích o zatřídění do skupin staveníšť. Takováto predikce by mohla mít uplatnění v rámci SHV. Důlní škody jsou a stále budou do jisté míry nahodilý jev, ovšem alespoň v omezené míře se je podobnými metodami můžeme pokusit predikovat a na základě tohoto do budoucna vytvářet přímo částku v rozpočtu určenou na DŠ, případně rezervní fond. Financování DŠ je specifická problematika, ze zákona ji má v plné výši hradit provozovatel dolu, ovšem stále častěji se setkáváme s posudky definující poměrovou škodu vzniklou důlní činností a vzniklou běžným provozem. V dalším kroku by tedy měla být zapojeny informace o intenzitách dopravy a také finanční náklady.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

LITERATURA

- [1] W. R. HUDSON, S. W. HUDSON, G. WAY, J. DELTON: *Benefit of Arizona DOT Pavement Management System after sixteen years experience*. Transportation Research Board meeting, January 2000, Washington D.C.
- [2] ČSN 73 0039 *Navrhování objektů na poddolovaném území*, Vydavatelství norem Praha, 1989.
- [3] H. WAGNER, E.H.R. SCHOMANN: *Surface effects of total coal-seam extraction by underground mining methods*. Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, vol 91, no. 7., Jul 1991. pp. 221-231.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Ivo Černý, CSc., Ostrava.

Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Katedra silničních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.

Ondřej SVÁK¹, Pavel FIALA², Tomáš SEIDLER³

CHARAKTERISTIKA PŘÍČIN NEHODOVOSTI JEDNOSTOPÝCH MOTOROVÝCH VOZIDEL

CHARACTERISTICS OF THE CAUSES OF MOTORCYCLES ACCIDENTS

Abstrakt

Pozemní komunikace pro motorová vozidla v ČR, jejich projektování, technologie výstavby, údržby a oprav, podléhají platným normám (ČSN), které vznikly v době, kdy provoz motocyklů na silnicích nebyl tak rozsáhlý. Dnes patří naopak ČR mezi země s největším počtem registrovaných motocyklů na počet obyvatel a vévodí tak i statistikám jejich dopravních nehod s tragickými následky. Pro zvýšení bezpečnosti uživatelů motocyklů je proto nutné provést primárně charakteristiku příčin nehod, vyhodnocení a následnou úpravu ČSN.

Klíčová slova

Motorcykl, bezpečnost dopravy, pozemní komunikace, dopravní nehoda, příčina nehody, rychlost, ekonomická ztráta, pravděpodobnost, brzdná síla.

Abstract

Roads for motor vehicles in the Czech Republic, their design, technology, construction, maintenance and repair, are subjected to applicable standards (ČSN), which were established in the past, when the traffic of motorcycles on the roads wasn't so extensive. Today, the Czech Republic is one of the countries with the highest number of registered motorcycles per capita and dominates the statistics of road accidents with tragic consequences. To increase the safety of motorcycle users, it is necessary to characterize primary causes of accidents, evaluation and subsequent treatment of ČSN.

Keywords

Motorcycle, road safety, road, accident, cause of the accident, speed, economic loss, probability, braking force.

1 ÚVOD

Mezi základní možnosti pro zvyšování bezpečnosti silničního provozu na pozemních komunikacích patří samotné zvyšování bezpečnosti silniční sítě. Pozemní komunikace, včetně celého dopravního prostoru, by měly primárně sloužit nejen pro rychlé a bezpečné převedení vozidla z místa A do místa B, ale také, v případě pochybení řidiče při jízdě, by měly být pozemní komunikace uzpůsobeny pro minimalizaci škod na životě a zdraví.

¹ Ing. Ondřej Svák, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 604 149 545, e-mail: ondrej.svak.st@vsb.cz.

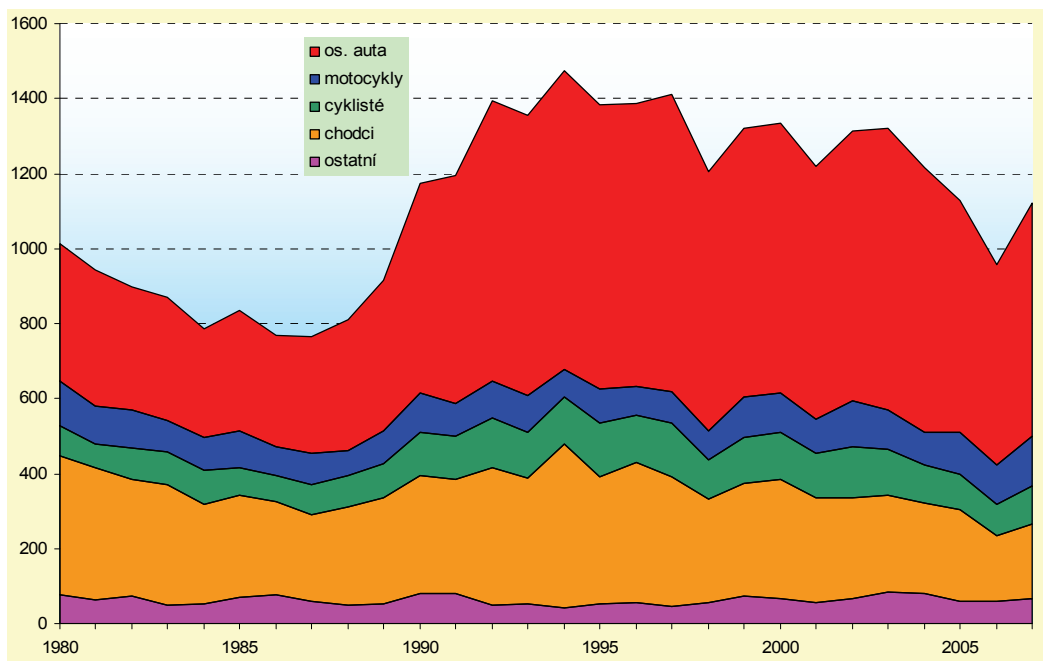
² Ing. Pavel Fiala, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 608 556 720, e-mail: pavel.fiala.st@vsb.cz.

³ Ing. Tomáš Seidler, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597321981, e-mail: tomas.seidler@vsb.cz.

2 NEHODOVOST JEDNOSTOPÝCH VOZIDEL V ČR

V 80. letech minulého století byla ČR (tehdy jako součást ČSSR) zemí s velmi nízkou nehodovostí motorových vozidel na pozemních komunikacích, ve srovnání s jinými evropskými státy. V 90. letech, spolu s postupným růstem životní úrovně a zvyšováním ekonomické mobility obyvatelstva, prudce rostl stupeň motorizace pro dvoustopá a později i pro jednostopá vozidla, v podstatě až do dnešního dne. Během posledních několika let se ČR ve světě řadí mezi země s nejvyšším počtem registrovaných jednostopých motorových vozidel na počet obyvatel. S rostoucím zájmem společnosti o motocykly se bohužel úměrně zvyšuje i jejich nehodovost s poměrně vysokým procentem smrtelných následků, případně těžkých zranění, což vede k vysokým ekonomickým ztrátám společnosti. Vzhledem ke strategii ČR se záměrem podniknout účinné kroky ke snížení nehodovosti a minimalizaci jejich následků, je třeba v první řadě definovat příčiny dopravních nehod uživatelů jednostopých vozidel.

2.1 Vývoj nehodovosti



Obr. 1: Graf usmrcení v provozu na pozemních komunikacích podle typu účastníka (1980 – 2007) [2]

V letech 2008 – 2010 se pohyboval podíl nehod jednostopých motorových vozidel z celkového počtu dopravních nehod motorových vozidel na pozemních komunikacích v průměru okolo 1%. Z hlediska závažnosti následků ovšem zauímají nehody motocyklů přední příčky statistik, kde se počet nehod motocyklů s usmrcením řidičů a jejich spolujezdců pohybuje okolo 11% z celkového počtu smrtelných nehod [2]. V roce 2010 bylo při nehodách motocyklů usmrceno celkem 96 osob, z celkového počtu 1538 nehod [2]. V 1. pol. roku 2011 došlo ke zvýšení počtu nehod zaviněných řidiči motocyklů (o 97, tj. o 17%) a malých motocyklů (o 20 nehod, tj. o 43,5%) oproti stejnému období v roce 2010 [1].

2.2 Nejčastější příčiny nehod

Mezi nejčastější příčiny dopravních nehod motorových vozidel na pozemních komunikacích s tragickými následky patří během posledních let stále stejné opakující se situace, např. nedání přednosti v jízdě, nesprávné předjíždění, vysoká rychlost, nevěnování se řízení, apod. (viz tab. 1 a 2) [1], [4]. Na předních místech ve statistikách je pojem „nepřízpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky“, což znamená z jistého pohledu jen určitý alibismus ze strany státu,

správců a provozovatelů pozemních komunikací, za účelem distancování se od zodpovědnosti za stav provozované komunikace. Během posledních let, vzhledem k nedostatečným financím vkládaným do údržby, provozu a výstavby pozemních komunikací, jde o účelovou „úsporu finančních prostředků“. Tato účelová strategie je ovšem neefektivní a ve výsledku nabývá opačných hodnot, kdy se stále vysokým počtem nehodovosti motorových vozidel a jejími tragickými následky rostou také i ekonomické ztráty státní pokladny za zmařené lidské životy.

Nehody jednostopých motorových vozidel všech kategorií mají vzhledem k minimálním sekundárním prvkům bezpečnosti vysokou pravděpodobnost tragických následků. Při jízdě na motocyklu je třeba větší opatrnosti řidiče a jeho včasných okamžitých reakcí na vzniklou situaci, vzhledem k menším rozměrům motocyklu oproti automobilům a snadné přehlédnutelnosti na křižovatkách a místech s předností v jízdě. Téměř polovina nehod motocyklů vzniká každoročně díky nedání přednosti v jízdě ze strany řidičů automobilů. Vzhledem ke strategii ČR pro snižování nehodovosti motorových vozidel a snižování jejich následků je třeba brát v úvahu stále zvyšující se počet jednostopých vozidel v ČR a provést některé úpravy návrhových prvků pozemních komunikací ve stávajících ČSN. Stav stávajících silnic, návrhové prvky, typy konstrukce a konstrukční uspořádání, bezpečnostní prvky, dopravní značení a některé způsoby oprav a rekonstrukcí přispívají v mnoha ohledech ke zvýšení nehodovosti s tragickými následky. Úpravy by měly zahrnovat jak změnu návrhových prvků, změnu způsobů a technologie oprav, úpravu konstrukčních a bezpečnostních prvků, a v neposlední řadě úpravu svislého a vodorovného dopravního značení. Každoroční statistiky PČR určují deset nejčastějších příčin dopravních nehod na PK (viz tab. 1 a 2).

Tab. 1: Příčiny nejtragičtějších dopravních nehod řidičů motorových vozidel za rok 2010 [1]

Pořadí	Příčiny dopravních nehod	Usmrceno
1.	nepřízpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky	97
2.	řidič se plně nevěnoval řízení vozidla	88
3.	jízda po nesprávné straně vozovky, vjetí do protisměru	87
4.	nepřízpůsobení rychlosti stavu vozovky	81
5.	nepřízpůsobení rychlosti vlastnostem vozidla a nákladu	38
6.	nedání přednosti upravené dopravní značkou "DEJ PŘEDNOST V JÍZDĚ ! "	32
7.	jiný druh nepřiměřené rychlosti	23
8.	nedání přednosti chodci na vyznačeném přechodu	23
9.	nezvládnutí řízení vozidla	22
10.	nepřízpůsobení rychlosti viditelnosti	21

Tab. 2: Příčiny nejtragičtějších dopravních nehod řidičů motorových vozidel v 1. pol. roku 2011 [4]

Pořadí	Příčiny dopravních nehod	Usmrceno
1.	nepřízpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky	54
2.	vjetí do protisměru	37
3.	řidič se plně nevěnoval řízení vozidla	33
4.	nepřízpůsobení rychlosti stavu vozovky	30
5.	nepřízpůsobení rychlosti vlastnostem vozidla a nákladu	19
6.	nedání přednosti upravené dopravní značkou "DEJ PŘEDNOST V JÍZDĚ ! "	15
7.	nepřízpůsobení rychlosti viditelnosti	13
8.	nedání přednosti při odbočování vlevo	11
9.	nezvládnutí řízení vozidla	10
10.	jiný druh nepřiměřené rychlosti	10

Za předpokladu dodržování maximální dovolené rychlosti, musí řidiči motocyklů také přizpůsobit rychlost stavu vozovky a rychlost dopravně technickému stavu vozovky pro bezpečný průjezd. Tyto rychlosti se ne vždy shodují s maximální dovolenou rychlostí na daném úseku, což mimo jiné předpokládá určitou schopnost řidičů předvídat krizovou situaci, která může nastat. Existuje celá řada příčin, které ve většině případů spojuje prakticky nemožnost předvídatelnosti nebezpečných úseků, jako jsou náhlé změny technického stavu vozovek bez dopravního značení, náhlé změny směrových a výškových parametrů (viz tab. 4 a 5).

2.3 Vyčíslení ekonomických ztrát

Každá dopravní nehoda s tragickými následky a újmou na zdraví člověka znamená pro dotčené subjekty dosažení teoretické ekonomické ztráty. Důsledky dopravních nehod se netýkají jen jejich přímých účastníků, ale také ekonomické ztráty státu a státního rozpočtu v různých formách. Dle [3] byly ekonomické ztráty na osobu pro rok 2006 vyčísleny vzhledem k následkům dopravní nehody takto:

- Ztráta v důsledku lehkého zranění - 364 577 Kč
- Ztráta v důsledku těžkého zranění - 3 243 737 Kč
- Ztráta v důsledku usmrcení člověka - 9 662 427 Kč

V roce 2011 můžeme předpokládat v ČR z důvodu inflace nárůst teoretických ekonomických ztrát za lidský život na hodnoty převyšující 10mil. Kč.

Tab. 3: Následky dopravních nehod jednostopých vozidel dle kategorií za rok 2010 [1]

Následky	Moped	Motocykl do 50 ccm	Motocykl	CELKEM
Nezraněno	20	47	637	704
Lehce zraněno	110	162	1537	1809
Těžce zraněno	26	41	439	506
Usmrceno	4	3	89	96

Podle tab. 3 dosahuje součet celkových ztrát z dopravních nehod jednostopých motorových vozidel s újmou na zdraví, případně smrti, pro státní rozpočet za rok 2010 cca 3,23mld. Kč. Zvýšení bezpečnosti dopravní sítě pro motocykly se snížením nehodovosti alespoň o 10%, znamená celkovou úsporu pro státní rozpočet, minimálně 323 mil. Kč. To je každoročně nemalá částka, která může zvýšit rozpočet pro provoz a oživit údržbu rozsáhlé silniční sítě v ČR.

2.4 Statistika pravděpodobnosti nehod motocyklů

Nehody motocyklů, vzhledem k jejich tragickým následkům, již tradičně v posledních letech v ČR plní stránky tisku a informačních serverů. Řidič motocyklu se tak v očích laické veřejnosti stává hazardérem a nebezpečným účastníkem silničního provozu ihned po usednutí za řídítka svého motocyklu bez rozdílu věku, kubatury a typu stroje. I přes zdánlivě vysokou nehodovost motocyklů je výsledek ve srovnání s automobilovou dopravou ve skutečnosti stále mnohem příznivější.

Na základě statistických výpočtů pojišťoven poskytujících povinné ručení vozidla je pravděpodobnost způsobení dopravní nehody u řidičů osobních automobilů několikanásobně vyšší než u motocyklistů. U osobních automobilů je pravděpodobnost způsobení dopravní nehody kolem 5,5 % [3]. Naopak, i při zohlednění kratší motocyklové sezóny, pravděpodobnost nehody zaviněné řidičem motocyklu je stále přibližně pětkrát menší, cca 1,0 %. [3].

3 TECHNICKÝ STAV VOZOVKY JAKO PŘÍČINA NEHOD

Bezpečná jízda na motocyklu je založená primárně na principu neustálého kontaktu styčných ploch pneumatik s povrchem vozovky a dostatečným třením mezi nimi, v daleko větší míře než u automobilů s větší plochou třecího odporu. U automobilů částečná ztráta adheze ještě nemusí vést zcela k následné nehodě. Pozemní komunikace v ČR, ať už novostavby nebo stávající komunikace, obsahují velké množství kritických úseků (viz tab. 4 a 5), které v lepším případě

jen znepríjemní jízdu a sníží jízdní komfort řidiče motocyklu, v horším případě končí ztrátou jízdní stability stroje, ztrátou adheze a následným pádem s vážnými následky.

Tab. 4: Příklady kritických míst pro jednostopá vozidla v extravilánu (Zdroj: vlastní zpracování)

náhlá změna povrchu vozovky bez dopravního značení
nedostatečné povrchové odvodnění komunikace
asfaltové zálivky pracovních spár - podélné, příčné
asfaltové zálivky povrchových trhlin na vozovce
příčné deformace vozovky, zvlnění, trhliny
podélné deformace vozovky, vyjeté koleje
výtluky na vozovce
vydrolení opravených výtluků, špatná technologie oprav
přítomnost šterku na povrchu komunikace
ztekucení asfaltového krytu za vysokých teplot
nevhodný příčný a podélný sklon vozovky
hladká obrušná vrstva se sníženým odporem tření
drolení obrušné vrstvy vozovky
špatná technologie oprav vozovek
vyfrézovaný povrch vozovky
složené směrové oblouky
směrové oblouky umístěné za horizontem bez doplňujícího dopravního značení
napojení polních a lesních cest v nepřehledných úsecích

Tab. 5: Příklady kritických míst pro jednostopá vozidla v intravilánu (Zdroj: vlastní zpracování)

V7 - přechody pro chodce s kluzkým povrchem
ostatní kluzké plochy vodorovného dopravního značení
nehomogenní povrch vozovky - dlažba, panely
kobercové zvlnění povrchu vozovky před křižovatkami
hladké, uvolněné, zapuštěné poklopy uličních kanalizačních vpustí v jízdní dráze
hladké ocelové kryty mostních závěrů
příčné odvodňovací žlábků přes komunikaci
příčný sklon vozovky na okružní křižovatce směrem k vnějšímu okraji
uvolněná dlažba na pojezdových prstencích okružních křižovatek
šikmé křížení (křížení ve směrovém oblouku) tramvajových kolejí
šikmé křížení (křížení ve směrovém oblouku) na železničních přejezdech

Nebezpečí ztráty adheze s povrchem komunikace roste ve směrových obloucích a v přímých úsecích brzdě dráhy motocyklu, úměrně s vyšší dovolenou rychlostí v daném úseku a vyšší rychlostí motocyklu. Při zahájení brzděného manévru se celková hmotnost stroje a řidiče přenesou na přední brzděné kolo, které tak přebírá cca 85% celkové hmotnosti a musí zajistit většinu brzděných účinků. Při deceleraci vozidla se tak většina brzděných účinků přenáší do povrchu vozovky jen přes přední pneumatiku, jejíž styčná plocha s vozovkou musí vyvinout dostatečnou třecí sílu pro zastavení vozidla. Proto jakákoliv nerovnost a deformace vozovky, nečistoty, případně povrchy s nevyhovující obrušnou vrstvou a nedostatečným třecím odporem v brzdě dráze jsou nepřijatelné a zvyšují tak riziko vzniku dopravních nehod.

Během nájezdu motocyklu do směrového oblouku musí řidič zvolit optimální rychlost a přenesení těžiště náklonem směrem do středu směrového oblouku, což zajistí bezpečný a plynulý průjezd. Při naklonění motocyklu dochází vlivem elipsovitého profilu pneumatik ke zmenšení styčné plochy s povrchem, zmenšení třecí síly a zároveň ke zvýšení odstředivé síly v závislosti na poloměru

oblouku, rychlosti vozidla a úhlu náklonu, který svírá rovina svislé a vodorovné osy motocyklu s povrchem vozovky. Při náklonu motocyklu není prakticky již možné využít brzdných sil, proto musí řidič určit vhodnou rychlost pro průjezd směrového oblouku ještě před ním. První polovina oblouku se potom projíždí prakticky konstantní rychlostí. Ve druhé polovině může řidič plynule akcelarovat a zmenšovat úhel náklonu pro výjezd do přímé. Decelerace při náklonu motocyklu přitěžuje přednímu kolu. Využití plných brzdných účinků je v tu chvíli prakticky nemožné. Změna sil působících na obě kola zapříčiní ztrátu adheze s povrchem vozovky, smyk přední, případně zadní pneumatiky, což vede k následnému pádu.

Všechny z uvedených příkladů, deformací na povrchu a konstrukčních nedostatků vozovky v jízdním pruhu, prodlužují v přímé brzdnou dráhu motocyklu, ve směrových obloucích znamenají potom nucené použití brzdných sil, ztrátu adheze, následný smyk a pád, případně vychýlení motocyklu z bezpečné trajektorie pro průjezd oblouku, srážku s protijedoucím vozidlem nebo vyjetí mimo silnici.

4 ZÁVĚR

Zvyšování bezpečnosti silniční dopravy znamená primárně stanovení charakteristiky příčin dopravních nehod pro jednotlivé typy vozidel a jejich následnou minimalizaci. Mezi jednu z hlavních příčin, která každoročně obsazuje přední místa v policejních statistikách, patří špatný stav vozovek na pozemních komunikacích v ČR. Z toho velká část patří nehodám jednostopých motorových vozidel. Vzhledem k rostoucímu počtu motocyklů na českých silnicích a jejich a velkému podílu na nehodách s tragickými následky je třeba přehodnotit a následně provést úpravu některých konstrukčních a návrhových prvků v ČSN, případně změnu technologických postupů oprav a rekonstrukcí vozovek, zapojením odborné veřejnosti do řešení této problematiky.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

LITERATURA

- [1] Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky: Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice za rok 2010 [online]. Aktualizace stránek 2011 [cit. 27.8.2011]. Dostupnost z WWW: <<http://www.policie.cz/policie-cr-web-informacni-servis-statistiky.aspx>>
- [2] Ministerstvo dopravy ČR – BESIP: Revize a aktualizace Strategie na období 2008-2010 (2012) [online]. Aktualizace stránek 25.8.2011 [cit. 28.8.2011]. Dostupnost z WWW: <<http://www.ibesip.cz/Informace-BESIP/Narodni-strategie-BESIP/Narodni-strategie-BESIP-2004-2010>>
- [3] Centrum dopravního výzkumu: Ekonomické ztráty způsobené nehodovostí v silničním provozu v ČR za rok 2006 [online]. Aktualizace stránek 2011 [cit. 26.8.2011]. Dostupnost z WWW: <<http://www.cdv.cz/file/clanek-ekonomicke-ztraty-zpusobene-nehodovosti-v-cr-v-roce-2006/>>
- [4] Policie České republiky: Statistika dopravní nehodovosti za ½ 2011 [online]. Aktualizace stránek 2011 [cit. 27.8.2011]. Dostupnost z WWW: <<http://www.policie.cz/policie-cr-web-informacni-servis-statistiky.aspx>>

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Otakar Vacín, Ph.D., Ústav dopravních systémů, Fakulta dopravní, ČVUT v Praze.

Ing. Michal Radimský, Ph.D., Ústav pozemních komunikací, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Vladimíra MICHALCOVÁ¹, Marian BOJKO², Milada KOZUBKOVÁ³

**MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ NÍZKOTEPLTNÍ OXIDACE UHLÍ
JEDNOFÁZOVÝM A DVOUFÁZOVÝM MODELEM**

**MATHEMATICAL MODELING THE LOW-TEMPERATURE OXIDATION OF COAL
WITH SINGLE-PHASE AND TWO-PHASE MODELS**

Abstrakt

V článku je řešena problematika nízkoteplotní oxidace uhlí v adiabatických podmínkách pomocí komerčního CFD softwaru FLUENT. Za tímto účelem byl vytvořen jednofázový a dvoufázový matematický 2D model. Pro stanovení rychlosti oxidace uhlí bylo využito experimentálního měření se vzorkem polského uhlí.

Klíčová slova

Matematické modelování, CFD, nízkoteplotní oxidace uhlí.

Abstract

Commercial CFD software FLUENT was used to study the oxidation process of coal in adiabatic conditions. Two dimensional, single-phase and two-phase models have been developed. The behavior of the coal to oxygen was modeled using the result of the laboratory-scale experiment with Polish bituminous coal.

Keywords

Mathematical modeling, CFD, low-oxidation of coal.

1 ÚVOD

V této práci je popsána dílčí část úkolu, který řeší matematické modelování nízkoteplotní oxidace uhlí v uhelných skládkách a odvalech. Důležitým faktorem tohoto děje je vliv atmosférických podmínek, proto byla práce na projektu rozdělena do dvou samostatných částí, jejichž cílem bylo vypracovat metodiku pro finální komplexní řešení.

První část byla zaměřena na tvorbu matematického modelu proudění větru v reálné atmosféře s uvažováním změny rychlosti i směru větru tak, aby následně bylo možné atmosférické podmínky zahrnout do řešení oxidace uhlí v uhelných skládkách. Výsledky této části projektu publikované v [1] umožňují objektivně stanovit okrajové podmínky na povrchu skládky uhlí při modelování procesu chemických reakcí. Druhým samostatným úkolem bylo připravit matematický model simulující

¹ Ing. Vladimíra Michalcová, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 326, e-mail: vladimira.michalcova@vsb.cz.

² Ing. Marian Bojko, Ph.D., Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, Fakulta strojní, VŠB-Technická univerzita Ostrava, tř.17.listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 324 385, e-mail: marian.bojko@vsb.cz.

³ Prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc., Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, Fakulta strojní, VŠB-Technická univerzita Ostrava, tř.17.listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 323 342, e-mail: milada.kozubkova@vsb.cz.

rozvoj nízkoteplotní oxidace uhlí v závislosti na okrajových podmínkách a právě tomuto je věnován tento článek.

2 POPIS ÚLOHY

Matematické modelování nízkoteplotní oxidace uhlí představuje složitou problematiku z hlediska definice odpovídajícího modelu charakterizujícího spotřebu kyslíku, produkci plyných zplodin, tvorbu pevných oxidačních produktů a uvolňování tepla. V této práci jsou definovány dva matematické modely nízkoteplotní oxidace uhlí řešené metodou konečných objemů pomocí programu ANSYS Fluent 12.1. První představuje jednofázový matematický model laminárního proudění plynů porézním prostředím. Jako druhý byl použit dvoufázový Eulerův matematický model, kde jsou definovány 2 fáze o různém skupenství. V našem případě se jedná o plynnou a pevnou fázi. Oba modely jsou doplněny o zdrojové členy definující produkci a spotřebu plyných složek a množství uvolněného tepla. Rychlostní konstanta nízkoteplotní oxidace je popsána Arrheniovou rovnicí v kapitole 3.1. Hodnoty aktivační energie a pre-exponenciální faktor v Arrheniově rovnici byly získány z měření na experimentálním zařízení metodou adiabatické oxidace [2]. K definování stechiometrické rovnice a reakčního tepla v kapitole 3.2. bylo využito zkušeností z experimentálního měření rozvoje nízkoteplotní oxidace [3]. Výsledky numerické simulace definovaných matematických modelů byly porovnány s experimentálním měřením polského vzorku uhlí [2].

3 FYZIKÁLNÍ EXPERIMENT

K experimentálnímu měření byl použit vzorek uhlí z dolu „Borynia“ v Polsku. Experimentální zařízení pro získání parametrů dynamiky uvolňovaného tepla v průběhu nízkoteplotní oxidace uhlí je založeno na principu adiabatického kalorimetru. Hlavním prvkem zařízení je reaktor o průměru $d = 70\text{mm}$ a výšce $h = 120\text{mm}$ umístěný v olejové lázni, která je automaticky zahřívána na teplotu uvnitř reaktoru, řízenou termostatem zajišťujícím adiabatický proces. Reaktor je vyplněný uhlím o zrnitosti $0,5\text{mm}$ a celkové hmotnosti $0,52\text{kg}$. Do reaktoru je přiváděn vzduch o teplotě, která je rovna lázni termostatu. V důsledku uvolňovaného tepla oxidací kyslíku s uhlím dochází k automatickému vzrůstu teploty reaktoru. Podrobný popis experimentálního zařízení včetně schématu je popsán v [2].

3.1 Rychlost nízkoteplotní oxidace uhlí

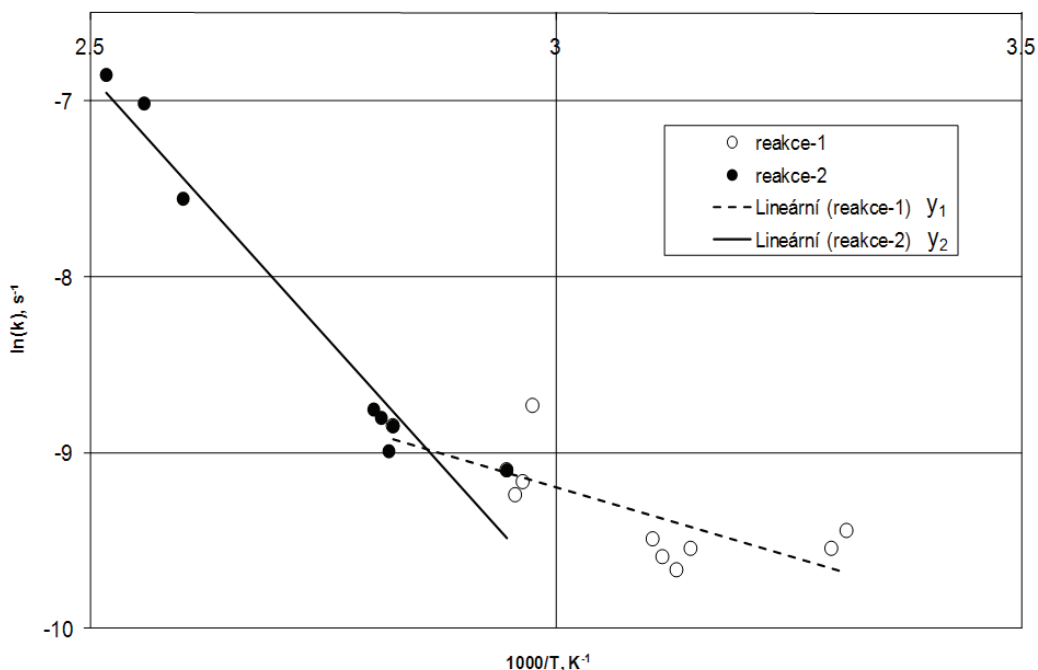
Během procesu nízkoteplotní oxidace byl vyhodnocen nárůst teploty uhlí i spotřeba kyslíku v závislosti na čase a hodnota rychlostní konstanty k [s^{-1}] v závislosti na teplotě. Rychlostní konstanta definuje rychlost chemické reakce a vychází z Arrheniové rovnice:

$$k = A \cdot e^{-E/RT} \quad (1)$$

kde:

- E – je aktivační energie [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$],
- A – pre-exponenciální faktor [s^{-1}],
- T – teplota uhlí [K] a
- R – univerzální plynová konstanta ($R = 8,3145$) [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Experimentální měření [2] prokázalo, že teplotní závislost rychlostní konstanty má dvě fáze. Při nižších teplotách je průběh pomalý, po dosažení kritické teploty T_{cr} dochází k prudkému nárůstu rychlosti oxidace uhlí. Tuto skutečnost dokazuje převzatý obrázek 1, který představuje závislost rychlostní konstanty k [s^{-1}] v logaritmických souřadnicích na teplotě ve tvaru $1000/T$ [K^{-1}]. Na základě měření byla vyhodnocena hodnota kritické teploty $T_{cr} = 350,24[\text{K}] = 77,1[^\circ\text{C}]$. Z uvedeného plyne, že aktivační energie i pre-exponenciální faktor mají v každé fázi jiné hodnoty, které byly získány z experimentálního měření. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1 a byly následně použity v numerické simulaci nízkoteplotní oxidace uhlí.



Obr. 1: Průběh rychlostní konstanty ($\ln(k)$) na teplotě ($1000/T$) [2]

Tab. 1: Aktivační energie E a pre-exponenciální faktor A

Teplota	$T \leq T_{kr}$	$T \geq T_{kr}$
E [kJ.mol ⁻¹]	9,98	55,4
A [s ⁻¹]	0,00345	20600

3.2 Definování stechiometrické rovnice

Několik autorů se v minulosti snažilo stanovit stechiometrické rovnice oxidace uhlí s uvažováním nebo zanedbáním vlivu vlhkosti. Zjednodušené schéma oxidace uhlí podle studie [4], kdy produktem oxidace uhlí je pouze oxid uhličitý, je:

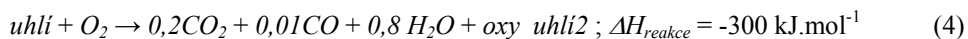


S ohledem na experimentálně zjištěnou skladbu oxidačních produktů ve sledovaném teplotním intervalu do teploty 200°C a za předpokladu, že na reakční vodu připadá dvakrát více spotřebovaného kyslíku, než na uvolnění oxidu uhličitého byla navržena následující dvě základní schémata [3]:

Pro $T \leq T_{kr}$



Pro $T \geq T_{kr}$



Zbytek spotřebovaného kyslíku připadá na tvorbu oxidu uhelnatého a tzv. „oxy_uhlí“, což je tuhý zbytek.

4 MATEMATICKÉ MODELY NÍZKOTEPLTNÍ OXIDACE

4.1 Jednofázový matematický model

Jednofázový matematický model nízkoteplotní oxidace uhlí představuje zjednodušený model, který je založen na experimentálních datech definujících zdrojové členy plynných složek včetně množství tepla. Oblast částic uhlí je pojata jako porézní oblast s laminárním modelem proudění, charakterizovaná pórovitostí a permeabilitou, které vstupují do rovnice kontinuity, pohybových rovnic, rovnice energie a rovnic pro hmotnostní zlomky:

Rovnice kontinuity [5]

$$\frac{\partial \gamma p}{\partial t} + \frac{\partial (\gamma \rho u_j)}{\partial x_j} = S_{i'} \quad (6)$$

kde:

- ρ – je hustota směsi [kg.m^{-3}],
- u_j – složka vektoru rychlosti [m.s^{-1}],
- γ – pórovitost oblasti [-] a
- $S_{i'}$ – zdrojový člen (spotřeba O_2 , produkce $\text{CO}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{O}$).

Pohybové rovnice [5]

$$\frac{\partial (\rho \gamma u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \gamma u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial \gamma p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \gamma \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + \frac{\mu}{\varepsilon} u_i \quad (7)$$

kde:

- p – je statický tlak [Pa],
- μ – molekulová viskozita [Pa.s] a
- ε – je permeabilita porézní oblasti [m^2].

Rovnice pro hmotnostní zlomek složky [5]

$$\frac{\partial (\rho \gamma Y_{i'})}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \gamma \bar{u}_j Y_{i'})}{\partial x_j} = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\gamma J_{j,i'}) + S_{i'} \quad (8)$$

kde:

- $Y_{i'}$ – je hmotnostní zlomek složky [kg.kg^{-1}],
- $J_{j,i'}$ – difúzní tok [$\text{kg.m}^{-2}\text{s}^{-1}$] a
- $S_{i'}$ – zdrojový člen (spotřeba O_2 , produkce $\text{CO}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{O}$),
ve kterém je zahrnuta rychlost produkce složek v důsledku chemické reakce.

Tato rovnice bude řešena pro $n-1$ složek, kde n je celkový počet chemických složek v systému. Součet hmotnostních zlomků složek musí být roven 1.

Rovnice energie [5]

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} (\gamma \rho_g c_{pg} + (1-\gamma) \rho_s c_{ps}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho c_{pg} \gamma u_j T) = \gamma \frac{\partial}{\partial x_i} (\tau_{ji} u_j) + \\ + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \gamma \frac{\partial}{\partial x_j} (c_p T J_{j,i'}) + S_h \end{aligned} \quad (9)$$

kde:

- T – je teplota [K],
- $\rho_{s,g}$ – hustoty uhlí a směsi plynů [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
- $c_{ps,g}$ – měrné tepelné kapacity uhlí a směsi plynů [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
- $\lambda_{s,g}$ – tepelné vodivosti uhlí a směsi plynů [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
- λ – efektivní tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] a
- S_h – zdrojový člen (množství uvolněného tepla z oxidace uhlí).

Zdrojový člen v rovnici pro hmotnostní zlomek kyslíku je odvozen z rychlosti reakce oxidace uhlí definované pomocí Arrheniovy rovnice:

$$S_{O_2} = -\rho Y_{O_2} A \cdot e^{-E_a/R \cdot T} \quad (10)$$

Zdrojové členy v rovnici pro hmotnostní zlomky ostatních plynných složek ($\text{CO}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{O}$) jsou úměrné zdrojovému členu S_{O_2} . Jednotlivé konstanty v níže uvedených rovnicích vychází z rovnic (3) a (4):

$$S_{CO} = \text{const}_{CO} \cdot S_{O_2} \quad (11)$$

$$S_{CO_2} = \text{const}_{CO_2} \cdot S_{O_2} \quad (12)$$

$$S_{H_2O} = \text{const}_{H_2O} \cdot S_{O_2} \quad (13)$$

Zdrojový člen v rovnici energie je úměrný zdrojovému členu S_{O_2} a reakčnímu teple ΔH_{reakce} :

$$S_h = \Delta H_{reakce} \cdot S_{O_2} \quad (14)$$

4.2 Dvoufázový matematický model

K řešení nízkoteplotní oxidace byl použit dvoufázový Eulerův matematický model, který je nejkomplexnější ze všech vícefázových modelů. Hlavní předností tohoto modelu je možnost definování fází o různém skupenství, v tomto případě se jedná o plynnou a pevnou fázi. Plynná fáze je tvořena směsí plynů ($\text{CO}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{O}, \text{O}_2, \text{N}_2$) a pevná fáze složkami (uhlí, oxy_uhlí1, oxy_uhlí2). Jak je uvedeno v předchozí kapitole, jednofázový model řeší soustavu základních bilančních rovnic (rovnice kontinuity, pohybové rovnice, rovnice energie a rovnice pro hmotnostní zlomky), zatímco dvoufázový model řeší stejnou soustavu rovnic pro každou fázi samostatně. Odlišnost spočívá pouze v modifikaci těchto rovnic molárním zlomkem jednotlivých fází a možností zadání zdrojových členů do jednotlivých fází. V našem případě zadáváme zdrojový člen v rovnici energie do pevné fáze (uhlí) a zdrojové členy pro spotřebu O_2 a produkci $\text{CO}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{O}$ do plynné fáze. Zatímco u jednofázového modelu je přestup tepla jen vedením-kondukcí u dvoufázového modelu probíhá přestup tepla z pevné fáze (uhlí) do pohybující se plynné fáze konvektivním způsobem a řídí se rovnicí přestupu tepla:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot (t_s - t_f) \quad (15)$$

kde:

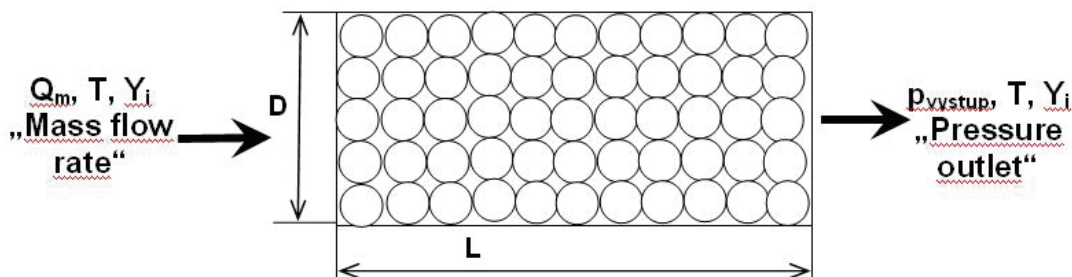
- Q – je tepelný tok [W],
- S – plocha uhlí [m^2],
- $t_{s,f}$ – teplota pevné, plynné fáze [K] a
- α – součinitel přestupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$], který je funkcí Reynoldsového a Prandtlého čísla a pro jeho určení byl dle [5] použit vztah Ranz Marshall.

Výše charakterizované matematické modely byly následně řešeny v programu ANSYS Fluent 12.1.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE K NUMERICKÉMU ŘEŠENÍ

5.1 Popis modelu, fyzikální vlastnosti

K numerické simulaci byl vytvořen 2D osově symetrický model reaktoru o rozměrech $0,12 \times 0,07\text{m}$, který byl použit při experimentu dle obr. 2. Na vstupu do reaktoru je definována konstantní hodnota hmotnostního průtoku vzduchu okrajovou podmínkou „mass flow rate“, hmotnostní zlomek O_2 , N_2 a teplota, která se rovná střední teplotě plynné fáze uvnitř reaktoru $Tr_{stř}$. Hodnota teploty na vstupu se tedy mění v každém časovém kroku v závislosti na změně střední teploty uvnitř reaktoru v důsledku nízkoteplotní oxidace. Výstup z reaktoru je určen tlakovou okrajovou podmínkou „pressure outlet“.



Obr. 2: Matematický model experimentu (reaktoru) s okrajovými podmínkami

Hustota plynné směsi (CO_2 , CO , H_2O , O_2 , N_2) je definována stavovou rovnicí pro ideální plyn, měrná tepelná kapacita, tepelná vodivost a viskozita plynné směsi užitím směšovacích zákonů [5]. Závislost mezi permeabilitou porézní oblasti ε a pórovitostí uhlé hmoty tvořené z kulových částic je dle [5] definována vztahem:

$$\varepsilon = \frac{d^2 \cdot \gamma^3}{150 \cdot (1 - \gamma)^2} \quad (16)$$

kde vstupní parametry mají hodnoty:

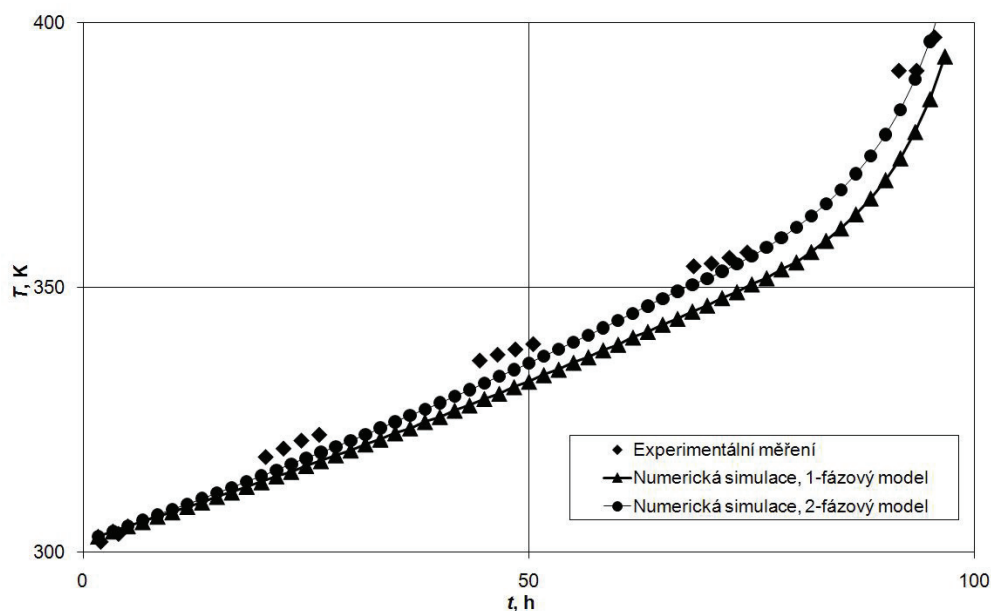
- d – je průměr částic uhlí $d = 0,0005\text{m}$ [m],
- γ – pórovitost $\gamma = 0,15$ [-] a tím je určena hodnota
- ε – permeability $\varepsilon = 2,08 \cdot 10^{-11} [\text{m}^2]$.

5.2 Okrajové a počáteční podmínky

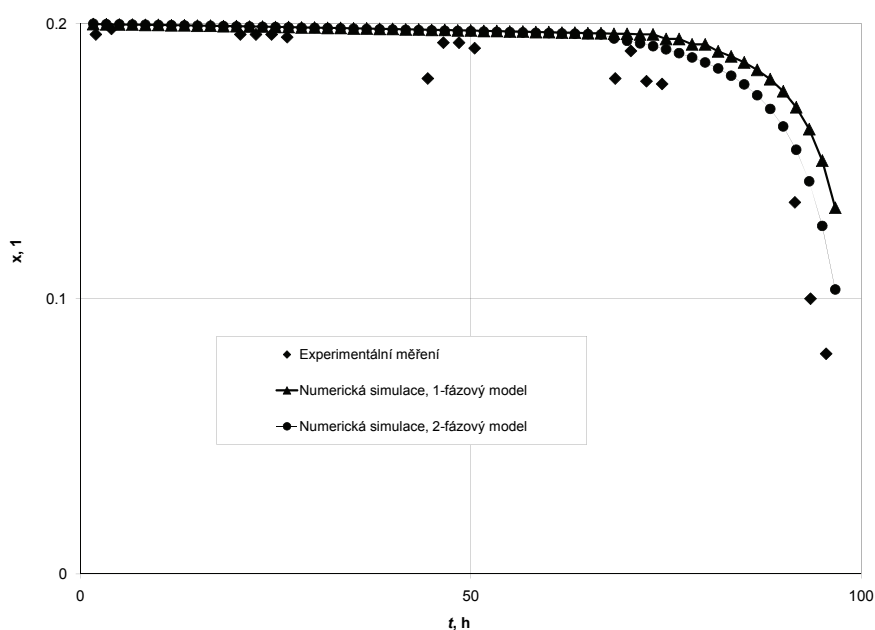
Na vstupu do oblasti naplněné uhlím je nastavena konstantní hodnota průtoku plynné směsi (CO_2 , CO , H_2O , O_2 , N_2) $Q_m = 6.367562 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ a hmotnostního zlomku kyslíku $Y_{O_2} = 0,23$ a dusíku $Y_{N_2} = 0,77$. Na výstupu z oblasti je definována tlaková okrajová podmínka s atmosférickým tlakem $p = 101325\text{Pa}$. Tepelný tok na stěnách oblasti (reaktoru) je nulový, jedná se o adiabatický děj. Počáteční teplota uhlí je $T = 302\text{K}$. Časový krok numerické simulace je $\Delta t = 6000\text{s}$.

5.3 Vyhodnocení numerické simulace v porovnání s experimentálním měřením

Výsledky numerické simulace jednofázového a dvoufázového matematického modelu vzhledem k experimentálnímu měření jsou porovnány pomocí průběhu střední teploty uhlí uvnitř reaktoru v závislosti na čase (obr.3) a průběhu molárního zlomku kyslíku na výstupu z reaktoru v závislosti na čase (obr.4). Celková doba experimentálního měření a numerické simulace je 95,5 h.



Obr. 3: Nárůst teploty uvnitř měřené oblasti



Obr. 4: Molární koncentrace kyslíku na výstupu z oblasti

V dalším vyhodnocení se porovnává střední hodnota molární koncentrace jednotlivých plynných složek na výstupu z reaktoru v čase $t = 45\text{h}$ a $t = 95,5\text{h}$ (Tab. 2). Chybějící hodnoty molárních zlomku v případě fyzikálního experimentu nejsou v publikaci [2] prezentovány.

Tab. 2: Střední hodnota molárního zlomku jednotlivých složek na výstupu z reaktoru v čase

Složka	1-fázový model		2-fázový model		Fyzikální experiment	
	čas $t = 45\text{h}$	čas $t = 95,5\text{h}$	čas $t = 45\text{h}$	čas $t = 95,5\text{h}$	čas $t = 45\text{h}$	čas $t = 95,5\text{h}$
O ₂	0,98	0,133	0,197	0,103	0,19	0,085
CO ₂	0,00108	0,0148	0,00109	0,0208	0,0015	0,025
CO	0	0,00093	0	0,00129		
H ₂ O	0,00431	0,0592	0,00438	0,083		

6 ZÁVĚR

Z výsledků numerických simulací a experimentálního měření je patrná velmi dobrá shoda. Oba modely jsou významně závislé na přesném určení termokinetických vlastností uhlí. Vícefázový model z hlediska výpočtu je časově náročnější, ale umožňuje rozšířit řešení nízkoteplotní oxidace o vliv kondenzace vodní páry a odpařování vody a definování dalších fází a chemických reakcí.

Tyto 2 připravené matematické modely zohlední výpočet rozvoje nízkoteplotní oxidace uhlí v prostředí uhelné skládky se zahrnutím vlivu meteorologických podmínek, o kterých bylo zmíněno již v úvodu tohoto článku.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění Grantové agentury ČR, projekt 105/08/1414.

LITERATURA

- [1] MICHALCOVÁ, V., BLEJCHAŘ, T. Numerická simulace vlivu atmosférické mezní vrstvy na tlakové změny na povrchu skládky uhlí. In *Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering 2011*. Jasná pod Chopkom : Slovenská republika, 2011, pp. 39- 42. ISBN 978-80-554-0354-0.
- [2] CYGANKIEWICZ, J. Badanie skłonności polskich węgla do samozapalenia metodą testu adiabatycznego. In *Větrání a bezpečnost dolů*. Ostrava, VŠB-TU Ostrava: Česká republika, 2000, pp. 22-57.
- [3] TARABA, B. *Nízkoteplotní oxidace a samovznícování uhelné hmoty*. Interní zpráva v rámci řešení grantového projektu GAČR 105/08/1414. Ostravská univerzita v Ostravě: Ostrava, 2009.
- [4] LIMING, Y., SMITH, A. C. DFD modelling of spontaneous heating in largescale coal chamber. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2009, Nr. 22, pp. 426-433. ISSN 0950-4230
- [5] FLUENT: Fluent 12 - *User's guide*, Fluent Inc. 2007. VŠB-TU Ostrava. <URL:http://http://spc.vsb.cz/portal/cz/documentation/manual/index.php>.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Boleslav Taraba, CSc., Katedra chemie, Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita v Ostravě.

Ing. Marek Zamazal, ArcelorMittal Ostrava a.s., Ostrava.

Oldřich SUCHARDA¹, Jiří BROŽOVSKÝ²

MODELÝ BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE PRO KONEČNĚPRVKOVOU ANALÝZU KONSTRUKCÍ

MODELS FOR REINFORCEMENT IN FINAL FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES

Abstrakt

Železobeton patří k nejdůležitějším konstrukčním materiálům. Článek se zabývá modelováním betonářské výztuže pro konečněprvkovou nelineární analýzu konstrukcí. Vybrané modely výztuže jsou ověřeny na numerických simulacích, které jsou srovnány s experimenty. Zvláštní pozornost je věnována prokluzu výztuže, pro který je implementován lineárně pružný spojovací prvek v kombinaci s pružnoplastickými modely výztuže a betonu.

Klíčová slova

Nosník, beton, výztuž, spojovací prvek, metoda konečných prvků, plasticita.

Abstract

Reinforced concrete belongs to one of the most important structural materials. The paper discusses modeling of steel reinforcement within non-linear finite element analysis. Selected models of reinforcement have been verified against numerical simulations and validated through experiments. Particular attention is paid to a reinforcement slip, for which a linearly elastic bond element is designed and implemented in conjunction with elastic – plastic models for both reinforcement bars and concrete.

Keywords

Beam, concrete, reinforcement, bond element, finite elements, plasticity.

1 ÚVOD

Železobeton patří k jednomu z nejdůležitějších konstrukčních materiálů. Kombinuje dva rozdílné materiály. Jedná se o beton, který vyniká relativně velkou pevností v tlaku a malou pevností v tahu, a ocelovou výztuž. Pro statické analýzy vznikla celá řada materiálových modelů, které velmi dobře vystihují jeho chování. Jedním z nich je pružnoplastický model [16], který kombinuje Chen-Chenovu podmínku plasticity [4] a model zpevnění vypracovaný Ohtanim [9]. Podrobnosti k uvedenému modelu a jeho implementaci do výpočetního programu *BSA*, který byl dále používán pro numerické výpočty, uvádí [16]. Dále byl pro ověření některých výpočtů použit model *Concrete* z výpočetního systému ANSYS [15,17]. Protože model *Concrete* vznikl v rámci rozsáhlého programového systému, je dále možné model betonu použít například při řešení sdružených úloh [7]. Pro modelování výztuže při konečněprvkové analýze vznikla řada teoretických modelů. Vybrané modely budou diskutovány v dále uvedené numerické studii. Při konečněprvkové analýze

¹ Ing. Oldřich Sucharda, Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 32 1391, e-mail: oldrich.sucharada@vsb.cz.

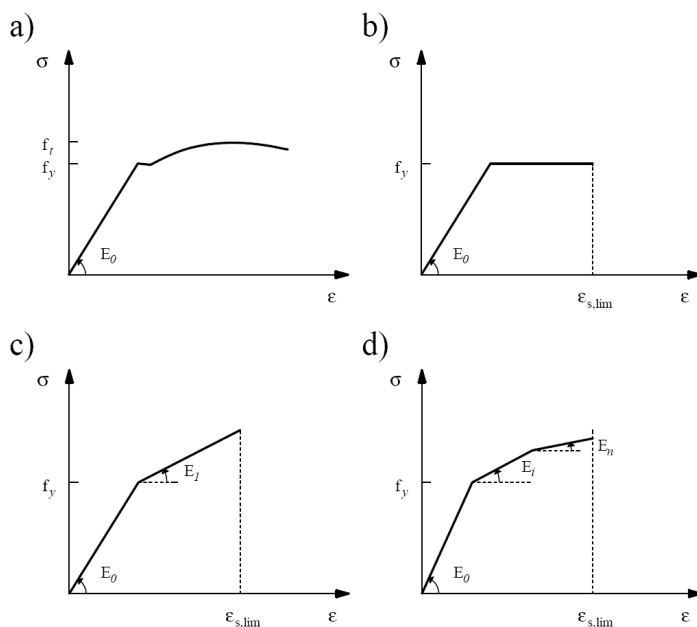
² Doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 321, e-mail: jiri.brozovsky@vsb.cz.

železobetonových konstrukcí se může dle [3] při modelování výztuže vyjít z modelu rozetřené výztuže, vložených modelů výztuže a diskretních modelů výztuže. U modelů výztuže se pak dále rozlišuje, jakým způsobem zohledňují prokluz mezi betonem a výztuží. Uvedený problém se často řeší speciálními spojovacími prvky [6].

2 VÝZTUŽ

Železobetonové konstrukce se ve většině případů vyztužují betonářskou výztuží z betonářské oceli. Výztuž má nejčastěji podobu prutů s žebírky nebo vtisky. Dále může být výztuž tvořena dráty nebo v současné době často používanými svařovanými sítěmi. Existují také zvláštní případy vyztužování. Jedná se o předpínací výztuže u předpjatých konstrukcí nebo tuhé výztuže. Tuhá výztuž kombinuje sprážení válcovaných profilů s betonem [10].

Betonářská výztuž pro účely tohoto článku se považuje za izotropní materiál, má vysokou pevnost, která je stejná pro tlak a tah. Běžně se pohybuje v rozmezí kolem 300 až 700 MPa. Základní materiálové charakteristiky oceli se zjišťují z tahových zkoušek, kdy získané pracovní diagramy popisují jednoosý stav napětí. Z pracovního diagramu je patné, že ocel vykazuje v počáteční fázi lineárně pružné chování do úrovně označované jako mez úměrnosti. Důležitou hodnotou je mez kluzu, po jejímž překročení vznikají plastické deformace. Další průběh pracovního diagramu záleží na konkrétním složení oceli, výrobním postupu nebo technologických úpravách a zvolené míře idealizace.



Obr. 1: Pracovní diagramy - a) betonářská výztuž b) ideálně pružnoplastický c) ideálně pružnoplastický s lineárním zpevněním d) multi-lineární

Nejpoužívanější pracovní diagramy oceli jsou lineárně pružný, ideálně pružnoplastický, pružnoplastický s lineárním zpevněním a multi-lineární zobrazené na obr. 1 [6]. Velmi dobré shody mezi skutečným a idealizovaným pracovním diagramem dosahuje pružnoplastický s lineárním zpevněním [10]. Vyžaduje dobře dostupné informace mez kluzu, počáteční modul pružnosti, modul pružnosti pro oblast zpevnění a maximální poměrnou deformaci. Podmínka plasticity se pro jednoosý stav napětí u pružnoplastického pracovního diagramu zjednoduší na tvar [10]

$$\sigma \leq f_y, \quad (1)$$

kde:

σ – je napětí při jednoosé napjatosti a

f_y – je mez kluzu oceli.

Poměrná deformace je smluvně omezena hodnotou $\varepsilon_{s, \lim}$.

3 MODEL ROZETŘENÉ VÝZTUŽE

Model rozetřené výztuže [6] je nejvhodnější při modelování drátkobetonu, ale může se také použít při modelování hustějších tyčových výztuží menšího průměru. U modelu se sestaví matice tuhosti materiálu výztuže pro jednotlivé směry vyztužení, kdy se při výpočtu vychází z rozměrů a vlastností základního materiálu, tzn. betonu. Tuhost každého směru výztuže je možné popsat maticí tuhosti materiálu

$$\mathbf{D}_{s,i} = \begin{bmatrix} pE_{s,i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

kde p je stupeň vyztužení určený z poměru plochy výztuže k celkové ploše průřezu (konečného prvku) a $E_{s,i}$ je modul pružnosti materiálu výztuže. Matice tuhosti výztuže se dále transformuje do správného souřadného systému rovnic

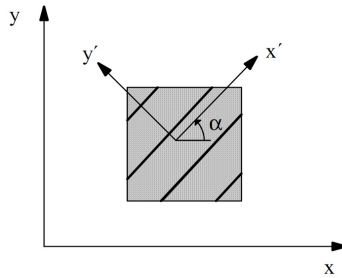
$$\mathbf{D}_s = \mathbf{T}_\sigma^{-1} \mathbf{D}_{s,x} \mathbf{T}_\varepsilon, \quad (3)$$

kde:

$\mathbf{T}_\sigma^{-1}$ – je transformační matice,

$\mathbf{D}_{s,x}$ – je matice tuhosti výztuže a

$\mathbf{T}_\varepsilon$ – je transformační matice.



Obr. 2: Model rozmazané výztuže

Transformační matice jsou definovány [6]

$$\mathbf{T}_\sigma = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2cs \\ s^2 & c^2 & -2cs \\ -cs & cs & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \text{ a } \mathbf{T}_\varepsilon = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & cs \\ s^2 & c^2 & -cs \\ -2cs & 2cs & c^2 - s^2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Transformační matice [5] závisí na sklonu výztuže v souřadném systému, kdy člen c je $\cos \alpha$ a s vyjadřuje $\sin \alpha$. Tuhost výztuže se přičítá k matici tuhosti materiálu $\mathbf{D}$ pro beton. Výsledná matice tuhosti materiálu má tvar

$$\mathbf{D} = \mathbf{D}_c + \sum_{i=1}^n \mathbf{D}_{s,i} , \quad (5)$$

kde:

$\mathbf{D}_c$ – je matice tuhosti betonu,

$\mathbf{D}_{s,i}$ – je matice tuhosti výztuže v jednotlivých směrech.

Model rozetřené výztuže předpokládá dokonalé spolupůsobení výztuže s betonem. Z uvedeného předpokladu vyplývá, že model nerespektuje prokluz mezi výztuží a betonem.

4 MODEL VLOŽENÉ VÝZTUŽE

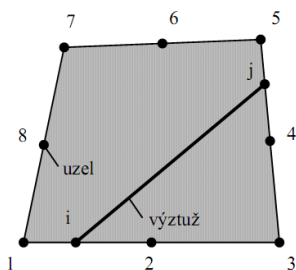
Další možností je použití vložených modelů výztuže, které také předpokládají dokonalé spolupůsobení výztuže s betonem. Modely se například používají v kombinaci s obdélníkovými nebo izoparametrickými konečnými prvky. Konečné prvky výztuže jsou zapuštěny do rovinných a prostorových konečných prvků betonu. Ve výpočtu se využívá speciálních transformačních matic. Výsledná matice tuhosti konečného prvku se zapíše ve tvaru

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_c + \sum_{i=1}^n \mathbf{K}_{s,i} , \quad (6)$$

kde:

$\mathbf{K}_c$ – je matice tuhosti konečného prvku betonu a

$\mathbf{K}_{s,i}$ – je matice tuhosti konečného prvku výztuže v jednotlivých směrech.



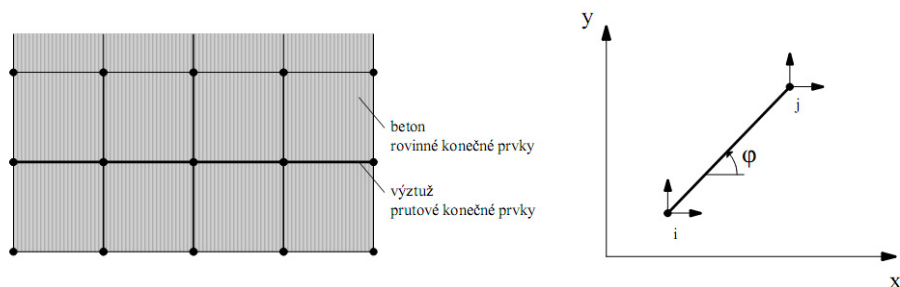
Obr. 3: Vložený model výztuže (1-9 uzly betonu, i, j uzly výztuže)

Pro obdélníkový konečný prvek a jednoduché umístění výztuže v prvku, je možné dokázat, že výsledná tuhost konečného prvku železobetonu je pro oba popsané modely výztuže stejná. Z hlediska implementace modelu výztuže do výpočetních programů patří k náročnějším, protože speciální transformační matice se musí odvodit pro každý konečný prvek zvlášť. Použití uvedeného modelu výztuže a speciální transformační matice pro obdélníkový konečný prvek uvádí [13]. Uvedený model výztuže je dále například implementovaný u vybraných izoparametrických konečných prvků ve výpočetním systému ANSYS [15].

5 DISKRÉTNÍ MODEL VÝZTUŽE

Diskrétní model výztuže kombinuje dva konečné prvky. Konečný prvek pro beton a pro výztuž, kdy oba konečné prvky mají vybrané uzly společné. Konečné prvky výztuže tvoří jednorozměrné prvky, které mají v úlohách rovinné napjatosti a deformace dva uzly a dva stupně

volnosti v každém uzlu. Uvedený postup vyžaduje vytvořit vhodnou síť konečných prvků, do které se následně umísťují prutové prvky výztuže. Pro modelování tyčové výztuže se může využít i různě modifikovaných jednorozměrných konečných prvků.



Obr. 4: Diskrétní model výztuže

Matice tuhosti prutového konečného prvku s dvěma uzly a dvěma stupni volnosti se запиše ve tvaru:

$$\mathbf{K} = \frac{E_s A}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

kde:

- E_s – je modul pružnosti oceli,
- A – je průřezová plocha prutu,
- L – je délka prutu,
- c – je $\cos \varphi$ a
- s – je $\sin \varphi$.

Model je vhodný zejména pro použití u hlavní nosné výztuže. Model také umožňuje použití speciálních spojovacích prvků a rozhraní, které umožňují zohlednit prokluz mezi betonem a výztuží.

6 SPOJOVACÍ PRVEK MEZI BETONEM A VÝZTUŽÍ

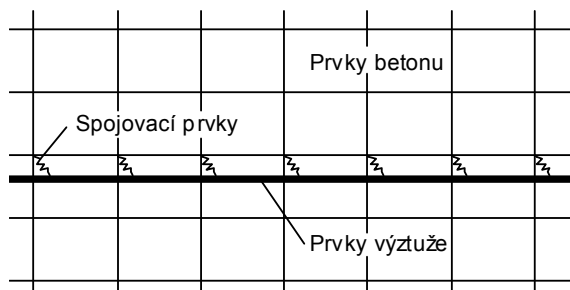
Soudržnost mezi betonem a výztuží není ve skutečnosti dokonalá. Záleží především na povrchu a geometrii výztuže. Pro vylepšení soudržnosti se betonářská výztuž upravuje žebírkováním nebo vtisky. Někdy se také ještě používá hladká výztuž, ale z hlediska soudržnosti betonu s ocelí není vhodná.

U analýz železobetonových konstrukcí, kde je zajištěno konstrukčními opatřeními a volbou vhodné úpravy výztužných vložek omezení prokluzu na požadovanou úroveň, se počítá ve většině výpočtů s ideálním spolupůsobením betonu a výztuže. Důsledkem je, že se zvýší celková tuhost modelu konstrukce. Vliv prokluzu také závisí na zvoleném konstitutivním modelu betonu.

V případech, kdy je však nutné ověřit vliv prokluzu nebo se zpracovává podrobná analýza, je pro modelování prokluzu mezi betonem a výztuží nejvhodnější použití diskrétního modelu výztuže a speciálních spojovacích prvků [12]. Spojovací prvky si lze představit jako malé pružiny. Grafické znázornění je na obr. 5. Matice tuhosti spojovacího prvku se zapisuje ve tvaru

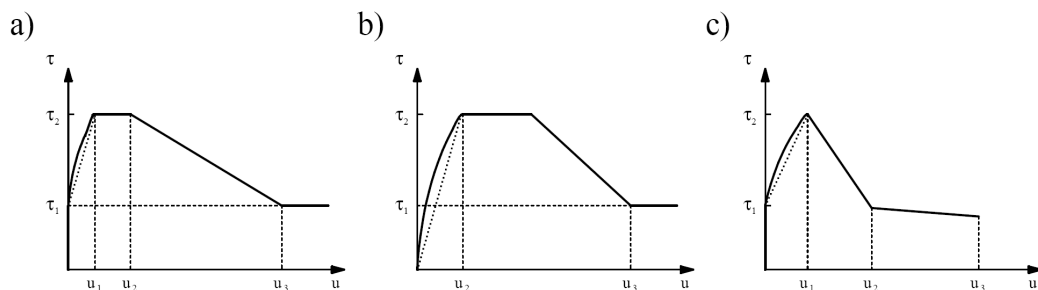
$$\mathbf{K} = k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

kde k je koeficient tuhosti spojovacího prvku a jednotlivé členy matice odpovídají společnému uzlu betonu a výztuže ve kterém se modeluje prokluz. Podrobné odvození a využití spojovacích prvků uvádí [13]. Při určování tuhosti spojovacích prvků se vychází ze zkoušek.



Obr. 5: Spojovací prvek mezi betonem a výztuží

Pro popis chování spojovacích prvků je důležité, jedná-li se o monotónní nebo cyklické zatěžování. U návrhu kotvicích prvků a cyklického zatěžování je pak vhodnější použití trojrozměrných výpočetních modelů s použitím spojovacích rozhraní, které umí zohlednit například také typ žebrování. Pro praktické použití u celkových analýz železobetonových konstrukcí s monotónním zatěžováním mají ale omezený přínos na úkor výpočetní náročnosti, konvergence výpočtu a náročnosti získaných informací z experimentů, které jsou nutné.



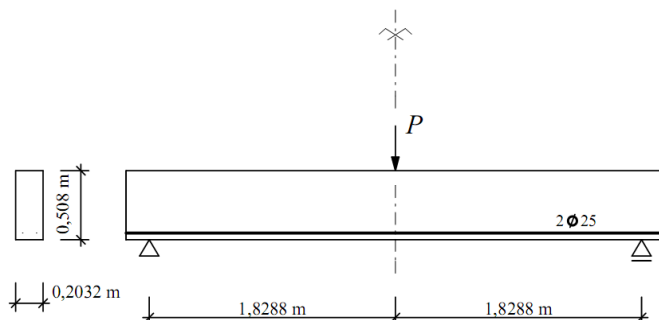
Obr. 6: Pracovní diagram prokluzu mezi betonem a výztuží pro monotónní zatěžování a) Kwak a Filippou [5,11] b) CEB-FIB [3] c) Bigaj [2]

Pro praktické určování tuhosti u výpočtu je vhodné použití pracovních diagramů uvedených v doporučeních CEB-FIB [3] nebo výzkumných pracích [2, 5, 11]. Pracovní diagramy se liší především počáteční tuhostí mezi betonem a ocelí. Pro výpočet celkové únosnosti konstrukce má na výsledky zpravidla největší vliv tvar vzestupné větve pracovního diagramu.

7 NUMERICKÝ PŘÍKLAD

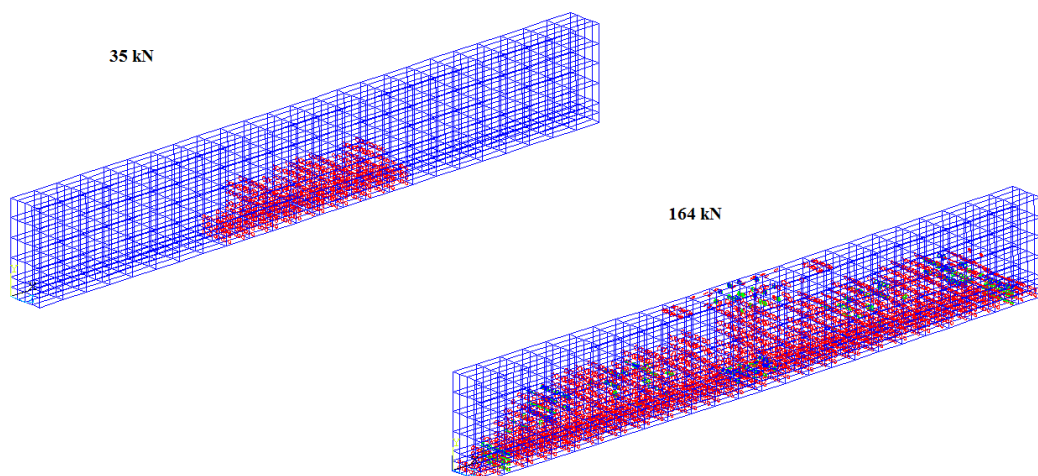
V numerické analýze je provedena analýza železobetonového nosníku pro dva různé modely výztuže a betonu [15,16], které jsou srovnány s experimentem [1]. Následně je provedena studie pro použití spojovacího prvku s pružnoplastickým modelem betonu [16], který kombinuje Chen-Chenovu podmínku plasticity [4] a model zpevnění vypracovaný Ohtanim [9]. Železobetonový nosník, který byl použit pro experiment, má tvar obdélníku, rozpětí 3,6576 m a je zatížen osamělou silou. Schéma experimentu, polohy osamělé síly, okrajových podmínek a vyztužení zobrazuje obr. 7. Zatížení má velikost 200 kN. Výchozí materiálovou charakteristikou u betonu z experimentu je

modul pružnosti $E_{cm} = 26\,182$ MPa [8], který byl použit pro oba konstitutivní modely betonu. U modelu *Concrete* je smyková tuhost porušeného betonu v tahu zohledněna koeficientem smykového přenosu pro otevírání trhliny $\beta_t = 0,5$ a koeficientem smykového přenosu pro uzavřenou trhlinu $\beta_c = 0,9$. Pracovní diagram oceli je pružnoplastický se zpevněním. Počáteční modul tuhosti má hodnotu $E_{s1} = 203\,255$ MPa. Mez kluzu oceli je $f_y = 309,36$ MPa. Po dosažení meze kluzu je modul tuhosti $E_{s2} = E_{s1}/100$. Úloha byla řešena přírůstkově iteračním postupem pomocí Newton-Raphsonovy metody [14].

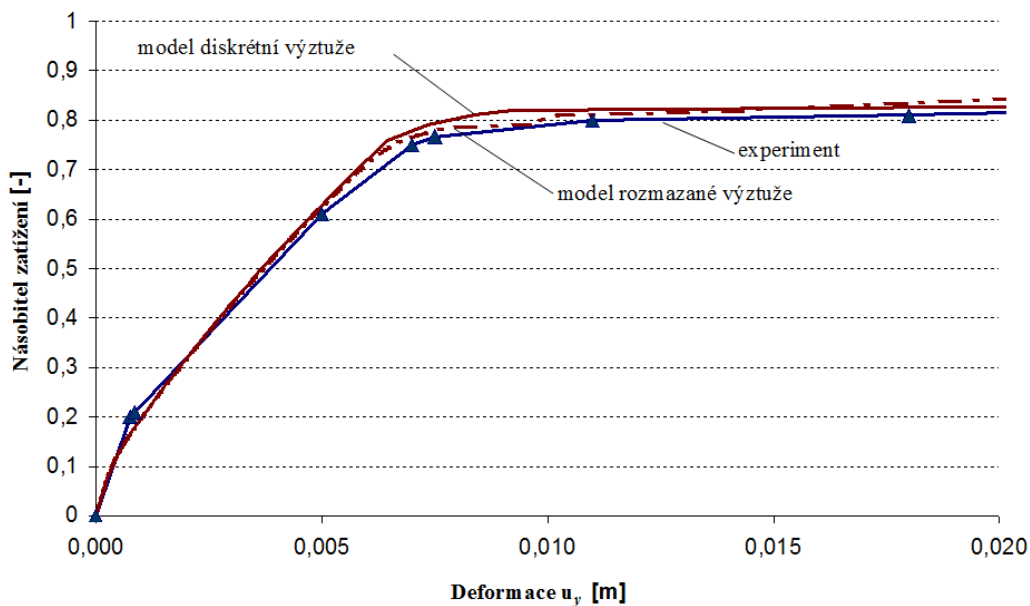


Obr. 7: Schéma experimentu

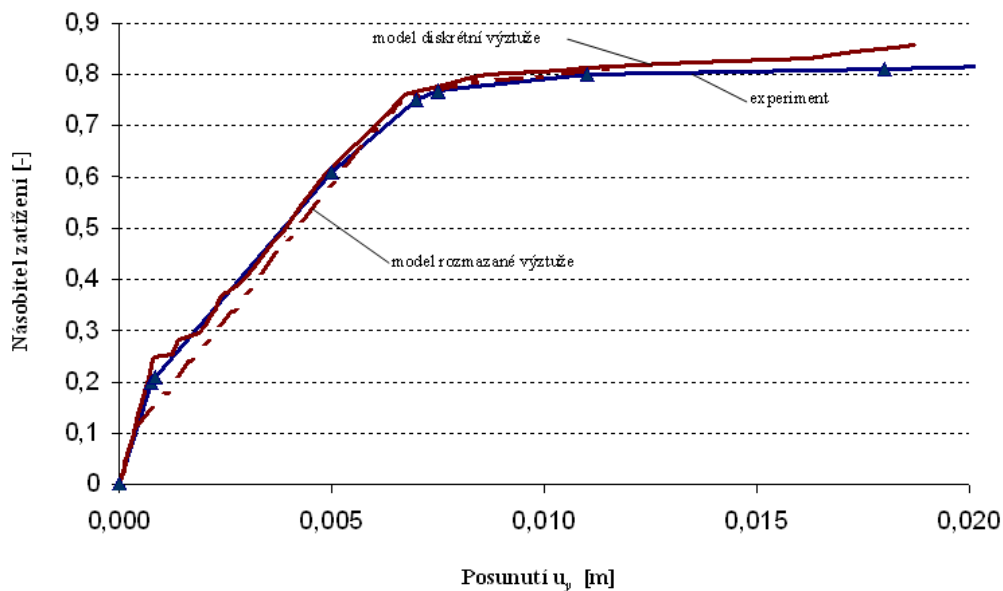
Průběhy pracovních diagramů pro jednotlivé typy modelů výztuže a betonu zobrazuje obr. 9. a 10. Graf zobrazuje průhyb uprostřed rozpětí. Výsledky provedených výpočtů mají dobrou shodu s experimentem ve všech třech fázích zatěžování. Rozdíly mezi výsledky pro model rozmazané a diskretní výztuže se mohou považovat za malé, kdy charakter pracovního diagramu je stejný. Pouze u modelu *Concrete* v počáteční fázi vzniku trhlin se liší. U pružnoplastického modelu se nejvíce rozcházejí křivky v oblasti počáteční plastizace výztuže a drcení betonu. Dosažená úroveň zatížení je téměř stejná, pouze se liší v maximální dosažené deformaci, která ale souvisí také s nastavenými konvergenčními pravidly. Pro provedené výpočty je také společné, že mírně nadhodnocují tuhost porušovaného betonu. Možným důvodem je, že při výpočtu se předpokládalo dokonalé spolupůsobení výztuže s betonem. Řešením problému je využití dále uvedených speciálních spojovacích prvků mezi výztuží a betonem. Pro ilustraci provedených výpočtů jsou zvoleny výsledky rozvoje trhlin z výpočetního systému ANSYS pro model *Concrete* na obr. 8. Konkrétně se jedná o kombinaci s modelem rozmazané výztuže v počáteční fázi vzniku trhlin a stavu těsně před ukončením výpočtu. Grafické výsledky pro pružnoplastický model betonu z programu *BSA* jsou dostupné v [16].



Obr. 8: Rozvoj trhlin: počáteční trhliny (zatížení 35 kN a 164 kN)



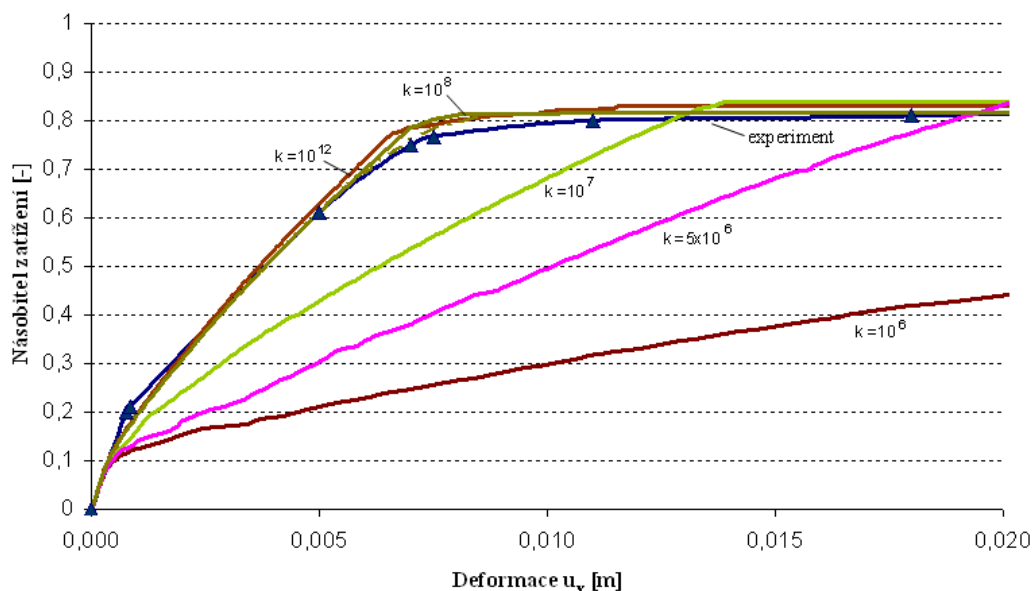
Obr. 9: Výsledky numerické analýzy: pružnoplastický model betonu



Obr. 10: Výsledky numerické analýzy: model *Concrete*

Na obr. 11 jsou zobrazeny pracovní diagramy výpočtů, u kterých byl použit diskrétní model výztuže, speciální spojovací prvky a pružnoplastický model ve výpočetním programu *BSA*. Vstupní parametry pro studii ke spojovacím prvkům zůstaly totožné jako v předešlém výpočtu.

U spojovacích prvků se v tomto případě předpokládá konstantní tuhost a vycházelo se z pracovního diagramu uvedeného v doporučení [3]. Jde o konzervativní přístup, který tak dává představu o vlivu tuhosti spojovacího prvku na výpočet. U spojovacích prvků, které měly menší tuhost, výpočet trval mnohem déle a byl méně stabilní. Pro tuhost spojovacího prvku $k = 10^{12}$ je možné považovat spojení výztuže a betonu téměř za dokonalé. Jako nejvhodnější se ukázala hodnota 10^8 , pro kterou měly výsledky výpočtu nejlepší shodu s experimentem. V grafu je také zobrazen výpočet (čerchovaně), kdy se proměnná tuhost spojovacího prvku určila z doporučení a informací uvedených v [5, 11, 2].



Obr. 11: Výsledky numerické analýzy: spojovací prvky

8 ZÁVĚR

V příspěvku byly prezentovány výsledky dvou přístupů modelování výztuže, které porovnáním s experimentem dávaly velmi podobné výsledky. Jednalo se modely rozetřené a diskretní výztuže. Rozdíl pracovních diagramů získaných z výpočtů a z experimentu je možné přisoudit předpokladu dokonalého spolupůsobení výztuže a betonu. Výsledky proto byly porovnány s řešením využívajícím model diskretní výztuže a spojovací prvky. Použití spojovacích prvků je uvedeno ve srovnávací studii pro různé parametry tuhosti spojovacího prvku. Pro použití speciálních spojovacích prvků je nejvhodnější použít vstupní data z experimentů nebo doporučení uvedených v [2, 3, 5, 11].

PODĚKOVÁNÍ

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS. (This outcome has been achieved with the financial support of the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic, project No. 1M0579, within activities of the CIDEAS research centre.)

LITERATURA

- [1] BARZEGAR, F. *Layering of RC Membrane and Plate Elements in Nonlinear Analysis*. Journal of the Struct. Div. 1988, Vol. 114, No.11. p. 2474-2492.
- [2] BIGAJ, A. J. *Structural Dependence of Rotation Capacity of Plastic Hinges in RC Beam and Slabs*. PhD Thesis. Delf University of Technology, ISBN 90-407-1926-8.
- [3] CEB - FIP Model Code 1990: Design Code. by Comité Euro-International du Béton, Thomas Telford, 1993. ISBN: 978-0727716965.
- [4] CHEN, A. C. T., CHEN, W. F. *Constitutive Relations for Concrete*. Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE, 1975
- [5] FILIPPOU, F. C. *A Simple Model for Reinforcing Bar Anchorages Under Cyclic Excitations*. ASCE, Journal of Structural Engineering. 1986, Vol. 112, No. 7, pp. 1639-1659.
- [6] HOFSTETTER, G., MANG, H., A. *Computational Mechanics of Reinforced Concrete Structures*. Wiesbaden: Vieweg, 1995. ISBN 3-528-06390-4.
- [7] KRÁLIK, J., HUKEL, D. Nelineárna analýza interakcie ocelevej výstelky a železobetónovej steny šachty lokalizácie havárie za extrémneho pôsobenia tlaku a teploty. In *Modelování v mechanice 2010*. Mezinárodní konference. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2234-1.
- [8] MEGUID HEKAL, S. A. *Solution of Plate Structures Respecting Real Material Properties*. Disertační práce. Brno: Brno University of Technology, 1992.
- [9] OHTANI, Y., CHEN, W. F., *Multiple Hardening Plasticity for Concrete Materials*. Journal of the EDM ASCE, 1988.
- [10] PROCHÁZKA, J. a kol. *Navrhování betonových konstrukcí 1. 2 vyd.* Praha: ČVUT v Praze, 2006. ISBN 80-903807-1-9.
- [11] KWAK, H. G. *Material Nonlinear Finite Element Analysis and Optimal Design of Reinforced Concrete Structures*. Ph.D. Dissertation. Department of Civil Engineering, KAIST, Korea. 1990.
- [12] RAVINGER, J. *Modelovanie nelineárneho pôsobenia železobetónového nosníka použitím MKP*. Stavebnický časopis. 35, 1987-8, 571-589.
- [13] RAVINGER, J. *Programy – statika, stabilita a dynamika stavebných konštrukcií*. Alfa, Bratislava, 1990.
- [14] RAVINGER, J., PSOTNÝ, M. *Analýza konštrukcií, Nelineárne úlohy*. Bratislava: STU v Bratislavě, 2007. ISBN 978-80-227-2713-6.
- [15] RELEASE 11 DOCUMENTATION FOR ANSYS, SAS IP, INC., 2007.
- [16] SUCHARDA, O., BROŽOVSKÝ, J., *Pružnoplustické modelování železobetonového nosníku: implementace a srovnání s experimentem*. Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, řada stavební. 2011, roč. 11, č. 1, s. 237-244. ISSN: 1213-1962.
- [17] WILLAM, K. J., WARNKE, E. P. *Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete*, Proceedings of International Association for Bridge and Structural Engineering, Bergamo, 1975.

Oponentní posudek vypracoval:

Dr.h.c. prof. Ing. Ján Ravinger, DrSc., Katedra stavebnej mechaniky, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave.

Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc., Katedra mechaniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Vladislav VARMUŽA¹

**VÝZKUM VLIVU POČTU VAD A REKLAMACÍ V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ
NA DÉLKU ZÁRUČNÍ DOBY**

**THE RESEARCH ON THE INFLUENCE OF THE AMOUNT OF DEFECTS
AND RECLAMATIONS IN THE RANGE OF CIVIL ENGINEERING
TO THE GUARANTEE PERIOD**

Abstrakt

Výzkum byl zaměřen na 120 staveb občanské, bytové a průmyslové výstavby za období deseti let. Podle konstrukcí byly analyzovány defekty stability, hydroizolací, střech, technických zařízení budov a povrchy konstrukcí. Publikovaná práce poukazuje na související ekonomické a právní oblasti pro stanovení záruční doby. Na stanovené cíle a metody výzkumu navazuje příklad souhrnného statistického a grafického zpracování dat. Závěr obsahuje tvrzení, že zhruba po 57. měsíci bez rozdílu mezi technickými řešeními a typy objektů prodlužování záruční doby nemá technické opodstatnění.

Klíčová slova

Defekty, distribuční funkce, histogram, kupní smlouva, kvantil, právní aspekty, medián, modus, parametrické rozdělení, program Histon, smlouva o dílo, záruční doba, životnost.

Abstract

The research was focused on 120 buildings from the range of housing, industrial and public in last 10 years. Stability defects, defects of roofing, technical equipment, water proofing as well as erosion of surfaces have been analyzed in accordance to the type of building system (construction). This article adverts to related economical and legal aspects for the proper determination of the guarantee period. An example of statistical and graphical presentation follows. To conclude, there is a statement, that there is no technical reason for prolonging guarantee period within 57 months.

Keywords

Defects, distribution function, histogram, contract of purchase, quantile, legal aspects, median, parametrical division, HistAn software, contract, guarantee period, life span.

1 ÚVOD

Výzkum byl zaměřen na četnost a dobu výskytu vad na stavebních dílech v období po předání díla od zhotovitele investorovi (resp. uživateli). Dále na základní příčiny nejčastěji se opakujících vad a na dobu výskytu v čase od ukončení vlastní stavby, tedy od předání díla uživateli. Tomuto období se v obchodně stavební praxi říká záruční doba. Tato však nemá stálá technicky ani právně uzákoněná pravidla. Záruční doba je stále dosud definována z hlediska právního pouze velmi obecně hlavně v občanském a obchodním zákoníku.

Pro výzkum byla využita data z reklamací firem Unips Ostrava, a.s. a TCHAS Ostrava, s.r.o. Tato data byla shromažďována s pomocí reklamačních oddělení obou firem a přiřazována

¹ Ing. Vladislav Varmuža, stavební projektový manager, Kania a.s., Nádražní 735/165, 702 00 Ostrava-Přívovz, tel. (+420) 739 521 351, e-mail: varmuza@kania-ostrava.cz.

k jednotlivým obchodním případům – stavbám. Vznikl soubor dat ve formátu Excel. Tabulky byly podkladem výzkumu společně s další dokumentací (fotografie, oznámení o vzniku vady, zápis o odstranění vady a další korespondence). Soubor dat a další dokumentace byly zaměřeny na četnost a dobu výskytu vad. Jednotlivá data byla posuzována a řazena i podle kategorií staveb a konstrukcí, na kterých se vyskytovaly a byly posuzovány hlavní příčiny vzniku těchto vad.

Závěrem výzkumu je pak stanovení optimální záruční doby pro objekty pozemního stavitelství s doporučením na další technicko-legislativní opatření směřující ke zvyšování kvality stavebního procesu.

2 SOUVISEJÍCÍ OBLASTI PRO STANOVENÍ ZÁRUČNÍ DOBY

2.1 Oblast ekonomická

Oproti výrobcům běžného spotřebního zboží musí stavební firmy řešit poměrně značné náklady související s odstraňováním záručních vad. Velké stavební podnikatelské subjekty mají zřízeny různě velká reklamační oddělení vybavená technicky a personálně s nemalými náklady.

V době tvorby ceny za dilo (nabídky) se tyto budoucí náklady jen velmi těžko odhadují a každá firma dává do ceny různé hodnoty. Rovněž účetní pravidla pro stanovení tvorby rezerv na budoucí náklady související s odstraňováním budoucích reklamačních závad jsou velmi nejednoznačná, tyto náklady nelze odečíst od daňového základu a firmy je platí v rámci běžných provozních výdajů. Pokud dochází ke zvyšování obrátu, nárůstu zakázek, nečiní tato praxe vážných problémů, ale pokud je trend opačný, počet zakázek klesá, vyvstanou vážné ekonomické problémy i v souvislosti s reklamacemi. Není se tedy co divit když v současné hospodářské krizi se některé stavební firmy brání odstraňování záručních vad, což samozřejmě nesou uživatelé a investoři velmi nelibě. Jejich obvyklou obranou je smluvní institut pozastávek po dobu záruky. Ten se však projeví v ceně, ale hlavně ve finanční situaci stavebnictví.

2.2 Oblast finanční

Velká část provozního úvěrového rámce stavebních firem je omezována rozsahem a velikostí bankovních garancí po dobu záruky. Tento předpoklad však platí jen pro část stavebních podnikatelských subjektů na trhu. Těmto subjektům je umožněno nahradit finanční pozastávky, garantující ze strany zhotovitele neprodlené odstraňování vad, bankovními garancemi, ale malým subdodavatelským objektům se to nepodaří a značná část jejich aktiv je blokována formou finančních pozastávek převážně u generálních dodavatelů, tedy velkých stavebních firem. Tyto prostředky pak v období krize chybí jako zdroje k překonání problémů.

Není třeba zdůrazňovat, že investoři, uživatelé a objednatelé, mají enormní snahu stanovit záruční dobu co nejdelší a opačně stavební podnikatelé mají zájem na záruce co možná nejkratší. Požadovaná a tedy i nabízená délka záruční doby se pak stává obchodním artiklem.

2.2 Oblast obchodní

To, že délka záruky je obchodně marketingovým artiklem, je zcela zřejmé. V praxi se však stává zneužívanou skutečností, zvláště pak, když je například kritériem vyhodnocení soutěže. Nepřiměřeně dlouhá záruční doba má vyšší bodové ohodnocení (větší váhu) než např. kvalita a hlavně cena. V minulosti jsme se setkávali při veřejných soutěžích i se stoletými zárukami a tyto nabídky pak zvítězily nad mnohem levnějšími, ale s kratší zárukou. **Jak však stanovit přiměřenou a vyváženou záruční dobu, jejíž délka bude vyhovovat investorům, uživatelům a objednatelům a přitom nebude likvidovat stavební podnikatele?**

Je vůbec stanovení takovéto „optimální“ záruční doby třeba?

Se stanovením doporučené přiměřené a vyvážené délky záruční doby se zjednoduší celá řada problémů.

Zcela jednoznačně vznikne parametr pro projektanty, jaké výrobky mají do projektů navrhovat, aby bylo zcela jasné, kdy končí u výrobku období bezúdržbové (záruka) a kdy již musí

uživatel stavbu standardním způsobem udržovat.(příkladem jsou nátěry klempířských výrobků, různé elektro zařízení apod., nikoliv však technologické celky).

Stavební subjekty budou mít v ruce nástroj na stanovení, právně řečeno „obvyklé“ záruční doby. Tato skutečnost bude důležitým faktem v případě soudních sporů, kdy se např. délka záruční doby do smlouvy neuvede, a platné zákony nejsou jednotné.

Rovněž jednotná doporučená záruční doba je signálem pro banky poskytující finanční produkty pro developery, stavební firmy apod., zda navržená záruka ve smlouvě má své opodstatnění. Stanovením doporučené záruční doby odpadne nejednotnost v zadání soutěží (omezí se korupční prostor) a odpadne i z hlediska obchodního dilema co je a není standardem v nabídkách. Taktéž jednotný parametr záruční doby umožní lépe definovat účetní pravidla pro tvorbu rezerv, opravných položek, sledování nákladů apod.

3 SOUČASNÉ PRÁVNÍ PŘEDPISY A ZÁRUČNÍ DOBY VE STAVEBNICTVÍ

Je paradoxem, že pro jeden z nejvíce užívaných výrobků, jakými je produkce pozemního stavitelství, neexistují ucelená a jednoznačná zákonná pravidla pro stanovení záruční doby. Stanovit záruční dobu, která by skutečně byla obdobím, po které se v dostatečné míře přezkoumá, zda stavba (výrobek) vykazuje předepsané vlastnosti a má předpoklad, že i nadále bude tyto vykazovat, je velmi náročné.

Občanský zákoník [1] (zákon č.40/1964 Sb., v platném znění) rozlišuje pořízení věci podle typu smluvního ujednání:

- je-li výrobek (stavba) pořízený dle **kupní smlouvy** (např. prostřednictvím developera) vztahuje se na takto pořízenou stavbu ustanovení § 620 odst. 1), které stanoví, že záruční doba je **24 měsíců**. Podle odst. 5) citovaného ustanovení může prodávající poskytnout záruku přesahující 24 měsíců a v záručním listě prodávající určí podmínky a rozsah prodloužení záruky;
- je-li výrobek (stavba) pořízený dle **smlouvy o dílo** (smlouva mezi „objednatel“ a „zhotovitelem“) vztahuje se na takto pořízenou stavbu ustanovení § 646 odst. 3), který stanoví, že u zhotovení stavby je záruční doba **36 měsíců**. Prováděcí předpis může stanovit, že u některých částí staveb může být záruční doba kratší, nejméně však **18 měsíců**.

Obchodní zákoník [3] (zákon č. 513/1991 Sb., v platném znění) nestanoví doby záručních lhůt. V § 563 (Díl IX – Smlouva o dílo) v odst. 1) je pouze uvedeno, že záruční doba týkající se díla počíná běžet předáním díla. Následující odstavce je v podstatě odvolávkou na ustanovení §§ 429 – 431, které v ustanoveních o kupní smlouvě definují záruky za jakost, nikoliv lhůty záruční doby.

3.1 Právní předpisy v ČR, SR a Polsku

Aktuální český i slovenský občanský zákoník jakož i obchodní zákoník mají společné výchozí znění v zákonech z období federativního uspořádání státu.

Občiansky zákonník [2] SR č. 47/1992 Zb. z. stanovil v § 620 pro **kupní smlouvu** šestiměsíční záruční lhůtu a v § 646 odst. 3 pro **smlouvu o dílo** záruční lhůtu 3 roky. Novela **Občianskeho zákonníka SR č. 150/2004 Zb. z.** sjednotila v § 620 pro záruční dobu podle **kupní smlouvy** na 24 měsíců. Tímto je česká i slovenská legislativa při posuzování záručních dob sjednocená.

Obchodný zákoník SR [4] č. 513/1991 Zb.z. má autentický obsah s českou verzí obchodního zákoníku.

Z uvedeného vyplývá, že minimální záruční doby ve stavebnictví v ČR i SR činí **24 měsíců**, pokud objednatel a zhotovitel postupují podle **kupní smlouvy** občanského zákoníku,

36 měsíců, pokud objednatel a zhotovitel postupují podle **smlouvy o dílo** občanského zákoníku, **18 měsíců** pro některé části staveb, je-li celková záruční doba 36 měsíců podle smlouvy o dílo občanského zákoníku.

Původní **Stavební zákon č. 50/1976 Sb.**, který platil 30 let, byl po 16 změnách a doplněních zcela novelizován zákonem **č. 183/2006 Sb.**, [5] účinným od 1. 1. 2007. V původním znění neobsahoval ustanovení o záruční době ve stavebnictví, ale v § 100 odst. 5) alespoň stanovil povinnost stavebníka „*uchovávat stavební deník po dobu **deseti let** od nabytí právní moci kolaudačního rozhodnutí, popřípadě od dokončení stavby, pokud kolaudaci nepodléhá*“.

Novelizovaný **zákon 183/2006 Sb.** již toto ustanovení neobsahuje (§ 157) přesto, že od nabytí účinnosti byl šestkrát doplňován a měněn.

Ustanovení o záruční době (lhůtě) neobsahuje ani **Stavební zákon Slovenské republiky č. 608/2003 Zb.z.** [6], ani novela polského stavebního zákona - **Nowelizacja Prawa budowlanego** [7].

4 UŽITNÉ VLASTNOSTI A ZÁRUČNÍ DOBA

Stavby však používáme 24 hodin denně a to po dobu několika desítek (až stovek) let a pořízení takového výrobku stojí spotřebitele několika set násobně draž než pořízení jiných spotřebních výrobků. Navíc se dá předpokládat, že spotřebitel si bude takovýto výrobek pořizovat nesčetněkrát méně často než ostatní výrobky. Vycházíme-li z této úvahy, předpokládáme, že oproti jiným výrobkům je stavba výrobek s poměrně vysokou pořizovací hodnotou, budeme ho nejdéle používat (zpravidla životnost stavby několikrát překročí délku života investora samotného) a že komfort kvality užívání (neboli vlastnosti výrobku po dobu užívání) se bude co nejvíce blížit předpokládaným projektovaným vlastnostem v době pořízení (dokončení) stavby.

Pro základní ověření požadovaných vlastností výrobku slouží u každého předmětu (zboží) v ČR období, ve kterém výrobek musí prokazovat užitné vlastnosti, pro které byl pořízen. Toto období se nazývá **záruční dobou**. U běžných spotřebních výrobků (auta, elektronika apod.) byla tato doba stanovena pravděpodobně různými metodami (legislativními, právními, technickými apod.) mimo jiné i na základě životnosti těchto výrobků, popř. materiálů, ze kterých jsou vyrobeny, na dva roky. Obchodní strategií výrobců je pak toto období u různých výrobků prodlužováno. Je však velmi pravděpodobné, že výrobce podřizuje výběr polotovarů (surovin) právě té skutečnosti, že výrobek má (může) vykazovat prodejní parametry minimálně 24 měsíců.

Je velmi paradoxní, že vlastně pro jeden z nejvíce užívaných výrobků vůbec, neexistují sjednocená zákonná pravidla pro stanovení záruční doby, pro užívání atd. Platí tedy, že i stavbu lze prodat bez návodu k použití se záruční dobou v délce 24 měsíců – stejně jako např. boty (i když u těchto najdete v krabici základní pravidla pro používání, ošetření apod.). Zaměříme-li se na jeden základní aspekt výše uvedených skutečností – stanovení délky záruční doby – můžeme se na tuto problematiku dívat z několika různých společenských pohledů.

Stanovit záruční dobu, která by skutečně byla obdobím, ve kterém se v dostatečné míře technicky přezkoumá, že stavba (výrobek) vykazuje požadované, předpokládané vlastnosti a i nadále bude tyto vykazovat, je velmi náročné.

Délka záruční doby je tedy upravována, oproti lhůtě v občanském zákoníku, pouze ve smluvních vztazích, kde se stává „obchodním artiklem“ bez technických pravidel.

5 CÍLE A METODY VÝZKUMU

5.1 Formulace cílů výzkumu

Odpovědi na výše formulované dotazy bude na základě poznatků o průběhu záruční doby na pozorovaných stavbách stanovit doporučenou přiměřenou a vyváženou délku záruční doby pro pozemní stavitelství tak, aby výsledek měl obhajitelné využití v obchodních, ekonomických a občanskoprávních vztazích se zamezením zneužití současného technicko-právního stavu. Příkladem

takového zneužívání je využití délky záruční doby jako kritéria při výběrových řízeních ve veřejnoprávní sféře, kde např. stoletá záruční doba umožní zvítězit i nabídce s nejvyšší cenou. Právní vymahatelnost této nabídky je více než diskutabilní.

Pro stanovení optimální záruční doby můžeme použít celou řadu pohledů a názorů např.:

- **podle celkové životnosti** (od pořízení po demolici);
pravděpodobně bychom stanovili poměrnou část této doby,
- **dle životnosti použitých výrobků**
zde by bylo problematické vybrat z velkého množství výrobků a materiálů ty, u kterých předpokládáme zásadní vliv na vlastnosti stavby po dobu užívání;
- **dle obchodních pravidel**
základem by muselo být statistické porovnání několika stovek (tisíců) smluv a stanovení nejvíce používané délky. Pravdou je, že v minulosti jsme zaznamenali na stavebním trhu příklady, že firmy ve snaze získat zakázku a délka záruční doby byla výběrovým kritériem, stanovovali dodavatelé záruční doby sto i víceleté, což by výsledky značně zkreslilo;
- **dle zvyklostí**
stanovené doby, zde je problematické, že v průběhu životnosti stavby se lidské zvyklosti mění. Navíc vyvstává otázka, jak dlouhé je časové období, za které můžeme prohlásit, že skutečnost se stala zvyklostí;
- **technickým zkoumáním**
porovnáním výskytu závad (reklamací) v čase od zahájení užívání (předání) až po období kdy se vady na stavbě už ustálily, lze hovořit o minimálním výskytu vad a naopak se projevuje období údržby. Toto řešení se jeví jako nejvíce reálné, protože zohledňuje vlastnosti výrobků, technologické postupy, projekční zadání zcela nezávisle na společenských, právních a jiných vlivech.

5.1 Stanovení metod řešení

Podkladem pro zkoumání je více než desetileté sledování průběhu záruční doby včetně evidence vad a reklamací na již zhotovených stavbách v období komerčně stanovených záručních lhůt. Právě díky takto dlouhé době, po kterou byla data shromažďována nelze již přesně ověřit na místě samém např. prvotní příčiny vad a lze je pouze předpokládat z dochované korespondence, popř. poznámek pracovníků reklamačních oddělení. Tato data byla roztríděna, sumarizována a zpracována tak, aby vzniklé údaje byly použitelné pro závěry zkoumání.

K dispozici je 1670 použitelných údajů o reklamaci na 120 stavbách různého charakteru. Jednalo se o stavby bytové, občanské a průmyslové. Stavby se nacházejí na území celé ČR, převážně však v Moravskoslezském kraji. Sledované stavby měly různě dlouhé záruční doby od 3 do 12 a více let. U staveb byla důkladně prozkoumána četnost a charakter záručních vad, jejich případný opakovaný výskyt, příčiny vzniku, lokalizace výskytu apod.

Stavby byly rozděleny do tří technologických skupin:

občanské,
bytové
průmyslové.

Na těchto stavbách bylo dále sledováno, o jaký typ závad se jedná z hlediska příslušnosti k určité stavební konstrukci:

- defekty na statických částech a hydroizolacích;
- defekty na střechách;
- defekty na technických zařízeních – TZB;

- defekty na obvodových konstrukcích a výplních otvorů;
- defekty na površích konstrukcí vnitřních.

V těchto skupinách a v těchto typech konstrukcí bude sledována četnost výskytu defektů a reklamací v čase omezeném záruční dobou. U staveb s největším výskytem vad bylo definováno, o jaký typ vady se jedná, na jaké části konstrukce se vyskytuje. K dispozici je celá řada fotodokumentace:



Obr. 1 a 2: Příklady defektního provedení vpusti v detailu střechy



Obr. 3: Častá vada – trhliny v konstrukcích příček

6 PŘÍKLAD STATISTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ DAT

Dostupná data byla zpracována statistickými metodami. Na základě statistického vyhodnocení bylo možno stanovit časové období, kdy od počátku záruční doby vzniká nejvíce vad, období kdy se již vady nevyskytují a to nezávisle na technickém řešení jednotlivých objektů nebo jejich komerčně stanovené záruční době. Pro splnění cíle zkoumání bylo nutno stanovit:

Období sledování:

čas „0“ – v tomto čase byla stavba předána investorovi oficiálním předávacím protokolem a začíná běžet záruční doba,

čas „93“ – max. počet intervalů, ve kterých se sledování provádělo od času „0“, tzn. 93 měsíců (tj. 7 let a 9 měsíců v rámci desetiletého intervalu).

Prvotní data – byla zpracována tak, že ke každému dalšímu měsíci od času „0“ bude přiřazována četnost výskytu defektů (množství reklamací) v dané konstrukční kategorii, popř. skupině objektů.

Histogram – prvotní data je grafickým znázorněním veličiny pravděpodobnosti výskytu vad na svislé ose. Údaje v čase jsou uvedeny na vodorovné ose. K histogramu prvotních dat byl pak programem Histan (autoři doc. Ing. Janas, CSc., doc. Ing. Krejsa a kolektiv) přiřazena statistická funkce s největším koeficientem korelace (těsnosti) k danému histogramu.

Parametrické rozdělení – graf prvotních dat – histogram byl nahrazen grafem průběhu statistické funkce (parametrické) s nejvyšší těsností.

Základní rozdíl v grafickém znázornění prvotních dat – histogramem a parametrickým rozdělením je, že histogram má omezení zleva i zprava, tzn. je omezen intervaly, ve kterých byla data sledována. Parametrické rozdělení není omezeno, tzn., že pomocí parametrické funkce lze vypočítat hodnoty pravděpodobnosti od času „0“ po čas „∞“ (nekonečno), tzn., umožňuje nám provádět předpovědi i pro intervaly mimo sledované časy prvotního zkoumání.



Modus (v grafickém obrázku mode) X je nejčastěji se vyskytující hodnota ve statistickém souboru. Ve výsledku zkoumání se jednalo o údaje s nejčastější četností v daném období (tzn. nejčastější výskyt defektů, jejich počet v daném období po měsících).



Medián (v grafickém obrázku median) X je hodnota, která rozděluje uspořádaný statistický soubor na obě stejné části, tedy hodnota, která leží uprostřed uspořádaného statistického souboru.

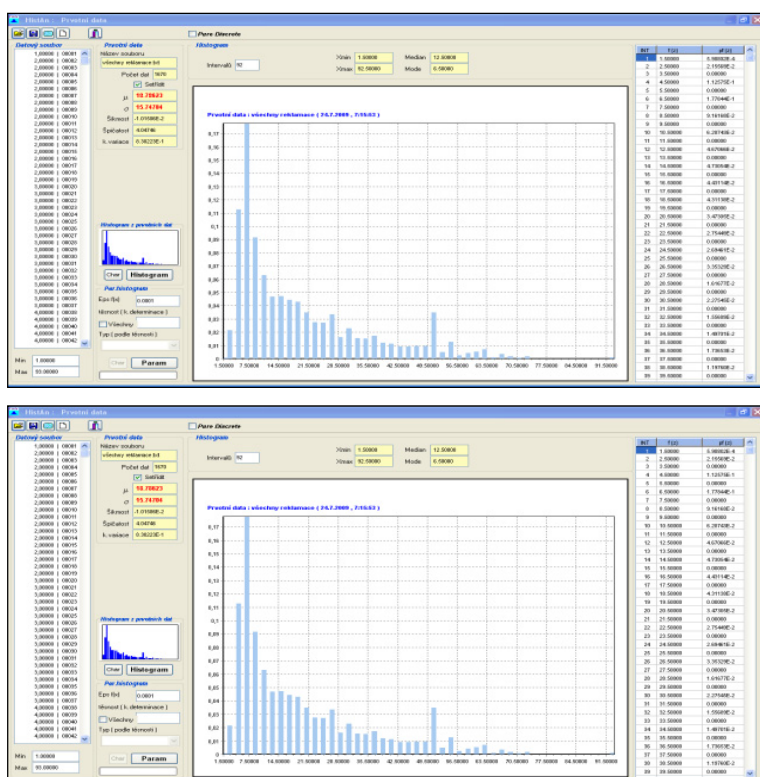
Při dalším zkoumání bylo nutno stanovit oblast zkoumání z hlediska prvotního cíle, tzn. stanovení doporučenou přiměřenou a vyváženou délkou záruční doby pro pozemní stavitelství pro jednotlivé skupiny objektů. Zkoumání vycházelo z předpokladu, že záruční doba je dobou, po kterou zhotovitelé jsou povinni odstraňovat vady, defekty na konstrukcích způsobené jimi samotnými. Tím se rozumí použití neshodné konstrukce, materiálu, technologie, které pak v čase způsobilo defekt na příslušném typu konstrukce. Při podrobném přezkoumání možných příčin vzniku vady však byla zjištěna i určitá míra počtu závad, které byly zhotovitelem odstraněny jako reklamace, ale příčinou bylo nesprávné užívání konstrukce uživatelem. Tyto vady byly zhotoviteli úspěšně odmítnuty a bylo zjištěno, že představují 5% reklamovaných závad.

Proto bylo pro další statistické sledování využito kvantilu, což je rozsah sledování dat v hodnotě 95 %. Na defekty způsobené nesprávným užíváním, nedostatečnou údržbou apod. bude uvažováno s posledními 5 % celkových dat (viz grafika 95 % kvantilu).

V tabulce „charakteristiky“ se dále pro naše vyhodnocení nacházejí důležité tzv. „základní charakteristiky“:

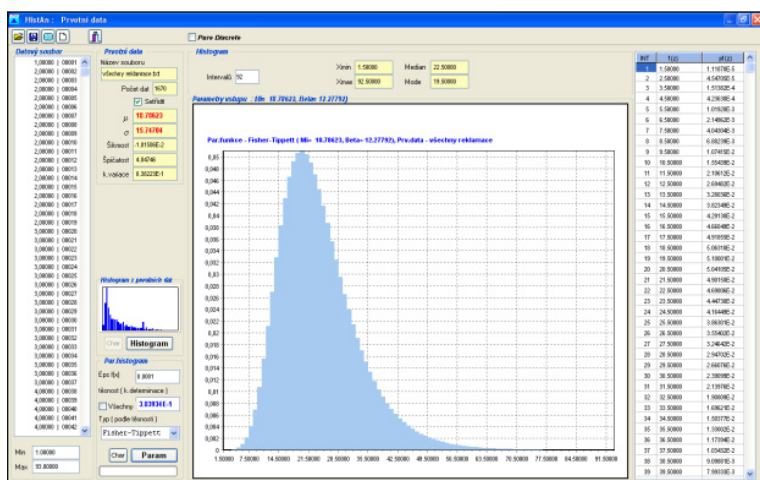
Mix – aritmetický průměr všech zjištěných pravděpodobností ve sledovaných datech vyjadřuje těžiště dat v souboru sigma x , což je směrodatná odchylka určující průběh stoupání funkce.

Následující příklad statistického zpracování dat je souhrnem všech reklamací v bytové, občanské i průmyslové výstavbě. V podrobném zkoumání byla jednotlivá data zpracována definovanou statistickou metodou (programem Histan) pro jednotlivé typy objektů, pro jednotlivé typy vad na konstrukcích. Tyto výsledky byly analyzovány a použity pro stanovení optimální záruční doby pro jednotlivé technologické skupiny.

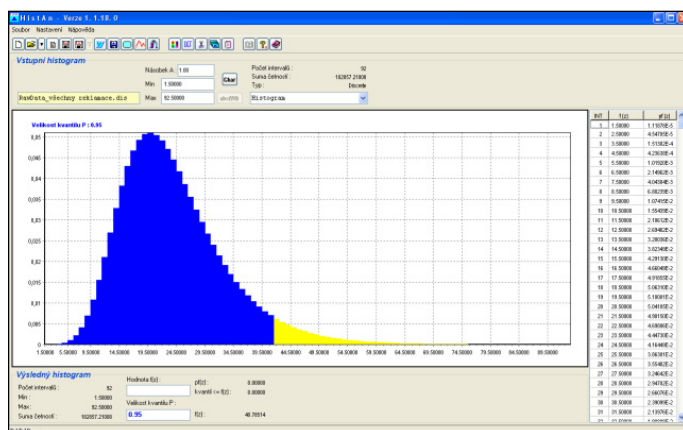


Obr. 4: Prvotní data

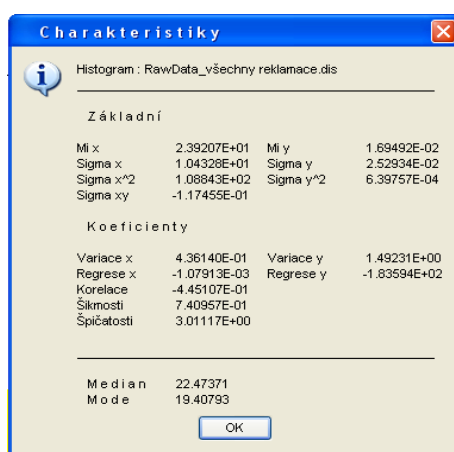
Podkladem pro sestavení prvotních dat byla důkladná evidence záručních defektů na stavbách, o kterých se zhotovitel dozvěděl formou uplatněných reklamací.



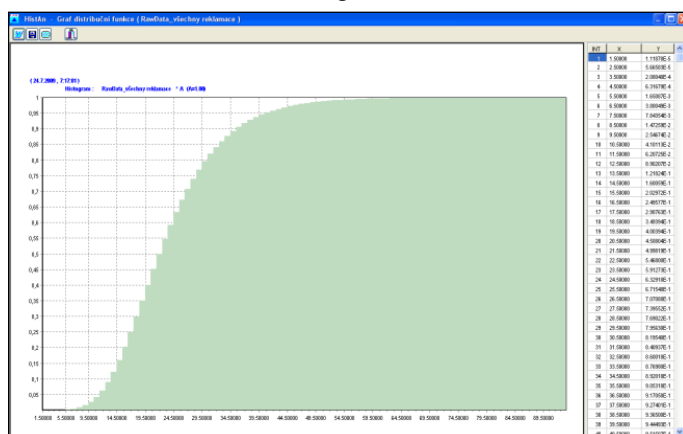
Obr. 5: Parametrické rozdělení



Obr. 6: Parametrické rozdělení pro 95% kvantil – sledovaná doba: 40, 78 měsíců



Obr. 7: Histogram všech dat



Obr. 8: Distribuční funkce

Známe-li pro jednotlivé typy objektů čas (lhůtu) od času „0“ kdy dochází k největšímu výskytu vad – je tedy velmi efektivní a potřebné

1. provést technickou celkovou prohlídku budovy se zaměřením na vady. V tomto čase trvání záruční doby se vyskytuje na objektu nejvíce vad, poté již začne počet výskytu (% pravděpodobnosti výskytu vad) klesat.

2. Prohlídku je nutno naplánovat na dobu, kdy předpokládaný počet vad bude pokryt s pravděpodobností 95 %, od této doby by měla být zahájena cílená servisní udržovací činnost a zahájeno plánování oprav, udržovacích prací.

7 ZÁVĚR

Z distribuční funkce vyplývá, že s pravděpodobností blíží se 1 (100 %) budou odhaleny všechny vady (max. množství) zhruba v 57. měsíci od času „0“, bez rozdílu mezi technickými řešeními, typy objektů apod. Po tomto období prodlužování záruky (záruční doby) nemá technické opodstatnění. Tato skutečnost ukazuje, že záruční doba pro stavby delší než 57 měsíců –zaokrouhleno v letech tedy 5 let, je z hlediska technického již neefektivní, v tomto čase by již měla naplno fungovat prevence, tzn. správná údržba a provozování budovy za účelem co nejdelší bezproblémové životnosti objektu. Zpracovaná data budou podrobněji přezkoumána po jednotlivých typech objektů, dále bude proveden rozbor nejčastěji se vyskytujících vad a rovněž bude podrobněji nadefinována náplň jednotlivých technických prohlídek. Závěry získané tímto zkoumáním nelze vztahovat na dopravní stavby, mosty, tunely, podchody, speciální stavby apod. Tyto si jistě zaslouží svůj specifický výzkum.

LITERATURA

- [1] OBČANSKÝ ZÁKONÍK č. 40/1964 Sb., v platném znění, §§ 620, 646, *Texty zákonů č. 177*, C. H. Beck, Praha, 2010, pp. 50, 53. ISBN 978-80-7400-238-0.
- [2] OBČANSKÝ ZÁKONÍK č. 150/2004 Zb. z., §§ 620 a 646, *Aktualizace II – úplné znenia zákonov SR r. 2011*, Poradca, s.r.o. Žilina, pp. 288 an., ISSN 1335 – 6127.
- [3] OBCHODNÍ ZÁKONÍK č. 513/1991 Sb., § 563, *Úplné znění zákonů č. 830*, Sagit, 2011, pp. 123. ISBN 978-80-7208-849-2.
- [4] OBCHODNÍ ZÁKONÍK č. 513/1991 Zb. z., § 563., *Aktualizace II – úplné znenia zákonov SR r. 2011*, Poradca, s.r.o. Žilina, pp. 108 an., ISSN 1335 – 6127.
- [5] STAVEBNÍ ZÁKON č. 183/2006 Sb., § 157, *Texty zákonů č. 172*, C. H. Beck, Praha, 2010, pp. 57. ISBN 978-80-7400-232-8.
- [6] STAVEBNÍ ZÁKON č. 608/2003 Zb. z., *Aktualizace IV – úplné znenia zákonov SR r. 2011*, Poradca, s.r.o. Žilina, pp. 5 – 71 an., ISSN 1335 – 6127.
- [7] INTERNET – www.ustawa.gov.pl – *PRAWO BUDOWLANE*, Kancelaria Sejmu s. 1/65 2006-02-14 Dz.U. 1994 Nr 89 poz. 414.

STUDIJNÍ METODICKÁ LITERATURA

- HINKS J. – COOK, G., *The Technology of Building Defects*, By Tailor & Francis, New York, 2005, ISBN 0 – 419 – 19780.
- JANAS, P. – KREJSA, M. – KREJSA, V. *Software HistAn [EXE] – Histogram Analysis*. Autorizovaný software, Lite verze 1.1, 2,8 MB. Ev. č.004/27-01-2009_SW. VŠB – TU Ostrava, 2008.
- JANAS, P. – KREJSA, M. – KREJSA, V. *Software HistOp [EXE] – Basic Operations with Histograms* Autorizovaný software, Lite verze 1.1, 7,5 MB. Ev. č.002/27-01-2009_SW. VŠB – TU Ostrava, 2008.
- JANAS, P. – KREJSA, M. – KREJSA, V. *Software ProbCalc[EXE] – Program Systém for Probabilistic Reliability Assessment usány DDFPM Metod*. Autorizovaný software, Lite verze 1.1, 12,4 MB. Ev. č. 00327-01-2009_SW. VŠB – TU Ostrava, 2008.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA, ČKAIT, Praha.

Ing. Stanislav Smugala, VOKD a.s., Ostrava.

Václav VESELÝ¹, Petr FRANTÍK², Ondřej VODÁK³, Zbyněk KERŠNER⁴

**LOKALIZACE PRŮBĚHU PORUŠOVÁNÍ V BETONOVÝCH VZORCÍCH STANOVENÁ
POMOCÍ AKUSTICKÉ A ELEKTROMAGNETICKÉ EMISE A NUMERICKÝCH SIMULACÍ**

**LOCALIZATION OF PROPAGATION OF FAILURE IN CONCRETE SPECIMENS ASSESSED
BY MEANS OF ACOUSTIC AND ELECTROMAGNETIC EMISSION AND NUMERICAL
SIMULATIONS**

Abstrakt

V článku jsou prezentovány výsledky numerické analýzy zaměřené na verifikaci záznamu průběhu porušování – jeho postup a lokalizaci jednotlivých událostí – odehrávajícího se ve kvazikřehkých materiálech na bázi cementu. Experimentální metodika pro sledování porušení, která je zde zkoumána a verifikována, vychází z (kombinace) akustické a elektromagnetické emise (AE, resp. EME). Analýza je prováděna na zkušebních tělesech z betonu s cílem odhalit typ a intenzitu porušení, jež je schopna použítá technika zachytit. Pro zde prezentovanou numerickou analýzu jsou použity výpočetní nástroje ATENA, resp. FyDiK, založené na mechanice kontinua se zahrnutím modelu kohezivní trhliny, resp. na metodě fyzikální diskretizace kontinua, rovněž využívající materiálový model zohledňující kohezivní povahu kvazikřehkého lomu.

Klíčová slova

Cementové kompozity, kvazikřehké porušení, akustická emise, elektromagnetická emise, numerické simulace, model kohezivní trhliny, fyzikální diskretizace kontinua.

Abstract

This paper presents a numerical analysis aimed at verification of monitoring of failure – its propagation and the locations of the individual failure events – in quasi-brittle cement-based materials performed using a monitoring technique based on utilization of (combination of) acoustic emission (AE) and electromagnetic emission (EME) phenomena. The analysis is conducted on concrete laboratory specimens and helps to reveal the type and intensity of failure which can be captured by this experimental technique. Computational tools ATENA and FyDiK based on continuum mechanics with implemented cohesive crack model and physical discretization of continuum, again with a material model considering the cohesive nature of quasi-brittle fracture, respectively, are employed in the numerical analysis.

Keywords

Cementitious composites, quasi-brittle failure, acoustic emission, electromagnetic emission, numerical simulation, cohesive crack model, physical discretization of continuum.

¹ Ing. Václav Veselý, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: (+420) 541 147 362, e-mail: vesely.v1@fce.vutbr.cz.

² Ing. Petr Frantík, Ph.D., dtto, tel.: (+420) 541 147 376, e-mail: kitnarf@centrum.cz.

³ Bc. Ondřej Vodák, dtto, e-mail: vodak.o@study.fce.vutbr.cz.

⁴ doc. Ing. Zbyněk Keršner, dtto, tel.: (+420) 541 147 362, e-mail: kersner.z@fce.vutbr.cz.

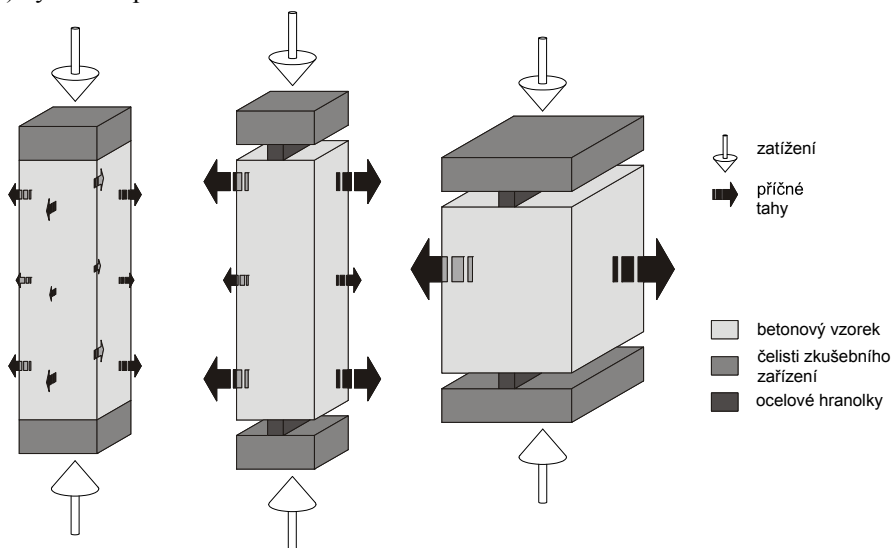
1 ÚVOD

Iniciaci a šíření trhlin v pevných látkách lze detekovat pomocí akustických a elektromagnetických jevů (pro materiály ve stavebnictví např. [8], [14], [23]). Tyto jevy jsou označovány jako akustická/elektromagnetická emise (AE/EME). Při vývoji metodologie měření a vyhodnocování vzniku a šíření trhlin/y pomocí těchto jevů lze s výhodou použít výpočetních nástrojů schopných simulovat postup porušování materiálu. Tento článek je věnován právě simulacím porušování vybraných stavebních materiálů, a to cementových kompozitů, při lomových zkouškách. Hlavní pozornost je soustředěna na sledování distribuce porušení po objemu zkušebních vzorků a disipaci energie při porušování, která se (nejen) u cementových kompozitů projevuje akustickou a elektromagnetickou emisí. Pro simulace jsou použity výpočetní nástroje založené na metodě konečných prvků (MKP) s implementovaným modelem kohezivní trhliny (komerčního software ATENA [3]), resp. na metodě fyzikální diskretizace kontinua (vlastní pružinový/částicový model formulovaný jako nelineární dynamický systém, program FyDiK [5]).

2 NUMERICKÉ SIMULACE

2.1 Modelování metodou konečných prvků, software ATENA

V předchozích pracích autorů, jež se zabývají související problematikou, byly s použitím MKP softwaru ATENA [3] provedeny numerické studie polí napětí a deformací a průběhu porušení během testů ve vybraných zkušebních konfiguracích. Práce [19] byla zaměřena na výběr tvaru tělesa a okrajových podmínek testu (pro zatěžování tlakem ve zkušebním zařízení), které by byly vhodné pro studium porušování kvazikřehkých materiálů pomocí EME (resp. kombinace EME a AE). Studie byla prováděna jako rovinná úloha, bylo použito několik různých materiálových modelů pro beton. Následné analýzy ([20], [11], [12]) se prováděly ve 3D verzi použitého softwaru a soustředily se na dva tvary těles (sady A a B, tj. štíhlé resp. masivní těleso – viz obr. 1) a dvě zatěžovací konfigurace (neboli geometrie, I a II, tj. prostý tlak zkušebního tělesa, resp. tlak přes centrálně umístěné ocelové hranolky způsobující napjatost v tělese vedoucí k porušení příčnými tahy – viz obr. 1) vybrané z předchozí studie.



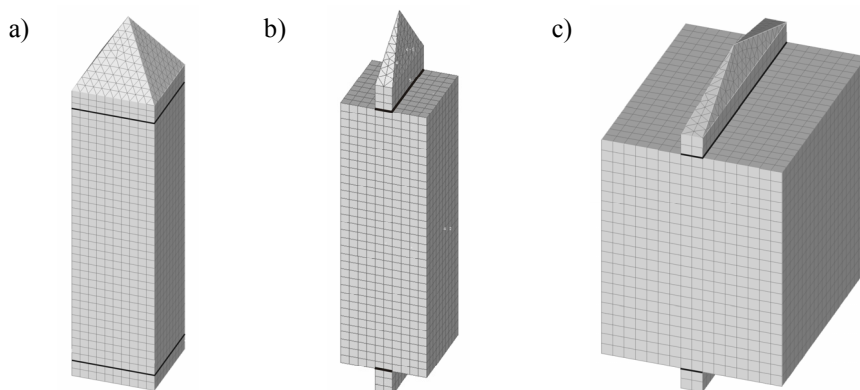
Obr. 1: Schematické znázornění zkušebních těles (sada A – vlevo a uprostřed, sada B – vpravo) v uvažovaných zatěžovacích konfiguracích (konfigurace I – vlevo, konfigurace II – uprostřed a vpravo) [12]

Provedené simulace ověřily možnosti modelování procesů porušování ve zkušebních tělesech podrobených testům ve zvolených zkušebních geometriích. V souvislosti se zkoumanou experimentální technikou využívající jevy AE a EME se však ukázalo jako žádoucí provést

také detailnější analýzu charakteristik simulovaného porušení, např. velikost (otevření) a orientace vznikajících trhlin, resp. odpovídajícího neelastického poměrného přetvoření. Na základě jejich porovnání s charakteristikami záznamů AE/EME by pak bylo možné usuzovat na možnosti a citlivost této experimentální techniky v oblasti monitorování porušení kvazikřehkých materiálů ve stavebnictví (v aplikaci zejména např. na silikátové kompozity a skalní horniny).

Model

Pro výše nastíněnou podrobnou analýzu byly použity 3D modely z předchozí studie [12]; vývoj metodiky k této analýze a její pilotní zjednodušené testy probíhaly na jim odpovídajících modelech ve 2D. 3D verze modelů včetně MKP sítě jsou pro testy AI, AII a BII (těleso tvaru A v geometrii I, těleso tvaru A v geometrii II, resp. těleso tvaru B v geometrii II) znázorněny na obr. 2.



Obr. 2: 3D modely testů AI (a), AII (b) a BII (c) včetně znázornění zatěžovacích přípravků určujících okrajové podmínky testu

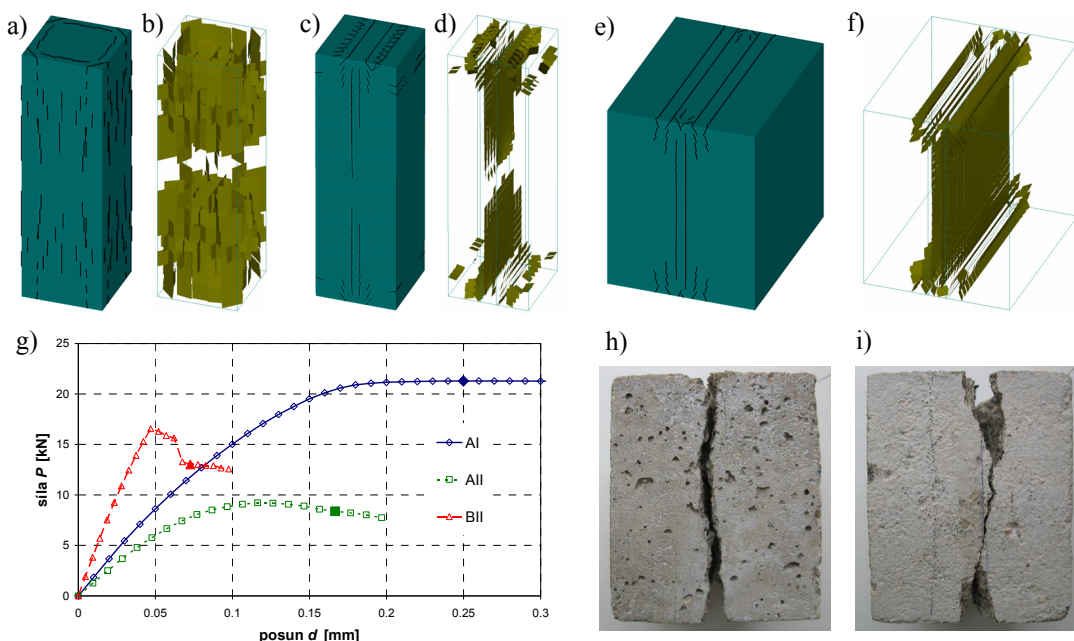
Modelované okrajové podmínky testu jsou schematicky naznačeny na obr 1., dolní příčník lisu byl uvažován jako pevný (podepřen neposuvně ve všech uzlech MKP sítě na dolní straně modelované příločky), horní příčník zatěžoval těleso (přes ocelové příločky, resp. hranolky) přírůstkem svislého posunu. Jak je zřejmé z obr. 2, zatěžování deformací bylo uvažováno jen v jednom bodě, vrcholu jehlanu přiloženého k roznášecím podložkám, a to z důvodu zjednodušení monitorování zatěžovací síly (tj. reakce vůči zatěžování přírůstkem posunu). Hodnota modulu pružnosti materiálu přiřazeného zatěžovacímu jehlanu byla zvolena o 3 řády větší než pro ocelové roznášecí podložky, resp. hranolky.

Modely byly ve 2D i 3D verzi vytvořeny v několika variantách hustoty MKP sítě. Třidimenzionální analýzy byly prováděny s lomově-plasticistním materiálovým modelem (3D Non-Linear Cementitious 2 – viz [3]), pro 2D pilotní simulace byl navíc použit SBETA materiálový model [3]. Materiálové modely byly nastaveny tak, aby simulovaly porušení vzorků z betonu o hodnotě krychelné pevnosti v tlaku 20 MPa, na nichž byla prováděna experimentální měření [10].

Výsledky

Pro porovnání odezvy virtuálních testů – výsledků numerických simulací – s testy skutečnými se typicky využívá zatěžovacích diagramů, tj. závislosti zatěžovací síly a vnášeného posunu (tzv. *load–displacement*, neboli *P–d* diagramy). V těchto diagramech lze pro kvazikřehké materiály/konstrukce rozlišit základní stádia průběhu porušování tělesa, jako jsou lineární chování, nelinearita před dosažením maxima zatížení způsobená vznikem a spojováním mikrotrhlin, vrchol zatížení a začátek sestupné větve diagramu odpovídající lokalizaci porušení a sestupná větev charakteristická pro šíření/otevírání vzniklé makrotrhliny [1], [9], [15], [16].

Další významnou skupinou výsledků je zobrazení (průběhu) napjatosti a deformací a zejména rozsahu porušení, a to pomocí řady parametrů různého typu (napjatostní, deformační, energetické), které výpočetní programy tohoto druhu poskytují. Zde se omezíme pouze na prezentaci vybraných



Obr. 3: Rozložení porušení v objemu tělesa predikované programem ATENA 3D pro testy AI (a, b) AII (c, d) a BII (e, f) – zobrazena je povrchová síť trhlin resp. jejich distribuce uvnitř tělesa; odpovídající simulované zatěžovací diagramy (g); fotografie dvou porušených těles sady BII (h, i)

vzorů trhlin ve stádiu testu při/po dosažení maxima zatížení (z 3D analýzy) a jejich porovnání s odpovídajícími výsledky experimentů [10], [12].

Pro vybrané vzorky experimentální sady AI, AII i BII jsou histogramy četností emisních událostí zachyceny na obr. 5. Je z nich patrné nerovnoměrné, avšak v zásadě ani vhodně lokalizované, porušení pro sadu AI a naopak relativně úzce lokalizované porušení pro sadu BII (histogramy v tomto aspektu dobře korespondují se zobrazeními porušení v obr. 3 – porušení rozestřené po objemu pro AI vs. lokalizované do centrální roviny u BII).

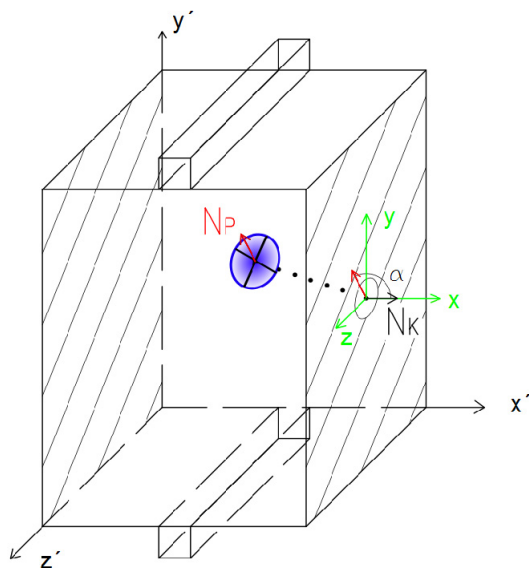
Zpracování výsledků simulací, doplňkový post-processing

Jak bylo uvedeno výše, vybrané parametry simulovaného porušení se dále zpracovávaly za účelem např. zjištění mezí použitelnosti experimentální techniky pro sledování poškození kvazikřehkých materiálů/konstrukcí ve stavebnictví založené na EME/AE, pochopení a správné interpretace zaznamenaných dat apod.

Jedním z úkolů bylo zpracování výsledků simulací do podoby porovnání s experimentálně naměřenými histogramy popisujícími četnosti událostí způsobujících EME/AE (procesy porušování) v závislosti na vzdálenosti od akustického senzoru umístěného na povrchu vzorku (obr. 4). Poznamenejme, že u experimentálních měření, k jejichž výsledkům publikovaným v [10], [12] je snaha se v této části práce simulacemi přiblížit, byla použita (pouze) dvoukanálová měřicí aparatura (1 kanál pro AE, jeden pro EME). Prostorové rozložení porušení bylo tedy po projekci do 1D vyšetřováno pouze skrze výše zmíněné histogramy. Hlavní autoři prací [10], [11] vyvinuli a v současné době testují vícekanálové měřicí zařízení (5 až 7 snímačů AE), které poskytne 3D rozložení porušení. Výsledky experimentů snímané touto aparaturou budou výhledově také analyzovány s pomocí zde prezentovaných numerických simulací.

Doplňkový post-processing byl proveden tak, že textové výpisy výsledků simulací v programu ATENA 3D byly načteny a zpracovány v programu MS Excel. Vypočtené hodnoty neelastického části hlavního poměrného přetvoření (principal fracture strain, $\varepsilon_{\text{fract},1}$ – viz [3]) ve všech integračních bodech MKP modelu byly vynásobeny koeficientem, jehož velikost závisí na vzájemné prostorové

orientaci sledovaného neelastického poměrného přetvoření a desek kondenzátoru umístěných na protilehlých stěnách zkušebních těles (úhel α , viz obr. 4). Hodnota tohoto koeficientu se řídí funkcí kosinus úhlu α , tj. pokud normálový vektor poměrného přetvoření (N_p , zde se jedná o normálovou komponentu jednotkového vektoru, kterým je v použitém softwaru ATENA popsán směr vzniklé deformace) svíral nulový úhel s normálovým vektorem desky kondenzátoru (N_k), hodnota koeficientu byla rovna jedné, v případě úhlu 90° rovna nule. Výsledky takto spočtených hodnot průmětu hlavního neelastického poměrného přetvoření $\tilde{\epsilon}_{\text{fract}}$ z každého integračního bodu (betonové části) MKP modelu byly následně filtrovány (s různými prahovými hodnotami filtru, od $1e-3$ až po $1e-7$), a to za účelem vyšetřit citlivost zkoumané experimentální metody. Jestliže hodnota $\tilde{\epsilon}_{\text{fract}}$ v daném integračním bodě překračovala nastavený filtr, uvažovala se v tomto bodě existence porušení, tj. vznik lomové události. Ze souřadnic takto vybraných integračních bodů byla určena vzdálenost l lokalizovaného porušení od akustického senzoru na povrchu vzorku (viz obr. 4). Počet uskutečnivších se lomových událostí byl pak zařazen podle jejich prostorové vzdálenosti l od akustického senzoru (třídy od 0,02 m až 0,065 m po krocích 0,005 m). Počty lomových událostí v jednotlivých třídách se následně vydělily celkovým počtem událostí za účelem získání relativní četnosti událostí, kterou lze dobře porovnat s naměřenými experimentálními histogramy v obr. 5.



Průmět neelastické části hlavního tahového poměrného přetvoření do roviny kolmé k rovině desek kondenzátoru je určen jako:

$$\tilde{\epsilon}_{\text{fract}} = \epsilon_{\text{fract},l} \cos \alpha, \quad (1)$$

kde:

- $\epsilon_{\text{fract},l}$ – je neelastická část hlavního tahového poměrného přetvoření,
- α – je prostorový úhel mezi směrem hlavního tahového poměrného přetvoření a normálou k deskám kondenzátoru.

Vzdálenost mezi integračním bodem a akustickým senzorem se spočte dle vztahu:

$$l = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (2)$$

kde:

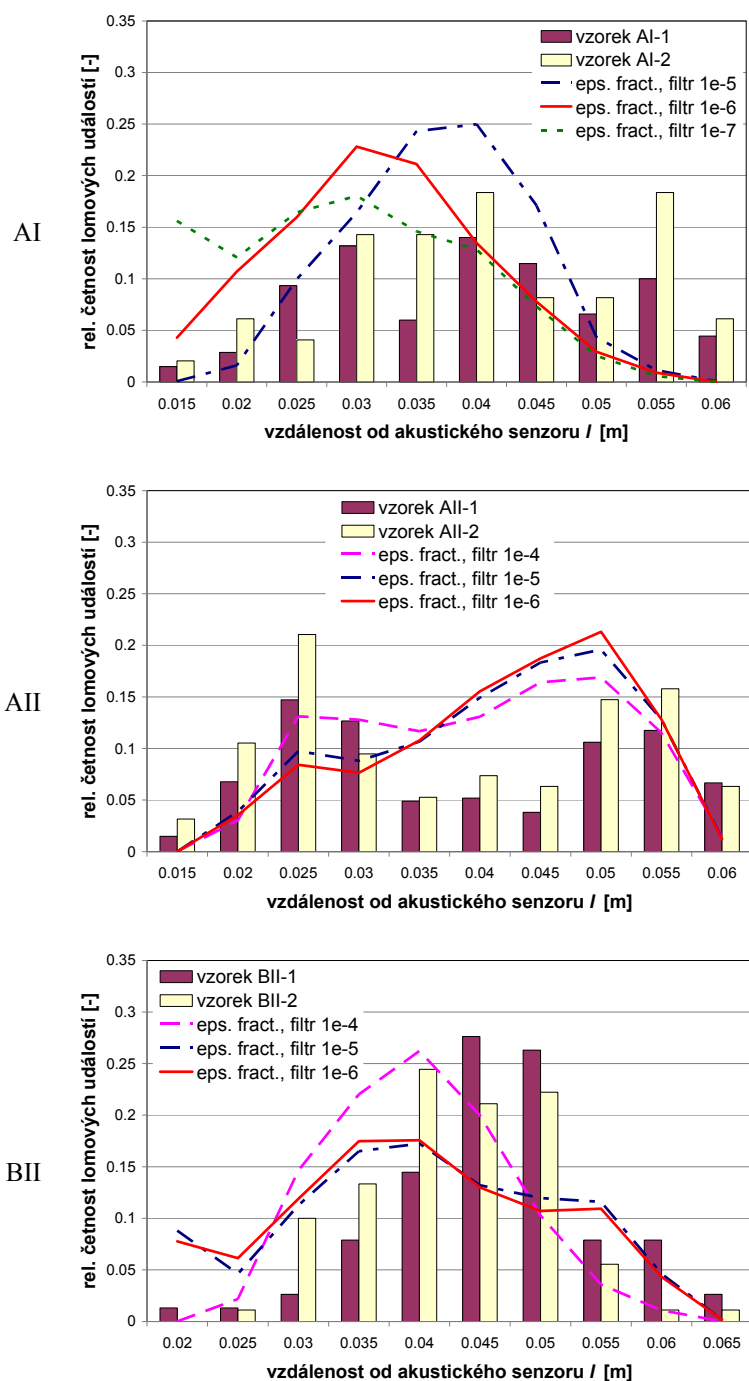
x, y, z – jsou souřadnice integračního bodu.

Obr. 4: Schéma naznačující určení prostorového úhlu mezi normálou k rovině vznikající trhliny a normálou desek kondenzátoru a vzdálenosti mezi vznikající trhlinou a akustickým senzorem; vztahy pro výpočet zpracovávaných parametrů vznikajícího porušení

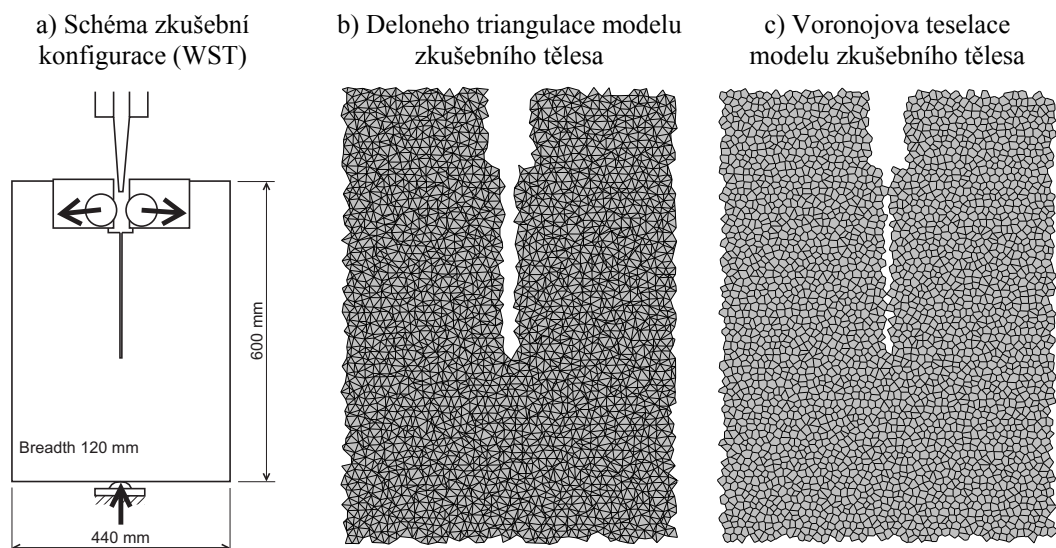
Z provedené analýzy se dá usuzovat, že experimentální metoda využívající EME/AE zachycuje vznik trhlín odpovídající hodnotě neelastického poměrného přetvoření většího než $1e-5$, zhruba $1e-4$. Očekává se, že porovnání výsledků simulací s výsledky připravovaných experimentů s vícekanálovou měřicí aparaturou může výrazně zpřesnit tento odhad.

2.2 Modelování pomocí fyzikální diskretizace kontinua, program FyDiK

Jiná metoda, kterou lze využít pro zkoumání charakteru procesů porušování vyvolávajících akustickou emisi, je metoda založená na fyzikální diskretizaci kontinua. Hypotetické kontinuum se zde nahrazuje sítí hmotných bodů vzájemně spojených pružinami. Tato metoda umožňuje řešit



Obr. 5: Experimentálně zjištěné histogramy četnosti událostí v závislosti na vzdálenosti mezi vznikajícím porušením a akustickým senzorem pro dvě vybraná tělesa ze sady AI, AII a BII [12]; histogramy jsou doplněny o výsledky numerických simulací pro několik nastavení filtru pro hodnotu velikosti průmětu neelastického poměrného přetvoření do roviny kolmé k rovině desek kondenzátoru uvažované v analýze, uvažované stádium zatěžování je vyznačeno v zatěžovacích diagramech v obr. 3 plnou značkou



Obr. 6: a) Schéma zkušební konfigurace testu z [13], b) a c) ilustrace tvorby modelu pro simulaci zkoušky metodou vyvinutou pro RBSN [2], [4] (zobrazená síť je výrazně řidší než ta, která byla použita pro simulace, jejíž výsledky jsou zobrazeny)

nelineární úlohy a zároveň nevyžaduje komplikované modely porušování materiálu. Nevýhodou je relativně velká výpočetní náročnost při požadavku dostatečné hustoty sítě. Tuto závislost lze do jisté míry účinně eliminovat použitím paralelního zpracování, které lze pro takové modely jednoduše implementovat [7]. Zde použitý model je implementován v aplikaci FyDiK [5].

Možnosti této metody a její využití byly testovány na modelování fragmentace při impaktu [6] a skrze simulace experimentu z literatury ([13], část výsledků simulací publikováno v [7]). U druhé jmenované skupiny simulací se jedná o tzv. štípací (wedge-splitting) test (WST) prováděný na tělesech relativně velkých rozměrů (viz obr. 6a) vyrobených z betonu dvou složení (lišících se velikostí maximálního zrna kameniva) a malty. Tento experiment byl vybrán proto, že pro něj byly publikovány také záznamy AE zobrazující lokalizace jednotlivých událostí porušování materiálu, bohužel bez indikace energetické náročnosti jednotlivých emisních událostí.

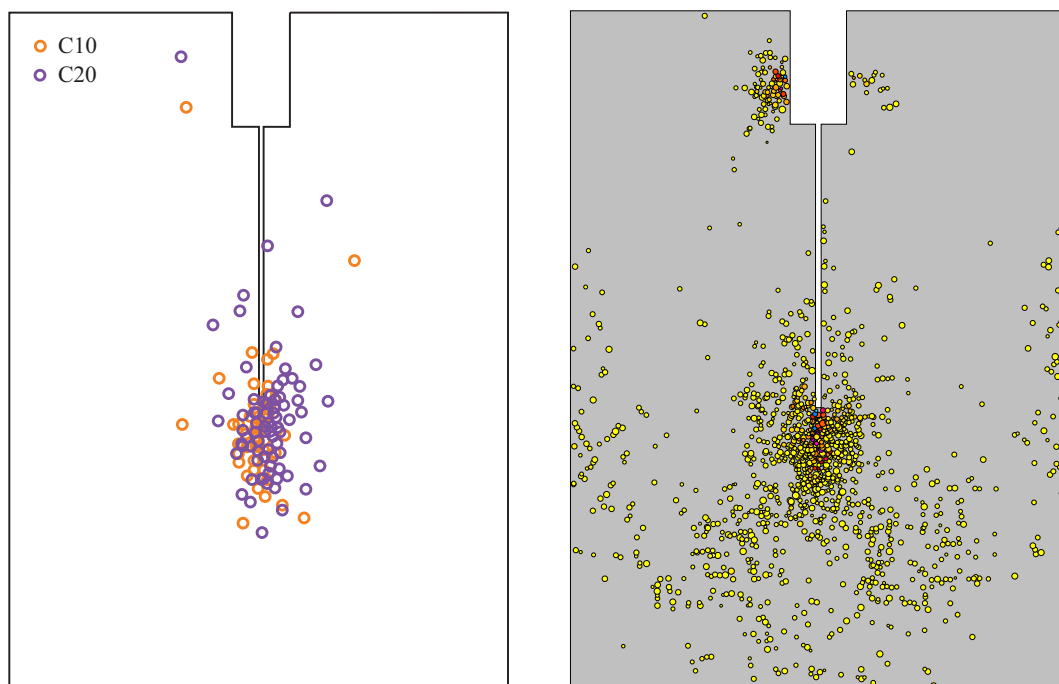
Model

Materiál vzorku je diskretizován množinou hmotných bodů generovaných v hexagonální mřížce s určitou mírou náhodného šumu. Pro tuto množinu se vytvoří Deloneho triangulace a Voronojova mozaika (teselace). Triangulace určuje geometrii pružinové sítě a teselace vlastnosti pružin, viz obr. 6. Tento postup vychází z techniky, vyvinuté pro tzv. Rigid Body Spring Networks (RBSN), viz [2], [4]. Pružiny jsou modelovány jako kvazikřehké s bilineárním pracovním diagramem (lineární pružná část, lineární změkčení). Detaily ohledně tvorby pružinové sítě a specifikace vlastností pružin lze nalézt v [7].

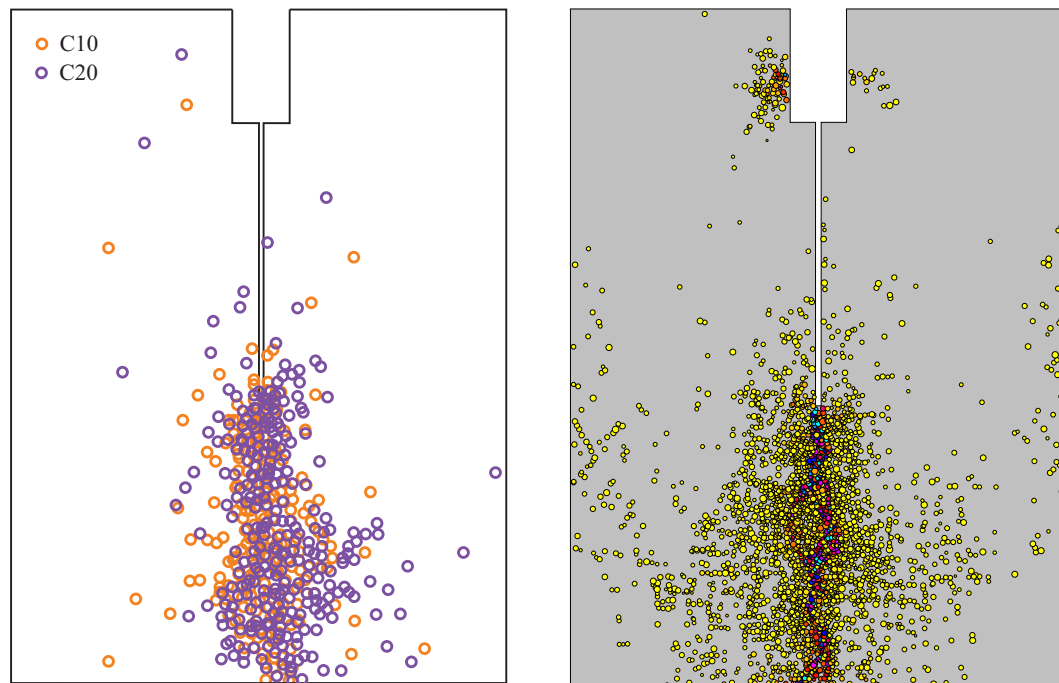
Výsledky

V průběhu simulace se zaznamenávalo množství energie disipované vlivem porušování pružin. Intenzita této disipace v konkrétní pružině je na obr. 7 znázorněna barvou (od žluté po modrou vzestupně). Pro simulace byla použita značně hustá síť pro FyDiK model, počet událostí porušení je tedy v porovnání s experimentálními daty větší. Je zde však patrné, že odhady rozsahu porušované oblasti tělesa velmi dobře odpovídají experimentálním měřením publikovaným v [13]. Je plánováno použití modelu FyDiK také pro simulace zatěžovacích testů uvedených v části 2.1, při kterých bude prostorové rozložení porušení (včetně jeho dalších aspektů jako např. množství disipované energie apod.) určováno pomocí výše zmíněné vícekanálové měřicí aparatury.

Stádium lomu při maximálním dosaženém zatížení (vrchol zatěžovacího diagramu)



Stádium blízko konce lomového procesu (konec sestupné větve zatěžovacího diagramu)



Obr. 7: Porovnání záznamů AE pro dvě zkušební tělesa (ozn. C10 a C20, viz [13]) – vlevo – a výsledek dynamické simulace modelem FyDiK – vpravo – pro dvě stádia zatěžování

3 ZÁVĚR

Článek prezentuje dva přístupy k modelování procesů porušování těles/konstrukcí z cementových kompozitů, jež lze detekovat pomocí experimentálních technik založených na akustické a elektromagnetické emisi, resp. jejich kombinaci. Pochopení a správné interpretace výsledků měření za použití těchto metod lze dosáhnout pomocí detailní analýzy porušování materiálu numerickými nástroji. V článku byly ukázány některé z možností těchto výpočetních nástrojů.

Experimentální techniky využívající EME/AE mají velký potenciál zodpovědět klíčové otázky související se vznikem a šířením porušení v kvazikřehkých materiálech, které je spojeno s vývojem tzv. lomové procesní zóny u vrcholu makroskopické trhliny, což jsou témata, jimiž se autorský kolektiv dlouhodobě zabývá [7], [17], [18], [21], [22].

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za finančního přispění Grantové agentury ČR, projekt P104/11/0734, a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

LITERATURA

- [1] BAŽANT, Z.P., PLANAS, J. 1998. *Fracture and size effect in concrete and other quasi-brittle materials*. Boca Raton: CRC Press, 1998.
- [2] BOLANDER, J. E., YOSHITAKE, K., THOMURE, J. 1999. Stress analysis using elastically uniform rigid-body-spring network. *J. Struct. Mech. Earthquake Eng.*, 633, 125–132, 1999.
- [3] ČERVENKA, V. et al. 2005. *ATENA Program Documentation, Theory and User Manual*. Prague: Cervenka Consulting, 2005.
- [4] ELIÁŠ, J. 2009. *Discrete simulation of fracture processes of disordered materials*. Ph.D. thesis, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic, 2009.
- [5] FRANTÍK, P. FyDiK application, <http://www.kitnarf.cz/fydik>, 2007–2011.
- [6] FRANTÍK, P., KERŠNER, Z., VESELÝ, V., ŘOUTIL, L. 2009. Fractality of simulated fracture. *Key Engineering Materials*, Vol. 409, 154–160, 2009.
- [7] FRANTÍK, P., VESELÝ, V., KERŠNER, Z. 2011. Efficient Lattice Modelling of the Fracture Process Zone Extent in Cementitious Composites. In: *Proc. of 2nd International Conference on Parallel, Distributed, Grid and Cloud Computing for Engineering – PARENG 2011*. Ajaccio, Korsika, Francie. Civil-Comp Press, Stirlingshire, 2011.
- [8] GORDEEV, V. F. et al. 1994. Electromagnetic emission of dielectric materials due to the static and dynamic loading. *Journ. Tech. Phys.* 64 (4), 57–67, 1994.
- [9] KARIHALOO, B. L. 1995. *Fracture mechanics and structural concrete*. New York: Longman Scientific & Technical, 1995.
- [10] KOKTAVÝ, B., KOKTAVÝ, P., ŠTEFKOVÁ, M. 2007. On the effect of mechanical loading method on rectangular concrete specimen electromagnetic and acoustic emission signals (in Czech). In: *Experiment 2007*, FCE BUT Brno, 211–216, 2007.
- [11] KOKTAVÝ, B., KOKTAVÝ, P., VESELÝ, V., FRANTÍK, P., KERŠNER, Z. 2008. Utilization of electromagnetic and acoustic emission in monitoring the tensile failure of cementitious composites. In book of abstracts of conference *Mechanics of Composite Materials – MCM 2008*, Riga, Latvia, 26–30 May 2008. V. Tamužs, K. Cīrule and A. Lagzdīņš (Eds.). Institute of Polymer Mechanics, University of Latvia, 138–139, 2008.
- [12] KOKTAVÝ, P., VESELÝ, V., KERŠNER, Z., FRANTÍK, P., KOKTAVÝ, B. 2011. Utilization of electromagnetic and acoustic emission in monitoring of fracture of cementitious composites. *Key Engineering Materials*, vol. 465, 503–506, 2011.

- [13] MIHASHI, H., NOMURA, N. 1996. Correlation between characteristics of fracture process zone and tension-softening properties of concrete. *Nuclear Engineering and Design*, 165, 359–376, 1996.
- [14] SKLARCZYK, CH., ALPETR, I. 2001. The electric emission from mortar and concrete subjected to mechanical impact. *Scripta mater.*, Vol. 44, 2537–2541, 2001.
- [15] SHAH, S. P., SWARTZ, S. E., OUYANG, C. 1995. *Fracture mechanics of structural concrete: applications of fracture mechanics to concrete, rock, and other quasi-brittle materials*. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [16] VAN MIER, J. G. M. 1997. *Fracture Processes of Concrete: Assessment of Material Parameters for Fracture Models*. Boca Raton: CRC Press, 1997.
- [17] VESELÝ, V., FRANTÍK, P. ReFraPro – Reconstruction of Fracture Process, Java application, 2008–2011.
- [18] VESELÝ, V., FRANTÍK, P. 2011. Reconstruction of a fracture process zone during tensile failure of quasi-brittle materials. *Applied and Computational Mechanics*, 2010, 4, 237–250.
- [19] VESELÝ, V., FRANTÍK, P., KERŠNER, Z. 2007. Analýza napjatosti a šíření trhlin ve zkušebních vzorcích pro měření poškození kvazikřehkého materiálu pomocí elektromagnetické emise. Sborník abstraktů a sborník příspěvků (CD) konference *Modelování v mechnice 2007*, Ostrava, 14.–15. 2. 2007. Ostrava: Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava, 11–12 + CD 21 s, 2007.
- [20] VESELÝ, V., KERŠNER, Z., KOKTAVÝ, P., KOKTAVÝ, B. 2007. Studie průběhu porušení betonových vzorků při zatěžování příčným tahem. Sborník konference *Experiment – významný zdroj poznání a verifikace metod navrhování nosných stavebních konstrukcí*, Brno, 25.–26. 10. 2007. J. Melcher a M. Karmazinová (Eds.). Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 511–516, 2007.
- [21] VESELÝ, V., FRANTÍK, P., KERŠNER, Z. 2009. Cracked volume specified work of fracture. In: *Proc. of the 12th Int. Conf. on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, B.H.V. Topping, L.F. Costa Neves and R.C. Barros (Eds.), Funchal, Civil-Comp Press, 2009.
- [22] VESELÝ, V., KERŠNER, Z., NĚMEČEK, J., FRANTÍK, P., ŘOUTIL, L., KUCHARCZYKOVÁ, B. 2010. Estimation of fracture process zone extent in cementitious composites. *Chem. Listy*, 104, 382–385, 2010.
- [23] YAMADA, I., MASUDA, K., MIZUTANI, H. 1989. Electromagnetic and acoustic emission associated with rock fracture. *Phys. of the Earth and Plan. Inter.*, Vol. 57, 157–168, 1989.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. RNDr. Josef Šikula, DrSc., Ústav fyziky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně.

Doc. Ing. Jiří Němeček, Ph.D., Katedra mechaniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Marcela ČERNÍKOVÁ¹, Jiří LABUDEK², Lubomír MARTINÍK³, Lenka MICHNOVÁ⁴

**MIKROKLIMA POŽÁRNÍHO SCHODIŠTĚ V ZÁVISLOSTI NA SOLÁRNÍM ZÁŘENÍ
MICROCLIMATE ON EMERGENCY STAIRCASE DEPENDING
ON THE SOLAR RADIATION**

Abstrakt

V rámci projektu „SP2011/182-Gradient teploty a změna proudění vzduchu u transparentního pláště způsobené solárním zářením“ bylo prováděno dlouhodobé měření prostoru protipožárního schodiště kde obvodová konstrukce je tvořena fasádním transparentním pláštěm. Byl sledován vliv globálního slunečního záření na mikroklima a teplotní stabilitu vnitřního prostředí. Příspěvek se opírá o hodnoty získané z probíhajícího měření v období květen – srpen 2011.

Klíčová slova

Teplota, transparentní plášť, měření, vnitřní prostředí

Abstract

In the project "SP2011/182-Gradient temperature and airflow changes in the transparent shell caused by solar radiation" a long-time measurements were taken in space of emergency staircase, where perimeter wall is transparent facade shell. The effect of global solar radiation on the microclimate and the thermal stability of the internal environment was monitored. The paper is based on values obtained from the current measurements in the period May – August 2011.

Keywords

Temperature, transparent shell, measurement, indoor environment.

1 ÚVOD

Je neoddiskutovatelné, že spotřeba energií se stává jedním ze závažných soudobých problémů moderní doby. Ke spotřebě energie dochází samozřejmě i v letním období, kdy je nutné redukovat výrazné solární zisky přes transparentní pláště. Předmětem příspěvku je specifická oblast energetiky budov v souvislosti s energetickými procesy transparentních plášťů. Příspěvek je zaměřen na pozorování změny vnitřního prostředí z interiérové strany průběžného transparentního pláště, způsobené globálním solárním zářením. Měření by mělo stanovit změnu interiérové teploty a případné změny proudění vzduchu z interiérové strany průběžného proskleného pláště.

¹ Ing. Marcela Černíková, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: marcela.cernikova@vsb.cz.

² Ing. Jiří Labudek, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: jiri.labudek@vsb.cz.

³ Ing. Lubomír Martiník, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: lubomir.martinik@vsb.cz.

⁴ Ing. Lenka Michnová, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: lenka.michnova@vsb.cz.

Po pochopení těchto režimů, jsme schopni obecně stanovit technické úpravy a změny ve skladbách těchto typů konstrukcí.

Dále také efektivněji řídit parametry vnitřního prostředí a tím zajistit daleko lepší vnitřní tepelnou pohodu. Pro dosažení výsledků je prováděno dlouhodobé měření teploty po celé výšce transparentního pláště, zakomponovaného do budovy Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava.

2 PŘEDPOKLADY MĚŘENÍ

Průměrný počet hodin solárního svitu (bez oblačnosti) se v ČR pohybuje od 1400 do 1700 h/rok. Doba trvání slunečního záření se v rámci České Republiky může v průměrných hodnotách lišit až o 500 hodin za rok. Nejmenší počet hodin má severozápad území. Lokality se od sebe běžně liší v průměru o $\pm 10\%$. Směrem na jihovýchod počet hodin narůstá, čím graduji problémy s přehříváním interiérů budov.

Měření probíhá v prostorách požárního schodiště budovy stavební fakulty VŠB-TU Ostrava. Snímače slunečního globálního záření byly umístěny v 1NP a pak následně v 6NP požárního schodiště. Proti oslání byly chráněny vytvořenými papírovými stínidly ve tvaru kornoutu. V rámci měření byly zaznamenány hodnoty jako např. teplota vzduchu v interiéru θ_{ai} . Hodnota ukládání a průměrování dat na měřicí ústředně ALMEMO 5690-2 byla stanovena po 15-ti minutách. V průběhu srpna byl z důvodů velké teplotní stability vnitřního prostředí upraven interval zápisu naměřených dat po 60 minutách. Všechny naměřené hodnoty byly zpracované v programu Microsoft Excel [14] a výsledky byly katalogizovány pomocí kontingenčních tabulek. Pokud na venkovní transparentní fasádu působí globální solární záření, potom v závislosti na koeficientu celkové propustnosti skleněného systému této transparentní stěny proniká do prostoru energie krátkovlnného slunečního záření [6], které naráží na absorpční plochy. Až následně odevzdávají absorpční plochy teplo sáláním a konvekcí do vzduchu meziprostoru. Takovéto změny je velmi složité modelovat, proto je nutné získávat zkušenosti s touto změnou vnitřního prostředí pomocí dlouhodobého měření.

S určitou přibližností lze říci, že konečný výsledek je stejný, jako když předpokládáme, že sluneční záření přímo ohřívá vzduch proudící meziprostorem solární stěny, a proto lze při určitém zjednodušení na solární stěnu nahlížet jako na „obří vzduchotechnický solární ohříváč“.

Zjednodušeně lze říci, že s větší teplotou roste objem vzduchu a klesá jeho hustota. Neboli stává se lehčím oproti méně teplému vzduchu (porovnáváno na objem). Lehký zahřátý vzduch pak stoupá vzhůru. Díky pohybu teplého vzduchu vzniká vzdušný proud. Jde o teorii tzv. solárního komínu dle [5]

2.1 Použité měřicí zařízení

K měření byla použita měřicí sestava:

- Měřicí ústředna ALMEMO 5690-2 s velkoplošným displejem, velkou četností zápisu dat a malými rozměry.
- Snímač slunečního globálního záření.[8] Jedná se o snímač vhodný pro venkovní měření v oblasti meteorologie, medicíny a biologie. Snímač má eloxované hliníkové pouzdro, poklop z umělé hmoty propouštějící UV-záření, který zajišťuje odolnost proti dešti a stříkající vodě a nedochází ani k orosení vnitřní strany poklopu. Snímač je napájen z ALMEMO-přístroje.
- Teplotní čidla AHLBORN[9]. Tato teplotní čidla byla instalována v každém podlaží měřeného požárního schodiště. Během měření došlo k chybám, jejichž důsledkem byla čidla přesunuta do referenčního podlaží pro kontrolu odchylek. Po tomto měření byla všechna čidla umístěna zpět. Při vyhodnocování dat bylo zjištěno, že 4 čidla nepracovala správně a jejich data byla z měření vyloučena.

Tab. 1: Použité zařízení pro měření záření

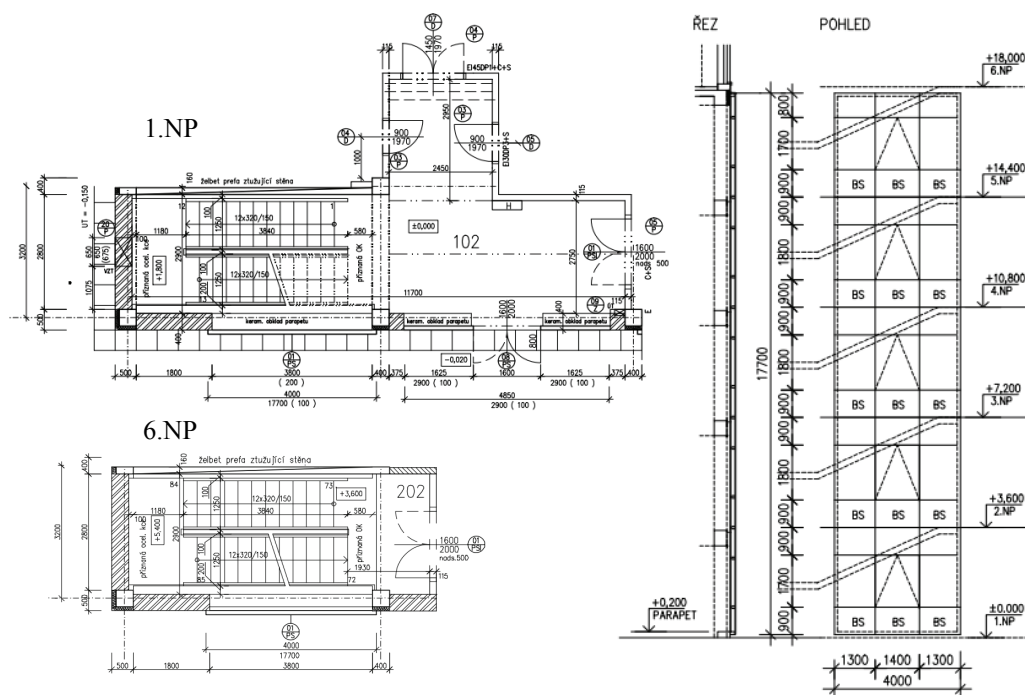
Snímač slunečního globálního záření	Umístění snímače na transparentní fasádě
	

3 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTORU VERSUS SOLÁRNÍ ZISKY

3.1 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty požárního schodiště byly vypracovány v programu Ztráty 2009 [11]. Dotčené skladby konstrukcí, které jsou potřebné pro výpočet, byly hodnoceny v programu Teplo 2009 [10] na požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U [$Wm^{-2}K^{-1}$].

Požární schodiště je orientováno na jihozápad. V hodnoceném prostoru je po výšce budovy celoplošně prosklená stěna. Tepelně-technické parametry této stěny byly vypočteny dle [1].



Obr. 2: Půdorysy 1. NP, 6. NP, řez schodištěm a pohled na prosklenou fasádu požárního schodiště [4]

Tab. 2: Vstupní parametry prostoru požárního schodiště

VSTUPNÍ ÚDAJE:		
Objem vytápěných zón budovy	V	672,0 m ³
Plocha ohraničujících konstrukcí	A	346,2 m ²
Převažující návrhová vnitřní teplota	θ_{ai}	20,0 °C
Návrhová venkovní teplota	θ_e	-15,0 °C

Výsledná hodnota tepelné ztráty prostoru schodiště je 10,188kW. Posuzovaný prostor nevyhoví na maximální průměrný součinitel prostupu tepla. To je ovlivněno také tím, že požární schodiště je pouze část z celého komplexu budov. Hodnota tepelných ztrát požárního schodiště je k velikosti prostoru a ploše prosklených stěn vyhovující.

Tab. 3: Výsledné hodnoty vypočtené pomocí programu Ztráty 2009 [11].

Hodnocené veličiny	Vnitřní výpočtová teplota	Vypočítané hodnoty	Normové požadavky	
-	°C	-	Norm. hodnota	Poznámka
Celkové tepelné ztráty	20°	10,188kW	-	Neposuzují se na normovou hodnotou
Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}		0,60 W/(m ² .K)	< 0,59 W/(m ² .K)	Max průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em,N}$

3.2 Solární zisk

Matematický model neuvažuje s akumulací tepla a některými proměnnými hodnotami dle [3].

Solární zisk se obecně vypočítá dle vztahu:

$$Q_S = \sum_j I_{sj} \cdot \sum_n A_{snj} \quad [\text{J}]$$

I_{sj} ... celkové sluneční záření [J/m²] dopadající na jednotku povrchu n s orientací j během výpočtového období

A_{snj} ... solárně účinná sběrná plocha [m²] povrchu n s orientací j

Účinná sběrná plocha větrané solární stěny A_s [m²] se stanoví dle vztahu:

$$A_s = A \cdot F_S \cdot F_C \cdot F_F \cdot g \quad [\text{m}^2]$$

kde:

F_S ... korekční činitel stínění, který se uvažuje pouze při trvalém stínění [-]

F_C ... korekční činitel clonění [-]

F_F ... korekční činitel rámu, stanovený jako podíl průsvitné plochy a celkové plochy prvku

g ... celková propustnost slunečního záření [-], vyjadřující podíl množství energie dopadajícího na nezastíněné zasklení a množství energie, které zasklením prochází, celková propustnost slunečního záření kolmého k ploše zasklení $g_{\perp}$ [-], která je o něco větší než hodnota g a musí být korigována dle vztahu:

$$g_w = F_w \cdot g_{\perp} \quad [-]$$

F_w ... korekční činitel [-], který závisí na druhu skla, zeměpisné šířce, klimatu a orientaci, je přibližně roven:

$$F_w = \frac{g}{g_w} = 0,9$$

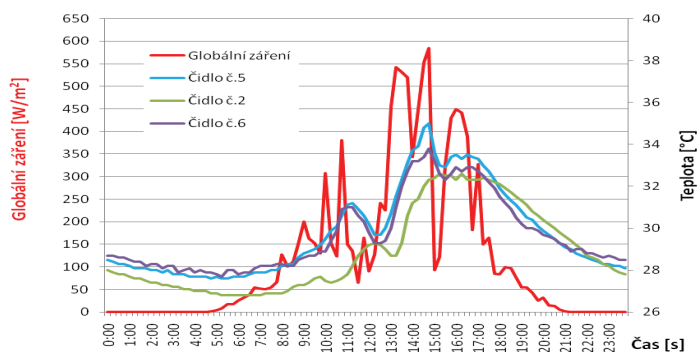
Tab. 4: Porovnání ztrát a solárních zisků při různých vnějších výpočtových teplotách

Vnitřní výpočtová teplota	Vnější navržená výpočtová teplota	Vypočítané ztráty	Teoretická solární intenzita	Vypočítané solární zisky	Přebytečné solární zisky
°C	°C	kW	W/m ²	kW	kW
20°	-15	10,19	230	13,34	3,15
	-5	7,34	300	17,40	10,06
	0	5,91	170	9,86	3,95
	+5	4,49	230	13,34	8,86
	+10	3,06	330	19,14	16,08
	+30	-2,65	370	21,46	24,11

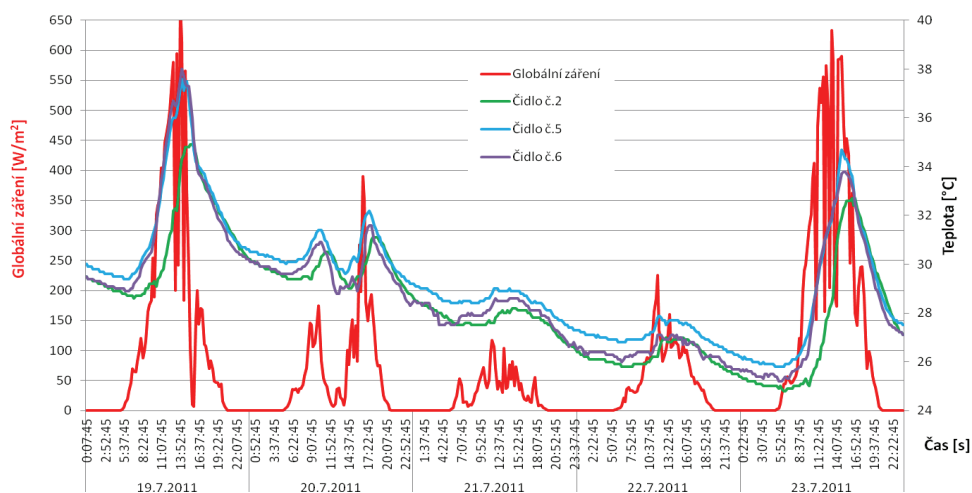
Uvedená tabulka představuje tepelné ztráty v rozdílných teplotách vnějšího vzduchu. Hodnota -15°C je minimální vnější výpočtová teplota, která představuje oblast Ostravy, kde se hodnocený prostor nachází podle normové tabulky z normy ČSN 730540 [2]. Při navržených teplotách vnějšího vzduchu v letním období výsledek vychází záporně, což znamená, že v prostoru dochází k přehřívání.

4 TEPLOTNÍ STABILITA INTERIÉRU

Budovy s nízkou tepelnou setrvačností se rychle zahřejí slunečním zářením, ale v noci také rychle vychladnou. Vysoká tepelná setrvačnost budov naopak zajišťuje stálější teploty, protože budova plní funkci tzv. úložiště tepelné energie ve svých stěnách během dne a toto teplo vydává v průběhu noci, jakmile slunce zajde a vzduch se ochladí. V měřeném prostoru téměř nedochází k poklesu teplot vnitřního prostředí, což ukazuje na enormní solární zisky, minimální tepelné ztráty a vysokou hodnotu akumulované tepelné energie.



Graf. 1: Graf závislosti teploty vnitřního vzduchu na globálním slunečním záření ze dne 25. 06. 2011



Graf. 2: Graf závislosti teplot měřené jednotlivými snímači na globálním slunečním záření po dobu 5 dní

Hodnocený prostor požárního schodiště byl posuzován na tepelnou stabilitu v letním období pomocí programu Stabilita 2009 [12] a Simulace 2009 [13]. Tepelná stabilita je zde počítána dvěma výpočetními programy z důvodu přesnějšího zjištění výpočtového výsledku. Samotný program Stabilita 2009 [12] je pro určení tepelné stability výhodnější. Pomocí programu Simulace 2009 [13] je možné případně navrhnout opatření, která by byla potřeba provést v případě přehřívání v letním období.

Transparentní plášť v požárním schodišti je vytvořen pomocí nosných hliníkových profilů (sloupky a paždíky), které tvoří fasádní systém. Ukotvení tohoto nosného rámu je provedeno do ŽB průvlaků, sloupů a zdiva. Je zde použito zasklení se šedým zbarvením, což snižuje propustnost světla. Součinitel prostupu tepla zasklení $U_g=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tab. 5: Výsledné hodnoty vypočtené v programu Stabilita 2009 [12] a Simulace 2009 [13].

Hodnocené veličiny	Vnitřní výpočtová teplota	Vypočítané hodnoty tepelné stability	Normové požadavky	
-	°C	nevyhoví	Normová hodnota	Poznámka
Tepelná stabilita v letním období (Stabilita 2009)	20°	23,93 °C	<5 °C	Maximální teplotní stabilita, $\Delta \theta_{a,max,N}=5,00^\circ\text{C}$
Tepelná stabilita v letním období (Simulace 2009)		70,43 °C	<27°C	Maximální teplotní stabilita, $\theta_{ai,max,N}=27,00^\circ\text{C}$

Z tabulky je patrné, že v obou případech výpočtu výsledek tepelné stability v letním období nevyhoví. Stavební řešení ohraničujících konstrukcí je řešeno tak, že tepelné ztráty prostoru jsou díky tomu relativně nízké. Tato skutečnost je samozřejmě příznivá, jelikož částečně přispívá k nižší energetické náročnosti celého objektu. Na druhou stranu přispívá k přehřívání objektu v letním období.

Důležitý faktor, který ovlivňuje gradient teploty je větrání. Z našeho měření víme, že k výměně vzduchu nedochází pravidelně a tímto se ohřátý vzduch v prostoru akumuluje a relativně kvalitní stavební řešení nedovoluje unik tepelné energie z prostoru.

Po porovnání výsledků tepelné stability požárního schodiště a velkých solárních zisků jsme dospěli k závěru, že teplotní gradient v této měřené části objektu funguje dle původních předpokladů, ale díky absenci větrání a vysoké teplotní stabilitě dochází k vyrovnávání teplot v jednotlivých podlažích. Tím je teplotní gradient méně patrný.

4 NÁVRH OPATŘENÍ PROTI PŘEHŘÍVÁNÍ INTERIÉRU

Snížení tepelné zátěže budovy od působícího slunečního záření v letním období můžeme zabezpečit pouze sledováním energetických toků – omezení získávání přebytečného tepla budovou. Toto lze řešit několika variantami:

- Účinné odvětrání přebytečného tepla
- Regulace systémem žaluzií v závislosti na snímači slunečního globálního záření
- Regulace klimatizačním systémem

Jedna z možných variant úsporných opatření proti přehřívání interiéru, je využití principu tzv. solárního komínu. Při vstupu vzduchu v dolní části prostoru o definované hustotě a teplotě za účasti solárního záření, dochází ke snižování objemové hmotnosti vzduchu v interiéru a jeho odcházení proudem v horní části. Ve spodní části solárního komínu dochází k nasávání vzduchu z objektu, což zabezpečuje výměnu vzduchu v interiéru. V tomto konkrétním případě se nabízí vybudovat přívod vzduchu přes zemní výměník, což by mělo kladný vliv, jak na snížení vnitřní teploty v letním období, tak na zvýšení teploty přívodního vzduchu v období zimním. Takto fungující „solární komín“ by navíc zvýraznil stávající gradient teplot u transparentního obvodového pláště. Výhodou solárního komínu je především jeho samoregulační funkce v závislosti na rozdílu exteriérových a interiérových teplot. Čím menší je rozdíl teplot, tím méně je třeba vyměňovat vzduch s tepelnou zátěží a tím menší je také tah solárního komínu dle [5].

Další variantou, která bude mít příznivý vliv na teplotu vnitřního vzduchu v období letních solárních zisků, je použití odrazných folií na okna. Toto řešení je v této době zkoušeno rovněž na otvorových výplních na budově Fakulty stavební a prozatímni výsledky jsou slibné. Na obdobném principu funguje také zastínění venkovními žaluziemi, které je však náchylnější k poruchám, zvláště pak u vertikálně nepřerušovaných transparentních fasád, kde venkovní zastiňovací technika dosahuje značných rozměrů. Nevýhodou venkovních žaluzií je také ovlivnění celkové architektonické koncepce objektu. Použitím jedné z těchto dvou variant by došlo k dodatečnému navýšení investičních nákladů budovy.

Nejvýkonnějším, ale také provozně nejnákladnějším řešením je regulace klimatizačním systémem. Pokud bychom měli mechanicky upravovat parametry vzduchu v prostorách, jako jsou požární unikové schodiště, mělo by to podstatný dopad na energetickou náročnost budov.

Vzhledem k silicímu tlaku na snižování energetické náročnosti budov, se jako jednoznačně nejzajímavější jeví varianta s využitím principu solárního komínu. Toto řešení lze obecně použít na většinu nově budovaných staveb s transparentními pláštěmi a v tomto konkrétním případě na převážnou část prostor nového komplexu budov Fakulty stavební VŠB -TUO. V požárně oddělených prostorách, musí být samozřejmě celý systém přirozeného větrání doplněn požárními klápkami. Výhodou je, že pro horní průduchy na odvod přebytečného tepla lze použít požární odvody tepla, které tak mohou plnit jak funkci větrání při letním přehřívání, tak funkci protipožární.

5 ZÁVĚR

U staveb navrhovaných tradičně především s ohledem na zimní období, které bývalo v našich klimatických podmínkách vždy rozhodující, zůstává často opomíjena tepelná zátěž slunečním zářením, a tak dochází k velmi paradoxním situacím. Vzduch se ohřívá rychleji než voda a již při nízkém slunečním ozáření – tedy i při zatažené obloze – dosahuje rychle vyšších teplot. Vytápění v moderních budovách s nízkými nároky na teplo je tedy nutné řešit tak, aby kromě nízké potřeby tepla objektu byla i spotřeba primárních energií co nejnižší. Vytápěcí zařízení takových budov musí být schopno pracovat s podstatně menším, nejlépe plynule regulovatelným výkonem a mělo by být schopno v celém rozsahu pružně reagovat na tepelné zisky. Bylo by tedy efektivní uvažovat o řízení vytápění jednotlivých zón v závislosti na globálním solárním záření. Toto by umožňovalo zapojení snímačů solárního záření na různých fasádách do systému měření a regulace jednotlivých zón.

Do poloviny letošního srpna bylo pouze cca 6 dní, kdy byly na většině území naměřeny teploty nad 30°C. Pro srovnání, vloni přinesly letní prázdniny v průměru 12 tropických dnů. Léto 2011 má naopak 12 dnů s netypickými teplotami pod 20°C, těch bylo vloni pouze 9. Nejchladnějším obdobím letošního léta bylo posledních 10 dnů v červenci, kdy se teploty pohybovaly tři stupně pod normálem. Léto 2011 mělo nadstandardní úhrn srážek. V červenci spadlo o 60% více srážek, než obvykle v červenci naprší. A podobně tomu tak bylo i v první polovině srpna[7]. Z těchto hodnot lze uvést závěr, že letošní rok nebyl zrovna typickým pro přehřívání interiéru a přesto k němu při tomto dlouhodobém měření docházelo.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci Studentské grantové soutěže - Specifického vysokoškolského výzkumu „SP2011/182 - Gradient teploty a změna proudění vzduchu u transparentního pláště způsobené solárním zářením“

LITERATURA

- [1] ČSN EN ISO 13947 - Tepelné chování lehkých obvodových plášťů (2007)
- [2] ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky (2007)
- [3] VAVERKA, J.; MEIXNER, M.; HIRŠ, J. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. 1. 1. VUT Brno: Vutium, 2006. ISBN: 80-214-2910-0.
- [4] Projektové podklady FAST – výkresy stavební části
- [5] <http://3pol.cz/722-solarni-komin-vyuziti-solarniho-kominu-pro-prirozene-vetrani-budov>
- [6] http://www.businessinfo.cz/files/2005/061106_oborova-prirucka-oze.pdf
- [7] <http://www.novinky.cz/domaci/242703-i-kdyz-dorazily-tropy-leto-je-nejchladnejsi-za-poslednich-20-let.html>
- [8] <http://www.ahlborn.cz/cs/produkt/snimac-globalniho-zareni/>
- [9] <http://www.ahlborn.cz/download/File/termodraty.pdf>

POUŽITÝ SOFTWARE

- [10] Svoboda, Z.: Software Teplo 2009
- [11] Svoboda, Z.: Software Ztráty 2009
- [12] Svoboda, Z.: Software Stabilita 2009
- [13] Svoboda, Z.: Software Simulace 2009
- [14] MICROSOFT EXCEL 2007

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Pavol Ďurica, CSc., Katedra pozemného staviteľstva a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Doc. Ing. Jiří Hirš, CSc., Ústav technických zařízení budov, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Zdeněk GALDA¹

**TEPELNÁ ZÁTĚŽ BAZÉNOVÝCH HAL A JEJÍ VLIV NA PROVOZ
Z HLEDISKA ENERGETIKY**

**THERMAL LOADING OF THE SWIMMING-POOL HALLS AND ITS EFFECT
ON THE ENERGETICS MANAGEMENT**

Abstrakt

Článek zkoumá tři vybrané bazénové haly a jejich energetickou náročnost z hlediska tepelné zátěže, která má významný podíl na hospodaření s energiemi.

Klíčová slova

Energetické úspory, bazénová hala, větrání.

Abstract

The paper deals about three picked swimming-pool halls and the energy consumption from the view of the energy loading. This one has important rate in the energetics management.

Keywords

Energy savings, swimming-pool hall, ventilation.

1 ÚVOD

Tak jako na jiné objekty je také u bazénových hal kladen důraz na jejich energetickou a ekonomickou stránku provozu, které spolu velmi úzce souvisí. To vše za dodržení, či zlepšení komfortu pro uživatele i provozovatele objektů. Mnoho těchto objektů, jež byly vystavěny v minulých desetiletích, se dnes potýká s velmi závažnou situací, která panuje v energetické oblasti nejen na našem území. A tak byly vybrány tři kryté bazénové objekty, respektive bazénové haly, které poslouží jako příklad pro demonstraci vzniku reálné tepelné zátěže a její následný vliv na energetickou náročnost. S tím úzce souvisí taktéž stabilita vnitřního mikroklimatu. Vybrané objekty se nachází na území ostravsko-karvinského regionu. Pro výběr bylo přihlédnuto k těmto kritériím: rok výstavby objektů, plocha volné hladiny (délka všech plaveckých bazénů je 25 m), způsob využití vodní plochy, stavební stav objektů, způsob zásobování tepelnou energií objektů.

2 BAZÉNOVÉ HALY

2.1 Krytý bazén Ostrava-Vítek

Bazénový objekt byl postaven v roce 1969 skeletovým systémem s rozpětím železobetonových sloupů po 6 m. Obvodovou konstrukci dle původní projektové dokumentace tvoří vesměs ŽB panely a CP1 300 mm, podobně je tomu i s vnitřními dělicími konstrukcemi, stěna od šaten a sprch je z ŽB tl. 100 mm, stěna od tělocvičny je z CP1 300 mm. V podzemním podlaží se nachází zázemí pro technologickou a strojní část bazénu, sauna, šatny a ochlazovací bazén. Okenní

¹ Ing. Zdeněk Galda, Ph.D., Katedra prostředí staveb a Technické zařízení budov, Fakulta stavební, Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 907, e-mail: zdenek.galda@vsb.cz.

výplně na západní straně tvoří původní zdvojené sklo v ocelovém rámu, který se již rozpadá (hrozí vypadnutí tabulí). Ostatní výplně po obvodu bazénové haly jsou ze skleněných tvárnic. Střešní konstrukce je tvořena příhradovými nosníky se světlíkem, který je zabedněn. Střešní plášť je vytvořen z ŽB perforovaných panelů a pěnového skla. V pozdějších letech byl zde instalován podhled v úrovni osvětlení, náplň má však pouze vizuální. Objekt není rekonstruován.

Vytápění bazénové haly je zajištěno podlahovým vytápěním s teplotním spádem 45/35 °C, otopnými registry s teplotním spádem 90/70 °C, bez TRV. Teplovzdušné vytápění je kombinováno s uvedenými formami, teplota přírodního teplého vzduchu se pohybuje ~35 °C. Ohřivače VZT jsou řízeny impulsem dosažení (poklesem) požadované teploty z bazénové haly. Objekt je značně energeticky náročný.



Obr. 1: Interiér bazénové haly
Ostrava-Vítek [9]



Obr. 2: Pohled na výměňkovou stanici
vytápění [9]

2.2 Krytý bazén Havířov

Nosnými konstrukcemi objektu jsou železobetonové sloupky v rozpětí 6 m. Obvodový plášť tvoří transparentní prosklená stěna s ocelovými profily, zde jsou nosné sloupky ocelové a vylité betonem. Zdvojené prosklení je původní a ocelový rám již značně zkorodován (hrozí vypadnutí tabulí). Vnitřní dělicí stěna od tělocvičny je dvojí z CP1 200 mm (z obou stran) s mírně otevřenou vzduchovou mezerou (je zde snaha o utěsnění), která je součástí dilatační spáry. Stěna od zázemí je postavena z CD32 tl. 140 mm, v místech 2. NP (nad stanovištěm plavčíka) je z plynosilikátových tvárnic tl. 300 mm. Střešní konstrukci tvoří ocelové nosníky, na jejím spodním lici je zavěšen dřevěný obklad s akustickou a vizuální funkcí. Na tomto podhledu je položena původní tepelná izolace, která již pravděpodobně neplní svou funkci. Osvětlení je součástí podhledu. Střešní plášť je tvořen ŽB deskami s tepelnou izolací z polystyrenu o tl. 65 mm. Objekt není rekonstruován.



Obr. 3: Interiér bazénové haly v Havířově [9]



Obr. 4: Pohled na průčelí řešeného objektu
krytého bazénu v Havířově [9]

Vytápění bazénové haly je zajištěno opět podlahovým vytápěním s teplotním spádem 50/40 °C, které bylo v roce 1993 rekonstruováno. Dále původními otopnými registry a otopnými tělesy Kalor s teplotním spádem 90/70 °C, jsou bez TRV, a teplovzdušným vytápěním (teplota přiváděného vzduchu je ~40 °C), toto funguje až do teploty $\theta_i = 28$ °C, vzduchotechnika (Janka Radotín) disponuje cirkulací a ZZT. Teplý vzduch pro bazén je ohříván ve dvojici lamelových ohříváků. Regulační ventil na přívodu topné vody je řízen pomocí impulsu teploty z bazénové haly. V objektu jsou dva teplovodní topné okruhy: pro tělocvičnu a pro bazén. Objekt je taktéž značně energeticky náročný, a to především kvůli prosklenému obvodovému plášti.

2.3 Krytý bazén Orlová

Nosnými konstrukcemi objektu jsou opět železobetonové sloupy v rozpětí 6 m s typizovaným montovaným skeletem, jehož obvodové konstrukce jsou tvořeny struskopemzobetonovými panely tl. 300 mm s kontaktním zateplovacím systémem Baumit s tl. Polystyrenu Baumit Open 200 mm. Okna v bazénové hale byla zmenšena cca na poloviční velikost a osazena okny se součinitelem prostupu tepla $U = 1,2$ W/(m².K). Zbytek obvodového pláště byl dozděn tvárnicí Porotherm 30P tl. 300 mm. Střešní konstrukce je tvořena železobetonovými panely tl. 120 mm a extrudovaným polystyrenem tl. 280 mm. Podhled v bazénové hale je trvale provětráván a v případě zvýšené vlhkosti je provětrávání automaticky zintenzivněno. Objekt byl kompletně rekonstruován v roce 2007.

Předávací stanice upravuje sekundární topnou vodu na teplotní spád 92/67 °C v zimním období a 70/40 °C v období letním. Teplovodní vytápění je konstruováno na teplotní spád 70/50 °C a podlahové vytápění na teplotní spád 50/40 °C. Oba typy vytápění jsou ekvitermně regulovány. Obvod s radiátorovými tělesy (umístěn v prostorách mimo halu) je řešen jako doplňkový v případě nepokrytí tepelného výkonu podlahovým vytápěním a vzduchotechnikou. Rozvod pro vzduchotechniku je řešen samostatně. Větrání a teplovzdušné vytápění zajišťují dvě jednotky Menegra 37.19.01 a 55.19.01. Tyto jsou vybaveny funkcí cirkulace oběhového vzduchu a zpětným získáváním tepla cca 70 %. Teplota přívodního vzduchu je optimalizována na cca 30°C. Přídavným zařízením je instalována kogenerační jednotka Tedom Premi F25 AP, jejíž prioritou je výroba elektrické energie. Jde o doplňkový zdroj: 20 – 40 kW pro zásobování teplovodních systémů ústředního vytápění, ohřevu teplé vody, ohřevu bazénové vody a vzduchotechniky.



Obr. 5: Interiér bazénové haly v Orlové [9]



Obr. 6: Kogenerační jednotka [9]

3 TEPELNÁ ZÁTĚŽ A CELKOVÁ TEPELNÁ BILANCE OBJEKTŮ

Pro určení tepelného výkonu pro vytápění objektu se užívá metodiky dle normy ČSN EN 12831. Tento tepelný výkon (ztráta) je ovlivněn nejen prostupem tepla konstrukcí a větráním, ale i tepelnými zisky, které se v bazénových zařízeních značnou měrou podílejí na celkovém tepelném chování objektu. Abychom mohli adekvátně přijmout opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti bazénových hal, je nutno nejprve stanovit tepelnou zátěž (zisky) od vnitřních zdrojů energie a posléze vyhodnotit toto v tzv. tepelné bilanci objektu.

3.1 Vyhodnocení tepelných zisků

Tepelné zisky (potažmo zátěž) byly vyhodnoceny pro všechny bazénové haly, a to pro původní a navržený stav dle současně platných požadavků na stavební obalové konstrukce uvedených v [2]. Toto vyhodnocení bylo provedeno pro letní období, protože sluneční radiace má zde významný podíl na celkové tepelné zátěži. Zatímco v zimním období se tyto zisky sluneční radiací zanedbávají právě kvůli celkově nízké intenzitě slunečního ozáření. Nově navržené konstrukce do značné míry pozitivně ovlivnily stabilitu vnitřního mikroklimatu a dle výpočtu byla tato tepelná zátěž snížena cca o 15 – 120 % u vybraných bazénových hal, viz obr. 7.

Došlo tak ke stabilizaci vnitřního prostředí a následné možnosti lepší regulaci větrání (popř. chlazení) řešených prostor. Tím i snížení potřeby větracího (chladicího) vzduchu, což povede k celkové úspoře energie pro pohon ventilátorů (popř. chladicího výkonu).

Při výpočtu byl použit výpočtový program QPRO – Tepelné zisky, který respektuje [3]. Jako stálé tepelné zisky byly do výpočtu zahrnuty:

- vázané teplo z odparu bazénové vody;
- vzduch sloužící k větrání prostoru bazénové haly (min. 2 -/h dle [8]).

Jak bylo uvedeno, pro navržené stavy byly použity nové vypočtené hodnoty součinitelů prostupu tepla konstrukcí dle ČSN 73 0540-2. Původní okenní výplně byly u objektů Ostrava-Vítek a Havířov nahrazena výplní novou s $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. U objektu Orlová byla ponechána původní s $U = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Původní stavy objektů Ostrava-Vítek a Havířov jsou bez jakýchkoliv stínících prostředků. Objekt Orlová využívá mírně reflexní okenní výplň ($s = 0,6$ dle [3]) Nové okenní výplně byly dále doplněny stínícími prostředky:

- protisluneční fólií se stínícím součinitelem $s = 0,49$ (LLumar Silver 50);
- pevnými venkovními žaluziemi (stínící součinitel $s = 0,13$ dle Tab. 8 [3]), aby byl zlepšen stínící efekt proti přímé sluneční radiaci.

Primárními faktory, které ovlivňují tepelné zisky, potažmo celkovou tepelnou zátěž vnitřního prostoru, zvenčí jsou tyto:

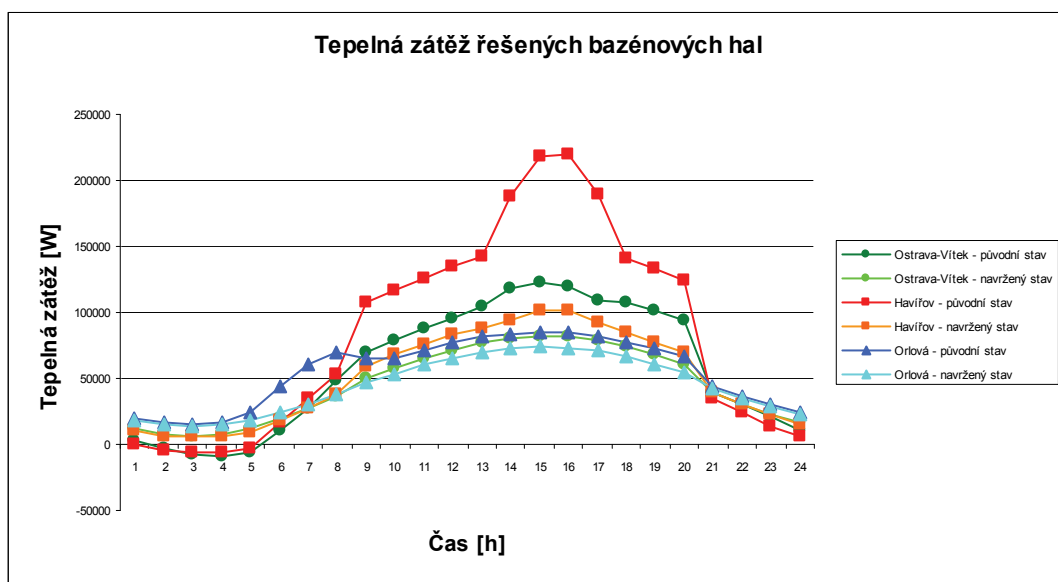
- natočení objektu vůči světovým stranám;
- prosklení objektu vůči světovým stranám;
- velikost prosklení;
- absence vnějších stínících prostředků;
- intenzita větrání vnitřního prostředí venkovním čerstvým vzduchem (bez ochlazení).

Mezi sekundární faktory, které ovlivňují celkovou tepelnou zátěž, můžeme naopak zařadit tyto:

- měrná tepelná kapacita obalových konstrukcí;
- vnitřní tepelné zisky.

Pohyb vrcholu tepelné zátěže mezi jednotlivými měsíci je zapříčiněn celkovým součtem jednotlivých tepelných zisků, které se změnou jednotlivých konstrukčních opatření mění.

V případech Ostrava-Vítek a Havířov můžeme pozorovat, že tepelná zátěž celkově kopíruje vnější prostředí, včetně okamžitých změn na přímou sluneční radiaci, a je tedy hůře regulovatelná. Zatímco u navržených stavů došlo téměř k totožnému průběhu tepelné zátěže a ta kopíruje hlavně teplotu venkovního přírodního vzduchu, který v letních měsících nahrazuje energeticky náročné aktivní chlazení klimatizací.



Obr. 7: Průběh tepelných zátěží bazénových hal Ostrava-Vítek, Havířov a Orlová

3.2 Celková tepelná bilance pro letní a zimní období

Celková tepelná bilance objektu se stanoví součtem jednotlivých složek tepelných zisků a ztrát:

$$Q_c = Q_{OR} + Q_U + Q_L + Q_{hl} + Q_i \quad (1)$$

kde:

- Q_{OR} - je tepelný sluneční zisk radiací [W],
- Q_U - tepelný prostup tepla stavebními konstrukcemi [W],
- Q_L - tepelný zisk od osob [W],
- Q_{hl} - přestup tepla mezi hladinou a okolním vzduchem [W],
- Q_i - zisk vázaným teplem daný odparem z volné hladiny [W].

Celková tepelná bilance řešeného objektu je tedy součtem citelného a vázaného tepla. Jednotlivé složky celkové tepelné bilance pak mají různá (kladná nebo záporná) znaménka. Celková tepelná bilance pro letní a zimní stav, včetně původního a navrženého, je uvedena v tabulce 1.

4 NÁVRH VĚTRÁNÍ

Pro návrh větrání (letní období) objektu je nutno vycházet z celkové tepelné bilance stanovené pro dané období. Bylo využito návrhu, který se řídí směrovým měřítkem, toto je definováno vztahem:

$$\delta = \frac{Q_c}{M_w} \quad (2)$$

kde:

- Q_c - celková tepelná bilance objektu [W],
- M_w - množství odpařené vody [g/s].

Směrové měřítko udává směr změny stavu vzduchu a je vztaženo k referenčnímu bodu v h-x diagramu.

Tab. 1: Celková tepelná bilance

Tepelné stavy	Krytý bazén Ostrava - Vítek	Krytý bazén Havířov	Krytý bazén Orlová
Tepelné zisky od osob [W]	4800	4800	5400
Přestup tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem [W]	3000	3125	2985
Tepelný zisk od osvětlení [W]	11950	10160	9139
Tepelný zisk ozářením - léto (původní stav) [W]	70441	156858	10521
Tepelný zisk ozářením - léto (navržený stav) [W]	16005	38305	1416
Tepelný zisk vázaným teplem [W]	64818	67518	64493
Prostup tepla stavebními konstrukcemi - zima (původní stav) [W]	190597	154677	107169
Prostup tepla stavebními konstrukcemi - zima (navržený stav) [W]	77937	93512	84315

Poznámka: Dle vyhlášky č. 135/2004 Sb. tepelný zisk od osvětlení - intenzita osvětlení krytý bazén min. 250 lux, světelný zdroj: výbojka, produkce tepla 15 W/m².

Celková tepelná bilance - léto (původní stav) [W]	132259	221251	72029
Celková tepelná bilance - léto (navržený stav) [W]	77823	102698	62924
Celková tepelná bilance - zima (původní stav) [W]	-116829	-80124	-36522
Celková tepelná bilance - zima (navržený stav) [W]	-4169	-18959	-13668

4.1 Letní období

Při návrhu bylo vycházeno z předpokladu nepřekročení maximální povolené vlhkosti $\varphi_i = 65 \%$ dle [7] [8]. Hranice byla zvolena na $\varphi_i = 60 \%$. Dále musí být dodržena maximální intenzita výměny vnitřního vzduchu (maximálně 9 – 12 -/hod). Při vyšších intenzitách hrozí riziko vzniku průvanu. V letním období bylo uvažováno se 100 % přiváděného venkovního vzduchu. Maximální návrhová vnitřní teplota byla stanovena na $\theta_i = 31 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Při vypočtených vnitřních parametrech vychází intenzita větrání pro původní stavy bazénových hal takto:

- Ostrava-Vítek: 14,2 -/hod, Havířov: 29,7 -/hod, Orlová: 2,9 -/hod.

Z toho je zřejmé, že na objektu Ostrava-Vítek je intenzita větrání na požadované hranici. Toto lze připustit s ohledem na vhodné technické provedení přívodních výustek vzduchu, které by rovnoměrně provětraly prostor.

U objektu Havířov je tepelná zátěž příliš vysoká (prosklení obvodového pláště tvoří cca 50 %) a tento stav již nelze za uvedených předpokladů zvládnout (ochladit) jen přívodem venkovního čerstvého vzduchu. Proto byl uvažován stav aktivního chlazení prostoru bazénu. Okrajové podmínky

zůstaly totožné. Avšak v případě maximální možné intenzity větrání i na mezi únosnosti $I = 12$ -/hod, byla vypočtena teplota přiváděného vzduchu $t_{ich} = 18,97$ °C, což je nevhodné z hlediska komfortu i energetické náročnosti (potřeba energie je 460,7 kW na chlazení). Teplota přiváděného vzduchu do ochlazované místnosti by neměla překročit 7 K dle [1]. Ani jedna varianta není vhodná. Proto je v těchto případech lépe uvažovat s lepšími tepelně-technickými parametry konstrukcí, či věnovat značnou pozornost stínícím prostředkům, a taktéž za tohoto stavu využít přirozenou aeraci objektu. Pro navržené stavy vedoucí ke zlepšení tepelně technických parametrů jednotlivých konstrukcí vychází intenzity větrání takto:

- Ostrava-Vítek: 2,9 -/hod, Havířov: 7,4 -/hod, Orlová: 2,6 -/hod.

U krytého bazénu Orlová je při návrhu nutno dbát, aby nebyla překročena hranice $\varphi_i = 60$ %. Tyto parametry jsou již vyhovující a plně dostačují k požadované úpravě vnitřního prostředí.

4.2 Zimní období

Pro ekonomický návrh teplovzdušného vytápění, pro zimní období, bylo potřeba využít všechny možnosti k úspoře energie. Přívod pokrývající 100 % venkovního vzduchu je energetický náročný vzhledem k jeho ohřevu, neboť aby byla odvedena veškerá nadbytečná vlhkost, bylo by nutno relativně velké intenzity výměny vnitřního vzduchu. Proto bylo uvažováno s využitím systému zpětného získávání tepla a cirkulace.

Okrajové podmínky byly zvoleny dle [8], tedy $\theta_i = 28$ °C, $\varphi_i = 60$ %. Účinnost rekuperace byla uvažována 70 %. Podíl cirkulace a přiváděného čerstvého vzduchu byl stanoven dle [1]. Objem čerstvého vzduchu byl stanoven na 2000 m³/h. Opět bylo využito principu směrového měřítka. Rozdíl teplot přiváděného vzduchu se stanoví dle:

$$\Delta t_p = \frac{Q_c}{c \cdot V \cdot \rho} \quad (3)$$

kde:

- c - je měrná tepelná kapacita vzduchu [J/(kg.K)],
- V - objemový průtok přiváděného vzduchu [m³/s],
- ρ - hustota vzduchu [kg/m³].

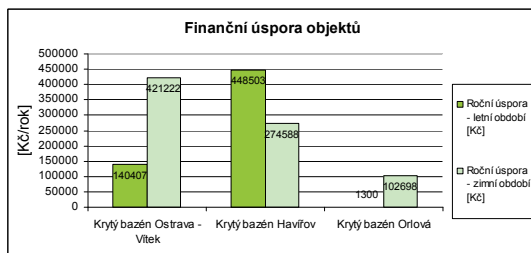
Pro původní stav řešení byla zvolena (ve všech případech) výměna vzduchu 4 -/h, neboť teploty přiváděného vzduchu dosahují:

- Ostrava-Vítek: 40,7 °C, Havířov: 37,8 °C, Orlová: 33,3 °C.

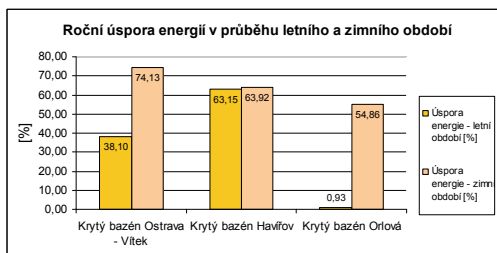
Teplejší vzduch než 40°C není vhodné přivádět z hlediska tepelného komfortu a energetické náročnosti. Proto se využívá kvantitativní regulace. Pro navrženou variantu byla intenzita výměny vzduchu stanovena na 2 -/h vzhledem k požadavkům dle [8]. Zde teploty přiváděného vzduchu jsou:

- Ostrava-Vítek: 29,1 °C, Havířov: 32,6 °C, Orlová: 31,9 °C.

Z výsledků je zřejmé, že celková tepelná bilance po přijetí konstrukčních návrhů se blíží nule. Tedy tepelná ztráta je vyrovnávána celkovými tepelnými zisky a to především vázaným teplem z hladiny.



Obr. 8: Roční finanční úspora energií větráním v průběhu letního a zimního období 2010



Obr. 9: Procentuální vyjádření úspor energií větráním v průběhu letního a zimního období 2010

Tab. 2: Přehled potřeb výkonů při větrání řešených bazénových hal

Potřebný výkon	Krytý bazén Ostrava - Vítek	Krytý bazén Haviřov	Krytý bazén Orlová
Letní období - původní stav [W]	123100	258900	75200
Letní období - navržený stav [W]	76200	95400	74500
Letní období - původní stav (chlazení) [W]	-	460790	-
Zimní období - původní stav [W]	189800	156600	100800
Zimní období - navržený stav [W]	49100	56500	45500

Poznámka: Provoz se předpokládá cca 2160 h/rok

Potřebná energie	Krytý bazén Ostrava - Vítek	Krytý bazén Haviřov	Krytý bazén Orlová
Letní období - původní stav [kWh]	265896	559224	162432
Letní období - navržený stav [kWh]	164592	206064	160920
Letní období - původní stav (chlazení) [kWh]	-	995306	-
Zimní období - původní stav [kWh]	409968	338256	217728
Zimní období - navržený stav [kWh]	106056	122040	98280
Potřebná energie	Krytý bazén Ostrava - Vítek	Krytý bazén Haviřov	Krytý bazén Orlová
Letní období - původní stav [GJ]	957	2013	585
Letní období - navržený stav [GJ]	593	742	579
Letní období - původní stav (chlazení) [GJ]	-	3583	-
Zimní období - původní stav [GJ]	1476	1218	784
Zimní období - navržený stav [GJ]	382	439	354
Kč/GJ (pro rok 2010)	385	352,77	238,82
Finanční náročnost	Krytý bazén Ostrava - Vítek	Krytý bazén Haviřov	Krytý bazén Orlová
Letní období - původní stav [Kč]	368532	710199	139651
Letní období - navržený stav [Kč]	228125	261696	138351
Letní období - původní stav (chlazení) [Kč]	-	1264010	-
Zimní období - původní stav [Kč]	568216	429576	187192
Zimní období - navržený stav [Kč]	146994	154987	84495
Roční úspora - letní období [Kč]	140407	448503	1300
Roční úspora - zimní období [Kč]	421222	274588	102698
Úspora energie - letní období [%]	38,10	63,15	0,93
Úspora energie - zimní období [%]	74,13	63,92	54,86

Z výpočtů je patrné, že největší energetický přínos mají změny provedené na objektu Havířov. Tato rapidní změna je připisována především změně tepelně technických parametrů vnějšího obvodového proskleného pláště (cca 50 % obvodové plochy bazénové haly) včetně stínících prvků.

Naopak podobné změny přijaté na objektu Orlová se v letních měsících téměř nepromítnou ani do finanční, ani do energetické úspory. Jinak je tomu ovšem v zimních měsících.

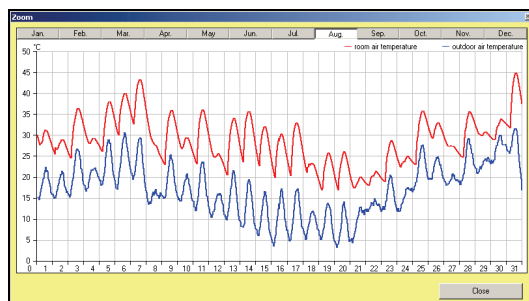
5 MODELACE VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU

Modelová simulace slouží ke konkrétní představě chování posuzované bazénové haly v průběhu roku. Dává určitou představu o chování vnitřního mikroklimatu, především v letních měsících. Tato data nás informují o možnostech přijetí dílčích opatření, která by vedla ke snížení spotřeby energií a stabilizovala vnitřní prostředí na přijatelných podmínkách. Proto pro účel simulace byla vybrána bazénová hala Havířov. Příčiny byly tyto:

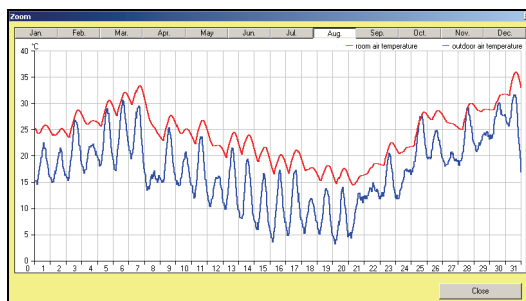
- velké prosklení obvodového pláště (50 % z celkové plochy);
- nejhorší stabilita vnitřního prostředí, viz obr. 7.

Simulace byla provedena programem CASanova 3.3, který vychází svým původním zpracováním z normy EN 832/2000 Thermal performance of buildings a jejím následném nahrazení normou EN ISO 13790/2008 Energy performance of buildings [4], [5], [6]. Na bazénovou halu Havířov byl uplatněn jednozónový případ který splňuje kritéria výpočetního programu a normy. K výpočtu vnitřního mikroklimatu je využito tzv. jednozónového dynamického tepelného modelu.

Simulace byla provedena nejprve pro původní (současný) stav stavebních konstrukcí, vnitřních podmínek, tepelné zátěže a zdroje energie k vytápění. Poté následovala varianta s navrženými stavebními úpravami dle ČSN 73 0540-2. Model je sestaven pro nejteplejší měsíc v roce (nejvyšší tepelné zisky) a je konstruován tak, aby postihl tepelně-technické vlastnosti bazénové haly a její zasazení mezi okolní zástavbu včetně orientace ke světovým stranám.



Obr. 10: Průběh teplot v bazénové hale v letním období (původní stav)



Obr. 11: Průběh teplot v bazénové hale v letním období (navržený stav)

Z uvedených obrázků je zřejmá stabilizace vnitřního teplotního mikroklimatu v letních měsících, kdy teploty již nekopírují teploty venkovního vzduchu a nedosahují tak 45 °C, viz obr. 8 (červená křivka). Tyto výpočtové parametry byly potvrzeny i provozovatelem objektu.

6 ZÁVĚR

Z uvedeného článku je patrna značná energetická a potažmo i finanční úspora u jednotlivých bazénových hal, viz tab. 2.

Dále je zřejmé, že dílčí úprava jednotlivých stavebních obalových konstrukcí má nejen příznivý vliv na tepelnou ztrátu bazénové haly, ale podílí se značnou měrou i na eliminaci tepelných zisků, především od sluneční radiace.

Tato změna je nejvíce viditelná u objektů Havířov a Ostrava-Vítek, kde došlo dílčími úpravami k úspoře energie v letních měsících o 63,15 % u haly Havířov a 38,10 % u haly Ostrava-Vítek. Naproti tomu u rekonstruovaného objektu Orlová je tato úspora pouhých 0,93 %. V zimním

období opět dochází po navržených úpravách respektujících ČSN 73 0540-2 k úsporám energie od 54,86 – 74,13 %. Pozitivní změna tepelně-technických vlastností bazénových hal s sebou nesla i snížení energetické náročnosti na technickou vybavenost, jež se podílí na větrání a vytápění jednotlivých hal.

Vnitřní mikroklima bazénové haly Havířov se dílčími úpravami zlepšilo a došlo tak ke stabilizaci vnitřní teploty, jež neprokazuje tak enormní kopírování s teplotou vnější (nedochází k přehřívání a ochlazování bazénové haly). Tímto dále dochází i ke snížení požadovaných výkonových parametrů na strojní vybavení zajišťující větrání a vytápění bazénových hal (potažmo celých objektů) a tak i snížení energetické náročnosti.

LITERATURA

- [1] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kolektiv. *Větrání a klimatizace* Brno : Bolit, 1993. 490 s. ISBN 80-901574-0-8.
- [2] ČSN 73 0540-2 : 2007. *Tepelná ochrana budov, Část 2 – Požadavky*. Praha : Český normalizační institut, 2004. 44 s.
- [3] ČSN 73 0548 : 1985. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Praha : Český normalizační institut, 1985. 32 s.
- [4] ČSN EN ISO 13790 : 2009. *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha : Český normalizační institut, 2009. 139 s.
- [5] ČSN EN ISO 13789 : 2009. *Tepelné chování budov – Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním – Výpočtová metoda*. Praha : Český normalizační institut, 2009. 19 s.
- [6] ČSN EN 13465 : 2004. *Větrání budov – Výpočtové metody pro stanovení průtoku vzduchu v obydlích*. Praha : Český normalizační institut, 2004. 36 s.
- [7] ČSN EN 15239 : 2009. *Větrání budov - Energetická náročnost budov - Směrnice pro kontrolu větracích systémů*. Praha : Český normalizační institut, 2009. 39 s.
- [8] Vyhláška č. 135/2004 Sb., *kteou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch*
- [9] Archiv autora

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Karel Papež, CSc., Katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, České vysoké učení v Praze.

Doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D., Katedra energetiky, Fakulta strojní, Vysoká škola Báňská – Technická univerzita v Ostravě.

Jiří LABUDEK¹, Lubomír MARTINÍK²

AEROGEL – MATERIÁL BUDOUCNOSTI PRO STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

AEROGEL – MATERIAL OF THE FUTURE FOR CIVIL ENGINEERING

Abstrakt

Aerogel je pevná látka s nejnižší známou hustotou. Snese až 2000x větší zatížení než je jeho vlastní hmotnost. Má extrémně nízkou tepelnou vodivost, materiál je tedy velmi vhodný pro omezení tepelných ztrát budov. Jeho teplota tání je cca 1200 °C. Dobře tlumí vibrace a zvuk. Aerogel je jediná hmota s výraznými tepelně izolačními schopnostmi, která je současně také čirá. Díky těmto vlastnostem má patnáct záznamů v Guinnessově knize rekordů. Z těchto důvodů je možno aerogel považovat za materiál budoucnosti nejen v oblasti stavebnictví, a proto je nutné se tímto zajímavým materiálem zabývat již nyní. Jak vyplývá z výsledků našich výpočtů, při budoucím využití aerogelu jako náplně do tepelně izolačního zasklení dojde u lehkých obvodových plášťů k výraznému snížení součinitele prostupu tepla, přičemž namodralé zabarvení aerogelu není vždy na škodu.

Klíčová slova

Aerogel, Nanogel, tepelná vodivost, hustota, hmotnost.

Abstract

Aerogel is a solid with the lowest known density. It stands up to 2000 times greater load than its own weight. It has extremely low thermal conductivity; the material is very suitable to limit the heat losses of buildings. Its melting temperature is 1200 °C. Well dampens vibration and sound. Aerogel is the only compound with significant thermal insulation capabilities, which is currently well clear. Thanks to these properties have fifteen records in the Guinness Book of Records. For these reasons, it is possible to consider aerogel as a material of the future not only in construction, and therefore it is necessary to deal with this interesting material now. The future use of aerogels as filler in thermal insulating glazing will cause a significant reduction of heat transfer coefficient in lightweight claddings, this follows from the results of our calculations. The bluish color of aerogels is not always a bad thing.

Keywords

Aerogel, Nanogel, thermal conductivity, density, weight.

1 ÚVOD

Aerogel byl poprvé vytvořen Samuelem Stephensem Kistlerem v roce 1931 z běžné želatiny [6]. Tehdejší procesy byly příliš nákladné a trh drahé materiály nepřijal. Jeho současná podoba s využitím křemíku vznikla v 90. letech 20. století jako výsledek práce NASA (National Aeronautics

¹ Ing. Jiří Labudek, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: jiri.labudek@vsb.cz.

² Ing. Lubomír Martiník, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: lubomir.martinik@vsb.cz.

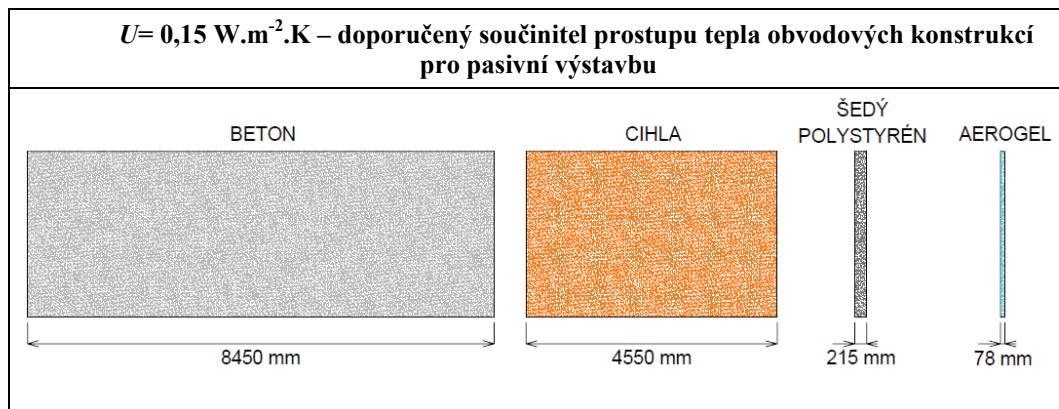
and Space Administration). V současnosti se vyskytují aerogely na bázi oxido – křemičité, karbonové, oxido – hlinité, atd. Cena energie roste a aerogel, který je nezávadný a inertní se schopností zmenšit tloušťku tepelné izolace na třetinu, se jeví jako zajímavá alternativa do budoucna. V tomto příspěvku budou další výpočty vztaženy k oxido-křemičitým aerogelům.

2 TECHNICKÉ PARAMETRY AEROGELU

Vnitřní struktura aerogelu se skládá z křemičitých dutých koulí o velikosti řádově několika nanometrů.

Tab. 1: Technické parametry aerogelu a porovnání s expandovaným polystyrenem EPS

	Aerogel	Expandovaný polystyren
Hustota	cca 3-350 kg.m ⁻³	cca 16 kg.m ⁻³
Podíl pevné látky	0,13 – 0,15 %	-
Pevnost v tlaku	16 kPa	> 70 kPa
Rychlost zvuku	100 m.s ⁻¹	2 320 m.s ⁻¹
Velikost mikropórů	2-50 nm	-
Teplotní tolerance	do 500 °C	do 80 °C
Teplota tání	1200 °C	-
Koeficient teplotní roztažnosti	2 – 4.10 ⁻⁶ m.K ⁻¹	5 - 7.10 ⁻⁵ m.K ⁻¹
Součinitel tepelné vodivosti	0,004–0,030 W.m ⁻¹ .K ⁻¹	0,033-0,044 W.m ⁻¹ .K ⁻¹



Obr. 1: Porovnání tloušťky různých materiálů při $U = 0,15 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}$

3 FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI AEROGELU

Aerogel je látka na křemíkové bázi, často nazývaná zmrzlý dým či modrý dým. Jde však o tuhou látku, na dotyk podobnou pěnovému polystyrenu. Aerogel je pevná látka s nejnižší známou hustotou. Obsahuje více než 95 % vzduchu, zbytek připadá na SiO₂ (křemen), což je běžný nerost na Zemi. Aerogel lze vyrobit ze sloučenin uhlíku, hliníku, chrómu, zinku a cínu. Výroba je zajišťována procesem vysoušení gelu, tvořeného směsí oxidu křemičitého, kapalného oxidu uhličitého a etanolu v extrémních podmínkách. Z této směsi se za velkého tlaku odstraní veškerá kapalná složka. Jedině tak nedojde ke zdeformování křemičitého gelu a zhroutení křemíkových buněk. Jeho porozita přesahuje 95 % a má velmi širokou distribuci pórů od 10⁻¹⁰ do 10⁻⁶ m [6]. Jelikož má aerogel otevřené póry, plyny a kapaliny jím mohou procházet s minimálními omezeními.

Při běžných teplotách je aerogel nehořlavý a do 500 °C se výrazně nemění jeho tvar ani objem, při vyšších teplotách se smršťuje. Teploty pro běžné použití jsou od -200 °C do 250 °C. Volné částice se zapalují při cca 400 °C a teplota tání je cca 1200 °C. Toho se využívá i u zasklení oken raketoplánů a kosmických stanic, oken do průmyslových pecí a reaktorů s teplotami do 800 °C. Aerogely velmi dobře brání i toku elektrické energie, dobře tlumí vibrace a zvuk. Aerogely pohlcují zvuk nízkých frekvencí od 50 do 1000 Hz. Okna a panely s 16 mm vrstvou aerogelu absorbují až 25 % zvukové energie. První zkušenosti s tlumením hluku v okolí letišť a dálnic jsou rozhodně pozitivní. Nejcharakterističtější optickou vlastností aerogelů je jejich průsvitnost. Nejsou však zcela průhledné kvůli jejich nestejnorodosti. Propustnost slunečního záření aerogelu se pohybuje v rozsahu $\tau = 0,85$ až $0,95$ podle tloušťky vrstvy aerogelu. V příspěvku je uvažováno pouze s tepelně-izolačními vlastnostmi aerogelu, nikoliv s pohltivostí, odrazivostí a emisivitou u transparentních prvků obvodových plášťů.

Typická vynikající tepelná vodivost křemíkových aerogelů je cca $\lambda = 0,017 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ ($\lambda = 0,015\text{--}0,020 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$, což je hodnota řádově nižší než u skelných vláken. Pro srovnání, vzduch má tepelnou vodivost $0,026 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$). U Nanogelu je tepelná vodivost dle provedení $\lambda = 0,009\text{--}0,022 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$. Ve srovnání s pěnovým polystyrenem ($\lambda = 0,036 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$) a novějším Neoporem ($\lambda = 0,033 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$), stabilizovaným proti úniku tepelného záření mikročásticemi grafitu, je nejvýše poloviční až čtvrtinová.

4 OBTÍŽE S VYUŽITÍM AEROGELU

Jeho průmyslovému využití brání zejména fakt, že při styku s vodou se mění opět na gel. Je také nutno říci, že v současnosti není aerogel dokonale čistý, ale vyskytuje se s modrým nádechem, což omezuje současné využití v transparentních pláštích. Avšak najdou se aplikace ve stavební praxi, kde namodralá barva není na škodu, dokonce může být žádoucí například v bazénových halách.



Obr. 2: Krytý plavecký bazén Kraví Hora, Brno [9]

Navzdory teoretickým předpokladům se nikdy nepodařilo v prostoru s gravitací vyrobit aerogel přesně definovaných vlastností. Díky tomu se zdálo být prakticky nemožné připravit sériovou výrobu aerogelu pro technické využití. Potíže byly zejména s dodržením velikosti pórů v materiálu a poměru a rozměrů pevných částí. Výzkumem bylo zjištěno, že tento problém lze řešit výrobou ve stavu beztláče. Cílem výzkumů není vyrábět unikátní materiál ve stavu beztláče, protože při současném stavu kosmonautiky by výroba nemohla být hospodárná. Při kosmických letech však mají být získány poznatky o tom, které faktory a jakým způsobem ovlivňují velikost částic aerogelu, jeho vnitřní strukturu a optické vlastnosti. Jakmile se to podaří, bude na světě zcela nový produkt, který otevře dosud netušené možnosti. Proto je zde snaha zjistit další možnosti pomocí výzkumu ve vesmíru a přinést průmyslu poznatky, které by umožnily hospodárnou výrobu tady na Zemi. První experimenty ve stavu beztláče byly provedeny v roce 1996, pomocí raket Starfire při jejich krátkých suborbitálních letech. Bylo prokázáno, že materiál má čtyřikrát až pětikrát lepší parametry než při výrobě na zemi.

5 PERSPEKTIVY PRO VYUŽITÍ VE STAVEBNÍM INŽENÝRSTVÍ

Jelikož má aerogel výborné tepelně izolační vlastnosti (dochází k minimálnímu úniku tepla), při standardních okrajových podmínkách nemůže dojít ke kritické povrchové teplotě a tak nedojde ke kondenzaci vodních par. Z těchto důvodů tedy nedochází k mlžení a rosení okenních prvků.

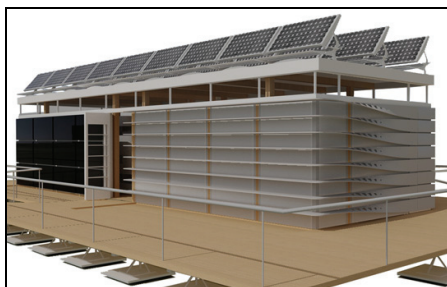
Na rozdíl od plynem plněných či vakuovaných oken u oken plněných aerogelem jejich tepelný odpor časem neklesá. U plynem plněných oken je postupné snižování tepelného odporu způsobeno dlouhodobým únikem inertního plynu. Plnění dvojskla inertním plynem je v dnešní době již na hranici svých možností, zatímco aerogel má potenciál docílit v budoucnu ještě lepších vlastností.

S postupným vývojem procesů výroby se cena aerogelů stává přijatelnou. Vzpomeňme na dobu, kdy těsnicí silikony začínaly jako nesmírně drahé a vzácné materiály.

„Závažnějším problémem se v budoucnosti stane váha. Některé konstrukce budou mít oproti těm dnešním poloviční hmotnost. Výroba a objem používaných materiálů rozhodně ovlivňuje životní prostředí...“
Jan Kaplický (2005)

Zatím nejslibnějším použitím aerogelu se jeví tepelná izolace. Materiál má výrazně lepší izolační vlastnosti než sklo a přitom váží jen tisícinu jeho hmotnosti. To otevírá možnosti využití pro extralehké obvodové pláště, které budou výrazně snižovat statické zátěže na nosném systému budovy.

Aerogel je jediný materiál, který kromě výrazných tepelně izolačních schopností je i průsvitný až čirý. Využitelnost aerogelu je především v transparentních pláštích budov a v budoucnu, při zlepšení transparentnosti materiálu, i v zasklení oken. Transparentní silikonový aerogel by byl velmi vhodný jako tepelná izolace pro okna, významně omezující tepelné ztráty budov. Švédská firma Airglass vyvíjí nový materiál pro zasklívání oken, složený z vrstvy aerogelu vakuově uzavřené mezi dvě desky skla. Výroba je zatím ve fázi poloprovozu, měsíčně se vyrobí 3–6 m², které zatím slouží pouze k testování. Cesta je to však velmi nadějná [4]. Komerčně, byl aerogel použit v granulované formě pro zlepšení izolačních vlastností střešních oken. První zkušební použití aerogelu jako izolátoru je v Georgia Institute of Technology's Solar Decathlon House (viz obr. 3.) kde je použit jako polotransparentní střecha [6].



Obr. 3: Solar Decathlon House [10]

Unikátní je schopnost průsvitných vrstev aerogelu zachytit denní světlo v horších světelných podmínkách a rozptýlit je v prostoru jako difuzní tam, kam přímo nedopadá. Jsou ideálním řešením pro osvětlení muzeí, galerií, knihoven a sportovních hal. Tohoto poznatku již využívá několik výrobců osvětlovacích panelů z plochých nebo komůrkových desek z polykarbonátu plněných aerogelem. Skla navíc pohlcují tepelné záření. U 13 mm silné vrstvy aerogelu je to až 27 % tepelného záření [7].

Firma Aspen Systems zkouší příkrývky Spaceloft a tkaniny Aerotex ve vývojovém programu s Kennedy Space Center na Floridě. Materiály nepodléhají degradaci při dlouhodobém užití, při styku se vzduchem či vlivem záření, odpuzují vodu, nepodléhají korozi a nejsou toxické [7]. Ve vzduchu se téměř vznášají díky své nízké objemové hmotnosti. Jsou ekologické a jako materiál založený na SiO₂ snadno recyklovatelné. Průmyslově se vyrábí jen na několika místech na světě. Podle prvních ohlasů se zdá, že Nanogel čeká podobná budoucnost jako před lety membrány Gore-Tex [7].

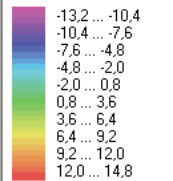
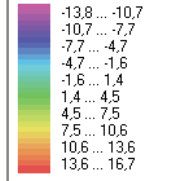
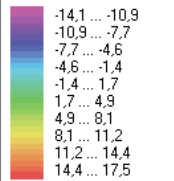
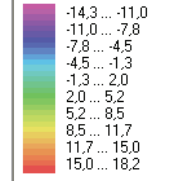
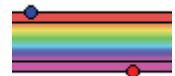
Izolační a mechanické vlastnosti nové hmoty se uplatní v dopravních prostředcích všeho druhu od automobilů až po letadla a rakety. Velký vnitřní povrch pórů je zase výhodný pro výrobu filtrů a katalyzátorů. Odborníci NASA zase věří ve skvělé možnosti aerogelu při stavbě kosmických lodí, orbitálních stanic a planetárních základen.

6 PERSPEKTIVY AEROGELŮ PRO VYUŽITÍ V TRANSPARENTNÍCH PLÁŠTÍCH

Tepelná ochrana budov je v dnešní době nedílnou součástí návrhu všech objektů. Požadavky na úspory energie na vytápění vyžadují dostatečné zateplení všech obalových konstrukcí objektů. Instalace kvalitních oken s odpovídajícím tepelně izolačním sklem je v dnešní době nutností. Snížení tepelně izolačních vlastností oken z důvodů úniku plynové výplně je proto nežádoucí a znamenala by zvýšené nároky na vytápění a tím i finanční ztráty pro majitele objektu.

V současné době je nejobvyklejší použití izolačního dvojskla, které při použití inertních plynů v zasklení dosahuje součinitele prostupu tepla až $U_g = 0,5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Tato hodnota je dosažena použitím pokovení skla ze strany interiéru a také plynovou výplní, nejčastěji argonem. Součinitel prostupu tepla stejného dvojskla se vzduchovou výplní je cca $U = 1,4 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Pokud by plynová izolační náplň z prostoru mezi skly unikla, výrazně by se snížily tepelně izolační vlastnosti dvojskla. Plynové výplně izolačních skel zajišťují spolu se speciální úpravou skel dostatečnou tepelnou izolaci a zabraňují nežádoucím tepelným ztrátám. V průběhu stárnutí okna může docházet k úniku plynové izolační náplně z prostoru mezi skly. Množství plynu, které může okny uniknout, udává ČSN EN 1279-3 [1]. Ta stanovuje maximální přípustný únik 1 % plynové výplně za rok. Snižování hodnoty „ U_g “ během životnosti lze prokázat měřením či teoreticky vypočítat.

Tab. 2: Porovnání dvojskla 4-16-4 za stejných okrajových podmínek s různou výplní [11,12]

Vzduch	Argon	Aerogel	Krypton
$\lambda = 0,0262 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\lambda = 0,016 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\lambda = 0,012 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\lambda = 0,009 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Vzduchová výplň	Argonová výplň	Aerogelová výplň	Kryptonová výplň
$U = 1,26 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	$U = 0,85 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	$U = 0,66 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	$U = 0,51 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
LEGENDA: DVOJSKLO - VZDUC... Teplotní pole [C]:  ◆ T si=-13,20 C; fR si=0,945 ◆ T si=14,75 C; fR si=0,836	LEGENDA: DVOJSKLO - ARGON Teplotní pole [C]:  ◆ T si=-13,79 C; fR si=0,966 ◆ T si=16,68 C; fR si=0,890	LEGENDA: DVOJSKLO - AEROG... Teplotní pole [C]:  ◆ T si=-14,06 C; fR si=0,974 ◆ T si=17,54 C; fR si=0,914	LEGENDA: DVOJSKLO - KRYPT... Teplotní pole [C]:  ◆ T si=-14,27 C; fR si=0,986 ◆ T si=18,23 C; fR si=0,934
			

Cena za moderní okna je značná a proto by měla být zajištěna jejich funkčnost po dobu životnosti danou výrobcem. Bohužel je velmi obtížné zjistit, kolik plynu v meziskelním prostoru je doopravdy a to už nehovoříme o nějakém časovém horizontu. Skla bývají obvykle plněná

z 90 - 95% inertním plynem za běžného atmosférického tlaku. Výrobci udávaný maximální únik plynu je do 0,5 % za rok. Životnost zasklení se počítá asi 20 - 25 let. Základním významem použití inertního plynu v meziskelním prostoru izolačních skel je jeho nižší tepelná vodivost ve srovnání se vzduchem, tedy schopnost poskytnout větší odpor plynu proti přestupu tepla. Zjednodušeně lze tuto vlastnost inertních plynů vysvětlit tím, že molekuly plynů tohoto typu zásadně nevytváří žádné molekulární struktury mezi sebou navzájem ani s částicemi jiných plynů a striktně se vyskytují v jednomolekulárním uspořádání [8]. Rychlost difúze, respektive únik inertního plynu a jeho nahrazení okolním vzduchem, a tím i snížení koncentrace inertního plynu v prostoru mezi skly, má významný vliv na tepelně technické, i akustické parametry izolačních skel.

Výpočtově je prokázáno, že zhoršení součinitele prostupu tepla U_g při změně koncentrace z 90/10 na 60/40 je u argonu 7,3 %, u kryptonu 13,5 %. Optimální šířka rámečku není pro oba plyny (argon a krypton) stejná. V případě argonu vychází nejlépe šířka 16 mm, u kryptonu 12 mm. Pro ilustraci uvádíme diferenciaci U_g izolačních dvojskel s plněním různými inertními plyny ve variantních koncentracích [8].

Tab. 3: Závislost U_g na koncentraci plynu v meziskelním prostoru

Izolační dvojsklo Low - E 4mm – 12mm - Float 4mm					
	U_g [W.m ⁻² .K ⁻¹]				
	100%	90%	75%	50%	25%
Vzduch	1,63				
Argon	1,27	1,31	1,36	1,45	1,54
Krypton	1,00	1,04	1,10	1,24	1,42

Součinitel prostupu tepla je základní veličinou charakterizující tepelně izolační vlastnosti stavebních konstrukcí. Postup výpočtu součinitele prostupu tepla lehkých obvodových plášťů (dále LOP) je uveden v ČSN EN ISO 13947 [2]. Definovány jsou dvě základní metody výpočtu. Metoda celkového hodnocení, která pracuje s ekvivalentními součiniteli prostupu tepla tepelných vazeb, a metoda hodnocení po částech, která je analogií výpočtu součinitele prostupu tepla okenních konstrukcí.

Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku se podrobněji podíváme jen na metodu celkového hodnocení, která je jednodušší, pro praktické použití většinou výhodnější a přitom má nejširší rozsah použití. Součinitel prostupu tepla LOP se zásadně stanovuje pro charakteristický výsek LOP (viz obr. 4). Početní vztah je opět váženým průměrem součinitelů prostupu tepla provedeným přes dílčí plochy LOP.

V metodě celkového hodnocení se používá vztah:

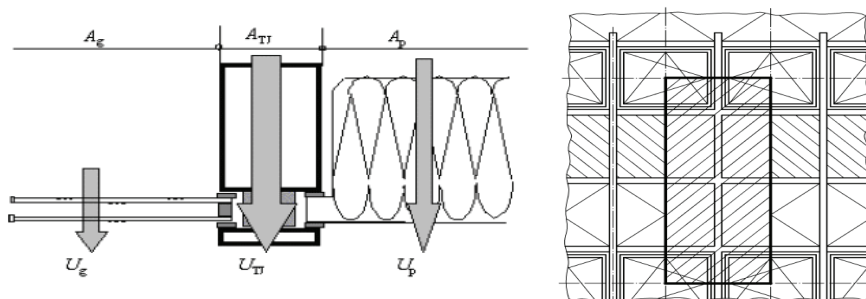
$$U_{LOP,vz} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_{TJ} \cdot U_{TJ}}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_{TJ}} \quad [W / m^2 K] \quad (1)$$

kde:

- A_g, A_p a A_{TJ} - jsou pohledové plochy zasklení, plné výplně a tepelné vazby v charakteristickém výseku LOP v m² (obr. 4)
- U_g, U_p a U_{TJ} - jsou příslušné součinitele prostupu tepla zasklení, plné výplně a tepelné vazby ve W.m⁻².K⁻¹.

Početní vztah je váženým průměrem součinitelů prostupu tepla provedeným přes dílčí plochy LOP. Vliv tepelných vazeb v místě uložení zasklení, plné výplně nebo okna do sloupku/příčnicku se projeví v hodnotě součinitele prostupu tepla tepelné vazby U_{TJ} . Do této veličiny se tedy promítnou

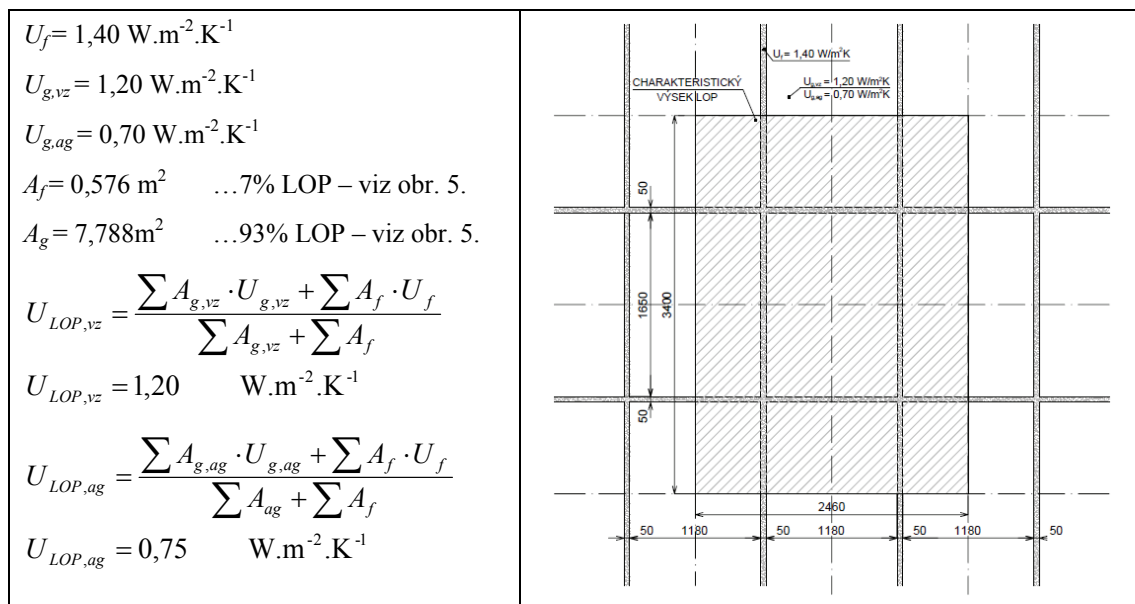
jak tepelné vlastnosti samotného profilu LOP (sloupku/příčnicku), tak způsob uložení zasklení/plně výplně/okna a další vlivy (např. vliv distančního rámečku v zasklení).



Obr. 4: Definice dílčích ploch a součinitelů prostupu tepla LOP a charakteristický výšek LOP

Běžné rástrové fasádní konstrukce mají koeficient tepelné vodivosti rámu $U_f \approx 2,2 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. V systému fasádních konstrukcí jsou k dispozici také profily s přerušným tepelným mostem. Díky přerušení tepelného mostu je dosaženo hodnot součinitele prostupu tepla rámem $U_f = 1,00 - 1,40 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Obecně platí, že příčník a sloupek mají odlišné tepelné technické parametry. Tyto hodnoty s velkou rezervou také splňují požadavky normy ČSN 73 0540-2 [3], která uvádí hodnotu $U_f = 2,0 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ jako nejvyšší přípustnou. Kvalitní rám musí být doplněn také kvalitním zasklením. Pro zasklívání s nízkoemisivním sklem a pokovením včetně použití inertních plynů s nízkou tepelnou vodivostí (Argon, Krypton) lze dosáhnout výjimečných hodnot koeficientu tepelné propustnosti transparentní části a to až $0,5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

Pro prokázání výhodného vlivu transparentní fasády s výplní zasklení ve formě aerogelu byla sestavena lehká fasáda s konkrétními parametry. Pro výpočet byl použit modelový příklad rástrové fasády (viz obr. 5).



Obr. 5: Charakteristický výšek transparentní fasády s reálnými parametry

Rozdíl mezi $U_{LOP,vz} = 1,20 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a $U_{LOP,ag} = 0,75 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ je plných 37%. To znamená, že transparentní fasáda provedená z dvojskla plněného aerogelem má o 37% lepší tepelně-technické parametry než ze standardního zasklení dvojsklem se vzduchovou výplní.

V doložených výpočtech bylo uvažováno pouze s šířením tepla formou vedení, ostatní složky nelze použitým softwarem zohlednit. Veškeré modely zasklení jsou tedy bez pokovených vrstev a tyto nejsou žádným způsobem zohledněny.

7 ZÁVĚR

Podobných multiaplikačních materiálů, jako jsou aerogely, není mnoho. Jejich čas však pravděpodobně teprve přijde a bude záležet na tom, jak rychle a jakým způsobem se bude vyvíjet technologie jejich výroby. Jeden vědecký pracovník NASA dokonce predikoval, že brzy bude aerogel běžný materiál v našem okolí a že bude tak používán, jako dnes plasty [5]. Aerogel bude jistě časem součástí našich domovů stejně jako goretexové oblečení či paropropustné a difuzně otevřené folie. Cena některých komponent z aerogelu se již nyní přiblížila do dostupných cenových hladin především díky poměru cena/výkon. Zdá se tedy, že hlavní možnosti využití aerogelu jsou v jeho tepelně-izolačních vlastnostech. Rozšířením používání aerogelu jako tepelné izolace dojde ke snížení energetické spotřeby, tím také ke snížení emisí skleníkových plynů a omezení znečištění Země [4]. Díky jeho vynikajícím vlastnostem a ekologické nezávadnosti se pravděpodobně aerogel dokáže v dohledné budoucnosti prosadit na trhu.

Závěrem lze říci, že aerogely nás jistě v mnohém překvapí, řada očekávání se postupně začíná naplňovat a zcela určitě jde o materiál, který je předurčen stát se jedním z nejdůležitějších materiálů 21. století.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl vytvořen v rámci projektu „tvorba a internacionalizace špičkových týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB – TUO“ členy výzkumné skupiny katedry prostředí staveb a TZB v rámci tématu „výzkum v oblasti pasivních domů v tuzemských podmínkách s ohledem na transpozici EPBD 2 do národních právních předpisů“.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1279-3 - Sklo ve stavebnictví - Izolační skla - Část 3: Dlouhodobá metoda zkoušení a požadavky na rychlost unikání plynu a na tolerance koncentrace plynu (2003)
- [2] ČSN EN ISO 13947 - Tepelné chování lehkých obvodových plášťů -Výpočet součinitele prostupu tepla (2007)
- [3] ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky (2007)
- [4] <http://www.enviweb.cz> (15. 11 2011)
- [5] <http://www.aldebaran.cz> (15. 11 2011)
- [6] <http://cs.wikipedia.org> (15. 11 2011)
- [7] <http://www.mmspektrum.com> (15. 11 2011)
- [8] <http://stavba.tzb-info.cz> (15. 11 2011)
- [9] <http://brno.tucnacek.cz> (15. 11 2011)
- [10] <http://solar.gatech.edu/home.php> (15. 11 2011)

POUŽITÝ SOFTWARE

- [11] TEPLO 2010
- [12] AREA 2010

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Pavol Ďurica, CSc., Katedra pozemního stavitelství a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Doc. Ing. Danica Košičanová, PhD., Katedra teorie a techniky prostredia budov, Stavebná fakulta, Technická univerzita v Košiciach.

Irena SVATOŠOVÁ¹

OVĚŘOVÁNÍ PŘEDPOKLÁDANÝCH VYBRANÝCH MIKROKLIMATICKÝCH
VLASTNOSTÍ DŘEVOSTAVEB V PRAXI

VERIFICATION OF CALCULATED SELECTED MICROCLIMATIC AIR QUALITY
AT TIMBER HOUSES IN REALITY

Abstrakt

V článku jsou popisovány výsledky výzkumu zvolených mikroklimatických hodnot (vnitřní teplota, vlhkost vnitřního vzduchu) u vybraných dřevostaveb. Výzkum byl prováděn jako podklad disertační práce autorky článku.

Klíčová slova

Mikroklima budov, vnitřní teplota vzduchu, vlhkost vnitřního vzduchu.

Abstract

In the article are described research results of the elected microclimatic values (internal air temperature, internal air humidity) at representative timber houses. The research was done as base for dissertation work of authoress article.

Keywords

Microclimate of building, internal air temperature, internal air humidity.

1 ÚVOD

Norma [1] stanoví normové požadavky na návrhovou vnitřní teplotu v zimním období Θ_i v ($^{\circ}\text{C}$) viz [4] (obdobně i [2], kde je hodnota $\Theta_{int,i}$ nazývána: výpočtová vnitřní teplota) a relativní vlhkost vnitřního vzduchu ϕ_i (%). Cílem výzkumu bylo zjistit, zda jsou tyto normové hodnoty v praxi v bytových objektech dodržovány. Praktický výzkum byl prováděn v období listopad 2008 až březen 2009.

- Oblast výzkumu:

Území Moravskoslezského kraje.

- Vybrané objekty.

Rozhodujícími kritérii pro výběr objektů byly:

Různost dřevěných konstrukcí - bylo měřeno celkem 6 objektů, zahrnujících 3 typy technologických systémů – OSB, sloupkový sendvič, srubová konstrukce a laťový sloupkový systém.

Poloha staveb dle nadmořské výšky - pro účely práce byly vytipovány objekty v nadmořských výškách 210, 260, 322 a 446 m.n.m.

¹ Ing. Irena Svatošová, Ph.D., Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321365, e-mail: irena.svatosova@vsb.cz.

Druh zástavby - lokality byly vybírány s ohledem na umístění zájmového objektu. 2 objekty samostatně stojící, 2 objekty uvnitř zástavby, 2 objekty na okraji zástavby.

- Volba způsobu měření mikroklimatických údajů.
- 1) Pro zjištění a porovnání základních mikroklimatických podmínek byly v zájmových objektech měřeny teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Měření probíhalo 2 měřicími přístroji. První, který měřil nepřetržitě ve zvolených desetiminutových intervalech, byl umístěn v místnosti s největším provozem. Většinou šlo o obývací pokoj spojený s kuchyní a zaznamenávání měřených hodnot probíhalo po dobu minimálně 24 hodin.
 - 2) Aby bylo dosaženo co největší objektivnosti v měření teplot vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu celého objektu, byly vytipované další místnosti jednotlivých měřených dřevostaveb – v našem případě ložnice, dětský pokoj a koupelna.
 - 3) V nich byly měřeny teplota vnitřního vzduchu a relativní vlhkost vzduchu v místnosti druhým přístrojem v předem stanovených časech: 18,00 hodin; před uložením ke spánku, ráno hned po probuzení a ve 12,00 hodin.

2 ZPŮSOB SBĚRU DAT

Sběr jednotlivých dat byl rozložen tak, aby každý objekt měl změřenou teplotu vnitřního vzduchu θ_{ai} (°C) a relativní vlhkost vnitřního vzduchu ϕ_i (%) pro průběh celého týdne ve vytápěcím období. Díky týdennímu měření byl získán screening chodu jednotlivých objektů jak během pracovních dnů, tak i o víkendu, kdy je provoz v objektu podstatně jiný a je různý podle způsobu života rodiny. Měření v zimním období v topné sezóně bylo zvoleno proto, že toto období má vliv na potřebu energie pro vytápění, v letním období se pobytové místnosti nevytápějí.

Hodnoty vnější teploty vzduchu, jeho relativní vlhkosti, směr větru a rychlost větru byly převzaty z údajů Českého hydrometeorologického ústavu ze stanic Lysá hora, Frenštát pod Radhoštěm, Mošnov a Ostrava – Poruba.

2.1 Přístroje použité pro měření

- 1) Kontinuální měření bylo prováděno přístrojem Datalogger univerzální ALMEMO 2690 – 8 s 1 kusem kombinovaného čidla pro měření teploty a vlhkosti vnitřního vzduchu sonda FHA 646 – E1. Teplotní rozsah je -20 až + 80 (°C) s rozlišením 0,1 (°C), vlhkostní rozsah je 5 až 98 (%) rH, rozlišení 0,1 (%), přesnost měření teplota $\pm 0,2$ (°C) ± 2 digity, vlhkost $\leq \pm 2$ (%) ± 1 digit.



Obr. 1: DatalogGer ALMEMO 2690-8

- 2) Bezkontaktní multifunkční přístroj měřící souběžně teplotu, vlhkost a tlak (termohygrobarometr) typ C4130. Rozsah provozních teplot $-10\ (^{\circ}\text{C})$ až $+60\ (^{\circ}\text{C})$, přesnost měření teploty $\pm 0,25\ (^{\circ}\text{C})$ v rozsahu -50 až $+100\ (^{\circ}\text{C})$, $\pm 0,5\ (\%)$ z měřené hodnoty od 100 do 250 $(^{\circ}\text{C})$, přesnost měření vlhkosti $\pm 2,5\%$ relativní vlhkosti v rozsahu 5 až 95 $(\%)$ při 23 $(^{\circ}\text{C})$, rozlišení 0.1 $(\%)$.



Obr. 2: Termohygrobarometr C4130

2.2 Podmínky pro měření vybraných mikroklimatických údajů

- 1) Pro dané objekty vybrat charakteristické místnosti. Tento požadavek byl splněn.
- 2) Ve vybraných místnostech měřit teplotu vnitřního vzduchu θ_{ai} a relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i (viz grafy - dokladová část viz [5] str. 25 – 62) tak, že na jedno čidlo připadne nejvýše 30 (m^2) půdorysné plochy místnosti [2,3,6]. Splněno.
- 3) V obytných místnostech umístit čidlo do středu půdorysné plochy místnosti do výše 1,0 (m) nad nášlapnou vrstvu podlahy [2,3,6]. Požadavek byl při měření splněn.
- 4) Čidla teploty vzduchu musí být stíněná proti osálení. Splněno.
- 5) Požadovaná přesnost určení teploty vnitřního vzduchu je 0,25 (K). Splněno
- 6) Čidlo pro měření relativní vlhkosti vnitřního vzduchu φ_i se umísťuje za stejných podmínek jako čidlo pro měření teploty vnitřního vzduchu. Splněno.
- 7) Požadovaná přesnost stanovení relativní vlhkosti vnitřního vzduchu je 5%. Splněno.
- 8) Všechna čidla pro měření veličin vnitřního prostředí musí být stíněna proti přímému dopadu slunečního záření. Splněno.
- 9) Teplota vnějšího vzduchu θ_{ae} je měřena čidlem umístěným v meteorologické budce, případně v místě volného proudění vzduchu ve výšce přibližně 2 (m) nad terénem a čidlo

musí být stíněné proti přímému dopadu slunečního záření. Požadovaná přesnost stanovení teploty vnějšího vzduchu je 0,25 (K).

- 10) Relativní vlhkost vnějšího vzduchu φ_e se registruje. Čidlo je buď umístěné v meteorologické budce, popřípadě v místě měření teploty vnějšího vzduchu. Požadovaná přesnost stanovení relativní vlhkosti vnějšího vzduchu je 5%. Splněno HMÚ.

3 VSTUPNÍ PODKLADY PRO MĚŘENÍ VYBRANÝCH MIKROKLIMATICKÝCH ÚDAJŮ DŘEVOSTAVBA I – VI

- 1) Rozbor projektové dokumentace.
- 2) Tepelně technický průzkum budovy.

Rozbor projektové dokumentace a tepelně technický průzkum předmětného objektu s cílem definování vztažné části budovy a získání vlastních podkladů pro stanovení podmínek měření tj. charakteristického prostoru, vybraných místností pro umístění čidel, umístění měřicího zařízení a realizace měření.

Podstatou tepelně technického průzkumu je kontrola existence případných anomálií technických vlastností obvodového pláště, kontrole a porovnání skutečného stavu s projektovou dokumentací a ve zjištění omezujících podmínek pro provedení měření. Pokud dojde ke zjištění anomálií a závad, musí být posouzen jejich případný vliv na měření a následně se rozhodne o jejich odstranění nebo způsobu zahrnutí do vyhodnocení. Tepelně technický průzkum dřevostaveb nezjistil žádné závady, které by svým charakterem nevyhovely podmínkám pro měření.

3.1 Postup při měření vybraných mikroklimatických údajů dřevostaveb I – VI

- 1) Instalace měřicího zařízení.
- 2) Zapojení tepelného zdroje. Ve všech objektech bylo použito dvoutrubkové nízkoteplotní podlahové vytápění s nuceným oběhem.
- 3) Měření.

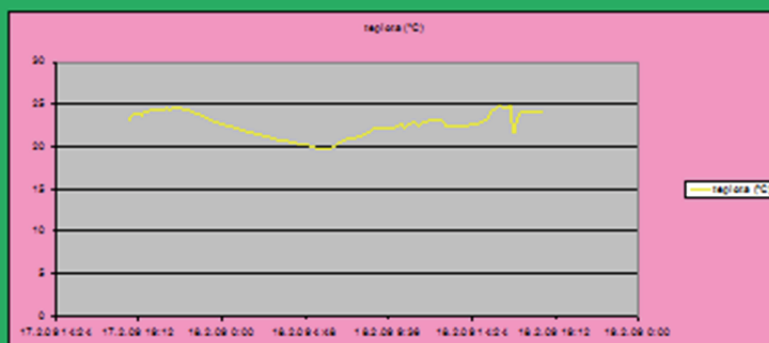
Vlastní měření probíhá za zvláštních, popř. provozních podmínkách. Měřicí intervaly měřených a registrovaných hodnot jsou pravidelné a řídí se požadavkem stanovení jejich průměrných denních hodnot. Měřicí interval teploty vnitřního vzduchu a výsledné teploty je nejvýše 1 (h). Další postup měření byl proveden dle kapitoly „Volba způsobu měření mikroklimatických údajů“, podrobně viz [5].

3.2 Vyhodnocení měření vybraných mikroklimatických údajů teploty vnitřního vzduchu θ_{ai} a relativní vlhkosti vzduchu φ_i

Každá dřevostavba má 2 typy grafického vyhodnocení A a B. První „A“ je vždy pro kontinuální měření zajišťované přístrojem Datalogger univerzální ALMEMO 2690 – 8 s 1 kusem kombinovaného čidla pro měření teploty a vlhkosti vnitřního vzduchu sonda FHA 646 – E1. Grafické vyhodnocení „B“ platí pro měření v určených časových intervalech bezkontaktním multifunkčním přístrojem měřícím souběžně teplotu, vlhkost a tlak (termohygrobarometr) typ C4130. Výsledky měření jsou zpracovány v grafech do přehledných tabulek uvedených v dokladové části [5].

UKÁZKA KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ θ_{ai} (°C)

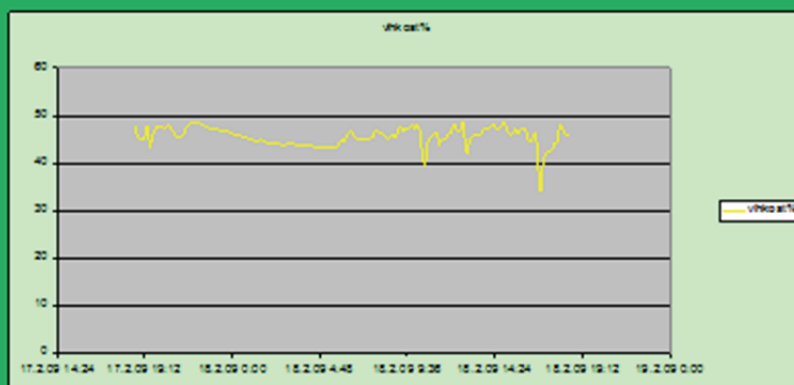
- IV.II a Kontinuální měření – závislost teploty vnitřního vzduchu na čase.
- 17.- 18. února 2009 (úterý, středa)
- Počátek měření 18,40 (hod.), konec měření 18,30 (hod.). Interval měření 10 minut.



Obr. 3: Kontinuální měření teploty vnitřního vzduchu θ_{ai}

UKÁZKA KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ φ_i (%)

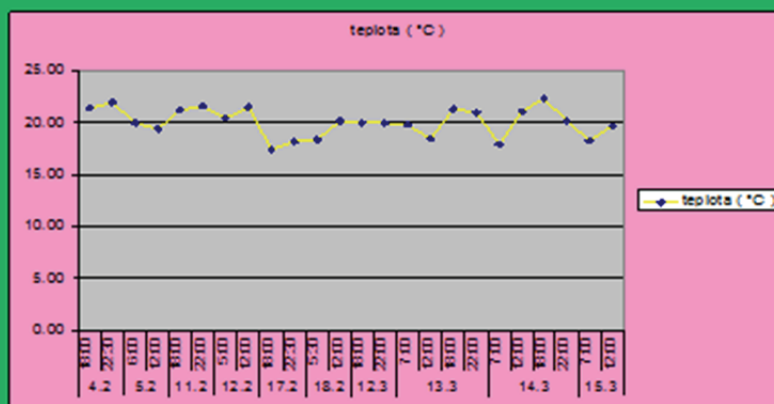
- IV:II b Kontinuální měření – závislost relativní vlhkosti vzduchu na čase.
- 17.- 18. února 2009 (úterý, středa)
- Počátek měření 18,40 (hod.), konec měření 18,30 (hod.). Interval měření 10 minut.



Obr. 4: Kontinuální měření relativní vlhkosti vnitřního vzduchu φ_i

UKÁZKA MĚŘENÍ V PŘEDEM URČENÝCH ČASOVÝCH INTERVALECH θ_{ai} (°C)

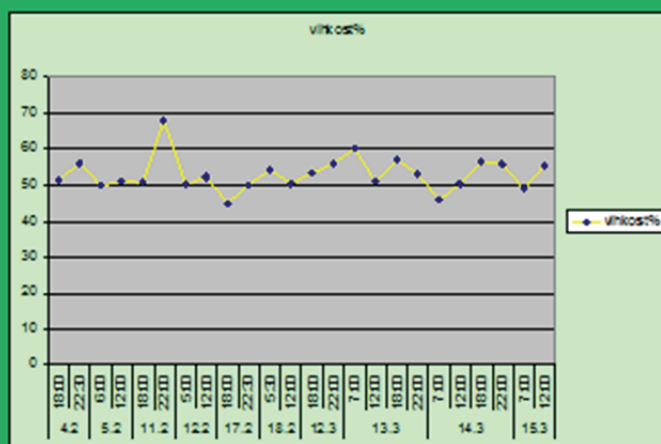
- IV.B Dřevostavba – sloupková sendvičová konstrukce A
- 11.2.- 12.2., 17.2.- 18.2., 12.2.- 15.3.2009 – ložnice, vnitřní teplota vzduchu



Obr. 5: Měření v předem určených časových intervalech teploty vnitřního vzduchu θ_{ai}

UKÁZKA MĚŘENÍ V PŘEDEM URČENÝCH ČASOVÝCH INTERVALECH φ_i (%)

- 11.2.- 2.2., 17.2.- 18.2., 12.2.- 15.3.2009 – ložnice, relativní vlhkost vnitřního vzduchu



Obr. 6: Měření v předem určených časových intervalech relativní vlhkosti vnitřního vzduchu φ_i

VYHODNOCENÍ KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ

dřevostavba	kontinuální měření					
	teplota (°C)			vlhkost (%)		
	minimální	maximální	průměr	minimální	maximální	průměr
I	15,55	25,68	20,37	32,8	45,2	40,39
I	19,84	23,66	21,53	39	50	41,17
I	19,73	23,24	21,49	43	56,1	46,78
I	18,95	23,61	20,63	40,1	56,9	46,06
I	19,53	24,54	22,54	35,2	53,1	46,08
II	18,71	26,67	22,54	27	43,1	46,08
II	19,65	23,52	21,82	24,6	41,5	27,47
II	22,31	27,01	23,59	28,9	75,7	32,68
III	20,17	23,26	21,9	26,5	41,5	31,07
III	18,4	23,43	21,69	35	44,2	37,96
IV	19,3	24,4	22,95	34,5	54,6	47,98
IV	19,81	24,79	22,53	34,2	48,2	45,62
IV	19,09	24,84	22,85	36,6	55,9	51,02
V	21,71	23,4	22,49	42,2	46,3	44,44
V	19,86	23,13	21,19	24,6	36,7	27,94
V	18,65	24,58	21,46	35,5	65	52,32
VI	21,31	23,8	22,59	42,3	49,7	44,57
VI	19,74	25,56	23,11	35,2	53,1	35,1
VI	14,11	24,52	22,17	33,2	76,3	40,32

Obr. 7: Vyhodnocení kontinuálního měření teploty vnitřního vzduchu θ_{ai} a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu φ_i

VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ V PŘEDEM URČENÝCH ČASOVÝCH INTERVALECH

dřevostavba	teplota (°C)								
	ložnice			dětský pokoj			koupelna		
	min	max	průměr	min	max	průměr	min	max	průměr
I	17	21,5	19,97	16,3	21,3	20,34	16,8	22,8	20,94
II	19,8	24	21,97	18,1	25,7	22,1	18,1	23,6	21,96
III	19,7	24,2	22,55	18,1	23,9	20,85	20,5	23,7	21,83
IV	17,5	22,4	20,09	19,5	23,1	21,29	19,2	22,8	21,18
V	18,1	21,2	19,96	19,1	22,4	20,77	19,4	21,9	20,49
VI	21,2	24	21,78	21,6	23,7	22,7	21,5	23,8	22,35
	vlhkost (%)								
	ložnice			dětský pokoj			koupelna		
	min	max	průměr	min	max	průměr	min	max	průměr
I	24,5	42,5	38,56	35,7	44,6	40,22	35,7	44,6	40,22
II	22,6	34,8	27,59	20,7	34,6	25,94	20,7	44,5	26,47
III	22	33,3	28,49	24,2	40,4	33,94	29	50	37,15
IV	45	60	53,03	48	56,9	52,81	42	68,9	55,06
V	38,2	59,7	48,31	40,4	57,1	48,76	47,2	59,2	51,8
VI	34,1	44	38,7	32,5	41,4	35,35	31,4	48,8	36,34

Obr. 8: Vyhodnocení měření v předem určených časových intervalech teploty vnitřního vzduchu θ_{ai} a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu φ_i

4 ZÁVĚR

Měřením teploty vnitřního vzduchu bylo zjištěno, že sledované dřevostavby, až na 2 výjimky viz obr.8 „Vyhodnocení měření v předem určených časových intervalech“, mírně překračují požadavky [2] a [1] v obývacím pokoji, ložnici a dětském pokoji. Závažnější však je zjištění, že v ani jednom případě nebylo dosaženo stabilních návrhových vnitřních teplot v zimním období v koupelnách dřevostaveb. Ze souhrnných tabulek je dále zřejmé, že ve všech sledovaných objektech byla ve všech měřených místnostech v průměru mírně navýšena teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} (°C), než jak je definována návrhová vnitřní teplota v zimním období θ_i (°C) dle [1]. Zde se projevuje lidský faktor popsáný v [5]. Překvapivé je i zjištění, že v průměru sledovaná relativní vlhkost vnitřního vzduchu nedosahovala požadavků [7], [8] a [9]. Pro zimní období jsou však téměř všechny naměřené hodnoty v souladu s [10]. Nejhorší naměřené hodnoty relativní vlhkosti vnitřního vzduchu byly zjištěny u dřevostaveb II a III, viz dokladová část [5]. Pokud tento stav bude trvalý, je možné v budoucnu předpokládat zdravotní problémy obyvatel dřevostaveb II a III. Požadavkům dle [1] na relativní vlhkost vnitřního vzduchu ϕ_i (%) se nejvíce přibližuje dřevostavba IV a V, které také dosáhly klasifikačního ohodnocení B, tedy stavby úsporné. Prováděná měření poukázala na nedodržování hodnot dle [8]. Pro udržení stability vnitřního prostředí je nezbytné již v projektové přípravě dřevostaveb navrhovat zodpovědně skladbu konstrukcí tvořících obálku budovy, odpovídající regulační techniku (termostatické ventily, regulace vytápěcího systému) spolu s optimálním návrhem způsobu výměny vzduchu a udržení doporučených hodnot teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 05 40 – 3 *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*, 2005.
- [2] ČSN EN 12 831 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*, 2005.
- [3] ČSN 73 05 50 *Stanovení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí a budov, měření a kontrola tepelných ztrát budov*, prosinec 1994.
- [4] ČSN 73 05 40 – 1 *Tepelná ochrana budov část 1: terminologie*, červen 2005.
- [5] SVATOŠOVÁ, I.: *Disertační práce*, 2009.
- [6] MÁLEK, B., MATTHAUSEROVÁ, Z.: *Metodický návod pro měření mikroklimatických parametrů pracovního prostředí a vnitřního prostředí staveb*, Věstník ministerstva zdravotnictví ČR, ročník 2004, částka 11, Praha 2004, HEM-3444-12.2.04/4133.
- [7] ČSN 73 0540- 2 *Tepelná ochrana budov část 2: Požadavky*, 2002.
- [8] ČSN 73 0540- 2 *Tepelná ochrana budov část 2: Požadavky*, 2007.
- [9] ČSN 06 02 10 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*, 1994.
- [10] Vyhláška 6/2003 Sb. *Kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb*, Ministerstvo zdravotnictví ČR, prosinec 2002.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Ján Takács, Ph.D., Katedra technických zariadení budov, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita Bratislava.

Ing. Jakub Vrána, Ph.D., Ústav technických zařízení budov, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Anna BENEŠOVÁ¹, Jan VANĚREK²

VLIV DRUHU DŘEVINY NA PŘÍDRŽNOST FRP KOMPOZITU

THE INFLUENCE OF WOOD SPECIES ON FRP COMPOSITE ADHESION

Abstrakt

Vnější vyztužující elementy mají za úkol zvyšovat tuhost konstrukčního prvku, proto je k zajištění přenosu napětí nutná jejich co nejvyšší přídržnost k povrchu adherendu. Při vyztužování dřevěných prvků pomocí FRP kompozitů ovlivňuje kvalitu spoje několik faktorů, zejména druh a vlastnosti lepidla, vlhkost dřevěného prvku, stáří dřeva, opotřebení či úprava vyztužovaného povrchu. Protože vlastnosti jednotlivých druhů dřevin se liší na základě mikroskopického uspořádání jejich struktury, lze předpokládat, že z velké části bude přídržnost vnějších vyztužujících elementů záviset právě na druhu dřeviny.

V tomto článku je popsáno zkoušení čtyř druhů dřevin standardně používaných pro stavební účely v středoevropském regionu vyztužených při vnější straně kompozitem, tvořeným tkaninou ze skelných vláken a matricí z epoxidové pryskyřice plnící funkci adheziva. Porovnání přídržnosti bylo provedeno zkouškou smykové pevnosti dle ČSN EN 302-1. Současně s ověřením trvanlivosti FRP/dřevo kompozitu byla u vyztužených prvků provedena i infračervená absorpční spektroskopická analýza sledující případné změny síťování adheziva během vytvrzování.

Klíčová slova

GFRP, smyková pevnost, epoxidová pryskyřice, infračervená absorpční spektroskopie

Abstract

The role of external reinforcement is to increase the rigidity of structural element, therefore its adherence has to be as good as possible to ensure transfer of stress. The quality of joint of timber members reinforced using fiber reinforced polymer composites is influenced by several factors, such as the type and properties of used adhesive, timber member moisture content, the age and adjustment of surface. The properties of wood species are different due to their microscopic structure organization, so it can be assumed, that the adherence of FRP composite will depend on which wood species was reinforced.

This paper describes the testing of four wood species commonly used in Central European region externally reinforced using the composite consisting of glass fiber fabric and an epoxy resin matrix. The resin was also used as adhesive. The adherence was compared performing the shear strength testing according to standard ČSN EN 302-1. Concurrently with the durability of FRP wood composite testing were removed samples of epoxy resin for infrared absorption spectroscopy analyses to observe the cross-linking changes during post curing.

Keywords

GFRP, shear strength, epoxy resin, infrared absorption spectroscopy.

¹ Ing. Anna Benešová, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: (+420) 541 147 521, e-mail: benesova.a@fce.vutbr.cz.

² Ing. Jan Vaněrek, Ph.D., Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: (+420) 541 147 514, e-mail: vanerek.j@fce.vutbr.cz.

1 ÚVOD

Kompozitní materiály vytvořeny spojením tkaniny ze skelných, aramidových nebo uhlíkových vláken a matrice s polymerní bází se užívají k zesilování konstrukcí. Vnější vyztuž zvyšuje tuhost konstrukčního prvku ve směru namáhání a je aplikována dodatečně. Zesílení se provádí v rámci sanačních prací u dřevěných prvků stropních či střešních konstrukcí za splnění aplikačních požadavků vyplývajících z vlastností FRP materiálu. Hlavní úkoly vnějšího vyztužování jsou dosažení lokálního přemostění praskliny nebo trhliny, zmenšení průřezu konstrukčního prvku nebo zvýšení pevnosti dřeva nižší pevnostní třídy.

Únosnost spoje FRP/dřevo kromě charakteristik vyztužujícího elementu a adheziva závisí především na druhu a vlastnostech dřevěného prvku. Míru přídržnosti ovlivňuje zejména vlhkost použitého dřeva a pórovitost struktury na ploše, která je vyztužována. Tyto dvě vlastnosti mají největší vliv na samotnou přídržnost vyztužujícího systému k adherendu, resp. odvíjí se od ní samotná hloubka penetrace adheziva i samotná tloušťka lepené vrstvy.

2 MATERIÁLY A METODY

Zkušební vzorky ze čtyř rozdílných dřevin byly vyrobeny a následně zkoušeny podle požadavků normy ČSN EN 302-1 pro stanovení smykové pevnosti. Tvorba makromolekul adheziva v časovém horizontu (při síťování polymerního lepidla a v průběhu vytvrzování) byla sledována pomocí analytické metody infračervené absorpční spektroskopie.

2.1 Příprava vzorků

Vyztužovány byly dřeviny borovice (*Pinus sylvestris*), dubu (*Quercus robur*), modřínu (*Larix decidua*) a smrku (*Picea abies*). Jejich průměrná objemová hmotnost zjištěná v rámci experimentu je uvedena v tabulce 1. FRP kompozit byl tvořen tkaninou ze skelných vláken Tyfo-SEH-51A s tloušťkou vláken 0,36 mm a matricí z dvousložkové epoxidové pryskyřice Tyfo® S od firmy FYFE. Jedná se o diglycidyl éter bisfenolu A (DGEBA) s amino-polyoxypropylenediaminovým tvrdidlem. Pryskyřice byla připravena v mísicím poměru pryskyřice/tvrdidlo 100/34,5 dílů hmotnostně.

Tab. 1: Průměrné objemové hmotnosti vybraných dřevin ve vysušeném stavu

Druh dřeviny	Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]
Borovice	550
Dub	619
Modřín	584
Smrk	546

Pro lepení byly připraveny dřevěné hoblované desky o rozměrech 200×550 mm, vyztužování se provádělo na tangenciální ploše při průměrné vlhkosti cca 9,2 až 10,1 % pro všechny dřeviny. V první fázi se provedla impregnace vyztužované plochy a prosycení tkaniny epoxidovou pryskyřicí samostatně, po částečném vytvrzení se provedl opětovný nátěr vyztužované plochy a poté přiložení tkaniny. Po vytvrzení bez vnějšího působícího tlaku, které trvalo 24 hodin, se aplikovala vnější krycí vrstva tkaniny stejným adhezivem vyrovnávající povrch kompozitu.

Dle pokynů výrobce byly vzorky vystaveny 72 hodin prostředí s teplotou 60°C a vlhkostí vzduchu 65% v klimatizační komoře, aby bylo zajištěno správné vytvrzování pryskyřice. Po vytvrzení byly vzorky nařezány dle požadavků normy ČSN EN 302-1 a zkoušeny na smykovou pevnost. Zkušební tělesa měla v porovnání s normou větší tloušťku, tedy jejich rozměry byly 8×20×150 mm, s prořezy pro vymezení smykové plochy.

Norma ČSN EN 302-1 předepisuje pět typů expozice, které simulují nepříznivé podmínky při vystavení lepeného dřevěného prvku vlhkosti. Na základě dosažené hodnoty smykové pevnosti je poté typ lepidla zařazen do třídy, která určuje zejména jeho použití v interiéru nebo exteriéru. Nařezané vzorky byly vystaveny působení expozice A1, A3 a A5. Popis těchto expozic je v tabulce 2.

Tab. 2: Expozice, kterým byly vzorky vystaveny, dle ČSN EN 302-1 [1]

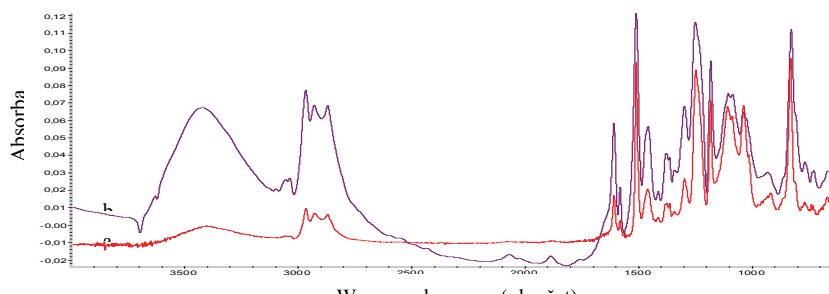
Ozn.	Expozice
A1	7 dní ve standardním prostředí ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$)
A3	4 dny ponoření ve vodě při $20 \pm 5^\circ\text{C}$ Opětne kondicionování ve standardním prostředí ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$) do dosažení původní hmotnosti Zkouší se v suchém stavu
A5	6h ponoření ve vařící vodě 2h ponoření ve vodě při $20 \pm 5^\circ\text{C}$ Opětne kondicionování ve standardním prostředí ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$) do dosažení původní hmotnosti Zkouší se v suchém stavu

2.2 Smyková pevnost

Stanovení smykové pevnosti bylo prováděno na přístroji Testometric M350-20CT. Kromě nejvyšší dosažené síly bylo zaznamenáno i procento porušení smykové plochy ohraničené 3 mm prořezy v dřevní hmotě i kompozitu.

2.3 Infračervená absorpční spektroskopie

Referenční vzorky (A1) pro infračervenou absorpční spektroskopii byly podrobeny následujícímu expozičnímu cyklu (vytvrzování v laboratorních podmínkách po dobu 24 hodin, poté 72 hodin vystavení teplotě 60°C a relativní vlhkosti vzduchu 65% v klimatizační komoře, sedmi denní aklimatizace ve standardním prostředí $20 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu $65 \pm 5\%$). Protože všechny odebrané vzorky byly analyzovány metodou ATR pomocí přístroje Thermo Nicolet™ 380 FT-IR Spectrometer, bylo nutné provést analýzu objektivnosti této metody s metodou přesnější, transmisní. Srovnání obou způsobů analýzy vzorků proběhlo po vytvrzení vzorků po dobu 24 hodin. Srovnávací vzorek pro transmisní měření byl po vytvrzení zmrazen v kapalném dusíku a rozemlet na jemný prášek, ze kterého smícháním s bromidem draselným (sloučenina inaktivní v infračervené oblasti) byla vyrobena tableta. Transmisní metoda analýzy je přesnější než ATR, porovnáním spektrogramů vzorku slisovaného do tablety a vzorku měřeného na nástavci pro ATR byla tedy zjištěna míra nepřesnosti použité metody. Toto porovnání je znázorněno na obrázku 1.



Obr. 1: Porovnání spektrogramů vzorků epoxidové pryskyřice měřených metodou ATR (a) a transmisně (b)

Z obrázku 1. je zřejmé, že míra nepřesnosti metody ATR v porovnání s transmisní metodou je v tomto případě velmi nízká. Průběh křivek je totožný a intenzita pík obou spektrogramů si na většině vlnočtů odpovídá. Píky menší intenzity v rozmezích vlnočtů 1700cm^{-1} až 2100cm^{-1} byly sice metodou ATR zaznamenány, ale bez porovnávacího vzorku by je nebylo možné identifikovat. Protože však spektrogram obsahuje dostatečné množství charakteristických pík pro epoxid, metoda ATR bude pro hodnocení postačující.

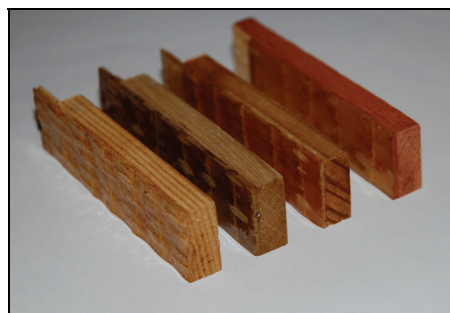
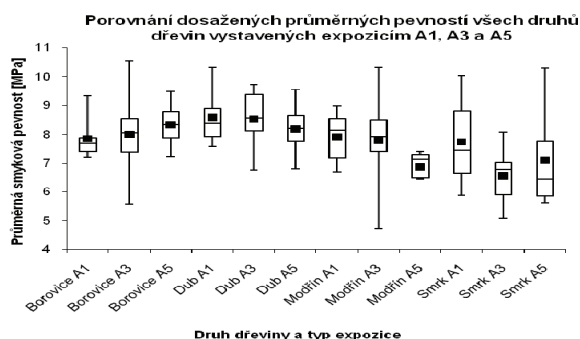
3 VYHODNOCENÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

3.1 Smyková pevnost

Norma ČSN EN 302-1 pro hodnocení smykové pevnosti lepeného spoje při vystavení pěti různým expozicím je vlastně zrychlenou zkouškou trvanlivosti tohoto spoje pod zvyšujícím se stupněm namáhání lepené spáry v důsledku objemových změn dřeva. Výsledky smykové zkoušky jsou uvedeny v tabulce 3. a rovněž zobrazeny v grafu na obrázku 2.

Tab. 3: Vyhodnocení smykové zkoušky pro všechny dřeviny v normovaných expozicích A1, A3 a A5

Druh dřeviny	Expozice	Smyková pevnost [MPa]	Směrodatná odchylka	Porušení ve dřevě
Borovice	A1	7,9	0,704	100,0 %
	A3	8,0	1,497	98,3 %
	A5	8,3	0,747	91,7 %
Dub	A1	8,6	0,916	100,0 %
	A3	8,5	0,995	98,3 %
	A5	8,2	0,861	100,0 %
Modřín	A1	7,9	0,846	92,5 %
	A3	7,8	1,674	46,7 %
	A5	6,9	0,398	78,3 %
Smrk	A1	7,7	1,461	80,0 %
	A3	6,6	0,974	100,0 %
	A5	7,1	1,648	81,7 %



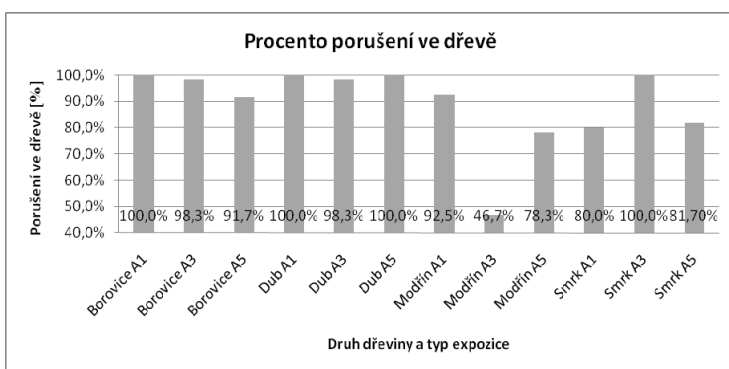
Obr. 2: Graf porovnání dosažených průměrných hodnot smykových pevností zkoušených dřevin vystavených expozicím A1, A3 a A5, ■ - průměrná smyková pevnost, obdélník - oblast mezi kvartily, rozdělovací čára - střední hodnota, chybové úsečky - hodnoty minima a maxima

Obr. 3: Vzorky jednotlivých druhů dřevin vystaveny expozici A5 porušeny smykem. Zleva: borovice, dub, modřín, smrk.

Nejvyšších hodnot smykové pevnosti bylo dle předpokladu dosaženo u vzorků dubového dřeva, což lze obecně přičíst otevřené pórovitosti na tangenciální lepené ploše. Průměrné hodnoty smykové pevnosti jehličnatých dřevin jsou na přibližně stejné úrovni. Klesající tendence hodnot úměrná zvýšení nepříznivých podmínek v expozicích A3 a A5 je zcela porušena u borovice a částečně u smrku. Smyková pevnost borovice v jednotlivých expozicích mírně stoupá, ale celkový nárůst pevnosti u vzorků vystavených expozici A5 činí pouze 5,1%. Podobné hodnoty relativní změny pevnosti 4,9% bylo dosaženo u dubu, zde se ovšem jedná o pokles smykové pevnosti vyztužovaného vzorku. Nejvyšších hodnot poklesu bylo dosaženo u modřínu a u smrku, u smrku vystaveného expozici A3 až o 16,6%.

Kromě smykové pevnosti byl hodnocen i způsob porušení vzorku. Dojde-li k porušení ve dřevě, jedná se o kohezní porušení a lze tedy předpokládat, že únosnost spoje je vyšší než stanovená smyková pevnost. Jak je patrné z grafu na obrázku 4., ve spoji došlo k porušení převážně u modřinu a smrku, tyto dvě dřeviny budou tedy i vzhledem k nižším hodnotám smykové pevnosti méně vhodné k vnějšímu vyztužování pomocí FRP kompozitů. Pro zlepšení kvality spoje je možné zvýšit přídržnost těchto dřevin penetrací povrchu dřeva chemickými činidly zlepšujícími mezifázové napětí před vlastní aplikací epoxidu (HMR, MME aj). Výjimkou jsou pouze vzorky smrku vystaveny prostředí A3, kde bylo dosaženo 100% porušení ve dřevě. Vzhledem k nízké dosažené smykové pevnosti se jedná o vadný kus dřeva. Následné vizuální posouzení vzorků z tohoto kusu dřeva odhalilo na průřezu větší vzdálenost mezi letokruhy. Vyšší pórovitost a tudíž i menší pevnost adherendu zapříčinily, že smykové namáhání bylo přeneseno spojem a vnějším vyztužením, a k porušení došlo vždy v dřevní hmotě.

Pro další hodnocení způsobu poškození, ať už kohezního či adhezního, a míry pórovitosti lepeného povrchu, bude v následujících etapách přistoupeno k bližší mikroskopické analýze ploch či mikroskopické fluorescenční analýze určující hloubku proniku adheziva do struktury dřeva.

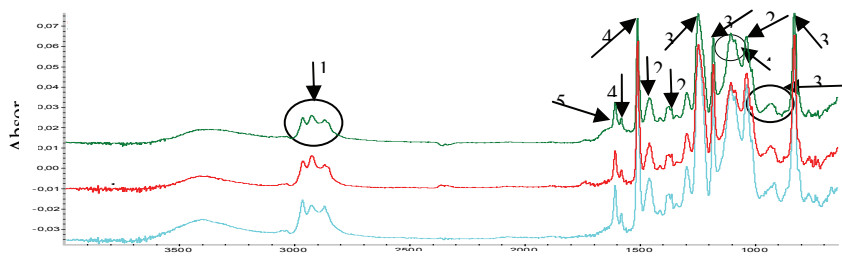


Obr. 4 Graf zobrazující průměrné porušení vzorků jednotlivých druhů dřevin vystavených působení vybraných expozic

3.2 Infračervená absorpční spektroskopie

Všechny zkoušené vzorky byly analyzovány metodou ATR. Odběr vzorků byl proveden z krycí vrstvy tkaniny po zahřátí na 100°C během pěti minut. Takový odběr vzorku nezpůsobí poškození jeho struktury.

Z průběhu křivek spektrogramů na obrázku 4. je možné vyvodit závěr, že ke vzniku makromolekul dochází již během prvních 24 hodin vytvrzování. Chemické složení ani struktura makromolekul se během dalšího vytvrzování již nemění. Na obrázku 4 jsou rovněž označeny typické vazby epoxidu, vlnočty jejich spektrálních páسů jsou uvedeny v tabulce 4.



Obr. 3 Spektrogramy vzorků epoxidového adheziva analyzovány po 24 hodinách vytvrzování v laboratoři (a), dalším vytvrzování 72 hodin při 60°C (b) a po 7 dnech ve standardním prostředí (c)

Tab. 4 Typické epoxidové vazby - vlnočty píků [2]

Vazby typické pro epoxidy			
Č.	Oblast	Typ vibrace	Píky na spektrogramu
1	3000 – 2800 cm ⁻¹	CH valenční vibrace	2966, 2932, 2870
2	1460 – 1340 cm ⁻¹	CH deformační vibrace	1458, 1343
3	1240 – 1170 cm ⁻¹ 950 – 860 cm ⁻¹ 865 – 785 cm ⁻¹	Epoxidová vazba (éter C-O-C) asym. Epoxidová vazba (éter C-O-C) sym Epoxidová vazba - vnitřní pozice (trans) Epoxidová v. - vnitřní pozice (cis) kruhová	1248 1181 915 (top)* 828
4	1110 – 1030 cm ⁻¹ 1580 – 1510 cm ⁻¹	(aromatické jádro) Ar-O-CH ₂ - Aromatické jádro, vazba C=C	1106, 1035 1580, 1510
5	1650 – 1590 cm ⁻¹	Aminové skupiny - tvrdidlo	1605
* vibrace je plynulá v oblasti 900 – 950 cm ⁻¹			

4 ZÁVĚR

Experimentálně bylo dokázáno, že druh dřeviny skutečně ovlivňuje přídržnost FRP kompozitu k povrchu dřevěného prvku. U zkušebních těles z dubu jako listnaté dřeviny s otevřenou pórovitou strukturou ovlivňující i míru pórovitosti na tangenciální vyztužované ploše bylo dosaženo nejvyšších hodnot smykové pevnosti při minimálním adhezním porušení v oblasti spoje. Smyková pevnost lepené spáry je tedy ještě vyšší a to díky možnosti hlubší penetrace adheziva při impregnaci vyztužované plochy. U jehličnatých dřevin, jejichž pórovitost nedosahuje takových hodnot jako u listnáčů, lze ke zvýšení kvality spoje využít penetrace vhodným chemickým činidlem.

Klesající tendence pevností při zkouškách trvanlivosti byla proti předpokladům porušena u borovice, nárůst pevnosti byl ovšem velmi nízký. Obecně se smyková pevnost snižuje, je-li zkoušený vzorek vystaven cyklickému působení vlhkosti, a to kvůli namáhání spoje v důsledku objemových změn dřevní hmoty. Tento trend byl u všech ostatních typů dřevin experimentálně potvrzen. Vzorky smrku vystavené expozici A3 byly vzhledem k nízké dosažené smykové pevnosti a 100% porušení v dřevní hmotě z vadného kusu dřeva. Vizuálním posouzením byla zjištěna výrazně větší vzdálenost mezi letokruhy dřeva, která způsobila jeho nižší pevnost.

Z výsledků analýzy pomocí infračervené absorpční spektroskopie vyplývá, že ke vzniku makromolekul dochází již v prvních 24 hodinách po smísení složek lepidla a jejich struktura se během dalšího vytvrzování již nemění.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění Grantové agentury ČR, projekt P104/11/1557 Komplexní hodnocení trvanlivosti dřevěných lepených prvků a Specifického výzkumu č.: FAST-J-11-32 Hodnocení kvality lepidel pro dřevěné konstrukční lepené spoje pomocí infračervené absorpční spektroskopie - vývoj metodiky přípravy vzorků a měření.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 302-1 *Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Metody zkoušení – Část 1: Stanovení podélné smykové pevnosti*. Třídící znak 668531, datum vydání 1. 12. 2004
- [2] SVEHLA, G. *Comprehensive analytical chemistry VI*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier scientific publishing company, 1976, 555 pp. ISBN 0-444-41165-8.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB–TU Ostrava.

Ing. Petr Hradil, Ph.D., VTT Technical Research Centre of Finland, P.O.Box 1000, FIN-02044 VTT.

Sborník vědeckých prací
Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava
číslo 2, rok 2011, ročník XI, řada stavební

Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava
No. 2, 2011, Vol. XI, Civil Engineering Series

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, je členem
Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v České republice.
(seznam zřizuje Rada pro výzkum a vývoj vlády ČR)

Redakční rada:

Šéfredaktor: doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební
Zástupce šéfredaktora: doc. RNDr. Hrubešová Eva, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Členové redakční rady:

prof. Ing. Radim Čajka, CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební
Dr. Peter Dusicka, Ph.D., P.E., Portland State University, USA
doc. Ing.arch. Ján Ilkovič, CSc., Fakulta architektúry STU v Bratislave, Slovensko
doc. Ing. Janas Petr, CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební
prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Ústav geoniky AV ČR a VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební
prof. Ing. Jozef Melcer, DrSc., Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Slovensko
doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ing.arch. Hana Pačlová, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební
Ing. Jindřich Pater, ČKAIT, oblastní kancelář Ostrava
prof. Dr.hab. inž. Jaroslav Rajczyk, Fakulta stavební, Polytechnika Czestochowa, Polsko
doc. Ing. Vlastislav Salajka, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební
doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc., Ústav geoniky AV ČR
prof. dr hab. inž. Jerzy Wyrwal, Fakulta stavební, Polytechnika Opole, Polsko

Technický redaktor:

Markéta Maluchová, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Publikované články jsou recenzovány.
Za jazykovou správnost odpovídá autor.

Adresa redakce:

Ludvíka Podéště 1875/17
708 33 Ostrava - Poruba
Česká republika

web: <http://www.fast.vsb.cz/cs/okruhy/veda-a-vyzkum/odborna-cinnost-fakulty/sbornik-vedeckych-praci>

© Vydala Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Tisk a vazba: Printo s.r.o., Gen. Sochora 1379/6, 708 00 Ostrava-Poruba

Náklad: 150 ks

Neprodejné

ISSN 1213-1962