



1 2012
ročník XII

**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

FOJTÍK Roman, NOVOTNÝ Tomáš NOVÝ ZTUŽUJÍCÍ SYSTÉM VERTIKÁLNÍCH OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ	1
JANULÍKOVÁ Martina, ČAJKA Radim, MATEČKOVÁ Pavlína, STARÁ Marie MODELOVÁNÍ ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ S KLUZNOU SPÁROU S VYUŽITÍM VÝSLEDKŮ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK ASFALTOVÝCH PÁSŮ.....	5
STARÁ Marie, ČAJKA Radim, MATEČKOVÁ Pavlína, JANULÍKOVÁ Martina LABORATORNÍ MĚŘENÍ PŘEDPJATÉHO ZDIVA	11
ENDEL Stanislav, PETEROVÁ Jana MOŽNOSTI VYUŽITÍ MITIGAČNÍCH OPATŘENÍ PŘI REGENERACI BROWNFIELDS	17
FERKO Martin, ČESELSKÝ Jan MODIFIKACE ODHADU MEZIROČNÍHO ODPADU BYTŮ Z PŘEDBĚŽNÝCH VÝSLEDKŮ SLDB 2011	25
KOLARČÍKOVÁ Eva, KALUŽÍKOVÁ Jana BEZBARIÉROVÉ SOUKROMÉ A SPOLEČNÉ CENTRÁLNÍ HYGIENICKÉ PROSTORY V OBJEKTECH SOCIÁLNÍ PÉČE	31
PETŘÍK Tomáš, LEDNICKÁ Markéta, KALÁB Zdeněk, HRUBEŠOVÁ Eva HODNOCENÍ TECHNICKÉ SEIZMICITY V OKOLÍ REKONSTRUOVANÉ KOMUNIKACE.....	39
PINKA Miroslav, STOLÁRIK Martin, FOJTÍK Roman, PETŘÍK Tomáš EXPERIMENTÁLNÍ SEIZMICKÉ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ KONSTRUKCI A NÁSLEDNÁ ANALÝZA	49
STAŠ Jan OPRAVY A ÚPRAVY VODNÍCH TOKŮ PO POVODŇOVÝCH ŠKODÁCH.....	59
VOJTASÍK Karel, HRUBEŠOVÁ Eva, MOHYLA Marek DEFORMAČNÍ CHARAKTERISTIKA OSTĚNÍ ZE STRÍKANÉHO BETONU A OCELOVÝCH PŘÍHRADOVÝCH NOSNÍKŮ	67
ČMIEL Filip, FABIAN Radek, JAROŇ Zdeněk OVĚŘENÍ VYBRANÝCH TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ AEROTHERMU.....	73
JÁŠEK Marek FINANČNÍ POROVNÁNÍ TRADIČNÍ A NOVODOBÉ METODY PRO ZESILOVÁNÍ ZDĚNÝCH SLOUPŮ	81
JÁŠEK Marek POČETNÍ POSOUZENÍ TECHNOLOGIE HELIBEAM PŘI ZESÍLENÍ ZDĚNÉHO DOSTŘEDNĚ NAMÁHANÉHO SLOUPU.....	87
KRAUS Michal, KUBEČKOVÁ SKULINOVÁ Darja ANALÝZA ZÁVISLOSTI VZDUCHOTĚSNOSTI BUDOVY NA KONSTRUKČNÍM SYSTÉMU	93
ORAVEC Pavel, HAMALA Michal, ŘÍHA Radovan PROBLEMATIKA PROKRESLOVÁNÍ HMOŽDINEK NA VNĚJŠÍ POVRCH ETICS.....	103

PEŘINA Zdeněk

OVĚŘOVÁNÍ HODNOT POŘÍZENÝCH INFRAČERVENÝM RADIOMETRICKÝM DLOUHOVLNNÝM SYSTÉMEM V ZÁVISLOSTI NA VYBRANÝCH OKOLNÍCH VLIVECH PROSTŘEDÍ.....	113
--	-----

SOLAŘ Jaroslav

TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ VNITŘNÍCH STĚNOVÝCH DUTIN V RÁMCI NÁVRHU SANACE VLHKÉHO ZDIVA	123
--	-----

KŘÍVDA Vladislav, MAHDALOVÁ Ivana

PROBLEMATICKÉ ODBOČOVÁNÍ AUTOBUSŮ NA CHYBNĚ NAVRŽENÉ KŘÍŽOVATCE	131
--	-----

KREJSA Martin

PRAVDĚPODOBNOSTNÍ VÝPOČET ŠÍŘENÍ ÚNAVOVÉ TRHLINY S VYUŽITÍM PROGRAMU FCPROBCALC	141
--	-----

SUCHARDA Oldřich, BROŽOVSKÝ Jiří

VLIV VYBRANÝCH PARAMETRŮ NELINEÁRNÍ ANALÝZY BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ	151
--	-----

WÜNSCHE Martin

CYKlickÉ TESTY A METODY ZESILOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH STYČNÍKŮ S RYBINOVÝM SPOJEM	159
---	-----

WÜNSCHE Martin

VYUŽITÍ MKP K MODELOVÁNÍ STROPNÍCH KONSTRUKCÍ PŘI CYKlickÉM ZATĚŽOVÁNÍ	165
---	-----

ČERNÍKOVÁ Marcela, ORAVEC Pavel, PANOVEC Vladan

MĚŘENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ SKEL OKENNÍCH VÝPLNÍ PO PĚTI LETECH UŽÍVÁNÍ.....	171
---	-----

DRDA Milan, MARTINÍK Lubomír

OPTIMALIZACE NÁVRHU VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY POMOCÍ LCC ANALÝZY	177
---	-----

Roman FOJTÍK¹, Tomáš NOVOTNÝ²

NOVÝ ZTUŽUJÍCÍ SYSTÉM VERTIKÁLNÍCH OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

THE NEW SYSTEM OF STEEL STRUCTURE VERTICAL BRACING

Abstrakt

Výstavba objektů, jejíž konstrukce musí odolávat horizontálním silám, které tvoří především proud vzduchu, zemětřesení a mnoho dalších, klade zvýšené nároky na ztužení odolávající těmto silám. Mezi tyto konstrukce především patří stožáry, rozhledny a výškové budovy. Velké štíhlosti vertikálních konstrukcí, vyžadující vyšší nároky na tuhost ztužidel, přinášejí prostor pro nové netradiční řešení, které je předmětem uvedeného článku.

Klíčová slova

Ztužidlo, ocel, výškové budovy, rozhledny, seismicita.

Abstract

Construction of buildings whose design must withstand the horizontal forces, consisting primarily of wind stream, water, earthquake, and many others, puts greater demands on the reinforcement to withstand these forces. These structures include masts, towers, high-rise buildings and more. Large slender vertical structures requiring higher stiffness bracing provide space for new innovative solution, which is the subject of the article.

Keywords

Bracing, steel, high-rise buildings, towers, seismicity.

1 ÚVOD

Od vzniku prvních obydlí byla snaha stavět budovy, především náboženského významu, blížící se obloze. Při použití tradičních materiálů a technologií užívajících především stěnový systém, začaly vyrůstat první mrakodrapy (Home Insurance, 1885, New York) [1]. Tyto objekty neměly výrazné problémy s horizontálními silami, protože poměr výšky ku šířce se „přibližoval“ hodnotě 1:1 a také stěnový systém zajišťoval dostatečnou vodorovnou tuhost. Z důvodu velké hmotnosti a relativně malé pevnosti, nebylo možné překročení limitní výšky. Při použití nových materiálů pro výstavbu štíhlých výškových konstrukcí jako je železobeton a ocel, které umožnily realizovat relativně lehké skeletové štíhlé konstrukce, docházelo s rostoucí výškou ke zvýšeným nárokům na ztužení konstrukcí tzv. „daň z výšky“. Od doby prvních mrakodrapů bylo do dnešních dnů vystavěno nespočet výškových budov, které byly realizovány za pomoci nových materiálů a především konstrukčních systémů. Téměř každá výšková budova snažící se překonat dosavadní velikány přichází s novým konstrukčním řešením. Skok od prvního mrakodrapu k poslednímu je bezmála 780 m. Jedním z důležitých prvků konstrukčního systému je ztužení zajišťující stabilitu konstrukcí.

¹ Ing. Roman Fojtík, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 398, e-mail: roman.fojtik@vsb.cz.

² Dr. Ing. Tomáš Novotný, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 357, e-mail: tomas.novotny@vsb.cz.

2 PŘEHLED ZTUŽUJÍCÍCH SYSTÉMŮ

Patrové budovy běžných rozměrů využívají především dva základní typy vertikálních ztužujících systémů.

Prvním typem jsou příhradová ztužidla, která se provádějí v různých modifikacích. Obecně se uvažují jako „tažené diagonály“, jejíž výhodou je subtilní profil, ale z důvodu malé plochy táhla dochází k větším vertikálním deformacím. Další alternativou příhradového ztužení je přenášení tlakových sil, které z důvodu velkého vzpěru, vyžadují navýšení průřezu profilu diagonál.

Druhým typem jsou rámová ztužidla tvořena tuhými rámovými přípoji přenášející kromě osových sil také značné ohybové momenty. Tento typ ztužení je omezen především tuhostí a pracností styčníků.

Popsané vertikální ztužující systémy lze použít pro objekty výšky 30 až 40 pater s poměrem výšky ku šířce objektu nepřesahující 6:1. Pro budovy dosahující 60 pater je nutné navíc vkládat ztužující pásy, tvořené doplňkovými ztužidly probíhajícími po výšce i šířce celého patra, tak aby byly do přenosu vodorovných sil zapojeny i svislé sloupy objektu. Stavby přesahující 60 pater většinou využívají tzv. „trubkového systému“, který byl vyvinut v USA.

Základním principem trubkového systému je vytvoření velmi tuhého obvodu konstrukce s volným vnitřním prostorem. Tento systém může být realizován jako „rámový“ (framed tubes) pomocí hustého ukládání fasádních sloupků spojených mezi sebou příčlemi s rámovými spoji. Příkladem užití této technologie bylo „World Trade Center“. Dalším typem trubkového systému je „příhradový trubkový systém“ (braced tubes). Mezi nejznámější užívané příhradové ztužení patří „příhradová megakonstrukce“ tvořená příhradovými diagonálami velkých profilů procházející přes několik pater. Velkou výhodou tohoto systému je kromě jiného také přenos svislých sil. Zástupcem užívající tohoto systému je „J. Hancock Center“. Jednou z dalších modifikací trubkového systému je „svazek trub“ (bundled tubes), který využívá předchozích systémů ve shluku samostatných trub navzájem spojených [2]. Nejvyšším zástupcem je „Burj Khalifa“ s výškou 828 m.

2.1 Zatížení a statické řešení

Všechny vertikální štíhlé konstrukce jsou kromě běžných svislých zatížení, jakou je vlastní tíha, užitém zatížení, zatížení sněhem a další, vystaveny značným, především vodorovným silám od účinků větru, zemětřesení, imperfekcí a dalších.

Vítr působící na štíhlé vysoké konstrukce převyšující okolní terén a zástavbu působí velkými silami na konstrukci. První vlastní frekvence štíhlých konstrukcí velmi často padá pod hranici 4 Hz někdy i 1 Hz, čímž vyplývá nutnost uvažování dynamických účinků větru a také seismicity.

Zemětřesení v ČR je relativně nevýznamné, oproti seizmicky aktivním oblastem světa. Nicméně dle ČSN EN 1998 se v ČR nacházejí oblasti s nízkou a větší než nízkou seismicitou charakterizovanou hodnotou návrhového zrychlení vyšší než 0,04 g [3]. V těchto oblastech, např. na Chebsku či Ostravsku, je nutné s tímto typem zatížení také uvažovat.

Imperfekce vyjadřuje vliv vychýlení konstrukce z vertikální polohy na vnitřní síly. Tyto nepříznivé účinky narůstají s výškou a tíhou svislého zatížení. Dalšími nepříznivými vlivy jsou: „vliv zkrácení sloupů od svislého zatížení, interakce s podložím (překlopení), teplotní roztažnost konstrukce“ [2].

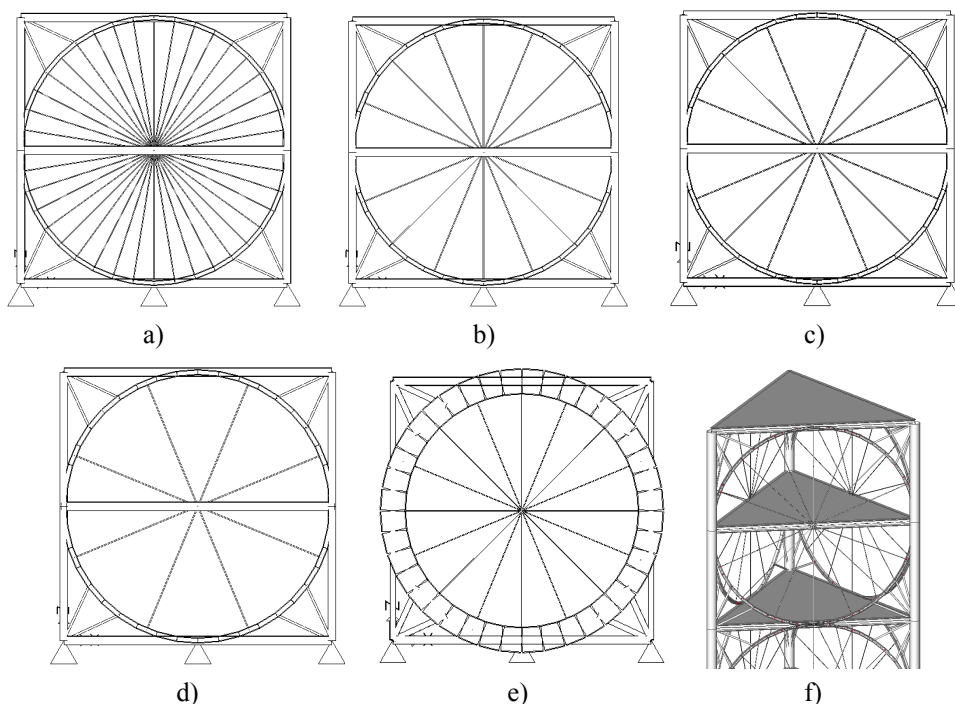
3 NOVÝ OBRUČOVÝ ZTUŽUJÍCÍ SYSTÉM

Základní požadavky na ztužující systém vyplývají z jeho funkce a umístění v konstrukci. Účelem tohoto ztužujícího systému je přenos vodorovných sil od větru, zemětřesení a imperfekcí. Kromě přenosu horizontálních sil, které přenášejí všechny ztužující systémy, umožňuje obručový tvar ztužidla přenos i vertikálních zatížení, jako je vlastní tíha konstrukce, užité zatížení a další. Při implementaci obručového systému jako stěnového ztužidla do trubkového systému výškových budov, získáme minimální plochu konstrukce ztužidla, zabraňující výhledu z objektu. Poslední a nejdůležitější vlastností ztužidla jsou výhodné statické a dynamické vlastnosti. Obruč jakožto

zakřivený uzavřený prvek (ideál kruh) velmi dobře přenáší velké tlakové síly za předpokladu stability obruče, kterou zajišťují táhla ukotvená do středu obruče [4]. Dynamické vlastnosti jednotlivých obručových ztužidel je možné v určité míře měnit pomocí předepínání jednotlivých ztužidel.

3.1 Postup vývoje obručového ztužidla

Na začátku bylo nezbytné zvolit správný profil obruče, který je namáhán velkým osovým tlakem. Ideálním průřezem jsou například uzavřené profily (trubka, hranatá trubka) nebo otevřený naplocho uložený profil U a profil HEA. Dalším krokem bylo stanovení optimálního počtu předpínacích táhel. Pomocí numerických modelů byly hledány nejvhodnější varianty umístění a počtu táhel. Cílem bylo nalezení vyváženého poměru využití konstrukce k její hmotnosti. Celkem bylo vytvořeno 6 variant numerického obručového ztužidla. Jednotlivé modely se lišily počtem táhel. Numerické modely o velikosti ztužidla v rámu 10×10 m byly zatíženy svislými a vodorovnými silami odpovídající budově výšky 70 m s půdorysem rovnostranného trojúhelníku o straně délky 10 m.



Obr. 1: Schémata návrhů obručových stěnových ztužidel a) 40 táhel, b) 16 táhel, c) 12 táhel, d) 8 táhel, e) obruč HEA 1000, f) schéma osazení ztužidla do konstrukce

První numerický model obsahoval 40 táhel (viz obr. 1a). Tato varianta se vyznačovala minimálními nároky na tuhost obruče způsobenou velkým počtem táhel, která rozdělila obruč na krátké úseky. Tento model se také vyznačoval velkou tuhostí a velkou hmotností předpínacích prvků. Dalšími numerickými modely byly obruče s 16, 14, 12 táhly (viz obr. 1b, 1c), jejichž poměr tuhosti a hmotnosti se přiblížil požadavkům. Zmíněné varianty vykazovaly optimální poměr využití obruče a táhel, proto volba nejvhodnější konstrukce ztužidla bude záviset na velikosti ztužující obruče a zatížení. Poslední variantou využívající shodné obruče s předcházejícími modely je varianta s 8 táhly (viz obr. 1d), která již vykazuje zvýšené nároky na tuhost obruče, čímž dochází k nárůstu hmotnosti celého obručového systému. Varianta vybočující z uvedené řady byla navržena z profilu HEA 1000 (viz obr. 1e), který by měl nahradit funkci obvodových sloupků. Tato varianta je naprosto nevhodná z důvodu extrémní hmotnosti. Díky velké tuhosti samotné obruče předpínací táhla již neplní svou funkci.

Všechny uvedené modely byly vytvořeny především za účelem získání základní geometrie konstrukce, nalezení optimálních profilů a představě o chování konstrukce. Všechny uvedené numerické modely byly vytvořeny v programu Scia Engineer.

3.2 Experimentální ověření funkčnosti obručového ztužidla

Konstrukční prvek obručového ztužidla je v současné době podrobován zátěžovým zkouškám v laboratoři FAST. Na základě předběžného návrhu geometrie byly vytvořeny zmenšené numerické modely 1:20. Výsledné profily testovaných vzorků byly omezeny parametry hydraulického lisu. Jednou z uplatněných metod měření je tenzometrie [5], jejíž výsledky pomohou s popisem chování vzorku při zatížení. Experimenty jsou rozloženy do tří etap. Každá etapa obsahuje tři vzorky. Jednotlivé etapy se liší velikostí vnesených předpínacích sil do táhel obručového ztužidla.

První etapa, jejíž výsledky jsou již známy, nebyla zatížena žádnými předpínacími silami. Výsledné chování konstrukce odpovídalo diagonálnímu působení ztužidla, bez zapojení zbývajících částí do spolupůsobení, dle předpokladů numerických modelů.

Další připravované etapy již zavádějí vliv předpětí, které je u 2. etapy vneseno hodnotou poloviční zbytkové síly při plném zatížení a 3. etapa využívá pro předpětí plné využití zbytkové únosnosti. Experimenty jsou prováděny pro získání smykové tuhosti obručového systému za pomoci speciálních příslušenství lisu určených pro smykové zkoušky.

4 ZÁVĚR

Obručový ztužující systém je konceptem netradičního řešení ztužení vertikálních konstrukcí, přinášející výhodné vlastnosti jakou jsou: „využití oceli v tahu a prostém tlaku, redukovatelná tuhost, relativně nízká hmotnost, laditelný útlum a také nekonvenční design“. Případné užití obručového systému v praxi je vhodné především pro rozhledny, případně i pro výškové budovy vyžadující architektonicky netradiční ztvárnění konstrukčního systému.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění „Specifického vysokoškolského výzkumu SP2012/1“ a „Nadace Tomáše Bati“.

LITERATURA

- [1] TERRANOVA, A. *Mrakodrapy*. 1. vyd. Praha: Slovart, 2004, 311 s. ISBN 80-720-9611-7.
- [2] STUDNIČKA, J. MACHÁČEK, J. VOTLUČKA, L. *Ocelové konstrukce 20: pozemní stavby*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998, 269 s. ISBN 80-010-1556-4.
- [3] KALÁB, Z. *Seizmická měření v geotechnice: monografie*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008, 125 s. ISBN 978-80-248-1796-5.
- [4] FOJTÍK, R. ROSMANIT, M. *A New Pre-Stressed Bracing System for Buildings*. CC2009: The 12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Funchal, Madeira, Portugal, September 2009, Proceedings and CD, ISBN: 978-1-905088-32-4.
- [5] TOMICA, V. ODROBIŇÁK, J. *Stochastic character of stress hot spots on a highway bridge*. Proceedings of XVIII. Russian-Slovak-Polish international seminary "Theoretical foundation of civil engineering", Moscow - Archangelsk, Russia, 2009. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009, pp. 329-336. ISBN 83-908083-8-2.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jaroslav Odrobiňák, PhD., Katedra stavebních konstrukcí a mostov, Stavební fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Doc. Ing. Václav Cepek, CSc., Ostrava.

Martina JANULÍKOVÁ¹, Radim ČAJKA², Pavlína MATEČKOVÁ³, Marie STARÁ⁴

**MODELOVÁNÍ ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ S KLUZNOU SPÁROU S VYUŽITÍM
VÝSLEDKŮ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK ASFALTOVÝCH PÁSŮ**

**MODELING OF FOUNDATION STRUCTURES WITH SLIDING JOINT USING
RESULTS OF LABORATORY TESTS OF ASPHALTS BELTS**

Abstrakt

Dlouhodobým výzkumným cílem problematiky reologických kluzných spár je přispět k aktualizaci stávajících výpočetních metod pro jejich navrhování. Aplikace kluzné spáry do základové konstrukce se využívá pro snížení tření, které může v základové spáře vznikat od účinků vodorovných zatížení (např. od vlivu poddolování). Správnost návrhu reologické kluzné spáry závisí především na znalosti mechanických vlastností materiálu kluzné spáry, nejčastěji asfaltových pásů, které se na fakultě stavební testují s využitím vlastního měřicího zařízení a klimatizační komory. V současné době neustále probíhá řada měření a výsledky jsou využívány např. pro numerické modelování. Tento příspěvek si klade za cíl ukázat možné přístupy k modelování asfaltové kluzné vrstvy v základové konstrukci a stručně shrnout jejich výhody i nevýhody.

Klíčová slova

Kluzná spára, asfaltový pás, základové konstrukce, modelování kluzné spáry.

Abstract

Long-term objective of rheological sliding joints research is to contribute to updating the existing computational methods for their design. Sliding joint are applied in foundation structure to reduce the friction which is caused in footing bottom due to horizontal deformation loading (e.g. effect of undermining, pre-stressing). Accuracy of rheological sliding joints design depends on knowledge of the mechanical properties of used materials. The most common materials for sliding joint are asphalt belts, which are tested at Faculty of civil engineering using own testing equipment and temperature controlled room. Currently, series of measurements have been carried out so that the results could be used for the numerical modeling. This papers aim is to present possible approaches to asphalt belt sliding joint numerical modeling in foundation structure and summarize their advantages and disadvantages.

Keywords

Sliding joint, asphalt belt, foundation structures, modeling of sliding joint.

¹ 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.

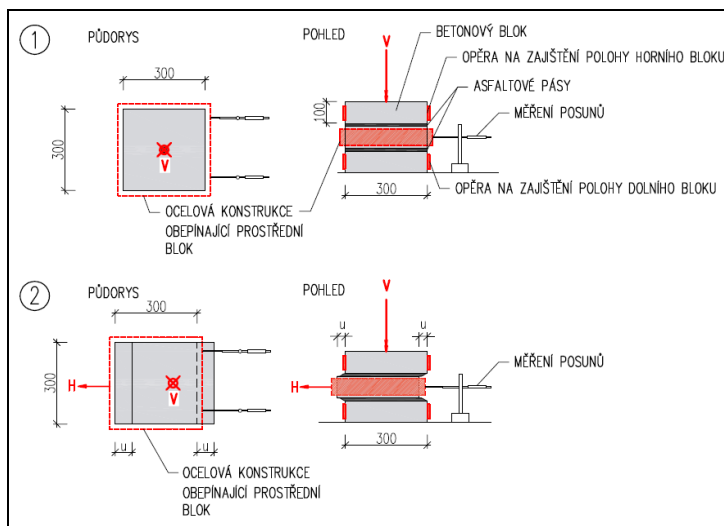
² Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

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.

1 ÚVOD

Abychom mohli reologické kluzné spáry správně navrhovat, je nutné znát mechanickou odezvu použitého materiálu při dlouhodobě působícím smykovém zatížení, přičemž nejčastěji používaným materiálem pro vytvoření kluzné spáry jsou právě asfaltové pásy viz [1] až [5]. V roce 2007 byly na stavební fakultě VŠB provedeny první měření na vlastním měřicím zařízení pro různé druhy asfaltových pásů za běžné laboratorní teploty [6]. Základní princip zkoušky je na Obrázku 1.



Obr. 1: Základní princip zkoušky asfaltových pásů

Tyto zkoušky volně navazovaly na zkoušky asfaltových pásů z 80. let [7]. Původní měřicí zařízení bylo v roce 2010 umístěno do klimatizační komory, která byla navržena a sestrojena speciálně pro zahrnutí vlivu teploty do výsledků zkoušek (Obrázek 2). Metodika měření se zahrnutím vlivu teploty a některé výstupy ze zkoušek byly blíže zpracovány například v [8].

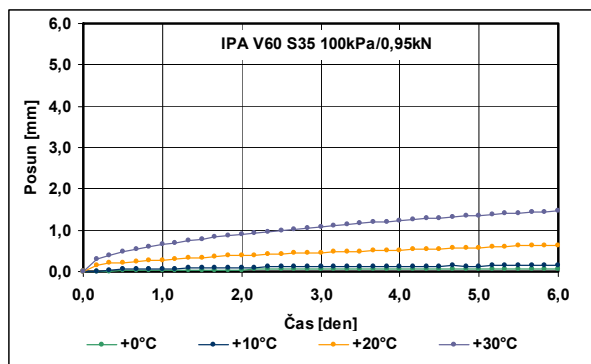


Obr. 2: Měřicí zařízení umístěné v klimatizační komoře

2 VÝSLEDKY LABORATORNÍCH ZKOUŠEK

Cílem těchto zkoušek bylo simulovat chování betonové konstrukce s aplikovanou kluznou spárou namáhanou poměrným vodorovným přetvořením, přičemž teplota prostředí byla regulována pomocí klimatizační komory. Po celou dobu měření byly sledovány hodnoty deformací, které asfaltový pás dovolí při dané teplotě a kombinaci zatížení (Obrázek 3). Obecně lze konstatovat, že při vyšších teplotách prostředí dochází vlivem změn mechanických vlastností asfaltových pásů k větším deformacím a naopak. Z naměřených deformací lze odvodit například tzv. třecí parametry C_{Ix} a C_{Iy} (viz [9] až [12].), které je možno definovat v některých komerčních programech a naleznou tak

využití v běžné projekční praxi Mimo jiné lze z výsledků zkoušek dopočítat také některé mechanické vlastnosti asfaltových pásů, které jsou využívány jako podklad pro numerické modelování základových konstrukcí s kluznou spárou, dále viz [13] až [16].



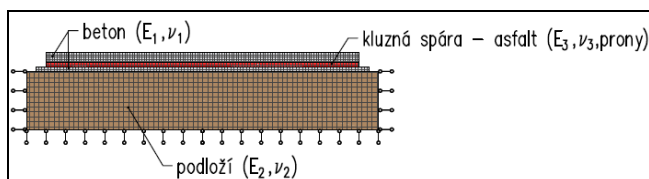
Obr. 3: Ukázka primárních výstupů z laboratorního testování asfaltových pásů

3 NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ

K numerickému modelování základových konstrukcí s kluznou spárou byl využit MKP program ANSYS 12.0. Pro názornost byl řešen jednoduchý základový pás ve 2D (Obrázky 4 a 6). Pro tvorbu samotného numerického modelu se nabízí dva základní způsoby. První možností je namodelovat asfaltovou vrstvu v její „reálné“ tloušťce a definovat vlastnosti této vrstvy prostřednictvím viskoelastického materiálového modelu. S pomocí těchto modelů lze zohlednit změny mechanických vlastností asfaltových pásů v čase, přičemž ty lze nadefinovat s využitím výsledků zkoušek při různých teplotách (Obrázek 4). Druhou možností je mezi základ a podkladní betonovou vrstvu, která se provádí vždy při aplikaci kluzné spáry pro ochranu asfaltového pásu, nadefinovat vlastnosti kontaktních prvků například pomocí součinitele tření (Obrázek 6).

3.1 Asfalt jako viskoelastický materiál

Asfalt je materiál, který při svém přetváření vykazuje viskoelastické chování, a proto se při jeho popisu často využívá teorie reologie [17]. Je to nauka o deformaci látek v závislosti na čase za působení mechanických vlivů. Základním principem reologické teorie při popisu chování materiálů s reologickými vlastnostmi je nahrazení skutečných látek látkami jednoduššími, snáze fyzikálně i matematicky popsatelnými, případně jejich kombinacemi. Např. litý asfalt a jeho vlastnosti takto idealizujeme pomocí tzv. Burgesovy hmoty.



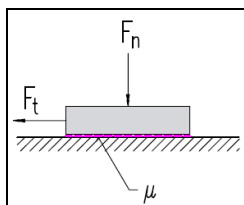
Obr. 4: Modelování kluzné spáry jako vrstvy s viskoelastickými vlastnostmi

Pro modelování asfaltových pásů v programu ANSYS byla využita idealizace pomocí modelu nelineárního materiálu s využitím rovnic Prony series, do kterých potřebujeme znát reologické konstanty. Ty lze jednoduše získat pomocí nástroje obsaženého v programu ANSYS na základě výsledků laboratorních zkoušek. Z výsledků zkoušek prováděných v klimatizační komoře se dopočítá smykový modul pružnosti pro jednotlivé okamžiky a na základě jeho průběhu jsou v ANSYSU automaticky dopočteny potřebné konstanty v daných časových intervalech. Takto jsou do modelu základového pásu zahrnuty materiálové vlastnosti kluzné spáry v závislosti na čase.

Výsledný numerický model pak počítá se třemi materiály – beton, zemina a asfaltová vrstva. Asfaltovou vrstvu by bylo vhodné modelovat v její reálné tloušťce, což je však nevhodné vzhledem k poměru s ostatními rozměry konstrukce. Při modelování zde pro tyto účely bylo přijato značné zjednodušení, tloušťka asfaltové vrstvy byla uvažována vyšší než ve skutečnosti a po výšce rozdělena na 2 elementy. To ale následně značně zkresluje výsledné napětí. Dalším problémem, se kterým se setkáváme při modelování pomocí viskoelastických materiálových modelů, je značný řádový rozdíl v modulu pružnosti jednotlivých materiálů. Model je zobrazen na Obrázku 4.

3.2 Definování asfaltové vrstvy kontaktními elementy

S ohledem na poměr tloušťky asfaltové vrstvy a ostatních rozměrů se jako další vhodná varianta jeví právě využití kontaktních elementů. Vlastnosti kluzné spáry lze definovat například prostřednictvím součinitele tření μ , který byl zjednodušeně uvažován v závislosti na svislém a vodorovném napětí tak, jak to předpokládá tzv. Coulombův model tření (Obrázek 5).



Obr. 5: Zjednodušený fyzikální model tření

Zjednodušený vzorec pro výpočet součinitele tření:

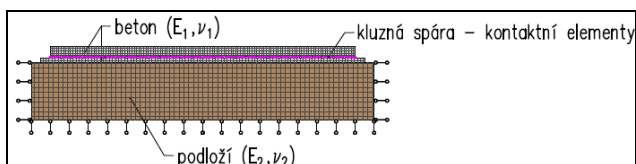
$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (1)$$

kde:

F_t – je horizontální síla,

F_n – je vodorovná síla.

V současné době je řešena možnost definování kontaktních elementů pomocí dynamického součinitele. Dynamické modely tření se využívají právě v případech modelování jevů zjišťovaných experimentálně za rychlostí blízkých nule. Podobu výsledného modelu zobrazuje Obrázek 6.



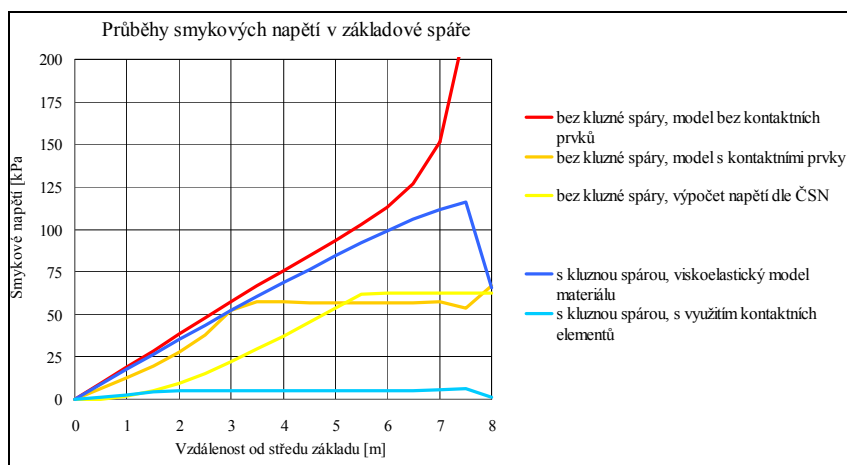
Obr. 6: Modelování kluzné spáry jako kontaktní plochy

4 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ MODELOVÁNÍ

V grafu na Obrázku 7 jsou uvedeny smykové napětí v kluzné spáře v závislosti na vzdálenosti od středu modelového základového pásu. Pro srovnání je zde uvedena i křivka, která ukazuje průběh smykových napětí bez kluzné spáry dle výpočtu podle současně platné normy [18].

Z Obrázku 7 jsou také patrné rozdíly mezi jednotlivými přístupy k modelování. Ačkoliv průběhy napětí nelze považovat za konečné, matematické modelování relativně správně vystihuje menší smykový odpor zejména u modelu s kontaktními elementy. U modelu s použitím viskoelastického materiálu dochází vlivem použitých zjednodušení ke značnému nárůstu napětí, což by mohlo z velké části eliminovat právě použití kontaktních elementů. Otázkou zůstává, který model by byl pro skutečný výpočet vhodnější. Při modelování s využitím viskoelasticity lze

vyjádřit vlastnosti asfaltové vrstvy se vším, co k tomu patří včetně časového průběhu. Nevýhodou však zůstává potřeba zvětšit tloušťku asfaltové vrstvy v modelu do nereálných rozměrů, což nepříznivě zkresluje výsledné průběhy napětí. Vzhledem k těmto nepřesnostem a použitým zjednodušením se zdá výhodnější modelování kluzné spáry pomocí kontaktních elementů. Tam bude ale nutné najít vhodnější způsob definování kontaktu.



Obr. 7: Srovnání průběhů smykových napětí v základové spáře

5 ZÁVĚR

Předmětem dalšího výzkumu je zdokonalování postupů, jak zavést potřebné vlastnosti kluzné spáry, včetně vlivu teploty korektněji do výpočtů, ať už při stanovení parametrů kontaktní vrstvy či stanovení charakteristik asfaltu. Na jednu stranu je výhodné modelovat kluznou spáru jako vrstvu s viskoelastickými vlastnostmi, na druhou stranu mohou být výsledky zkreslené kvůli použitým zjednodušením. U modelů s kontaktními elementy sice nejsou do výpočtu zahrnuty viskoelastické vlastnosti asfaltu, avšak při správném vyjádření parametrů kontaktu se právě kontaktní elementy jeví jako vhodný nástroj k modelování kluzných spár. Protože oba přístupy mají své výhody i nevýhody, budou nadále vyvíjeny oba modely.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl realizován za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 – Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi.

LITERATURA

- [1] ČAJKA R. Reological properties of bituminous materials for slide joints. In *ConMat 05, Third International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications*, Vancouver, Canada, August 22-24, 2005, ISBN0-88865-810-9.
- [2] ČAJKA, R. & MAŇÁSEK, P.: Building structures in danger of flooding. In *IABSE Conference on Role of Structural Engineers Towards Reduction of Poverty*, February 19-22, 2005, New Delhi, India, ISBN 3-85748-111-0.
- [3] ČAJKA, R. & MAŇÁSEK, P. Advanced bituminous materials as slide joints in subsoil of structures. In *International Conference on Advanced Materials for Construction of Bridges, Buildings and other Structures-IV*, August 14-19, 2005 Maui, Hawaii.
- [4] ČAJKA, R.: Soil - structure interaction in case of exceptional mining and flood actions, In *COST 12 - Final Conference Proceedings*, 20 - 22 January 2005, University of Innsbruck, Austria, ISBN 04 1536 609 7.

- [5] ČAJKA, R. & MAŇÁSEK, P. & SEKANINA, D. Reduction of volume changes concrete effects on state of stress of foundation structure. In *Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation*, Lyngby, 20-23 August 2006, Denmark, ISBN: 2-35158-004-4.
- [6] MAŇÁSEK, P.: *Základové konstrukce s kluznou spárou*. Disertační práce na Fakultě stavební VŠB-TU, Ostrava, 2008.
- [7] BALCÁREK, V. & BRADÁČ, J.: Použití asfaltových izolačních pásů jako kluzné spáry staveb na poddolovaném území. In *Pozemní stavby*, 1982, číslo 2.
- [8] ČAJKA, R. & JANULÍKOVÁ, M. & MATEČKOVÁ, P. & STARÁ, M.: Laboratorní testování asfaltových pásů s vlivem teploty. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, rok 2011, ročník XI, číslo 2, řada stavební, s. 15-21, ISSN 1213-1962.
- [9] ČAJKA, R. a MAŇÁSEK, P. Physical and FEM shear load response modeling of viscoelasticity material. In *The Eighth International Conference on Computational Structures Technology, (CST 2006)*, 12-15 September 2006, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, ISBN 10-905088-08-6.
- [10] ČAJKA, R., MAŇÁSEK, P. Numerical analysis of the foundation structures with sliding joint. In *Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction - Building a Sustainable Environment*, Taipei, Taiwan, 19. - 21. 11. 2008. S. 716-717. Sborník příspěvků X. konference a CD, ISBN 978-986-80222-4-9.
- [11] ČAJKA, R. & JANULÍKOVÁ, M. & MATEČKOVÁ, P. & STARÁ, M.: Modeling 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.
- [12] ČAJKA, R. & JANULÍKOVÁ, M. & MATEČKOVÁ, P. & STARÁ, M.: Modeling 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.
- [13] ČAJKA, R. & MAŇÁSEK, P.: Finite Element Analysis of a structure with a sliding joint affected by deformation loading. In *The eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. 18-21.9. 2007, St. Julians, Malta, ISBN 978-1-905088-17-1.
- [14] ČAJKA, R. Contact subsoil shear FEM element. In *SEMC 2007 The third International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation*, 10.-12. September, Cape Town, South Africa, ISBN 9789059660540.
- [15] ČAJKA, R. & MYNARZOVÁ, L. Využití numerického modelování při analýze zděné konstrukce na poddolovaném území. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, rok 2009, ročník IX, č. 1, řada stavební, s. 1-6, ISSN 1213-1962.
- [16] ČAJKA, R.: Semispace FEM element and soil - structure interaction. In *The Third International fib Congress and Exhibition & PCI Annual Convention and Bridge Conference*, May 29 - June 2, Washington, D.C. 2010, USA.
- [17] SOBOTKA, Z.: *Reologie hmot a konstrukcí*. 1. vydání, Praha: Academia, 1981, 400s.
- [18] ČSN 73 0039: *Navrhování objektů na poddolovaném území*. Praha: ČNI, 1989.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Katedra silničních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Doc. Ing. Václav Cepek, CSc., Ostrava.

Marie STARÁ¹, Radim ČAJKA², Pavlína MATEČKOVÁ³, Martina JANULÍKOVÁ⁴

LABORATORNÍ MĚŘENÍ PŘEDPJATÉHO ZDIVA

LABORATORY MEASUREMENT OF PRESTRESSED MASONRY

Abstrakt

Předpínání zdiva je jednou z nejpoužívanějších a současně nejúčinnějších metod sanace u staticky porušených objektů. Na stavební fakultě bylo vyrobeno laboratorní zařízení právě pro bližší zkoumání chování předpínaného zdiva. A to konkrétně pro měření deformací zděného rohu především v okolí kotevních desek, které slouží pro přenos předpínacích sil do zdiva. Měření bylo provedeno pro dvě hodnoty předpínacích sil. Předpětí bylo instalováno v obou směrech. Dále je zde okrajově pojednáno, jak se budou vytvářet numerické modely pro srovnání s provedenými měřeními.

Klíčová slova

Zdivo, předpětí, deformace, síla, měření.

Abstract

Prestressing masonry is one of the most common and concurrently the most effective method of redevelopment. At Faculty of Civil Engineering was constructed laboratory equipment for closer examination of the behavior of tensioned masonry. Specifically for measuring the deformation of brick corner mainly around the anchor plates that used for transmission of tensile forces into masonry. Measurements were performed for two values of prestressing forces. Preload was installed in both directions. There is also marginally discussed how they will develop numerical models for comparison with measurements made.

Keywords

Masonry, prestressing, deformation, force, measurement.

1 ÚVOD

Zděné konstrukce se v dnešní době běžně vyztužují vkládanou výztuží do spár, popřípadě sepnutím objektu pomocí předpjatých lan nebo tyčí při stavbě nových konstrukcí, pro zvýšení únosnosti zdiva, zabránění vzniku trhlin a současně snížení spotřeby materiálu.

Sanování objektů pomocí předpínání, zajišťuje nejen dostatečnou stabilitu, ale rovněž prodlužuje délku životnosti takto sanovaného objektu. Základním principem je vnesení tlakových sil do konstrukcí tak, aby bylo zamezeno vzniku nových trhlin, [1].

¹ 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.

² 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.

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.

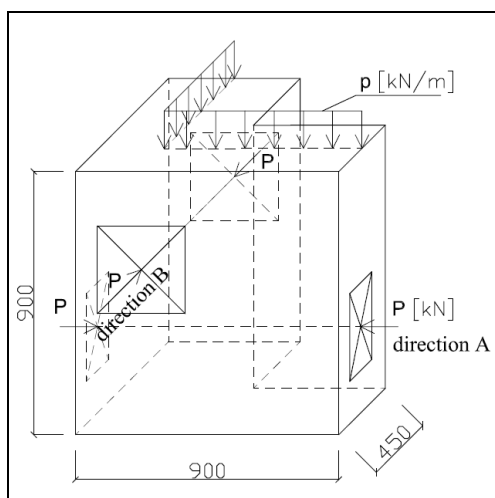
⁴ Ing. Martina Janulíková, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: martina.janulikova@vsb.cz.

Způsob sanace pomocí dodatečného předepnutí je podrobně prozkoumán u železobetonových konstrukcí, zatímco u zdiva tomu tak není. Chybí zde vazba pevnosti na aktuální stav zdiva, na charakter a míru poškození zdiva. Poněkud náročnější je především stanovení hodnot předpínacích sil. Dle provedených zkoušek in situ, se jako bezpečná hodnota uvažuje 1/10 pevnosti zdiva v tlaku kolmo k ložným spárám. Ve skutečnosti jsou tyto hodnoty závislé na dostatečných informacích o zdivu a také na tom, jak kvalitně jsou vyplněny svislé spáry maltou, [2].

2 POSTUP MĚŘENÍ

2.1 Popis zařízení

Laboratorní měření bylo prováděno na vyrobeném zařízení, určené pro měření trojosé napjatosti zděného rohu. Zdivo má půdorysný rozměr 900×900 mm o výšce 870 mm. Jako zdící prvek byla použita cihla CP $290 \times 140 \times 65$ s pevností $f_b = 20,88$ MPa, spojována maltou M10 o pevnosti $f_m = 9,8$ MPa. Pevnosti obou materiálů byly stanoveny dle normy [3] a [4], z nichž pak byla stanovena hodnota charakteristické pevnosti zdiva kolmo na ložné spáry $f_k = 7,6$ MPa, [5]. V průběhu zdění byly do ložných spár vloženy dvě předpínací tyče, které byly na sebe vzájemně kolmé. Výška předpínací tyče ve směru A je 370 mm a ve směru B je ve výšce 520 mm. Celý model pro laboratorní zkoušky je proveden v poměru 1:1, (skutečný model: experimentální model).

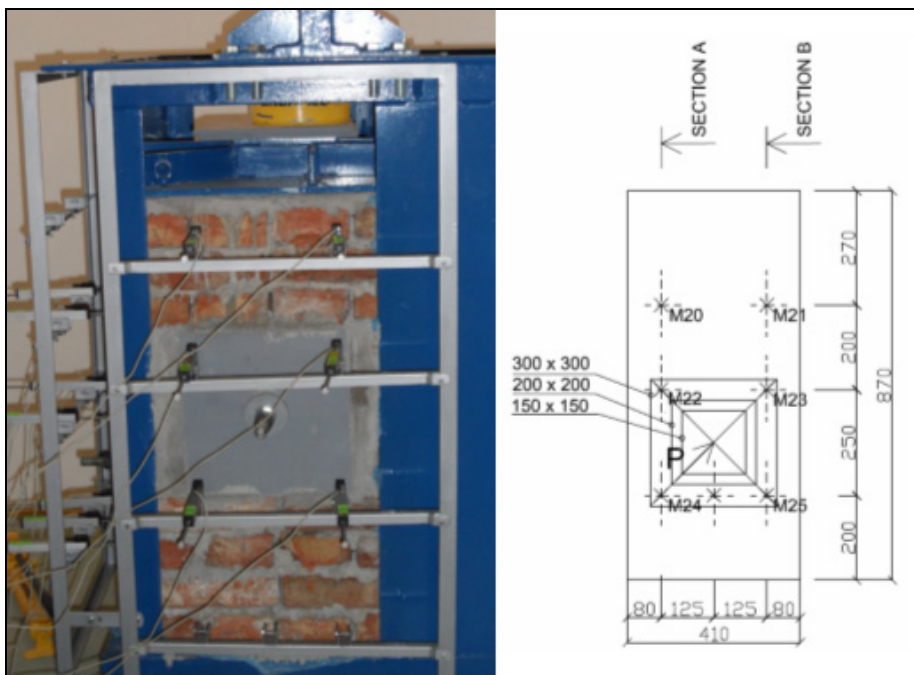


Obr. 1: Schématický model zdiva a umístění předpínacích tyčí ve směru A a B

2.2 Zatížení

Celý zděný roh je zatížen svislým rovnoměrným zatížením, jehož hodnota byla 0,12 MPa. Svislé zatížení je instalováno pomocí hydraulického válce, který je umístěn mezi navařeným I profilem a roznášecí deskou. Roznášecí deska je ocelová, tloušťky 12 mm, s navařenými ocelovými výztuhami pro zajištění rovnoměrného zatížení zdiva. Vodorovná síla, která byla instalována do předpínacích tyčí pomocí hydraulických válců přes kotevní desky, nabývala hodnot 50 a 100 kN. Pro jednotlivá měření byly použity tři kotevní desky o velikostech 300×300 , 200×200 a 150×150 mm. Tloušťka všech kotevních desek činí 10 mm. K zajištění rovnoměrného přenosu předpínacích sil bylo zdivo, v místě kotevní desky, vyrovnáno maltou. Předpínání zdiva bylo prováděno v obou směrech současně.

Výsledné deformace byly zaznamenány pomocí potenciometrických čidel, která byla upevněna na laboratorním zařízení, ve směru A i B. Čidla byla označena M20 až M25 a jejich umístění bylo dle obr. 2.



Obr. 2: Síť měřených bodů deformace ve směru A

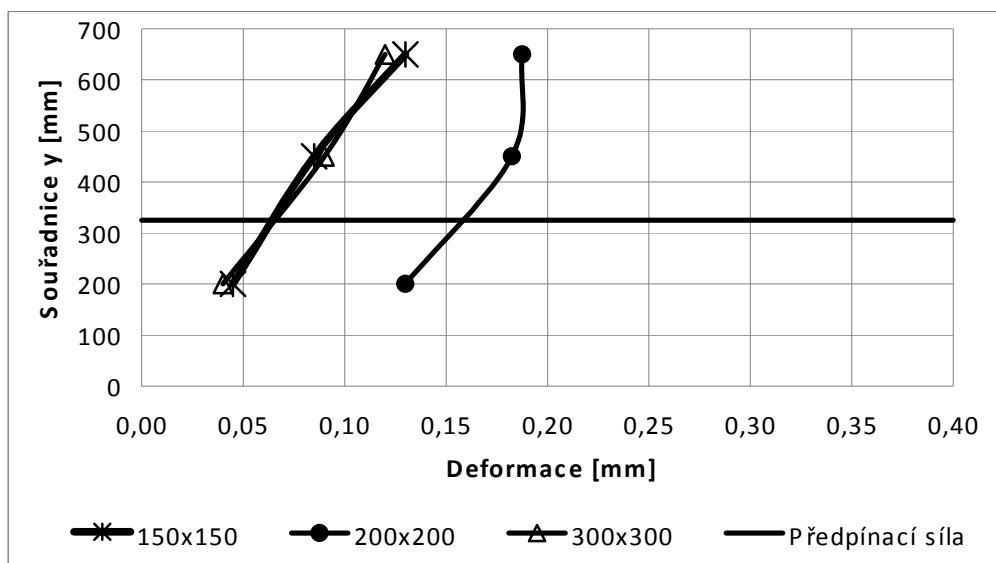
V Tab. 1 jsou uvedeny hodnoty pro měření. V prvních dvou sloupcích jsou uvedeny rozměry použitých kotevních desek včetně velikosti ploch. Třetí sloupec je věnován hodnotám napětí, která vznikají přímo pod kotevní deskou po instalování předpínací síly o hodnotě 50 a 100 kN.

Tab. 1: Vstupní hodnoty pro měření, předpínací síly 50 a 100 kN

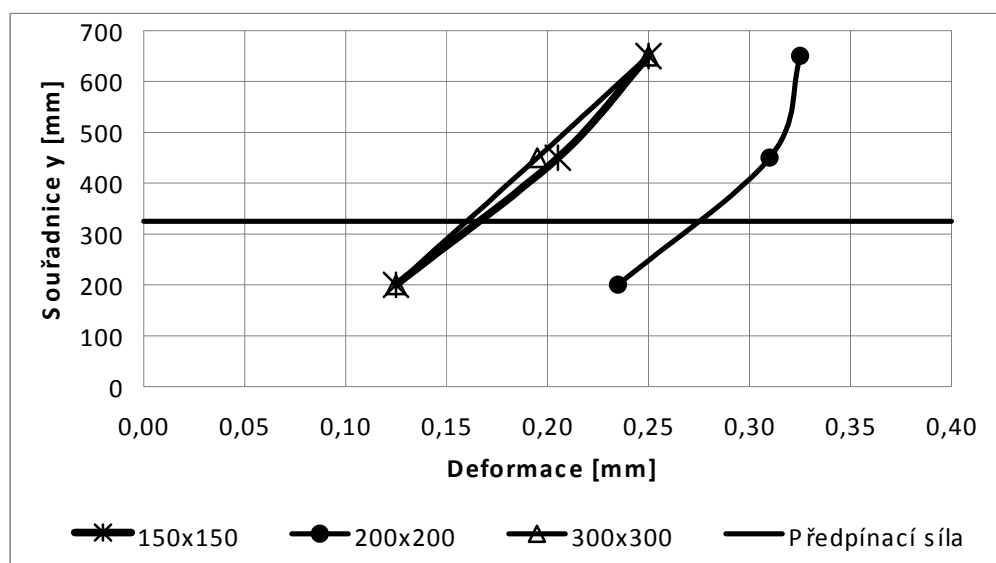
Kotevní deska	Plocha [m ²]	Napětí [MPa]	
		50 kN	100 kN
300 × 300	0,09	0,555	1,111
200 × 200	0,04	1,250	2,500
150 × 150	0,0225	2,222	4,444

2.3 Výsledky

Síť měřených bodů deformací pro směr A je na Obr. 2, pro směr B bylo umístění čidel obdobné. Na grafech, obr. 3 a obr. 4 jsou vykresleny deformace ve směru A, dle obr. 2. Svislé zatížení bylo uvažováno 0,12 MPa a předpínací síla o hodnotě 50 a 100 kN. Na obou grafech jsou zjištěny velikosti deformací pro kotevní desky o rozměrech 150 × 150, 200 × 200, 300 × 300, a propojeny křivkou. Čára vodorovná označuje umístění předpínací síly. Výsledné deformace na obr. 3 a obr. 4 byly provedeny zprůměrováním hodnot mezi body M20 a M21, M22 a M23, M24 a M25. Souřadnice y [mm] odpovídá výškovému umístění potenciometrických čidel.



Obr. 3: Deformace od předpínací síly 50 kN ve směru A



Obr. 4: Deformace od předpínací síly 100 kN ve směru A

Z obr. 3 a obr. 4 můžeme vidět, že celkové deformace, pro jednotlivé kotevní desky, jsou při použití předpínací síly 50 kN, přibližně o polovinu menší než při předpínací síle 100 kN.

Na obou grafech vidíme, že deformace kotevních desek 300×300 je výrazně menší než v případě desky 200×200 , vlivem působení většího napětí přímo pod kotevní deskou 200×200 , viz tab. 1. Deformace zdiva v místě kotevní desky 150×150 jsou téměř shodné, jako v místě kotevní desky 300×300 . Tato shoda může být způsobena umístěním potenciometrických čidel. Ta nejsou v přímém kontaktu s kotevní deskou 150×150 stejně jako kotevní desky 200×200 , viz obr. 2a, tím pádem zde působí mnohem menší napětí, než které vzniká přímo pod kotevní deskou zatíženou předpínací silou. Současně zde mohou mít vliv i samotné kotevní desky, které vlivem soustředěného zatížení se mohou deformovat a tím ovlivňovat výsledné deformace zdiva.

Výsledky dále ukazují, že deformace jsou největší v místě nad kotevními deskami. Tyto průběhy deformací mohou být způsobeny nedokonalým přilnutím roznášecí desky s povrchem zdiva, které bylo vyrovnáno vrstvou malty, ačkoliv tato vrstva byla provedena současně s položením roznášecí desky.

Provedené měření ve směru B mělo obdobné průběhy jednotlivých deformací.

3 MODELOVÁNÍ ZDIVA

Modelování zděné konstrukce je mnohem obtížnější nežli modelování ocelové nebo betonové konstrukce, jelikož zdivo je nehomogenní a anizotropní materiál, skládající se z kusového staviva a spojovacího prostředku. Obě tyto složky zdiva mají různé fyzikální a materiálové vlastnosti. Proto vytváření vhodného modelu, který by vyjadřoval skutečné materiálové a fyzikální vlastnosti zdiva je obtížné. U zděných konstrukcí nelze zajistit ve všech místech stejné vlastnosti, čímž nám vstupují proměnné hodnoty do procesu modelování, jako např.:

- pevnost malty a zdících prvků,
- stáří zdiva,
- vzájemné působení mezi komponenty,
- způsob uložení zdících prvků (nesprávné převazby zdiva),
- kvalita provedení,
- kvalita použitého materiálu,
- rozměry zdících prvků,
- tloušťka spár mezi vrstvami,
- okolní prostředí a klimatické vlivy,
- excentricita působení zatížení,
- efektivní plocha roznášecích desek.

Postup modelování a následné analýzy statického působení zdiva může být vzhledem k rozsahu zděných konstrukcí rozdělen na dvě části. V první části provedení analýzy dílčích částí zdiva na podrobném mikromodelu s podrobným vymodelováním cihel a malty včetně skutečné vazby zdiva. V druhé části vytvoření méně podrobného makromodelu (bez vymodelování jednotlivých cihel a spár malty) s homogenizovanými vlastnostmi zdiva, který simuluje chování zdiva, [6], [7].

Modelování zdiva v programu na principu MKP bylo provedeno již v minulosti, pro různé případy předpínání zdiva [8]. Nyní se připravují modely konkrétního laboratorně testovaného zděného rohu, aby tyto numerické modely co nejvíce odpovídaly jeho skutečnému provedení.

4 ZÁVĚR

Příspěvek se věnuje laboratornímu měření předpínaného zděného rohu, který byl zatížen svislým zatížením a předpínací silou o velikosti 50 a 100 kN. Simuluje tak případy zesilování a sanací zděných budov. Výsledné deformace zdiva mohou být ovlivněny nedokonalým provedením vyrovnávací maltové vrstvy, která byla provedena pod kotevními deskami i pod roznášecí deskou, pro vyrovnání povrchu zdiva, popř. deformací kotevních desek vlivem soustředného zatížení od předpětí.

V přípravě jsou další měření zděného rohu s použitím malty o menší pevnosti v tlaku a použitím větších předpínacích sil, aby se zdivo svými vlastnostmi více přiblížilo vlastnostem sanovaného zdiva. Dále budou prováděna srovnání s numerickým modelováním v programu na principu MKP, jak je uvedeno v kap. 3.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl realizován za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 - Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi.

LITERATURA

- [1] BRADÁČ, J. *Účinky poddolování a ochrana objektů, díl první a druhý*. Dům techniky Ostrava. Ostrava, 1999. ISBN 80-02-01276-3.
- [2] BAŽANT, Z., KLUSÁČEK, L. *Statika při rekonstrukcích objektů*. VUT Brno, 2004.
- [3] ČSN EN 1052-1: *Zkušební metody pro zdivo, Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku*. Český normalizační institut, 2000.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] MATERNA, A., BROŽOVSKÝ, J. Constitutive model for two-dimensional modeling of masonry. In *proceedings of the Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing 2007*, Malta 2007.
- [7] LOURENCO, P. B. *Computational strategies for masonry structures*. Delft University Press, 1996.
- [8] MYNARZOVÁ, L. *Statická analýza konstrukcí zděných staveb*. Disertační práce 2009. VŠB-TU Ostrava 2009. ISBN 978-80-248-2064-4.
- [9] ČAJKA, R., KALOČOVÁ, L. Modeling and Analysis of Post – Tensioned Masonry. *The eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. 18-21. September 2007, St. Julians, Malta 2007, ISBN 978-1-905088-17-1.
- [10] ČAJKA, R. Strengthening of Historical Structures on Flooded and Undermined Territory. *International Geotechnical Engineering, Saint Petersburg*. 17-19. September 2003, Russian, ISBN 5-93093-204-2.
- [11] ČAJKA, R. Lifetime Enhancement of Historical Structures on Flooded and Undermined Territory. *Integrated Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures, and International Symposium ILCDES 2003*. 1-3. December 2003, Kuopio, Finland, ISSN 0356-9403, ISBN 951-758-436-9.
- [12] ČAJKA, R., KALOČOVÁ, L. Progressive approach to the analysis of post-tensioned masonry structures using FEM. In *EngOpt 2008 - International Conference on Engineering Optimization*. Rio de Janeiro 1-5. Juni 2008. Ed. J. Herkovitz, A. Canelas, H. Cortes, M. Aroztequi, 2008. ISBN 978-85-7650-152-7.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Václav Cepek, CSc., Ostrava.

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

Stanislav ENDEL¹, Jana PETEROVÁ²

MOŽNOSTI VYUŽITÍ MITIGAČNÍCH OPATŘENÍ PŘI REGENERACI BROWNFIELDS

**POSSIBILITIES OF MITIGATION MEASURES UTILIZATION
AT BROWNFIELD REGENERATION**

Abstrakt

V každém městě najdeme plochu, která je opuštěná, nevyužitá a postupně chátrá – brownfield. Často se přemýšlí pouze o kompletní revitalizaci či rekonstrukci plochy. Takové řešení je ovšem věcně, finančně i časově velmi nákladné. Pro zlepšení stavu brownfields však můžeme udělat řadu tzv. mitigačních opatření. Článek popisuje zejména způsoby aplikace těchto opatření na brownfields a uvádí několik příkladů takových aplikací v zahraničí.

Klíčová slova

Mitigační opatření, brownfield, regenerace.

Abstract

Every city has an area, which is abandoned, unused and gradually dilapidated – brownfield. One often thinks about only complete revitalization or reconstruction of area. However, this solution is very expensive to materials, money and time. We can do many so called mitigation measures for improvement of brownfield. This article describes mainly ways of application of those measures to brownfields and states some examples of applications in foreign countries.

Keywords

Mitigation measures, brownfield, regeneration.

1 ÚVOD

Problém brownfields sužuje stále více českých měst. Půdorysy měst se neustále rozšiřují, zatímco v intravilánu jsou často obrovské plochy bez využití. Zejména ve městech, která se v minulosti rozrůstala díky monofunkční průmyslové výrobě, jsou brownfields jedním z nejpálčivějších problémů, byť některé již dnes nacházejí nové využití [1].

Jako problém již brownfieldy vnímá také veřejná správa. Identifikace území brownfields je v současné době obsažena v průzkumech a rozborech územních plánů jednotlivých obcí. Ve schválených územních plánech jsou tato území označována převážně jako území přestavbová nebo území transformace [2].

Opětovnému využití ploch brownfields brání zejména nejasnosti v majetkových poměrech, kontaminace horninového prostředí, špatný sociální status lokality a v největší míře samozřejmě nedostatek financí na kompletní regeneraci lokalit [3]. Jednou z hlavních bariér regenerací degradovaných území měst a regionů je také zřejmý nedostatek zprostředkovaných informací a tím

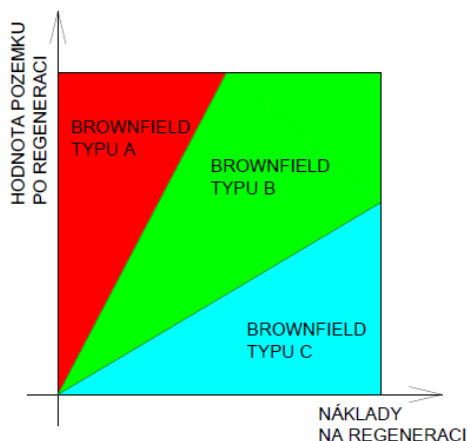
¹ Ing. Stanislav Endel, Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 930, e-mail: stanislav.endel.st@vsb.cz.

² Ing. Jana Peterová, Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 930, e-mail: jana.peterova@vsb.cz.

i potřebných znalostí u odborné veřejnosti činné v rozhodující sféře, ale také u developerů a investorů [4]. Chybí rovněž kompletní inventarizace brownfields v ČR, a to především menších ploch v malých obcích, které sice nejsou tak palčivým problémem, nicméně i tak je nutno je řešit [5].

Brownfields se dělí do tří kategorií, viz obr. 1. Tento model rozdělení je vhodný zejména pro instituce, které zodpovídají za rozvoj regionu a investice v něm. Tato kategorizace může být východiskem pro určení vhodné strategie regenerace různých typů brownfields. Identifikování typu objektu a zvážení faktorů, které ovlivňují kategorizaci objektů je východiskem pro určení intervenčních možností a regeneračních strategií. Využití tohoto koncepčního přístupu na průzkum faktorů, které ovlivňují změnu kategorie objektu (např. z B do A), může vést k rozvoji strategií specifických pro konkrétní objekt či lokalitu [6].

Nicméně je třeba říci, že rozdělení do jednotlivých kategorií není nijak exaktně podloženo a záleží vždy na konkrétním zpracovateli inventarizace brownfields, jaká zvolí kritéria klasifikace, na základě kterých pak konkrétní plochu zatřídí.



Obr. 1: Schéma členění brownfields (projekt CABERNET, 2005), zdroj [6]

Jednotlivé kategorie brownfields lze charakterizovat takto:

Kategorie A

- projekty realizované soukromým sektorem, samorozvíjející se objekty,
- tyto lokality a objekty reprezentují vysoce ekonomicky realizovatelné a rozvojové projekty.

Kategorie B

- projekty realizované především formou PPP, potenciálně rozvojové objekty,
- tyto lokality a objekty jsou charakteristické tím, že jsou na hranici dosáhnutí zisku.

Kategorie C

- projekty financované z veřejných zdrojů, objekty s určitým omezením,
- lokality a objekty v této kategorii nejsou v takovém stavu, aby revitalizace mohla být zisková,
- revitalizace těchto objektů závisí zejména na projektech veřejného sektoru nebo samosprávy,
- na stimulování revitalizace těchto objektů je potřebné veřejné financování nebo specifické legislativní nástroje (např. daňové stimuly).

2 CHARAKTERISTIKA MITIGAČNÍCH OPATŘENÍ

Mitigační opatření mají za cíl v co největší míře snížit negativní dopady brownfields na okolí, a to za co nejnižší cenu. Při jejich aplikaci tedy nedosáhneme kompletního re-developmentu lokality.

Negativní vnímání plochy brownfield často způsobuje také negativní vnímání celé městské čtvrti, zejména pokud je vznik brownfields spojen s růstem kriminality a nezaměstnanosti v oblasti [7]. Městské oblasti se pak mohou stát ghety s vybydleným a poloprázdným bytovým fondem [8]. Správně aplikovaná mitigační opatření způsobí zejména zlepšení celkové image lokality a mohou také přispět ke zvýšení zájmu nových potenciálních investorů o brownfield.

Z uvedeného jasně vyplývá, že aplikace mitigačních opatření se týká především brownfieldů typu B a C.

Mitigační opatření můžeme rozdělit na tzv. měkká a tvrdá [9]. Měkká opatření nemají přímý vliv na regeneraci brownfield, mají za cíl spíše zvýšit povědomí o ploše mezi veřejností, sjednotit vize a cíle jednotlivých zájmových skupin apod. Jedná se zejména o různé besedy, přednášky, diskuze, články v regionálním tisku, informační letáky atd.

Naproti tomu tvrdá opatření mají přímý vliv na vzhled brownfield a jeho dopady na okolí. Jejich rozbor je uveden v dalším textu.

3 BEZPEČNOST BROWNFIELDS

Základním opatřením, které by mělo být provedeno, je zajištění bezpečnosti celé plochy brownfield. Standardem by mělo být minimálně zazdění oken a dveří v 1.NP a oprava a údržba oplocení areálu. Nejlepším doplňkem by byla instalace kamerového systému, eventuálně zajištění bezpečnosti soukromou agenturou, což ovšem představuje zvýšené finanční náklady.

Nezbytné je i statické zajištění objektu, a to zejména v případech, kdy by mohl být ohrožen veřejný prostor, např. padajícími římsami apod.

K bezpečnosti každého prostoru samozřejmě velkou měrou přispívá také sociální kontrola. Vždy platí, že v místech, kde se pohybují lidé, nedochází k takovému úpadku, jako ve zcela opuštěných lokalitách. Pro účinnější sociální kontrolu brownfields se nabízí využití jejich historického potenciálu.

Každý brownfield byl kdysi živoucím místem a tvoří historický odkaz minulých let. Tuto skutečnost by bylo možno využít v případech, kdy by se nám podařilo vést např. cyklostezku nebo pěší trasu skrz území brownfield (např. areál staré továrny). Pokud by se podařilo zabezpečit celou trasu tak, aby návštěvníci nebyli ohroženi stavebně-technickým stavem konstrukcí a aby se tito nedostali mimo vyhrazené území trasy (např. drátěným pletivem), nabízí se zajímavá možnost mitigačního opatření brownfields. Taková trasa by navíc mohla být doplněna tabulemi s historickými fotografiemi, eventuálně vizualizacemi možného dalšího vývoje a mohla by tak vzniknout jakási naučná stezka, která by si jistě své návštěvníky našla. Jako částečně ilustrační příklad lze uvést nově vybudovanou cyklostezku v pražském Hloubětíně, která je vedena přes bývalou průmyslovou zónu. Tato stezka je navíc v části vedena po tělese bývalé železniční vlečky, což znamená zejména její ideální sklonové poměry, navíc bez nutnosti budovat nové mosty [10].



Obr. 2: Cyklostezka vedoucí přes bývalý brownfield v Praze-Hloubětíně, zdroj [10]

4 PŘEHLED NĚKTERÝCH DALŠÍCH MITIGAČNÍCH OPATŘENÍ

Další mitigační opatření lze rozdělit na opatření krátkodobého a dlouhodobého charakteru. Následující výčet uvádí pouze ta nejdůležitější.

Opatření dlouhodobého charakteru:

- demolice starých nevyužívaných objektů,
- ozelenění lokality,
- dobudování či úprava dopravní a technické infrastruktury,
- návrh sociálních programů, které budou podporovat procesy regenerace.

Opatření krátkodobého charakteru:

- využití pro reklamu,
- umístění banneru s vizualizací budoucího využití,
- částečné nebo dočasné využití.

Velkým problémem, který může způsobit faktickou nemožnost znovuvyužití brownfield je existence starých budov a zařízení, často v žalostném stavu. Z tohoto důvodu je lepší objekty odstranit a celou lokalitu ozelenit výsadbou, která není finančně náročná a neklade nároky na pravidelnou údržbu. Toto opatření může být samozřejmě velmi nákladné, ovšem na některé tyto akce lze získat finanční podporu z fondů EU. Pokud se rozhodneme pro pouhé ozelenění lokality (např. vysazení stromů před nevzhledné fasády), náklady budou samozřejmě několikanásobně nižší, ovšem nedosáhneme zlepšení technického stavu brownfield. V každém případě se tímto opatřením celková image lokality zatraktivní.

Častou překážkou, která brání rozvoji lokality, jsou nedostatky v dopravní a technické infrastruktuře (špatný technický stav, popř. úplná neexistence). Jejich dobudováním či úpravou lze zvýšit zájem potenciálních investorů o lokalitu.

Celkovému stavu brownfield mohou napomoci také různé sociální programy. Jedná se zejména o programy, které se snaží uchovat historii a paměť města, či různé rekvalifikační kurzy pro místní obyvatele, tak aby se stali atraktivními zaměstnanci pro budoucí investory.

Zajímavým nápadem při revitalizaci brownfields může být umístění velkoplošné reklamy přes celé průčelí budovy. Jednak se skryje nevzhledný stav fasády a jednak mohou být z reklamních příjmů financována další opatření pro zlepšení stavu brownfield.

Celkové povědomí o nevyužívané lokalitě pomůže zvýšit také umístění banneru s vizualizací možného dalšího využití v budoucnu v blízkosti plochy. Taková vizualizace může vzniknout prakticky zadarmo v rámci výuky na středních a vysokých školách, které se zabývají stavitelstvím a architekturou. Jediný náklad tak představuje výroba samotného banneru a jeho zabezpečení. Toto opatření ovšem může významně zvýšit zájem potenciálních investorů o brownfield.

Rovněž je jasné, že každé využití objektu, byť i částečné, je lepší než žádné, což opět souvisí se zvýšenou sociální kontrolou. Při částečné rekultivaci plochy brownfield pak může být tato plocha využívána zejména k rekreaci nebo k vybudování sportovního hřiště např. pro beach volejbal. Náklady na taková opatření jsou relativně nízká, ovšem opět pomohou do lokality přitáhnout lidi a změnit vnímání celého brownfield.

Zajímavou alternativou je pronájem brownfields různým zájmovým, většinou uměleckým, skupinám. Tito lidé dokážou v nevyužívaných objektech nalézt jakýsi umělecký potenciál a využít jej pro své aktivity, které přilákají návštěvníky. Jsou známy příklady, kdy tyto umělecké aktivity výraznou měrou přispěly ke konečné komplexní regeneraci plochy brownfield (viz kap. 5).

Rozsáhlé areály s velkým množstvím zpevněných ploch je možno také dočasně využít, zejména pro pořádání kulturních či sportovních akcí. Jako příklad lze uvést bývalé letiště v Hradci Králové, které se již několik let využívá k pořádání velkolepých koncertů pro několik desítek tisíc lidí. Tato skutečnost výrazně přispěla ke zvýšení image celé lokality. Obyvatelé tak celé letiště přestali vnímat jako problém, ale naopak se pro ně stalo synonymem pro kulturní vyžití ve městě.

Dalším příkladem může být koncert ostravských hvězd v areálu dolní oblasti Vítkovic, který pořádalo město Ostrava v rámci kandidatury na titul „Evropské město kultury 2015“.

5 ZAHRANIČNÍ ZKUŠENOSTI

V zahraničí se začala mitigační opatření prosazovat mnohem dříve než v našich podmínkách. Dále je uvedeno několik ilustračních příkladů.

5.1 Riverside mill [11, 12]

Jedná se o brownfield ve městě Providence na východním pobřeží USA. Původně byl areál využíván jako textilní továrna, založená r. 1863, která byla v průběhu dalších let užívána mnoha vlastníky k různým účelům. Její faktický konec znamenal rozsáhlý požár v roce 1989, od té doby areál chátral. V 90. letech ovšem bylo rozhodnuto o vybudování zelené stezky podél řeky Woonasquatucket, která měla vést právě přes areál bývalé továrny. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k mitigačním opatřením tohoto brownfield, a sice důslednému zabezpečení objektů a celkovému ozelenění lokality. Celý areál tak lépe zapadá do koncepce zelené stezky a navíc staré budovy dotvářejí historický obraz o původním využití. Brownfield tak netvoří překážku rozvoje stezky, ale stal se jeho součástí.



Obr. 3: Riverside mill jako součást zelené stezky, zdroj [12]



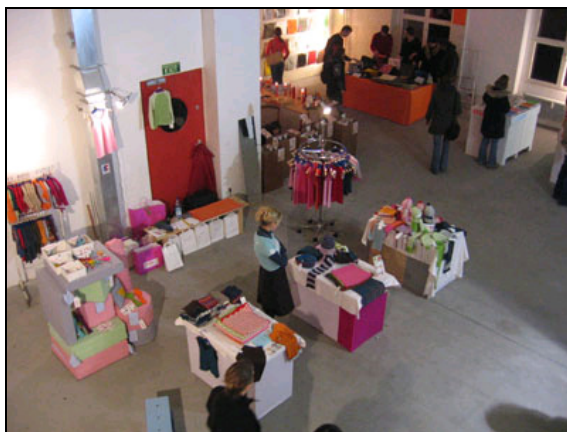
Obr. 4: Ozeleněny brownfield – Riverside mill, zdroj [12]

5.2 Backfabrik, Berlín [13]

Backfabrik je jedním z mnoha starých výrobních objektů na území Berlína. Celá budova bývala obrovskou pekárnou, která např. produkovala chleba pro celý východní Berlín. V důsledku restrukturalizace průmyslu v 90. letech byla výroba zastavena a celý areál začal pustnout. Tento stav se nezlepšil až do příchodu skupiny umělců, kteří se rozhodli budovu využít ke svým aktivitám. Dohodli se s vlastníkem na krátkodobé smlouvě o pronájmu za symbolickou cenu. Umělci začali v továrně pořádat koncerty, výstavy, besedy, diskotéky apod. Veřejnost tak tento prostor přestala vnímat jako brownfield, ale naopak jako živoucí centrum zábavy. Této „pověsti“ následně využil soukromý developer, který celou budovu zrekonstruoval na loftové byty a kanceláře a celý areál je tak dnes opět plnohodnotnou součástí města.



Obr. 5: Kulturní akce v Backfabrik, zdroj [13]



Obr. 6: Backfabrik dnes, zdroj [13]

5.3 Železniční stanice Žilina-Záriečie [14]

Tato vlaková zastávka vznikla na původní košicko-bohumínské trati už v roce 1899, dnešní hlavní budova byla dostavěna v roce 1945. Místní obyvatelé si stanici velmi oblíbili, neboť její obsluha v budově také bydlela, lístky se tak prodávaly prakticky „z ložnice“ v příjemné domácí atmosféře. V 80. letech byl ale kolem stanice vybudován nadúrovňový kruhový objezd, kterému musela ustoupit původní okolní zástavba a stanice se tak stala jakýmsi ostrůvkem mezi silničními tahy. Úsporná opatření na železnici pak i původní majitele donutila k vystěhování a objekt tak zůstal

opuštěný. V roce 2002 jej náhodou objevila skupina umělců Truc sphérique, kteří v něm našli ideální místo pro své aktivity. O svých zájmech dokázali přesvědčit i Železniční společnost Slovenské republiky, od které získali budovu do dlouhodobého nájmu. Umělci dokázali objekt zrekonstruovat a pořádají v něm výstavy, workshopy, a dokonce i divadelní představení, přičemž zůstala zachována i funkce železniční stanice. Ta tak nemá o návštěvníky nouzi a určitě jde o jedno z nejzajímavějších nádraží na Slovensku.



Obr. 7: Železniční stanice Žilina-Záriečie, zdroj [14]

V roce 2009 navíc skupina vystavěla tzv. S2 (stanica 2). Pro konstrukci byly použity balíky slámy, OSB desky, železniční pražce a dokonce i 12-ti metrový lodní kontejner, který slouží jako vstup. Stavba byla vybudována pod samotným nadúrovňovým kruhovým objezdem, který tak tvoří její střechu, stavba s ním ale není konstrukčně spojená.

Stanica tak získala novou kapacitu pro pořádání kulturních a společenských akcí a zejména pro své nezávislé umění.



Obr. 8: Konstrukce „S2ky“ pod kruhovým objezdem v Žilině, zdroj [14]

6 ZÁVĚR

Můžeme říci, že hlavním cílem mitigačních opatření je snížení negativních dopadů, které všechny brownfields přinášejí svému okolí. Zde uvedený přehled těchto opatření není jistě kompletní, jsou zde uvedena pouze ta nejdůležitější a nejznámější.

Mitigace není v našich podmínkách příliš rozšířená, přestože se jedná o relativně levný nástroj, jak pomoci našim brownfields. Řešení této situace spočívá zejména ve zvýšení informovanosti odborníků, kteří se zabývají problematikou brownfields, a vlastníků brownfields. Toto musí být prováděno dlouhodobě, jelikož neustále vznikají nové brownfields a jejich regenerace

či rekonstrukce je přinejmenším vždy otázkou několika let [15]. Uvedené zahraniční příklady mohou sloužit jako inspirace, jak je také možno přistoupit k regeneraci opuštěných ploch.

Nakonec je potřeba zdůraznit, že ani správně aplikovaná mitigační opatření nenahrazují kompletní rekonstrukci ploch brownfields a u každé takové plochy je nutno s rekonstrukčními pracemi i nadále počítat.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění projektu SGS SP2012/81 Komparace mitigačních opatření u brownfieldů ve městech v ČR a zahraničí.

LITERATURA

- [1] PACLOVÁ, H., Osud technických památek zaměřených na těžbu uhlí v Ostravě. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Ostrava: VŠB-TUO, 1/2011. s. 49-56.
- [2] RUPRICH, V., Partnerství veřejného a privátního sektoru v procesu obnovy průmyslové aglomerace. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Ostrava: VŠB-TUO, 2/2011. s. 49-58.
- [3] KUDA, F., SMOLOVÁ, I., *Technické a geografické aspekty integrace neprůmyslových brownfieldů do území*. Ostrava: VŠB-TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1371-4.
- [4] PLETNICKÁ, J., VOJVODÍKOVÁ, B., Projekt celoživotního vzdělávání v oblasti brownfields. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Ostrava: VŠB-TUO, 1/2006. s. 43-48.
- [5] VOTOČEK, J., VOJVODÍKOVÁ, B., Aplikace postupu pro hodnocení obcí s 500-3000 obyvateli na obce Moravskoslezského kraje. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Ostrava: VŠB-TUO, 1/2011. s. 83-88.
- [6] PETŘÍKOVÁ, D., FINKA, M., *Trajektorie územního rozvoje*. Bratislava: ROAD, 2006. ISBN 978-80-88999-31-7.
- [7] FERBER, U., aj. *Brownfields příručka*. Ostrava: LEPOB, 2006.
- [8] HURNÍKOVÁ, J., Brownfieldy a územní rozvoj. *Urbanismus a územní plánování*, 2009, roč. XII, č. 6, s. 3-5.
- [9] VOTOČEK, J., *Řešení problematiky brownfields*. (Disertační práce) Ostrava: VŠB-TUO, 2011.
- [10] FILLER, V., *Cyklostezka Rokytka* [online]. Vystaveno 12. 2. 2010 [cit. 2012-3-1]. Dostupné z: <<http://www.prahounakole.cz/2010/02/cks-rokytka-unor/>>.
- [11] REHA, M., *Riverside Mills: A Model for Succesful Brownfields Remediation & Restoration*. (Diplomová práce) Providence: Brown University, 1999.
- [12] DELLER, T., *Brownfields* [online]. [cit. 2012-28-2]. Dostupné z: <http://www.brown.edu/Research/EnvStudies_Theses/summit/Briefing_Papers/Brownfields/>.
- [13] VOTOČEK, J., *The Future lies on Brownfields*. Dessau: Federal Environmental Agency, 2005.
- [14] DOBIAŠ, D., *Stanica Žilina-Záriečie* [online]. [cit. 2012-3-2]. Dostupné z: <<http://www.stanica.sk/>>.
- [15] JACKSON, J., B., aj. *Brownfields snadno a rychle*. Praha: IURS, 2004.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. PhDr. Dagmar Petříková, PhD., Ústav manažmentu, Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

Doc. Ing. Mária Zúbková PhD., Ústav manažmentu, Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

Martin FERKO¹, Jan ČESELSKÝ²

**MODIFIKACE ODHADU MEZIROČNÍHO ODPADU BYTŮ Z PŘEDBĚŽNÝCH
VÝSLEDKŮ SLDB 2011**

**ALTERATION OF HOUSING ANNUAL DECREMENT ESTIMATION
FROM PRELIMINARY RESULTS OF CENSUS 2011**

Abstrakt

Bytová výstavba navyšuje nebo udržuje kvantitativní stav bytového fondu, avšak sledovat množství bytového fondu v České republice – tj. celkový počet bytů v mezidobí cenzů, lze jen pomocí odborných odhadů a modelů[1]. Modely a odhady mají základ v počtu zjištěných bytů v jednotlivých sčítáních lidu, domů a bytů, do odhadovaného stavu jsou modelovány počtem dokončených bytů úhrnem za období po posledním cenzu. Tyto zisky bytového fondu jsou však zatíženy tzv. „odpadem“ bytů, který je vždy, na základě dílčích informací ze sčítání a ostatních odborných odhadů a predikcí, odhadován. Příspěvek nabízí pohled na modifikaci odhadu výše meziročního odpadu bytů porovnáním dat ze Sčítání lidu, domů a bytů (SLDB) 2001 a 2011.

Klíčová slova

Bydlení, Disparity, SLDB, Cenzus.

Abstract

Housing construction increases or maintains the quantitative status of housing, but monitor the amount of housing stock in the Czech Republic – ie the total number of dwellings between housing censuses, you can only use expert estimates and models. These models and estimates have a basis in the numbers of dwellings in the censuses, the estimated state is modeled to the total number of dwellings completed in the period after the last census. These profits, however, are housing burdened with so-called "decrement" flats, which is always estimated, based on partial information from the census and other expert estimates and predictions. Contribution offers a view of optimizing the annual estimate of the amount of waste bytes by comparing data from the Census 2001 and 2011.

Keywords

Housing, Disparities, Census.

1 ÚVOD

Uskutečněné Sčítání lidu, domů a bytů 2011 (SLDB 2011) nabízí možnosti modifikace a hodnocení jednoho z modelů zjištění počtu trvale obydlených bytů v letech mezi jednotlivými posledními cenzu SLDB (mezi roky 2001 a 2011). Tento příspěvek navazuje na metodu upřesnění

¹ Ing. Martin Ferko, Ph.D., Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 966, e-mail: martin.ferko@vsb.cz.

² Ing. Jan Česelský, Ph.D., Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 951, e-mail: jan.ceselsky@vsb.cz.

počtu trvale obydlených bytů z projektu MMR WD 05-07-3 *Regionální disparity v dostupnosti bydlení, jejich socioekonomické důsledky a návrhy opatření na snížení regionálních disparit* a pro srovnání jsou využity předběžné výsledky ze SLDB 2011[2]. Sledování vývoje počtu trvale obydlených bytů ve sčítacím mezidobí bylo založeno na odhadech a dopočtech. Tento dopočet byl proveden pomocí přírůstku dokončených bytů, přičemž byl uvažován také odhadovaný odpad bytů ve výši 0,033 %³ z počtu bytů II a nižší kategorie z roku 2001 [3]. Roky 2001 a 2011 jsou záchytnými body pro korekci hodnoty odpadu bytů. Odpady bytů jsou posuzovány v oblasti trvale obydlených bytů, nikoli fyzických bytů celkem.

2 METODY VÝPOČTU *TOB* VE SČÍTACÍM MEZIDOBÍ

Výpočet stavu obydleného bytového fondu ve sčítacím mezidobí (roky 2002 – 2010) vycházel z předpokladu, že k záchytnému bodu počtu trvale obydlených bytů (*TOB*) z roku 2001 se přičítají každoroční přírůstky počtu dokončených bytů s uvažováním množství odpadu bytů. Odpad bytů byl tedy uvažován jako fyzický úbytek bytů a tento úbytek teoreticky připadal do kategorií bytu II, III a IV⁴. Nové byty nebo byty I. kategorie byly uvažovány jako byty způsobilé k bydlení a neodsouzené k zániku z důvodu možného snížení kvalitativního stavu či zanedbání údržby, opuštění, apod. Meziroční hodnota odpadů bytů z těchto nižších kategorií byla uvažována 0,033 %. Výpočet je uveden ve vzorci (1) a (2). Odpad bytů z kategorie I se v modelu neuvažoval. Počty bytů II. a nižší kategorie jsou uvedeny v tabulce č. 1 a graf průběhu počtu *TOB* za ČR s odpadem bytů 0,033 % (dle vzorce 1) je uveden na obr. 2.

$$TOB_R = TOB_{R-1} + DB_{R-1} - O \quad (1)$$

$$O = 0,00033 \cdot R \cdot N \quad (2)$$

kde:

TOB_R – počet trvale obydlených bytů ve sledovaném roce,

TOB_{R-1} – počet trvale obydlených bytů v roce předešlém,

DB_{R-1} – počet dokončených bytů⁵ v roce předešlém,

O – výše odpadu bytů z bytů II. a nižší kategorie,

R – pořadové číslo sledovaného roku (1 = rok 2001),

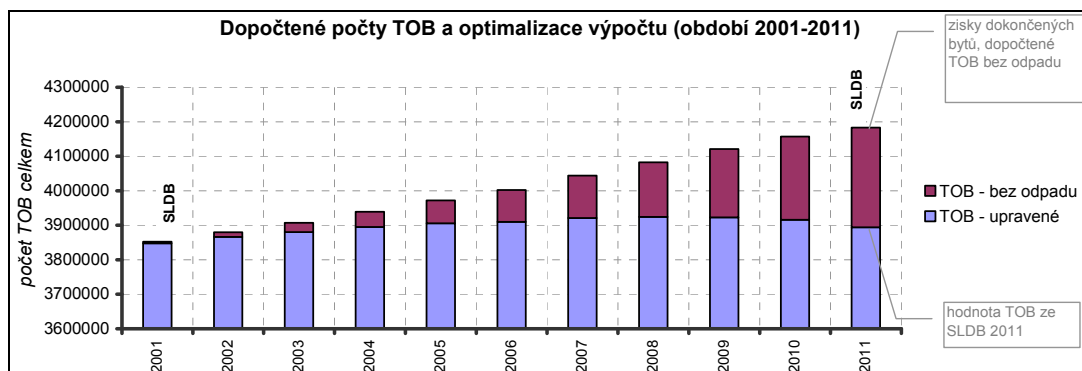
N – počet trvale obydlených bytů II. a nižší kategorie celkem (rok 2001) – konstanta.

Zavedením proměnné O do vzorce (1) se množství modelovaného počtu trvale obydlených bytů oproti modelu se započtením pouze dokončených bytů snížilo o 0,2 % (v jedenáctileté časové řadě, mediánem). Srovnáním takto vypočtené hodnoty *TOB* v roce 2011 s hodnotou ze SLDB 2011 vychází jasná úvaha, že uvažovaný fyzický odpad bytů z II. a nižší kategorie je velmi nízký, protože rozdíl hodnoty *TOB* dopočteného modelem a hodnoty ze SLDB 2011 je v mediánu za kraje 6,2 % (úhrnem za období 2001 až 2011). Rozdíl je patrný v grafu na obr. 1 ve sloupci roku 2011.

³ Odhad provedl řešitelský tým projektu MMR WD 05-07-3 *Regionální disparity v dostupnosti bydlení, jejich socioekonomické důsledky a návrhy opatření na snížení regionálních disparit*.

⁴ Dřívější kvalitativní kategorie bytů dle Vyhl. Ministerstva financí č. 176/1993 Sb.

⁵ Dostupná časová řada ukazatele dokončených bytů pro optimalizaci modelu končila 30.6.2011 a byla do konce roku 2011 nasimulována z údajů 30.6.2010. Podíl $DB(2010)$ a $DB(2011)$ ke dni 30.6. byl použit při výpočtu $DB(2011)$ z hodnoty roku 2001 (hodnot k 31.12.).



Obr. 1: Ukázka vývoje *TOB* bez uvažování odpadu bytů (zdroj: vlastní výpočty, data: ČSÚ)

Jelikož jsou úbytky (za kraje ČR, v mediánu 6,2 %) pro kraj Karlovarský a Hl. m. Praha vyšší než počet *TOB* II. a nižší kategorie (až 12 %), tzn. byty už nemohou z ukazatele počtu bytů II. a nižší kategorie ubývat, je vhodné zaměřit pozornost na úbytky obydlených bytů z celkového obydleného bytového fondu (tj. i z bytů I. kategorie). Tento fakt je bezesporu platný v reálném vývoji počtu *TOB*. Lze i pozorovat nezanedbatelnou situaci neobydlenosti nově dokončených bytů (*DB*), které sice nespádají do položky fyzického odpadu bytů, avšak v počtu trvale obydlených bytů mohou hrát svou roli.

Do modifikovaného modelu je vhodné vložit srážku z hodnoty dokončených bytů, která by aspoň částečně uvažovala neobydlenost těchto nově dokončených bytů. V tabulce č. 1 jsou zobrazeny počty neobydlených domů a počty domů celkem. Z těchto hodnot lze zjistit podíly neobydlenosti domů v roce 2001 a 2011 a rozdíl těchto neobydleností mezi léty 2001 a 2011 může idealizovaně naznačit neobydlenost nově dokončených bytů, protože model skrývá úvahu, že důvody neobydlenosti mohou zůstat podobné v letech 2001 i 2011 a změna neobydlenosti může připadnout právě nově postaveným bytům (tj. změně počtu nově postavených bytů).

O tuto změnu jsou v novém modifikovaném modelu sraženy počty dokončených bytů v každém roce mezi SLDB 2001 a 2011. Za kraje ČR je tato změna 0,68 % (absolutní hodnota odpadu mezi léty 2010 a 2011 je 26 528 bytů) – proměnná S_R ve vzorci (3). Nový optimalizovaný model má pak tvar (rozdíly průběhu počtu *TOB* dle upravených modelů jsou uvedeny na obr. 2):

$$TOB_R = TOB_{R-1} + DB_{R-1} \cdot S_R - O \quad (3)$$

$$O = X \cdot R \cdot N \quad (4)$$

kde:

TOB_R – počet trvale obydlených bytů ve sledovaném roce,

TOB_{R-1} – počet trvale obydlených bytů v roce předešlém,

DB_{R-1} – počet dokončených bytů⁶ v roce předešlém,

S_R – srážka počtu dok. bytů z důvodu možné neobydlenosti (bezrozměrné číslo),

O – hodnota odpadu bytů z bytů II. a nižší kategorie,

X – upravená procentní hodnota odpadu bytů z bytů II. a nižší kat. (bezrozměrné číslo).

R – pořadové číslo sledovaného roku (1 = rok 2001),

N – počet trvale obydlených bytů II. a nižší kategorie celkem (rok 2001).

⁶ Dostupná časová řada ukazatele dokončených bytů pro optimalizaci modelu končila 30. 6. 2011 a byla do konce roku 2011 nasimulována z údajů 30. 6. 2010. Podíl *DB* (2010) a *DB* (2011) ke dni 30. 6. byl použit při výpočtu *DB* (2011) z hodnoty roku 2001 (hodnot k 31. 12.).

Na základě záchytného bodu roku 2011, kdy známe předběžné odhady reálných počtů TOB , je možné v modelu stanovit množství odpadu (v obydlenosti) bytů z II. a nižší kategorie pomocí jednoduchého algoritmu *hledání řešení* z tabulkového procesoru MS Excel (verze 2003). Nová výše odpadu bytů z II. a nižší kategorie (dle vzorce 3 a 4) je v mediánu za kraje ČR⁷ 0,85 %. Oproti původnímu uvažovanému fyzickému odpadu 0,033 % je patrný výrazný rozdíl. Hodnoty odpadů pro jednotlivé kraje jsou v tabulce č. 1. Časová řada počtu TOB se tedy upraví a srovná se tak s hodnotou TOB v roce 2011 – viz graf na obr. 1, řada TOB upravené.

Je vhodné také ustoupit od úvahy o odpadu bytů z kategorií II. a nižší a stanovit tak odpad bytů v každém roce z celkového bytového fondu. Tento zjednodušený model má pak tvar:

$$TOB_R = (TOB_{R-1} + DB_{R-1}) \cdot X_2 \quad (5)$$

kde přibyla následující proměnná a další proměnné jsou totožné jako u vzorců (1), (2) a (4):

X_2 – odpad bytů z celkového bytového fondu v daném roce (bezrozměrné číslo).

Nově stanovený odpad bytů z celkového počtu TOB včetně dokončených bytů v roce je za kraje ČR roven $X_2 = 0,68$ %. Tato hodnota odpadu byla nalezena rovněž pomocí algoritmu *hledání řešení*. Výsledky pro jednotlivé kraje jsou zobrazeny v tabulce 1 a v mezidobí SLDB 2001 a 2011 se výsledky o srážku počtu dokončených bytů liší.

Pro názornost je možné zobrazit *zisky bytů* do množiny obydleného bytového fondu na základě sledování ukazatele dokončených bytů v obdobích mezi SLDB. Výpočtem lze usoudit, že při výstavbě nových bytů bude činit celkový zisk do obydleného bytového fondu, se započtením ztrát, pouze 19,7 % z nové výstavby (tento zisk je silně diverzifikován mezi kraji a poukazuje hodnotu z dat za území ČR). Výpočet pro zvolenou územní jednotku má tvar:

$$Y = \frac{(TOB_R - TOB_{R-1})}{DB_R} \quad (6)$$

kde přibyla následující proměnná a další proměnné jsou totožné jako u vzorců (1), (2) a (4):

Y – zisk bytů bytového fondu z nově dokončených bytů (bezrozměrné číslo),

DB_R – počet dokončených bytů ve sledovaném roce.

Pro zjednodušení lze popsat modelovou situaci, kdy do stávajícího bytového fondu o 1000 bytech bude nově dokončeno 100 dalších bytů, tak celkový obydlený bytový fond bude mít zaokrouhlenou hodnotu 1020 bytů (19,7% zisk pro území ČR; volba procentního zisku závisí na sledovaném kraji).

Příkladný výpočet pro zisk bytů bytového fondu z nově dokončených bytů za celé území ČR mezi roky 2005 a 2006:

$$TOB_{R(2006)} = 3\,909\,874; TOB_{R-1(2005)} = 3\,905\,936; DB_{R(2006)} = 30\,190$$

$$Y = (3\,909\,874 - 3\,905\,936) / 30\,190 = 0,13 \text{ (13 \%)}$$

Takto je vypočtena hodnota pro každý rok sledované časové řady 2001 – 2011 a z těchto hodnot je spočten medián za ČR 19,7 %.

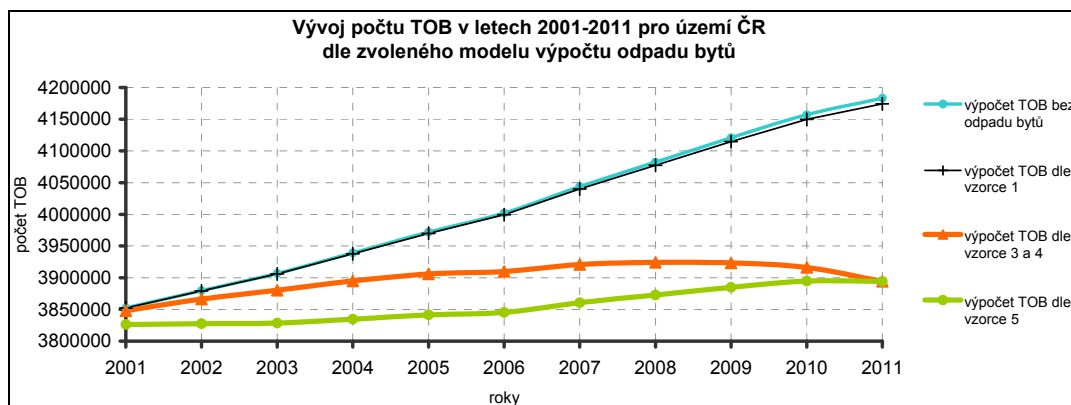
⁷ Pro názornost představení upravené výše odpadu je vhodné uvádět jednu hodnotu 0,85 %, spočtenou ze všech datových řad krajů mediánem. Tato hodnota se tedy liší od výše odpadu z jedné datové řady za území ČR. V tabulce 1 je hodnota z datové řady za území ČR 1,05 %.

Stanovením časové řady mezi SLDB ukazatele trvale obydlených bytů na 1000 obyvatel lze sledovat vývoj bytových fondů v krajích (viz obr. 2). Tyto metody výpočtu budou následně zapracovány do aplikace *Disparitér*⁸, která v sobě obsahuje výstupy projektu MMR ČR *Regionální disparity v dostupnosti bydlení, jejich socioekonomické důsledky a návrhy opatření na snížení regionálních disparit*.

Tab. 1: Údaje o bytech v letech 2001 a 2011 (vlastní výpočty z dat ČSÚ)

ukazatel		kraje ČR														ČR
		PRA	STR	JHC	PLZ	KAR	UST	LIB	HK	PAR	VYS	JM	OLO	ZLN	MSK	
TOB	počet TOB 2001	496940	413060	231281	208992	115913	321928	161830	204529	182943	177386	407274	232048	204806	468748	3827678
	počet TOB 2011	496911	458488	238257	215894	109431	308398	161192	206272	189196	182537	423451	234809	208861	460513	3894210
	změna počtu TOB	-29	45428	6976	6902	-6482	-13530	-638	1743	6253	5151	16177	2761	4055	-8235	66532
	- změna v %	-0,01%	11,00%	3,02%	3,30%	-5,59%	-4,20%	-0,39%	0,85%	3,42%	2,90%	3,97%	1,19%	1,98%	-1,76%	1,74%
neobydlenost domů	počet bytů II. a nižší kategorie, 2001, N	24271	64954	31730	27545	11972	31397	25369	32428	25495	22964	35868	23682	18837	35473	411985
	Domy celkem 2001	88200	307120	147970	120279	39866	124567	84883	128770	118714	126579	240100	127680	133402	180888	1969018
	D. neobydlené 2001	6040	67567	36426	24741	4200	19326	18536	27108	22034	24952	32878	16487	18826	19192	338313
	Domy celkem 2011	98955	352168	163658	130291	44600	134579	91806	136891	128501	136612	258719	136856	141700	194420	2149756
	D. neobydlené 2011	9130	73110	41396	26367	5598	20927	19844	28704	24562	28698	37137	18710	21311	21353	376847
model TOB, optimalizovaný odpad	změna neobydlenosti v %, S _{RI}	2,38%	0,00%	0,68%	0,00%	2,02%	0,04%	0,00%	0,00%	0,55%	1,29%	0,66%	0,76%	0,93%	0,37%	0,35%
	TOB, model, 2001	499142	415917	232865	210472	116265	322532	162498	205722	184256	178524	409710	233571	206200	470246	3847941
	TOB, model, 2002	501136	418980	234306	211883	116300	322634	163078	206941	185358	179718	412278	234800	207374	471552	3866376
	TOB, model, 2003	502652	422694	235087	212952	116208	322734	163617	207534	186068	180509	414302	235551	208199	472147	3880304
	TOB, model, 2004	504709	427546	236373	214116	115892	322122	164127	207952	187010	181382	416426	236136	208955	472178	3894997
	TOB, model, 2005	506460	432037	237201	215007	116008	321289	164253	208246	187616	182074	418101	236163	209741	471637	3905936
	TOB, model, 2006	505935	436081	237759	215773	115421	320158	164069	208109	188179	182518	419520	236161	209783	470314	3909874
	TOB, model, 2007	508613	442449	238271	216160	114538	318687	163857	208324	188933	182973	422531	236398	210163	468825	3920856
	TOB, model, 2008	507340	447940	239176	217087	113537	316680	163601	208436	189511	183303	423668	236491	210029	467337	3924244
	TOB, model, 2009	506179	452492	239303	217187	112220	314392	163269	207919	189698	183152	424754	236553	210278	465886	3923380
	TOB, model, 2010	502870	456709	239195	216921	111048	311739	162511	207467	189760	183181	424948	236023	209859	463859	3916152
	TOB, model, 2011	496911	458488	238257	215894	109431	308398	161192	206272	189196	182537	423451	234809	208861	460513	3894210
	odpady a zisky (mediány za léta 2001-11)	odpad optimalizovaný, z II. a nižší kategorie, X	3,84%	0,49%	0,70%	0,79%	1,69%	1,19%	0,79%	0,70%	0,62%	0,75%	1,18%	0,91%	0,96%	1,39%
odpad optimalizovaný, z TOB celkem, X ₂		1,14%	0,44%	0,57%	0,61%	1,08%	0,71%	0,74%	0,66%	0,51%	0,58%	0,61%	0,56%	0,53%	0,63%	0,68%
hodnota zisku bytů do BF z přírůstku dok. bytů		8,3%	71,0%	31,3%	35,9%	-113,7%	-114,4%	-17,8%	8,9%	38,8%	28,4%	39,8%	4,1%	18,0%	-54,6%	19,7%

pozn.: hodnoty za jednotku ČR nejsou mediány za kraje, ale jsou stanoveny z dat ČSÚ za území ČR; červeně zvýrazněné naznačují úbytek bytů mezi roky; oranžově zvýrazněné hodnoty znamenají záporný zisk z přidanych bytů do bytového fondu (tj. ubývají byty i ze stávajícího bytového fondu)



Obr. 2: Graf vývoje počtu trvale obydlených bytů v ČR dle zvolených výpočtových modelů odhadu odpadu bytů (vlastní výpočty z dat ČSÚ)

⁸ Aplikace *Disparitér* je dílčím výsledkem projektu MMR WD 05-07-3. Původní verze je volně dostupná na webu <<http://www.disparity.cz>>.

3 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Jelikož se ukazatel počtu trvale obydlených bytů meziročně statisticky nesleduje a je nutno jej stanovit náhradní metodikou dopočtu z přírůstků bytového fondu, dle ukazatele dokončených bytů, bylo nutno tento model výpočtu modifikovat úvahou o výše odpadu bytů. Tyto úvahy byly použity již v projektu MMR ČR WD 05-07-3, konkrétně byl model nastaven výší meziročního odpadu bytů 0,033 % z bytů II. a nižší kategorie, což při srovnání s předběžnými výsledky SLDB 2011 se jeví jako velmi nízká hodnota. Upravený model pak počítá s výší meziročního odpadu 0,85 % z bytů II. a nižší kategorie (medián hodnot krajů ČR; absolutně je to meziročně 3 518 bytů) a v celkovém výpočtu je vypočten také meziroční odpad z celkového bytového fondu, jež činí pro ČR 0,68 % (absolutní hodnota odpadu mezi léty 2010 a 2011 je 26 528 bytů). Pro další odhad úbytku bytů byl stanoven ukazatel přírůstku bytů do bytového fondu, promítnutého do dokončených bytů, jež má v ČR výši 19,7 % (medián za období 2001–2011, v mediánu je to absolutní hodnota 7 438 bytů za rok) z počtu nově dokončených bytů (za ČR 2001–2011 je to úhrnem 355 450 dokončených bytů).

Příspěvek také zjednodušeně seznamuje s předběžnými výsledky SLDB 2011, v podobě ukazatelů bytového fondu, tj. vývoje počtu trvale obydlených bytů v krajích ČR. Analýzy předběžných výsledků SLDB 2011 je vhodné do budoucna dále optimalizovat, doplnit reálné hodnoty dat za dokončené byty v roce 2011, které byly v propočtu modelovány. Dále je rovněž vhodné se zamyslet nad relevantností dat o dalších možných ukazatelích, které by mohly být pro účely hodnocení fyzické dostupnosti bydlení použity [4].

Jelikož jde o idealizovaný model propočtu hodnot trvale obydlených bytů mezi jednotlivými SLDB, je nutné brát na vědomí rizika této metody, která spočívají jak v dostupnosti platných dat, tak zkrácení reálné situace modelem a iterací výpočtu odpadů a v neposlední řadě také chápáním metodik sběru dat ve SLDB 2001 a 2011. I přes tato rizika lze pro názornost vývoje stavu obydlivosti bytového fondu tento model použít. Je důležité si uvědomit, že tento text přibližuje metodu modifikace odhadu odpadu z počtu *trvale obydlených bytů*, což nejsou byty v bytovém fondu *celkem* a tyto odpady mohou tedy být zapříčiněny i samotnou neobydleností bytů.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován v rámci projektu OP VK – „CZ.1.07/2.3.00/20.0013 – Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO“.

LITERATURA

- [1] ČESELSKÝ, J., FERKO, M., KOUDELA, V. Prognostické úvahy o fyzické dostupnosti bydlení v regionálním průmětu. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava - řada stavební*, 2008, roč. VIII, č. 1, s. 125–144.
- [2] FERKO, M., ČESELSKÝ, J., OTIPKA, P. Softwarový nástroj analýza prevence výsledků projektu o regionálních disparitách v dostupnosti bydlení. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava – řada stavební*. 2008, roč. VIII, č. 1, s. 145–152.
- [3] KOUDELA V. *Regionální disparity v dostupnosti bydlení, jejich socioekonomické důsledky a návrhy opatření na snížení regionálních disparit - metodika analýzy fyzické dostupnosti bydlení*. Výzkumná zpráva k projektu MMR ČR WD 05-07-3 Place: VŠB-TUO, OSTRAVA 2007.
- [4] FERKO M. & KUDA F. *Disparity ve fyzické dostupnosti bydlení*. Professional Publishing, Praha, 2011, ISBN 978-80-7431-052-2.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Mária Zúbková PhD., Ústav manažmentu, Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

Doc. Ing. Petr Dlask, Ph.D., Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví, FAST, ČVUT v Praze.

Eva KOLARČÍKOVÁ¹, Jana KALUŽÍKOVÁ²

**BEZBARIÉROVÉ SOUKROMÉ A SPOLEČNÉ CENTRÁLNÍ HYGIENICKÉ PROSTORY
V OBJEKTECH SOCIÁLNÍ PÉČE**

**ACCESSIBLE PRIVATE AND COMMON CENTRAL SANITARY FACILITIES
IN BUILDING FOR SOCIAL CARE**

Abstrakt

Tento článek se zabývá tvorbou bezbariérového hygienického prostředí v objektech sociální péče a to, se zaměřením na pohybové omezení jeho uživatelů. V druhé kapitole jsou uvedeny manipulační prostory pro osoby s kompenzační pomůckou či s asistentem i u zařizovacích předmětů a to, jak pro separátní-soukromou, tak pro společnou-centrální hygienu. Následují příklady řešení centrální hygienické části a následně i soukromé. Závěrečné zhodnocení a předpokládaný vývoj bezbariérovosti.

Klíčová slova

Bezbariérovost, manipulační plochy, soukromá koupelna, centrální koupelna.

Abstract

This article deals with the planning of sanitary environment in buildings for social care especially with a focus on person with movement restrictions. In the second chapter provides space requirements for people with mobility aids, assistant also fittings for both separate-private and common-central sanitary facilities. The following examples represent solutions of the central and private sanitary facilities. In conclusion is indicated assessment and expected development of accessibility.

Keywords

Accessibility, space requirements, private sanitary facilities, central sanitary facilities.

1 ÚVOD

Hygienické prostory ve stavbách sociální péče, ať již soukromé nebo centrální, musí být v plném souladu s požadavky bezbariérového užívání, zejména pro uživatele s pohybovým omezením a omezením zrakovým.

Pohybové bariéry mohou být pro uživatele hygienických prostor různé, vždy v závislosti na aktuálních fyzických schopnostech konkrétního jedince. Nejčastěji bariéry bývají při koupání či sprchování, využívání WC a umyvadla.

Zrakové bariéry jsou obvykle identifikovány jako: bariéry pro osoby nevidomé a pro osoby slabozraké. Pro osoby slabozraké je nutné zabezpečit vizuální kontrasty. Jedná se například o kontrast

¹ Ing. Eva Kolarčíková, Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 929, e-mail: eva.kolarcikova.st@vsb.cz.

² Ing. Jana Kalužíková, Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 929, e-mail: jana.kaluzikova.st@vsb.cz.

místa vstupu k okolnímu prostředí, dále kontrast samotných zařizovacích předmětů, vnitřního vybavení a event. další opatření. Pro nevidomé je důležité označovat dveře do hygienických prostor štítkem s Braillovým písmem.

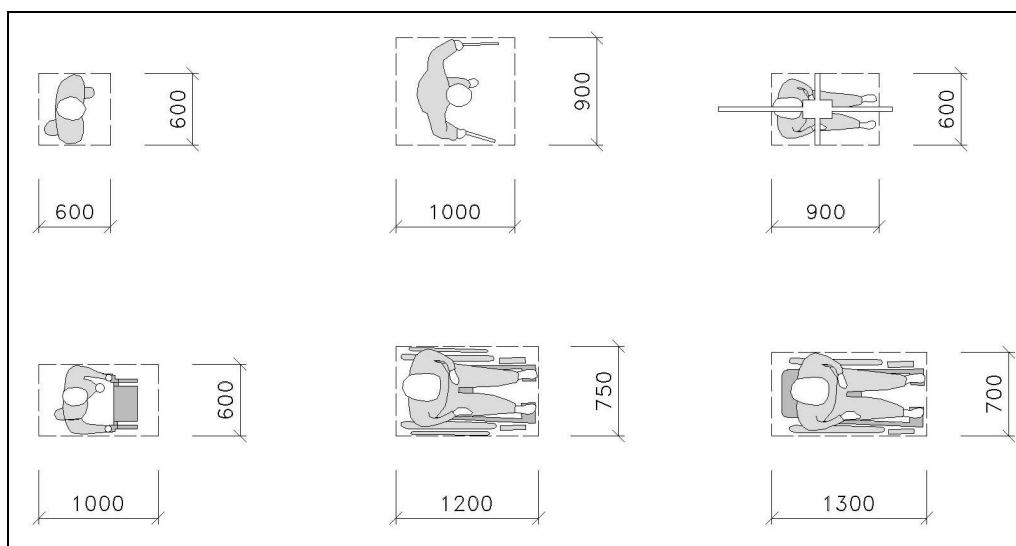
V následující části článku je pozornost zaměřena na řešení situace pouze osob s pohybovým postižením.

2 POŽADAVKY OSOB S POHYBOVÝM OMEZENÍM

Stejně jako každá osoba je jiná, tak jsou i různé pohybové omezení a s tím spojené i požadavky těchto osob na úpravy parametrů prostředí. Pohybové omezení může být dočasné, nebo trvalé. Dočasné pohybové omezení, je takové omezení, které trvá jen po určitou dobu, může být způsobeno např. zlomeninou končetiny. Nejčastější příčinou trvalého pohybové omezení je úraz např. pády – poranění míchy. U seniorů bývá pohybové omezení způsobeno právě již věkem a má charakter zhoršené fyzické či motorické funkce, s předpokladem dalšího zhoršování stavu.

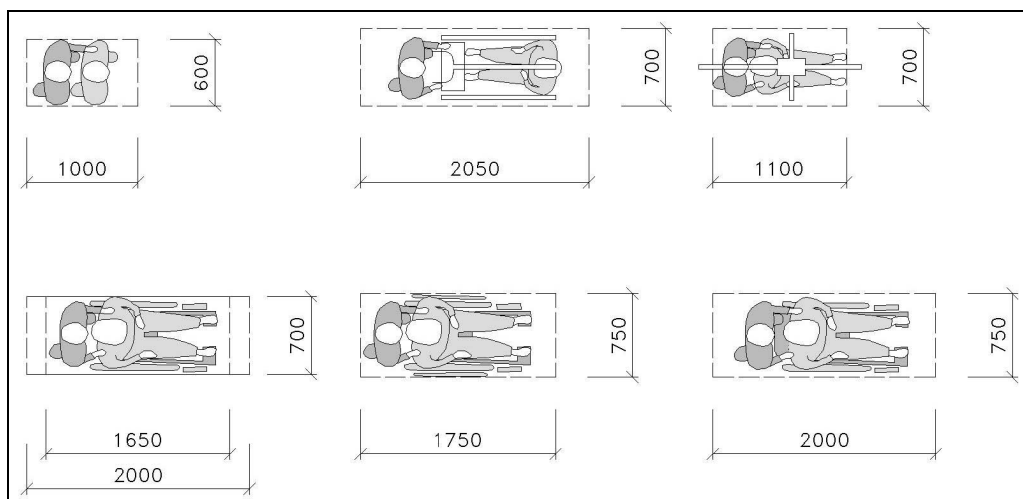
2.1 Manipulační prostory

Podle závažnosti a druhu pohybového omezení se používají různé kompenzační pomůcky. Jedná se např. o berle, francouzské hole, pro závažnější případy pak jde o chodítka, mechanický či elektrický vozík při nejzávažnějších pohybových omezeních. Kompenzační pomůcky mají různé velikosti, které vyžadují odlišné prostorové nároky. Na obr. 1 je znázorněn základní manipulační prostor zdravého jedince [1] v porovnání s prostorem osoby s kompenzační pomůckou.



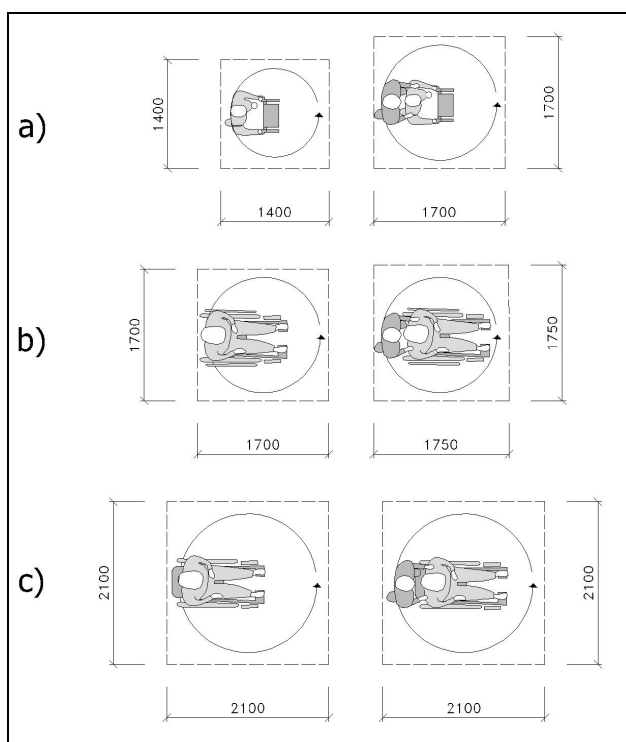
Obr. 1: Základní manipulační plocha – pro jednu osobu, osobu s francouzskými holemi, osobu v závěsném zařízení, osobu s chodítkem, pro osobu na mechanickém vozíku a osobu na elektrickém vozíku

I přesto, že osoba využívá kompenzační pomůcku, může mít problém se zvládnutím různých úkonů ve svém okolí, většinou se týkají právě pohybu nebo hygieny. V tomto případě má být k dispozici asistent, který se zvládnutím problémových úkonů pomáhá. Potřebná manipulační plocha a tím i prostor při využívání asistenta a konkrétní kompenzační pomůcky je znázorněna na obr. 2.



Obr. 2: Základní manipulační plocha s využitím asistenta – pro jednu osobu, osobu v závěsném zařízení, osobu na zvedacím závěsném zařízení, osobu na toaletním nebo sprchovém vozíku, pro jednu osobu na mechanickém vozíku, osobu na elektrickém vozíku

Při návrhu objektu sociální péče, kde se předpokládá výskyt osob s pohybovým omezením, je důležité zajistit bezpečný a bezbariérový pohyb. S tím také souvisí možnost otočení osoby s kompenzační pomůckou. Na obr. 3 jsou zobrazeny plochy potřebné pro otočení o 360° a to, jak ve variantě bez asistenta, tak s ním.

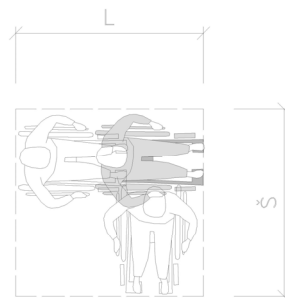


Obr. 3: Základní manipulační prostor pro optimální otočení z místa o 360° – pozice vlevo pro samostatný pohyb jedné osoby, pozice vpravo pro zabezpečení manipulace s asistentem – a) pro osobu s chodítkem, b) osobu na mechanickém vozíku, c) osobu na elektrickém vozíku

Ideální manipulace osob na vozíku vychází z typu invalidního vozíku a potřeby využití asistenta. Následující tabulky, tab. 1 a tab. 2, uvádějí optimální rozměry pro otočení o 90° a 180° [1] v porovnání s požadavky právního předpisu [3].

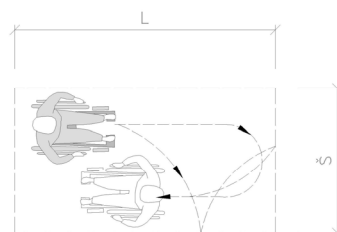
Tab. 1: Potřebný prostor pro otočení o 90°

Typ vozíku	L (mm)	Š (mm)
mechanický	1300	1450
elektrický	1500	1600
s asistentem	1200–1800	1500–1800
Vyhláška [3]	1200	1500



Tab. 2: Potřebný prostor pro otočení o 180°

Typ vozíku	L (mm)	Š (mm)
mechanický	1900	1500
elektrický	2200	1600
s asistentem	1600–2000	1500–1800
Vyhláška [3]	1500	1500



2.2 Prostorové nároky ve společných centrálních hygienických prostorách

U řady staveb řešených jako objekty sociální péče je plnění hygieny realizováno za asistence. K očištění je vhodné uvažovat nejen individuální koupelny, ale i hromadné centrální koupelny. Na tyto centrální koupelny jsou kladeny větší prostorové nároky. Při transportu osob jsou zde zvýšené požadavky na manipulační prostory. Prostorové nároky vyžaduje i umístění zvedáků a hybných zařízení pro přesun osob s postižením [4].

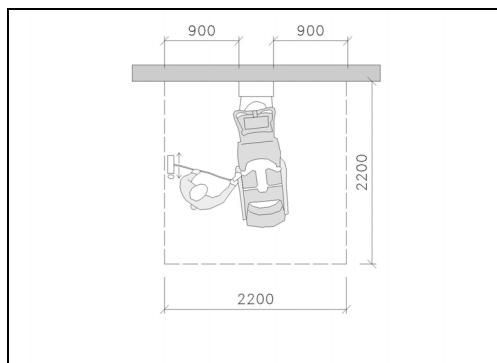
Samotné zařizovací předměty je nutno umisťovat s dostatečnými odstupy pro zajištění bezproblémové obslužnosti.

2.2.1 Sprchovací a hygienické židle/křesla

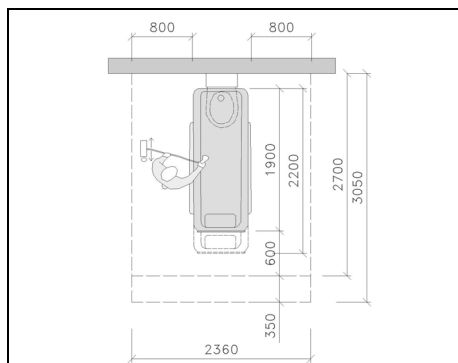
Sprchovací židle a křesla slouží ke zmenšení náročnosti manipulací se seniory a to, především při úkonech jako je sprchování, oblékání, svlékání, pedikúra, užití toalety apod. Příklad takového zařízení včetně potřebné plochy pro manipulaci je znázorněn na obr. 4.

2.2.2 Sprchovací vozíky

Sprchovací vozík je určen pro nejzávislejší klienty, kteří nemohou využívat při sprchování víceúčelové sprchovací hygienické křeslo nebo židli. Výhodou tohoto sprchovacího vozíku je možnost využití jako ošetřovatelského stolu. Příklad sprchovacího vozíku včetně potřebné plochy pro manipulaci je zobrazen na obr. 5.



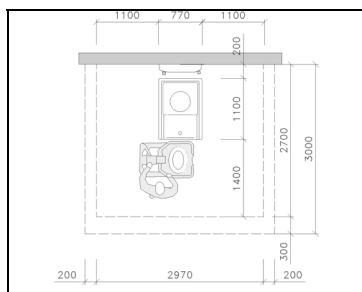
Obr. 4: Sprchovací hygienická židle/křeslo



Obr. 5: Sprchovací vozík

2.2.3 Sprchovací kabiny

Sprchovací kabiny jsou výhodné pro instalaci v malých prostorách. Umožňují zajistit klientovi větší soukromí, než při užití sprchovacího vozíku a zároveň svými stěnami sprchovací kabina brání rozstříku vody do okolního prostředí. Obr. 6 zobrazuje rozměrové manipulační požadavky pro sprchovací kabinu.



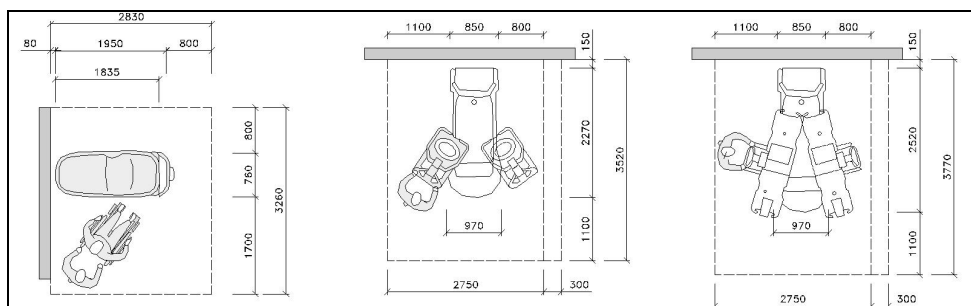
Obr. 6: Sprchová kabina

2.2.4 Sprchovací panely (boxy)

Sprchovací panely se používají hlavně v kombinaci se sprchovacími vozíky a kabinami. Zajišťují asistentovi možnost provést potřebnou hygienu klienta. Sprchovací panely se osazují jako nástěnné panely.

2.2.5 Speciální vany

Speciální vany slouží k očištění klienta, kterému mohou poskytnout větší komfort. Tyto vany mohou nabídnout klientovi snazší přístup ze strany a zároveň asistentovi umožní pohodlné zvednutí vany nebo její naklápění během samotného koupání. Příklady speciálních van v kombinacích s různými pomůckami k dopravě klientů jsou znázorněny na obr. 7.



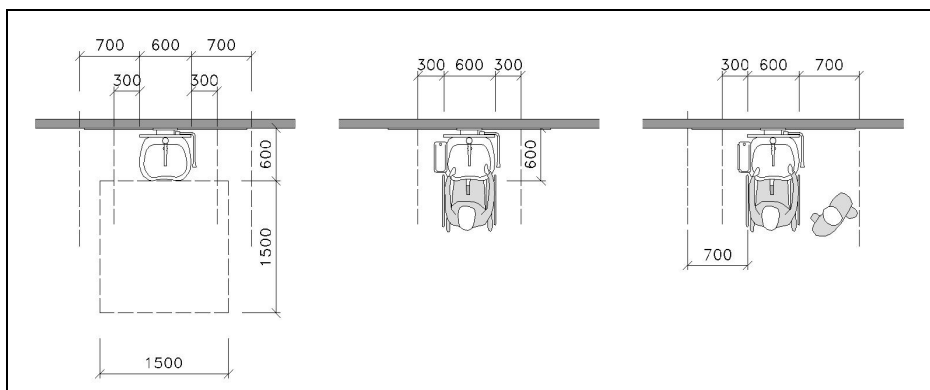
Obr. 7: Speciální vany v kombinacích s různou možností dopravy klienta

2.3 Prostorové nároky v soukromých hygienických prostorách

Separátní-soukromé hygienické prostory jsou součástí každé obytné jednotky. Jelikož je velmi těžké dopředu říci, jaké pohybové omezení bude mít ubytovaný klient v objektech sociální péče, je tedy nutné počítat s mezní variantou. Návrh separátních-soukromých hygienických prostor tedy musí být proveden pro osobu pohybující se na vozíku. Aby samotný návrh mohl být proveden správně, je nutné si uvědomit, jaké jsou požadavky na manipulaci zejména u jednotlivých zařizovacích předmětů [2].

2.3.1 Manipulace u umyvadla

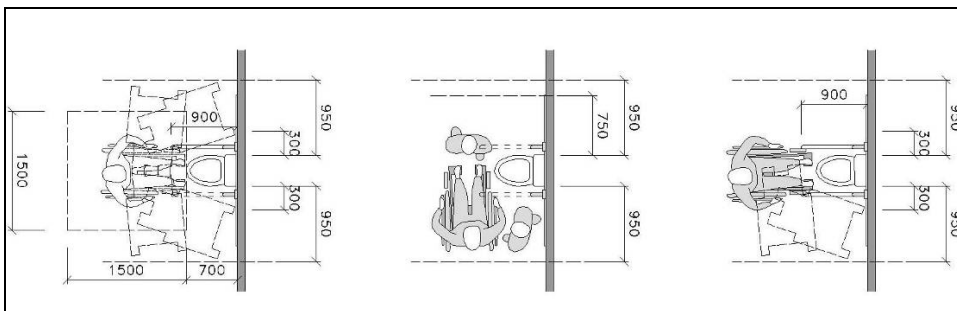
Umyvadlo stejně jako ostatní zařizovací předměty v hygienickém prostoru mohou být používány samostatně klientem, nebo je při použití nutná výpomoc personálu. Následující obr. 8 znázorňuje potřebnou manipulační plochu před umyvadlem, při jeho použití a to, jak samostatně, tak s asistentem.



Obr. 8: Manipulace u umyvadla – potřebná plocha před zařizovacím předmětem, plocha pro osobu na vozíku, plocha pro osobu na vozíku s asistentem

2.3.2 Manipulace u záchodové mísy

Základním principem při návrhu záchodové mísy je pamatovat na to, že vedle záchodové mísy musí být ponecháno místo pro invalidní vozík. Obr. 9 vykresluje situaci při užívání záchodové mísy samostatně a s asistentem.

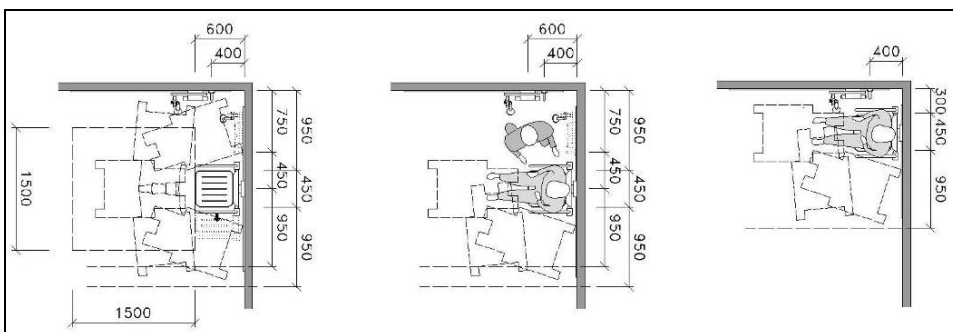


Obr. 9: Manipulace u WC mísy – potřebná plocha před zařizovacím předmětem, osoba na vozíku, osoba na vozíku s asistenty

2.3.3 Manipulace u sprchovacího koutu (boxu)

Správná manipulace u sprchovacího koutu představuje poslední situaci, kterou je nezbytné se zabývat, jelikož právě sprchovací kouty tvoří soukromou část hygienických zařízení v objektech

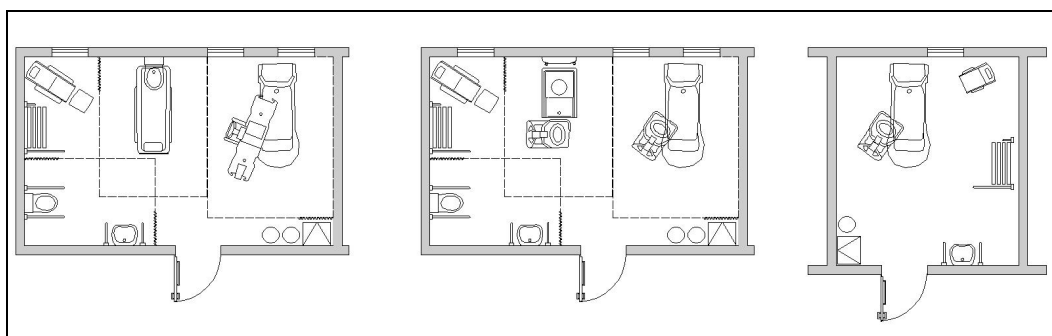
sociální péče. Stejně jako u záchodové mísy musí být u vedle sprchovacího koutu ponecháno místo na vozík. Jak má vypadat sprchovací kout je vidět na obr. 10.



Obr. 10: Manipulace ve sprchovacím koutě – potřebná plocha před zařizovacím předmětem, plocha pro osobu na sedátku ve sprchovacím koutě a plocha pro osobu na sedátku ve sprchovacím koutě s asistentem

3 SPOLEČNÁ CENTRÁLNÍ KOUPELNA

Společná centrální koupelna je důležitou součástí každého objektu sociální péče a je tedy nutné ji řádně navrhnout. Centrální koupelna by se měla navrhovat pokud možno v centru dispozice daného objektu. Při návrhu rozměrových parametrů prostoru, manipulačních prostorů a výběru vanového systému se vždy vychází z potřeb jednotlivých klientů s nejmenším stupněm mobility. Dveře do centrální koupelny se umísťují proti čelu vany, pro zajištění snadného přístupu mají mít dveře šířku 1100 mm. Každá centrální koupelna musí mít zajištěno denní osvětlení. Vana se do centrální koupelny umísťuje tak, aby byla přístupná nejméně ze tří stran. Optimální by bylo umístit vanu v prostoru přístupném ze všech stran. Podlaha v prostoru centrální koupelny musí být v protiskluzovém materiálovém provedení, musí umožnit snadnou údržbu a odvodnění a zároveň dodržení požadavků na maximální sklon 1:50 (2 %). Pro větší pohodlí klienta i asistenta je optimální zvolit výškově nastavitelnou vanu s možností bočního přístupu. Společná centrální koupelna je nejen místo očisty, ale stává se i relaxačním prostorem při zajišťování pokoupelevého odpočinku. Z tohoto důvodu by bylo dobré volit vhodné interiérové vybavení, barvy apod. Příklady kompletních centrálních koupelen jsou na obr. 11.

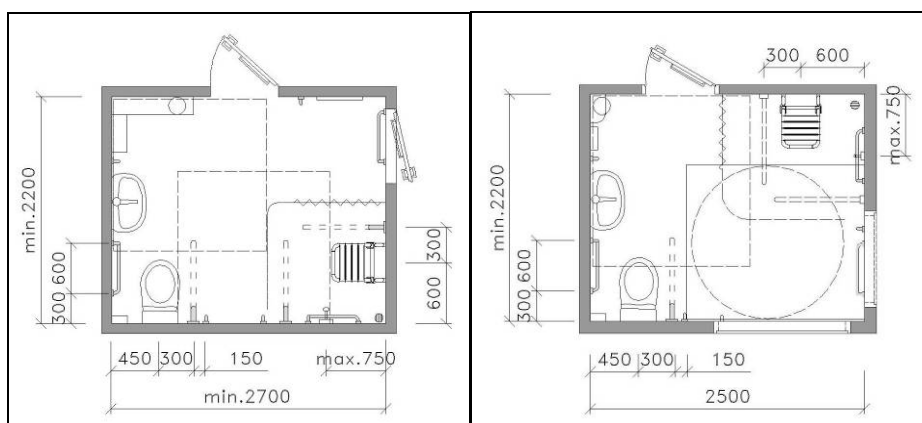


Obr. 11: Variantní řešení centrální koupelny

4 SOUKROMÁ KOUPELNA

Jelikož již víme z předcházející části, jaké jsou manipulační nároky u jednotlivých zařizovacích předmětů, můžeme přistoupit k návrhu celé koupelny, kdy zohledníme všechny požadavky. Správně navržená koupelna má umožňovat bezproblémový bezpečný a pohodlný pohyb

každému jejímu uživateli. Poslední obr. 12 ukazuje příklad řešení soukromé bezbariérové koupelny [2].



Obr. 12: Návrh řešení soukromé koupelny

5 ZÁVĚR

Bezbariérové hygienické prostory, které umožňují klientům pohodlný a bezpečný pohyb jsou důležitou součástí vybavení objektů sociální péče, které má usnadnit život nejen seniorů, ale všech osob s pohybovým omezením. Vzhledem k neustále se zvětšujícímu počtu seniorů a tím i rostoucí skupině osob s pohybovým omezením, narůstá důležitost řešení této problematiky při současně kvantitativně i kvalitativně narůstajících požadavcích na bezbariérovost a to, jak ve vnějším, tak i ve vnitřním prostředí.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za podpory projektu SGS: Standardy bezbariérového užívání v objektech sociální péče a zdravotnictví, č. projektu SP 2011/116, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra městského inženýrství.

LITERATURA

- [1] ZDAŘILOVÁ, R. *Bezbariérové užívání staveb – metodika k vyhlášce č.398/2009 Sb., o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb*, certifikovaná metodika, osvědčení č. 06-ÚÚR-19-2012/02-WD-05-07-3, Brno, Ústav územního rozvoje.
- [2] ZDAŘILOVÁ, R. *Metodika přístupného prostředí bytového fondu – CELOŽIVOTNÍ BYDLENÍ*, certifikovaná metodika, osvědčení č. 05-ÚÚR-280-2011/02-WD-05-07-3, Brno, Ústav územního rozvoje.
- [3] Vyhláška č. 398/2009 Sb., o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb.
- [4] ARJO – požadavky na prostor [online].[cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.arjo.com/cz/>>.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Zdenka Lhotáková, CSc., Ústav stavitelství, Fakulta architektury, Vysoké učení technické v Brně.

Doc. Ing. Petr Šrytr, CSc., Katedra technologie staveb, Stavební fakulta, České vysoké učení technické v Praze.

Tomáš PETŘÍK¹, Markéta LEDNICKÁ², Zdeněk KALÁB³, Eva HRUBEŠOVÁ⁴

HODNOCENÍ TECHNICKÉ SEIZMICITY V OKOLÍ REKONSTRUOVANÉ KOMUNIKACE

ANALYSIS OF TECHNICAL SEISMICITY IN THE VICINITY OF RECONSTRUCTED ROAD

Abstrakt

Příspěvek se zabývá hodnocením seizmického zatížení stavebních objektů v okolí rekonstruované komunikace při použití těžké vibrační techniky. Konkrétní řešený příklad vychází z experimentálního měření vibrací vyvolaných při rekonstrukci komunikace v obci Karlova Studánka na Bruntálsku. Většina stavebních objektů situovaných v bezprostřední blízkosti komunikace je ve vlastnictví podniku Státní léčebné lázně Karlova Studánka, s.p. a jedná se o památkově chráněné objekty. Kromě výsledků experimentálního měření in situ jsou v příspěvku představeny také výsledky numerického modelování dané situace. Analýza dat prokázala, že použitím vhodné vibrační technologie lze dosáhnout příznivých výsledků z pohledu vlivu na objekty.

Klíčová slova

Karlova Studánka, seizmické zatížení, numerický model, vibrační válec.

Abstract

This contribution deals with the evaluation of seismic loading of structures situated in the vicinity of reconstructed road where vibratory roller was used. Experimental seismological measurements were carried out in the Karlova Studánka village in the district of Bruntál. Buildings situated in the vicinity of reconstructed road are mostly listed buildings owned by the local spa – Státní léčebné lázně Karlova Studánka, s.p. In addition to the results of experimental measurement also results of mathematical modeling are presented in this paper. Analysis of data documents that using suitable vibration technology it is possible to achieve favorable results from the viewpoint of vibration effect on the structures.

Keywords

Karlova Studánka, seismic loading, numerical model, vibratory roller.

¹ Ing. Tomáš Petřík., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: tomas.petrik@vsb.cz.

² Ing. Markéta Lednická, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: marketa.lednicka@vsb.cz.

³ 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) 597 321 948, e-mail: zdenek.kalab@vsb.cz.

⁴ 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) 597 321 373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

1 ÚVOD

Vibrace vyvolané umělým zdrojem během stavebních aktivit spadají do technické seizmicity. Především v zastavěných oblastech se vibrace způsobené technickou seizmicitou projevují negativně poruchami stavebních objektů a ztrátou komfortu osob vyskytujících se v těchto objektech. Hodnocení účinků technické seizmicity se v České republice provádí podle normy ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“ [2]. Odezva na zatížení technickou seizmicitou se posuzuje zpravidla hodnotou efektivní rychlosti kmitání na referenčním stanovišti, tj. v nejnižším podlaží objektu nebo na jeho základech. Pro posouzení je třeba stavební objekt zařadit do tzv. třídy významu [1] a třídy odolnosti [2].

Při použití těžké vibrační techniky, kam spadá také níže řešený případ vibračního válce, se do okolního prostředí šíří vibrace, které mohou představovat pro nejbližše situované stavební objekty významné seizmické zatížení. Při výběru vhodného typu vibračního válce a vhodného způsobu generování vibrací se mohou minimalizovat negativní účinky a sníží se tak riziko poškození stavebních objektů. Ke stanovení předpokládaného seizmického zatížení před začátkem rekonstrukce komunikace můžeme přistoupit několika způsoby. Jedním z nich je matematické modelování dané situace. Příklad tohoto způsobu stanovení seizmického zatížení je uveden níže v textu. Dalším způsobem je např. použití dat a poznatků z jiné lokality s podobnými geologickými poměry a podobným vibračním zařízením. V neposlední řadě je možné provádět měření seizmických účinků během probíhající rekonstrukce a na základě získaných výsledků přizpůsobit technologii hutnění daným okolním podmínkám. Výsledky měření a modelování účinků vibrací při použití těžké vibrační techniky lze nalézt např. v článcích [3], [6], [7] a [8].

V předmětné lokalitě Karlovy Studánky, kde probíhala rekonstrukce komunikace, bylo seizmické zatížení v okolí této komunikace vyhodnoceno metodikou mapy střetů zájmů, která zahrnuje jak informace o stavebních objektech (tzv. stupeň zranitelnosti, [4]), tak informace o velikosti seizmického zatížení ve formě izoliní rychlosti kmitání v okolí komunikace. Podrobnější popis metodiky tvorby map střetů zájmů pro hodnocení seizmického zatížení stavebních objektů lze nalézt např. v článku [5]. Získaný výstup hodnocení seizmického zatížení ve formě mapy střetů umožňuje přehledné zhodnocení celé situace v dané lokalitě a vymezuje případné kritické oblasti, kterým je třeba při hodnocení seizmického zatížení věnovat zvýšenou pozornost.

2 SITUACE V KARLOVĚ STUDÁNCE

Karlova Studánka spadá geograficky do okresu Bruntál a je jeho nejvýše položenou obcí. Prioritou Karlovy Studánky je lázeňství, které stálo u zrodu obce v 18. století. Z geologického hlediska se Karlova Studánka nachází v horském reliéfu Jeseníků, je situována na rozhraní krystalinika Jesenské klenby a vrbenských vrstev. Toto území je pokryto kvarténními sedimenty, což jsou hlavně balvanité sutě a štěrky, lze v něm nalézt významné tektonické linie.

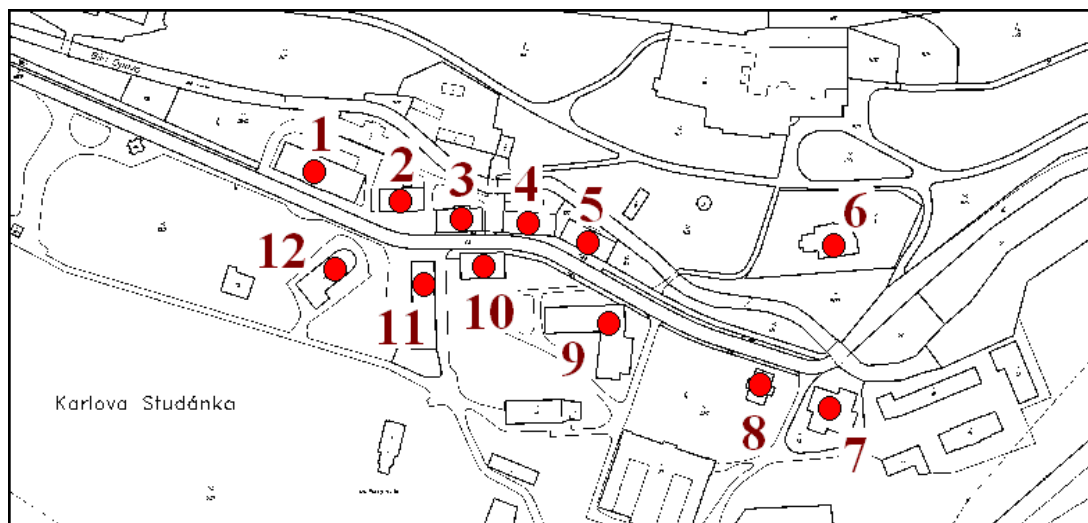
Přes obec prochází komunikace II/445 směrem od Bruntálu na Rýmařov a Jeseník. Na jaře roku 2010 probíhala v obci rekonstrukce této komunikace, přičemž při stavbě nové vozovky byl ke zhutňování podložních vrstev použit vibrační válec BOMAG BW 177 DH [10]. Kolem této komunikace je soustředěna většina stavebních objektů lázní, včetně památkově chráněných, které jsou zapsány na seznamu památek ČR. Z objektů lze uvést např. Vyšetřovací ústav, Lázeňský dům Pošta, Dům Odra, Lázeňský dům Bezruč, Lázeňský dům Opava (obr. 1). Nejstarší objekty pochází z konce 18. století. Uvedené budovy se nachází v bezprostřední blízkosti komunikace II/445 a tudíž bylo očekáváno jejich zvýšené seizmické zatížení. Již před započatím rekonstrukčních prací byla provedena pasportizace objektů, na kterých byly patrné trhliny ve zdivu. I proto bylo k hutnění přistoupeno co nejšetrnějším způsobem.

Pro vybrané objekty v bezprostřední blízkosti komunikace byl stanoven tzv. stupeň zranitelnosti (označen α až ε v tab. 1), který zohledňuje třídu odolnosti objektů a jejich sociální a ekonomický význam (metodika uvedena např. v [4]). Vzhledem ke stáří objektů a vzhledem k tomu, že se jedná o kulturní památky, jsou všechny zařazeny do třídy odolnosti *A*, až na objekt prodejny potravin, který je zařazen do třídy odolnosti *B*. Z hlediska významu byly objekty zařazeny

do tříd I a II. Stupeň zranitelnosti pro jednotlivé objekty v řešené lokalitě je uveden ve výsledné mapě střetů na obr. 6.

Tab. 1: Stupeň zranitelnosti stavebních objektů (označen α až ε) v závislosti na třídě odolnosti [2] a třídě významu [1]

Stupeň zranitelnosti objektů				
Třída odolnosti objektů	Třída významu objektů			
	U	I	II	III
A	α	β	γ	δ
B	β	γ	δ	—
C	γ	δ	—	—
D	δ	ε	—	—
E	δ	—	—	—
F	ε	—	—	—



Obr. 1: Schéma části obce Kalova Studánka v okolí rekonstruované komunikace.

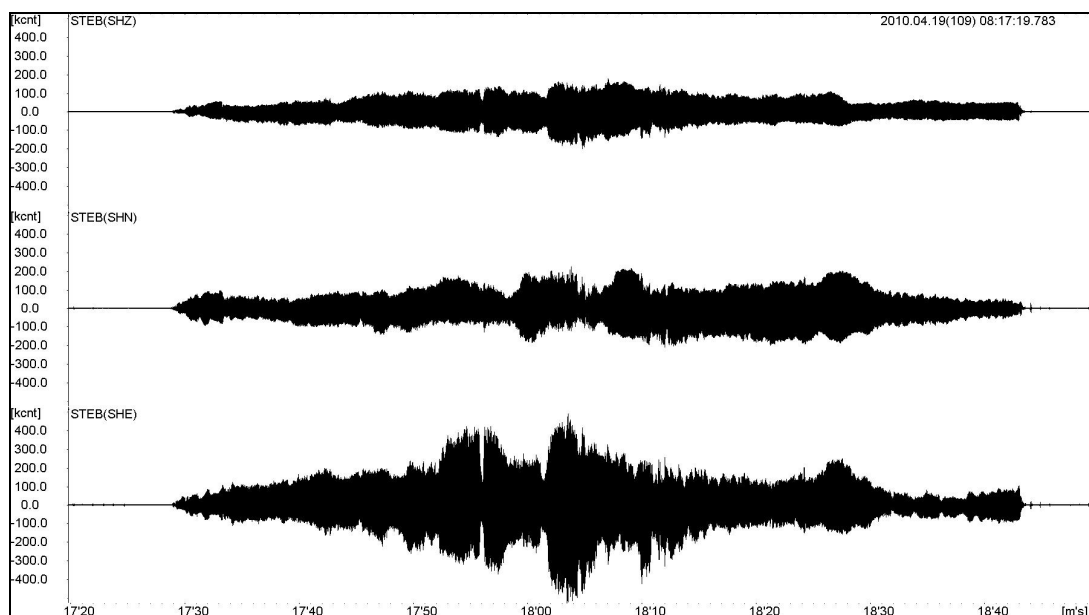
Čísla odpovídají stavebním objektům, které byly v další části analyzovány.

- 1 – Knížecí dům – Vyšetřovací ústav, 2 – Věžový dům (restaurace), 3 – Dům Praděd, 4 – Lázeňský dům Pošta, 5 – Lázeňský dům Opava, 6 – Vila Vlasta, 7 – Prodejna potravin, 8 – Vila Šárka, 9 – Lázeňský dům Bezruč, 10 – Dům Odra, 11 – Hotel Džbán, 12 – Hudební pavilon (Kinosál).

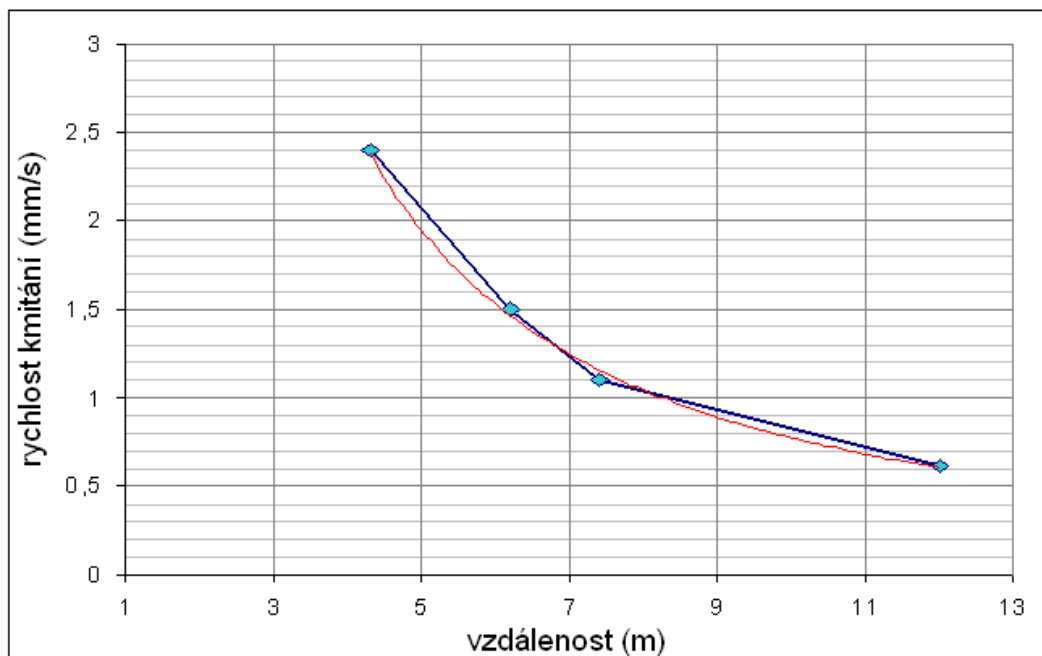
Výsledné zařazení stavebních objektů do stupně zranitelnosti je uvedeno na obr. 6.

3 TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Terénní měření proběhlo na jaře 2010 ve dvou etapách. První jednodenní měření bylo provedeno před lázeňským objektem „Pošta“, kde probíhalo hutnění podkladových vrstev nové komunikace. Druhé střednědobé měření probíhalo v objektech „Odra“ a „Vyšetřovací ústav“ od 6. 5. do 24. 5. 2010. V době zahájení měření byla již před objektem Odra základní vrstva nové komunikace zhutněna. Před vyšetřovacím ústavem probíhalo dokončování odebírání zeminy v prostoru pod budoucí komunikací, během měření pak byly zhotoveny podkladové vrstvy komunikace. Můžeme tedy předpokládat, že doba měření reprezentovala celý pracovní cyklus. K měření byly použity autonomní seizmické stanice typu GAIA firmy VISTEC Praha, které poskytují digitální záznam tříložkových dat, dynamický rozsah aparatury je až 138 dB, vzorkovací frekvence digitálního záznamu je až 500 Hz. Čas řídícího systému stanice je synchronizován pomocí systému GPS. K aparaturám byly připojeny krátkoperiodické tříložkové rychlostní seismometry LE3D a ViGeo2. Orientace vodorovných složek senzorů byla při uváděném měření paprsková, tj. osa N byla orientována rovnoběžně s vozovkou. Většina vibračních projevů hutnění vibračním válcem byla na záznamech dobře rozpoznatelná a je možno jim přiřadit tuto konkrétní stavební činnost. Příklad záznamu je na obr. 2. Maximální naměřená amplituda rychlosti kmitání dosáhla na vodorovné složce hodnoty $2,4 \text{ mm.s}^{-1}$ (tj. efektivní hodnota $1,7 \text{ mm.s}^{-1}$). Spektra záznamů vykazovala významný pík na frekvenci cca 27 – 30 Hz. Na základě naměřených hodnot rychlosti kmitání během prováděných rekonstrukčních prací byla stanovena útlumová křivka závislosti maximální rychlosti kmitání na vzdálenosti od zdroje, a to pro vodorovnou složku, na které byl získán největší projev (obr. 3).



Obr. 2: Vlnový záznam seizmického projevu těžké vibrační techniky pořízeného před lázeňským objektem „Pošta“, na vodorovné ose je vyneseno čas v sekundách, na svislé ose amplituda rychlosti kmitání v kvantovacích úrovních



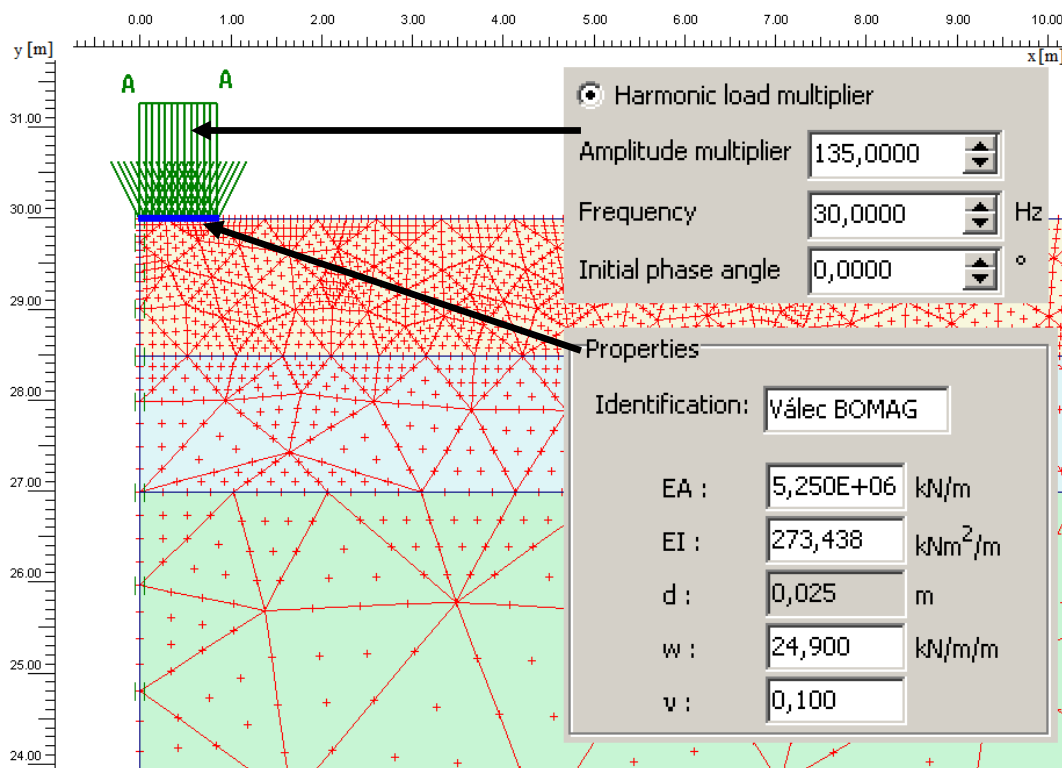
Obr. 3: Závislost měřené amplitudy rychlosti kmitání na vzdálenosti od zdroje (v tomto případě se jedná o vibrační válec BOMAG BW 177 DH použitý na lokalitě Karlova Studánka), červená křivka reprezentuje mocninou závislost

4 MATEMATICKÝ MODEL

Pro tvorbu matematického modelu řešené situace byla využita rovinná verze výpočetního programu PLAXIS V8.2 [9]. Geologické poměry, podstatné pro úroveň pláň komunikace a provádění stavebních prací, byly tvořeny do hloubky 1,5 m z antropogenních navážek. Ty obsahovaly štěrk se stavebním odpadem do hloubky 0,5 m a níže pak s úlomky balvanů různých hornin. Pod svrchní vrstvou se nacházely zhruba do hloubky 3 m svahové hlíny. Ty byly převážně tvořeny hlinou písčitou tuhé až pevné konzistence. Pod těmito vrstvami se nacházely metamorfity krystalinika, tj. horniny typu krystalických břidlic, fylitů, kvarcitů, místy i charakteru sutí, vše s různým stupněm zvětrání (geologické zprávy z Geofondu ČR). Geotechnické parametry zemin byly do modelu zvoleny podle směrných normových charakteristik (viz Tab. 2).

Tab. 2: Geotechnické parametry zemin použité v modelu

Mocnost	Název	E_{def}	ν	γ	c_{ef}	$\varphi_{\phi c}$
[m]		[MPa]	[-]	[kN.m ⁻³]	[kPa]	[°]
0–1,5	Štěrk špatně zrněný s příměsí balvanů	190	0,2	20	1	37
1,5–3,0	Hlína písčitá	8	0,35	18	16	27
3,0–	Metamorfity krystalinika	3200	0,2	20	1500	50

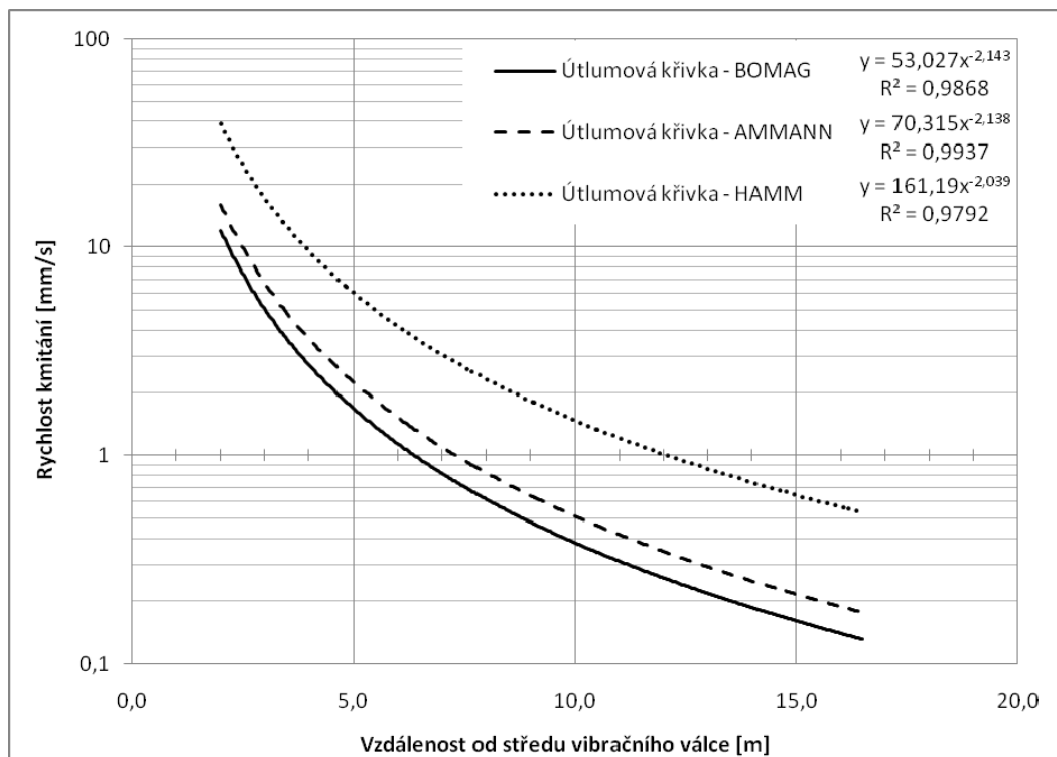


Obr. 4: Popis zadání vibračního válce do výpočetního programu PLAXIS (příklad BOMAG).

Zvolený numerický model byl rotačně symetrický v rozsahu 30×30 m (délka $\times$ hloubka). Horninové prostředí bylo tvořeno třemi vrstvami s horizontálním rozhraním podle geologické stavby. Geotechnické vlastnosti zemin jsou zavedeny podle Tab. 2. Z důvodu zjednodušení byl v modelu zanedbán vliv podzemní vody. V modelu byly kromě klasických geometrických okrajových podmínek zadány i tzv. absorpční podmínky na hranicích modelu. Materiálové parametry tlumení byly v modelu definovány pomocí Rayleighových součinitelů tlumení. Pro danou geologickou stavbu byly hodnoty součinitele zvoleny $\alpha_R = 0,001$ a $\beta_R = 0,01$. Primární napjatost byla generována programovým systémem automaticky na základě vlastností uvažovaných zemin a hloubky. V modelu byly zvoleny 3 typy vibračních válců, z nichž vibrační válec BOMAG odpovídal použitému typu v reálné situaci. Vliv vibračního válce byl v modelu definován pomocí svislé dynamické síly o dané frekvenci působící na ocelovou desku v levém kraji modelu, která odpovídá hmotnosti a poloviční šíři daného běhounu vibračního válce (obr. 4). Parametry vibračních válců potřebné pro zadání do modelu byly voleny podle charakteristik udávaných výrobcem (viz tab. 3).

Tab. 3: Parametry vibračních válců podle výrobců [10], [11] a [12]

	BOMAG	AMMANN	HAMM	
Provozní hmotnost	7840	12730	19800	g
Statická lineární síla	24,9	47,8	56,3	kN.m ⁻¹
Šíře běhounu	1686	1500	2220	mm
Frekvence	30 / 40	32 / 35	27 / 30	Hz
Odstředivá síla	135 / 120	277 / 206	331 / 243	kN

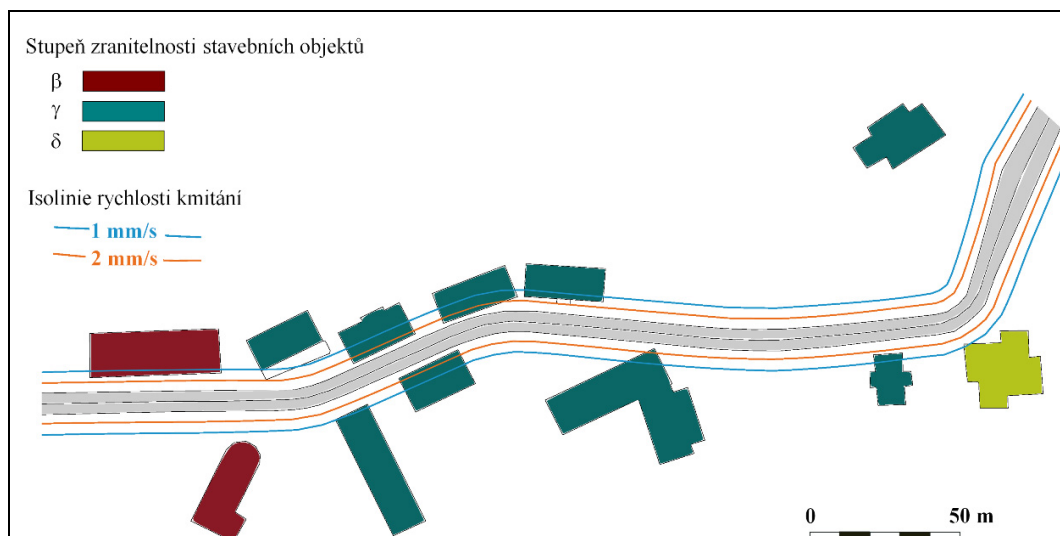


Obr. 5: Útlumová křivka amplitudy rychlosti kmitání pro vodorovnou složku získaná na základě modelované situace.

Pro výpočet nebylo uvažováno dynamické zatížení v celém časovém rozmezí jeho působení, ale pouze po dobu prvních 2 sekund. Výpočet a modelová analýza proběhly ve dvou fázích. Odečet hodnot rychlosti kmitání pro vytvoření útlumové křivky (obr. 5) byl prováděn v 10-ti různých povrchových vzdálenostech od středu vibračního válce. Rychlost kmitání na vodorovné složce podle útlumové křivky pro vibrační válec BOMAG byla ve vzdálenosti kolem 4,5 m od středu běhounu přibližně rovna 2 mm.s^{-1} , ve vzdálenosti kolem 6,5 m od středu vibračního válce se pak hodnota pohybovala kolem 1 mm.s^{-1} . Výsledná útlumová křivka pro vibrační válec BOMAG charakterizuje pouze horninové prostředí dané lokality a částečně se liší od útlumové křivky stanovené na základě experimentálního měření in-situ v zastavěné oblasti. Stavební konstrukce totiž nebyly v modelu uvažovány, a to z důvodu omezené možnosti modelování stavebních objektů nad povrchem terénu ve výpočetním programu Plaxis.

5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Na základě výsledků experimentálního měření bylo provedeno zhodnocení seizmického zatížení stavebních objektů v okolí rekonstruované komunikace pomocí mapy střetů (obr. 6). Podle útlumové křivky z experimentálního měření in situ (obr. 3) byly stanoveny vzdálenosti odpovídající hodnotám rychlosti kmitání 1 mm.s^{-1} a 2 mm.s^{-1} a tyto byly následně použity pro vynesení izoliní v okolí zdroje vibrací podél celé délky rekonstruované komunikace. Tyto izolinie reprezentují maximální rychlosti kmitání dosažené za předpokladu, že zdroj vibrací se pohybuje na okrajích komunikace.



Obr. 6: Mapa střetů hodnotící seismické zatížení v okolí rekonstruované komunikace v obci Karlova Studánka, izoliny maximální rychlosti kmitání jsou vyneseny pro pohybující se zdroj vibrací po celé délce komunikace

Při posuzování dynamické odezvy způsobené technickou seismicitou (s výjimkou odezvy od trhacích prací) z hlediska mezních stavů 1. skupiny není třeba dále odezvu analyzovat, pokud na referenčním stanovišti efektivní rychlost pohybu nepřesáhne mezní hodnoty uvedené v normě [2]. Tyto hodnoty efektivní rychlosti pro analyzované objekty na lokalitě Karlova Studánka jsou uvedeny v tab. 4. V tomto případě představuje stupeň zranitelnosti β objekty třídy odolnosti A a třídy významu I, stupeň zranitelnosti γ objekty třídy odolnosti A a třídy významu II a stupeň zranitelnosti δ objekty třídy odolnosti B a třídy významu II. V tab. 4 jsou dále uvedeny efektivní rychlosti, při jejichž dosažení se doporučuje provádět dynamický výpočet, a efektivní rychlosti, při jejichž dosažení dochází u 5 % objektů k poškození prvního stupně (tj. první známky poškození, trhliny šířky do 1 mm na styku stavebních prvků) [2].

Tab. 4: Mezní hodnoty efektivní rychlosti podle [2]

stupeň zranitelnosti	v_{ef} (mm.s ⁻¹)		
	β	γ	δ
posouzení dynamické odezvy	0,4	0,7	1
doporučení dynamického výpočtu	1,8	2,2	4
poškození prvního stupně u 5 % objektů	7	9	14

Z uvedeného měření a analýzy situace v Karlově Studánce vyplývá, že pro většinu posuzovaných objektů při daném seismickém zatížení by bylo potřeba analyzovat dynamickou odezvu, ale nemělo by dojít ke vzniku poruch. Naměřené příznivé seismické účinky při rekonstrukci komunikace v Karlově Studánce byly dosaženy především vhodným výběrem typu vibračního válce a způsobem generování vibrací. Hutnění nových vrstev rekonstruované komunikace bylo prováděno pouze oscilací (šetrný způsob hutnění), a to především v místech poblíž historických stavebních objektů.

Uvedená metodika ukazuje, jak je možno v geologicky stabilním prostředí stanovit útlumovou křivku vibračních účinků a následně stanovit předpokládané seizmické zatížení stavebních objektů v okolí zdroje vibrací.

6 ZÁVĚR

Použití těžké vibrační techniky je nedílnou součástí dnešních stavebních aktivit. Především v zastavěných oblastech představuje těžká vibrační technika zdroj technické seizmicity, kterou je třeba brát v úvahu při hodnocení seizmického zatížení stavebních objektů v blízkém okolí. Význam matematického modelování spočívá především v tom, že lze vyhodnotit v relativně krátké době velké množství parametrických výpočtů s variantními hodnotami jak parametrů samotného seizmického zatížení, tak i parametrů okolního horninového prostředí. Na základě získaných výsledků modelování lze volbou vhodného typu zařízení a správného technologického postupu prací minimalizovat negativní účinky vibrací šířících se do okolního prostředí, a tím snížit riziko vzniku poruch na stavebních objektech. Dalším přínosem modelových výpočtů je možnost v konkrétní situaci spolehlivěji prognózovat dynamické účinky na okolí a přijmout odpovídající stabilizační opatření. V článku jsou uvedeny výsledky experimentálních měření a modelování účinků těžké vibrační techniky při rekonstrukci komunikace v obci Karlova Studánka. Většina stavebních objektů situovaných v bezprostřední blízkosti komunikace je ve vlastnictví podniku Státní léčebné lázně Karlova Studánka, s.p. a jedná se o památkově chráněné objekty. U žádného z posuzovaných objektů nebyly překročeny mezní hodnoty pro možný vznik poruch. Toho bylo dosaženo především vhodně zvoleným typem vibračního válce a šetrným způsobem hutnění. I když bylo experimentální seizmické měření prováděno lokálně na několika vybraných místech, celkové zhodnocení seizmického zatížení stavebních objektů podél řešeného úseku komunikace umožnila tzv. mapa střetů zájmů. Tato mapa zobrazuje stupeň zranitelnosti stavebních objektů a izolinie maximální rychlosti kmitání stanovené na základě útlumové křivky získané z měření in situ. Numerický model umožnil stanovit útlumovou křivku v daném typu geologického prostředí a ukazuje možnost stanovení účinků pro místa, v nichž neprobíhalo měření. Lze uvažovat i o odhadu situace při změně některého vstupního parametru, např. typ vibrací, změna frekvence vibrací, geologická anomálie.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/20.0013 Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd: základní ustanovení pro výpočet. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1989. 24 s.
- [2] ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. Praha: Český normalizační institut, 1996. 28 s.
- [3] BOUAZZA, A., AVALE, D., L. *Verification of the effects of rolling dynamic compaction using a continuous surface wave system*. Australian geomechanics, 2006, vol. 41, no. 2, s. 101-108.
- [4] LEDNICKÁ, M. *Classification of buildings and structures for elaboration of maps of clash of opinions*. Ph.D. Workshop 2006 - Proceedings. Ostrava: Ústav geoniky AV ČR, 2006. s. 31-34.
- [5] KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. *Mapa seizmického zatížení stavebních objektů na poddolovaném území: Příklad z obce Stonava na Karvinsku (Hornoslezská uhelná pánev)*. Geotechnika, 2010, roč. 13, č. 3-4, s. 20-25.
- [6] PETŘÍK, T. *Analýza vlivu technické seizmicity od vibračního válce*. Sborník anotací konference JUNIORSTAV 2011. Brno: FS VUT, 2011, s. 1-5.

- [7] PETŘÍK, T., STOLÁRIK, M. *Experimentální měření a numerický model dynamických účinků vibračního válce*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2011, roč. XI, č. 1, s. 97 – 102.
- [8] STOLÁRIK, M. *Studie seizmického zatížení při zhutňování zemin těžkou vibrační technikou*. Sborník referátů konference JUNIORSTAV 2007. Brno: FS VUT, 2007, s. 190.
- [9] PLAXIS. Oficiální stránky společnosti PLAXIS BV [online]. Dostupné na <<http://www.plaxis.nl/>>.
- [10] BOMAG worldwide. Oficiální stránky společnosti BOMAG [online]. Dostupné na <<http://www.bomag.com/worldwide/>>.
- [11] Ammann Group. Oficiální stránky společnosti Ammann [online]. Dostupné na <<http://www.ammann-group.cz/>>.
- [12] Hamm AG. Oficiální stránky společnosti Hamm [online]. Dostupné na <<http://www.hamm.eu/>>.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Karel Müller, DrSc., Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Ostrava.

RNDr. Aleš Poláček, CSc., Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Miroslav PINKA¹, Martin STOLÁRIK², Roman FOJTÍK³, Tomáš PETŘÍK⁴

**EXPERIMENTÁLNÍ SEIZMICKÉ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ KONSTRUKCI
A NÁSLEDNÁ ANALÝZA**

**EXPERIMENTAL SEISMIC MEASUREMENT ON THE TESTING CONSTRUCTION
AND THE ANALYZE**

Abstrakt

Konstrukce „stand“, která byla postavena v areálu Fakulty stavební, VŠB-TU Ostrava, má sloužit k realizaci experimentů a měření z různých oblastí stavitelství. Katedra geotechniky a podzemního stavitelství mimo jiné na konstrukci „standu“, konkrétně na železobetonových základových pásech, prováděla experimentální seizmické měření odezvy vibrační desky. Byl sledován útlum vibrací v prvních metrech od základu, získané záznamy byly vyhodnoceny v amplitudové i frekvenční oblasti a bylo provedeno zhodnocení na základě ČSN 73 0040. Součástí příspěvku je také možný návrh přístupu k analýze odezvy konstrukce na účinky vibrací za pomoci 3D matematického modelu vytvořeného programem SCIA Engineer 2011.1.

Klíčová slova

Stand, seizmické měření, vibrační deska, 3D matematický model.

Abstract

Construction test „stand“, which was built on the premises of the Faculty of Civil Engineering, Technical University of Ostrava, is intended to implement the experiments and measurements from different areas of engineering. Department of Geotechnics and Underground Engineering carried out experimental measurements of seismic response of plate tamper on concrete strip footing of the construction test „stand“. Vibration attenuation was observed in the first meters from foundation constructions, obtained records were analyzed in amplitude and frequency domain and an evaluation based on ČSN 73 0040. Part of this paper is also possible approach to the response analyze of the structure to the effects of vibration using 3D mathematical model created by SCIA Engineer 2011.1.

Keywords

Stand, seismic measurement, plate tamper, 3D mathematical model.

¹ Ing. Miroslav Pinka, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 928, e-mail: miroslav.pinka.st@vsb.cz.

² Ing. Martin Stolarík, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 928, e-mail: martin.stolarik@vsb.cz.

³ Ing. Roman Fojtík, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 329, e-mail: roman.fojtik@vsb.cz.

⁴ Ing. Tomáš Petřík, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: tomas.petrik@vsb.cz.

1 ÚVOD

Zhutňování zemin je proces vytvářející stabilitu zemních konstrukcí tak, aby se jednotlivé konstrukční vrstvy nedeformovaly (nesedaly) vlivem zatížení od provozu, nebo aby jejich sednutí nebylo na závalu účelu, kterému mají sloužit. Zhutňování zemin je základním technologickým procesem při zakládání staveb, při stavbě dopravních komunikací nebo při jejich úpravě [1, 2, 3]. Např. při stavbě komunikací slouží zhutňovací stroje nejen pro zhutňování podloží nebo při stabilizacích, ale i při dokončovacích pracích při úpravě konečných povrchů. Lze tedy říci, že zhutňování je technologický proces, při němž umělým způsobem zvyšujeme objemovou hmotnost zeminy působením statického nebo dynamického zatížení [4].

Zhutňování je prováděno na malých plochách vibračními dusadly, vibračními deskami, ručně vedenými vibračními válci nebo malými tandemovými, tahačovými či kombinovanými vibračními válci. Při zhutňování velkých ploch se využívají velké tandemové, tahačové a kombinované vibrační válce. Zhutňování těmito prostředky se ve stejné míře provádí jak ve volném terénu, tak v zastavěných oblastech, velmi často přímo v centrech obcí či měst. Použití těžké stavební techniky při výstavbě nových objektů může být zdrojem intenzivnějších, časově omezených vibrací. Tyto vibrace mají charakter déletrvajícího vlnění nebo samostatných impulsů [5, 6, 7, 8]. Experimentální měření prováděné na konstrukci standu bylo zaměřeno na posouzení technické seizmicity vyvolané reverzní vibrační deskou na základovou konstrukci. Cílem experimentu bylo poukázat na to, že vibrační technika, která je běžně používána při zhutňování zemin, může mít jakožto zdroj technické seizmicity nezanedbatelný vliv. Součástí příspěvku je také sestavení příslušných útlumových křivek a vyhodnocení záznamů v amplitudové i frekvenční oblasti.

Vibrace také mohou způsobit nedovolené zrychlení vlastních konstrukcí a jejich případné praskliny a jiné poruchy [9, 10]. Proto je v příspěvku realizován také následný návrh analýzy odezvy konstrukce na účinky vibrací za pomoci 3D matematického modelování. Návrh slouží především k vzájemnému propojení měření vibrací a posuzování jejich účinků na objekty.

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Experimentální měření in-situ na konstrukci standu bylo prováděno seizmickou aparaturou GAIA 2T české firmy Vistec a rychlostním senzorem ViGeo 2 (Vistec). ViGeo 2 je kompaktní, aktivní, krátkoperiodický, tříoskový, rychlostní seismometr, pro terénní i staniční použití. Seismometr obsahuje tři mechanické kmitavé systémy (snímače) s vlastní frekvencí 2 Hz a frekvenční rozsah je od 2 Hz do 200 Hz. Používaná seizmická aparatura pracuje jak ve spouštěném tak kontinuálním režimu. Pro zpracování seizmických dat včetně frekvenční analýzy je používán program Swiproject (Vistec).

Jako zdroj dynamického zatížení byla použita reverzní vibrační deska VDR 22 firmy NTC. Tato vibrační deska má danou frekvenci vibrování až 100 Hz a hmotnost 120 kg (Obr. 1).



Obr. 1: Reverzní vibrační deska VDR 22



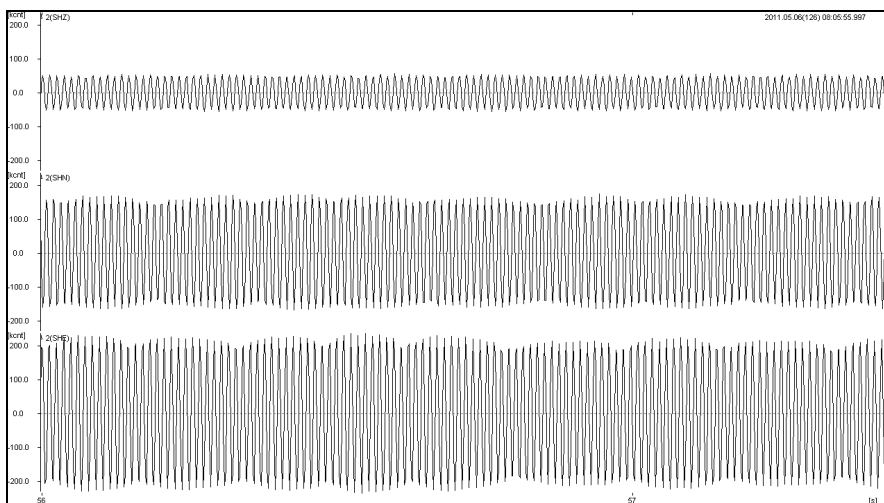
Obr. 2: Vytyčený profil

K realizaci seizmického měření byl vytyčen 14 metrů dlouhý profil s krokem 2 m (Obr. 2). Po tomto profilu byla následně přemístována vibrační deska. Na základu standu byl ustaven senzor seizmické aparatury.

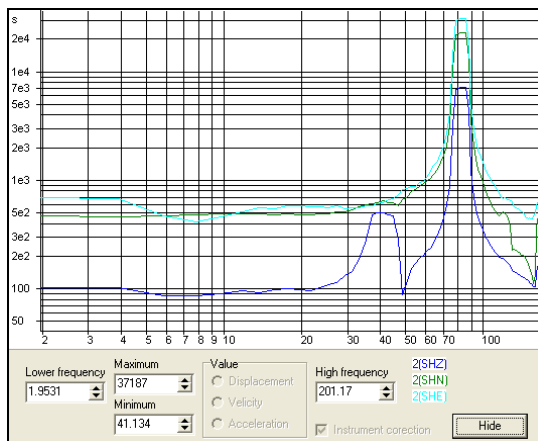
Pro popsání geologie na měřeném stanovišti byl využit vrtný profil získaný z Geofondu. Do hloubky 0,3 m se jedná o ornici. Pod ní do hloubky 6 m se střídají různé vrstvy pevné písčité jílovité hlíny. Od 6,0 m do 6,4 m se nacházejí pevné hlíny s přítomností jílovitého písku. Do 7 m se nachází vrstva ulehle hlíny s přítomností drobného štěrku. Od 7 m do 7,3 m je lokalizován ulehlý silně hlinitý písek. Do 8 m je písek velmi ulehlý. Až do 13,7 m, kde skončil vrtný průzkum, jsou lokalizovány různé vrstvy drobného štěrku, který je promísený s křemičitým pískem. Hladina podzemní vody byla lokalizována v jiném vrtu až na úrovni 15,8 m.

3 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Výstupem seizmického měření jsou vlnové obrazy záznamu vibrování v různých vzdálenostech od základové konstrukce (Obr. 3). Na obrázku je shora 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 [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$], proto jsou v obrázcích svislé osy vyneseny v kvantovacích úrovních [cnt]. Dalším výstupem jsou frekvenční spektra záznamu vibrování (Obr. 4). Jak je patrné ze spektra, vibrováno bylo frekvencí 82 Hz.



Obr. 3: Příklad vlnové obrazy záznamu vibrování vibrační deskou

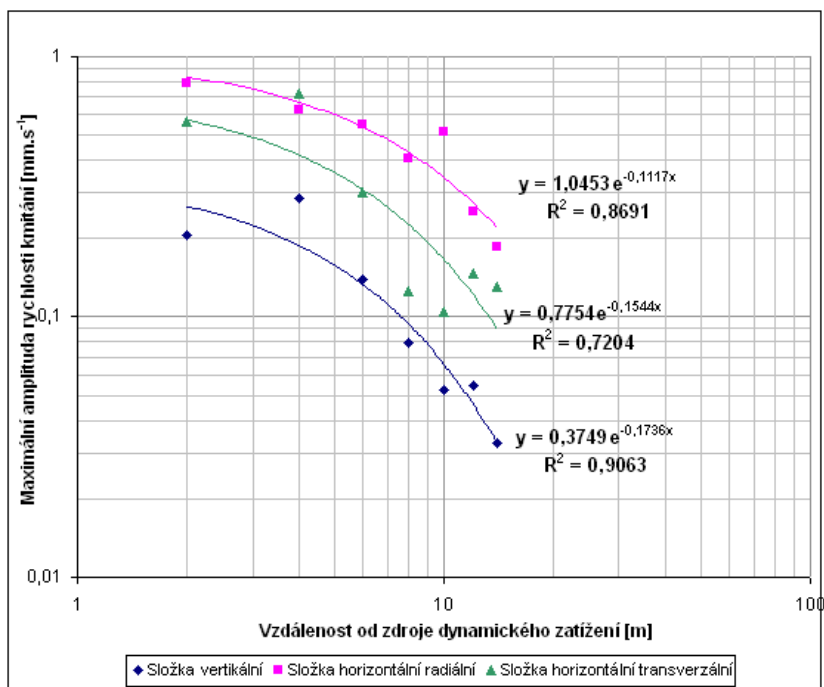


Obr. 4: Příklad frekvenčního spektra záznamu vibrování vibrační deskou

Z vlnových obrazů byly odečteny maximální amplitudy rychlosti kmitání v daných vzdálenostech (Tab. 1) a na základě těchto hodnot byly sestaveny pro tři na sebe kolmé směry tři útlumové křivky pro dané prostředí ve vzdálenosti prvních metrů od zdroje dynamického zatížení (Graf 1).

Tab. 1: Maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání

Vzdálenost od zdroje dynamického zatížení [m]	Maximální amplituda rychlosti kmitání [mm.s ⁻¹]		
	Složka vertikální	Složka horizontální radiální	Složka horizontální transverzální
2	0,20	0,79	0,56
4	0,29	0,62	0,72
6	0,14	0,55	0,30
8	0,08	0,41	0,12
10	0,05	0,51	0,10
12	0,06	0,25	0,15
14	0,03	0,18	0,13



Graf 1: Útlumové křivky pro dané prostředí získané na základě měření in-situ

4 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT Z POHLEDU VLIVU VIBRACÍ NA STAVEBNÍ OBJEKTY

Podle normy ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“ [11] se posouzení technické seizmicity s výjimkou odezvy od trhacích prací provádí podle tabulky 2.

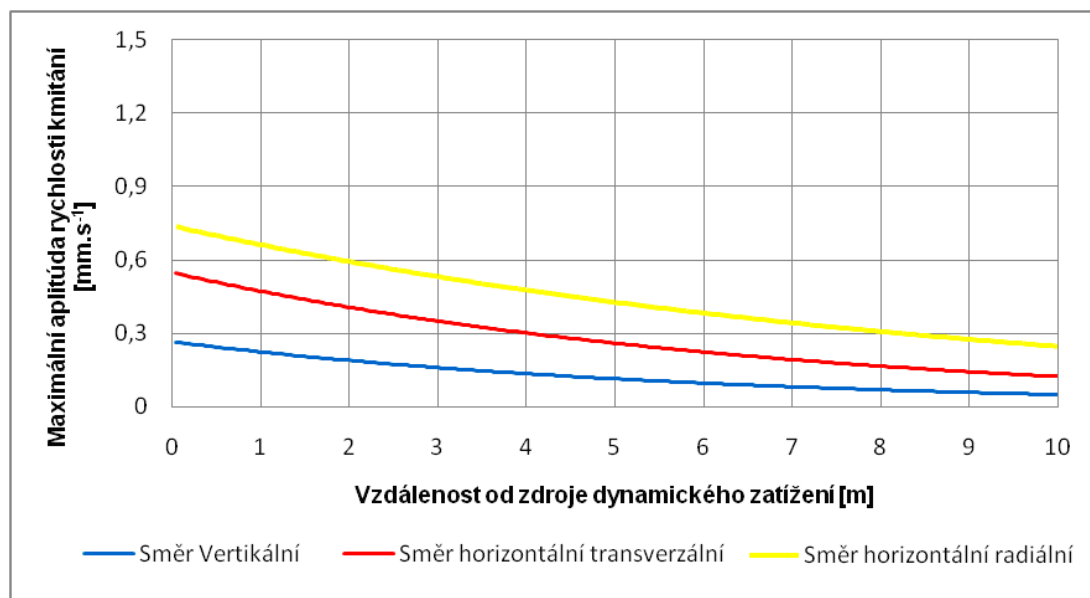
Tab. 2: Mezní hodnoty efektivní rychlosti

Třída odolnosti objektu	$v_{ef} [mm.s^{-1}]$			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	0,2	0,4	0,7	1,1
B	0,4	0,6	1	1,8
C	0,7	1,5	2	2,8
D	0,9	2	2,5	3,5
E	1,1	2,5	3	4
F	1,5	3	4	5

Odezva na zatížení technickou seizmicitou se posuzuje zpravidla hodnotou efektivní rychlosti kmitání na referenčním stanovišti, tj. v nejnižším podlaží objektu nebo na jeho základech. Pokud jsou na referenčním stanovišti naměřeny menší hodnoty než uvedené v tabulce 2, není potřeba z hlediska mezního stavu únosnosti dále posuzovat konstrukci. Pro posouzení na základě dané normy je třeba stavební objekt zařadit do třídy významu a třídy odolnosti. Podle třídy významu (ČSN 73 0031 [12]) jsou objekty rozděleny do čtyř tříd, a to U, I, II, III. Jako třída U jsou označeny objekty s mimořádným a/ nebo společenským významem, třída I má význam velký, třída II střední a třídou III jsou označeny objekty omezeného významu.

Podle třídy odolnosti jsou objekty rozděleny do 6 tříd (A – objekty nejvíce náchylné k poškození, neodpovídající dnešním stavebním předpisům např. historické památky; B – běžné cihelné stavby; C – velké budovy z cihel a tvárnic, kamenné mosty, kamenné obklady podzemních objektů, potrubí kameninové; E – ŽB a ocelové konstrukce, ŽB inženýrské sítě, betonové monolitické konstrukce podzemních objektů, žilové a koaxiální sdělovací kabely; F – nejvíce odolné objekty, železobetonové a ocelové ostění tunelů, úkryty civilní obrany a ocelové potrubí) a dále do čtyř podskupin (objekty bytové, občanské, průmyslové a zemědělské; objekty inženýrské; objekty podzemní; podzemní inženýrské sítě a kabely).

V normě ČSN 73 0040 jsou vibrace charakteru déle trvajícího rázového zatížení nebo ustáleného periodického zatížení posuzovány pomocí jejich efektivních hodnot. Zpracování naměřených záznamů probíhalo jako odečet maximálních rychlostí kmitání, proto byly převedeny pro posouzení tyto špičkové hodnoty na efektivní. Pro analýzu naměřených hodnot byly zvoleny rovnice útlumových křivek stanovené na základě Grafu 1 (exponenciální závislost). Na základě těchto rovnic byl vytvořen graf (Graf 2), který zohledňuje hodnoty ve všech třech měřených směrech, aby bylo jednoznačně určeno, ve kterém ze směrů jsou rozhodující nejvyšší hodnoty. Mimo určení velikosti efektivních hodnot, které rozhodují o posouzení, mohou grafy sloužit k orientačnímu získání minimální vzdálenosti, ve které nebude překročena hodnota mezní efektivní rychlosti kmitání pro posuzovanou stavbu. Na svislé ose grafu byla zvolena jako maximální hodnota rychlosti kmitání $1,5 \text{ mm.s}^{-1}$, která odpovídá třídě významu I a třídě odolnosti objektu C. Vyšší hodnoty efektivní rychlosti kmitání při daném zdroji dynamického zatížení nebylo dosaženo.



Graf 2: Grafické znázornění posouzení podle normy ČSN 73 0040

Po určení směru s maximálními efektivními hodnotami, v našem případě směr horizontální radiální, byl proveden výpočet vzdáleností, ve kterých jsou dosaženy hodnoty rychlosti kmitání podle tab. 2. Tyto hodnoty byly pro větší přehled vyneseny do tabulky (Tab. 3). Pokud by se posuzoval objekt podle normy v lokalitách obdobného geologického profilu a při provádění zhutňovacích prací obdobným zařízením, stačilo by po provedení zatřídění objektu vyhledat vypočtenou vzdálenost, ve které již objekt nemusí být posuzován dynamickým výpočtem.

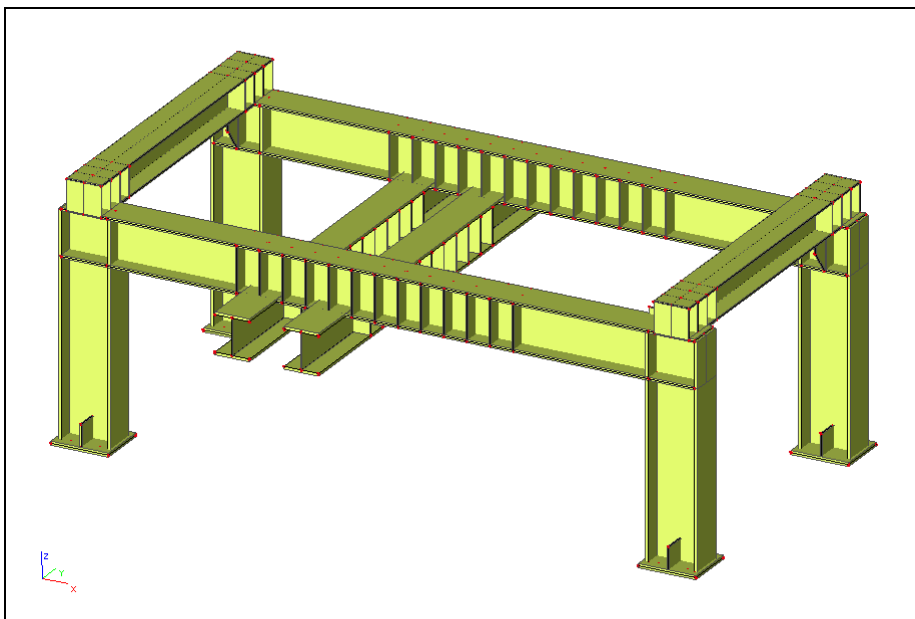
Tab. 3: Vypočtené vzdálenosti objektů při dosažení mezních rychlostí kmitání pro provedené experimentální měření

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí kmitání [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	10,6	5,6	0,5	-
B	5,6	1,9	-	-
C	0,5	-	-	-
D	-	-	-	-
E	-	-	-	-
F	-	-	-	-

5 MOŽNÝ NÁVRH PŘÍSTUPU K ANALÝZE ODEZVY KONSTRUKCE NA ÚČINKY VIBRACÍ

5.1 Konstrukce „standu“

Protože se jedná o ryze praktickou úlohu, bylo pro stanovení odezvy použito jednoho z nejčastěji používaných softwarů pro řešení statických a dynamických úloh stavební praxe „SCIA Engineer 2011.1“ [13]. Jedná se o prostorovou rámovou konstrukci, jejíž účelem je mimo jiné vytvoření protizávaží pro geotechnické experimentální měření statickou zatěžovací deskou. „Stand“ je v podélném směru tvořen dvěma ocelovými rámy s profily HE450B a ve směru příčném je konstrukce ztužena dvěma profily HE300B. Všechny použité prvky jsou vyztuženy ocelovými příločkami pro zajištění stability jednotlivých profilů a také pro zvýšení tuhosti „standu“ (Obr. 5). Konstrukce prostorového rámu je navíc ztužena dvěma posuvnými příčníky určenými pro roznos zatížení na zkušební vzorek. Kotvení konstrukce je realizováno pomocí čtyř závitových tyčí umístěných mezi pásnicemi vyztužené patky.



Obr. 5: Numerický model konstrukce „standu“

5.2 Numerický model

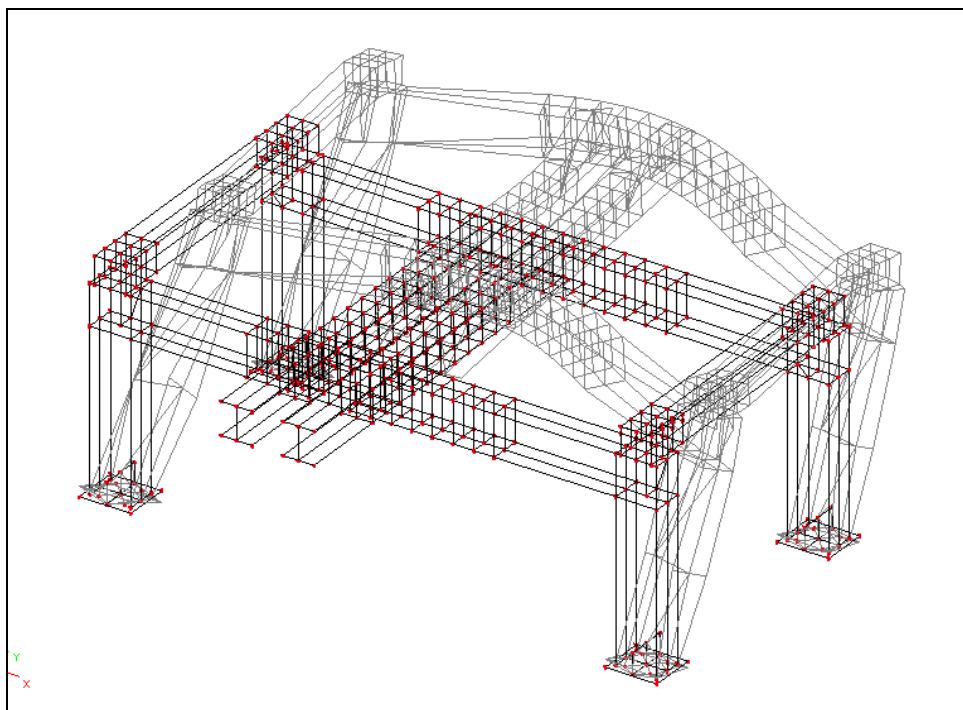
Nalezení nejvhodnějšího modelu konstrukce prostorového rámu, který by vhodně vystihoval dynamické vlastnosti konstrukce, bylo jedním z úkolů. Protože se jedná o prostorový rám, byl zvolen model 3D. Objekt je možné modelovat jako prutovou konstrukci nebo deskový systém.

Pro první odhad vlastních frekvencí postačí prutový model rozšířený o reálné rozložení hmotností na konstrukci. Tento zjednodušený modelem konstrukce standu je výhodný především z důvodu rychlosti a jednoduchosti provedení. Nevýhodou může být nepřesné rozložení hmotnosti a také tuhost (výztuhy).

Zadání okrajových podmínek v podporách je jedním z důležitých faktorů pro nalezení reálných dynamických parametrů konstrukce. I když jsou kotevní tyče v podporách umístěny mezi pásnicemi sloupů, dá se předpokládat, že díky výztuhám patky se uložení bude blížit vetknutí. Pro představu o vlivu okrajových podmínek byly zpracovány různé varianty kotvení. První varianta využila kloubové podpory v patkách sloupů. Variantou opačnou je aplikace vetknutí. Reálné chování konstrukce se nachází mezi těmito dvěma variantami. Pro přiblížení výsledků skutečnosti, bylo kotvení provedeno přes deskový prvek, který simuluje tuhost patního plechu. Čtyři kotvy patního plechu byly nahrazeny kloubovými podporami. Rozdílné hodnoty, způsobené okrajovými podmínkami uložení, mezi jednotlivými modely jsou patrné z uvedené tabulky (Tab. 4).

Tab. 4: Porovnání vlastních frekvencí jednotlivých numerických modelů

model	podpory	hmotnost	vl.frek. podélná	vl.frek. příčná
typ	typ	[kg]	[Hz]	[Hz]
prutový	kloubové	4412	15,07	11,94
prutový	vetknutí	4412	15,6	15,76
prutový	deska	4412	15,14	13,78



Obr. 6: První vlastní tvar kmitání numerického modelu „standu“

Na základě vypočtených vlastních tvarů kmitání (3 druhy podpor) je naplánováno experimentální měření dynamické odezvy na vlastní konstrukci, které ukáže, zda numerické modely odpovídají naměřeným hodnotám. Nejdůležitější porovnávanou hodnotou bude právě vlastní frekvence kmitání. Mezi další zjišťované parametry patří útlum a zrychlení konstrukce.

5.3 Odezva konstrukce

Kromě vlastních frekvencí je možné numericky stanovit i odezvu konstrukce na účinky dynamického buzení. Numerický deskový model „standu“ je proto nutné zatížit harmonickou silou, jejíž parametry vyvstávají z geotechnického měření odezvy betonového základu konstrukce. Pro zadání harmonické funkce do podpor konstrukce, je nutné nahradit použité podepření, které brání posunům konstrukce, podporami tuhostními.

Ocelová konstrukce „standu“ je uložena na dvou nezávislých základových pásech. S ohledem na provedené první experimentální měření nelze pro stanovení odezvy konstrukce vycházet jen z hodnot získaných na jednom základovém dílci, ale je nutné provést současně měření na obou základových pásech, protože odezva jednotlivých základových bloků bude fázově posunuta, což bude mít vliv na zrychlení konstrukce, které je požadovaným výsledkem. Získané poznatky budou uplatněny při dalším měření.

6 ZÁVĚR

Při stále větším rozvoji stavitelství v již dříve zastavěných oblastech hrozí poškození okolních objektů vlivem technické seizmicity. Poškození nejvíce hrozí při použití těžkých vibračních technologií, jako jsou tandemové a tahačové válce, ale nesmíme ztrácet ze zřetele ani lehčí techniku jako jsou vibrační pěchy a desky. A právě měřením a posouzením účinků menší vibrační techniky na konstrukci se zabývá tento článek. Měření bylo realizováno jako experiment na konstrukci standu. Naměřené hodnoty byly zpracovány do formy útlumových křivek. Dále bylo měření zhodnoceno podle příslušné normy a byla vypracována tabulka se vzdálenostmi, ve kterých by při obdobné geologii a podobných pracích nemělo dojít k poškození objektu.

Na závěr byly zjištěny možnosti analýzy odezvy konstrukce na účinky vibrací za pomoci 3D modelování. Bylo vytvořeno několik typů modelů s různými druhy uložení a byly spočítány první vlastní tvary kmitání. Stanovení dynamických parametrů konstrukce „standu“ bude ověřeno experimentálním měřením přímo na ocelové konstrukci „standu“. Následné vyhodnocení a porovnání s numericky stanovenými hodnotami naznačí model, který se nejvíce přibližuje reálnému chování konstrukce. Pro modelování dynamického zatížení vyvolaného hutnicími zařízeními bude následně třeba provést experimentální měření se senzory ustavenými na obou základových pásech konstrukce.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění specifického výzkumu SP2012/59 „Experimentální a modelová analýza odezvy vlivu technické seizmicity v horninovém prostředí“.

Experimentální měření byla realizována v rámci projektu CZ.1.07/2.3.00/20.0013 „Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO“.

LITERATURA

- [1] STOLÁRIK, M. Studie seizmického zatížení při zhutňování zemin těžkou vibrační technikou, *Sborník referátů konference „JUNIORSTAV 2007“*, 2007, s. 190, Brno.
- [2] PETŘÍK, T., STOLÁRIK, M. Experimentální měření a numerický model seizmických účinků vibračního válce, *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, 2011. č. 1, s. 97-102. Ostrava.
- [3] ISAAC I. D. Effects of constructional vibrations upon an urban environment. In: *Earthquake, blast and impacts: Measurements and effects of vibration*, Elsevier Applied Science, 1991, 442-462.

- [4] SARSBY, R. *Environmental Geotechnics*. Thomas Telford Limited, 2000, London.
- [5] HORI, M. *Introduction to Computational Earthquake Engineering*. Imperial College Press, 2006, London.
- [6] KIM, D. S., LEE J. S. Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2000, č 19, s. 115–126, Amsterdam.
- [7] KALÁB, Z., ČAJKA R., HORKÝ, J., KOŘINEK, R. Dynamické účinky stavebního stroje na zděný objekt, *Konstrukce*. 2005, č. 2, s. 15-17. KONSTRUKCE Media, s.r.o. Ostrava.
- [8] KALÁB, Z. *Seizmická měření v geotechnice – monografie*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008, 125 s, Ostrava.
- [9] VILLAVERDE, R. *Fundamental Concepts of Earthquake Engineering*. CRC Press Taylor&Francis Group, 2009, Boca Raton.
- [10] ČADA, Z.; SALAJKA, V.; HRADIL, P.; KANICKÝ, V. Účinky přírodní a technické seizmicity na stavební konstrukce v ČR. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, 2010, roč. 10, č. 2, s. 173-182, Ostrava.
- [11] ČSN 73 0040 – *Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva*, Český normalizační institut, 1996, Praha.
- [12] ČSN 73 0031 – *Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd. Základní ustanovení pro výpočet*. Český normalizační institut, 1988, Praha.
- [13] FOJTÍK, R. a ROSMANIT, M. A New Pre-Stressed Bracing System for Buildings. CC2009: *The 12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Funchal, Madeira, Portugal, September 2009, Proceedings and CD.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Petr Hradil, Ph.D., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.
 Doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc., Ústav geovied, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach.

Jan STAŠ¹

OPRAVY A ÚPRAVY VODNÍCH TOKŮ PO POVODŇOVÝCH ŠKODÁCH

REPAIRS AND MODIFICATIONS TO THE RIVERS FLOOD DAMAGE

Abstrakt

Příspěvek pojednává o opravách a úpravách vodních toků po povodňových škodách. První část příspěvku se věnuje příčinám vzniku povodňových škod. Ve druhé části článku jsou rozebírány nejběžnější varianty úprav toků, které se používají v běžné praxi. V závěru je popisována metoda opravy povodňové škody, která byla využita pro danou lokalitu a její zhodnocení po prošlých zvýšených průtocích na začátku roku 2012.

Klíčová slova

Břehová nátrž, průtok, říční eroze, sedimenty, povodeň, úprava toku.

Abstract

This paper deals with repairs and modifications of watercourses for flood damage. The first section deals with the causes of flood damage. In the second part of the paper are discussed the most common variants of flow adjustments, which are used in routine practice. In conclusion, the described method of repairing flood damage, which was used for the site and its appreciation of the increased flows have expired at the beginning of 2012.

Keywords

Shore ripping, flow, river erosion, sediment, floods, river regulation.

1 ÚVOD

Po roce 1997, kdy přišla povodeň převyšující Q_{100} (100-leté průtoky), se začalo z povinností správců toků vyplývajících dle zákona o vodách č. 254/2001 Sb., aktivně pracovat na povodňových škodách průtočných profilů vodních toků. Započaly práce spočívající v budování protipovodňových opatření pro znovu vymezení kynety toku a práce na údržbě křovin, břehových porostů a travních ploch. Tato povodeň předvedla, jak je důležité, aby průtočný profil koryta toku zůstal zachován bez jakýchkoliv překážek, které by snižovaly jeho kapacitu (tj. vývraty, sedimenty, zátarasy apod.). Po roce 2011 došlo k transformaci organizace Zemědělské Vodohospodářské správy a její povinnosti přešly dle povodí třetího řádu do správy všech státních podniků Povodí a na Lesy ČR, s.p. Tyto důvody vedly k rychlému budování úprav na drobných vodních tocích, které procházejí intravilánem města a obcí a při tzv. bleskových povodních dokáží napáchat nemalé škody na majetcích pobřežníků.

2 PŘÍČINY POVODŇOVÝCH ŠKOD

Výraznou příčinou povodňových škod je říční eroze. Ta ať již jako hloubková nebo boční vede k nestabilitě koryt vodních toků, což v poměrně hustém osídlení, například v oblasti Moravskoslezského kraje nelze ve většině případů vždy připustit. Důvodem zásahů do morfologie

¹ Ing. Jan Staš, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 943, e-mail: jan.stas@seznam.cz.

koryt vodních toků není vždy jen potřeba ochrany jejich okolního území před přímým zaplavením, ale i nutnost zabezpečit patřičnou stabilitu území před vodní erozí. V oblasti povodí Odry se to vždy výrazněji projevovalo na beskydské straně povodí, která je charakteristická větší erozní náchylností z důvodu svojí geologické stavby podloží a sklonitosti území.

Sledování splaveninového režimu je důležitou součástí péče o stabilitu toků stejně jako ostatní údržbové práce a v oblasti povodí Odry se provádí již po dlouhou dobu. Lze říci, že systematické průzkumy splavenin během let 1960 až 2000 pokryly prakticky celou síť hlavních toků. A právě tyto průzkumy se staly základem návrhu zásadního řešení stability podélných profilů vodních toků. Byly i základním východiskem pro koncepci většiny návrhů úprav odtokových poměrů, řešících nejen protierozní opatření, ale ochranu před povodněmi jako celek.

Do budoucna je potřeba všechny provedené zásahy do koryt toků z důvodu jejich stability udržet v řádné funkci a v případě jejich silného poškození například zničení následkem výrazného překročení návrhových parametrů extrémními povodněmi je obnovovat. Nová opatření by měla být pouze doplňková, a to pouze tam, kde tomu odpovídá i program opatření řešící i otázky povodňové ochrany.

3 DRUHY ÚPRAV VODNÍCH TOKŮ

3.1 Opravy a budování břehových opevnění proti břehové říční erozi

Břehové stavby mají chránit břehy před podemletím a strháváním, popřípadě nově vytvořené břehy udržovat v potřebné linii. Existují spousty druhů úprav břehů, vždy však jejich volba závisí na druhu toku, síle proudu a lokalitě.

Mezi nejpoužívanější úpravy významných vodních toků v oblasti povodí Odry patří opevňování břehů kamennou dlažbou s kamennou patkou, těžkým kamenným záhozem s patkou a výhony.

U drobných vodních toků, pak volíme opevňování blízké přírodnímu charakteru, kde se využívají různé druhy laťových plůtek, haťo-šterkové válce, geo-textilie, rohože, dráto-kamenné matrace a jejich různé kombinace.

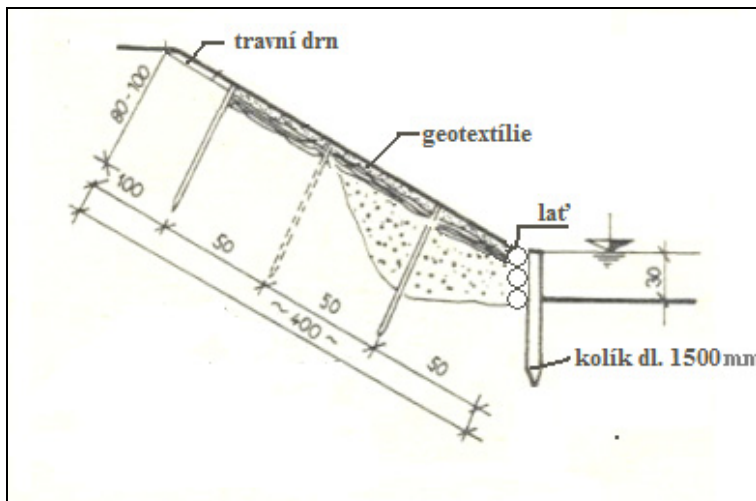
V tomto článku se budeme nadále zaměřovat na nejčastěji využívané úpravy a opravy vodních toků a to:

- u drobných vodních toků – laťové plůtky, haťo-šterkové válce, geo-textilie, atd.,
- u významných vodních toků – kamenné záhozy, pohozy, opevnění svahů s těžkou kamennou patkou,
- speciální úpravy – využívání tzv. výhonových staveb.

3.2 Úpravy drobných vodních toků

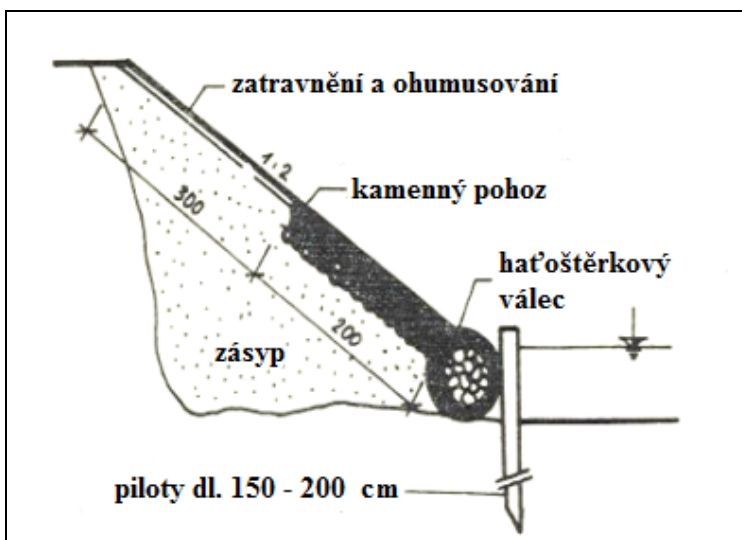
Laťové plůtky využíváme pro zpevnění paty svahu drobného vodního toku, kdy pomocí nich vymezujeme koryto drobného vodního toku. Následně navazuje zatravnění či jiná další úprava svahů například pomocí geo-rohoží apod. Nejpoužívanější laťové plůtky jsou třířadé, čtyřřadé a srubové stěny s kotvami (viz Obr. 1: Schéma úpravy toku laťovým plůtkem).

Laťové plůtky lze považovat za úpravu méně trvanlivou, i když z praxe víme, že jejich trvanlivost se pohybuje kolem 10–15 let. Nevýhodou je, že při jejich zániku je svah, jenž byl jimi chráněn více náchylný na vodní erozi.



Obr. 1: Schéma úpravy toku laťovým plůtkem

Hať-o-šterkové válce se používají pro opevnění paty svahu u dna kynetky a na něj pak navazuje samotná úprava svahu jako například proutěný obklad, geo-textilie apod. Tato úprava se provádí zhotovením výkopu rýhy, vytvoření válce z klestu převázaného drátem popřípadě vyplněného jádrem z kamene. Následně jsou hať-o-šterkové válce uloženy do rýhy a připevněny kůly, nebo zabíranými pilotami v jedné nebo ve dvou řadách (viz Obr. 2: Schéma úpravy toku laťovým plůtkem).



Obr. 2: Schéma úpravy toku laťovým plůtkem

Břehové opevnění geo-rohoží (geo-textilií)

Jedná se o lehké opevnění jako doplněk k osetí nebo k těžšímu druhu opevnění. Velmi často se využívá v kombinaci s laťovými plůtky pro úpravy svahů drobných vodních toků. Geo-textilie se rozvine a po namočení pokládá s urovnáním a nutným přesahem. Následně se rohož přichytí ocelovými přichytkami dle předepsaného kotvení pro danou rohož. U některých druhů geo-textilií lze využít kotvení pomocí vrbových proutků (viz Obr. 4: Schéma úpravy toku geo-rohoží).



Obr. 3: Úprava Gabionovou stěnou



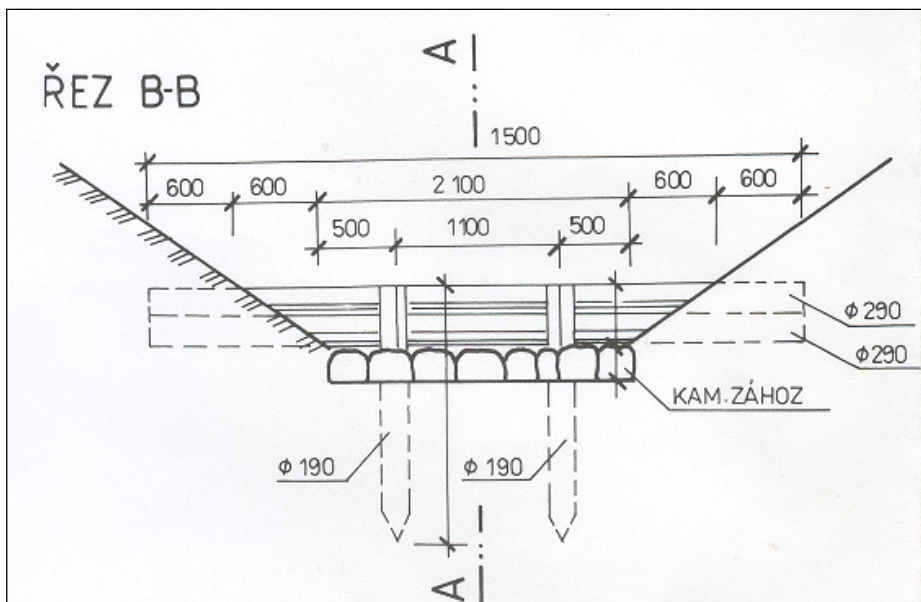
Obr. 4: Schéma úpravy toku geo-rohoží

Břehové opevnění drátokamennými matracemi (gabiony)

Drátokamenné opevnění má široké využití jak pro drobné tak i pro významné vodní toky. Slouží například ke zpevnění svahu s velkým sklonem a v místech velkého převýšení břehu (viz Obr. 3: Úprava Gabionovou stěnou). Drátokamenné matrace lze na místo stavby přivést v kompletním stavu, nebo je sestavit až na místě. V případě zpracování na místě, se ukládají tzv. koše vedle sebe a propojují se drátem. Následně se koše plní lomovým kamenem po vrstvách 25 cm. Po naplnění se koše uzavírají zadrátováním a řady drátokamenných matrací se zpevňují pruty pro následné vrstvy košů. Osazování samotných gabionů z terénu se provádí za pomoci autojeřábu, osazování z vody pak pomocí plavidla a ocelového prámu.

Dřevěný práh

Tyto stavby ochraňují okolní liniové stavby, tj. opevnění kynety a svahu (viz Obr. 5: Schéma úpravy toku příčným prahem). Pomocí této stavby snižujeme niveletu dna a tak dosahujeme snížení rychlostí proudění vody v toku, což má za následek výrazné omezení vlivu boční říční eroze. Pro vybudování prahu je třeba vykopání rýhy a následné zaražení pilot na vzdušné straně. Následně se přistupuje k připevnění kulatiny v jedné nebo dvou řadách hřebíky a pásovou ocelí.



Obr. 5: Schéma úpravy toku příčným prahem

3.3 Úpravy významných vodních toků

Rovnanina z lomového kamene

Jedná se o velmi častý druh opevnění dna a svahů koryta toků nebo kanálů. Opevnění se provádí na osazenou těžkou kamennou patku, která je ukládána pod dno kynety toku cca 0,5–0,8 metrů. Hmotnost kameniva v patce se pohybuje v rozmezí 200–500 kg. Po osazení patky se přistupuje k urovňování svahu a přípravě na uložení kameniva samotného opevnění. Pro opevnění svahu se používá lomové kamenivo hmotnosti min. 200 kg, které nesmí být ukládáno naplocho, ale musí být zapracováno do svahu tak, aby nedocházelo k jeho sesuvu. V případě opevnění celého svahu břehu je nutné provést tzv. přetažení opevnění min. 1 m za břehovou hranu z důvodu ochrany opevnění při vyběžení vody z kynety toku na bermu a následného zpětného navracení do koryta toku. Pro správnou funkčnost opevnění je třeba vystavět přechodové prvky, které zabezpečí postupný přechod z rostlého terénu (např. travní drn) na samotné břehové opevnění. Přechodové prvky jsou tvořeny drobnějším kamenivem, které jsou umístěny před a za opevnění do šikmých pásů svírající úhel 45–60° s patou svahu. V neposlední řadě je nutné vyklínovat mezery mezi kameny drobnějším kamenivem, tak aby vznikla celková stabilita úpravy toku.

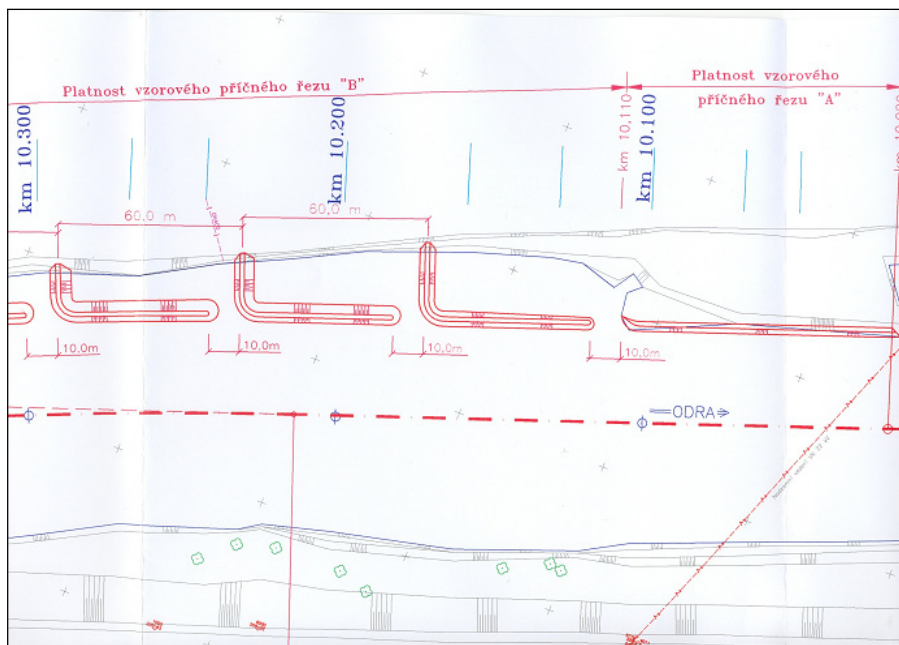
Kamenný pohoz s těžkou kamennou patkou

Jedná se o velmi častý druh těžkého opevnění, či zpevnění svahů významných vodních toků. Lomový kámen se ukládá tak, aby byla dodržena předepsaná tloušťka profilu a pohoz tvořil pevný celek. Lomový kámen se ukládá pomocí mechanizačních prostředků a následně se rozhrne. Velmi často se přistupuje k prosypávání šterkem, pro zlepšení kompaktnosti kamenného pohozu.

3.4 Speciální úpravy vodních toků

Výhonové stavby

Podélné výhonové stavby jsou dlouhá tělesa, která vycházejí ze starých břehů, pokračují v trase břehu budoucího a vytvářejí tak novou břehovou čáru. V první etapě leží takováto stavba oboustranně ve vodě. Výhonové stavby se využívají pro opravu břehových nátrží. Pomocí těchto staveb se snažíme, aby práci vykonala samotná voda. Žebra stavby se budují do výšky průměrné hladiny tak, aby každá větší voda tyto žebra přelila a tak docházelo k postupnému zanášení nátrže. Přelítá voda bohatá na splaveniny, zanechá sedimenty v prostoru za žebry a postupně volně odtéká mezi-žebrovými otvory pryč.



Obr. 6: Příčná výhonová stavba

4 ZVOLENÁ METODIKA OPRAVY POVODŇOVÉ ŠKODY V PRAXI

4.1 Popis vzniklé povodňové škody

Při povodni v roce 2010, vznikla v ř. km 19,490–19,720 vodního toku Odra rozsáhlá povodňová škoda. Při průtoku cca 322 m³/s došlo k poškození levého i pravého břehu nátržemi a zničení původní úpravy toku (viz Obr. 7, 8: Povodňová škoda). Původní úpravou vodního toku v místě škody byla těžká kamenná patka s vytaženým vrbovým krytem, která pocházela z let osmdesátých. Původní kamenná pata tvořena lomovým kamenem o hmotnosti 100–250 kg vymezovala břehovou linii toku a vrbový kryt měl funkci stabilizace svahu. Samotné nátrže dosáhly cca 100 metrů délky a ztráta materiálu odplavením břehů se pohybovala cca 2100 m³. Původní úprava byla zcela zničena povodňovými průtoky 20-ti leté povodně, a proto bylo nutné poškozené břehy v co nejkratším termínu opravit, aby nedocházelo k dalšímu sesuvu poškozených svahů a tím ohrožení majetku soukromých osob.



Obr. 7: Povodňová škoda PB

4.3 Zhodnocení opravy povodňové škody

Stavba byla dokončena v druhé polovině roku 2011 (viz obr: Oprava PŠ po ukončení prací) a byla navržena tak, aby dokázala převést stoletý průtok Q_{100} . První zvýšené průtoky prověřily stavbu začátkem roku 2012, které díky tání sněhů dosahovaly cca $120 \text{ m}^3/\text{s}$ a tyto průtoky bezproblémově prošly danou lokalitou, aniž by došlo k sebemenšímu poškození nového opevnění. Podobné úpravy byly již realizovány v povodí Odry v minulých letech na jiných významných tocích (např. VT Ostravice, VT Opava) a povodňové průtoky Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} byly převedeny bez větších problémů. Při podcenění této opravy by došlo k dalšímu erodování břehů, které sousedí s polnostmi a staveními soukromých vlastníků a tak následnému ohrožení jejich majetku. Dále pak k ohrožení protipovodňové ochranné hráze, chránící intravilán města Ostravy.



Obr. 10: Oprava PŠ po ukončení prací

5 ZÁVĚR

Pro opravu povodňových škod na vodním toku Odry, byla zvolena metodika opravy pomocí těžké kamenné záhozové patky, která znovu vytyčí patu svahu a kynetu koryta toku. Na patu bylo uloženo těžké kamenné opevnění v podobě mírně vytaženého kamenného pohozu nad hladinu. Jako další opatření bude stačit pro zpevnění vrchní části svahu geo-sít' (kokosová síť), která při správném uchycení a prorostu travním drnem, převede zvýšené průtoky bez větších škod. Po prověření opravy prvními zvýšenými průtoky v roce 2012, lze konstatovat, že oprava splňuje svůj účel bez větších problémů.

LITERATURA

- [1] L. Macura, *Úpravy tokov*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, n. p., Hurbanovo nám. 6, 1966.
- [2] Lubomír Novák, *Revitalizace Plesenského potoka*. Avona, Divadelní 14, Nový Jičín, 1995.
- [3] L. Lepík, *Odra – Koblav km. 9,600 – 10, 450*, 2002.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Jaroslav Pollert, DrSc., Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství.

Ing. Karel Drbal, Ph.D., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, Praha.

Karel VOJTASÍK¹, Eva HRUBEŠOVÁ², Marek MOHYLA³

**DEFORMAČNÍ CHARAKTERISTIKA OSTĚNÍ ZE STŘÍKANÉHO BETONU A OCELOVÝCH
PŘÍHRADOVÝCH NOSNÍKŮ**

WORK DIAGRAM OF THE SHOTCRETE LINING AND LATTICE PROFILES

Abstrakt

Ocelobetonové tunelové ostění je jediným typem stabilizační konstrukce, která je staticky činná již ve fázi její výstavby, která následuje bezprostředně po provedení výrubu. Tato okolnost ji předurčuje k stabilizaci výrubu v součinnosti s horninovým masivem. Deformační charakteristiku ocelobetonového ostění určuje proměnlivá tuhost průřezu ostění během výstavby a krátce po jeho dokončení a je dána procesem výstavby ostění. Proměnlivá tuhost konstrukce ostění umožňuje řízené uvolnění napětíového stavu horninového masivu po provedení výrubu. Předložený článek analyzuje činnost tunelového ostění ze stříkaného betonu a ocelových příhradových nosníků. Deformační charakteristika je stanovena na základě vzájemné interakce mezi ostěním a horninovým prostředím v průběhu konstrukčních etap budování ostění, které jsou určeny geometrickými parametry průřezu ostění a stavem tvrdnutí jednotlivých vrstev stříkaného betonu.

Klíčová slova

Deformační charakteristika, tunelové ostění, stříkaný beton, příhradový nosník.

Abstract

Shotcrete steel tunnel lining is the only type of support structure competent to carry load in the phase of construction, which follows immediately after an opening excavation. This feature makes it suitable for stabilizing excavation in corporate work with the rock mass. Work diagram of the shotcrete steel lining is determined by stiffness variation of the lining cross section during construction and shortly after completion, which is given by the construction process of the lining. The variable stiffness of the lining allows for controlled release of the rock mass stress state around the excavation. The article on display analyzes the performance of a tunnel lining built of shotcrete and lattice profiles. The work diagram is drawn from the corporate work of the lining and rock ground during the all lining construction phases, which are conditioned with the lining cross-sectional geometric parameters and the hardening development of lining shotcrete shells.

Keywords

Work diagram, tunnel lining, shotcrete, lattice profile.

¹ Doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 947, e-mail: karel.vojtasik@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) 597 321 973, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

³ Ing. Marek Mohyla, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: marek.mohyla.stl@vsb.cz.

1 ÚVOD

Deformační charakteristika ocelobetonového ostění ze stříkaného betonu a ocelových příhradových nosníků se odlišuje od ostatních typů podpěrných ostění okolnostmi, které plynou ze způsobu provádění konstrukce průřezu ocelobetonového ostění. Tvar průřezu a materiálové parametry konstrukcí běžných typů podpěrných ostění jsou neměnné, tuhost konstrukce ostění je konstantní a ostění je staticky činné teprve až od okamžiku jeho vybudování. Dále zde existuje značná časová prodleva mezi okamžikem provedení výrubu a aktivním statickou činností ostění. Slabinou podpěrných ostění je vazba na jejich rozhraní s horninovým prostředím. Stabilizační konstrukce ze stříkaného betonu uvedená omezení buď zcela eliminují, např. problém vazby na rozhraní s horninovým prostředím, nebo minimalizují, jako je tomu u časové prodlevy mezi provedením výrubu a počátkem stabilizace horninového prostředí. Rozhodujícím rysem, kterým se ocelobetonové ostění odlišuje a činí z něho výjimečnou stabilizační konstrukci, je jeho proměnlivá rostoucí tuhost závislá na čase. Proměnlivost tuhosti průřezu je dána dvěma okolnostmi. První okolností, která plyne z procesu výstavby ostění, je postupná změna geometrie průřezu. Ten je složen zpravidla dvou ze vrstev stříkaného betonu, jejichž nástřik následuje s časovým odstupem několika hodin nebo dnů. Druhou okolností je časová závislost tvrdnutí stříkaného betonu ve vrstvách. Stabilizační činnost ocelobetonového ostění dotváří podpěrná oblouková konstrukce z příhradových prutů, která dává ostění okamžitou únosnost a která je stříkaným betonem dokonale integrována s horninovým prostředím. Uvedené skutečnosti, okamžitá stabilizační reakce, bezprostřední vazba s horninovým prostředím a rostoucí tuhost průřezu ostění, předurčují konstrukci ocelobetonového ostění k řízenému uvolnění horninového napětového stavu po provedení výrubu a řízené zatěžování ostění horninovým prostředím.

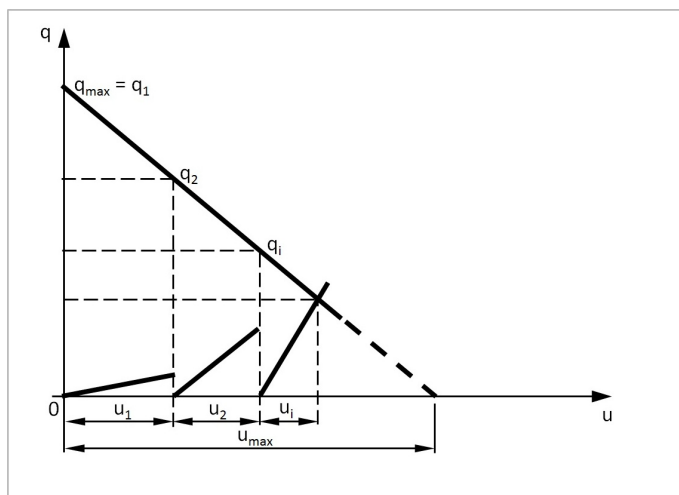
2 PODMÍNKY STANOVENÍ DEFORMAČNÍ CHARAKTERISTIKY

Deformační charakteristika ocelobetonového ostění je stanovena pro následující předpoklady:

- součinnost s horninovým prostředím (Hilar, 2008),
- proměnlivá tuhost ostění (Vojtasík, Hrubešová, Mohyla, Staňková, 2011),
- hodnota modulu pružnosti ocelobetonového průřezu je vypočtena analytickou metodou (Vojtasík, Hrubešová, Mohyla, Staňková, 2010), která je založena na analytickém modelu výpočtu napěťo-deformačního stavu ve vícevrstevném kruhovém prstenci (Bulytchev, 1982). Vnější zatížení prstence se přerozděluje na jednotlivé vrstvy přenosovými koeficienty, které jsou odvozeny z podmínky spojitosti deformací na jednotlivých kontaktech vrstev,
- lineární deformační charakteristika horninového prostředí; horninové prostředí reprezentuje bod, který je umístěn na rozhraní horninové prostředí – vnější líc ostění ve vrcholu klenby výrubu; okrajové podmínky deformační charakteristiky v bodě jsou: $[q_{max}, u = 0]$ a $[q = 0, u_{max}]$; q – stav napjatosti horninového prostředí, u – posun bodu; u_{max} – maximální posun bodu, pro který je zachována stabilita výrubu a horninové prostředí zůstává neporušeno,
- činnost ocelobetonového ostění je rozložena do tří deformačních etap: postavení ocelového příhradového oblouku a nástřik první vrstvy betonu; nástřik druhé vrstvy betonu; ukončení procesu tvrdnutí v obou vrstvách betonu. Každé deformační etapě přísluší individuální modul pružnosti ocelobetonového ostění (E_{bet-}),
- ocelobetonové ostění je činné ihned po provedení výrubu, počáteční deformace na nevyztuženém výrubu je rovna nule,
- posun (u) (napjatost v konstrukci ocelobetonového ostění (q_{OCB})) bodu ostění v jeho dílčí konstrukční (tuhostní, časové) etapě je stanovena výpočtem ze stavu napjatosti (q) v horninovém prostředí, který přísluší k této etapě,
- stav napjatosti (q) pro aktuální konstrukční etapu ostění je funkcí realizovaného posunu, tj. součtu posunů všech předchozích etap; napjatost horninového prostředí je postupně

snížována (redukována); velikost snížení (redukce) stavu napjatosti je stanovena z hodnoty realizovaného posunu a jí příslušné hodnoty napjatosti na deformační charakteristice horninového prostředí (obr. 1),

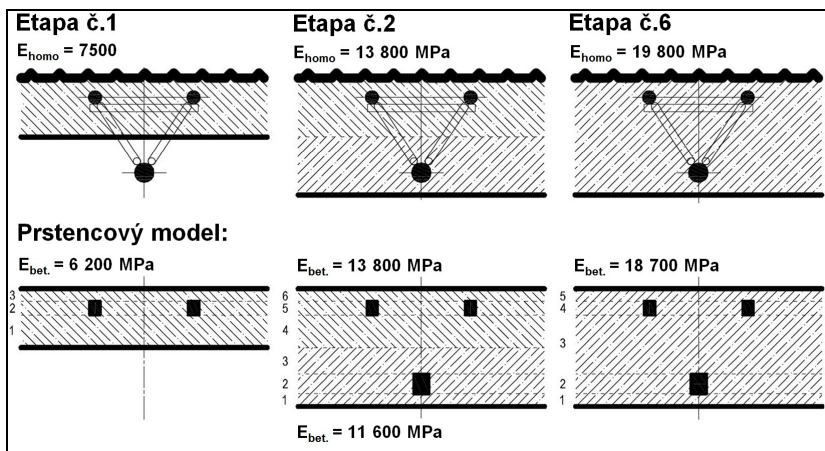
- napjatost v konstrukci ocelobetonového ostění (q_{OCB}) je dána superpozicí dílčích napjatostí.



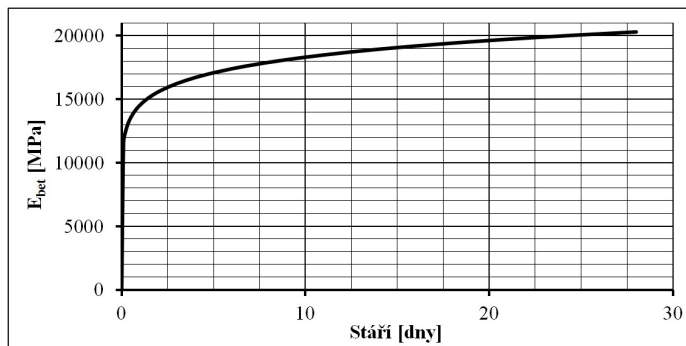
Obr. 1: Postup při stanovení stavu napjatosti (q_i) pro jednotlivé etapy činnosti ocelobetonového ostění

3 PŘÍKLAD

Schéma příkladu konstrukce průřezu ocelobetonového ostění je na obrázku č. 2. Ostění tvoří ocelový příhradový nosník typ ASTA 98 a dvě vrstvy stříkaného betonu. První vrstva stříkaného betonu je aplikována okamžitě po provedení výrubu. Druhá vrstva stříkaného betonu je aplikována po 12-ti hodinách od nástřiku první vrstvy. Obě vrstvy mají stejnou tloušťku, která činí 0,14 m. Graf na obrázku č. 3 uvádí časovou závislost nárůstu modulu pružnosti stříkaného betonu (E_{bet}) v čase.



Obr. 2: Schéma konstrukčních etap ocelobetonového ostění



Obr. 3: Vývoj hodnoty modulu pružnosti stříkaného betonu (E_{bet}) v čase

Hodnoty modulu pružnosti ocelobetonového průřezu (E_{homo}) pro konstrukční etapy výstavby ocelobetonového ostění uvádí tabulka č. 1.

Tab. 1: Hodnoty modulu pružnosti ocelobetonového průřezu (E_{homo}) v čase

Eta	Stáří [jednotka]		Vrstva	E_{bet} [MPa]	E_{homo} [MPa]
1	0,5	[hod.]	vrstva 1	6200	7500
2	14,0		vrstva 1	13800	13800
	2,0		vrstva 2	11600	
3	36,0		vrstva 1	15200	16000
	24,0		vrstva 2	14600	
4	3,5	[dny]	vrstva 1	16500	17500
	3		vrstva 2	16200	
5	6,5		vrstva 1	17500	18500
	6		vrstva 2	17400	
6	12,5		vrstva 1	18700	19800
	12		vrstva 2	18700	
7	28,5		vrstva 1	20300	21400
	28		vrstva 2	20300	

Ke stanovení deformační charakteristiky ocelobetonové výztuže je užit matematický 2D MKP model geotechnické situace s kruhovým výrubem. Matematický model charakterizují následující parametry:

Konstitutivní vztah Mohr-Coulomb ($c = 40$ kPa; $\varphi = 17^\circ$); homogenní izotropní prostředí ($\gamma = 25,0$ kNm⁻³, $E_{hor} = 30000$ kPa; $\nu = 0,35$); primární napjatost ($q_{max} = 629$ kPa, $q_{max} \approx q_i$). K řešení byl užit výpočetní program PLAXIS.

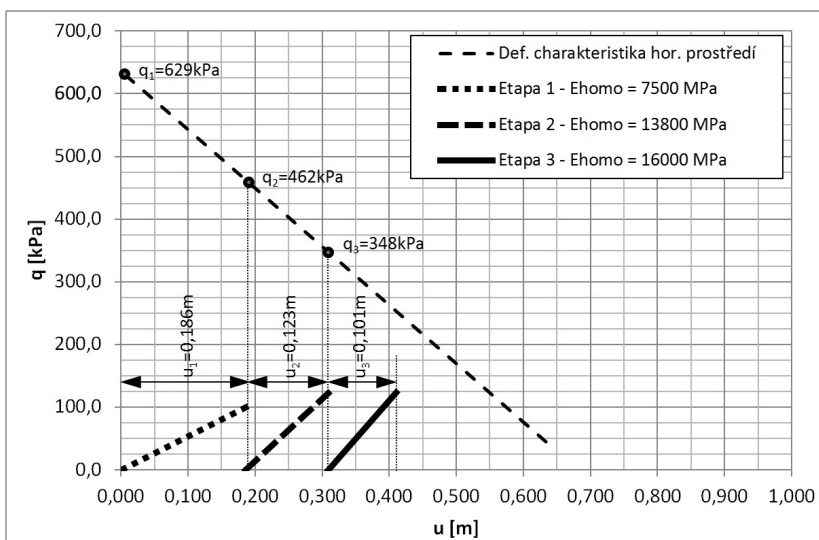
4 VÝSLEDKY

Výsledky řešení příkladu jsou shrnuty v grafech na obrázcích č. 5 a č. 6.

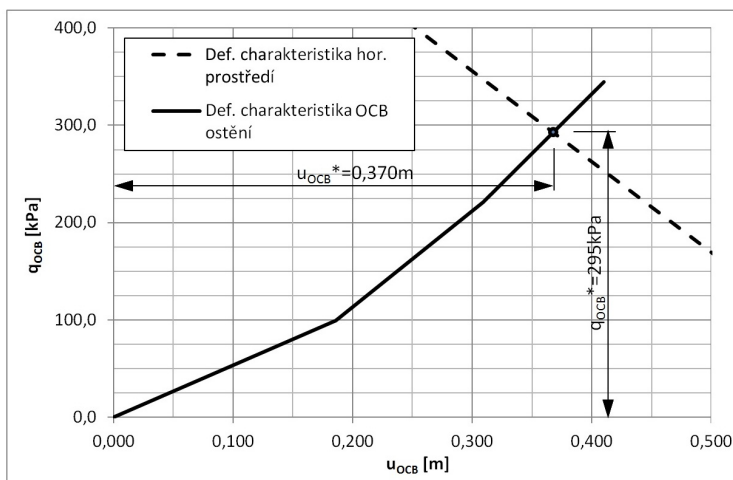
Grafy na obrázku č. 5 dokumentují: vývoj uvolňování primární napjatosti horninového masivu během jeho stabilizace ocelobetonovým ostěním; průběh dílčí posunů (u_i) pro jednotlivé konstrukční etapy (č. 1–3) ocelobetonového ostění. Z grafu jsou odečteny hodnoty stavu napjatosti horninového masivu (q_i) pro jednotlivé konstrukční etapy ocelobetonového ostění. Každou etapu charakterizuje hodnota modulu pružnosti ocelobetonového ostění (E_{homo}).

Graf na obrázku č. 6 uvádí deformační charakteristiku odvozenou za okolností součinnosti ostění s horninovým prostředím. Graf dokumentuje závislost napětí v průřezu konstrukce ostění (q_{OCB}) na posunu (u_{OCB}) bodu, který je umístěn ve vrcholu klenby výrubu na rozhraní mezi horninovým prostředím a vnějším pláštěm ostění. Z grafu jsou stanoveny konečné hodnoty napětí

v průřezu konstrukce ostění (q_{OCB}^*) a posun bodu (u_{OCB}^*) při dosažení stavu stabilizace horninového prostředí.



Obr. 5: Vývoj uvolňování primární napjatosti horninového masivu a stanovení hodnot stavu napjatosti horninového masivu (q_i) pro jednotlivé konstrukční etapy ocelobetonového ostění



Obr. 6: Deformační charakteristika ocelobetonového ostění

5 DISKUZE

Stanovení deformační charakteristiky ostění je postaveno na několika zjednodušujících předpokladech:

- známá deformační charakteristika horninového prostředí, která je v tomto případě vyjádřena lineární závislostí a je nezávislá na reakcích ostění,
- není vyhodnocován stav únosnosti ocelobetonového ostění v jednotlivých konstrukčních etapách; předpokládá se, že pro uvedené rozsahy přetvoření ostění (posuny u_i) nebude překročena jeho únosnost,
- použití 2D modelu.

Uvedené předpoklady jsou akceptovatelné. Pokud bude deformační charakteristika horninového prostředí známa, řešení se dále jen upřesní.

Vyhodnocení stavu únosnosti průřezu ostění je možné zahrnutím do řešení deformační charakteristiky ostění další vyhodnocovací proceduru, která bude sledovat čerpání únosnosti průřezu.

Řešení vazby horninové prostředí a ostění je v tomto případě pouze jednostranné, vliv přetváření ostění na vývoj deformační charakteristiky horninového prostředí není aplikován, protože doposud není dostatečně exaktně konstituován.

Použití 2D modelu není zcela objektivní. K objektivnímu zachycení přetváření horninového prostředí v oblastech předpolí výrubu a vlastního výrubu je objektivnější 3D model.

Přijatá zjednodušení nejsou v rozporu s principy deformačního chování horninového prostředí a ocelobetonového ostění. Skutečnost, že se oba procesy deformace vyvíjí paralelně od okamžiku provedení výrubu, eliminuje kontroverzní problém stanovení rozsahu počáteční deformace na nevyztuženém výrubu, před zahájením statické činnosti ostění. Úplné objektivní zachycení počátečních deformací v předpolí výrubu lze zohlednit aplikací 3D modelu.

6 ZÁVĚR

Deformační charakteristika konstrukce ocelobetonového ostění je obecně výsledkem součinnosti objektivních činitelů, daných horninovým prostředím, a subjektivních variabilních činitelů daných konstrukcí a procesem výstavby ostění.

Proměnlivá tuhost ocelobetonového ostění obecně a značná variabilita subjektivních činitelů, jako jsou: řízení procesu tvrdnutí betonu; příprava betonu o různých hodnotách modulu pružnosti; počet a mocnosti konstrukčních vrstev stříkaného betonu; časový posun mezi nástřikem jednotlivých vrstev; intenzita vyztužení vrstev stříkaného betonu podpěrnými ocelovými konstrukcemi, nabízí možnost pro optimalizaci návrhu řešení konstrukce ocelobetonového ostění s ohledem na zachování a čerpání stabilitního potenciálu horninového prostředí.

Uvedený příspěvek ve zkratce podává základní rozbor k problematice deformační charakteristiky ocelobetonového ostění, která není konstantní charakteristikou, ale je určována chováním horninového prostředí. Příspěvek ukazuje postup exaktního řešení této problematiky.

PODĚKOVÁNÍ

Článek byl realizován za finanční podpory projektu „Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO“, registrační číslo projektu: CZ.1.07/2.3.00 /20.0013.

LITERATURA

- [1] HILAR, M. *Stříkaný beton v podzemním stavitelství*. Praha: ITA-AITES , 2008. ISBN 978-80254-1262-6.
- [2] BULYTCHEV, N. C. *Mechanika podzemnych sooruzenij*. (1982) Moskva: NEDRA, 270.
- [3] VOJTASÍK, K., HRUBEŠOVÁ, E., MOHYLA, M., STAŇKOVÁ, J. Určení přetvárných vlastností a stavu napětí v průřezu ocelobetonového ostění. *Tunel*. 2010, XIX. Nr. 4, pp 68-74. ISSN 1211-0728.
- [4] VOJTASÍK, K., HRUBEŠOVÁ, E., MOHYLA, M., STAŇKOVÁ, J. Závislost modulu pružnosti a přerozdělovacích napětíových koeficientů ocelobetonového průřezu na rozložení ocelových prvků v průřezu. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava Řada stavební*. 2011, XI. Nr. 1, pp 109-114. ISSN 1213-1962.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc., Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Ostrava.

Ing. Jiří Bošтік, Ph.D., Ústav geotechniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Filip ČMIEL¹, Radek FABIAN², Zdeněk JAROŇ³

OVĚŘENÍ VYBRANÝCH TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ AEROTHERMU

**VERIFICATION OF THE SELECTED THERMAL TECHNICAL PROPERTIES
OF AEROTHERM**

Abstrakt

V nedávné době se na trhu objevily termoizolační stěrky AeroTherm a jejich výrobcem uváděné tepelně izolační vlastnosti mnoho lidí nadchlo natolik, že si tento izolační materiál aplikovali bez jakékoliv konzultace s odborníkem z oblasti tepelné fyziky na obvodové pláště svých domů na stranu interiéru, pod podlahy a na stropní konstrukce.

Cílem tohoto článku je ověřit tepelně technické vlastnosti AeroThermu na vyzdívice z Ytongu, která má funkci nosného podkladu.

Klíčová slova

AeroTherm, termovizní kamera, posuzování obvodových plášťů, tepelné mosty, tepelná izolace, obvodová konstrukce, klimatická komora.

Abstract

The thermally insulating compound AeroTherm appeared on the market in recent times. The manufacturer determines its thermal insulating properties. This properties excited many people so they applied this insulating material on the inner surface of envelope, under floors and on ceiling structures without any consultation with expert in the field of thermal physics.

The aim of this article is to verify thermal-technical properties of AeroThermu on the lining from YTONG that serves as the supporting base.

Keywords

AeroTherm, thermocamera, assessment of building envelope, thermal bridges, thermal insulation, cladding, climatic chamber.

1 ÚVOD

Dosáhnout zlepšení tepelně izolačních vlastností obvodových plášťů lze nejlépe použitím vrstvy tepelné izolace. Nejtěžším rozhodnutím je správné zvolení izolačního materiálu, jehož tloušťka se následně dopočítává dle příslušných tepelně technických norem. Z pohledu vlhkostních vlastností či tepelně vlhkostního chování materiálů je celá záležitost složitější, než by se na první pohled mohlo zdát. Nevhodné složení obvodového pláště může totiž vést k nadměrné koncentraci vlhkosti uvnitř konstrukce a k její následné kondenzaci. Jsou-li navíc tyto problémy spojeny

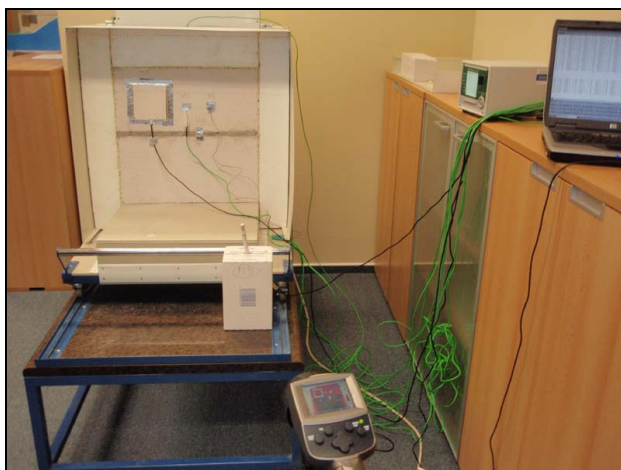
¹ Ing. Filip Čmiel, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 337, e-mail: filip.cmiel@vsb.cz.

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. Zdeněk Jaroň, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 909, e-mail: zdenek.jaron@vsb.cz.

s mrznutím a s táním vody v pórovitém materiálu, může docházet k jeho porušení nebo přinejmenším ke snížení životnosti obvodového pláště. Dnešním trendem v tomto stavebním oboru je vyvinout nové nebo modifikovat běžné stavební materiály s nejlepšími tepelně izolačními vlastnostmi k dosažení nejvyšších energetických úspor. Pro tyto účinky se vyvíjejí nové vnitřní omítky a tepelné izolace.

Tento článek popisuje způsob stanovení efektu aplikovaného AeroThermu na vnitřní povrchové teploty prostřednictvím teplotního faktoru vnitřního povrchu před a po aplikaci této tepelně izolační stěrky na vyzdívku z Ytongu v klimatické komoře.



Obr. 1: Nainstalované sondy pro snímání povrchových teplot a tepelného toku

AeroTherm je tepelná izolace, která dle výrobce dosahuje maximálních tepelně izolačních vlastností v extrémně tenké vrstvě. Jde o vodou ředitelný tmel, jehož uvedené složení je z plniva 3M skleněných mikrokuliček obsahující částečné vakuum, z aerogelu, disperze a aditiva. Pro vysokou termoizolační účinnost AeroThermu stačí aplikovat na povrch obvodové stěny na straně interiéru pouze extrémně tenkou vrstvu 1 mm. AeroTherm kromě skvělých tepelných izolačních vlastností má také ovlivňovat vzdušnou vlhkost a neumožňovat její kondenzaci na povrchu konstrukcí. Na rozdíl od jiných izolačních prostředků má tato vrstva vytvářet nepříznivé prostředí pro vznik plísní. Výrobce dále uvádí, že AeroTherm minimalizuje následky konstrukčních nedostatků obvodového pláště budov a oproti vnějšímu zateplení izoluje venkovní stěny tak, že zabraňuje průniku chladu z venkovního prostředí a z promrzajících základů do interiéru. Odráží a izoluje teplo přímo v místnosti, odstraňuje sálání chladu ze stěn a hlavně nezmenšuje prostor zateplované místnosti. Dokonce se uvádí, že použitím slabounké vrstvy AeroThermu (cca 1 mm) je možné místnost či určitý prostor tepelně izolovat tak dokonale, že není zapotřebí vytápět objekt ani v zimních měsících, neboť pro vytápění těchto prostorů dostačuje teplo osob v nich přebývajících, bez udání jejich počtu k objemu místnosti.

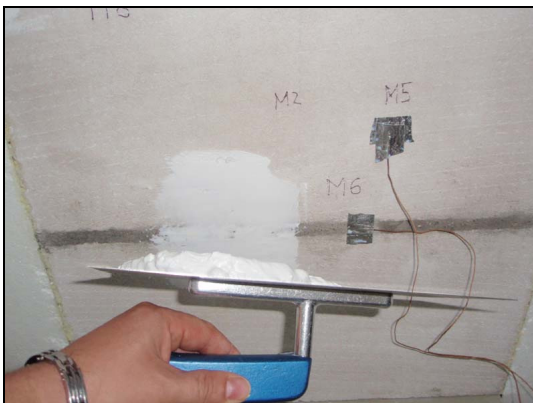
Tyto výrobcem a prodejci uváděné podezřelé vynikající vlastnosti termoizolační stěrky si jistě zaslouží minimálně experimentální ověření. Součinitel tepelné vodivosti λ v technickém listu výrobku je $0,047 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, což přibližně odpovídá součiniteli tepelné vodivosti pěnového polystyrénu. Nabízí se otázka, zda-li vůbec může ekvivalentní vrstva 1 mm pěnového polystyrénu ze strany interiéru až takto vylepšit vlastnosti obvodového pláště.

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Pro experimentální ověření tepelné technických vlastností termoizolační stěrky AeroThermu byla použita klimatická komora, do které byla instalována vyzdívka Ytong tloušťky 100 mm bez povrchové úpravy. Po provedeném měření se tato vyzdívka opatřila 1 mm tlustou vrstvou AeroThermu a měření se opakovalo.



Obr. 2: Příprava na aplikaci AeroThermu



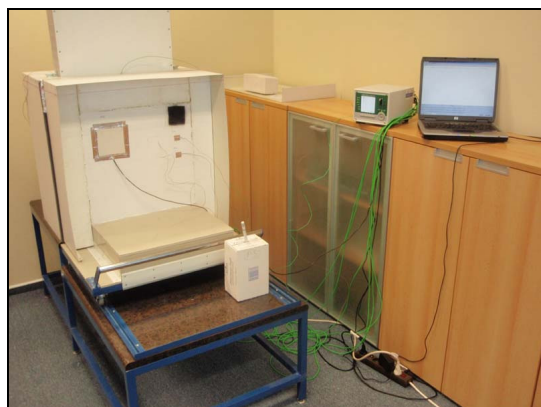
Obr. 3: Aplikace termoizolační stěrky



Obr. 4: Pohled na finální vrstvu AeroThermu



Obr. 5: Použití speciálního spreje pro určení emisivity povrchu termoizolační stěrky



Obr. 6: Celkový pohled na klimatickou komoru v průběhu měření



Obr. 7: Pohled na vyzdívku z Ytongu z vnitřního prostoru klimatické komory

2.1 Příprava měření

Měřené teploty byly zaznamenávány v datové ústředně ALMEMO 5690-2. Pro měření teplot byla vybrána termočláneková čidla ALMEMO GOF120-K1 typu NiCr-Ni a pro měření vnitřní teploty bylo použitý kombinovaný snímač FHA 646-E1 s teplotním čidlem NTC (přesnost $\pm 0,1$ °C).

Pro účely tohoto měření proběhla kalibrace termočláneků při teplotách cca 30 °C a 8 °C a hodnoty byly porovnány s kapalinovým rtuťovým teploměrem. Pro samotné měření byly využity čtyři z těchto čidel.

Tab. 1: Teplotní korekce čidel

Čidlo	30 °C		8 °C	
		odchylka		odchylka
1	30,7	0,3	8,7	0,3
2	30,7	0,3	8,7	0,3
3	30,7	0,3	8,7	0,3
4	30,7	0,3	8,7	0,3
5	30,7	0,3	8,7	0,3
6	30,7	0,3	8,7	0,3
Hg	30,4		8,4	

3 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ POVRCHOVÝCH TEPLOT

Měření spočívalo, u obou variant, ve snímání a zaznamenávání povrchových teplot na vyzdíve ze zdících tvarovek YTONG v klimatické komoře v místě ložné spáry a v místě mimo ložnou spáru (viz Obr. 2), teplot vnějšího vzduchu a teplot a relativních vlhkostí vnitřního vzduchu.

Termočlánek, který měřil teplotu vzduchu v klimatické komoře, byl do klimatické komory zaveden prostřednictvím plastové trubičky, která je součástí klimatické komory a tímto způsobem fixuje polohu tohoto čidla v dutině klimatické komory (viz Obr. 7). Termočláanky, které měřily povrchové teploty konstrukce, byly kontaktně přilepeny ke stěně hliníkovou lepicí páskou. Použitím hliníkové lepicí pásky se minimalizoval vliv tepelné radiace okolí na instalovaný termočlánek. Termočláanky byly instalovány ve dvou výškových úrovních, kdy první byl v místě ložné spáry a druhý byl ve výšce 100 mm od výše zmíněné ložné spáry. Kombisonda FHA 646-E1 byla pro zajištění přibližně svislé polohy uložena do prázdné krabice s odpovídajícím otvorem tak, aby senzory kombisondy z této krabice vyčnívaly (viz Obr.6). Snímání dat bylo prováděno po desetiminutových intervalech nastavením datalogeru ALMEMO 5690-2 od firmy Ahlborn. Takto naměřené hodnoty byly uloženy v programu EXCEL. Na vyzdřeném vzorku ze zdících tvarovek YTONG tl. 100 mm v klimatické komoře bylo provedeno měření teplot na vnitřním povrchu konstrukcí, teploty vnitřního a vnějšího vzduchu a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Zapisování naměřených hodnot bylo prováděno v desetiminutových intervalech na externí datovou SD kartu.

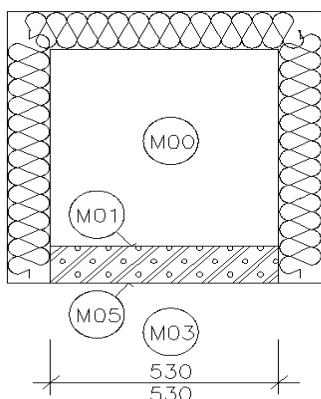
Pro první měření byly instalovány čidla v měřicích kanálech dle obrázku 8. V případě první varianty (vnitřní povrch vyzdívky z YTONGU bez povrchové úpravy) proběhla měření v období od 16.11.2011 10:58 do 17.11.2011 9:38 a po ustálení hodnot, po 10 hodinách byl z deseti následujících hodnot měření vypočten aritmetický průměr.

Pro druhé měření byly instalovány čidla v měřicích kanálech dle obrázku 9, kdy oproti prvnímu měření přibýlo čidlo M42, které měřilo teplotu mezi povrchem Ytongu a AeroThermem. V případě druhé varianty (vnitřní povrch vyzdívky z YTONGU opatřen 1 mm vrstvou aero-thermu) proběhla měření v období od 24.11.2011 11:08 do 25.11.2011 9:08 a po ustálení hodnot,

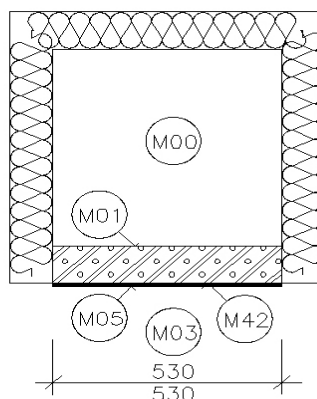
po 10 hodinách byl z deseti následujících hodnot měření vypočten aritmetický průměr. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 2: Průměrné naměřené hodnoty po teplotní korekci čidel

Čidla	M00 [°C]	M01 [°C]	M03 [°C]	M05 [°C]	M42 [°C]
Měření č. 1	-10,5	-3,6	26,0	20,0	-
Měření č. 2	-12,8	-7,6	25,2	19,3	18,9



Obr. 8: Umístění čidel v klimatické komoře pro měření č. 1



Obr. 9: Umístění čidel v klimatické komoře pro měření č. 2

3.1 Výpočet součinitele tepelné vodivosti

Vzhledem k omezeným možnostem měření jsme zvolili komparační metodu posouzení uváděného součinitele tepelné vodivosti. Pokud se bude vycházet ze součinitele tepelné vodivosti pro Ytong, bude možno vypočítat z druhého měření součinitel tepelné vodivosti pro AeroTherm následujícím způsobem:

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot \Delta\theta \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1)$$

kde:

q – tepelný tok [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

λ – součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

d – tloušťka [m],

$\Delta\theta$ – rozdíl teplot [K].

$$\frac{\lambda_1}{d_1} \cdot \Delta\theta_1 = \frac{\lambda_2}{d_2} \cdot \Delta\theta_2 \quad (2)$$

$$\lambda_A = \lambda_Y \cdot \frac{d_A}{d_Y} \cdot \frac{\Delta\theta_Y}{\Delta\theta_A} = 0,12 \cdot \frac{0,001}{0,1} \cdot \frac{18,9 - (-7,6)}{19,3 - 18,9} = 0,0795 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

kde:

λ_A – součinitel tepelné vodivosti (AeroTherm) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

λ_Y – součinitel tepelné vodivosti (Ytong) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

d_A – tloušťka (AeroTherm) [m],

d_Y – tloušťka (Ytong) [m],
 $\Delta\theta_Y$ – rozdíl teplot (Ytong) [K],
 $\Delta\theta_A$ – rozdíl teplot (AeroTherm) [K].

Výrobce deklaruje součinitel tepelné vodivosti $0,047 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Vzhledem k tomu, že vrstva AeroThermu byla dle návodu výrobce nanášena ručně, a měření tloušťky vrstvy bylo jen orientační, musíme připustit určitou nerovnoměrnost termoizolační stěrky. Pokud se ještě vezmeme v úvahu možná nepřesnost měření $\pm 0,1^\circ\text{C}$, která v krajním případě zvětší teplotní spád na stěrci o 50 %, lze deklarovaný součinitel tepelné vodivosti připustit.

3.2 Výpočet teplotního faktoru vnitřního povrchu

Ze zbylých naměřených hodnot byl využitím programu EXCEL vypočten teplotní faktor vnitřního povrchu pro místo, kdy bylo čidlo u obou variant umístěno nad ložnou spárou vyzdívky. Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} byl vypočítán podle vzorce:

$$f_{\text{Rsi}} = \frac{\theta_{\text{si}} - \theta_{\text{e}}}{\theta_{\text{ai}} - \theta_{\text{e}}} \quad [-] \quad (3)$$

Bez povrchové úpravy:

$$f_{\text{Rsi}} = \frac{20,0 - (-10,5)}{26,0 - (-10,5)} = 0,836 \quad [-]$$

AeroTherm:

$$f_{\text{Rsi}} = \frac{19,3 - (-12,8)}{25,2 - (-12,8)} = 0,845 \quad [-]$$

kde:

θ_{si} – vnitřní povrchová teplota [$^\circ\text{C}$],
 θ_{e} – teplota venkovního vzduchu [$^\circ\text{C}$],
 θ_{ai} – teplota vnitřního vzduchu [$^\circ\text{C}$].

3.3 Výsledky získané na základě měření povrchových teplot

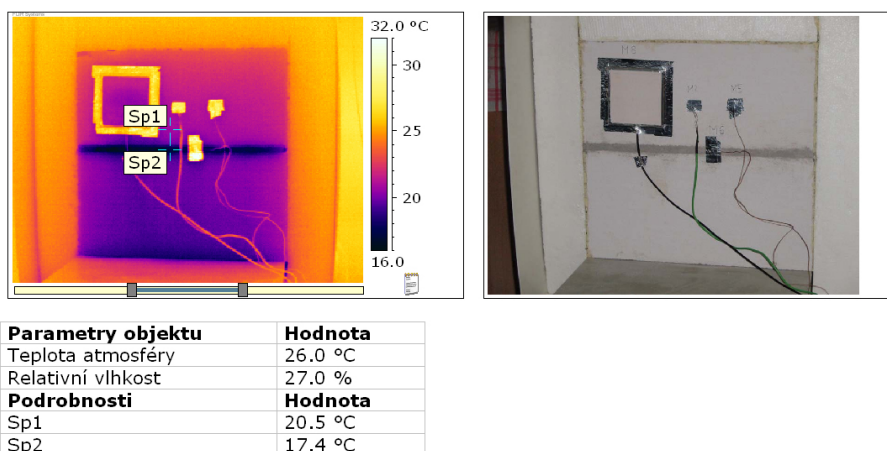
Měření spočívalo ve zjištění povrchových teplot zkoumané konstrukce, parametrů vnitřního vzduchu a teploty vnějšího vzduchu. První měření proběhlo od 16.11.2011 10:58 do 17.11.2011 9:38 na vyzdívce ze zdících tvarovek YTONG tl. 100 mm bez povrchové úpravy. Jak již bylo zmíněno, z naměřených hodnot byla účinnost konstrukce vyhodnocena hodnotou teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} , aby varianty byly mezi sebou porovnatelné a aby se tak eliminoval vliv okrajových podmínek, které mají na naměřené hodnoty povrchových teplot výrazný vliv.

Za reprezentativní hodnotu dané varianty konstrukce měřené v klimatické komoře byl zvolen aritmetický průměr z vypočítaných hodnot teplotního faktoru vnitřního povrchu konstrukce f_{Rsi} , kde z prvního měření byla zjištěna průměrná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu 0,836. Druhé měření proběhlo od 24.11.2011 11:08 do 25.11.2011 9:08 na vyzdívce ze zdících tvarovek YTONG tl. 100 mm, která byla opatřena 1 mm vrstvou AeroThermu (viz Obr. 4). Z druhého měření byla spočtena průměrná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu 0,845.

4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ POVRCHOVÝCH TEPLOT

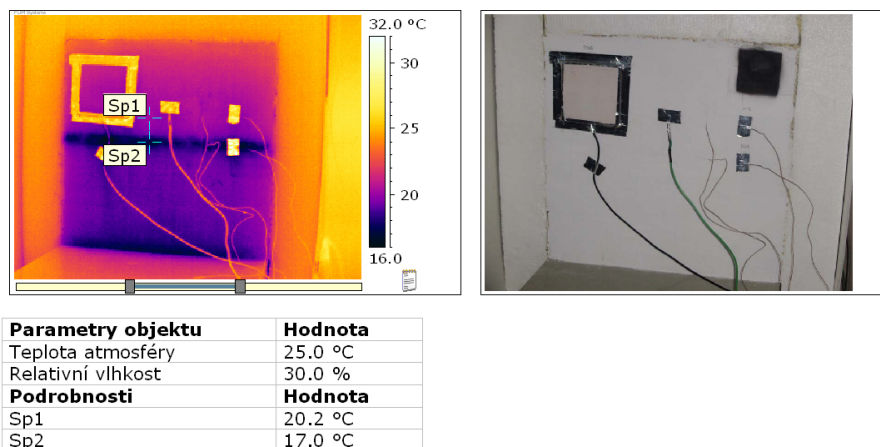
Termografie je měřicí technika, která zobrazuje dopadající nebo vyzařované infračervené záření povrchu v paletě barevných odstínů, z nichž každý znamená určitý teplotní rozsah. Skutečnost, že záření přímo závisí na povrchové teplotě objektu, umožňuje kameře tuto teplotu vypočítat a zobrazit. Termografické měření nezjišťuje přímo teploty povrchů, ale jen množství záření z nich. Chybně nastavená emisivita povrchů konstrukcí může značně ovlivnit vzhled termogramu, což může způsobit nesprávnou interpretaci naměřených hodnot. Proto byl pro přesné určení emisivity AeroThermu použitý speciální ThermoSpray800, který má stanovenou emisivitu 0,96 (viz Obr. 5).

První měření v klimatické komoře bylo provedeno na vyzdívce z Ytongu bez povrchových úprav termografickým systémem ThermoCAM-B4 po dosažení ustáleného teplotního stavu, k čemuž došlo zpravidla po 10 hodinách od spuštění klimatické komory. Na obrázku 10 lze pozorovat vliv ložné spáry, která způsobuje nižší povrchovou teplotu v bodě Sp2.



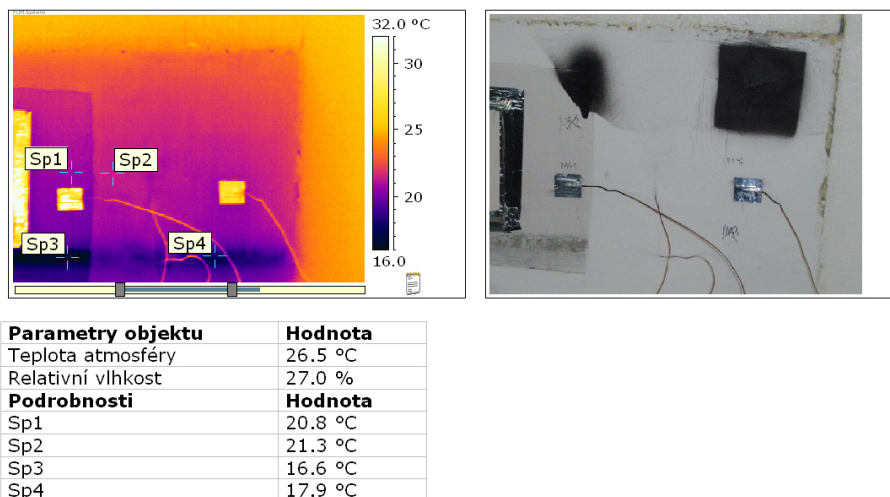
Obr. 10: Termovizní snímek – Ytong bez povrchové úpravy

Druhé termografické měření v klimatické komoře bylo provedeno na vyzdívce z Ytongu s aplikovanou povrchovou vrstvou z AeroThermu stejným způsobem, jako ve výše popsaném termografickém měření na vyzdívce z Ytongu bez povrchové vrstvy. Na obrázku 11 lze pozorovat i po aplikaci AeroThermu vliv tepelného mostu způsobeného ložnou spárou, která způsobuje nižší povrchovou teplotu v bodě Sp2.



Obr. 11: Termovizní snímek – Ytong s aplikovanou vrstvou AeroThermu

Pro kontrolu předchozích termografických měření a ověření emisivit povrchů použitých materiálů se odstranila část termoizolační stěrky z vyzdívky Ytongu. (viz Obr. 12).



Obr. 12: Termovizní snímek – částečně odstraněný Aerotherm

5 ZÁVĚR

Výrobce ve svých materiálech uvádí, že vnitřní nátěr o tloušťce 1 mm sníží náklady na vytápění stejně jako 100 mm vrstva pěnového polystyrénu. I kdybychom připustili, že deklarovaný součinitel tepelné vodivosti odpovídá skutečnosti, je nemožné těchto úspor dosáhnout, už jen proto, že součinitel tepelné vodivosti AeroThermu je vyšší než součinitel tepelné vodivosti pěnového polystyrénu. Minimální tepelně izolační dopad aplikace AeroThermu dokládají vypočítané teplotní faktory vnitřního povrchu, které se od sebe liší pouze minimálně.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie. Praha: ČNI, 2005.
- [2] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: ČNI, 2002.
- [3] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: ČNI, 2007.
- [4] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Navrhované hodnoty veličin. Praha: ČNI, 2005.
- [5] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. Praha: ČNI, 2005.
- [6] Webová stránka výrobce tepelných izolací Španiel Group, a.s. [online]. Dostupné z: <http://www.spanielgroup.cz>
- [7] FEJFAR, V. AERO-THERM – kosmická technologie mezi izolacemi. In: *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 26.4.2011. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/aero-therm-kosmicka-technologie-mezi-izolacemi>.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Vrtek Mojmir, Ph.D., Katedra energetiky, Fakulta strojní, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Marek JAŠEK¹

**FINANČNÍ POROVNÁNÍ TRADIČNÍ A NOVODOBÉ METODY
PRO ZESILOVÁNÍ ZDĚNÝCH SLOUPŮ**

**FINANCIAL COMPARISON OF TRADITIONAL AND MODERN METHODS
FOR STRENGTHENING OF MASONRY COLUMNS**

Abstrakt

Příspěvek se zabývá finančním porovnáním jedné z tradičních metod zesílení zděného sloupu a novodobé metody pomocí cementového kompozitu ECC. Porovnání je provedeno z toho důvodu, že často finance, rychlost a náročnost realizace má zásadní vliv na rozhodování o způsobu zesilování zděných konstrukcí.

Klíčová slova

ECC kompozit, zděný sloup, zesílení, tlak.

Abstract

The paper deals with the financial comparison of one of the traditional methods of reinforcement brick pillar and using modern methods of cement composite ECC. Comparison is made on the grounds that it often finances, speed and complexity of implementation is essential to deciding how strengthening of masonry structures.

Keywords

ECC composites, masonry columns, strengthening masonry, pressure.

1 ÚVOD

Výběr vhodné metody sanace zděných sloupů či pilířů nezávisí pouze jen na statické únosnosti dané metody, ale rovněž na technologické, časové a finanční náročnosti metody. V příspěvku bude z finančního pohledu posouzena tradiční způsob zesilování zděných sloupů či pilířů (metoda zesílení pomocí ocelové bandáže) a nový inovační cementový kompozit ECC (Engineered Cementitious Composites) (Jašek, 2011a).

Finanční zhodnocení jednotlivých metod zesílení je zpracováno pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce 3000 mm. Pro výpočet finančního zhodnocení je nutno vypracovat výkaz výměr vztahující se k daným metodám zesílení viz (Jašek, 2011b). Pro finanční zhodnocení jednotlivých metod zesílení zděného sloupu jsou použity směrné (orientační) ceny stavebních prací. Výpočet finančního hodnocení je zpracováno v softwaru BUILDpower verze 13 od brněnské firmy Rts, a.s., se sborníkem cen stavebních prací (datovou základnou) z prvního pololetí roku 2010 (RTS 10/1). Dále jsou použity ceny stavebních materiálů od výrobců jednotlivých materiálů (fy Helifix cz, s.r.o.). Ceny vstupních složek (surovin) potřebných pro výpočet orientační ceny ECC kompozitu byly zjištěny poptávkou u firmy Betotech, s.r.o. Hodnota (množství) spotřeby času je převzata z výkonové normy, která je dostupná v datové základně použitého software.

¹ Ing. Marek Jašek, Ph.D. 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.

2 FINANČNÍ ZHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH METOD

Pro finanční zhodnocení jednotlivých metod zesílení je vytvořen technologický postup daných metod zesílení, který zahrnuje nejen vlastní aplikaci daného materiálu, ale i předešlé a následující stavební procesy (Jašek, 2011b). Jedná se zejména o otlučení omítky, očištění povrchu zděného sloupu, provedení povrchové úpravy, atd.

Jednotlivé položky jsou čerpány ze sborníku cen stavebních prací, popřípadě jako kopie rozboru z jiných položek, kdy se použije podobná položka databáze, která již samotný rozbor obsahuje a ten se přizpůsobí potřebám individuálně kalkulované konstrukce či práce.

Dalším používaným způsobem určení ceny stavební práce je vlastní individuální kalkulace nákladů a to (ÚRS Praha a.s., 2009):

$$JC = H + M + S + OPN + Rv + Rs + Z \quad (1)$$

kde:

JC – jednotková cena na měrnou jednotku [Kč/měrná jednotka],

H – náklady na přímý materiál [Kč],

M – náklady na přímé mzdy [Kč],

S – náklady na provoz stavebních strojů a zařízení [Kč],

OPN – ostatní přímé náklady [Kč],

Rv – režie výrobní [Kč],

Rs – režie správní [Kč],

Z – zisk [Kč].

Ostatní přímé náklady OPN obsahují zejména odvody z mezd ve výši 35 % z nákladů na přímé mzdy ($OPN = M \times 0,35$). Výrobní a správní režie se počítají procentuální sazbou z přímých zpracovacích nákladů PZN ($PZN = M + S + OPN$). Procentuální sazba režie výrobní $S1$ se uvádí 42 % ($Rv = PZN \times 0,42$) a procentuální sazba režie správní $S2$ pak 17 % ($Rs = PZN \times 0,17$). Zisk se taktéž vypočte procentuální sazbou. Procentuální sazba zisku $S3$ se obvykle uvažuje ve výši 9 % ze zpracovacích nákladů ZN ($ZN = PZN + Rv + Rs$). Jednotlivé sazby jsou převzaty z kalkulačního vzorce softwaru pro rozpočtování BUILDpower, který je použit pro výpočet finančního zhodnocení daných metod zesílení.

Cena specifikace, tj. vlastního nosného materiálu je určena pořizovací cenou PPC . Pořizovací cena se vypočte podle vzorce (ÚRS Praha a.s., 2009):

$$PPC = CP + PRN \quad (2)$$

kde:

PPC – pořizovací cena [Kč],

CP – cena pořízení [Kč],

PRN – pořizovací náklady [Kč].

Cena pořízení CP je nabídkovou nebo informativní cenou dodavatele či výrobce. Pořizovací náklady PRN se určují procentuální sazbou $S4$ z ceny pořízení. Procentuální sazba pořízení $S4$ pro výztužné prvky se uvažuje v kalkulačním vzorci softwaru BUILDpower ve výši 7,4 % z ceny pořízení ($PRN = CP \times 0,074$) a pro lepicí hmotu ve výši 4 % ($PRN = CP \times 0,04$).

2.1 Finanční zhodnocení metody zesílení pomocí ocelové bandáže

Pro zesílení jsou navrženy úhelníky rovnoramenného L profilu $80 \times 80 \times 8$ mm a příčná pásová ocel $P6 - 60$. Pro stanovení finančního zhodnocení jednotlivých metod zesílení zděného sloupu se vypočte množství materiálů potřebných pro zesílení. Hmotnost ocelových prvků na 1bm je převzata ze Stavebních tabulek (Rochla, 1982). Množství materiálů je patrné z tab. 1. Počet řad příčné pásové oceli je 7, což odpovídá svislé osové vzdálenosti 450 mm.

Tab. 1: Množství materiálů při zesílení pomocí ocelové bandáže pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce 3,0 m

Číslo položky	Zkrácený popis výměry	MJ	Množství
1.	L profily 80 × 8 $3,0 \times 0,00963 \times 4 = 0,1156 \text{ t}$	t	0,116
2.	Pásová ocel 60 × 6 $0,46 \times 0,00285 \times 4 \times 7 = 0,0367 \text{ t}$	t	0,0367

Orientační cena osazení ocelových profilů je vytvořena editací (variantou) již existující položky z databáze cen stavebních prací a to položky *Osazení ocelových válcovaných nosníků do č. 12*, kde je potřeba stroje *jeřáb* nahrazena *svářecím agregátem* a potřeba profese *řidič-mazač strojů třídy 6* profesí *svářeč*.

Jednotková cena navlhčení vnitřního povrchu se určí individuální kalkulaci dle vzorce (1), práci bude provádět omítkář třídy 6 s jednotkovou cenou 120 Kč/Nh při pracnosti 0,09 Nh:

$$JC = 0,02 + 120 \times 0,09 + 0 + 10,8 \times 0,35 + 14,58 \times 0,42 + 14,58 \times 0,17 + 23,18 \times 0,09 = 25,30 \text{ Kč/m}^2.$$

Rovněž cena očištění povrchu stávajícího sloupu se určí individuální kalkulaci. Stávající povrch bude čistit stavební dělník třídy 4 s jednotkovou cenou 96,3 Kč/Nh při pracnosti 0,38 Nh:

$$JC = 0 + 96,3 \times 0,38 + 0 + 36,59 \times 0,35 + 49,4 \times 0,42 + 49,4 \times 0,17 + 78,55 \times 0,09 = 85,60 \text{ Kč/m}^2.$$

Jednotlivé položky pro finanční zhodnocení metody zesílení pomocí ocelové bandáže včetně měrných jednotek, množství stavební práce či materiálu, jednotkové ceny za měrnou jednotku a cenu za položku jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Ceny stavebních materiálů a prací metody zesílení pomocí ocelové bandáže pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce 3,0 m

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
1.	Osazení ocelových profilů	t	0,1523	8984,07	1368,27
2.	Ocel pásová 60/6	t	0,0367	34900,23	1280,84
3.	Profil L 80/8	t	0,1156	29832,10	3448,59
4.	Navlhčení vnitřních povrchů	m ²	3,6000	25,30	91,08
5.	Potažení oc. profilů rab. pletivem	m ²	5,2800	108,00	570,24
6.	Omítka sloupů	m ²	5,2800	404,00	2133,12
7.	Omítka sloupů pod úhelníky	m ²	2,4000	224,50	538,80
8.	Očištění povrchu	m ²	5,2800	85,60	451,97
9.	Lešení pomocné	m ²	4,4640	135,50	604,87
10.	Otlučení stávající omítky	m ²	5,2800	60,40	318,91
11.	Přesun hmot	t	0,6899	224,00	154,55
12.	Odvoz sutí	t	0,4858	262,50	127,51
13.	Vnitrostaveništní doprava sutí	t	0,4858	218,50	106,14
14.	Poplatek za skládku stavební sutí	t	0,4858	350,00	170,02
Cena celkem bez DPH		zaokrouhleno na koruny			11365,00

Orientační cena metody zesílení pomocí ocelové bandáže vychází na 11.365 Kč bez DPH vztahující se na zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce 3,0 m.

2.2 Finanční zhodnocení metody zesílení pomocí ECC kompozitu

Pro zhodnocení ECC kompozitu byla vybrána směs kompozitu PVA-ECC vycházející z návrhového poměru složek směsi M45. Tloušťka obetonávky je navržena v tloušťce 60 mm. Technologický postup aplikace kompozitu ECC odléváním je uveden v (Kajima Technical Research Institute, 2006) a v (Jašek, 2011b).

Tab. 3: Poměr složek u směsi ECC-M45 dle hmotnostního poměru (Li, 2007)

Složka	Cement	Popílek	Křemičitý písek	Voda	Přísady	Vlákna (%)
Poměr	1,0	1,2	0,8	0,56	0,012	0,02

Jako plnivo je použit popílek a to zejména z ekonomického a environmentálního důvodu. Při použití křemičitého úletu, jehož cena je přibližně 50 Kč/kg (cena popílku vychází jen 0,15 Kč/kg), by celková cena ECC kompozitu vycházela v našich podmínkách nevhodná.

U ECC kompozitu se v první fázi finančního zhodnocení zjistila cena čerstvé směsi pomocí individuální kalkulace. V tab. 2 je uvedeno množství vstupních složek potřebných pro výrobu 1 m³ čerstvé směsi, dále cena vstupních složek (surovin) a celková cena daného kompozitu. V rozboru položky beton, která se již nachází v databázi cen stavebních prací, je nahrazena stávající cena čerstvé betonové směsi za vykalkulovanou cenu ECC kompozitu viz tab. 4.

Tab. 4: Orientační stanovení ceny kompozitu ECC na 1 m³ čerstvé směsi

Složka	Cement	Popílek	Křemičitý písek	Voda	Přísady	Vlákna
Množství (kg)	583	700	467	298	19	26
Cena za MJ (Kč/kg)	2,3	0,15	2,3	0,035	45	180
Cena složek (Kč)	1341	105	1074	11	855	4680
Cena celkem	8066 Kč na 1 m ³ čerstvé směsi kompozitu ECC					

Ostatní položky již byly převzaty z databáze cen stavebních prací. Seznam položek včetně jejich základních údajů jsou znázorněny v tab. 5. Výsledná cena je uvedena v korunách bez DPH zaokrouhlena na celé koruny.

Tab. 5: Ceny stavebních materiálů a prací metody zesílení pomocí ECC kompozitu pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce 3,0 m

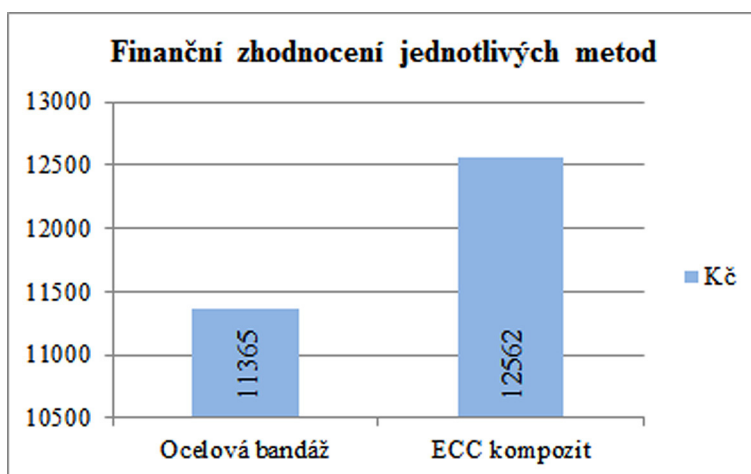
Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
1.	ECC kompozit	m ³	0,3600	8867,11	3192,16
2.	Bednění – zřízení	m ²	6,7200	544,00	3655,68
3.	Bednění – odstranění	m ²	6,7200	198,50	1333,92
4.	Penetrační nátěr	m ²	5,2800	30,00	158,40
5.	Omítka sloupů	m ²	5,2800	404,00	2133,12
6.	Očištění povrchu	m ²	5,2800	85,60	451,97
7.	Lešení pomocné	m ²	4,4640	135,50	604,87
8.	Otlučení stávající omítky	m ²	5,2800	60,40	318,91
9.	Přesun hmot	t	1,3792	224,00	308,95
10.	Odvoz sutí	t	0,4858	262,50	127,51
11.	Vnitrostaveništní doprava sutí	t	0,4858	218,50	106,14
12.	Poplatek za skládku stavební sutí	t	0,4858	350,00	170,02
Cena celkem bez DPH		zaokrouhleno na koruny			12562,00

Orientační cena metody zesílení pomocí ECC kompozitu je 12.562 Kč bez DPH a to pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce 3,0 m.

3 ZÁVĚR

Z porovnání jednotlivých metod vyplývá, že levnější způsob zesílení zděného sloupu je tradiční metoda zesílení zděného sloupu pomocí ocelové bandáže. Metoda zesílení pomocí cementového kompozitu ECC vychází přibližně o 10 % dražší než tradiční metoda zesílení zděného sloupu pomocí ocelové bandáže.

Uvedené náklady na přímé mzdy včetně časové náročnosti budou ještě ověřeny časovým snímkem na konkrétním sanovaném sloupu a následně porovnány s použitými daty vycházející z databáze cen stavebních prací.



Obr. 1: Porovnání jednotlivých metod zesílení dle finanční náročnosti pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce 3,0 m

LITERATURA

- [1] JAŠEK, Marek. 2011a. Odezva zděného sloupu při zesílení cementovým kompozitem ECC. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava: řada stavební*. 2011, roč. 11, č. 2, s. 127-134. ISSN 1213-1962.
- [2] JAŠEK, Marek. 2011b. *Posouzení nových materiálů a technologií pro zesilování zděných konstrukcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011. 187 s. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební.
- [3] Kajima Technical Research Institute. 2006. *Mixing Manual of ECC Dry-Mix for Casting*, KaTRI, Japan. 2006.
- [4] LI, Victor C. 2007. Integrated structures and materials design. *RILEM J. Mater. Struct.*, 40(4), 387–396.
- [5] ROCHLA, Milan. 1982. *Stavební tabulky*. Praha: SNTL. 1982.
- [6] ÚRS PRAHA a.s. 2009. *Rozpočtování a oceňování stavebních prací*. Praha: ÚRS PRAHA, a.s., 2009. 210 s. ISBN 978-80-7369-239-1.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Václav Pospíchal, Ph.D., Katedra technologie staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Ing. Iveta Kolibová, RTS, a. s., Brno.

Marek JAŠEK¹

**POČETNÍ POSOUZENÍ TECHNOLOGIE HELIBEAM
PŘI ZESÍLENÍ ZDĚNÉHO DOSTŘEDNĚ NAMÁHANÉHO SLOUPU**

**NUMERICAL ASSESSMENT OF PRESSURE LOADED MASONRY COLUMNS
STRENGTHENED BY TECHNOLOGIE HELIBEAM**

Abstrakt

Při statických zajištěních a opravách zděných konstrukcí se využívá technologie Helibeam firmy Helifix, jejichž použití poskytuje nenápadné a neobtěžující řešení pro všechny typy aplikací, kde se zhoršila kvalita zdiva. Příspěvek se zabývá možností využití technologie Helibeam při zesilování zděných sloupů namáhaných centrickým zatížením.

Klíčová slova

Helibeam, zděný sloup, zesílení, tlak.

Abstract

Technology Helibeam is used for the static provision and repair of masonry constructions. It's application is a discreet and unobtrusive solution for all types of masonry constructions where quality has deteriorated masonry. This article deals with the possibilities of using technology Helibeam in strengthening masonry columns loaded with pressure.

Keywords

Helibeam, masonry columns, strengthening masonry, pressure.

1 ÚVOD

Příspěvek pojednává o početním posouzení zděného sloupu, který je zesílen pomocí technologie Helibeam. V příspěvku jsou uvedeny dílčí výsledky teoretického výzkumu nových pokročilých inovačních materiálů a technologií, které se objevily na stavebním trhu nebo jsou teprve v pokročilé fázi zkoumání viz (Jašek, 2011a).

Početní posouzení únosnosti a spolehlivosti zesíleného zděného sloupu je realizováno na numerickém modelu vypracovaném v nekomerční verzi softwaru ANSYS 12. Metoda zesílení zděného sloupu pomocí technologie Helibeam je pak porovnávána s nezesíleným zděným sloupem o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce $v = 3,0$ m.

2 TECHNOLOGIE HELIBEAM

Technologie Helibeam firmy Helifix byla vyvinuta v Anglii v osmdesátých letech minulého století a skládá se ze dvou komponentů z:

- výztuže z nerezové austenitické oceli XCrNi 1810 vyrobené tahem za studena, která se při výrobě současně stáčí, přičemž se dosáhne speciálního šroubovitého profilu, jež zajišťuje lepší soudržnost s lepicím tmelem. S ohledem na přibližně dvakrát větší

¹ Ing. Marek Jašek, Ph.D. 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.

pevnost v tahu než má běžná betonářská výztuž umožňuje používat subtilní profily výztuže při zachování minimálně srovnatelné pevnosti v tahu (Helifix, 2006).

- polymercementového tixotropního lepicího tmelu s vysokou pevností a přilnavostí.

Technologie Helibeam je využívána zejména pro dodatečné vyztužování porušených stavebních konstrukcí a to zejména staveb zděných, betonových atd. Technologie zvyšuje tahovou únosnost stavebních konstrukcí a zlepšuje prostorovou tuhost. Výhodou systému je, že se do konstrukce nevnaší nové síly a napětí. Dále je velmi tvarově variabilní (výztuž lze ohýbat v rukách a krátit pákovými nůžkami) a při vlastní realizaci minimálně zasahuje do sanované konstrukce. Díky materiálu výztuže lze ji osadit v těsné blízkosti vnějšího líce konstrukce s minimálním krytím příslušné výztuže.

2.1 Fyzikálně-mechanické vlastnosti technologie Helibeam

Austenitická nerezová výztuž Helibar $\varnothing 6$ technologie Helibeam se osazuje do vyškrábané drážky ložné maltové spáry zděného sloupu o rozměrech 40×10 mm. Svislá osová vzdálenost drážek vychází z výškového modulu zdíva a činí 300 mm (10 drážek na výšku sloupu). Zadávané vstupní údaje jsou patrné z tab. 1, vstupní údaje polymercementové malty pak z tab. 2. Samotná nerezová výztuž Helibar je modelována v softwaru ANSYS jako 3D elastický prvek BEAM 4.

Tab. 1: Fyzikálně-mechanické vlastnosti austenitické nerezové oceli 1.4301 X5CrNi18-10 (Helifix, 2006 a Štěpánek, 2001)

Mechanicko-fyzikální vlastnosti	Helibar $\varnothing 6$
Objemová hmotnost ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	7900
Modul pružnosti v tahu a tlaku (GPa)	115
Součinitel příčné roztlačnosti (Poissonův součinitel)	0,3
Průřezová plocha (mm^2)	9,01
Pevnost mez kluzu (MPa)	935
Pevnost v tahu (MPa)	1212
Pevnost ve smyku (MPa)	710

Týčová výztuž Helibar se osazuje do drážky vyplněné polymercementovou maltou. Fyzikálně-mechanické vlastnosti polymercementové malty jsou převzaty od výrobce daného materiálu. Polymercementová malta je modelována v softwaru ANSYS jako 8 uzlový prvek SOLID 65. Kontakt mezi zdívm a polymercementovou maltou je zjednodušeně řešen jako dokonalý.

Tab. 2: Fyzikálně-mechanické vlastnosti polymercementové malty (Helifix, 2006)

Mechanicko-fyzikální vlastnosti	Polymercementová malta Helibond
Objemová hmotnost ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	2020
Modul pružnosti v tahu a tlaku (GPa)	28,3
Součinitel příčné roztlačnosti (Poissonův součinitel)	0,2
Pevnost v tlaku (MPa)	80
Pevnost v tahu za ohybu (MPa)	10,25

3 STATICKÉ POSOUZENÍ ZDĚNÉHO SLOUPU

Pro početní posouzení technologie Helibeam je zvolen zděný sloup o půdorysných rozměrech 440×440 mm a o výšce 3000 mm s fyzikálně-mechanickými vlastnostmi, které jsou uvedené v předešlých a následujících tabulkách. Pro vymodelování zděného sloupu je použit detailní

mikromodel zdiva vytvořený v nekomerční verzi softwaru ANSYS 12. Cihly a malta jsou po výšce rozděleny na dvě stejně vysoké části z důvodu vyhodnocení napětí a deformací v polovině výšky těchto prvků. U zděného sloupu je respektována řádná vazba zdiva. Sloup je modelován z třičtvrtek, tloušťka ložné a styčné maltové spáry je 10 mm.

Při modelování sloupu jsou kvůli doposud nerealizovaným experimentálním zkouškám použity zjednodušené předpoklady chování zdiva. Zděný sloup je vymodelován jako konzolový prut bez uvážení vlivu vzpěru prvku a to z důvodu, že prvek SOLID 65 nelze použít pro geometricky nelineární úlohy. Sloup je v patě vetknutý a v hlavě zatížen dostřednou tlakovou silou. Tlaková normálová síla působící na zhlaví sloupu je zvolena o hodnotě 170 kN. Plošné zatížení zjištěné přepočtem na půdorysnou plochu pak vychází 878 kPa. Zatížení je do samotného zděného sloupu vnášeno pomocí tužšího spojovacího prvku o výšce 100 mm, který má stejné fyzikálně-mechanické vlastnosti jako cihla. Vytvořením spojovacího prvku se snažíme docílit pokud možno co nejreálnějšího přenosu zatížení do zděného sloupu.

Z důvodu zjednodušení numerického modelu a zanedbání vzpěru je třeba brát výsledky spíše jako orientační. Jedná se o orientační parametrický výpočet, který umožňuje získat informaci o potenciálních vlivech zesílení na rozdělení napjatosti v modelovaném prvku.

3.2 Vstupní údaje materiálů

Malta a cihly jsou modelovány jako 8 uzlový prvek SOLID 65 s isotropními vlastnostmi. Cihly jsou modelovány jako fyzikálně lineární materiál, malta pak jako fyzikálně nelineární materiál. Při zadání fyzikálně nelineárního chování malty se vychází z Willam-Warnkeho podmínky plasticity (Willam, 1975). Vstupní údaje nelineárního chování malty zadávané v softwaru ANSYS jsou uvedené v (Jašek, 2011b).

Fyzikálně-mechanické vlastnosti cihel a malty jsou převzaty z experimentálních zkoušek cihel a malty (Vorel, 2007) a hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3: Fyzikálně-mechanické 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 roztlačnosti (Poissonův součinitel)	0,15	0,2
Pevnost v tlaku (MPa)	12,74	2,53
Pevnost v tahu (MPa)	1,83	0,58

3.2 Podklad statického posouzení zděného sloupu

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

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 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. Na následných obrázcích jsou zobrazena napětí v cihlách a v maltě, kde záporné hodnoty odpovídají tlakovému napětí a kladné hodnoty tahovému napětí. Největší tlaková napětí jsou znázorněna tmavě modrou barvou. Největší tahová napětí, resp. nejmenší tlaková napětí, pak barvou červenou. Napětí jsou uvedeny v jednotkách Pascal, deformace pak v metrech.

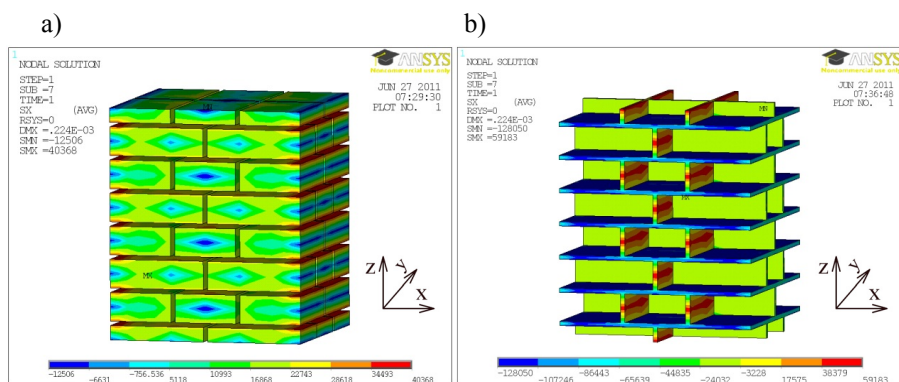
V následujících tabulkách jsou použité zkratky, kde:

$\sigma_{x,max,c}$ – je maximální napětí v cihlách ve směru osy x [kPa],

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

3.2.1 Nezesílený zděný sloup

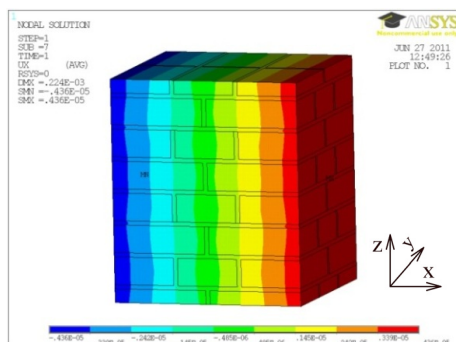
U nezesíleného zděného sloupu jsou největší tlaková napětí v cihlách ve směru osy x umístěna u povrchu zděného sloupu a to v polovině výšky cihel. Maximální tahová napětí v cihlách se pak nacházejí v oblasti ložné spáry u povrchu zděného sloupu. Ve směru osy z jsou největší lokální tlaková napětí v místě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



Obr. 1: 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 .



Obr. 2: Nezesílený zděný sloup: deformace sloupu ve směru osy x

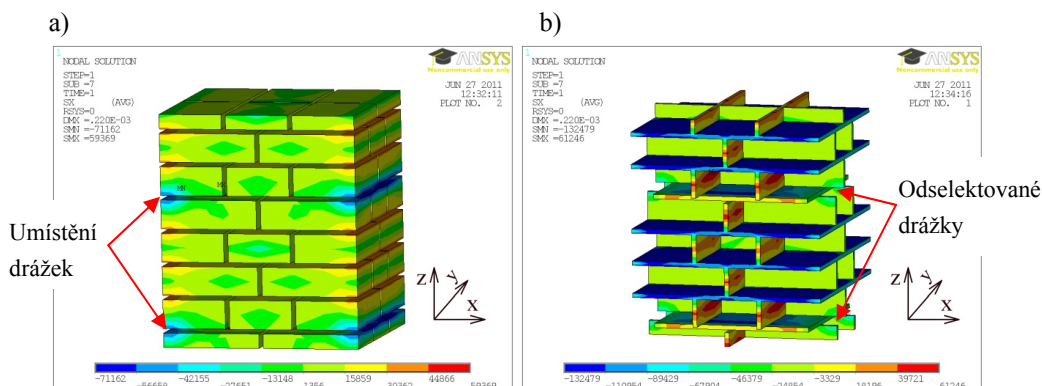
Na obr. 1 jsou znázorněna napětí nezesíleného zděného sloupu ve směru osy x , vlevo na obrázku je zobrazeno napětí v samotných cihlách a vpravo napětí v maltových spárách. Maximální tlaková a tahová napětí pro nezesílený sloup ve směru osy x a z jsou uvedeny v tab. 4. Jak je patrné z obr. 2, maximální deformace ve směru osy x se nachází na kraji sloupu o hodnotě $4,39 \times 10^{-6}$ m.

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	$4,39 \times 10^{-6}$
40,368	59,183			

3.2.2 Metoda zesílení pomocí technologie Helibeam

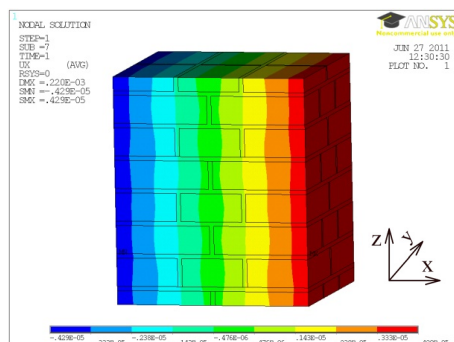
U metody zesílení pomocí technologie Helibeam se lokálně zvýšila tlaková napětí v cihlách ve směru osy x a to v oblasti umístění tyčové výztuže ve směru osy y . Toto lokální napětí dosahuje hodnoty cca 5,7 krát vyšší než je tlakové napětí v cihlách u nezesíleného zděného sloupu. Tahové napětí v cihlách ve směru osy x se zvýšilo cca o 47 %. Maximální tlakové napětí v cihlách ve směru osy z vychází přibližně totožné s nezesíleným sloupem.



Obr. 3: Metoda zesílení pomocí technologie Helibeam – rozteč výztuže $\bar{a}$ 300 mm:

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

Napětí v maltě, ať už se jedná o tlakové či tahové ve směru osy x a z , přibližně odpovídá průběhu napětí nezesíleného sloupu. Maximální celková deformace samotného zděného sloupu (viz obr. 4) vychází jen nepatrně menší než u nezesíleného zděného sloupu. V tab. 5 jsou uvedeny hodnoty pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam.



Obr. 4: Metoda zesílení pomocí technologie Helibeam – rozteč výztuže $\bar{a}$ 300 mm: deformace sloupu ve směru osy x

Tab. 5: Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam

$\sigma_{x,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{x,max,m}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,m}$ (kPa)	$u_{x,sloup}$ (m)
-71,162	-132,479	-1040	-1050	$0,429 \times 10^{-5}$
59,369	61,246			

3.2.3 Vyhodnocení zesílení zděného sloupu

Pro srovnání dané metody zesílení zděného sloupu o půdorysných rozměrech 440×440 mm a o výšce 3000 mm je vybráno jako jedno z možných kritérií posouzení tahové napětí v cihlách ve směru osy x . Při použití technologie Helibeam s roztečí výztuže $\bar{a}$ 300 mm dochází ke zvýšení tahového napětí v cihlách ve směru osy x cca o 47 %, při roztečí výztuže $\bar{a}$ 225 mm cca o 66 % a při roztečí výztuže $\bar{a}$ 375 mm cca o 76 % viz (Jašek, 2011a).

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 technologie Helibeam s roztečí výztuže $\bar{a}$ 300 mm dosahuje snížení jen cca o 2 %. Při realizaci zesílení s roztečí výztuže $\bar{a}$ 225 a 375 mm vychází deformace zděného sloupu obdobně jako u rozteče výztuže $\bar{a}$ 300 mm.

4 ZÁVĚR

Ze srovnání technologie Helibeam a nezesíleného zděného sloupu vyplývá, že metoda zesílení pomocí technologie Helibeam není vhodná pro dostředně tlačенý sloup z důvodu poměrně masivního zvýšení napětí v tahu v cihlách a maltě, která nejsou pro toto namáhání určena. Jak je patrné i z (Štěpánek, 2011). Technologie Helibeam se nachází své uplatnění zejména u stavebních konstrukcí, kde potřeba zvýšit tahovou únosnost stavebních konstrukcí. Výsledky výše prezentovaných výpočtů byly stanoveny na základě určitých zjednodušených předpokladů provedených v rámci modelu. Pro verifikaci těchto výsledků je nezbytné provést experimentální ověření na zkušebních vzorcích cihelných pilířů. Z hlediska finančního vychází metoda zesílení pomocí technologie Helibeam pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440×440 mm a o výšce 3000 mm na cca 16100 Kč bez DPH viz (Jašek, 2011a). Součástí této ceny jsou i přípravné stavební procesy prováděné před samotnou realizací zesílení (otlučení stávající omítky, vyškrábání spár ve zdivu, očištění povrchu atd.) a taktéž i stavební procesy dokončovací (provedení povrchové úpravy sloupu atd.).

LITERATURA

- [1] *Helifix : statické zajištění a opravy*, 2006. Verze 2. 2006.
- [2] JAŠEK, Marek. 2011a. *Posouzení nových materiálů a technologií pro zesilování zděných konstrukcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011. 187 s. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební.
- [3] JAŠEK, Marek. 2011b. Odezva zděného sloupu při zesílení cementovým kompozitem ECC. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava: řada stavební*. 2011, roč. 11, č. 2, s. 127-134. ISSN 1213-1962.
- [4] ŠTĚPÁNEK, Petr. 2001. Zpevňování zděných a betonových konstrukcí dodatečným vyztužováním. In: *Zpevňování a těsnění hornin a stavebních konstrukcí na počátku 21. století*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, s. 193-199. ISBN 978-80-7078-870-7.
- [5] ŠTĚPÁNEK, Petr a Martin ZLÁMAL. 20101 Zesilování zděných kleneb dodatečně vkládanou výztuží. *Stavební obzor*. 2011, roč. 20, 8/2011, s. 225-232. ISSN 1210-4027.
- [6] VOREL, Jan, Jan SÝKORA a Jan NOVÁK. 2007. Experimentální a numerická identifikace materiálových parametru zdiva. In: SÝKORA, Jan. *Engineering Mechanics 2007*. Praha: Ústav termomechaniky AV ČR, 2007, s. 267-268. ISBN 978-80-87012-06-2.
- [7] WILLAM, Kaspar J. a E. P. WARNKE. 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. Kolísko Jiří, Ph.D., Oddělení experimentálních a měřicích metod, Kloknerův ústav, České vysoké učení technické v Praze.

Prof. Ing. Jiří Witzany, DrSc., Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Michal KRAUS¹, Darja KUBEČKOVÁ SKULINOVÁ²

ANALÝZA ZÁVISLOSTI VZDUCHOTĚSNOSTI BUDOVY NA KONSTRUKČNÍM SYSTÉMU

ANALYSIS OF BUILDING AIRTIGHTNESS DEPENDING ON CONSTRUCTION SYSTEM

Abstrakt

Příspěvek se zabývá analýzou vzduchotěsnosti budov jednotlivých konstrukčních systémů. Pomocí statistického šetření analýzy rozptylu (ANOVA) je zkoumána závislost konstrukčního systému (lehká, masivní nebo kombinovaná konstrukce) na vzduchotěsnosti budovy. Výpočet analýzy rozptylu má přijmout či zamítnout hypotézu, zda volba konstrukčního systému má vliv na celkovou intenzitu výměny vzduchu n_{50} .

Klíčová slova

Vzduchotěsnost, Blower Door test, konstrukční systém, analýza rozptylu, ANOVA.

Abstract

The paper deals with analysis of building airtightness depending on construction system. The dependence airtightness of buildings on construction system (light, heavy and combined construction system) is examined using by analysis of variance (ANOVA). Analysis of variance has to accept or reject the hypothesis that the choice of construction system has an impact on the airtightness of buildings.

Keywords

Airtightness, Blower Door test, construction system, analysis of variance, ANOVA.

1 ÚVOD

Současné legislativní standardy vyžadují, aby výstavba byla co nejvíce energeticky efektivní. Jedním ze základních principů energeticky efektivních budov je dokonale vzduchotěsná obálka budov. Dokonale vzduchotěsná obálka budov je charakteristická absencí „větracích“ spár a netěsností obvodového pláště. Kvalita a profesionální přístup je nutný nejen u provádění samotné vzduchotěsné vrstvy, ale také již při jejím plánování a navrhování.

Cílem příspěvku je potvrdit, popř. vyloučit hypotézu, zda konstrukční systém budovy, za předpokladu kvalitního a precizního provedení, má statisticky významný vliv na vzduchotěsnost obálky budovy, tj. zda existuje statisticky průkazný rozdíl mezi jednotlivými konstrukčními systémy na vzduchotěsnosti budovy měřenou v jednotkách celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa.

Primární metodologií příspěvku je analýza rozptylu (ANOVA). Pomocí jedno-faktorové analýzy rozptylu (one - way ANOVA) je cílem prokázat existenci statistické závislosti

¹ Ing. Michal Kraus, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 916, e-mail: michal.kraus@vsb.cz.

² Prof. Ing. Darja Kubečková Skulinová, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 306, e-mail: darja.kubeckova.skulinova@vsb.cz.

vzduchotěsnosti obálky energeticky pasivních domů vzhledem k jednotlivým konstrukčním systémům. Analýza rozptylu slouží k hodnocení vlivu faktoru X na variabilitě hodnot sledované náhodné proměnné Y s normálním rozložením. [2]

2 VZDUCHOTĚSNOST OBÁLKY BUDOV

Kontrola vzduchotěsnosti obálky budovy by měla být nedílnou součástí každé současné výstavby, ať již bytové nebo občanské. Ke zjištění průvzdušnosti a netěsností v obvodovém plášti slouží měření metodou tlakového spádu, tzv. Blower Door Test.

Princip Blower Door Testu je velmi snadný. Do vhodného otvoru, ve většině případů vstupní dveře či okenní otvor, se osadí kalibrovaný ventilátor, který v objektu vytvoří potřebný podtlak, popř. přetlak. Kalibrovaný ventilátor připojen přes automatickou jednotku regulace výkonu k počítači automaticky provede a vyhodnotí měření. Výstupem měřicího softwaru je celková intenzita výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa.

ČSN 73 0540 – 2: Tepelná ochrana budov: Část 2 – požadavky stanovuje, že celková průvzdušnost budovy nebo její ucelené části se může ověřit pomocí celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} při tlakové rozdílu 50 Pa, v h^{-1} , stanovené experimentálně podle ČSN EN ISO 13829. Doporučuje se splnění podmínky:

$$n_{50} \leq n_{50,N} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (1)$$

kde:

n_{50} – je celková intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa $[\text{h}^{-1}]$,

$n_{50,N}$ – je doporučená celková intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa $[\text{h}^{-1}]$.



Obr. 1: Měření průvzdušnosti pasivního domu v Novém Hrozenkově metodou Blower Door Test

Tab. 1: Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} [3]

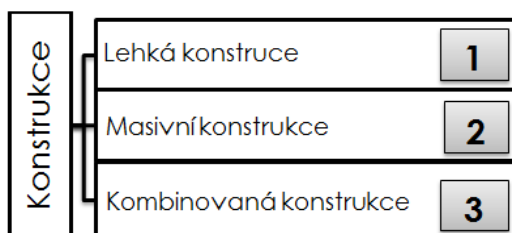
Větrání v budově	$n_{50,N} [h^{-1}]$
Přirozené nebo kombinované	4,5
Nucené	1,5
Nucení se zpětným získáváním tepla	1,0
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,6

Pro pasivní domy platí, že celková intenzita výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa nemá u pasivních domů překročit $0,6 h^{-1}$. To znamená, že při tlakovém rozdílu 50 Pa se za hodinu vymění maximálně 60 % celého objemu vzduchu objektu.

3 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY ENERGETICKY PASIVNÍCH BUDOV

Jak bylo zmíněno již v předcházející kapitole, pro pasivní domy jsou vhodné stavení materiály a konstrukční systémy, které jsou schopny vytvořit účinnou těsnicí vrstvu. ČSN 730 540-2: Tepelná ochrana budov: Část 2 – Požadavky rozlišuje jednoduchým způsobem konstrukce, dle jejich tepelné setrvačnosti. Obecně lze rozdělit konstrukce na masivní (těžké) a lehké. Za lehké konstrukce, tj. konstrukce s nízkou tepelnou setrvačností, se považují takové konstrukce, které mají plošnou hmotnost (od vnitřního líce k rozhodující tepelně izolační vrstvě) nižší než $100 kg/m^2$. Ostatní konstrukce jsou považovány za těžké, tj. za konstrukce s vysokou tepelnou setrvačností. [3]

V případě, že na objektu jsou použity oba typy výše definovaného konstrukčního systému, lze konstrukci budovy označit jako kombinovanou. Volba konstrukčního systému bývá značně ovlivněna náklady na stavbu a požadovanými vlastnostmi dané konstrukce.



Obr. 2: Rozdělení konstrukčních systémů objektu

3.1 Lehká konstrukce

Charakteristickým zástupcem lehkých konstrukcí jsou dřevostavby. Dřevostavby jsou po omítnutí k nerozeznání od běžných masivních domů. U dřevostaveb je tepelná izolace vkládána mezi nosnou dřevěnou konstrukci stavby, čímž se snižuje tloušťka stěny. Další výhodou dřevostavby je rychlost výstavby, menší náročnost a suchá výstavba.

Vzduchotěsnost u dřevostaveb je zabezpečena pomocí konstrukčních desek na bázi dřeva nebo parozábrany. Desky na bázi dřeva se používají častěji. Nejčastěji jsou používány dřevostěpkové desky OSB a dřevovláknité tvrdé desky MDF. Nejvhodnější jsou desky na pero a drážku, jejichž spoj se vyplní trvale pružným tmelem a přelepí páskami. Výhoda oproti parozábraně je v tom, že se dům současně zavětruje, čímž vzniká velice tuhá kompozitní stavba. Nevýhodou fólií je také jejich menší odolnost proti propíchnutí nebo proříznutí. Vzduchotěsnicí vrstva se umísťuje na vnitřní straně konstrukce za instalační mezerou, v případě jednovrstvé skladby na vnitřní straně stěn. Instalační mezera o malé tloušťce (asi 50 mm) má hned několik výhod – zmenšuje počet prostupů vedení vzduchotěsnicí vrstvou (elektřina, voda, atd.), při provádění instalací se snižuje nebezpečí poškození dokončené vzduchotěsnicí vrstvy. [4]

3.2 Masivní konstrukce

V současné době má masivní (těžká) konstrukce na trhu novostaveb stále největší podíl. Masivní konstrukcí se označuje konstrukce, která má plošnou hmotnost vyšší než 100 kg/m^2 . Ve většině případů se jedná o klasický zdící systém. Vhodné jsou především materiály s velkou objemovou hmotností a pevností, které zajistí statickou únosnost již při malých tloušťkách vrstvy, na které jsou pak aplikovány tepelně-izolační materiály s nízkými hodnotami součinitele tepelné vodivosti λ [$\text{W}/(\text{m.K})$].

Na trhu existuje nepřeberné množství materiálů, ze kterých lze postavit masivní konstrukci pasivního domu, např. vápenopískové bloky, betonové nebo plynosilikátové tvárnice a systémy ztraceného bednění.

U masivních konstrukcí plní funkci vzduchotěsnící vrstvy vnitřní omítka bez prasklin, která musí být provedena spojitě na všech obvodových stěnách. Dosáhnout dostatečné vzduchotěsnosti pouze použitím malty je velmi obtížné a pracné a téměř vždy se vyskytují nežádoucí spáry. Samotná zděná stavba má totiž značnou průdušnost přes mezery v maltě. Omítnuté musí být i stropy, nebo v případě monolitických stropů vzduchotěsně napojené na obvodové zdi. Je ovšem důležité zajistit dokonale utěsnění vedení instalací, jejich výustek a dalších prostupů jako kotvící prvky a jiné. V případě viditelné vnitřní zděné konstrukce bez omítky je vzduchotěsnou vrstvu nutno umístit mezi interiérové zdivo a další vrstvu. [4]

3.3 Kombinovaná konstrukce

Kombinovaná konstrukce kombinuje oba předcházející systémy. Při návrhu objektu je možno využít například lehkou dřevěnou konstrukci v kombinaci se zděnou masivní konstrukcí.

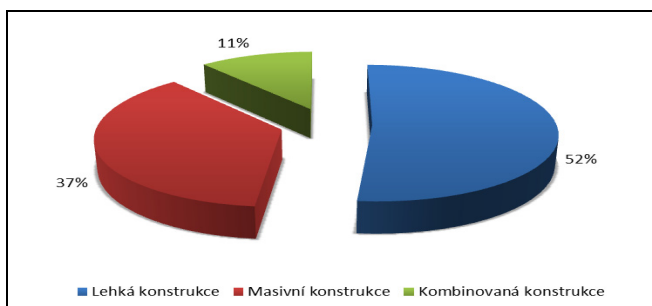
4 VÝBĚROVÝ SOUBOR

Hlavní vstupní data výběrového souboru jsou převzata z Centra pasivního domu, které spravuje databázi pasivních domů v České republice [4] a z Inštitútu pre energeticky pasívne domy [5], který spravuje databázi pasivních domů na Slovensku. Datový soubor obsahuje 62 prvků – vybraných referenčních pasivních domů, u kterých jsou sledovány proměnné typu konstrukčního systému a celková intenzita výměny vzduchu n_{50} .

Údaje o konstrukčním systému jsou proměnnou nominální, tj. prvek nabývá rovnocenných variant, které nelze porovnat ani seřadit. V našem případě jsou jednotlivé typy konstrukce označeny – č. 1 lehká konstrukce, č. 2 masivní konstrukce a č. 3 kombinovaná konstrukce.

Naopak celková intenzita výměny vzduchu n_{50} je proměnnou kvantitativní spojitou, tj. prvek nabývá libovolné hodnoty z oboru reálných čísel nebo z nějaké množiny oboru reálných čísel. V rámci práce jsou vstupními daty statistického šetření označení typu konstrukce a naměřená celková intenzita výměny vnitřního vzduchu n_{50} pro vybrané referenční pasivní domy.

Na obrázku 3 je znázorněno procentuální zastoupení jednotlivých typů konstrukce ve výběrovém souboru.



Obr. 3: Zastoupení jednotlivých typů konstrukce

5 ANALÝZA ROZPTYLU

Při statistickém šetření hypotéz pomocí analýzy rozptylu (Analysis of Variance, ANOVA) zjišťujeme závislosti spojitě proměnné Y na proměnné kategoriální X . Veličina X se v analýze rozptylu nazývá faktorem. V případě našeho statistického šetření zkoumáme závislost proměnné Y pouze na jednom faktoru X a tedy v našem případě můžeme statistické šetření označit jako jedno-faktorová analýza rozptylu, popř. One - Way ANOVA. Za faktor X je v našem případě považován typ konstrukčního systému objektu pasivního domu a za proměnnou Y je považována naměřená hodnota n_{50} . [6]

„Ve 30. letech 20. století vytvořil R. A. Fisher metodu ANOVA. Na hladině významnosti α testujeme nulovou hypotézu, která tvrdí, že všechny střední hodnoty jsou stejné proti alternativní hypotéze, která tvrdí, že aspoň jedna dvojice středních hodnot se liší. Jedná se tedy o zobecnění dvou-výběrového t-testu. Pokud na hladině významnosti α zamítneme nulovou hypotézu, zajímá nás, které dvojice středních hodnot se od sebe liší. K řešení tohoto problému slouží metody mnohonásobného porovnávání, např. Schéffého nebo Tukeyova metoda.“ [7]

V praxi je ANOVA použitelná za předpokladu splnění dvou základních podmínek. Prvním předpokladem je normalita proměnné Y , kterou lze ověřit např. Kolmogorovovým testem pro jeden výběr. Druhým předpokladem je tzv. homoskedasticita, tj. shoda rozptylů proměnné Y . Shodu rozptylů lze ověřit např. Barlettovým testem.

Statistické šetření analýzy rozptylu a pomocné výpočty jsou provedeny v statistickém softwaru SPSS STATISTICS ver. 19 a následně verifikovány ručním výpočtem. Postup při výpočtu analýzy rozptylu (ANOVA) lze charakterizovat následujícími body:

1. sestavení datové matice z kategoriálních proměnných X (označení typu konstrukčního systému) a kvantitativní spojitě proměnné Y (naměřená hodnota n_{50}),
2. stanovení hypotézy H_0 a alternativní hypotézy H_A a hladiny významnosti α ,
3. ověření normálního rozložení proměnné Y pomocí Kolmogorovova – Smirnovova testu, popř. grafického znázornění histogramu a box plotu,
4. ověření homoskedasticity (stejnorozptylovost) pomocí Barlettova testu,
5. provedení samotného výpočtu jedno-faktorové ANOVY,
6. identifikace významné odchylky populace pomocí analýzy Post Hoc,
7. interpretace výsledků a vyvození závěrů.

5.1 Ověření normality výběru

Základním předpokladem pro provedení Analýzy rozptylu je předpoklad normálního rozdělení proměnných Y . Normální rozdělení lze ověřit např. pomocí Kolmogorovova – Smirnovova testu pro jeden výběr.

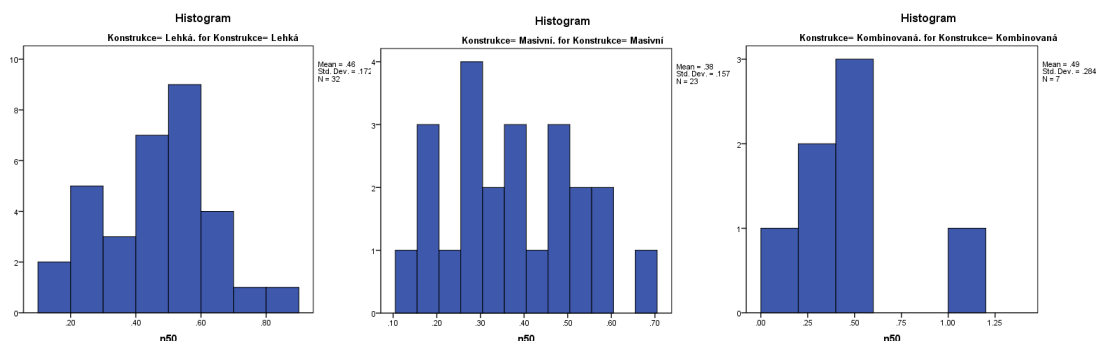
Kolmogorovův-Smirnovův test slouží k potvrzení hypotézy H_0 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (5%), zda náhodný výběr rozsahu prvků n pochází ze základního souboru s normálním rozdělením s distribuční funkcí $F(x)$. Stanovíme nulovou a alternativní hypotézu:

- H_0 : výběr pochází ze základního souboru s normálním rozdělením,
- H_A : výběr nepochází ze základního souboru s normálním rozdělením.

Analýza normality je jedním ze dvou předpokladů pro aplikaci analýzy rozptylu. Je tedy žádoucí, aby hypotéza H_0 byla potvrzena, tzn., aby bylo potvrzeno, že výběr pochází ze základního souboru s normálním rozdělením. V našem případě p – value (Sig.) (viz Tab. 2) je pro každý výběr větší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$ a hypotézu H_0 nelze vyvrátit.

Tab. 2: Test of normality [10]

Konstrukce	Kolmogorov - Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
n_{50} Lehká	.134	32	.157	.963	32	.332
Masivní	.121	23	.200	.965	23	.567
Kombinovaná	.210	7	.200	.960	7	.730



Obr. 4: Histogram pro lehkou, masivní a kombinovanou konstrukci [10]

5.2 Ověření normality výběru

Druhým předpokladem pro výpočet ANOVY je homoskedasticita. Homoskedasticita znamená, že hodnoty závisle proměnné Y mají pro všechny hodnoty nezávisle proměnné X . Předpoklad homoskedasticity se dá chápat jako shodnost rozptylů jednotlivých výběrů a dá se ověřit například pomocí Barlettova testu. [9]

Před samotným ověřením homoskedasticity je nejprve nutné stanovit hypotézy a hladinu významnosti α . Nejčastěji volíme 5% hladinu významnosti, tedy $\alpha = 0,05$. Nulová hypotéza H_0 potvrzuje shodnost rozptylů u jednotlivých výběrů při hladině významnosti α a alternativní hypotézu H_A , že zamítáme shodnost rozptylů u jednotlivých výběrů při hladině významnosti α .

Statistický výpočetní software IBM SPSS Statistics umožňuje vypočítat test homogenity pomocí Barlettova testu přímo v průběhu výpočtu analýzy rozptylu. Tabulka 3 zobrazuje výstup testu homogenity.

Tab. 3: Test of homogeneity of Variances [10]

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.558	2	59	.219

Hodnota Sig. (p-value) 0,219 je v našem případě větší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$ čímž tedy hypotézu H_0 nezamítáme. Shoda rozptylů, tzv. homoskedasticita je pro datový soubor potvrzena.

5.3 Teoretická východiska výpočtu analýzy rozptylu

Analýza rozptylu testuje rozdíl mezi průměry několika skupin. Testování středních hodnot se převede na testování shody 2 rozptylů pomocí F – testu. Celkový rozptyl (variabilitu) sledované proměnné můžeme rozdělit na dvě složky – rozptyl uvnitř skupin a rozptyl mezi skupinami. [9]

Celkovou variabilitu znaku Y vyjádříme výběrovým rozptylem:

$$s^2 = \frac{\sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{y})^2}{n-1} \quad (2)$$

V souvislosti s analýzou rozptylu se budeme zabývat pouze čitatelem zlomku vyjadřující výběrový rozptyl, tedy součtem čtverců odchylek zjištěných hodnot y_{ij} od celkového průměru $\bar{y}$, přičemž průměr vypočítáme podle známého vztahu – součtem všech hodnot a podílem jejich počtu:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} \quad (3)$$

Celkový součet čtverců budeme označovat symbolem S_y a lze jej vyjádřit vzorcem:

$$S_y = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (4)$$

Celkovému součtu čtverců přísluší počet stupňů volnosti:

$$df_y = n - 1 \quad (5)$$

Variabilitu mezi skupinami vyjádříme meziskupinovým součtem čtverců $S_{y,m}$:

$$S_{y,m} = \sum_{j=1}^k n_i \cdot (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (6)$$

Meziskupinovému součtu čtverců přísluší počet stupňů volnosti:

$$df_m = k - 1 \quad (7)$$

Variabilitu uvnitř skupin označujeme jako vnitroskupinovou, nebo také reziduální $S_{y,v}$:

$$S_{y,v} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (8)$$

Vnitroskupinovmu součtu čtverců přísluší počet stupňů volnosti:

$$df_v = n - k \quad (9)$$

Aritmetickými úpravami výše uvedených vzorců lze snadno dokázat základní vztah analýzy rozptylu, totiž, že celkový součet čtverců je roven sumě meziskupinového a vnitroskupinového součtu čtverců:

$$S_y = S_{y,m} + S_{y,v} \quad (10)$$

Pro ověření nulové hypotézy H_0 použijeme statistiku:

$$F = \frac{\frac{S_{y,m}}{k-1}}{\frac{S_{y,v}}{n-k}} = \frac{\frac{df_m}{df_v}}{\frac{df_v}{df_v}} \quad (11)$$

Statistika F má při platnosti nulové hypotézy Fisherovo rozdělení F (k-1,n-k). Kritické hodnoty Fisherova rozdělení $F_\alpha(df_1, df_2)$ jsou tabelovány pro různé hladiny významnosti α a různé hodnoty parametrů df_1 a df_2 . Pro výpočet kritických hodnot lze využít tabulkového procesu Excelu z dílny Microsoftu (funkce FINV). [9]

5.4 Výpočet jedno-faktorové analýzy rozptylu pomocí SPSS

Před samotnou analýzou rozptylu pomocí SPSS je opět nutné definovat nulovou a alternativní hypotézu. Hladina významnosti zůstává stejná jako v případě posouzení homoskedasticity 5%, tedy $\alpha = 0,05$.

Stanovení nulové a alternativní hypotézy:

- H_0 : Lze předpokládat, že při stanové hladině významnosti neexistuje závislost Y na X,
- H_A : Lze předpokládat, že při stanové hladině významnosti existuje závislost Y na X.

Tab. 4: Jedno-faktorová analýza rozptylu [10]

Levene Statistic	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.125	2	.062	1.889	.160
Within Groups	1.944	59	.033		
Total	2.068	61			

Z tabulky ANOVA IBM SPSS Statistics je nejdůležitější hodnota Sig., která reprezentuje p-value. Tato hodnota se porovnává s hladinou významnosti α . Jestliže je p-value menší než hladina významnosti α , lze hypotézu H_0 zamítnout. V našem případě hodnota Sig. (p-value) 0,160 je větší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$, hypotézu H_0 tedy potvrzujeme.

5.6 Manuální verifikace jedno-faktorové analýzy rozptylu

Pro ověření výstupů ze statistického softwaru IBM SPSS STATISTICS ver. 19 provedeme výpočet jedno faktorové analýzy rozptylu bez použití statistického softwaru, pouze za použití kalkulátoru a statistických tabulek.

Cílem zjistit závislost znaku Y (vzduchotěsnost obálky budovy) na jediném znaku (typ konstrukčního systému budovy). Faktor X nabývá třech hodnot x_i s počty hodnot n_i v každé z nich:

- x_1 = Lehká konstrukce $n_1 = 32$
- x_2 = Masivní konstrukce $n_2 = 23$
- x_3 = Kombinovaná konstrukce $n_3 = 7$

Nejprve vypočteme průměry jednotlivých skupin a celkový průměr znaku Y:

$$\bar{y}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{32} y_{1j}}{n_1} = \frac{14,81}{32} = 0,4628 \quad (12)$$

$$\bar{y}_2 = \frac{\sum_{j=1}^{23} y_{2j}}{n_2} = \frac{8,68}{23} = 0,3774 \quad (13)$$

$$\bar{y}_3 = \frac{\sum_{j=1}^7 y_{3j}}{n_3} = \frac{3,45}{7} = 0,4929 \quad (14)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^{62} y_{ij}}{n} = \frac{26,94}{62} = 0,4345 \quad (15)$$

Dále vyjádříme celkový součet čtverců S_y a meziskupinový součet čtverců $S_{y,m}$:

$$S_y = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2 = 2,0683 \quad (16)$$

$$S_{y,m} = \sum_{j=1}^k n_i \cdot (y_{ij} - \bar{y})^2 = 0,1245 \quad (17)$$

Na závěr vyjádříme hodnotu testovacího kritéria:

$$F = \frac{\frac{S_{y,m}}{k-1}}{\frac{S_{y,v}}{n-k}} = \frac{\frac{S_{y,m}}{df_m}}{\frac{S_{y,v}}{df_v}} = \frac{\frac{0,1245}{3-1}}{\frac{2,0683-0,1245}{62-3}} = \frac{0,0623}{0,0330} = 1,8892 \quad (18)$$

Kritická hodnota $F_{0,05} = 3,1531$ je mnohem větší než hodnota testového kritéria $F = 1,8892$. Proto nulovou hypotézu nezamítáme a konstatujeme, že faktor konstrukčního typu budovy nemá statisticky významný vliv na hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} .

6 ZÁVĚR

Statickým šetřením datového souboru obsahující 62 energeticky pasivních domů jsme statisticky zkoumali závislosti vzduchotěsnosti obálky budovy na konstrukčním systému. Lehké konstrukce, představující převážně dřevostavby, jsou v datovém souboru zastoupeny z 52 %. Masivní konstrukce, především zděné objekty, představují 37 % datového souboru. A kombinovaná konstrukce, která není příliš častá, představuje 11 %.

Z prvků datového souboru 8 % nesplňuje požadavky pasivního domu dle ČSN 730540 – 2 Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky, neboť překračuje normovou hodnotu celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N} = 0,6 \text{ h}^{-1}$.

Pomocí popisné statistiky jsme zjistili, že průměrná hodnota celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} je $0,4345 \text{ h}^{-1}$. Nejnížší průměrné hodnoty dosahují pasivní domy s masivní konstrukcí n_{50} (0,3774) a naopak nejvyšší průměrné hodnoty n_{50} (0,4929) dosahují domy s kombinovanou konstrukcí. Z posouzení průměrů lze stanovit, že nejlepších, tedy nejnížších hodnot celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} dosahují pasivní domy s masivní konstrukcí a nejvyšší hodnoty dosahují objekty s kombinovanou konstrukcí. Je možné předpokládat závislost vzduchotěsnosti obálky budovy představovanou měřitelnou veličinou n_{50} .

Posouzení aritmetických průměrů ovšem není statisticky vhodné k ověření závislosti. Pro posouzení vzájemné závislosti spojitě proměnné Y – celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} a kategoriální proměnné X – typ konstrukčního systému pasivního domu je vhodná statistická metoda analýza rozptylu (ANOVA).

Pomocí provedené analýzy rozptylu jsme nezamítli hypotézu, že faktor X , typ konstrukčního systému, je neúčinný, neboli že vzduchotěsnost měřená veličinou celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa není statisticky významně ovlivněna typem konstrukčního systému.

Statistickým šetřením analýzy rozptylu lze vydedukovat, že vzduchotěsnost obálky pasivních domů není závislá na volbě konstrukčního systému budovy, ačkoli se nám závislost při porovnání aritmetických průměrů může zdát jako reálná.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění MŠMT, podporou specifického vysokoškolského výzkumu – Studentské grantové soutěže VŠB-TU Ostrava pod identifikačním číslem SP2012/31 – Diagnostika vzduchotěsnosti budov s využitím statistických metod řízení kvality.

LITERATURA

- [1] KRAUS, Michal. *Analýza závislosti vzduchotěsnosti budovy na variabilitě konstrukčního systému*. Ostrava, 2011. 28 s. Semestrální práce. VŠB - TUO.
- [2] PAN, Wei. *Relationships between air-tightness and its influencing factors of post-2006 new-build dwellings in the UK*. *Building and Environment*. 2010, roč. 45, č. 11, s. 2387-2399. ISSN 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.04.011. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132310001186>.
- [3] ČSN 73 0540-2 : *Teplná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 36 s.
- [4] *Pasivní domy* [online]. 2006 [cit. 2011-10-08]. Dostupné z WWW: <http://www.pasivnidomy.cz/>.
- [5] *Inštitút pre energeticky pasívne domy* [online]. 2011 [cit. 2011-10-08]. Dostupné z WWW: <http://www.iepd.sk/>.
- [6] BRIŠ, Radim. *Statistické metody v inženýrské praxi* [online]. 2011 [cit. 2011-10-12]. Exploratorní analýza proměnných. Dostupné z WWW: <http://is457.vsb.cz/bris/>.
- [7] *Statistika II: distanční studijní opora* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2006 [cit. 2011-10-09]. Analýza rozptylu jednoduchého třídění. Dostupné z WWW: http://econ.munycz.cz/data/PMSTII/PMSTII_dso.pdf.
- [8] HARTUNG, Joachim, Dogan ARGAC a Kephher H. MAKAMBI. Small sample properties of tests on homogeneity in one way Anova and Meta analysis. *Statistical Papers*. 2002, roč. 43, č. 2, s. 197-235. ISSN 0932-5026. DOI: 10.1007/s00362-002-0097-8. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00362-002-0097-8>.
- [9] RAMÍK, Jaroslav. *Statistika: Pro navazující magisterské studium* [online]. Karviná: Slezská univerzita v Opavě, 2007 [cit. 2011-10-11]. Analýza rozptylu (ANOVA). Dostupné z WWW: <http://polodriver.uvadi.cz/files/Statistika/Statistika.pdf>.
- [10] IBM SPSS Statistics ver. 19.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Pavol Ďurica, CSc., Katedra pozemného staviteľstva a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Prof. Ing. Dušan Katunský, PhD., Katedra architektúry a konštrukcií budov, Technická univerzita v Košiciach.

Pavel ORAVEC¹, Michal HAMALA², Radoslav ŘÍHA³

PROBLEMATIKA PROKRESLOVÁNÍ HMOŽDINEK NA VNĚJŠÍ POVRCH ETICS

**THE PROBLEM WITH DOWELS THAT ARE VISIBLE ON THE OUTER SURFACE
OF THE FACADE IN ETICS**

Abstrakt

Článek je zaměřen na posouzení problematiky nežádoucího vzniku skvrn na vnějším povrchu kontaktního zateplovacího systému (ETICS) za určitých povětrnostních podmínek. V příspěvku je řešen případ, vyskytující se na reálné novostavbě. V první fázi byl vyhodnocen stávající stav a důsledky, v rámci kterých se tato vada vyskytuje. Druhá fáze popisuje návrh a možnosti sanace problému prokreslování hmoždinek na povrchu zateplovacího systému.

Klíčová slova

ETICS, hmoždinka, model teplotních a vlhkostních polí, vady.

Abstract

The article is focused on assessing the problem of unwanted stain on the outer surface of thermal insulation composite systems (ETICS) under certain weather conditions. The paper is dealing with cases occurring in the real new building. In the first stage of evaluating the current situation and its consequences, in which this defect occurs. In the second stage we solve design and fault repair failure of the insulation.

Keywords

Insulation, dowel, model, temperature, humidity, field, failures.

1 ÚVOD

Na mnoha zateplených fasádách velkou tloušťkou izolantu se často objevují skvrny v oblasti hmoždinek po jasných chladných nocích, kdy se vytváří vlivem výměny tepla sáláním s oblohou námraza, která na hmoždinkách není, protože ty tvoří tepelný most. Tyto skvrny mají sice dočasný charakter, nicméně jsou z estetického hlediska často investorem neakceptovatelné. Požadavek vlastníka domu na technické řešení vedoucí ke spolehlivému odstranění problému byl důvod námi řešeného případu.

U vnějších kontaktních zateplovacích systémů (ETICS) se v poslední době setkáváme s problematickými místy v oblasti kotvicích hmoždinek, a to ze tří příčin: [1]

¹ Ing. Pavel Oravec, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 912, e-mail: pavel.oravec@vsb.cz.

² Ing. Michal Hamala, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 914, e-mail: michal.hamala@vsb.cz.

³ Ing. Radoslav Říha, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 914, e-mail: radoslav.riha@vsb.cz.

- 1) ustálený teplotní stav – kvantifikace bodových tepelných mostů hmoždinkami;
- 2) neustálený teplotní stav – ozřejmění prokreslování hmoždinek na povrch fasády a způsob jeho zabránění;
- 3) termoprecipitace.



Obr. 1: Skvrny na zateplovacím systému I



Obr. 2: Skvrny na zateplovacím systému II

1.1 Ustálený teplotní stav

Každá hmoždinka prostupuje skrze tepelný izolant, čímž vytváří tepelný most. Význam tohoto tepelného mostu stoupá ze tří důvodů.

1. Vlivem změny normy na zatížení větrem je nutné navrhovat více hmoždinek, v důsledku čehož se zvyšuje množství tepelných mostů.
2. Další důvod představuje skutečnost, že se používají větší tloušťky tepelných izolantů, a tudíž se používají pro kotvení hmoždinky s kovovým rozpěrným trnem.
3. Třetím důvodem pak je, že bodové tepelné mosty hmoždinkami jsou minimálně závislé na tloušťce tepelného izolantu, a proto tam, kde u slabších tepelných izolantů tvořily tepelné mosty hmoždinkami procentuálně malé zhoršení tepelně izolačních vlastností, u větších tloušťek tepelného izolantu je toto procento výrazně větší.

Intenzita tepelného toku v místě hmoždinky je dána nejen jejím typem a tloušťkou tepelného izolantu, ale také hloubkou ukotvení do podkladu a samozřejmě i konstrukcí, do níž je hmoždinka kotvena.

1.2 Neustálený teplotní stav

Problematika prokreslování hmoždinek na vnější povrch omítky (hovorově nazýváno jako dalmatinový efekt) je stav, kdy se za určitých tepelně vlhkostních předpokladů projeví na fasádě zřetelně místo jejich ukotvení (obr. 1, obr. 2). Tento stav je zpočátku pouze dočasný, ale může se stát i trvalým, neboť v místě kondenzace hrozí riziko zvýšeného růstu plísní, či se zde může zachytávat prach. Správně zabudovaná hmoždinka je mírně vmáčknutá do tepelného izolantu tak, aby talíř hmoždinky s tepelným izolantem lícovál. I toto osazení způsobuje, že v místě hmoždinky je pod omítkou hmota o větší tepelně akumulaci schopnosti než v okolí. Při aplikaci kotev na stavbě velmi často dochází k tomu, že hmoždinka není přesně zalícována s tepelným izolantem, ale je zapuštěna mírně pod povrch a zbývající část je pak přestěrkována lepidlem. Zde je důsledkem větší tepelný most i větší tepelně akumulaci schopnost v místě hmoždinky.

Z dokumentu [1] vyplývá, že překrytí talíře hmoždinky tepelným izolantem způsobuje, že vliv hmoždinky na rozdílnou povrchovou teplotu vyvolanou změnou teploty exteriéru není prakticky žádný, a tudíž překrývání hmoždinek vede k zabránění tzv. dalmatinového efektu.

1.3 Termoprecipitace [7]

Prostor kolem nás tvoří plynné disperzní prostředí tvořené vzduchem s podílem kapalných a pevných fází, organického a anorganického původu. Tato směs plynných, kapalných a pevných fází

se nazývá **aerosol**. Protože nemá v prostoru kolem nás vše stejnou teplotu, musíme na základě termodynamické rovnováhy počítat se vznikem teplotního gradientu, který zpravidla způsobí pohyb celého aerosolu. **Termodifúze** je prostup tepla přes pórovitou hmotu (v našem případě stavební materiál konstrukce) a **termoforéza** závisí jen na rozdílu teplot.

Na teplejším místě získávají částice aerosolu více tepla a molekuly vzduchu větší kinetickou energii. Molekuly vzduchu více narážejí na částice v aerosolu a tak je posunují do chladnějšího místa. Pokud je chladnějším místem povrch nějakého tělesa, částice mu při nárazu na něj mohou své teplo a energii předat a pak zde dojde k jejich usazení. Tento děj se odehrává od teplotních rozdílů v řádech desetin stupně a nazývá se **TERMOPRECIPITACE**.

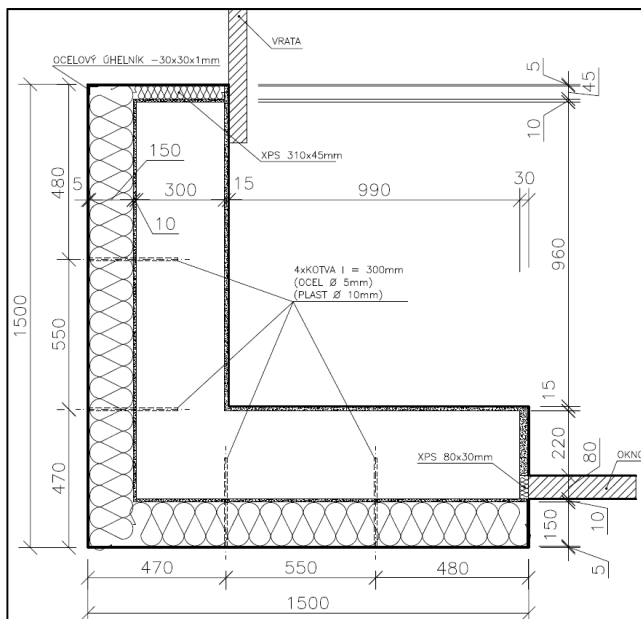
Důsledkem termoprecipitace jsou např. prachové mapy nad otopnými tělesy u stěn, ale také **prokreslení spár, kotev** nebo nosné konstrukce (systémových tepelných mostů) **na vnitřní i vnější straně** zejména **obvodových stěn**. Z výše popsaných fyzikálních principů vyplývá, že minimalizováním (vyloučením) rozdílných teplot na fasádě (v našem případě zabráněním vzniku bodových tepelných mostů) můžeme snížit popř. vyloučit výskyt skvrn na fasádě. Tato problematika je popsána v kapitole 3. Tohoto příspěvku.

2 SKLADBA STĚNY

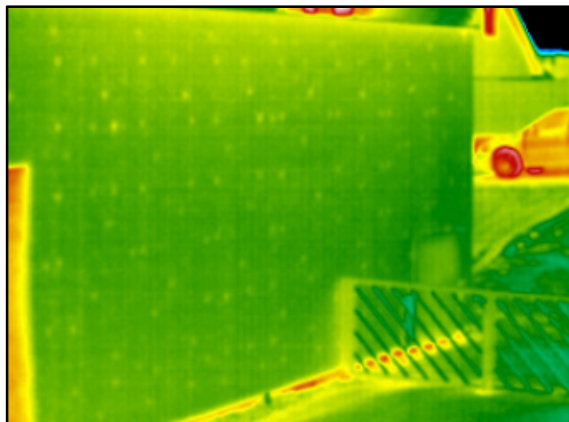
Na základě projektové dokumentace a dodaných podkladů byla zjištěna následující skladba stěny, (řazeno od interiéru) [2]:

- Omítka Porotherm 15 mm
- Tvárnice Porotherm 30 P+D
- Zateplení Bautherm EPS 70F tl. 150 mm, $\lambda = 0,037$
- Lepicí stěrka Ritmospachtel + armovací tkanina 3 mm $\mu = 37$
- Omítka Knauf Silikonharzputz 2mm $\mu = 37$

Vnější kontaktní zateplovací systém ETICS je lepený a mechanicky kotvený. Kotvení bylo provedeno hmoždinkami WKŘET-MET-LTXØ10 mm viz Obr. 5.



Obr. 3: Nákras koutu (původní stav)



Obr. 4: Termovizní snímek fasády



Obr. 5: Použité hmoždinky WKRET-MET-LTXØ10mm

3 NÁVRH OPATŘENÍ VEDOUČÍ K ODSTRANĚNÍ PROBLÉMU

Na základě konzultace s projektantem a dalšími odborníky a za využití dat zjištěných termografickým měřením a modelováním tepelných a vlhkostních polí byly definovány následující možnosti stavebních úprav vedoucích k řešení problému.

3.1 Demontáž stávajícího ETICS a nahrazení novým s eliminací tepelných mostů

Tato radikální varianta počítá s mechanickým odstraněním stávajících vrstev ETICS, tj. polystyrenu Bautherm EPS 70F tl. 150 mm včetně lepicí stěrky Ritmospachtel a armovací tkaniny, na nichž je nanесena finální omítka Knauf Silikonharzputz včetně příslušenství (rohovníky, ukončovací lišty, parapety atp.).

Kritické předpoklady demontáže:

1. Možné poškození tvárnic nosného obvodového pláště z tvárnic Porotherm 30 P+D při odstraňování (vytrhávání) kotev a při odstraňování (vytrhávání) kotvicích prvků základací lišty.
2. Jisté poškození oplechování atiky.
3. Možné poškození povrchové úpravy výplní otvorů (dveří, vrat) při odstraňování izolantu.
4. Vytvoření velkého množství odpadu.

Po odstranění původních vrstev by bylo vytvořeno nové souvrství za použití certifikovaných materiálů kvalitativní třídy A. Použití stejných typů materiálů je možné (kromě hmoždinek). Doporučuje se použít takový typ hmoždinek, který redukuje tepelný most. Například zápuštná hmoždinka s krytkou nebo „zavrtávací“ křídlová hmoždinka od Hilti.

3.2 Odstranění původních hmoždinek a nahrazení jiným typem s redukováným tepelným mostem

Tato varianta počítá s mechanickým odstraněním stávajících hmoždinek. Postup by spočíval v termografickém zaměření a následném zaznačení kotev na fasádě, odvrtání povrchové úpravy a následným vytržením hmoždinky z podkladu.

Pro mechanické kotvení ETICS budou použity nové hmoždinky takového typu, který redukuje tepelný most. Například zápustná hmoždinka s krytkou, nebo „zavrtávací“ křídlová hmoždinka od Hilti. Umístění nových hmoždinek je uvažováno do původních otvorů, nebo do nově vyvrtaných kotevních míst v případě, že původní místo je vlivem demontáže nadměrně deformováno. V případě deformace izolantu bude zapotřebí pečlivě vyřezat okolí deformovaného izolantu (např. rozměr 100 x 100 mm) a vložit do takto vzniklého otvoru izolant stejného typu.

Nakonec bude nutné zhotovit novou finální vrstvu zateplovacího systému v celé ploše (lepící stěrka + armovací tkanina + finální omítkovina).

Kritické předpoklady:

1. Možné poškození tvárnic nosného obvodového pláště z tvárnic Porotherm 30 P+D při odstraňování (vytrhávání) kotev.
2. Jisté poškození izolantu (deformace v okolí původních hmoždinek).
3. Riziko opomenutí některé kotvy v ploše.

3.3 Přídavná akumulární vrstva omítky

Tato varianta vznikla na základě telefonické konzultace problému s autorem publikace [1] Ing. Romanem Šubrtem. Spočívá v nanesení (akumulační) vrstvy omítky v tl. 15 mm na stávající souvrství. Tato akumulární vrstva má zajistit eliminaci tepelného mostu vzniklého stávajícími hmoždinkami.

Kritické předpoklady:

1. Nanášení jiných než tenkovrstvých omítek na vnější povrch již hotového systému ETICS je ve stavební praxi záležitost ojedinělá a nevyzkoušená.

3.4 Přídavná vrstva tepelného izolantu

Řešení spočívá ve zhotovení další vrstvy ETICS na již stávající souvrství. Takto sestavený systém již nebude mechanicky kotven, pouze přilepen PUR Pěnou. Výhodou je možnost pečlivějšího provedení zateplení kritických detailů ostění s využitím principů uvedených v [4]. Kvalitu stavebních prací je možno dodatečně ověřit diagnostickými metodami popsány v [5]. Postup:

1. Odstranění okenních parapetů a ostatních prvků na fasádě.
2. Stávající povrch bude zbaven nečistot (omytí tlakovou vodou).
3. Po vysušení bude tepelný izolant (např. EPS s přidavkem grafitu) nalepen za pomoci certifikované PUR pěny (např. Ceresit CT 84 Express).
4. Po zatvrdnutí PUR Pěny (2 hod) a vyrovnaní povrchu následuje nanesení lepící stěrky + armovací tkaniny a další vrstvy lepící stěrky. Součástí bude řešení detailů za pomoci doplňků – rohovníky, ukončovací lišty, okapní lišty.
5. Následuje technologická přestávka pro vyzrání lepící stěrky – 36 hodin.
6. Penetrace a nanesení finální omítkoviny.

Kritické předpoklady:

1. Použití příliš malé tloušťky izolantu, používané jako zátky talířů hmoždinek, (10 mm) vede k potlačení, nikoli jistému vyloučení jevu vzniku skvrn. Při určité kombinaci vnější teploty a vlhkosti se skvrny mohou objevit, byť v minimální míře. Čím větší bude tloušťka použitého tepelného izolantu, tím větší eliminace tepelného mostu. S rostoucí tloušťkou se významně snižuje pravděpodobnost vzniku skvrn.

2. Při použití příliš malé tloušťky izolantu mohou nastat potíže při realizaci (riziko tvarové nestálosti při provádění).

4 MODELÝ TEPLOTNÍCH A VLHKOSTNÍCH POLÍ

Byly zpracovány modely teplotních a vlhkostních polí sloužící k porovnání stavů, které mohou nastat v obvodovém plášti za různých klimatických podmínek. Modelování viz problematika v dílčí části příspěvku [6]. Modely byly vytvořeny pomocí programu Area a CUBE 3D od firmy Svoboda Software [3].

4.1 Stávající stav – normové podmínky

Normové podmínky pro danou oblast podle ČSN 73 0540 reprezentují tyto parametry:

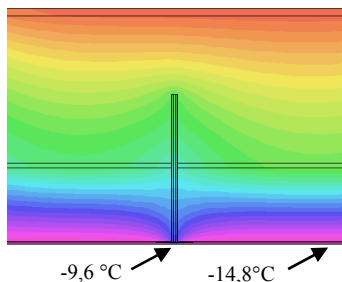
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\Phi_{ai} = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost v interiéru $\varphi_i = 50\text{ }\%$.

Teplota na vnější straně $\Phi_e = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost v exteriéru $\varphi_e = 84\text{ }\%$.

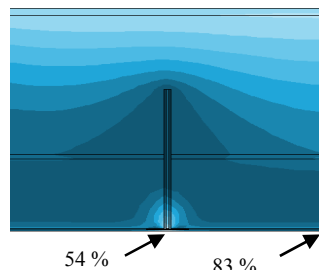
Součinitel tepelné vodivosti materiálu (zdivo bez omítek) $\lambda_u = 0,26\text{ W/mK}$ [8]

4.1.1 Výsledek modelování

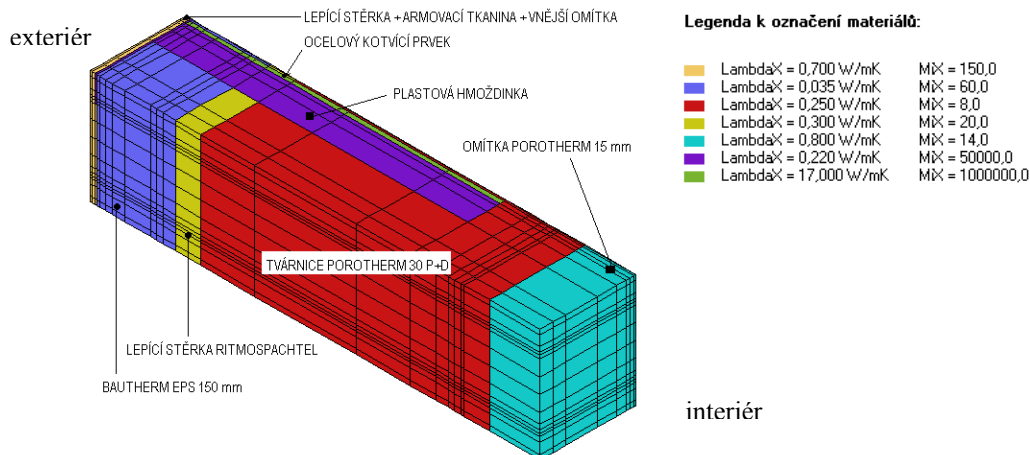
Detail teplotního pole v oblasti hmoždinky viz Obr. 6, detail rozložení vlhkosti viz Obr. 7, 3D výřez materiálu viz Obr. 8, 3D výřez teplotního pole viz Obr. 9, 3D izotermie viz obr 10.



Obr. 6: Průběh teplot v oblasti hmoždinky; normové podmínky



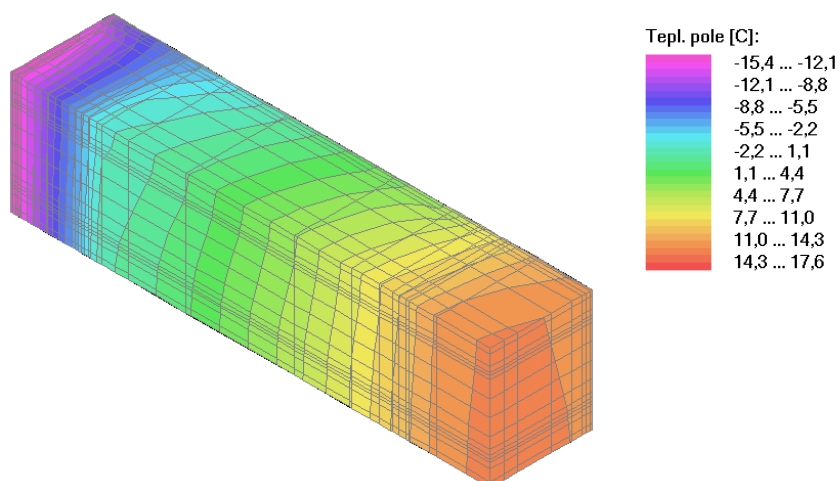
Obr. 7: Průběh vlhkosti v oblasti hmoždinky; normové podmínky



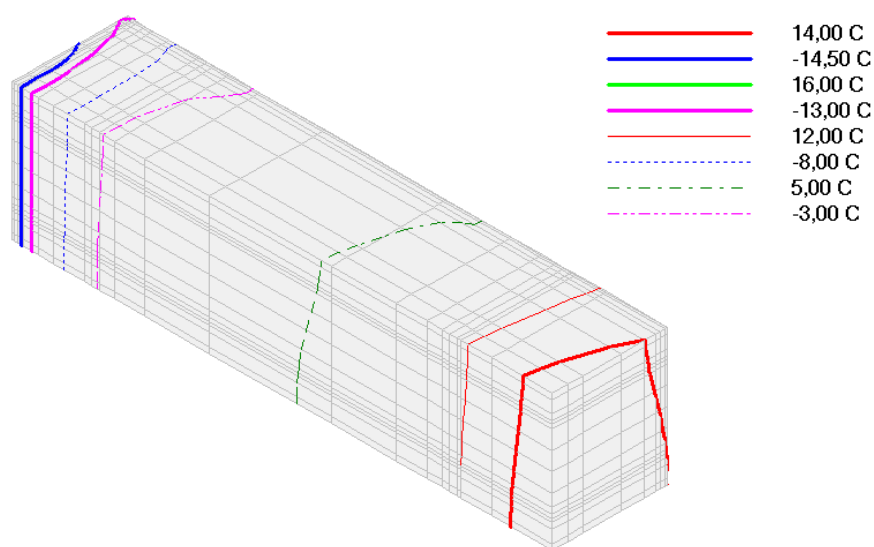
Obr. 8: 3D výřez materiálu v oblasti hmoždinky [3]

Poznámka:

Grafické 3D výstupy z programu CUBE 3D jsou mírně zkresleny oproti modelované skutečnosti. Výsledný vzhled výstupů závisí na nastavení souřadnicového systému. Např. EPS má ve skutečnosti tl. 150 mm a omítka Porotherm 15 mm => měřítko výstupu je zkresleno viz Obr. 8.



Obr. 9: 3D výřez teplotního pole v oblasti hmoždinky [3]



Obr. 10: 3D izotermy v oblasti hmoždinky [3]

Poznámka: výše uvedené výstupy z programu CUBE 3D zobrazují vliv kotvy na průběh teplot v konstrukci.

4.2 Stávající stav – zvýšená vlhkost v interiéru

Na základě zjištěné skutečnosti během prohlídky byla relativní vlhkost v interiéru zvýšena v tomto modelu na 90 %. Důvodem byla zvýšená vlhkost od nedávno provedených podlah uzavřená v nevětraném objektu.

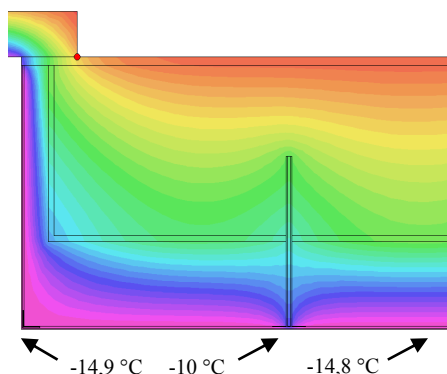
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\Phi_{ai} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost v interiéru $\varphi_i = 90 \text{ } \%$.

Teplota na vnější straně $\Phi_e = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost v exteriéru $\varphi_e = 84 \text{ } \%$.

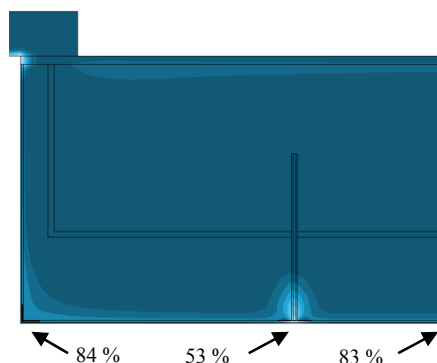
Součinitel tepelné vodivosti materiálu (vlhké zdivo) $\lambda_u = 0,95 \text{ W/mK}$ [9]

4.2.1 Výsledek modelování

Odpověď na otázku jak se změní poměry v konstrukci při zvýšené vlhkosti v interiéru, která zde je přítomna během dokončovacích prací na podlahách dává detail teplotního pole v oblasti hmoždinky, jak je patrný na Obr. 11, detail rozložení vlhkosti můžeme pozorovat na Obr. 12. Předpoklad zvýšení teploty na povrchu vlivem vlhkosti difundující skrz konstrukci se potvrdil, nicméně není nijak významný.



Obr. 11: Průběh teplot v konstrukci; zvýšená vlhkost v interiéru



Obr. 12: Průběh vlhkosti v konstrukci; zvýšená vlhkost v interiéru

4.3 Navrhovaná úprava – EPS tl. 10 mm – normový stav

Normové podmínky pro danou oblast podle ČSN 73 0540 reprezentují tyto parametry:

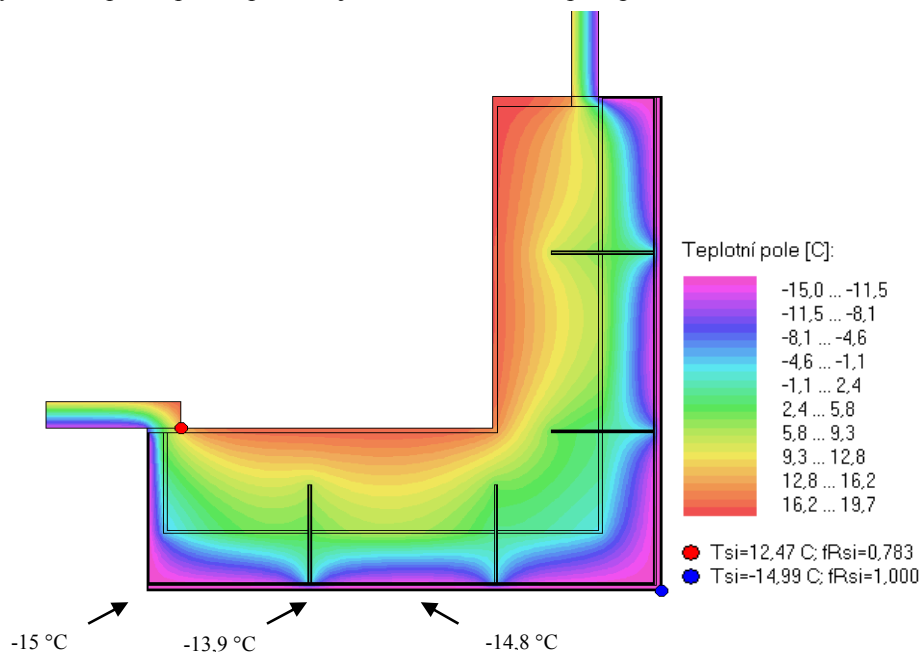
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\Phi_{ai} = 21\text{ °C}$, relativní vlhkost v interiéru $\varphi_i = 50\text{ %}$.

Teplota na vnější straně $\Phi_e = -15\text{ °C}$, relativní vlhkost v exteriéru $\varphi_e = 84\text{ %}$.

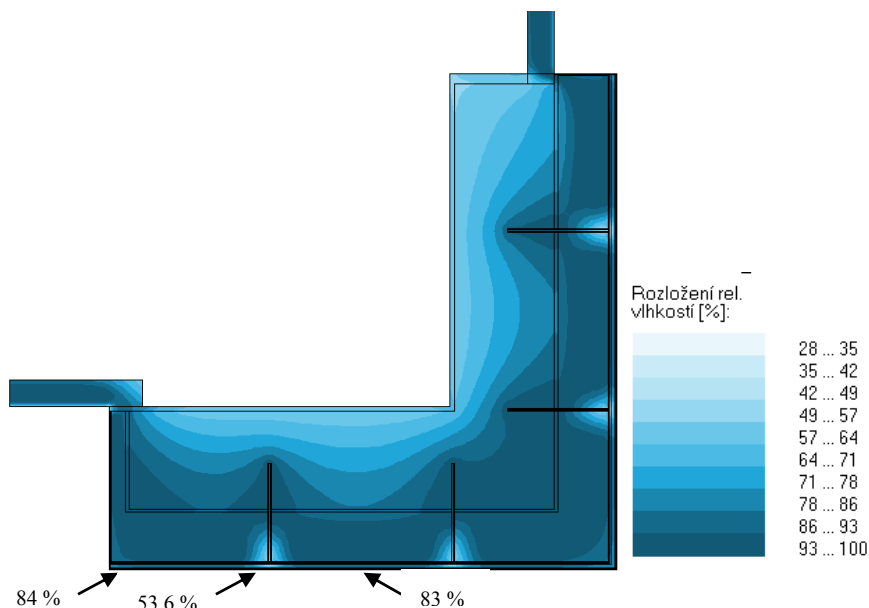
Součinitel tepelné vodivosti materiálu (zdivo bez omítek) $\lambda_u = 0,26\text{ W/mK}$ [8]

4.3.1 Výsledek modelování

Výsledné teplotní pole reprezentuje Obr. 13, vlhkostní pole pak Obr. 14.



Obr. 13: Průběh teplot v modelovaném koutu, stav s EPS tl. 10 mm; normové podmínky



Obr. 14: Průběh vlhkostí v modelovaném koutu, stav s EPS tl. 10 mm; normové podmínky

4.4 Navrhovaná úprava – omítka tl. 15 mm – normový stav

Normové podmínky pro danou oblast podle ČSN 73 0540 reprezentují tyto parametry:

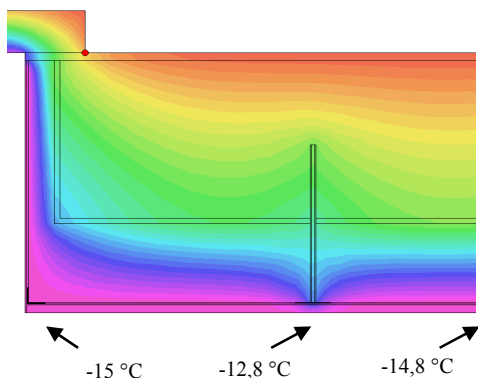
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\Phi_{ai} = 21\text{ °C}$, relativní vlhkost v interiéru $\varphi_i = 50\text{ %}$.

Teplota na vnější straně $\Phi_e = -15\text{ °C}$, relativní vlhkost v exteriéru $\varphi_e = 84\text{ %}$.

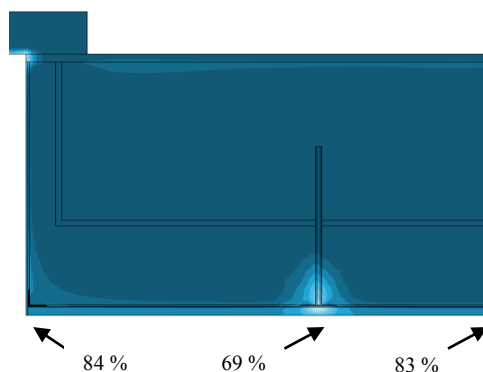
Součinitel tepelné vodivosti materiálu (zdivo bez omítek) $\lambda_u = 0,26\text{ W/mK}$ [8]

4.4.1 Výsledek modelování

Detail teplotního pole v oblasti hmoždinky viz Obr. 15 a detail rozložení vlhkostí viz Obr. 16.



Obr. 15: Průběh teplot v konstrukci, stav s omítkou tl. 15mm; normové podmínky



Obr. 16: Průběh vlhkostí v konstrukci, stav s omítkou tl. 15mm; normové podmínky

5 ZÁVĚR

Pro řešení stavu posuzované problematiky je doporučeno po pečlivé úvaze a zhodnocení všech okolností, kritických předpokladů, finančních nákladů a výsledků měření a také po konzultaci s dalšími odborníky na stavební a tepelnou techniku, problematiku vlhkosti staveb a prostředí staveb (doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., Ing. Iveta Skotnicová, Ph.D.) **realizovat opatření popsané v kapitole 3.4.**

LITERATURA

- [1] ŠUBRT, R.: Kontaktní zateplení z pohledu tepelných mostů hmoždinkami a jejich prokreslování I, II. *Stavebnictví* 2011.
- [2] Projektová dokumentace Rodinný dům Budišovice – řez A-A', Půdorys 1. NP, Detail okna u podlahy; zpracovatel Ing. Jiří Blažej – projektová kancelář, 725 26 Ostrava – Krásné Pole.
- [3] AREA 2009, CUBE 3D 2009, Svoboda Software.
- [4] ORAVEC, P., JAŠEK, M. Efficiency of various approaches used in the installation of doors and windows. In *Mladý vedec 2009*, Košice: TU Košice, 2009, ISBN 978-80-553-0176-1.
- [5] ORAVEC, P., GALDA, Z. Application of modern diagnostic method in Civil Engineering. International conference on Military Technologies 2011 – Brno. Brno: University of Defence in Brno, 2011, s. 125–132, ISBN 978-80-970171-0-1.
- [6] HAMALA, M., KOZÁKOVÁ, M. Masonry buildings saved of the steel pre-stressed cables; problem analysis of the steel anchor location. International conference on Military Technologies 2011 – Brno. Brno: University of Defence in Brno, 2011, s. 525–538, ISBN 978-80-970171-0-1.
- [7] KRAULICH, V. Termoprecipitace a její vliv na kvalitu povrchů fasád. *Dektime 02/2010*, s. 24-28.
- [8] POROTHERM: Podklady pro navrhování 13. vydání.
- [9] <http://www.tzb-info.cz/povodne/6500-budovy-po-povodnich-a-zateplovani>.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Doc. Ing. František Kulháněk, CSc., Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Zdeněk PEŘINA¹

**OVĚŘOVÁNÍ HODNOT POŘÍZENÝCH INFRAČERVENÝM RADIOMETRICKÝM
DLOUHOVLNNÝM SYSTÉMEM V ZÁVISLOSTI NA VYBRANÝCH OKOLNÍCH VLIVECH
PROSTŘEDÍ**

**VERIFICATION OF THE VALUES TAKEN FROM INFRARED RADIOMETRIC
LONGWAVES SYSTEM AS FUNCTION OF SELECTED ENVIROMENTAL INFLUENCES**

Abstrakt

Cílem laboratorního ověřování bylo zjistit chování použitého infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému za účelem stanovení determinačních závislostí okrajových podmínek měření na kvantifikaci reprodukováných výsledků infračerveným radiometrickým systémem, tak aby bylo možno konkrétní infračervený radiometrický systém využívat nejen ke kvalitativnímu, ale i ke kvantitativnímu měření povrchových teplot nekontaktní infračervenou metodou ve stavební diagnostické praxi, případně odvozovat další jevy a parametry měřitelné tímto systémem.

Klíčová slova

Termografický, radiometrický, systém, ověřování, okrajové podmínky, kvalitativní metoda, kvantitativní metoda, diagnostika.

Abstract

The aim of laboratory verification was to determine the behavior of infrared radiometric long waves system to determine the dependence determination of boundary conditions on the quantification of measurement of the reproduced results by radiometric infrared system so that a particular infrared radiometric system could be used not only for qualitative but also for the quantitative measurement of surface temperature by infrared non-contact method of construction diagnostic practice, or other phenomena and measurable parameters of this system could be derived.

Keywords

Thermographic, radiometric, system, verification, boundary conditions, a qualitative method and quantitative method of diagnosis.

1 ÚVOD

Zvyšující se legislativní požadavky na tepelnou ochranu budov (viz ČSN 73 0540 [1]) po diagnostických prostředcích vyžadují dne již nejen kvalitativní vyhodnocení poruchy, ale rovněž také kvantifikaci zjištěných závad. Zda lze pro kvantifikaci zjištěných skutečností použít, v diagnostické praxi níže specifikovaný, infračervený radiometrický dlouhovlnný systém (viz kapitola 2), a jak jsou hodnoty zaznamenané tímto diagnostickým přístrojem ovlivněny okolními vlivy, řeší autorem navržené laboratorní měření.

K tomuto ověřovacímu laboratornímu měření bylo přistoupeno na základě hodnot získaných z dlouhodobě prováděných (2006–2011) diagnostických měření obytných budov, v rámci disertační práce autora s názvem: Vyšetřování a návrh sanace spodní stavby vybraných konstrukčních soustav

¹ Ing. Zdeněk Peřina, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 350, e-mail: zdenek.perina@vsb.cz.

panelových obytných budov [2]. V této práci je možno se blíže obeznámit s průběhem, rozsahem a obsahem takových diagnostických měření realizovaných přímo v terénu. Mimo výše zmíněnou disertační práci autora, nebyly výsledky laboratorního ověřování infračerveného radiometrického systému nikde zveřejněny.

2 VYBAVENÍ A SESTAVENÍ LABORATOŘE

Principem ověřování hodnot povrchových teplot konkrétního infračerveného radiometrického systému, je vytvoření vzorku (etalonu) u kterého jsou známy zájmové fyzikální a fyzikálně-chemické parametry. Dále je snahou co nejvěrněji simulovat proměnlivé externí vlivy, které se za reálných měření běžně vyskytují. Vlastní procedura „ověřování“ se pak sestává z porovnávání povrchových teplot na různě fyzikálně-chemicky definovaných etalonech, kontaktně měřených dotykovým teploměrem a bezkontaktní infračervenou metodou, a to za různě nastavených parametrech prostředí.

2.1 Infračervený radiometrický dlouhovlnný systém – infračervená kamera

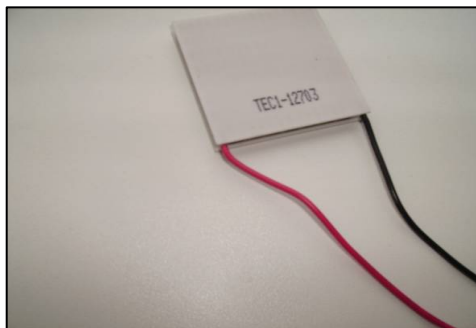
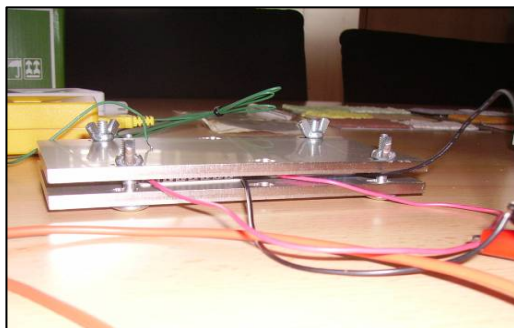
Základem laboratorní sestavy je infračervený radiometrický dlouhovlnný systém ThermoCAM FLIR[®] B4 pořízený v roce 2005 (viz obr. 1) s nechlazeným FPA mikrobolometrickým detektorem o rozlišení 320×240 , se spektrálním rozsahem $7,5\text{--}12\text{ }\mu\text{m}$ (dlouhovlnný systém), s citlivostí od $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotě $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, rozsahem měření: $-20\text{ až }+55\text{ }^{\circ}\text{C}$, zobrazovacím LCD $2,5''$ a s detekcí teploty rosného bodu.



Obr. 1: Infračervený radiometrický dlouhovlnný systém Flir ThermoCAM[®] B4

2.2 Topné těleso

Pro řízené prohřívání vzorku bylo navrženo a vyrobeno topné těleso tak, že mezi topnými nerezovými deskami je osově souměrně umístěn termoelektrický (peltierův) článek (viz obr. 2), aby prohříval obě poloviny vzorku. Keramická destička termoelektrického článku je přilepena z vnitřní strany zahřívací nerezové desky samolepící teplovodivou folií pro zabezpečení optimálního přenosu tepla mezi termoelektrickým článkem a topnými nerezovými deskami. Pro změnu napětí v termoelektrickém článku, tak aby došlo k regulovatelnému zahřívání jedné keramické destičky článku (druhá destička se ochlazuje), byl použit laboratorní lineární zdroj PS1502A.



Obr. 2: Topné těleso: nerez desky a peltierův článek (TEC1-12703)

Zahříváním termoelektrického článku dochází k postupnému řízenému zahřívání nerezové desky, na které je umístěn vzorek. Pro dosažení ustálené požadované teploty vzorku stačí tedy změna velikosti protékajícího proudu termoelektrickým článkem, která se na výše uvedeném zdroji provádí otočným regulátorem.

2.3 Kontaktní měření povrchových teplot

Povrchové teploty na vzorku byly měřeny dotykově pomocí multifunkčního přístroje Ahlborn® 2590-3S (viz obr. 3) a NiCr nalepovacích čidel. Teplota byla snímána pomocí dvou kanálů (dvou čidel) a to na každé polovině vzorku, tak aby byla změřena povrchová teplota jak na světlejším, tak na tmavším odstínu vzorku (viz obr. 3).



Obr. 3: Multifunkční přístroj Ahlborn® 2590-3S a dotyková NiCr čidla umístěná na vzorku

Před každým měřením vzorku došlo k automatické kalibraci NiCr čidel, tak že před nalepením čidel na vzorek byla odečtena teplota z obou kanálů a porovnána s teplotou prostředí měřenou digitálním přístrojem Greisinger® GFTH 95 (viz obr. 4). Pro odstínění snímání jiných než povrchových teplot přímo na vzorku, byla obě čidla přelepena reflexní samolepicí folií.

2.4 Měření intenzity osvětlení

Intenzita osvětlení vzorku byla měřena pomocí multifunkčního přístroje Ahlborn® 2590-3S a luxsondy (viz obr. 3). Luxsonda byla umístěna v těsné blízkosti měřící sady a to vždy koplanárně s rovinou vzorku. Sonda byla v průběhu měření umisťována postupně na tři různá místa (vlevo, vpravo a nad měřící sadou) v blízkosti vzorku, tak aby byla změřena co nejrealnější hodnota intenzity osvětlení v místě měření.

2.5 Měření ostatních parametrů prostředí

Teplota vzduchu, vlhkost, a atmosférický tlak v místnosti byly pro potřeby pokusu měřeny digitálním přístrojem Greisinger® GFTH 95 (viz obr. 4). Odečtené hodnoty byly zaznamenávány do protokolu měření. Umístění přístroje je uvedeno ve schématu měření (viz obr. 6) a místo bylo zvoleno s ohledem na získání použitelných hodnot.



Obr. 4: Přístroj Greisinger® GFTH 95

2.6 Měřící sada – etalon

Měřící sada (etalon) se skládá ze dvou ocelových (zahřívacích) nerezových desek velikosti 145 × 75 mm, tloušťky 5mm, termoelektrického (peltierova) článku a ocelové žárově pozinkované desky velikosti 145 × 75 mm, tloušťky 1mm s naneseným vzorkem omítkoviny, nebo fasádní barvou,

tloušťky 0–3mm (viz Obr. 5). Pozinkovaná deska s fasádní barvou nebo omítkovinou (dále jen vzorek) je připevněna k topným nerezovým deskám pomocí šroubů a křídlových matic (viz obr. 3).



Obr. 5: Vzorek: pozinkovaná ocelová deska s omítkovinou

2.7 Prostředí okolí – teplota vzduchu

Pro simulaci reálného proměnlivého okolního prostředí, byla laboratoř umístěna do klimatizované (Toshiba® RAV-SM802KRT-E) místnosti s možností zastínění okenních otvorů (okenní žaluzie a interiérové zatmívací rolety) a s možností odfiltrování nežádoucích vlivů (jako je například zdánlivě odražená teplota venkovního prostředí, objektů odrazujících se ve sklech oken apod.). Místnost je okny orientovaná na severovýchod. Velikost laboratoře je $7,20 \times 5,60 \times 3,00$ m.

V místnosti byla ustálena vlhkost vzduchu (cca 50–70%) a prostřednictvím klimatizační jednotky bylo možno měnit teplotu vzduchu místnosti od $+18$ °C do $+24$ °C. Pro odstínění vlivu proudění vzduchu byly kolem místa měření rozestavěné kartonové krabice do výšky 1,8m.

2.8 Prostředí okolí – intenzita osvětlení

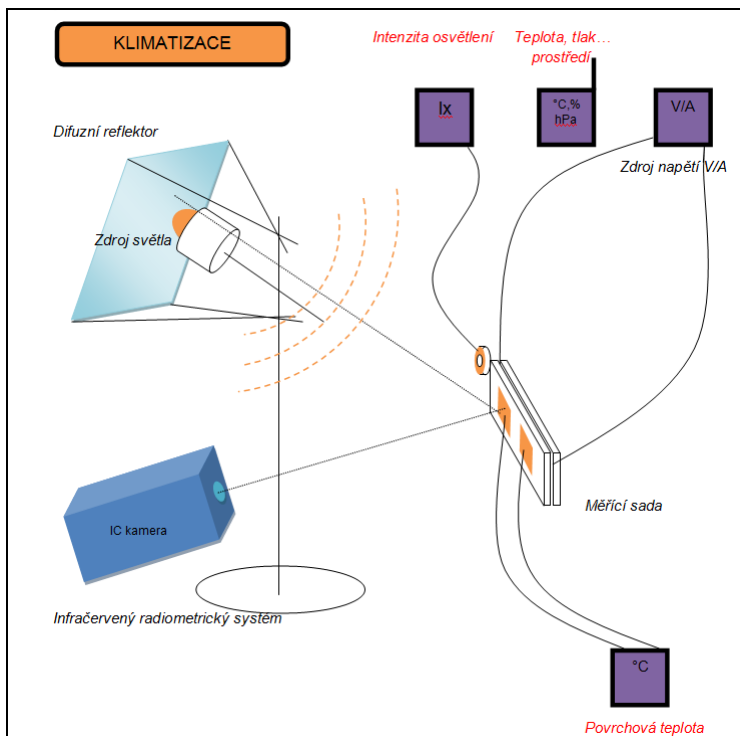
Pro zkoumání vlivu různé intenzity osvětlení na povrchovou teplotu vybraných vzorků byla použita běžná kancelářská lampa doplněná o difuzor z kartonu a pomačkaného alobalu, tak aby došlo k odfiltrování zdánlivě odražené teploty od povrchu žárovky. Pro dosažení různé intenzity bylo v experimentu počítáno s použitím vláknových (klasických) žárovek s výkonem 25, 40, 60 a 100 W. Intenzita osvětlení byla měřena v těsné blízkosti vzorku na minimálně třech různých místech (vpravo, vlevo a nad měřicí sadou) a hodnota použitá pro další měření tvoří průměr z těchto všech odečtených hodnot.

2.9 Teplota vzorků – chlazení

Pro dosažení proměnlivé teploty vzorků (etalonů) bylo použito vychlazení vzorků (celé měřicí sady v mrazničce až na teplotu -15 až -10 °C. Měřicí sada byla před vložením do mrazničky zabalena do vzduchotěsného PE sáčku. Pro eliminaci kondenzace vzduchu uzavřeného v sáčku v průběhu zchlazování, byl do sáčku s měřicí sadou vložen silikagel. Po postupném vytemperování vzorku na teplotu blízkou teplotě okolního prostředí byla měřicí sada zahřívána termoelektrickým článkem až na požadovanou ustálenou teplotu.

3 NASTAVENÍ METODIKY MĚŘENÍ

Snahou bylo nastavit metodiku měření tak, aby co nejvěrněji napodobovala reálné měření v terénu a přitom aby zde zůstala možnost odfiltrovat nežádoucí nebo neměřitelné (neměřené) vlivy. Za tímto účelem bylo vytvořeno schéma měření (viz obr. 6), na jehož základě došlo k vybudování, vybavení a nastavení laboratoře viz kapitola 2. Za účelem optimalizace metodiky měření proběhlo několik ověřovacích měření, po kterých došlo k úpravám ve schématu měření, postupech, ale rovněž k výběru vhodnějších zařízení a pomůcek.



Obr. 6: Schéma měření – finální verze

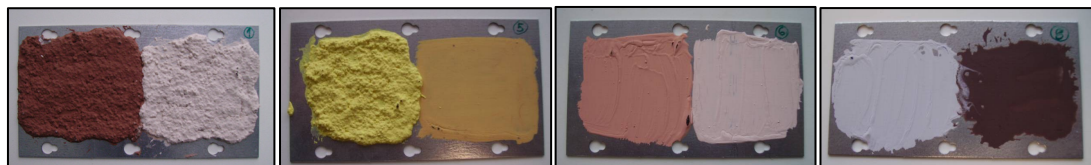
3.1 Výběr vzorků a parametrů prostředí

Časová náročnost měření jedné měřicí sady se v průběhu pilotního měření pohybovala kolem 2–3 hodiny, což v daném vymezeném časovém úseku neumožňovalo změřit všechny vyrobené vzorky. Navíc v průběhu měření došlo ke značnému opotřebování vzorků s fasádní barvou (vzorky č. 6 a 8), takže další měření s těmito vzorky bylo vyloučeno. S ohledem na tyto skutečnosti bylo nutno omezit počet sérií měření a počet hodnot vybraných parametrů prostředí.

Do experimentu ověřování hodnot získaných z infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému ThermaCAM FLIR® B4 byly vybrány vzorky č.:

- 1: silikonová omítkovina Baumit č. 3383 – barva tmavě hnědá, Baumit 3127 – béžová,
- 5: silikonová omítkovina Baumit č. 3011 – barva žlutá, silikonový fasádní nátěr JUB č. 1071 – tm. oranžová,
- 6: akrylový fasádní nátěr Cemix č. MD142 – barva hnědá, akrylový fasádní nátěr Cemix č. MD145 – světle hnědá,
- 8: akrylový fasádní nátěr JUB č. 1504 – barva bílá, akrylový fasádní nátěr Baumit č. 3387 – tmavě hnědá,

Vybrané výše uvedené vzorky (viz obr. 7) charakterizují průřez jak z hlediska použitých materiálů, tak různých barev jejich sytosti a odstínů.



Obr. 7: Vzorky č. 1, 5, 6 a 8

Vzhledem ke zničení vzorků 6 a 8, k nimž došlo v průběhu měření, nebyly tyto zahrnuty do poslední sestavy měření při teplotě prostředí (T_{amb}) +24 °C a průměrné intenzitě osvětlení –2 a 400 luxů. Kompletní parametry sestav (setů) měření názorně demonstruje Tabulka 1.

Co se týče měřených a do experimentu zahrnutých proměnlivých parametrů prostředí byly definovány hodnoty pro intenzitu osvětlení a to:

- a) bez osvětlení = průměrná hodnota intenzity osvětlení: cca –2 luxy,
- b) s osvětlením (použita žárovka 100W) = průměrná hodnota intenzity osvětlení: cca 400 luxů.

A dále byly stanoveny (nastaveny) hodnoty pro teplotu prostředí (T_{amb}) a to: cca +18 °C, +22 °C a + 24 °C. Ostatní parametry byly závislé na atmosférických okolnostech (atmosférický tlak, vzdušná vlhkost) a nedaly se přístrojovým vybavením laboratoře ovlivnit – nicméně i tyto hodnoty byly evidovány a uvedeny v protokolech z měření (Příloha 2 – disertační práce autora) pro případné pokračování experimentu.

Tab. 1: Vzorky a parametry jednotlivých sestav měření

	$T_{amb} = +18\text{ °C}$		$T_{amb} = +22\text{ °C}$		$T_{amb} = +24\text{ °C}$	
vzorek č. 1	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx
vzorek č. 5	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx
vzorek č. 6	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx	x	x
vzorek č. 8	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx	x	x

4 VÝSLEDKY OVĚŘOVACÍCH LABORATORNÍCH MĚŘENÍ

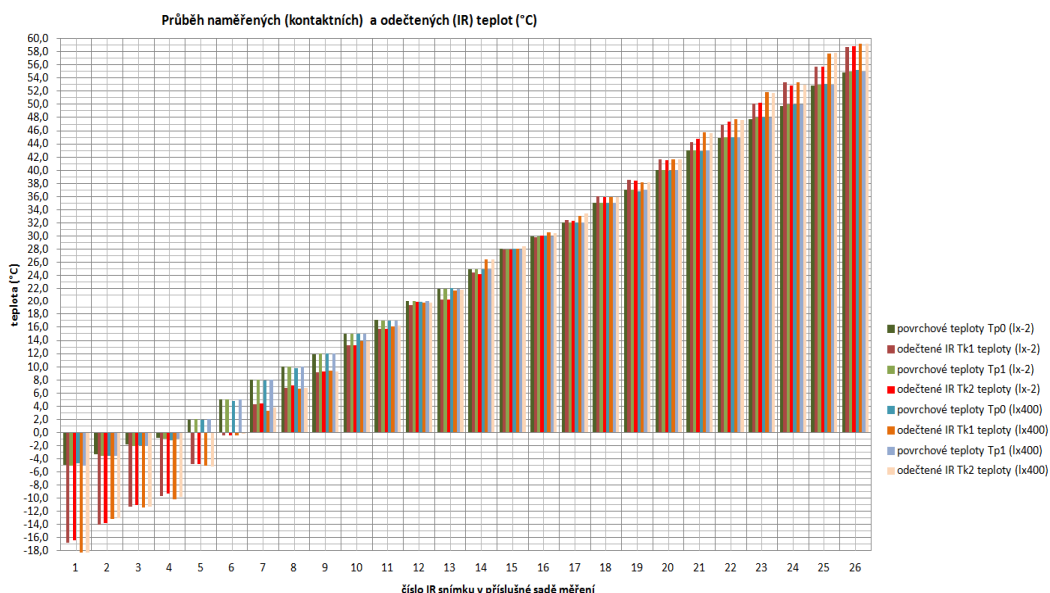
V této kapitole budou komentovány výsledky provedených měření, rozborů, analýz, výpočtů a simulací záznamů měření, které jsou publikovány v disertační práci autora [2]. Pokud jde o laboratorně nasimulované vlivy okolního prostředí na měření, tak jak byly zmíněny v kapitole 3.1, byly vybrány tyto:

- a) intenzita osvětlení (I_x) (simulováno umělým osvětlením),
- b) emisivita materiálu (ε) (resp. druhu, barevném odstínu apod.),
- c) teplota okolí (T_{amb}) (resp. odražená zdánlivá teplota (T_{refl})).

Tyto vlivy by se měly, na základě teoretických předpokladů, podstatnou měrou podílet na výsledných hodnotách zjištěných infračerveným radiometrickým dlouhovlnným systémem dle nastavené metodiky viz kapitola 3. Vlivů, které se ve skutečnosti podstatnou měrou spolupodílejí na „přesném měření“ je samozřejmě více, než jen zde výše uvedené; nicméně buď byly eliminovány zvolenou metodikou měření, nebo se jejich vliv zanedbává z důvodu nemožnosti jejich simulace v rámci laboratorních měření.

4.1 Vliv intenzity osvětlení a závislost teploty okolí

Průměrné hodnoty rozdílů teplot (kontaktně a nekontaktně zjištěných) v závislosti na teplotě okolí T_{amb} (resp. T_{refl} – odražené zdánlivé teplotě) se nijak zásadně (v laboratorně nastavených hodnotách intenzity osvětlení, tzn. cca $-2lx$ a $400lx$) neprojeví. Přesné parametry jsou uvedeny v jednotlivých rozbořech měření viz například obr. 8 (ostatní viz Příloha 3, disertační práce autora [2]). Odchytky v řádu desetin lze za definovaných nejistot měření zcela zanedbat s ohledem na nejistoty měření.

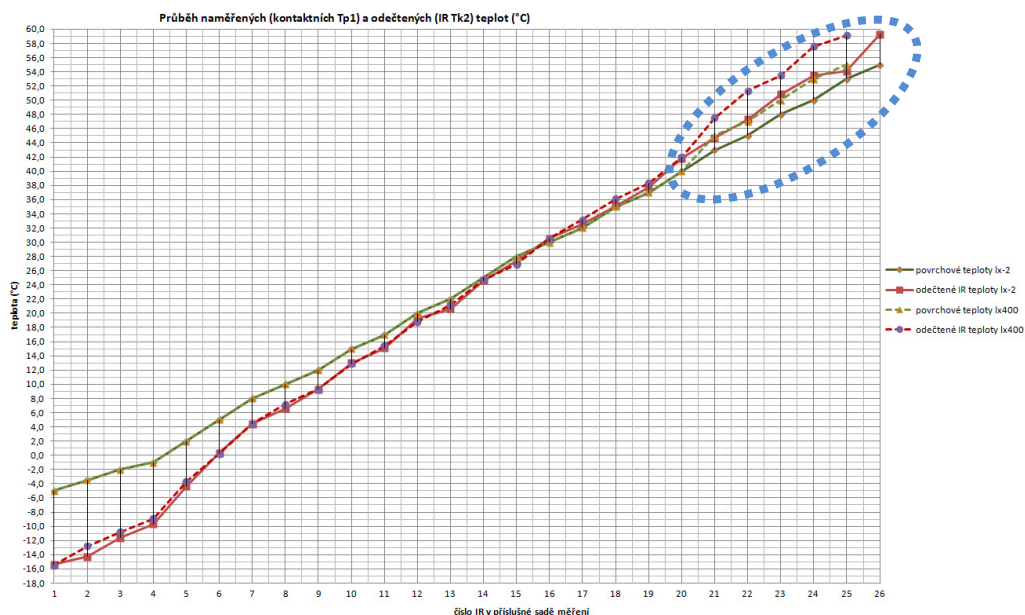


Obr. 8: Graf průběhu naměřených kontaktních teplot a odečtených ič teplot v závislosti na intenzitě osvětlení – příloha 3.01d [2]

4.2 Vliv intenzity osvětlení a závislost barevného odstínu

Průměrné hodnoty rozdílů teplot (kontaktně a nekontaktně zjištěných) se, v rámci zvolených barevných odstínů a nastavených intenzit osvětlení, rovněž nijak zásadně neprojeví. Pouze u vzorku č. 5 byl zjištěn větší rozdíl jak v průměrných hodnotách rozdílů teplot, tak dalších parametrů rozboru jako je průměrná a směrodatná odchylka.

Zde je ovšem nutno toto zjištění připsat různé emisivitě materiálů (světlejší odstín z probarvované kašovitě silikonové omítkoviny, tmavší odstín silikonový fasádní nátěr apod). Při porovnání vzorku č. 5, viz obr. 9 (protokol č. 3.04), jsou patrné větší rozdíly teplot při teplotě vzorku nad $40^{\circ}C$ v polovině vzorku s fasádním nátěrem. Nicméně jsou vyšší jak kontaktně měřené povrchové teploty, tak i nekontaktně zjištěné. Je to zapříčiněno rozdílnou tloušťkou materiálů na obou polovinách téhož vzorku a tím, že hodnoty kontaktně měřených teplot jsou vztaženy k předem zvoleným kontrolním teplotním měřicím bodům v jedné části vzorku ($-5^{\circ}C$, $-3,5^{\circ}C$, až $+55^{\circ}C$). Polovina vzorku s kašovitou silikonovou omítkou měla větší tloušťku (konkrétně v případě vzorku č. 5), takže než se tlustší část vzorku prohrála na požadovanou teplotu kontrolního měřicího bodu, tak se tenčí polovina vzorku zahřála na teplotu o něco vyšší.



Obr. 9: Graf průběhu naměřených kontaktních teplot a odečtených ič teplot v závislosti na barevnosti vzorku – příloha 3.04c [2]

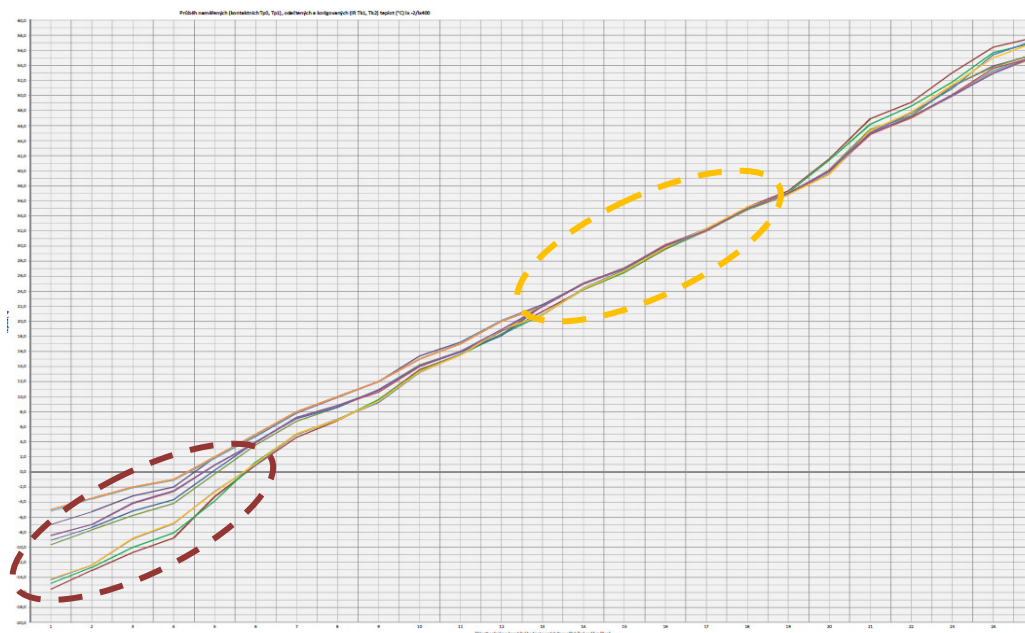
4.3 Vliv volby emisivity materiálu na intenzitě osvětlení

Na obr. 10 je v grafech znázorněn výpočet vlivu volby (zjištění) správné emisivity materiálu na intenzitě osvětlení.

V oblastech $+10\text{ °C}$ až -5 °C (fialová elipsa) je rozdíl mezi kontaktně a nekontaktně zjištěnou teplotou, tak velký, že ani dosazením emisivity ε blížíící se hodnotě 1 nebylo dosaženo korekce nekontaktně zjištěné teploty na hodnoty kontaktně změřené. V ostatních případech, kde rozdíl mezi kontaktně a nekontaktně zjištěnými hodnotami povrchových teplot nebyl větší než cca 30 %, došlo ke korekci, až na 100 % povrchově změřených hodnot viz obr. 10.

Zde se nabízí možnost pokračování (rozšíření) experimentu spočívající ve zjišťování skutečné hodnoty emisivity zmraženého vzorku. Existuje velká míra pravděpodobnosti, že jinovatkou pokrytý vzorek (později za vyšších teplot pokrytý vodním filmem) má jinou hodnotu emisivity, než materiál se suchým povrchem. V rozsahu teplot kolem $+20\text{ °C}$ až $+35\text{ °C}$ (žlutá elipsa) se pak obě zjištěné teploty shodují s přesností na desetinu stupně kelvina – bez nutnosti korekce emisivity viz obr. 10.

Na základě provedených laboratorních měření se vliv intenzity osvětlení za nastavených laboratorních podmínek neprokázal. Ukazuje se však, že emisivita měla, za laboratorně nastavených parametrech okolního prostředí a použitým přístrojovým vybavením, cca až 30% podíl na případnou korekci teplot zjištěných nekontaktně, tak aby bylo po korekci dosaženo hodnot změřených kontaktně. Pro další korekci nekontaktně zjištěných teplot, viz kapitola 4.5, byly použity průměrné hodnoty emisivit z oblasti největší shody teplot kontaktně i nekontaktně zjištěných analýzou naměřených kontaktních teplot a odečtených ič teplot v závislosti na korekci emisivity (viz disertační práce autora [2]).



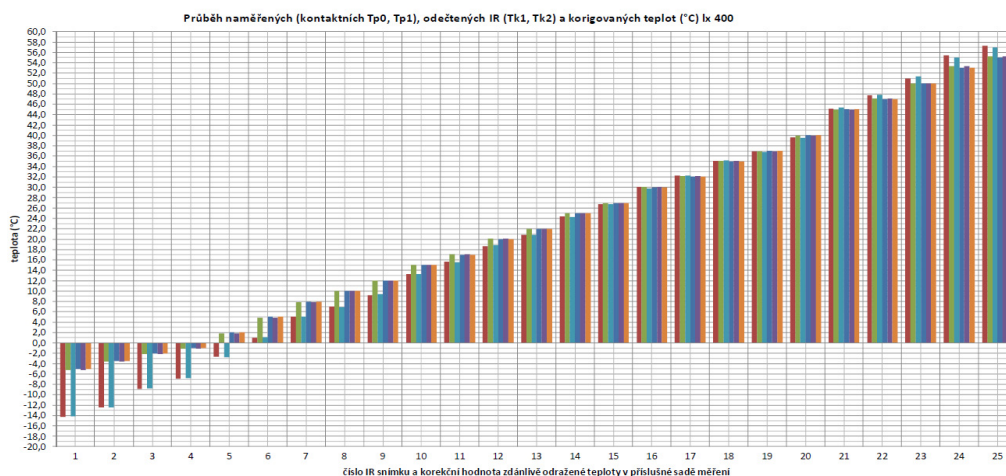
Obr. 10: Graf průběhu naměřených kontaktních teplot, odečtených ič teplot a ič teplot korigovaných emisivitou – příloha 3.07g4 [2]

4.4 Vliv emisivity materiálu na barevném odstínu vzorku

Tento vliv nelze zkoumat infračerveným radiometrickým dlouhovlnným systémem – jde totiž o spektrální závislost, kterou dlouhovlnný systém není schopen snímat.

4.5 Vliv teploty okolí resp. vliv odražené zdánlivé teploty

Tento vliv byl zkoumán v rámci disertační práce autora [2]) a jak ukazují výpočty a grafy, tento parametr má **zásadní vliv** na teploty zjištěné infračerveným radiometrickým dlouhovlnným systémem bez ohledu na intenzitě osvětlení a s mnohem menším vlivem emisivity materiálu. Korekci hodnoty odražené zdánlivé teploty bylo dosaženo shody kontaktně i nekontaktně zjištěných teplot



Obr. 11: Průběh naměřených kontaktních teplot, odečtených ič teplot a ič teplot korigovaných odraženou zdánlivou teplotou – příloha 3.07h3 [2]

a to i v oblasti $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, kde by korekce emisivity nepostačila ke shodě obou teplot viz obr. 11. Odražená zdánlivá teplota může ovlivnit zobrazené teploty infračerveného radiometrického systému až o 70 %, a je zřejmé, že jde o **zásadní parametr**, který například zcela chybí u infračervených bezkontaktních teploměrů (ty modernější mají alespoň možnost zadání emisivity).

Jedinou nezodpovězenou otázkou zůstává, co zapříčinilo tak rozdílné povrchové teploty kontaktně a nekontaktně zjištěné, v oblasti $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Možnosti korekce jsou sice uvedeny výše – nicméně jediným prokazatelným řešením je provedení kontrolního měření kalibrovaným infračerveným radiometrickým dlouhovlnným systémem. Zajímavou skutečností bylo zjištění, že největších přesností bylo dosaženo v okolí teploty $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ což je teplota uváděna i výrobcem při specifikaci teplotní citlivosti systému.

5 ZÁVĚR

V průběhu experimentu bylo odečteno celkem 4000 hodnot povrchových teplot ať už získaných dotykově nebo nekontaktně pomocí infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému, pro 4 různé vzorky, 8 odlišných barev, 4 různé materiály, 5 různých parametrů prostředí a 20 sérií měření.

Účelem vyhodnocení naměřených dat nebyla matematická (statistická) analýza, ale definování vlivů prostředí na kvantifikaci zjištěných veličin infračerveným radiometrickým systémem, jejich případnou možnost odfiltrování za účelem získání skutečných hodnot zjištěných povrchových teplot. Dále ověřit případnou možnost využívat v budoucnu tento (nebo podobný) infračervený systém pro diagnostická měření využívající kvantitativní srovnávací metody pro stanovení skutečných okamžitých hodnot zjišťovaných veličin, jako je například hustota tepelného toku apod.

Závěrem je možno vyhodnotit tento experiment jako úspěšný, neboť bylo prokázáno, že okolní vlivy působící na nekontaktně zjišťované teploty, pomocí infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému, lze jak zjišťovat, tak odfiltrovat, tak by byla zaručena očekávaná přesnost veličin za definovaných nejistot měření. Bylo by jistě zajímavé v experimentu pokračovat a zjišťovat působení dalších vlivů (rychlost větru, větší intenzity osvětlení apod.) za použití kalibrovaných diagnostických přístrojů, případně dalších diagnostických zařízení, především s ohledem na možnost provedení kontrolních měření. Využití infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému pro srovnávací kvantitativní termografii ve stavební praxi je možné, nicméně jedině kalibrovaným radiometrickým systémem a spolu s dalšími přesnými laboratorními přístroji.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Praha: ČNI, 2002 – 2011.
- [2] PEŘINA, Z. Vyšetřování a návrh sanace spodní stavby vybraných konstrukčních soustav panelových obytných budov – disertační práce. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Ladislav Štěpánek, CSc., Ústav pozemního stavitelství, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Doc. Dr. Ing. Michal Lesňák, Institut fyziky, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Jaroslav SOLAŘ¹

TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ VNITŘNÍCH STĚNOVÝCH DUTIN
V RÁMCI NÁVRHU SANACE VLHKÉHO ZDIVA

THERMAL-TECHNICAL EVALUATION OF INNER WALL CAVITIES WITHIN
FRAMEWORK OF A SUGGESTION OF WET MASONRY REHABILITATION

Abstrakt

Pro sanaci nadměrně vlhkého zdiva bývá používáno, kromě jiných metod, také vzduchových dutin, které mohou být jak stěnové, tak také podlahové. Stěnové dutiny pak mohou být situovány na vnější i vnitřní straně sanované zdi. Dutiny na vnitřní straně mohou být z výškového hlediska umístěny pod podlahou, nebo nad úrovní podlahy. V rámci tohoto příspěvku je pojednáno pouze o dutinách situovaných nad úrovní podlahy. V projekční praxi jsou vzduchové dutiny navrhovány zpravidla pouze empiricky. Pro jejich správnou funkci je však třeba provést jejich tepelně technické posouzení. Jeho náplň je téžistěm následujícího příspěvku.

Klíčová slova

Sanace vlhkého zdiva, vzduchové dutiny, vzduchové dutiny stěnové, tepelně technické posouzení.

Abstract

For excessive wet masonry rehabilitation, except for other methods, the method of air cavities is used. These can be wall or floor cavities. The wall cavities may be situated either on the internal or the external side of the wall. From the height point of view, internal side cavities can be located under the floor or above the floor level. This contribution only deals with the cavities above the floor level. In the projection practice, the air cavities usually are designed only empirically. But it is necessary to carry out their thermal-technical evaluation for their correct capacity. The matter of the evaluation is the topic of the following contribution.

Keywords

Wet masonry rehabilitation, air cavities, wall air cavities, thermal.technical evaluation.

1 ÚVOD

Pro sanaci nadměrně vlhkého zdiva používáme, kromě jiného, také vzduchových dutin. Ty mohou být stěnové (svislé), či podlahové (vodorovné). Podrobné pojednání o problematice sanace vlhkého zdiva pomocí vzduchových dutin je uvedeno v [1]. Stěnové (svislé) dutiny mohou být situovány na vnější i vnitřní straně obvodového zdiva. **Stěnové dutiny** umístěné na vnitřní straně obvodového zdiva mohou být z výškového hlediska umístěny:

a) Nad úrovní podlahy.

b) Pod úrovní podlahy.

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.

S ohledem na složitost uvedené problematiky bude v rámci tohoto příspěvku pojednáno pouze o vzduchových dutinách situovaných na vnitřní straně obvodového zdiva nad úrovní podlahy.

2 VZDUCHOVÉ DUTINY SITUOVANÉ NA VNITŘNÍ STRANĚ VLHKÉ ZDI NAD ÚROVNÍ PODLAHY

Stěnové dutiny situované **nad úrovní podlahy** mohou být řešeny jako:

1. Předsazené stěny.

2. Vnitřní obklady.

V obou případech mohou být stěnové dutiny provedeny na celou výšku stěny (resp. místnosti), nebo jen nad úroveň jejího nadměrného zavlhčení (nad hranici vlhkostní mapy).

2.1 Předsazené stěny

Provádějí se například jako cihelné příčky vyzděné na celou výšku místnosti. Z hlediska odvětrání vzduchu v dutině je možno předsazené stěny situované na vnitřní straně odvlhčované zdi rozdělit na:

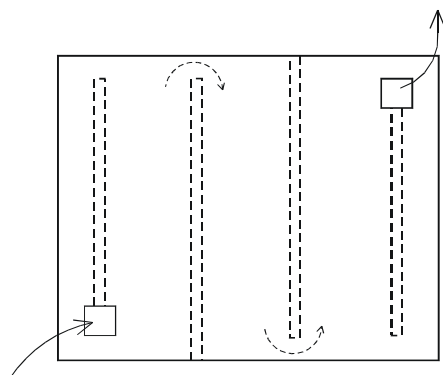
1. Neodvětrávané (viz obr. 1a).

2. Odvětrávané, které dále mohou být:

- a) s přívodem i odvodem vzduchu do interiéru (viz obr. 1b),
- b) s přívodem i s odvodem vzduchu do exteriéru (viz obr. 1c),
- c) s přívodem vzduchu z interiéru a s odvodem do exteriéru (viz obr. 1d).

2.2 Vnitřní obklady

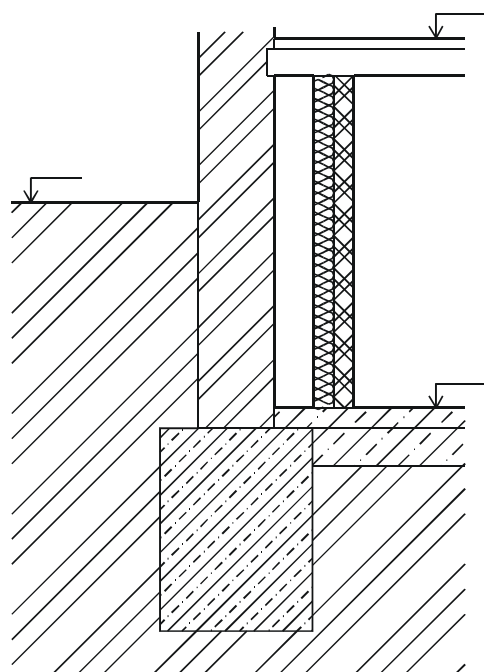
Provádějí se ze dřeva, sádkokartonu, plastických hmot, apod. U historických objektů je použití některých materiálů problematické. Obkladový materiál musí být odolný proti působení nadměrné vlhkosti zdiva, resp. vzduchu. V důsledku kotvení obkladu dochází k rozdělení vzduchové dutiny. Proto je třeba kotvicí konstrukci (zpravidla lišty) uspořádat tak, abychom umožnili proudění vzduchu.



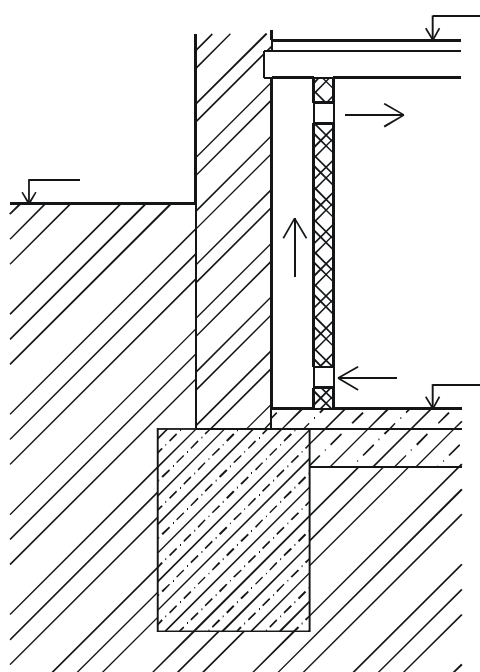
Obr. 2: Příklad řešení vnitřního obkladu

U obkladů, které tvoří větrané vzduchové dutiny je možno k nasávání vzduchu v interiéru použít štěrbinu, difúzní lištu, nebo většího množství menších otvorů. Pro výdechové otvory rovněž tak, nebo provést ukončení pomocí uzavíratelné lišty.

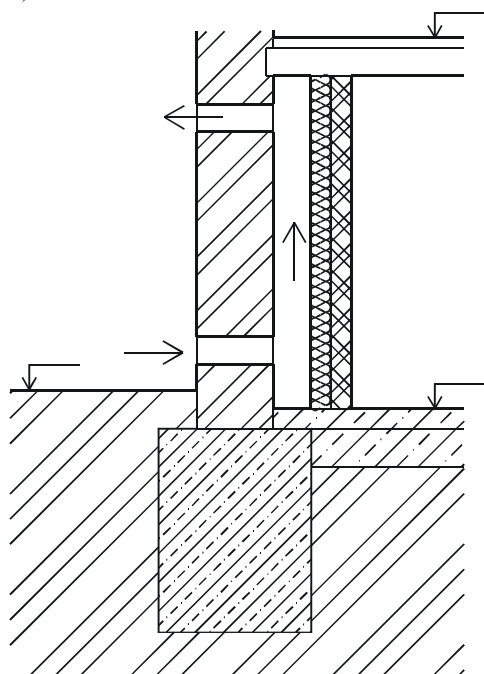
Uspořádání kotevních lišt je třeba provést vertikálně. Pro uchycení kotevních lišt i vlastního obkladu je nutno použít nerezavějící materiály (např. mosazné vruty, šrouby apod.).



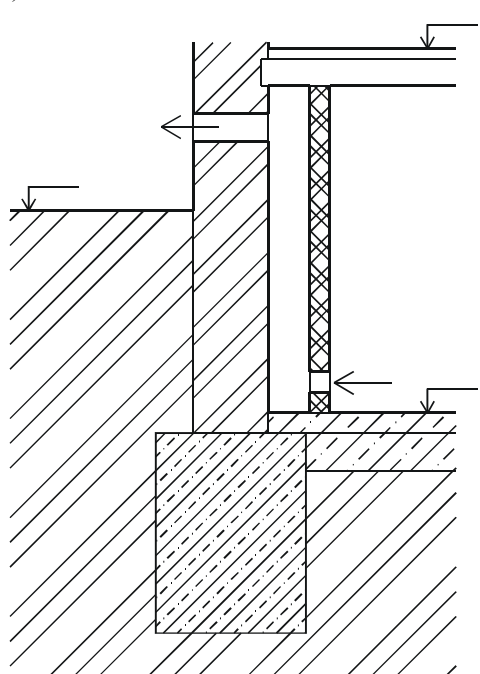
a)



b)



c)



d)

Obr. 1: Schémata vzduchových dutin, vytvořených pomocí přesazených zděných stěn situovaných na vnitřní straně vlhké zdi nad úrovní podlahy

a – nevětraná (uzavřená), b – vzduchová dutina s přívodem i odvodem vzduchu do interiéru, c – vzduchová dutina s přívodem i odvodem vzduchu do exteriéru, d – vzduchová dutina s přívodem vzduchu z interiéru a s odvodem do exteriéru

3 TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STĚNOVÝCH DUTIN SITUOVANÝCH NA VNITŘNÍ STRANĚ ZDI NAD ÚROVNÍ PODLAHY

3.1 Neodvětrávané vzduchové dutiny

Pro sanaci nadměrné vlhkosti zdiva způsobené vztlínáním vody z podloží je tento způsob zcela nevhodný. To proto, že v dutině může docházet k postupné kumulaci vodní páry či dokonce vody, která by následně mohla pronikat do předsazené stěny i do sanovaného zdiva. **Pro řešení kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu stěny v interiéru je toto řešení naopak vhodné.**

Pokud by se jednalo o sanaci nadměrné vlhkosti zdiva zapříčiněné vztlínáním vody z podloží i povrchovou kondenzací vodní páry současně, pak je tento způsob rovněž použitelný, avšak pouze pro eliminaci povrchové kondenzace vodní páry. Nežádoucí vztlínání vody musí být řešeno jiným způsobem (např. mechanicky, chemicky, elektroosmoticky apod.)

Předsazenou stěnu je třeba v určitých případech také tepelně izolovat. Nutnost návrhu tepelné izolace vyplývá z tepelně technického posouzení.

Tepelně technické posouzení uzavřené vzduchové dutiny se provede v souladu s ČSN 73 0540 – 2 [2] a má následující části:

a) Posouzení hodnoty součinitele prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] nově vzniklé vícevrstvé stěny.

b) Posouzení teplotního faktoru v nitřního povrchu f_{Rsi} v rizikových místech

c) Posouzení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce nově vzniklé vícevrstvé stěny.

a) Posouzení hodnoty součinitele prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] nově vzniklé vícevrstvé stěny

Zde je nutno respektovat ustanovení kap. 5. 2 ČSN 73 5040 – 2 [2] a zajistit patřičnou hodnotu součinitele prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] vícevrstvé stěny tak, aby byla splněna podmínka zde uvedená a to:

$$U \leq U_N \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}] \quad (1)$$

kde: U_N [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] – požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla (viz ČSN 73 5040 – 2 [2]).

Posouzení hodnoty součinitele prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] se provede vhodným výpočtním programem (např. TEPLO 2011 [3]).

S ohledem na požadavky ČSN 73 5040 – 2 [2] bude zpravidla nutný návrh tepelné izolace (z EPS Perimetr nebo z extrudovaného polystyrénu), která se vloží do vzduchové mezery. Tím se provede dodatečné zateplení obvodové konstrukce z vnitřní strany. V tomto případě, pokud se nejedná o vztlínání vody z podloží, ale pouze o eliminaci kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodové zdi, pak můžeme vzduchovou mezeru zcela vypustit.

Nutnost vložení tepelné izolace a její potřebná hodnota součinitele prostupu tepla U bude záviset na materiálu a tloušťce obvodového zdiva a na hloubce pod úrovní terénu. V případě, že ve stěně bude situována vzduchová mezera, zahrne se hodnota jejího tepelného odporu do výpočtu. U obvodové zdi, pokud zdivo vykazuje nadměrnou vlhkost, zohlední se tato skutečnost sníženou hodnotou její tepelné vodivosti.

Případnou nemožnost splnění výše uvedeného normativního požadavku je nutno v souladu s odst. 5. 2. 6 v ČSN 73 5040 – 2 [2] řádně zdůvodnit.

b) Posouzení teplotního faktoru v nitřního povrchu f_{Rsi} v rizikových místech

Účelem tohoto posouzení je prověřit možnost kondenzace vodní páry v rizikových místech (vodorovný horní a dolní kout u odvlhčované stěny). Posouzení se provede podle zásad uvedených v kap. 5. 1 ČSN 73 0540 – 2 [2]. Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} vypočteme vhodným výpočtním programem (např. AREA 2011 [4]). Posouzení v horním a dolním koutu je třeba provést proto, že povrchové teploty zde bývají nižší než v ploše stěny. To je zapříčiněno dvourozměrným vedením tepla v těchto místech.

Je třeba, aby v prostorách s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60 \%$ byla splněna podmínka:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad [-] \quad (2)$$

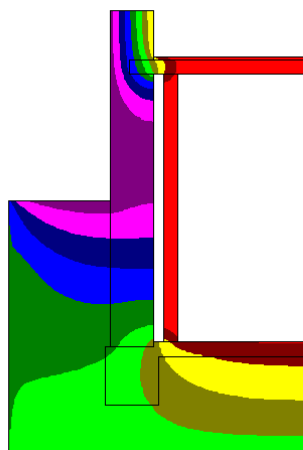
kde:

f_{Rsi} [-] – teplotní faktor vnitřního povrchu,

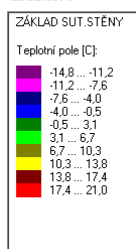
$f_{Rsi,N}$ [-] – požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu

S ohledem na požadavky ČSN 73 0540 – 2 [2] bude i z tohoto hlediska zpravidla nutný návrh tepelné izolace z EPS Perimetr nebo z extrudovaného polystyrénu) – viz výše, bod a).

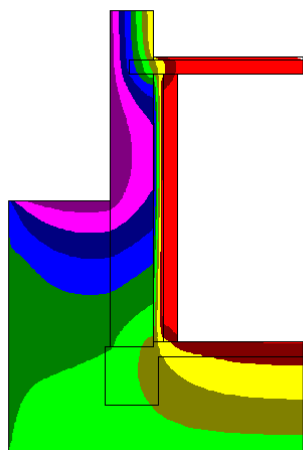
Na obr. 3 a 4 jsou pro ilustraci znázorněny příklady průběhů teplot u cihelné zdi z plných cihel o tl. 450 mm s neodvětranou vzduchovou dutinou o tl. 100 mm a se zateplením pomocí EPS Perimetr o tl. 100 mm bez vzduchové dutiny.



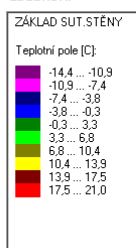
LEGENDA:



Obr. 3: Ukázka průběhu teplot u obvodové cihelné zdi o tl. 450 mm s neodvětranou vzduchovou dutinou o tl. 100 mm a cihelnou příčkou z plných cihel o tl. 150 mm. Výstup z programu AREA 2011 [4].



LEGENDA:



Obr. 4: Ukázka průběhu teplot u obvodové cihelné zdi o tl. 450 mm s EPS Perimetr o tl. 100 mm a cihelnou příčkou z plných cihel o tl. 150 mm. Výstup z programu AREA 2011 [4].

c) Posouzení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce nově vzniklé vícevrstvé stěny

To je nutné z důvodu, aby kondenzovaná vodní pára nezpůsobovala zvýšenou vlhkost stěn a tepelné izolace a tím nezhoršovala jejich funkci. S ohledem na místní klimatické podmínky, které jsou v České republice, bude po většinu dní v roce docházet k difúzi vodní páry směrem od interiéru do vzduchové dutiny. Musí zde být splněny následující podmínky, které jsou uvedeny ČSN 73 0540 – 2 [2], a to:

$$M_c < M_{ev} \quad (3)$$

kde: M_c [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$] – množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce,

M_{ev} [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$] – množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce.

s omezením:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad (4)$$

kde:

$M_{c,N} = 0,10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$; pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ se použije 6 % jeho plošné hmotnosti,

resp. $M_c \leq M_{c,N} = 0,50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$; pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ se použije 10 % jeho plošné hmotnosti,

Ve stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce mohla ohrozit její požadovanou funkci je kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce nepřipustná. Tedy:

$$M_c = 0 \quad (5)$$

Posouzení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce se provede vhodným výpočtním programem (např. TEPLO 2011 [3]).

Snížení kondenzace vodní páry uvnitř stěny, nebo její úplné vyloučení dosáhneme vložení vhodného typu parozábrany, kterou umístíme co nejbližší k vnitřnímu povrchu dodatečně provedené vnitřní stěny před tepelnou izolaci.

3.2 Vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem i odvodem vzduchu do interiéru

Zde je nevýhodou, že se vlhký vzduch přivádí zpět do místnosti. V tomto případě je nutné vždy posoudit mikroklima interiéru z hlediska jeho využívání. To proto, že je zde zvýšené riziko vzniku plísní oproti stavu před provedením sanace a nebezpečí přenosu zplodin jejich bujení do vnitřního prostředí.

Na sanované zdi se oseká omítka do výše 800 mm nad úroveň zvýšeného zavlhčení a vyškrábou se spáry do hloubky 20 mm. Pokud to soudržnost zbývající malty a únosnost zdiva dovoluje, je vhodné ponechat spáry ve zdivu proškabané, aby byla na stěně vytvořena co největší odpařovací plocha.

Návrh dutiny musí být doložen tepelně technickým posouzením, jehož obsah je principiálně stejný, jak je uvedeno v kap. 2. 1. Rozdíl bude pouze v tom, že při výpočtu součinitele prostupu tepla U neuvažujeme s vrstvou vzduchu a s předstěnou. Při výpočtu teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} a vnitřní kondenzace vodní páry pak předstěnu i vzduchovou mezeru do výpočtu zahrneme s tím, že vzduchovou mezeru uvažujeme jako uzavřenou.

3.3 Vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem i odvodem vzduchu do exteriéru

V tomto případě je nutno počítat s tepelnými ztrátami v důsledku ochlazování vnitřní předsazené stěny proudícím venkovním vzduchem. Tepelné ztráty zde budou nabývat menších hodnot než u dutiny s nasáváním vzduchu z interiéru (viz kap. 2. 4), přesto je nutné vnitřní předsazenou stěnu tepelně izolovat. Vzhledem k tomu, že mikroklima v interiéru není v tomto případě ovlivněno, je možno tento způsob doporučit.

Na sanované zdi se oseká omítka do výše 800 mm nad úroveň zvýšeného zavlhčení a vyškrábou se spáry do hloubky 20 mm. Pokud to soudržnost zbývající malty a únosnost zdiva dovoluje, je vhodné ponechat spáry ve zdivu proškrabané, aby byla na stěně vytvořena co největší odpařovací plocha.

Návrh dutiny musí být doložen tepelně technickým posouzením, které sestává z následujících částí:

- a) Posouzení hodnoty součinitele prostupu tepla U [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] vnitřní stěny.
- b) Posouzení teplotního faktoru v nitřního povrchu f_{Rsi} v rizikových místech
- c) Posouzení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce vnitřní stěny.
- d) Posouzení proudění vzduchu a kondenzace vodní páry ve vzduchové mezeře.
- e) Posouzení kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodové (sanované) zdi.

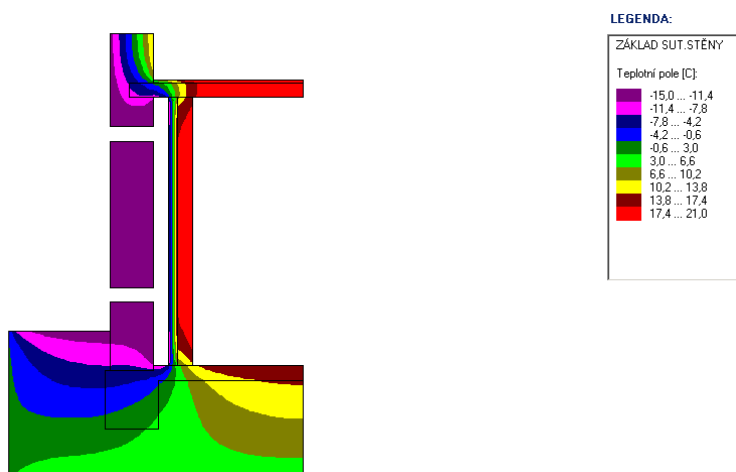
Podrobný popis částí tepelně technického posouzení uvedených v bodech a) až c) je uveden v kap. 2. 1. **Posouzení proudění vzduchu a možnosti kondenzace vodní páry** ve vzduchové mezeře i posouzení kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodové (sanované) zdi se provede vhodným výpočetním programem (např. MEZERA 2011 [5]). Tímto způsobem je možno je pak možno na základě analýzy několika variant navrhnout jak optimální tloušťku vzduchové mezery, tak také větrací otvory (jejich počet, velikost a plochu) tak, aby bylo zabráněno výskytu kondenzace, který zároveň svědčí o nedostatečném proudění vzduchu v mezeře, jenž je nutné pro požadované odvedení vodní páry.

Dno vzduchové dutiny je vhodné izolovat (např. pomocí EPS Perimetr, nebo extrudovaného polystyrénu). Tím se sníží negativní vliv venkovního vzduchu na základovou spáru odvlhčované zdi a na podlahu v sanované místnosti v zimním období. Rovněž je vhodné tepelně izolovat část odvlhčované zdi v dutině (např. do výše 200 mm).

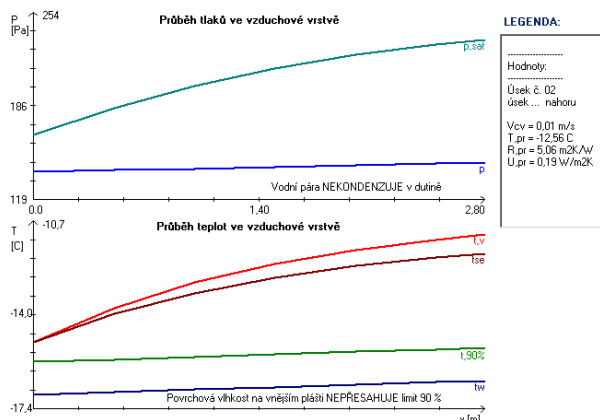
Podrobnou analýzu proudění vzduchu v dutině by bylo možno provést metodou CFD (computational fluid dynamics), například pomocí programu ANSYS – FLUENT [6]. A to obdobným způsobem, jak je pro vodorovné (podlahové) dutiny popsáno v [7].

Na obr. 5 je znázorněn příklad průběhu teplot u svislé dutiny odvětrávané s přívodem i odvodem vzduchu do exteriéru, bez tepelné izolace dna dutiny.

Na obr. 6 je pak znázorněna ukázka výsledků posouzení proudění vzduchu a kondenzace vodní páry ve vzduchové mezeře a posouzení kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodové zdi.



Obr. 5: Příklad průběhu teplot u konstrukcí tvořících svislou odvětrávanou dutinu s přívodem i odvodem vzduchu do exteriéru, bez tepelné izolace dna dutiny. Výstup z programu AREA 2011



Obr. 6: Ukázka výsledků posouzení vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem i odvodem vzduchu do exteriéru. Výstup z programu MEZERA 2011 [5].

3.4 Vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem vzduchu z interiéru a s odvodem do exteriéru

Tímto způsobem se sníží vlhkost vzduchu v interiéru. Problémem zde je, že v zimním období dochází ke zvýšeným tepelným ztrátám. Proto je třeba na nasávacích otvorech umístit uzavírací klapky, aby bylo možno tepelné ztráty alespoň částečně omezit. Pokud se však klapky nechají uzavřeny po delší dobu, je systém narušen. V letních měsících, pokud je teplota venkovního vzduchu vyšší než teplota vnitřního vzduchu, dochází k opačnému proudění vzduchu, tedy z exteriéru do interiéru. **Toto řešení je použitelné rovněž za určitých vhodných podmínek.** Na sanované zdi se oseká omítka do výše 800 mm nad úroveň zvýšeného zvlhčení a vyškrábou se spáry do hloubky 20 mm. Pokud to Pokud to soudržnost zbývající malty a únosnost zdiva dovoluje, je vhodné ponechat spáry ve zdivu proškrabané, aby byla na stěně vytvořena co největší odpařovací plocha.

Návrh dutiny musí být doložen tepelně technickým posouzením, které sestává, obdobně jako v případě vzduchové dutiny odvětrávané s přívodem i odvodem vzduchu do exteriéru (viz kap. 2. 3), z těchto částí:

- Posouzení teplotního faktoru v nitřního povrchu f_{Rsi} v rizikových místech
- Posouzení kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodové (sanované) zdi.
- Posouzení proudění vzduchu a kondenzace vodní páry ve vzduchové mezeře.

Podrobný popis jednotlivých částí tepelně technického posouzení je uveden výše.

LITERATURA

- [1] BALÍK, M. a kol. *Odvhlčování staveb*. 2. přepracované vydání. Grada Publishing, a. s., Praha, 2008. 307 stran. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [2] ČSN 73 0540 – 2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky (2011).
- [3] SVOBODA, Z. *TEPLO 2011*. Výpočtový program pro PC.
- [4] SVOBODA, Z. *AREA 2011*. Výpočtový program pro PC.
- [5] SVOBODA, Z. *MEZERA 2011*. Výpočtový program pro PC.
- [6] ANSYS – FLUENT. Výpočtový program pro PC.
- [7] SOLAŘ, J. & KALOUSEK, M. *Posouzení proudění vzduchu v podlahové vzduchové mezeře metodou CFD*. Tepelná ochrana budov č. 2/2008. ISSN 1213-0907.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, Katedra konstrukcí pozemních staveb, FAST, ČVUT v Praze.

Doc. Ing. František Kulhánek, CSc., Katedra konstrukcí pozemních staveb, FAST, ČVUT v Praze.

Vladislav KŘIVDA¹, Ivana MAHDALOVÁ²

PROBLEMATICKÉ ODBOČOVÁNÍ AUTOBUSŮ NA CHYBNĚ NAVRŽENÉ KŘÍŽOVATCE

PROBLEMATIC TURNING OF BUSES ON WRONGLY DESIGNED INTERSECTION

Abstrakt

Článek se zabývá problematikým odbočováním autobusů na vybrané křižovatce s využitím videoanalýzy konfliktních situací. Článek také popisuje nový přístup při členění a označování konfliktních situací a rovněž jeden z postupů při provádění videoanalýzy konfliktních situací při hodnocení nevhodně navržených stavebních prvků na křižovatkách.

Klíčová slova

Videoanalýza, konfliktní situace, křižovatka.

Abstract

The paper deals with problematic turning of buses on selected intersection with use of video analysis of conflict situations. This paper also describes a new attitude to division and marking of conflict situations and also one of the methods during video analysis of conflict situations by the evaluation of inappropriately designed building elements on intersections.

Keywords

Video Analysis, Conflict Situation, Intersection.

1 ÚVOD

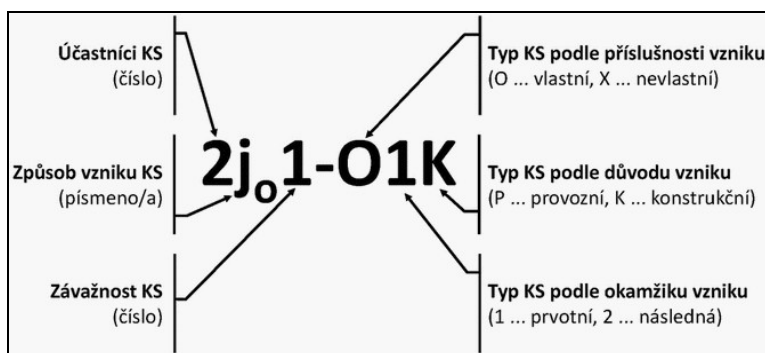
Každá pozemní komunikace, resp. její konstrukce musí splňovat přísná kritéria pro zachování bezpečného a plynulého provozu. Spolehlivost takové konstrukce je mj. ovlivněna zatížením a to jednak zatížením, které vytvářejí automobily svou hmotností (např. riziko tvorby vyjetých kolejí na vozovce) a jednak tzv. dopravním zatížením, reprezentovaným intenzitou dopravních proudů. Vysoké intenzity dopravy pak mohou vyvolávat nestandardní chování účastníků silniční dopravy a tím zvýšený počet nebezpečných situací. Tyto situace mohou vyústit v dopravní nehodu a je pak otázkou, zda se jí dalo či nedalo zabránit. K nehodě může dojít jednak vlivem nepozornosti řidiče (účastníka provozu) a jednak „chybnou infrastrukturou“ (např. nevhodně navržená pozemní komunikace, křižovatka, přechod pro chodce atp.), která zapříčiní špatné chování řidiče a následný problém, tj. například konfliktní situaci (skoronehodu) nebo přímo dopravní nehodu. Na vině však může být i závada na vozidle.

Konfliktní situace je taková situace, kdy vzniká pro některé účastníky silničního provozu větší než obvyklá míra nebezpečí. Lze říci, že konfliktní situace je potenciální nehodová situace

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.

a v nehodu buď vyústí, nebo ne [1]. Každá situace je označena klasifikačním symbolem, jehož inovovaná podoba pro potřeby analýzy nevhodně navržených prvků křižovatek má tvar podle obr. 1.



Obr. 1: Inovovaný klasifikační symbol pro označení konfliktní situace (KS)

První číslo označuje účastníka/y konfliktu, přičemž v níže uvedeném textu číslo 2 značí samostatné vozidlo a číslo 6 dvojici, resp. skupinu vozidel. Způsob vzniku konfliktu je označen písmenem (dle potřeby s indexem) – např. j_f = najetí vozidla do jiného řadícího pruhu, j_{so} = najetí vozidla na dopravní stín dopravního ostrůvku, j_o = jízda v blízkosti obrubníku (viz dále). Závažnost se označuje číslem, přičemž 1 = potenciální KS, 2 = KS bez násilné reakce, 3 = KS s ostrou reakcí a 4 = dopravní nehoda (podrobněji viz [1] a [2]).

Podle příslušnosti vzniku dané konfliktní situace pak byly situace rozděleny do dvou skupin (v závorce je uveden znak pro použití v klasifikačním symbolu) [2]:

- vlastní konfliktní situace (O) – konfliktní situace, které souvisí přímo s provozem na sledovaném místě, s jeho stavebním uspořádáním atp.,
- nevlastní konfliktní situace (X) – konfliktní situace, které nesouvisí přímo s provozem na sledovaném místě, s jeho stavebním uspořádáním atp. a vzniknou mimo sledované místo.

Další konfliktní situace vzniknou v důsledku jiné situace a samy o sobě by pravděpodobně nevznikly. Jako příklad si uveďme případ, kdy řidič prvního vozidla musí nečekaně výrazně zpomalit (např. před přechodem pro chodce, na který náhle vstoupí neopatrný chodec) a řidič druhého vozidla prudce zabrzdí za účelem zabránění střetu. Situace, do které se dostal řidič druhého vozidla, by se při absenci první situace (mezi prvním vozidlem a chodcem) zřejmě nestala. Podle okamžiku vzniku konfliktní situace je tedy dělíme na [2]:

- prvotní konfliktní situace (1) – konfliktní situace, které nejsou vyvolány jinou situací,
- následné konfliktní situace (2) – konfliktní situace, které jsou vyvolány jinou situací (zpravidla prvotní, nebo případně i jinou následnou situací).

Vzhledem k tomu, že důvod vzniku některých konfliktních situací není zapříčiněn pouze chybným chováním řidiče (resp. jiného účastníka provozu), ale na vzniku těchto situací nese svým způsobem vinu i např. stavební uspořádání sledovaného místa, bylo potřeba konfliktní situace rozdělit následujícím způsobem. Podle důvodu vzniku konfliktní situace je tedy nově dělíme na:

- provozní konfliktní situace (P) – konfliktní situace zapříčiněná pouze samotným řidičem (resp. jiným účastníkem silničního provozu),
- konstrukční konfliktní situace (K) – konfliktní situace zapříčiněná nejen samotným řidičem, ale také (mnohdy především) nevhodně navrženými stavebními prvky.

Provedená videoanalýza může sloužit projektantům dopravních staveb, aby se vyvarovali některých chybných návrhů při projektování křižovatek. Využijí je také auditoři bezpečnosti pozemních komunikací při bezpečnostních inspekcích, tj. při posuzování dopadů stavebních,

technických a provozních vlastností komunikace na bezpečnost silničního provozu při jejím užívání a vyhodnocení rizik, která plynou z vlastností komunikace pro účastníky silničního provozu (viz zákon č. 13/1997 o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů [3]).

Výsledky uvedené v tomto článku byly získány za finanční podpory výzkumného projektu [4] a jsou tedy originálem (další výsledky z tohoto projektu byly publikovány např. v [5] a [6]). Rovněž rozdělení konfliktních situací a sestavení klasifikačního symbolu je z větší části provedeno novým způsobem (částečně viz [2]).

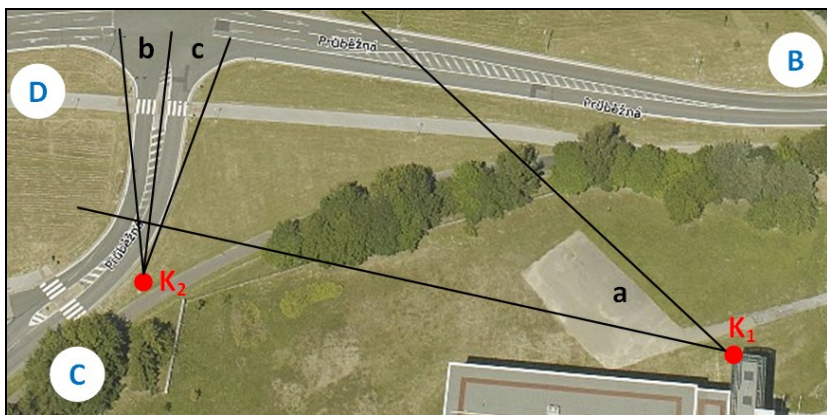
2 POPIS KŘÍŽOVATKY A UMÍSTĚNÍ VIDEOKAMER

Pro naše potřeby byla vybrána průsečná křižovatka v Ostravě-Porubě v blízkosti Fakulty stavební, VŠB-TU Ostrava *Průběžná – obratiště autobusů – parking Globus* (viz obr. 2). Na hlavní pozemní komunikaci jsou příslušné řadičí pruhy a na vedlejší komunikaci vedoucí k obratišti autobusů (rameno C) je umístěn ochranný ostrůvek pro podporu přecházení.



Obr. 2: Sledovaná křižovatka Průběžná – obratiště autobusů – parking Globus v Ostravě

Přesnější umístění kamer je znázorněno na obr. 3. Kamera K_1 („horní“ kamera) byla umístěna v 6. patře budovy Fakulty stavební (na proskleném schodišti) ve vzdálenosti cca 130 m od středu křižovatky (ilustrační záběr viz obr. 4-a). Kamera K_2 („dolní“ kamera) byla umístěna cca 35 m od přechodu pro chodce na rameni C, odkud byl relativně dobrý výhled na zaznamenávání poježdění vodicích proužků (čar), resp. obrubníků. Kamera byla dle potřeby natočena na levou část přechodu (viz ilustrační záběr na obr. 4-b), nebo na pravou část přechodu (viz ilustrační záběr na obr. 4-c).



Obr. 3: Umístění videokamer pro sledování konfliktních situací (a, b, c – viz obr. 4)



Obr. 4: Ilustrační záběry z videokamer na křižovatku: z kamery K₁ viz (a) a z kamery K₂ viz (b) a (c)

3 VYBRANÉ KONFLIKTNÍ SITUACE

Na sledované křižovatce se vyskytla řada konfliktních situací (dále také jako KS) a to jednak provozních KS (např. nedání přednosti v jízdě) a jednak konstrukčních KS (např. najetí k těsné blízkosti obrubníku nároží vlivem jeho nedostatečného poloměru, najetí do jiného řadícího pruhu pro zvládnutí bezpečného odbočovacího manévru).

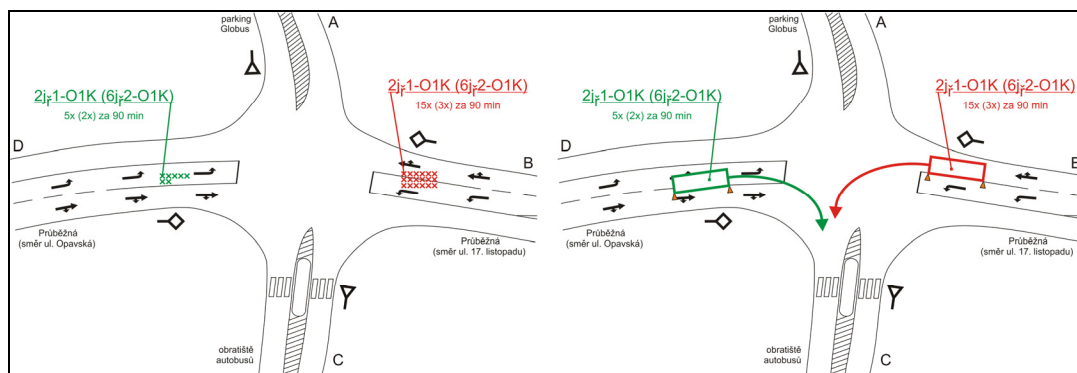
Některé konfliktní situace však byly do kategorie provozních nebo konstrukčních KS zařazeny podle toho, zda byly způsobeny chybnou jízdou samotného řidiče, nebo zda příčinou vzniku byly nevhodně navržené stavební prvky křižovatky. Například vjetí do protisměru řidičem osobního automobilu jedoucího např. z ramene A do B byla evidentně chyba řidiče a tudíž provozní KS. Vjetí do protisměru řidičem autobusu jedoucího např. z ramene C do B je způsobeno malým poloměrem nároží (kdy se řidič snaží nenajet zadním kolem na obrubník tohoto nároží) a jedná se tedy o konstrukční KS.

Vzhledem k omezenému rozsahu tohoto příspěvku se zaměříme pouze na popis vybraných konfliktních situací a to konkrétně těch, které vznikají při odbočení autobusů z ramene B, resp. D do ramene C. Jednalo se o KS s označením 2j_f1-O1K, resp. 6j_f2-O1K (jejich četnosti viz tab. 1) a s nimi související KS 2j_{so}1-O1K a 2j_o1-O1K.

Tab. 1: Četnosti konfliktních situací

Označení KS	Doba měření						SUMA
	13 ³⁰ - -13 ⁴⁵	13 ⁴⁵ - -14 ⁰⁰	14 ⁰⁰ - -14 ¹⁵	14 ¹⁵ - -14 ³⁰	14 ³⁰ - -14 ⁴⁵	14 ⁴⁵ - -15 ⁰⁰	
2j _f 1-O1K (B→C) (z toho 6j _f 2-O1K)	4 (1)	2 (1)	3	4	4 (1)	1	18 (3)
2j _f 1-O1K (D→C) (z toho 6j _f 2-O1K)	2	0	1	3 (2)	0	1	7 (2)

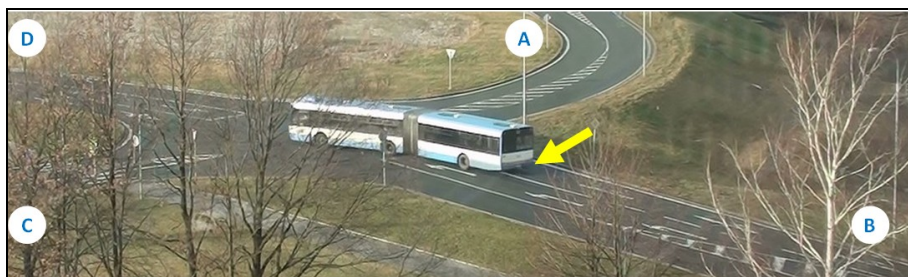
Při konfliktní situaci 2j_f1-O1K (resp. 6j_f2-O1K, kdy je omezen nebo ohrožen jiný účastník) je řidič při odbočení nucen si najet do vedlejšího řadícího pruhu (viz obr. 5).



Obr. 5: Schéma vzniku a lokalizace konfliktní situace 2j_f1-O1K (resp. 6j_f2-O1K)

Jak již bylo řečeno, jedná se o řidiče autobusů, kteří vjíždějí do ramene C (směrem k obratišti autobusů, kde je umístěna zastávka Opavská) a to:

- buď vlevo z ramene B do C (viz obr. 6 a 8), kdy si řidič najíždí do průběžného jízdního pruhu,
- nebo vpravo z ramene D do C (viz obr. 7 a 9), kdy si řidič najíždí do odbočovacího pruhu pro odbočení vlevo.



Obr. 6: Najetí autobusu do průběžného jízdního pruhu při odbočování vlevo (konfliktní situace $2j_r1-O1K$)



Obr. 7: Najetí autobusu do odbočovacího pruhu pro odbočování vlevo při odbočování vpravo (konfliktní situace $2j_r1-O1K$)

Důvod výše uvedeného počínání je ten, že řidiči autobusů mají problém vejít se do prostoru mezi ochranný ostrůvek a nároží (viz výjezd C na obr. 2). V případě jízdy z ramene B do C (levé odbočení) chybně najetá vozidla obvykle najedou na dopravní stín ochranného ostrůvku (tj. konfliktní situace $2j_{so}1-O1K$) a poté do těsné blízkosti obrubníku (tj. konfliktní situace $2j_o1-O1K$) – viz obr. 8. Vozidla jedoucí z ramene D do C (pravé odbočení) pak najíždějí v těsné blízkosti obrubníku nároží (tj. konfliktní situace $2j_o1-O1K$) – viz obr. 9. Tento způsob jízdy může navíc ohrozit i chodce nacházející se v blízkosti přechodu pro chodce, který je zde umístěn.

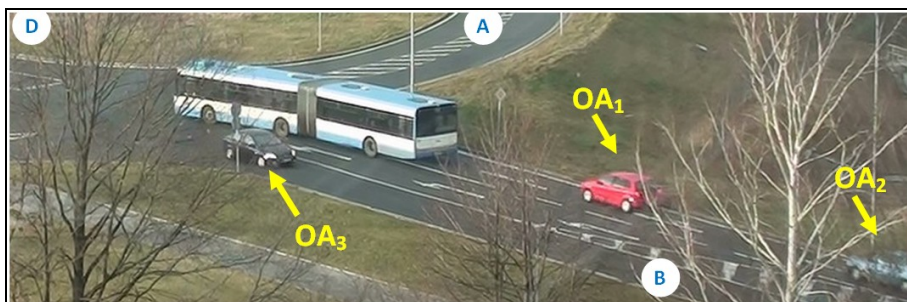


Obr. 8: Najetí autobusu na dopravní stín (konfliktní situace $2j_{so}1-O1K$), resp. do těsné blízkosti obrubníku ochranného ostrůvku (konfliktní situace $2j_o1-O1K$); levá fotografie ukazuje najetí na vodící čáru levým kolem druhé nápravy, pravá fotografie pak třetí nápravy stejného autobusu



Obr. 9: Najetí autobusu do těsné blízkosti obrubníku nároží (číslo 1; konfliktní situace $2j_o1-O1K$);
2 ... najetí levým obrysem vozidla nad vodící proužek

Lze konstatovat, že řidiči, aby zabránili situacím $2j_o1-O1K$ a $2j_{so}1-O1K$ jsou nuceni způsobit situaci $2j_r1-O1K$, resp. $6j_r2-O1K$ – a naopak. Najížděním do chybných řadících pruhů však mohou být v jízdě omezeni či ohroženi jiní účastníci provozu (tj. situace $6j_r2-O1K$ – viz obr. 10).



Obr. 10: Omezení v jízdě ostatních vozidel (OA_1 a OA_2) autobusem odbočujícím vlevo (dává přednost v jízdě vozidlu OA_3) a najížděním do průběžného jízdního pruhu (konfliktní situace $6j_r2-O1K$)

Dále je nutno také podotknout, že řidiči autobusů odbočujících vpravo (z D do C) ve snaze nenajet na obrubník nároží pravými koly, mohou naopak najet na obrubník ochranného ostrůvku levými koly (resp. najedou svým obrysem minimálně nad vodící proužek – viz obr. 9 šipka číslo 2). Totéž platí analogicky pro řidiče autobusů odbočujících vlevo (z B do C).

Nároží mezi vjezdem D a výjezdem C nenese žádné známky narušení, což je pravděpodobně dáno tím, že si řidiči dostatečně najíždějí. Obrubník ochranného ostrůvku na rameni C je však porušen, jak ukazuje obr. 11.



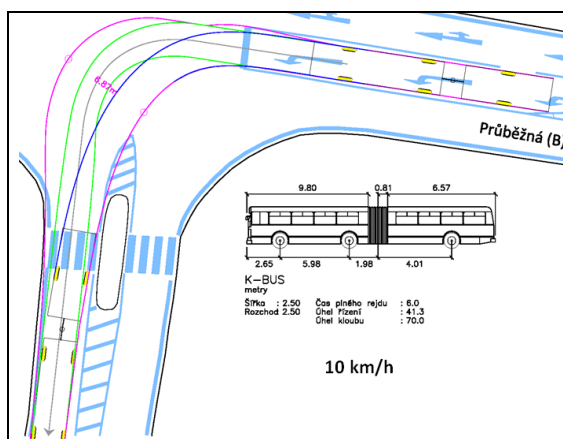
Obr. 11: Porušený obrubník ochranného ostrůvku na rameni C

4 VLEČNÉ KŘIVKY

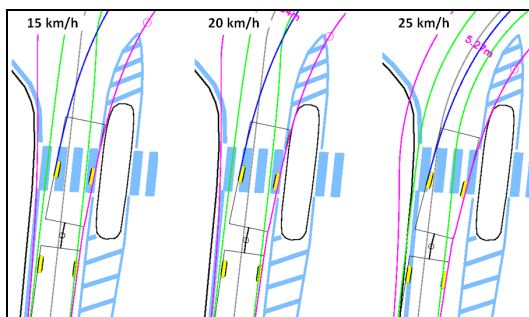
Podívejme se nyní na problematiku *vlečných křivek*, které slouží pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací. K tomu lze použít příslušné technické podmínky (TP 171 [7]) nebo speciální software AutoTURN. Na obrázcích v dalším textu je pro znázornění vlečných křivek, které opisují přední kola použito zelené barvy, pro zadní kola tmavě modré barvy a pro karoserii vozidla fialové barvy. Pro znázornění trasy je použito šedé barvy. Je samozřejmé, že se jedná pouze o teoretické trajektorie pohybu vozidel, ve skutečnosti řidič během manévru mění rychlost vozidla, natočení volantu a průjezd daným místem závisí také (a mnohdy především) na znalostech tohoto místa a řidičových zkušenostech. Pro simulaci byla použita ta vozidla, která byla pro daný směr vysledována jako nejrozměrnější.

4.1 Odbočení z ramene B do C

Nejprve si popíšeme problém *levého odbočení z ul. Průběžná (B) do ulice k obratišti autobusů (rameno C)*, kdy kloubový autobus použije odbočovací pruh pro odbočení vlevo. Na obr. 12 vidíme, že i při nízké rychlosti 10 km/h má tento typ vozidla relativně problém opustit křižovatku výjezdem C, kde je ochranný ostrůvek. Nicméně ani předními, ani zadními koly nenajede na obrubník, ale pouze na dopravní stín ochranného ostrůvku. Stejnou situaci, ale při vyšších rychlostech (15, 20 a 25 km/h) ukazují výřezy na obr. 13. Při rychlosti 20 km/h již dochází k jízdě těsně u obrubníku ochranného ostrůvku, při rychlosti 25 km/h a jízdě těsně u obrubníku ochranného ostrůvku pak autobus svým pravým kolem najíždí na obrubník nároží. Za povšimnutí stojí také to, že pravý zadní roh karoserie autobusu vybočuje do strany a může tím také ohrozit případné za ním jedoucí vozidlo.

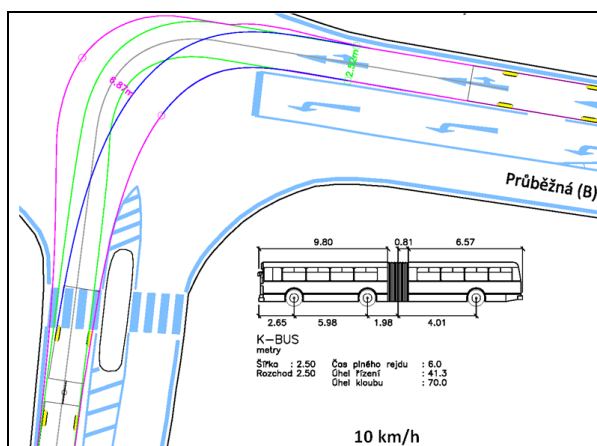


Obr. 12: Vlečné křivky (AutoTURN) při odbočení z ramene B do ramene C s využitím odbočovacího pruhu pro odbočení vlevo při rychlosti 10 km/h

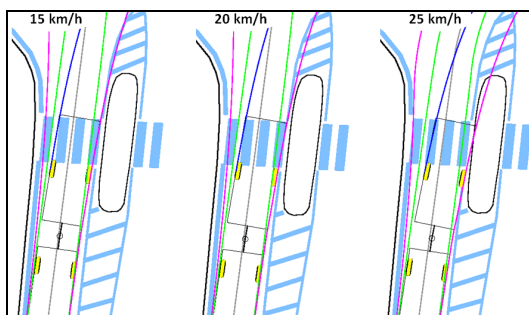


Obr. 13: Vlečné křivky (AutoTURN) při odbočení z ramene B do ramene C s využitím odbočovacího pruhu pro odbočení vlevo při rychlostech 15, 20 a 25 km/h

Situaci, kdy kloubový autobus nepoužije odbočovací pruh pro odbočení vlevo, ale vedlejší řadící pruh pro jízdu rovně a vpravo, ukazuje obr. 14, kde je znázorněna jízda při rychlosti 10 km/h. Při této rychlosti kloubový autobus nenajede žádným svým kolem ani na vodičí čáru, ani na dopravní stín (i když s minimální, resp. nulovou rezervou). Při vyšších rychlostech je situace logicky problematictější, jak ukazují detaily na obr. 15.



Obr. 14: Vlečné křivky (AutoTURN) při odbočení z ramene B do ramene C bez využití odbočovacího pruhu pro odbočení vlevo při rychlosti 10 km/h



Obr. 15: Vlečné křivky (AutoTURN) při odbočení z ramene B do ramene C bez využití odbočovacího pruhu pro odbočení vlevo při rychlostech 15, 20 a 25 km/h

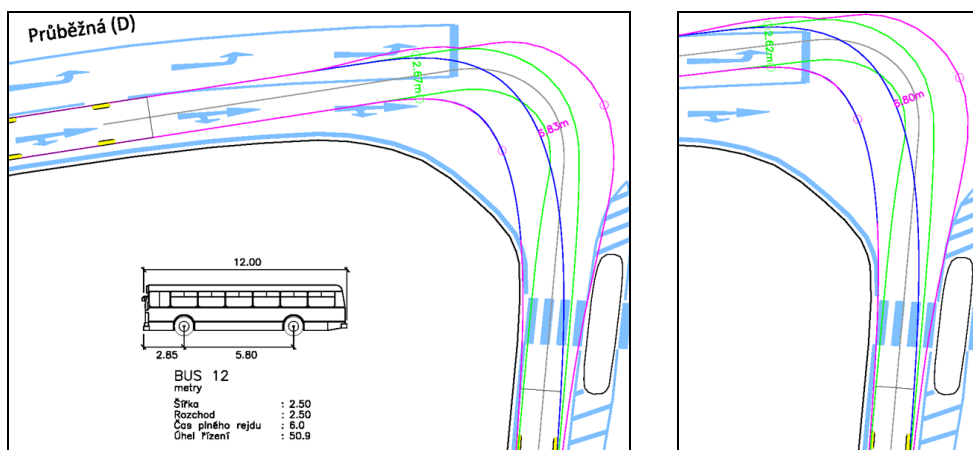
4.2 Odbočení z ramene D do C

Popsali jsme si tedy problematiku jízdy do výjezdu C z ramene B. Nyní se podíváme na *pravé odbočení z ul. Průběžné (rameno D) do ulice k obrátění autobusů (rameno C)*. Zde autobusy (vyskytují se zde pouze 12-ti metrové vozidla), aby nenajely na pravé nároží, resp. aby nenajely na ochranný ostrůvek, si musí najet do vedlejšího řadícího pruhu určeného pro odbočení vlevo. Na obr. 16 (vlevo) je vidět situace, kdy si autobus do tohoto pruhu najede pouze částečně, na obr. 16 (vpravo) pak celou svou šířkou. Jak ukazují tyto obrázky, již při rychlosti 10 km/h je tento manévr problematický.

3 ZÁVĚR

Jak úspěšně řešit konfliktní situace v silničním provozu, je otázka velmi složitá. Lze říci, že podstatná část konfliktů je způsobena nezodpovědností řidičů (nebo jiných účastníků provozu) – tzv. konfliktní situace provozní. Jsou však i takové konfliktní situace, za kterou řidič přímo odpovědný není, ale jsou způsobeny chybnou infrastrukturou (tzv. konfliktní situace konstrukční). V obou případech může být zcela zásadní využití videoaparatury a to pro možnost zastavení, zpomalení

či zopakování dané sekvence videozáznamu z důvodu přesného a objektivního posouzení sledovaného konfliktu. Sledování konfliktních situací v silničním provozu má jistě svůj opodstatněný význam. Vždy je lépe problémům (tj. zde dopravním nehodám) předcházet, než poté řešit jejich následky, které mohou být a obvykle bývají poměrně závažného charakteru (úmrtí, zranění, hmotná škoda).



Obr. 16: Vlečné křivky (AutoTURN) při odbočení z ramene D do ramene C s částečným (vlevo) a plným (vpravo) njetím do vedlejšího řadícího pruhu při rychlosti 10 km/h

Předložený článek přináší jeden z nových pohledů na využití videanalýzy konfliktních situací a soustřeďuje se na nevhodně navržené stavební prvky na vybraných křižovatkách. Je logické, že k poškození stavebních prvků křižovatek nemusí docházet pravidelně, ale že mohlo dojít k ojedinělé události (například k dopravní nehodě, k poškození při zimní údržbě atp.). Zda k poškození dochází pravidelně, může odhalit právě videanalýza konfliktních situací.

Videanalýzu konfliktních situací lze rovněž velmi dobře využít jako prokazatelný nástroj pro bezpečnostní inspekci pozemních komunikací podle zákona č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů [3]. Výhodné využití této metodiky např. při analýze nevhodně navržených stavebních prvků na okružních křižovatkách ukazují výsledky analýz, které byly uvedeny v [8] a [9].

Jako vhodné se také ukázalo použití speciálního software AutoTURN pro ověřování průjezdnosti danou křižovatkou pomocí vlečných křivek. Lze konstatovat, že problémy, které se prokázaly použitím programu AutoTURN, byly rovněž potvrzeny při videanalýze konfliktních situací. Z toho plyne, že oba nástroje by měly být používány společně. Pokud by v projektu bylo korektně provedeno ověření průjezdu vozidel vlečnými křivkami, dalo by se předcházet realizaci nevhodného stavebního uspořádání křižovatek. Je však nutné si uvědomit, že při použití programu AutoTURN (příp. alternativně TP 171 [7]) se jedná pouze o teoretické trajektorie pohybu vozidel. V reálném provozu řidič vozidla během manévru mění rychlost jízdy, natočení volantu a průjezd daným místem závisí mnohdy především na znalostech tohoto místa a řidičových zkušenostech.

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 [4]

LITERATURA

- [1] FOLPRECHT, J. & KŘIVDA, V. *Organizace a řízení dopravy I*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006, 158 s. ISBN 80-248-1030-1
- [2] KŘIVDA, V. Video-Analysis of Conflict Situations on Selected Roundabouts in the Czech Republic. *Communications*. Žilina: University of Žilina, 2011, roč. 13, č. 3, s. 77-82. ISSN 1335-4205.
- [3] Zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1997
- [4] *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.
- [5] MAHDALOVÁ, I. & SEIDLER, T. & CIHLÁŘOVÁ, D. Vliv geometrie okružní křižovatky na její bezpečnost. *Sborník vědeckých prací, řada stavební*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, roč. 10, č. 1, s. 109-116. ISSN 1213-1962; ISBN 978-80-248-2332-4.
- [6] MAHDALOVÁ, I. & KŘIVDA, V. Analýza dopravní nehodovosti a konfliktních situací na vybraných okružních křižovatkách v ČR. *Silniční obzor*. Praha: Česká silniční společnost, 2011, roč. 72, č. 11, s. 326-329. ISSN 0322-7154.
- [7] *TP 171 Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací: Technické podmínky*. Brno: CDV Brno, 2005. ISBN 80-86502-2-14-7.
- [8] KŘIVDA, V. & MAHDALOVÁ, I. Využití videoanalýzy konfliktních situací při analýze nevhodně navržených stavebních prvků na okružních křižovatkách. *Sborník vědeckých prací, řada stavební*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011, roč. 11, č. 2, s. 209-216. ISSN 1213-1962; ISBN 978-80-248-2332-4.
- [9] KŘIVDA, V. Analýza konfliktních situací na pětiramenné okružní křižovatce v Kolíně. *Sborník vědeckých prací, řada stavební*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011, roč. 11, č. 1, s. 187-196. ISSN 1213-1962; ISBN 978-80-248-2332-4.

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 Bratislava.

Martin KREJSA¹

**PRAVDĚPODOBNOSTNÍ VÝPOČET ŠÍŘENÍ ÚNAVOVÉ TRHLINY
S VYUŽITÍM PROGRAMU FCPROBCALC**

**PROBABILISTIC CALCULATION OF FATIGUE CRACK PROGRESSION
USING FCPROBCALC CODE**

Abstrakt

Príspevek je zaměřen na jeden z možných způsobů posouzení spolehlivosti cyklicky namáhané ocelové konstrukce s ohledem na vznik únavových trhlin z okraje a povrchu, které vede k návrhu systému prohlídek konstrukčních detailů náchylných na únavové poškození. Pro řešení pravděpodobnostní úlohy byla použita nově vyvíjená metoda Přímého Optimalizovaného Pravděpodobnostního Výpočtu (zkráceně POPV), implementovaná do programu FCProbCalc.

Klíčová slova

Přímý Optimalizovaný Pravděpodobnostní výpočet, POPV, funkce spolehlivosti, pravděpodobnost poruchy, šíření únavové trhliny, prohlídka konstrukce, náhodná proměnná.

Abstract

The paper gives examples of the probabilistic assessment of a steel cyclic loaded structure. Fatigue progression of the cracks from the edge and from the surface is used as a basis for proposing a system of inspections of details which tend to be damaged by fatigue. The newly developed method Direct Optimized Probabilistic Calculation (DOProC method) was used for solution. The method was applied in FCProbCalc code.

Keywords

Direct Optimized Probabilistic Calculation, DOProC, Safety Margin, Probability of Failure, Fatigue Crack Progression, Inspection of Structure, Random Variable.

1 ÚVOD

V současné době se pro návrh a posuzování spolehlivosti prvků a systémů nosných konstrukcí s předepsanou úrovní spolehlivosti používá množství výpočetních postupů, které vycházejí z teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky. Jejich vývoj začíná v poslední době značný vzestup. Metody označované jako pravděpodobnostní umožňují provádět analýzu rezervy spolehlivosti definované výpočetním modelem, u něhož mají alespoň některé vstupní veličiny náhodný charakter. Tyto výpočetní postupy výrazně přispívají ke kvalitativně vyšší úrovni posudku spolehlivosti a zajištění bezpečnosti uživatelů navrhovaného objektu.

Pravděpodobnostní způsob posuzování a navrhování konstrukcí do běžné projekční praxe teprve proniká. Předpokladem jeho uplatnění je zejména dostatečná datová základna vstupních veličin včetně praktických zkušeností, neboť celou řadu vstupních údajů nelze opírat pouze o modelování a měření v laboratoři (například v geotechnice, viz [4]). Uvedené výpočetní postupy se

¹ Doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 303, e-mail: martin.krejsa@vsb.cz .

využívají zejména při návrhu nosných systémů pozemních a inženýrských staveb, u nichž lze mj. zohlednit i degradační procesy v konstrukci [8, 13]. Lze u nich provádět tzv. Performance-Based Design vedoucí k návrhu stavebních objektů s ohledem na jejich užité vlastnosti, zejména na jejich trvanlivost, požární odolnost, izolační schopnosti a seismickou odolnost [9]. Pravděpodobnostní přístup nachází své uplatnění i v rizikovém inženýrství [14]. Vyvíjí se rovněž stochastické modely interakce stavebních objektů s podloží, příp. s nadloží tunelů [17], a rozpracovávají se postupy citlivostní analýzy vstupních náhodných veličin [7].

Článek je zaměřen na využití nově vyvíjené pravděpodobnostní metody Přímého Optimalizovaného Pravděpodobnostního Výpočtu (dále jen POPV), která již byla teoreticky podrobně popsána v řadě publikací [3, 21] a aplikovaná např. v softwaru ProbCalc [2], resp. Anchor [4]. Metoda POPV je určena pro řešení pravděpodobnostních úloh, u nichž mají některé vstupní veličiny náhodný charakter a lze je tedy vyjádřit stochasticky neparametrickým (empirickým) případně parametrickým rozdělením. Hlavní uplatnění metody POPV spočívá zejména v oblasti pravděpodobnostního posuzování spolehlivosti nosných konstrukcí. Metodu lze využít také pro pravděpodobnostní navrhování prvků konstrukcí s předepsanou úrovní spolehlivosti. V řadě případů se jedná o velmi efektivní způsob výpočtu s přesným odhadem výsledných pravděpodobností, který je zatížen pouze numerickou chybou a chybou vyplývající z diskretizace vstupních a výsledných veličin. Nevýhodou je značný strojový čas výpočtu u úloh s větším množstvím náhodných veličin, diskretizovaných větším počtem intervalů (tříd). Řešením pak bývá použití tzv. optimalizačních technik, které umožňují výrazně snížit strojový čas výpočtu při zachování korektnosti řešení [3].

Jednou z oblastí, kde byla metoda POPV úspěšně aplikovaná, souvisí s pravděpodobnostním výpočtem šíření únavových trhlin v cyklicky namáhaných ocelových konstrukcích a mostech s využitím programu FCProbCalc [12], který umožňuje efektivně a operativně sledovat vývoj únavového poškození sledované konstrukce, stanovit časy inspekčních prohlídek a zajistit tak její provozuschopnost z hlediska únavového poškození. Zpracovaná metodika i její aplikace může výrazně zkvalitnit odhad nákladů vložených do údržby cyklicky namáhaných konstrukcí a mostů.

2 VYUŽITÍ METODY POPV K VÝPOČTU ŠÍŘENÍ ÚNAVOVÝCH TRHLIN

Spolehlivost nosné konstrukce, namáhané proměnným zatížením, je výrazně ovlivněna degradačními účinky, způsobenými zejména únavou základního materiálu. Jednou z alternativ, jak lze tyto vady a materiálové defekty podchytit, je lineární lomová mechanika, která je do problematiky návrhu nosných stavebních konstrukcí postupně přebírána a upravována [1]. Pro popis růstu trhliny se v případě metody lineárně pružné lomové mechaniky [6] často používá Paris-Erdoganova rovnice, která definuje vztah mezi rychlostí šíření trhliny $\frac{da}{dN}$ a rozkmitem faktoru intenzity napětí ΔK v čele trhliny:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot \Delta K^m \quad (1)$$

kde C a m jsou materiálové konstanty, a je rozměr (délka) trhliny a N je počet zatěžovacích cyklů. Předpokladem pro stabilní šíření únavové trhliny je existence iniciační trhliny a_0 v konstrukčním detailu, náchylném na vznik únavového poškození.

Výpočetní postupy sledování rychlosti růstu únavové trhliny založené na deterministickém pojetí jsou postupně doplňovány použitím pravděpodobnostních přístupů, které zohledňují nejistoty při stanovení vstupních proměnných veličin. Úpravou rovnice (1) a zavedením vztahu mezi rozkmity napětí a faktorem intenzity napětí, což je podrobně popsáno např. v [10], pak lze dospět k akumulaci účinků zatížení:

$$S = \int_{N_0}^N C \cdot \Delta \sigma^m \cdot dN = C \cdot \Delta \sigma^m \cdot (N - N_0) , \quad (2)$$

kde N je celkový počet rozkmitů špiček napětí $\Delta\sigma$ a N_0 představuje počet rozkmitů v čase inicializace únavové trhliny (většinou je roven nule), i k náhodně proměnné odolnosti konstrukce R :

$$R_{(a_1)} = \int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{(\sqrt{\pi \cdot a \cdot F_{(a)}})^m}, \quad (3)$$

kde $F_{(a)}$ je kalibrační funkce popisující průběh šíření únavové trhliny (např. z okraje či povrchu, [16]) a a_1 konečná délka únavové trhliny (může být rovna a_d - velikost zaměřitelné únavové trhliny, nebo a_{ac} - rozměr přípustné únavové trhliny, určený na základě pevnostních kritérií a velikosti oslabené průřezové plochy nosného prvku).

Znalost účinků zatížení S i odolnosti konstrukce R umožňuje určit i funkci spolehlivosti a následně i pravděpodobnost poruchy P_f . Detailní popis teoretické podstaty pravděpodobnostního řešení šíření únavové trhliny byl v minulosti publikován např. v [10, 20, 22, 23]. Souvisí zejména s přesným definováním náhodných jevů, které mohou v konstrukci nastat v libovolném čase „ t “ její životnosti:

- **Jev $U_{(t)}$:** V čase „ t “ nebyla zjištěna žádná únavová trhlina, takže velikost únavové trhliny $a_{(t)}$ ještě nedosáhla měřitelnou velikost a_d (detectable), takže platí:

$$a_{(t)} < a_d, \quad (4)$$

- **Jev $D_{(t)}$:** V čase „ t “ byla zjištěna únavová trhlina, jejíž velikost $a_{(t)}$ ale zatím nedosáhla přípustnou velikost a_{ac} (acceptable), takže platí:

$$a_d \leq a_{(t)} < a_{ac}, \quad (5)$$

- **Jev $F_{(t)}$:** V čase „ t “ byla zjištěna porucha, neboť velikost únavové trhliny $a_{(t)}$ dosáhla přípustnou velikost a_{ac} , takže platí:

$$a_{(t)} \geq a_{ac}. \quad (6)$$

Určení pravděpodobností těchto tří jevů U , D a F vede k stanovení systému kontrol posuzované konstrukce. Vzhledem k nejistotě, která souvisí s předpokládaným rozměrem iniciační trhliny, ale i s dalšími nepřesnostmi, které vstupují do pravděpodobnostního výpočtu sledování růstu únavové trhliny, je významná zejména cílená, časově stanovená kontrola velikosti už zaměřitelných trhlín ($a > a_d$).

Stanovení doby první prohlídky konstrukce t_1 , zaměřené na únavové poškození v konstrukčních detailech nosného systému nejvíce náchylných na únavové poškození (např. v místech s největší koncentrací napětí), souvisí zejména s vypočteným přípustným rozměrem únavové trhliny a s určením pravděpodobnosti jevu F , která v době určované první prohlídky konstrukce překročí předepsanou návrhovou pravděpodobnost P_d . Analýza výsledků kontroly pak při nezjištění únavových trhlín během prohlídky vede k podmíněné pravděpodobnosti jejich vzniku, kterou lze s využitím věty o úplné pravděpodobnosti (blíže viz [11]) vyjádřit:

$$P(F_{(T)}|U_{(t_1)}) = \frac{P(F_{(T)}) - P(F_{(t_1)}) - P(D_{(t_1)})P(F_{(T)}|D_{(t_1)})}{P(U_{(t_1)})}, \quad (7)$$

kde $T > t_1$. Pokud pravděpodobnost poruchy P_f , tedy pravděpodobnost jevu F , dosáhne předepsanou návrhovou hodnotu P_d , je navržena další prohlídka, zaměřená na zjištění únavové trhliny v příslušném konstrukčním prvku. Výsledkem prohlídky může být opět jeden ze tří uvedených jevů U , D nebo F s odpovídající pravděpodobností. Celý výpočet lze tímto způsobem opakovat za účelem správného načasování dalších prohlídek konstrukce. Problematika již byla po teoretické stránce publikovaná v [5, 15, 18]. S využitím softwaru ProbCalc [2] pak bylo provedeno několik pravděpodobnostních studií, zaměřených na určení zmiňovaného systému kontrol na stávající mostní konstrukci [11].

Program ProbCalc [2] je určen, podobně jako např. software Nessus [19], k pravděpodobnostním úlohám a posudkům spolehlivosti s možností univerzálního definování výpočetního modelu. Pro specificky laděné pravděpodobnostní úlohy, jako je např. pravděpodobnostní výpočet šíření únavových trhlin, jsou však díky své obecnosti méně vhodné a uživatelsky značně náročné.

3 PRAVDĚPODOBNOSTNÍ VÝPOČET ŠÍŘENÍ ÚNAVOVÝCH TRHLIN S VYUŽITÍM PROGRAMU FCPRBOCALC

S využitím výše popsaných postupů byla vytvořena softwarová aplikace FCProbCalc (zkratka Fatigue Crack Probability Calculation - [12], viz obrázek 1), která v uživatelsky příjemném prostředí umožňuje provést pravděpodobnostní výpočet šíření únavových trhlin z okraje a povrchu vedoucí k určení doby první prohlídky zaměřené na únavové poškození konstrukce. Analýza výsledků prohlídky konstrukce pak při nezjištění únavových trhlin vede k podmíněné pravděpodobnosti jejich vzniku (7) a určení času následných prohlídek.

Program FCProbCalc umožňuje potřebné vstupní veličiny vyjádřit deterministicky nebo stochasticky s využitím neparametrických (empirických) či parametrických rozdělení pravděpodobnosti (viz obrázek 1). Pro zadaný časový úsek pak lze stanovit účinek zatížení S podle (2), odolnosti konstrukce $R(a_d)$ a $R(a_{ac})$ podle (3), ale i pravděpodobnosti elementárních jevů U , D a F , definovaných vztahy (4) až (6), které jsou výchozím pokladem pro stanovení času prohlídky.

The screenshot shows the 'Pravděpodobnostní výpočet šíření únavových trhlin v tažené pásnici cyklicky namáhaných konstrukcí (Verze 1.2.1.0)' window. It has three tabs: 'Funkce', 'Nastavení', and 'Nápověda'. The 'Nastavení' tab is active, showing various input fields and a table of parameters.

Vstupní údaje:

- Šíření únavových trhlin z: povrchu
- Počet roků n: 0 / 1 / 150
- Návrhová pravděpodobnost pd: 2.277E-2
- Šířka tažené pásnice bf [mm]: 400
- Materiálová konstanta C: 2.2E-13
- Tloušťka tažené pásnice t [mm]: 25
- Materiálová konstanta m: 3
- Parametr epsilon pro omezení parametrického histogramu: 1E-8
- N intervalů: 100

Parametrické / Prvotní data:

Parametrické rozdělení	Mi	Sigma	N int
Parametricky	30	3	100
Parametricky	1E6	1E5	100
Parametricky	280	28	100
Parametricky	200	20	100
Parametricky	0.2	0.05	100
Parametricky	10	0.6	100

Other fields include: Rozkmit špišek napětí Delta S [MPa], Celkový počet rozkmitů za 1 rok, Mez kluzu materiálu Fy [MPa], Nominální napětí v tažené pásnici Sigma [MPa], Počáteční velikost trhliny a0 [mm], and Nejmenší měřitelný rozměr trhliny ad [mm]. A 'Vypočet' button is at the bottom right.

Obr. 1: Pracovní plocha programu FCProbCalc pro zadání vstupních veličin

Výpočet odolnosti konstrukce R podle vztahu (3) lze v programu FCProbCalc prozatím provést pěti způsoby numerické integrace. K dispozici jsou:

- **Lichoběžníková metoda**, u níž lze volit počet diferencí n (přednastaveno $n = 1000$),
- **Simpsonova metoda**, u které lze rovněž volit počet diferencí n (přednastaveno $n = 1000$),
- **Rombergova metoda** s možností volby parametru n (přednastaveno $n = 10$),
- **Adaptivní metoda**, u níž se zadává tolerance nepřesnosti tol_0 (přednastaveno $tol_0 = 1.10^{-4}$),
- **Gausova kvadratura** (pětibodová), přičemž se vzhledem k průběhu integrované funkce řešený interval a_0 až a_d , resp. a_{ac} rozdělí na tři samostatně integrované subintervaly v relativně vyjádřeném rozsahu 0 až 0,01; 0,01 až 0,1 a 0,1 až 1.

Dalšími volitelnými veličinami, které ovlivňují průběh pravděpodobnostního výpočtu, je počet intervalů (tříd) N každé vstupní veličiny a parametr ε , ovlivňující způsob omezení histogramů

s parametrickým rozdělením pravděpodobnosti (přednastavena hodnota $\varepsilon = 1.10^{-8}$, rozdělení se „usekne“ v bodě, kde je pravděpodobnost rovna ε).

Při srovnávacím pravděpodobnostním výpočtu byla programem FCProbCalc proveden posudek dálničního ocelobetonového mostu z [11] v místě napojení příčniku na podélník. Převzaté vstupní veličiny byly přitom vyjádřeny deterministicky i stochasticky (viz tab. 1 a 2). Směrodatné odchylky prvních čtyř náhodných veličin v tab. 1 vychází ze zvoleného variačního koeficientu 10%, parametry v případě velikosti iniciační trhliny a_0 a trhliny měřitelné a_d vychází z [22]. Požadovaná spolehlivost byla vyjádřena indexem spolehlivosti $\beta=2$, jehož hodnota odpovídá návrhové pravděpodobnosti poruchovosti $P_d = 0,02277$. Při výpočtu byla použita adaptivní metoda numerické integrace s parametrem $tol_0 = 1.10^{-4}$, počtem intervalů vstupních veličin $N = 100$ a parametrem $\varepsilon = 1.10^{-8}$. Výpočet byl proveden pro únavové trhliny šířící se z okraje i povrchu a směřoval k určení prohlídek posuzované mostní konstrukce.

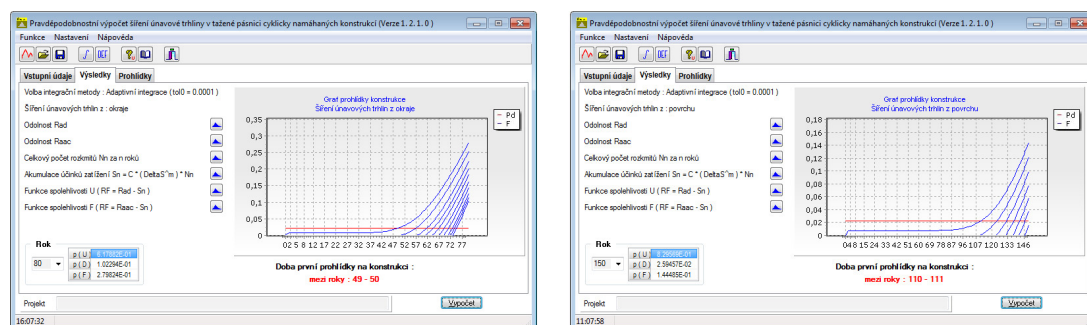
Tab. 1: Přehled variabilních vstupních veličin vyjádřených histogramem s parametrickým rozdělením pravděpodobnosti

Veličina	Parametrické rozdělení		
	Typ	Parametry	
		Střední hodnota	Směrodatná odchylka
Rozkmit špiček napětí $\Delta\sigma$ [MPa]	Normální	30	3
Počet rozkmitů špiček napětí za jeden rok N [-]	Normální	10^6	10^5
Mez kluzu materiálu f_y [MPa]	Lognormální	280	28
Nominální napětí v pásnici σ [MPa]	Normální	200	20
Počáteční velikost trhliny a_0 [mm]	Lognormální	0,2	0,05
Nejmenší měřitelný rozměr trhliny a_d [mm]	Normální	10	0,6

Tab. 2: Přehled vstupních veličin vyjádřených deterministicky

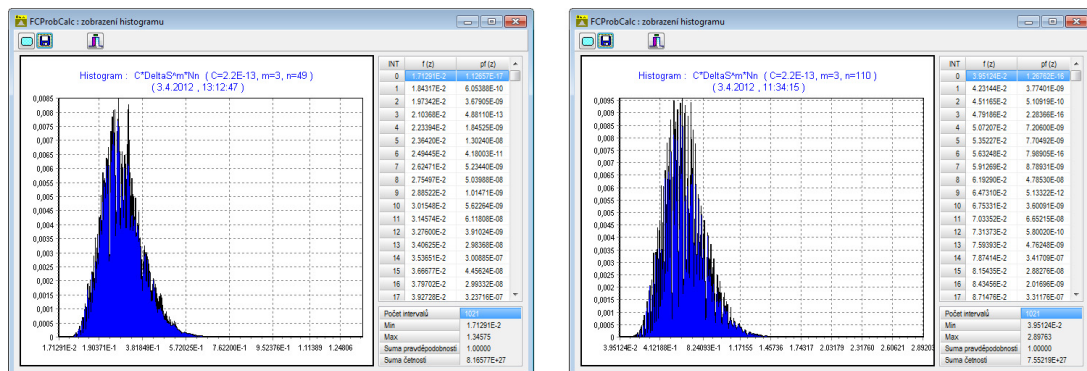
Veličina	Hodnota
Materiálová konstanta m	3
Materiálová konstanta C	$2,2 \cdot 10^{-13}$
Šířka pásnice b_f [mm]	400
Tloušťka pásnice t_f [mm]	25
Návrhová pravděpodobnost poruchy P_d	0,02277

Na obrázku 2 jsou uvedeny ukázky pracovní plochy programu FCProbCalc, která obsahuje ikony pro zobrazení dílčích výsledných veličin, graf se závislosti pravděpodobnosti poruchy P_f na letech provozu konstrukce i vypočtený čas první prohlídky.

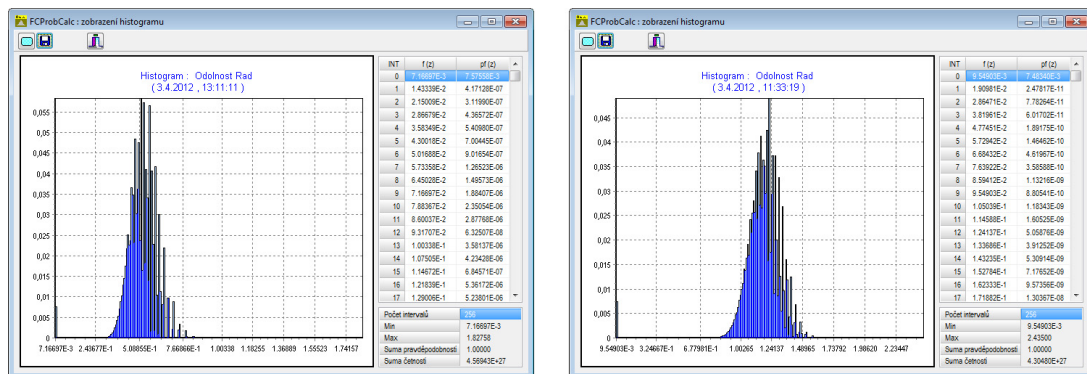


Obr. 2: Pracovní plocha program FCProbCalc se zobrazenými výsledky pravděpodobnostního výpočtu šíření únavové trhliny z okraje (vlevo) a z povrchu (vpravo)

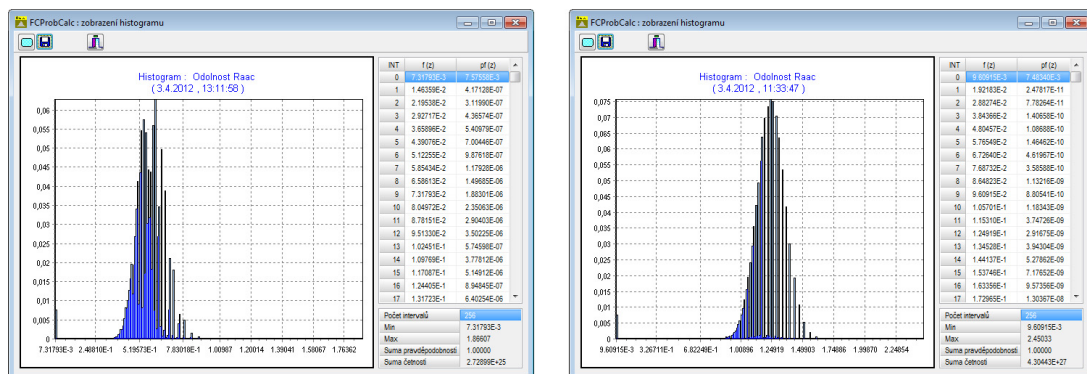
Na ukázkou jsou na obrázcích 3 až 5 uvedeny výsledné histogramy pro účinky zatížení S v dobách první prohlídky i odolnosti konstrukce $R(a_d)$ a $R(a_{ac})$ – vždy pro šíření únavové trhliny z okraje (vlevo) či z povrchu (vpravo).



Obr. 3: Výsledný histogram účinku zatížení S pro 49 let provozu mostní konstrukce (vlevo), resp. 110 let provozu mostní konstrukce (vpravo)



Obr. 4: Výsledný histogram odolnosti posuzované mostní konstrukce $R(a_d)$, namáhané únavovou trhlinou z okraje (vlevo), resp. z povrchu (vpravo)

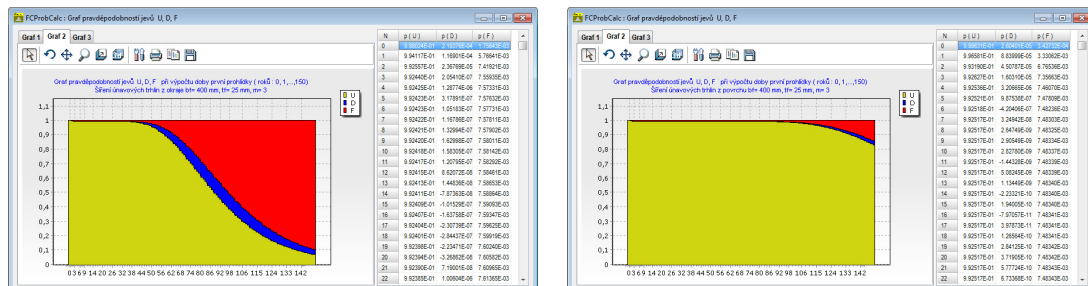


Obr. 5: Výsledný histogram odolnosti posuzované mostní konstrukce $R(a_{ac})$, namáhané únavovou trhlinou z okraje (vlevo), resp. z povrchu (vpravo)

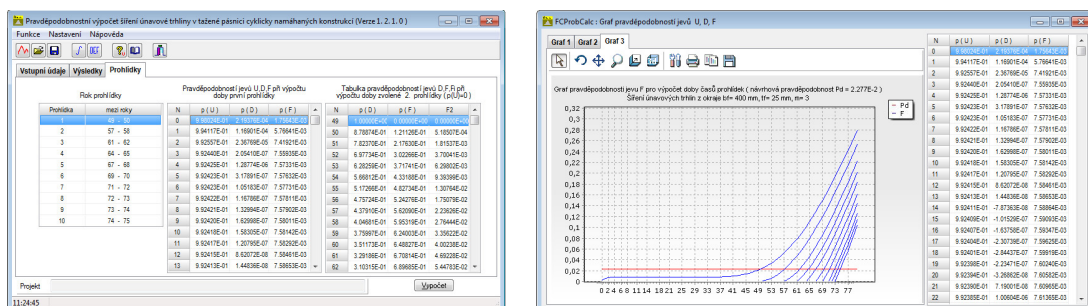
Obrázek 6 pak obsahuje pro oba typy šíření únavové trhliny (z okraje i povrchu) grafy s vypočtenými pravděpodobnostmi jevů U , D a F , definovaných vztahy (4) až (6). Všechny tři jevy tvoří úplný prostor všech možných jevů, které mohou nastat v čase „t“, a platí tedy:

$$P(U_{(t)}) + P(D_{(t)}) + P(F_{(t)}) = 1, \quad (8)$$

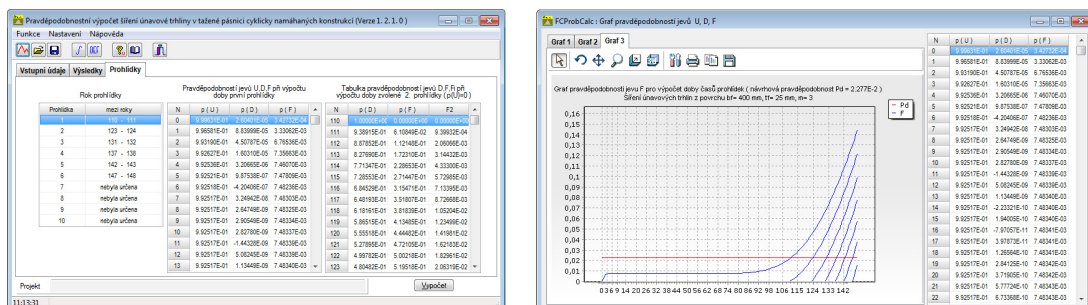
což je zřejmé i na grafech z obrázku 6.



Obr. 6: Graf vypočtených pravděpodobností elementárních jevů U , D a F pro 0 až 150 let provozu cyklicky namáhané mostní konstrukce



Obr. 7: Závislost pravděpodobnosti poruchy P_f na letech provozu mostu při pravděpodobnostním výpočtu šíření únavové trhliny z okraje (0 až 80 let) s přihlédnutím k podmíněné pravděpodobnosti a určení doby první i následujících prohlídek mostní konstrukce



Obr. 8: Závislost pravděpodobnosti poruchy P_f na letech provozu mostu při pravděpodobnostním výpočtu šíření únavové trhliny z povrchu (0 až 150 let) s přihlédnutím k podmíněné pravděpodobnosti a určení doby první i následujících prohlídek mostní konstrukce

Výsledné časy první prohlídky i prohlídek následujících, které byly stanoveny s využitím podmíněné pravděpodobnosti (7), jsou uvedeny na obrázku 7 (únavová trhlina z okraje) a obrázku 8 (únavová trhlina z povrchu). Oba obrázky obsahují tabulku s číselnými hodnotami výsledných časů

prohlídek a pravděpodobností jevů U , D a F , ale také graf se závislostí pravděpodobnosti poruchy P_f na letech provozu mostu.

Pro zvolenou Adaptivní metodu numerické integrace jsou výsledné časy navrhovaných prohlídek uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3: Vypočtené doby první i následujících prohlídek mostní konstrukce při šíření únavových trhlin z okraje a z povrchu

Pořadové číslo prohlídky	Čas prohlídky v letech	
	Únavová trhlina z okraje	Únavová trhlina z povrchu
1.	49	110
2.	57	123
3.	61	131
4.	64	137
5.	67	142
6.	69	147
7.	71	nebyla určena
8.	72	nebyla určena
9.	73	nebyla určena
10.	74	nebyla určena

4 ZÁVĚRY

V této práci bylo poukázáno na vývoj pravděpodobnostních metod a jejich využití v oblasti posudku spolehlivosti konstrukcí se zaměřením na nově vyvíjenou pravděpodobnostní metodu POPV. Ukazuje se, že metoda POPV je vhodná nejenom pro úlohy vedoucí k posouzení spolehlivosti, ale také k jiným pravděpodobnostním výpočtům, jako např. souhrnně teoreticky i prakticky zpracovaná metodika pravděpodobnostního přístupu k řešení šíření únavových trhlin z okraje i povrchu se zaměřením na jejich největší přípustný rozměr a návrh pravidelného systému prohlídek konstrukce.

Tyto výpočetní postupy byly aplikovány v programu FCProbCalc, s jehož využitím bylo pravděpodobnostně posouzeno únavové poškození řešené mostní konstrukce pro případ šíření únavových trhlin z okraje a povrchu. Byly stanoveny časy prohlídek mostní konstrukce, zaměřených na sledování vzniku daných typů únavových trhlin. Jejich porovnáním se mj. potvrdila skutečnost, že rychlost šíření únavové trhliny z povrchu je podstatně pomalejší nežli u únavové trhliny z okraje.

Relativně složitý algoritmus metody POPV klade zvláštní nároky na teoretické i uživatelské schopnosti počítaře. Je nutno znát alespoň v základních rysech podstatu algoritmu metody, což má vliv na způsob definice výpočetního modelu a volbu vhodné optimalizační techniky. Tento nedostatek je odstraněn v případě tvorby aplikačního softwaru „na míru“ konkrétní pravděpodobnostní úlohy (např. software Anchor, viz [4]), jak tomu bylo i v případě programu FCProbCalc.

Je nutno zmínit, že možnosti metodiky POPV ještě nejsou zdaleka vyčerpány. Jako oblast dalšího bádání se ukazuje použití statisticky závislých vstupních veličin s přímým zadáváním do výpočetního algoritmu, posouzení spolehlivosti konstrukčních systémů a rozvoj numerických postupů, jenž zefektivní použití metody POPV např. při maticových výpočtech.

V případě rozvoje metodiky pravděpodobnostního výpočtu únavového poškození cyklicky namáhaných konstrukcí se dalším výzkumným cílem jeví zejména aplikace pokročilejších numerických postupů pro integrování odolnosti konstrukce a jejich optimalizace z hlediska požadované přesnosti a strojového času výpočtu, použití dynamických Bayesových sítí ve výpočetním modelu popisujícím šíření únavových trhlin a doplnění výpočetních postupů o další typy únavových poškození cyklicky namáhané ocelové konstrukce.

ZÁVĚREČNÁ POZNÁMKA

Lite verze program FCProbCalc, stejně jako ostatní softwarové produkty aplikující metodu POPV, jsou ke stažení na adrese <http://www.fast.vsb.cz/popv>.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt byl realizován za finanční podpory z prostředků koncepčního rozvoje vědy, výzkumu a inovací pro rok 2012 přidělených VŠB-TU Ostrava Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

LITERATURA

- [1] ANDERSON, T. L. *Fracture mechanics: fundamentals and applications*. Third edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 2005. ISBN 0-8493-1656-1.
- [2] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. *Software ProbCalc [EXE] - Program System for Probabilistic Reliability Assessment using DOProC method*. Autorizovaný software, Lite verze 1.2, Ev.č. 003/27-01-2009\SW. VŠB-TU Ostrava, 2008.
- [3] JANAS, P. & KREJSA, M. & KREJSA, V. Using the Direct Determined Fully Probabilistic Method for determination of failure. In *European Safety and Reliability Conference Esrel 2009*, sborník příspěvků. Praha, 7. až 10. září 2009: Civil-Comp Press, 2009. Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications. Taylor & Francis Group, London, 2010. Editoři Briš, Guedes Soares a Martorell. pp. 1467-1474 (8 p). ISBN 978-0-415-55509-8 (sada 3 knih + CD-ROM).
- [4] JANAS, P. & ŠŇUPÁREK, R. & KREJSA, M. & KREJSA, V. Využití metody PDPV k navrhování kotevní výztuže důlních děl. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Číslo 1, rok 2009, ročník IX, článek č. 21, pp. 10. ISSN 1213-1962.
- [5] CHEN, N. Z. & WANG, G. & SOAREZ, C. G. Palmgren-Miner's rule and fracture mechanics-based inspection planning. *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 78, issue 18, pp. 3166–3182 (17 p), DOI 10.1016/j.engfracmech.2011.08.002, December 2011.
- [6] FISHER, J. W. & KULAK, G. L. & SMITH, I. F. C. *A Fatigue Primer for Structural Engineers*. National Steel Bridge Alliance, U.S.A., May 1998.
- [7] KALA, Z. Sensitivity Analysis of the Stability Problems of Thin-Walled Structures. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 61, issue 3, pp 415–422 (8 p), DOI 10.1016/j.jcsr.2004.08.005, 2005.
- [8] KONECNY, P. & TIKALSKY, P. J. & TEPKE, D. G. Performance Evaluation of Concrete Bridge Deck Affected by Chloride Ingress. *Transportation Research Record*, issue 2028, pp. 3–8 (6 p), DOI 10.3141/2028-01, 2007.
- [9] KRÁLIK, J. & KRÁLIK, J. Seismic Analysis of Reinforced Concrete Frame-Wall Systems Considering Ductility Effects in Accordance to Eurocode. *Engineering Structures*, vol. 31, issue 12, pp. 2865–2872 (8 p), DOI 10.1016/j.engstruct.2009.07.029, 2009.
- [10] KREJSA, M. & TOMICA, V. Calculation of Fatigue Crack Propagation Using DOProC Method. In *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*. No.1, 2010, Vol.X, paper #11 (9 s). DOI 10.2478/v10160-010-0011-6. Publisher Versita, Warsaw, ISSN 1213-1962 (Print) 1804-4824 (Online).
- [11] KREJSA, M. & TOMICA, V. Determination of Inspections of Structures Subject to Fatigue. In *Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*. No.1, 2011, vol.XI, paper #7 (11 p), DOI 10.2478/v10160-011-0007-x. Publisher Versita, Warsaw, ISSN 1213-1962 (Print) ISSN 1804-4824 (Online).

- [12] KREJSA, M. & KREJSA, V. *Program FCProbCalc [EXE] - Program pro pravděpodobnostní výpočet šíření únavových trhlin*. Autorizovaný software, Lite verze 1.1, 2,0 MB. Ev.č. 008/14-11-2011_SW. VŠB-TU Ostrava, 2011.
- [13] KŘIVÝ, V. Calculation of corrosion allowances on weathering steel bridges. In *Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*. No.1, 2011, Vol.XI, paper #8, pp. 11. DOI 10.2478/v10160-011-0008-9. Publisher Versita, Warsaw, ISSN 1213-1962 (Print) ISSN 1804-4824 (Online).
- [14] KUBECKA, K. Utilisation of Risk Analysis Methods in Decision – Making Process on Fitness of Rehabilitation. *Stavebnictví*, pp. 26–31 (6 p), 2010. ISSN 1802-2030, EAN 977180220300501.
- [15] MOAN, T. Reliability-based management of inspection, maintenance and repair of offshore structures. *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 1, issue 1, pp 33–62 (30 p), DOI 10.1080/15732470412331289314, Taylor & Francis Ltd., March 2005.
- [16] SANFORD, R. J. *Principles of Fracture Mechanics*. Pearson Education, Inc., U.S.A., 2003. ISBN 0-13-092992-1.
- [17] ŠEJNOHA, J. & NOVOTNÁ, E. & ŠPAČKOVÁ, O. Pragmatické modely selhání staveb v nadloží tunelů. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Číslo 1, rok 2011, ročník XI, pp. 10. ISSN 1213-1962.
- [18] STRAUB, D. Stochastic Modeling of Deterioration Processes through Dynamic Bayesian Networks. *Journal of Engineering Mechanics*. 2009, (11 p). DOI: 10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000024.
- [19] THACKER, B. H. & RIHA, D. S. & FITCH, S. H. K. & HUYSE, L. J. & PLEMING, J. B. Probabilistic Engineering Analysis Using the NESSUS software. *Structural Safety*, vol. 28, issue 1–2, pp 83–107 (25 p), 2006, DOI 10.1016/j.strusafe.2004.11.003.
- [20] TOMICA, V. & KREJSA, M. Optimal Safety Level of Acceptable Fatigue Crack. In *5th International Probabilistic Workshop*, sborník referátů. Ghent, Belgie, 28. až 29. listopad 2007. Editoři L.Taerwe a D.Proske. (12 p). ISBN 978-3-00-022030-2.
- [21] TOMICA, V. & KREJSA, M. Možnost pravděpodobnostního výpočtu únavové trhliny metodou PDPV. In *Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*. No.1, 2007, Vol.VII, pp. 211-220 (20 p). ISSN 1213-1962; ISBN 978-80-248-1661-6.
- [22] TOMICA, V. & KREJSA, M. & GOCÁL, J. Přípustná únavová trhlinka - teorie a aplikace. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, řada stavební*, číslo 1, rok 2008, ročník VIII. VŠB-TU Ostrava, Stavební fakulta, 2008. Články č. 9 a 10. pp. 103-124 (20 p). ISBN 978-80-248-1883-2, ISSN 1213-1962.
- [23] TOMICA, V. & KREJSA, M. Únavová odolnost v metodě přípustných poškození. In *Sborník referátů 22. české a slovenské mezinárodní konference Ocelové konstrukce a mosty 2009*. Brněnské výstaviště, 23. až 25. září 2009: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2009. Editoři J. Melcher, J. Skyva a M. Karmazínová. pp. 327-332 (6 p). ISBN 978-80-7204-635-5.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Prof. Ing. Zdeněk Kala, Ph.D., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Oldřich SUCHARDA¹, Jiří BROŽOVSKÝ²

VLIV VYBRANÝCH PARAMETRŮ NELINEÁRNÍ ANALÝZY BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

**EFFECT OF SELECTED PARAMETERS OF NON-LINEAR ANALYSIS
OF CONCRETE STRUCTURES**

Abstrakt

Příspěvek se zabývá srovnáním numerických výpočtů s experimentem pro různé parametry počáteční podmínky plasticity u fyzikálně nelineární analýzy. Dále se příspěvek zabývá ověřením vlivu geometrické nelinearity dle teorie 2. řádu a vlastní tíhy konstrukce na výpočet. Použitý konstitutivní model betonu kombinuje Chen-Chenovu podmínku plasticity a model zpevnění vypracovaný Ohtaním. Modelovaným experimentem zvoleným pro parametrickou studii je železobetonový nosník, který je zatížen dvěma silami.

Klíčová slova

Nosník, železobeton, podmínka plasticity, vlastní tíha, nelineární analýza.

Abstract

The paper deals with a comparison of numerical calculations with experiment for different parameters of initial plasticity conditions by non-linear analysis. The paper also deals with a verification of the geometric non-linearity effect as per the theory of 2nd order and structural weight. The used constitutive model combines Chen-Chen condition of plasticity and Ohtani concept of hardening. The modelled experiment chosen for parametric study is reinforced concrete beam which is loaded by two forces.

Keywords

Beam, reinforced concrete, plasticity condition, structural weight, non-linear analysis.

1 ÚVOD

U nelineární analýzy železobetonových konstrukcí existuje celá řada faktorů, které mohou ovlivnit výsledky. Mezi tyto faktory také patří vliv geometrické nelinearity a vlastní tíhy konstrukce. U pružnoplastické analýzy betonových konstrukcí [3] jsou to zase parametry počáteční podmínky plasticity. Předložený článek se zabývá vlivem uvedených faktorů u železobetonového nosníku s obdélníkovým průřezem, který je zatížen dvěma silami. Důvodem je, že geometrická nelinearita, případně vliv vlastní tíhy se při analýzách často zanedbává [9]. Parametry počáteční podmínky plasticity betonu zase nejsou velmi často dostupné z dat experimentu nebo informací z výroby betonu. Parametry podmínky plasticity jsou meze plasticity pro jednoosý tah a tlak a dvojosý tlak, které se vyjadřují nejčastěji pomocí smluvních hodnot z pevnostních charakteristik betonu.

¹ Ing. Oldřich Sucharda, Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 391, e-mail: oldrich.sucharda@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.

Pro numerické analýzy je zvolena metoda konečných prvků, která patří k nejznámějším numerickým metodám pro analýzu stavebních konstrukcí. Konkrétně jsou zvoleny rovinné výpočetní modely a izoparametrický čtyřuzlový konečný prvek [15]. Pro výztuž je zvolen model rozetřené výztuže [18].

2 PRUŽNOPLASTICKÝ MODEL BETONU

Pro nelineární analýzu u železobetonových konstrukcí existuje řada konstitutivních modelů [1, 3, 5, 8, 21, 22]. Zvolený konstitutivní model betonu kombinuje Chen-Chenovu podmínku plasticity [2] a model zpevnění vypracovaný Ohtaním [10]. Chen-Chenova podmínka plasticity [3] byla formulována speciálně pro beton na základě experimentů prováděných mj. Kupferem [6]. Uvedený konstitutivní model betonu je implementován v software BSA (Building and Structural Analysis) vyvíjeném na VŠB-TU Ostrava [17, 19]. Chen-Chenova podmínka plasticity [2] je definována pomocí mezí plasticity materiálu v jednoosém tlaku f_{yc} , mezí plasticity ve dvojosém tlaku f_{ybc} a mezí plasticity v jednoosém tahu f_{yt} .

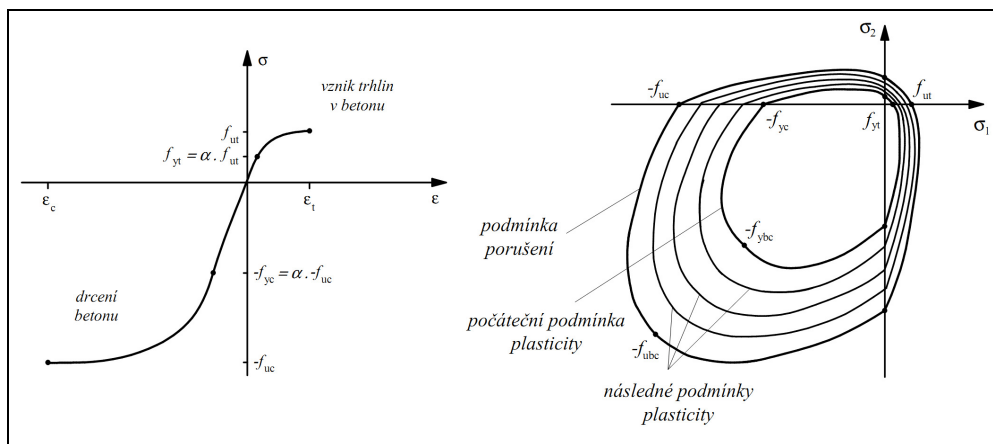
Pro použití konstitutivního modelu betonu je také nutné definovat podmínku porušení, která se získá z pevnosti betonu v jednoosém tlaku f_{uc} , pevnosti betonu v dvojosém tlaku f_{ubc} a pevností betonu v jednoosém tahu f_{ut} . Mez plasticity materiálu se může následně vyjádřit pomocí koeficientu α pro jednotlivé způsoby namáhání jako:

$$f_{yc} = \alpha f_{uc}, \quad (1)$$

$$f_{ybc} = \alpha f_{ubc}, \quad (2)$$

$$f_{yt} = \alpha f_{ut}. \quad (3)$$

Koeficient α může nabývat hodnot 0 až 1. Hodnoty koeficientu α se nejčastěji volí od 0,3 [3] až 0,5 [17]. Parametrická studie je provedena pro čtyři vybrané hodnoty koeficientu α . Počáteční plocha plasticity, následné plochy plasticity a plocha porušení jsou zobrazeny v rovině hlavních napětí na obr. 1. Na obrázku je také zobrazen pracovní diagram betonu.



Obr. 1: Pracovní diagram betonu a Chen-Chenova podmínka plasticity (porušení)

3 IMPLEMENTACE VLIVU GEOMETRICKÉ NELINEARITY DLE TEORIE 2. ŘÁDU DO VÝPOČTU METODOU KONEČNÝCH PRVKŮ

Při analýze železobetonových nosníků zatížených příčným zatížením převažuje ve většině případů vliv fyzikální nelinearity nad geometrickou. Často se proto vliv geometrické nelinearity zanedbává [9]. Pro ověření vlivu geometrické nelinearity je ve vyvíjeném programu BSA upraven výpočetní algoritmus, aby respektoval teorii 2. řádu. Výpočetní postup řešení soustavy nelineárních rovnic je opět řešen přírůstovým postupem [13, 14]. V teorii 2. řádu se podmínky rovnováhy sestavují v uzlech výpočetního modelu deformované konstrukce [20].

Pro rovnovážný stav platí:

$$\mathbf{f}_{ext} - \mathbf{f}_{int} = \mathbf{0} \quad (4)$$

kde: $\mathbf{f}_{ext}$ – je vektor externích (vnějších) sil a
 $\mathbf{f}_{int}$ – je vektor vnitřních sil.

U geometricky nelineárního výpočtu se matice tuhosti konstrukce změní vlivem deformace od zatížení:

$$\mathbf{K}' = \mathbf{K}(\mathbf{u}). \quad (5)$$

Rovnovážný stav již přestane platit a vznikne vektor reziduí:

$$\mathbf{f}_{ext} - \mathbf{f}_{int} = \mathbf{r} \quad (6)$$

Přírůstek deformace $\Delta \mathbf{a}$ od vzniklého vektoru reziduí se vyřeší rovnicí:

$$\mathbf{K}' \Delta \mathbf{a} = \mathbf{r} \quad (7)$$

Výsledný vektor deformace $\tilde{\mathbf{u}}$ je:

$$\tilde{\mathbf{u}} = \mathbf{u} + \Delta \mathbf{a}, \quad (8)$$

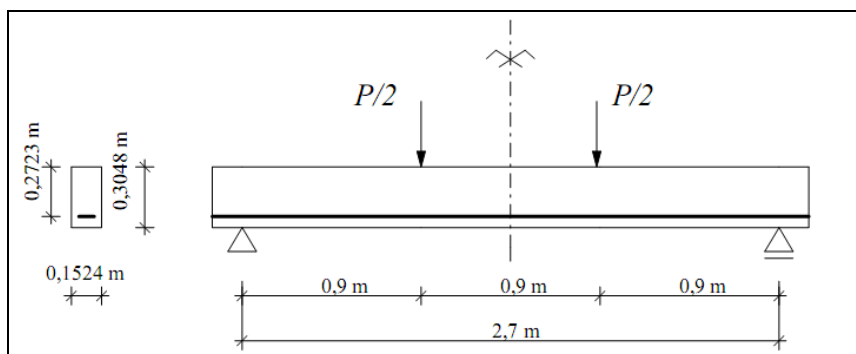
kde: $\mathbf{u}$ – je vektor deformace od vnějšího zatížení a

$\Delta \mathbf{a}$ – je vektor přírůstku deformace od vlivu geometrické nelinearity.

Uvedený výpočetní postup se v přírůstkovém řešení rozloží do více kroků. Samotná implementace teorie 2. řádu spočívá v aktualizaci geometrie výpočetního modelu konstrukce pro každý zatěžovací krok nebo iteraci.

4 STUDIE VLIVU PARAMETRŮ POČÁTEČNÍ PODMÍNKY PLASTICITY

Modelovaným experimentem zvoleným pro studii parametrů počáteční podmínky plasticity je železobetonový nosník, který je zatížen dvěma silami. Zvolený experiment provedli a publikovali Gaston, Siess, and Newmark [4]. Podklady z provedeného experimentu jsou převzaty z publikace [7]. Schéma experimentu je zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2: Schéma experimentu

Železobetonový nosník je z betonu, který má pevnost v tlaku 32,3 MPa. Modul pružnosti betonu E_c je 27,1 GPa a Poissonův součinitel 0,17. Protože pevnost betonu v tlaku a modul pružnosti mají nízkou korelaci pro obvyčejné betony, pevnost betonu v tahu se určila na základě doporučení [12]:

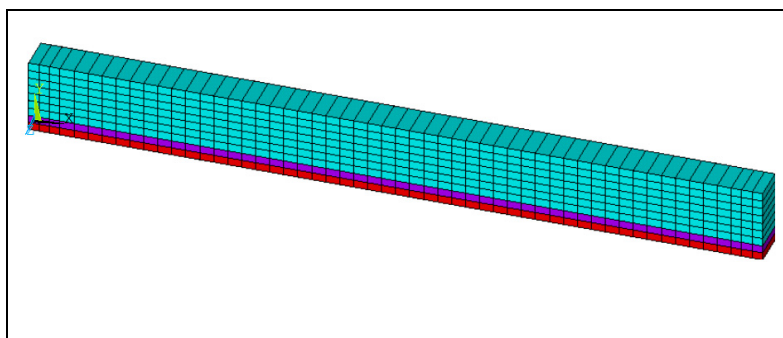
$$f_{ut} = 0,3(0,7 f_{uc}^{(2/3)}), \quad (9)$$

kde f_{uc} je pevnost betonu v tlaku.

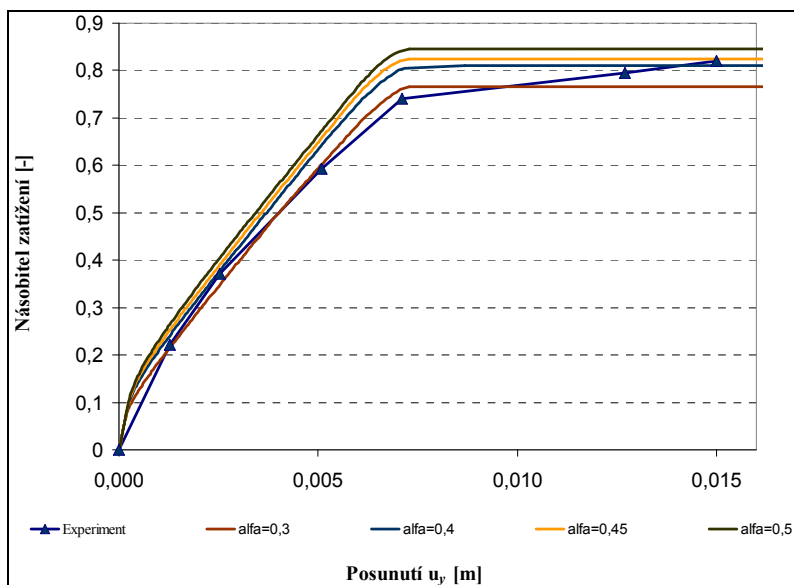
Pevnost betonu ve dvousém tlaku byla stanovena:

$$f_{ubc} = 1,2 f_{uc} . \quad (10)$$

Výpočet je proveden postupně pro koeficient α s hodnotou 0,3, 0,4, 0,45 a 0,5, který se použil k výpočtu parametrů (1), (2), (3) počáteční podmínky plasticity. Stupeň vyztužení ρ železobetonového průřezu vztažený k efektivní výšce průřezu je 0,0062. Pracovní diagram výztuže se předpokládá ideálně pružnoplastický. Mez kluzu oceli f_y je 323,6 MPa a modul pružnosti E_s je 198,0 GPa. Výpočetní model je pro výpočet rovinný. Pro názornost je vizualizace výpočetního modelu provedena prostorově v preprocesoru výpočetního systému ANSYS [16] a zobrazen na obr. 3.



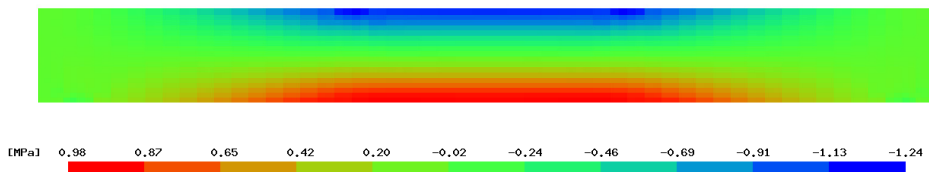
Obr. 3: Výpočetní model



Obr. 4: Výsledky výpočtu

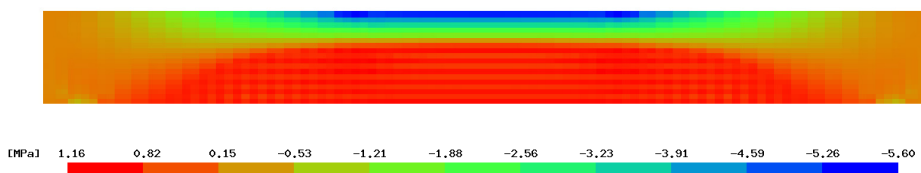
Porovnáním experimentu a výsledků numerických výpočtů je možné konstatovat, že ve většině výpočtů je mírně nadhodnocena počáteční tuhost výpočetního modelu. Pouze u výpočtu pro $\alpha = 0,30$ je tuhost výpočetního modelu mírně podhodnocená. Dále je při zatěžování rozdíl pracovních diagramů numerických výpočtů a experimentu malý. Celkový průběh pracovního diagramu experimentu a maximální únosnost nosníku nejlépe vystihuje výpočet pro $\alpha = 0,45$. Dobrou shodu celkového průběhu pracovního diagramu experimentu má také výpočet pro $\alpha = 0,40$. Pro ilustraci

provedených výpočtů jsou na obr. 5–7 uvedeny výsledky výpočtu normálového napětí pro $\alpha = 0,45$. Obrázky zobrazují počáteční stav rozvoje plastické oblasti v tažené oblasti a stav, kdy dochází ke koncentraci tlaku na horním okraji. Další zatěžování vede k plastizaci výztuže a drcení betonu a ukončení výpočtu.



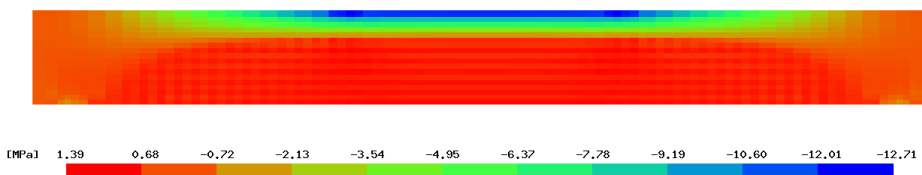
Obr. 5: Normálové napětí σ_x během zatěžování [MPa]

Násobitel zatížení = 0,10 (Max = 0,98 MPa; Min = -1,24 MPa)



Obr. 6: Normálové napětí σ_x během zatěžování [MPa]

Násobitel zatížení = 0,30 (Max = 1,16 MPa; Min = -5,60 MPa)



Obr. 7: Normálové napětí σ_x během zatěžování [MPa]

Násobitel zatížení = 0,62 (Max = 1,39 MPa; Min = -12,71 MPa)

5 VLIV TEORIE 2. ŘÁDU NA VÝPOČET

Následující analýza se zabývá vlivem teorie 2. řádu u nosníku z předešlé parametrické studie. Pro další výpočty je zvolen u počáteční podmínky plasticity koeficient $\alpha = 0,45$.

Při analýze běžných železobetonových konstrukcí namáhaných především ohybem převažuje ve většině případů vliv fyzikální nelinearity nad geometrickou. Často se proto vliv geometrické nelinearity zanedbává [9]. Pro ověření vlivu geometrické nelinearity je ve vyvíjeném programu BSA upraven výpočetní algoritmus, který je založen na použití metody Newton-Raphson [14]. Pro zvolený typ geometrické nelinearity se předpokládají malé deformace.

Pro geometrickou nelinearitu je konkrétně použitý postup dle teorie 2. řádu, kdy se podmínky rovnováhy sestavují v uzlech výpočetního modelu deformované konstrukce. Samotná implementace teorie 2. řádu spočívá v aktualizaci geometrie výpočetního modelu konstrukce pro každý zatěžovací krok nebo iteraci. Podobný postup úpravy geometrie výpočetního modelu konstrukce je také použit ve výpočetním programu ATENA [11].

Výpočty z výpočetního programu BSA jsou doplněny o výsledky z programů SCIA [20], ATENA [11] a ANSYS [16]. V alternativních programech je proveden výpočet pouze pro geometrickou nelinearitu a fyzikálně lineární výpočet. U výpočtu byl sledován průhyb uprostřed rozpětí. Je provedeno pět variant výpočtů. Jejich rozdělení uvádí tabulka 1.

Tab. 1: Parametry výpočtu a výpočetní programy

Výpočty	Parametry výpočtu			Výpočetní programy			
	geom. nonlinearita	vlastní tíha konstrukce	fyzikální nonlinearita	BSA	SCIA	ANSYS	ATENA
Výpočet 1	ne	ne	ne	ano	ano	ano	Ano
Výpočet 2	ano	ne	ne	ano	ano	ano	Ano
Výpočet 3	ne	ne	ano	ano	ne	ne	Ne
Výpočet 4	ano	ne	ano	ano	ne	ne	Ne
Výpočet 5	ano	ano	ano	ano	ne	ne	Ne

U výpočtu v programu BSA je do tuhosti výpočetního modelu konstrukce zahrnuta také výztuž. V programu ANSYS [16] jsou v nelineárním řešiči výpočtu nastaveny velké deformace.

Protože výsledky lineárního výpočtu se mírně odlišují pro jednotlivé programy, byl sledován poměr maximálních deformací:

$$u_1 = \frac{u_{geo.nelin.}}{u_{geo.lin.}} [-] \quad (11)$$

a rozdíl maximálních deformací:

$$u_2 = u_{geo.nelin.} - u_{geo.lin.} [m], \quad (12)$$

kde:

$u_{geo.nelin.}$ – je svislá deformace pro geometricky nelineární výpočet [m] a

$u_{geo.lin.}$ – je svislá deformace pro geometricky lineární výpočet [m].

Rozdíl maximálních svislých deformací u_2 pro všechny výpočetní programy je $2 \cdot 10^{-6}$ m. Poměr maximálních deformací u_1 pro svislý průhyb uprostřed rozpětí nosníku pro geometricky lineární a nelineární výpočet v programech BSA, SCIA [20], ANSYS [16] a ATENA [11] je uveden v tabulce 2. Fyzikální nonlinearita není zahrnuta do výpočtu. Jsou použity výpočty 1 a 2.

Tab. 2: Poměr deformací u_1 pro geometricky nelineární a lineární výpočet

Výpočetní program	BSA	SCIA	ANSYS	ATENA
$u_1 [-]$	1,0008410	1,0009528	1,0009040	1,0008610

Další výpočty se prováděly pouze v programu BSA. Ve výpočtech byla vždy zahrnuta fyzikální nonlinearita. Poměr deformací u_1 u geometricky lineárního a nelineárního výpočtu v programu BSA pro vybrané hodnoty násobitele zatížení uvádí tab. 3. Ve výpočtu se vlastní tíha konstrukce neuvažovala. Jsou použity výpočty 3 a 4. Maximální dosažená hodnota násobitele zatížení pro výpočet 4 byla 0,83.

Tab. 3: Poměr deformací u_1 pro geometricky nelineární a lineární výpočet – program BSA

Násobitel zatížení	0,3	0,6	0,8
$u_1 [-]$	1,000281	1,000868	1,001593

6 VLIV VLASTNÍ TÍHY KONSTRUKCE NA VÝPOČET

Pro ověření vlivu vlastní tíhy konstrukce byl proveden nelineární výpočet v programu BSA. Pro výpočet vlastní tíhy konstrukce nosníku se uvažovalo s objemovou hmotností betonu 2500 kg/m^3 a oceli 7850 kg/m^3 . Srovnávané výpočty zahrnovaly fyzikální nelinearitu. U výpočtu zahrnující pouze zatížení nebyla geometrická nelinearita zahrnuta. U výpočtu zahrnující zatížení a vlastní tíhu konstrukce byla geometrická nelinearita zahrnuta. Podobně jako v předešlém výpočtu se určil poměr maximálních deformací:

$$u_3 = \frac{u_{\text{vl.tíha+zatížení}}}{u_{\text{zatížení}}} [-], \quad (13)$$

kde:

$u_{\text{vl.tíha+zatížení}}$ – je svislá deformace od vlastní tíhy konstrukce a zatížení [m] a

$u_{\text{zatížení}}$ – je svislá deformace od zatížení [m].

Poměr deformací u_3 pro svislý průhyb uprostřed rozpětí nosníku vypočtený v programu BSA pro vybrané hodnoty násobitele zatížení uvádí tab. 4. Jsou použity výpočty 3 a 5. Maximální dosažená hodnota násobitele zatížení pro výpočet 5 byla 0,80. Průběhy pracovních diagramů svislého průhybu uprostřed rozpětí nosníku se u výpočtu 3 a 5 odlišovaly do 5,0 %, pouze hodnota pro násobitel zatížení 0,8 byla 6,44 %.

Tab. 4: Poměr deformací u_3 pro geometricky nelineární a lineární výpočet – program BSA

Násobitel zatížení	0,3	0,6	0,8
$u_3 [-]$	1,038484	1,032328	1,064438

7 ZÁVĚR

Příspěvek se zabývá volbou parametrů počáteční podmínky plasticity u pružnoplastické analýzy železobetonových konstrukcí. Postupně je provedena parametrická studie pro čtyři hodnoty koeficientu α . Za jeden z nejvhodnějších koeficientů α pro počáteční podmínku plasticity je hodnota 0,45, kdy ta je shodná s doporučením [12].

Dále se příspěvek zabýval vlivem geometrické nelinearity a vlastní tíhy konstrukce u pružnoplastické analýzy. Geometrická nelinearita byla zahrnuta do výpočtu dle teorie druhého řádu. U provedených výpočtů byl pro nosník s obdélníkovým průřezem zatíženým dvěma silami vliv geometrické nelinearity v řádech maximálně jednotek promile. U výpočtu zohledňující také vlastní tíhu konstrukce byl vliv u konkrétních hodnot pracovního diagramu do 6,44 %.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků České republiky prostřednictvím Studentské grantové soutěže v rámci specifického výzkumu na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava. Registrační číslo projektu je SP2012/94.

LITERATURA

- [1] ČERVENKA, J., PAPANIKOLAOU, V., K. *Three dimensional combined fracture – plastic material model for concrete*. Int J Plasticity. 2008, 24, 12, pp. 2192–2220, ISSN 0749-6419.
- [2] CHEN, A. C. T., CHEN, W. F. *Constitutive Relations for Concrete*. Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE, 1975.
- [3] CHEN, W. F. *Plasticity in Reinforced Concrete*. Mc. New York: Graw Hill, 1982.

- [4] GASTON JR, SIESS CP, NEWMARK NM. A layered finite element non-linear analysis of reinforced concrete plates and shells. Civil Engineering Studies, SRS No. 389, Univ. of Illinois, Urbana, 1972.
- [5] KRÁLIK, J, KRÁLIK, J. Seismic analysis of reinforced concrete frame-wall systems considering ductility effects in accordance to Eurocode. Engineering Structures. 2009, roč. 31, č. 12, str. 2865-2872. ISSN 0141-0296.
- [6] KUPFER H., HILSDORF H., K., RÜSCH H. *Behaviour of Concrete Under Biaxial Stress*, Journal ACI, Proc. V. 66, č. 8, 1969.
- [7] KWAK, H., G, KIM, S., P, Bond-slip behavior under monotonic uniaxial loads, Journal Engineering Structures, Vol. 23, Iss.: 3, pp. 298-309, 2001. ISSN 0141-0296.
- [8] MIKOLAŠEK, D., SUCHARDA, O., BROŽOVSKÝ, J. Přístup k modelování a analýze železobetonových konstrukcí. Konstrukce. 2011, roč. 10, č. 5, s. 12-17. ISSN 1213-8762.
- [9] NĚMEC, I., BUČEK J., Metody výpočtu - porovnání různých výpočetních metod, FEM consulting, s.r.o, 2006.
- [10] OHTANI, Y., CHEN, W. F. *Multiple Hardening Plasticity for Concrete Materials*. Journal of the EDM ASCE, 1988.
- [11] Programový systém ATENA 2D: Theory Manual. Praha: Červenka Consulting, 2000.
- [12] PROCHÁZKA, J. a kol. Navrhování betonových konstrukcí 1. 2 vyd. Praha: ČVUT v Praze, 2006. ISBN 80-903807-1-9.
- [13] RAVINGER, J. Modelovanie nelineárneho pôsobenia železobetónového nosníka použitím MKP. Stavebnícky časopis. 35, 1987-8, 571-589.
- [14] RAVINGER, J. Programy – statika, stabilita a dynamika stavebných konštrukcií. Alfa, Bratislava, 1990.
- [15] ROMBACH, G. *Anwendung der Finite-Elemente-Methode im Betonbau*. 2. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, 2007. ISBN 978-3-433-01701-2.
- [16] RELEASE 11 DOCUMENTATION FOR ANSYS, SAS IP, INC., 2007
- [17] SUCHARDA, O., BROŽOVSKÝ, J. Pružnoplastické 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.
- [18] SUCHARDA, O., BROŽOVSKÝ, J. Modely betonářské výztuže pro konečněprvkovou analýzu konstrukcí. *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, řada stavební*, 2011, roč. 11, č. 2, s. 249-258. ISSN 1213-1962.
- [19] SUCHARDA, O., BROŽOVSKÝ, J. Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS za rok 2011 Analýza železobetonových konstrukcí využívají fyzikálně nelineární chování materiálu. (1.1.3.1), MŠMT ČR, registrační číslo projektu 1M0579.
- [20] *Scia Engineer* [online]. 2012 [cit. 2012-01-01]. Dostupný z WWW: < <http://www.scia-online.com> >.
- [21] VESELÝ, V., FRANTÍK, P., VODÁK, O., KERŠNER, Z., Lokalizace průběhu porušování v betonových vzorcích stanovená pomocí akustické a elektromagnetické emise a numerických simulací. *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, řada stavební*, 2011, roč. 11, č. 2, s. 269-278. ISSN 1213-1962.
- [22] VECCHIO, F., J., BUCCI, F., Analysis of Repaired Reinforced Concrete Structures, ASCE J. of Structural Engineering, vol. 125, No. 6, pp. 644-652, 1999.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA, ČKAIT, Brno.

Doc. Ing. Eva Kormaníková, PhD., Katedra stavební mechaniky, Stavební fakulta, TU v Košiciach.

Martin WÜNSCHE¹

**CYKlickÉ TESTY A METODY ZESILOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH STYČNÍKŮ
S RYBINOVÝM SPOJEM**

**CYCLIC TESTS AND METHODS OF REINFORCEMENT
OF DOVETAIL HALVED JOINTS**

Abstrakt

Dřevěné střešní konstrukce představují nejvýznamější příklad tradičních dřevěných konstrukcí, při jejichž studiu se musí zohlednit několik faktorů. Za prvé, že krovy prošly během staletí dlouhým vývojem a za druhé, že na vývoji střešních konstrukcí se výrazným způsobem projevila i typologie spojů. Typ spojů, jejich tuhost a únosnost výrazně ovlivňují nejen použitelnost, ale i odolnost a životnost konstrukcí, zvláště při cyklickém zatížení.

Klíčová slova

Cyklický test, dřevěný styčník, disipace energie.

Abstract

Roof timber structures represent one of the most important examples of antique wide-span structures; when studying them, several factors need considering. Firstly, roof frames have undergone a good deal of development of the structural schemes and improvement of layout along the centuries. Secondly, the evolution of structural frames involved changes in the structural behaviour and in the typology of joints. The type of joints, their stiffness and slip properties, considerably influence not only the serviceability and carrying resistance, but also the durability and the lifetime of the structures particularly under cyclic loading.

Keywords

Cyclic test, wood joint, energy dissipation.

1 ÚVOD

V konstrukcích evropských krovů existující nejčastěji dva typy spojů, a to tesařsky provedené spoje s čepy a přeplátované spoje, tzv. rybinový spoj. Z hlediska seismické kapacity a disipace energie je první uvedený typ velice náročný na jakékoli zesílení, přičemž se musí měnit koncept a funkčnost spoje, zatímco u druhého uvedeného typu tomu tak není, poměrně elegantním způsobem je možno seismickou kapacitu a disipaci energie zlepšit vhodnou úpravou tak, aby nebyl narušen koncept spoje a nebyla ani změněna povaha konstrukčního systému.

V laboratořích Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i. bylo v rámci evropského projektu Niker (New Integrated Knowledge Based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake – induced Risk) studováno chování historických konstrukcí v seizmicky aktivní oblasti. Výzkum se zaměřuje na chování zděných, stropních a střešních konstrukcí.

¹ Ing. Martin Wünsche, Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i., Prosecká 76, 190 00 Praha 9, e-mail: wunsche@itam.cas.cz.

Cílem tohoto příspěvku je studium chování nevyztuženého a následně vyztuženého spoje střešní konstrukce pomocí různých technik a jejich vzájemné porovnání.

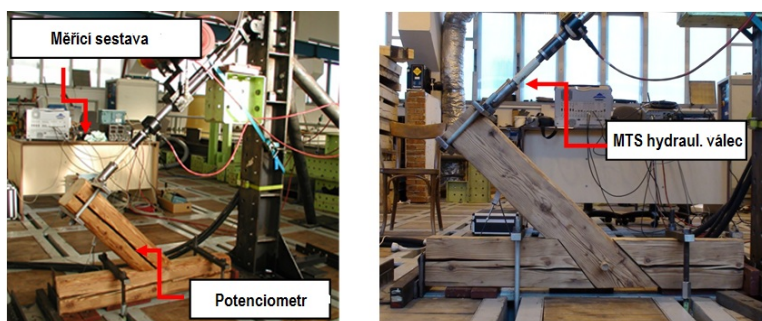
Pro účely tohoto příspěvku zahrnuje analýza výsledků srovnávací studii jednoho vybraného spoje s různými metodami vyztužení, pokud se jedná o poruchové stavy.

Experimentální studie se skládala z:

- Cyklického zatěžování dřevěných spojů a stanovení změn disipace energie.
- Studia vlivu vložené dubové a brzdové desky předepnutého styčnicku pomocí svorníku z hlediska disipace energie.

2 EXPERIMENT

Aby bylo možné lépe simulovat skutečné chování spoje bylo vytvořeno speciální zkušební zařízení, které umožnilo pseudo-statické cyklické zatěžování. Zatížení se aplikovalo pomocí servohydraulického válce MTS o výkonu 25,0 kN, který byl umístěn do ocelového rámu a pro měření posunutí se používal potenciometr Megatron SPR 18-S-100, 5k Ω , viz obr. 1.



Obr. 1: Měřicí sestava

Zkoumáním existující bibliografie a průzkumem vzorků z těchto budov se podařilo shromáždit dostatek informací k identifikaci typického materiálu, geometrii a typologii jednotlivých konstrukčních prvků.

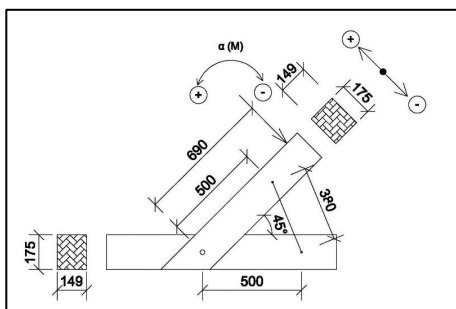
Byly použity materiály z několik set let starého dřeva. Dřevo nebylo napadeno dřevokaznými škůdci a nevykazovalo ani jiné poruchy, kromě typických výsušných trhlin, které se objevují při změně vlhkosti po dobu životnosti stavby.

Pro účely testů byl proveden zkušební vzorek s rozměry:

horizontální prvek 150×175 mm

šikmý prvek 150×175 mm

Prvky svíraly úhel 45 stupňů. Síla působila ve vzdálenosti 690 mm od průsečíku os obou dřevěných prvků, viz obr. 2.



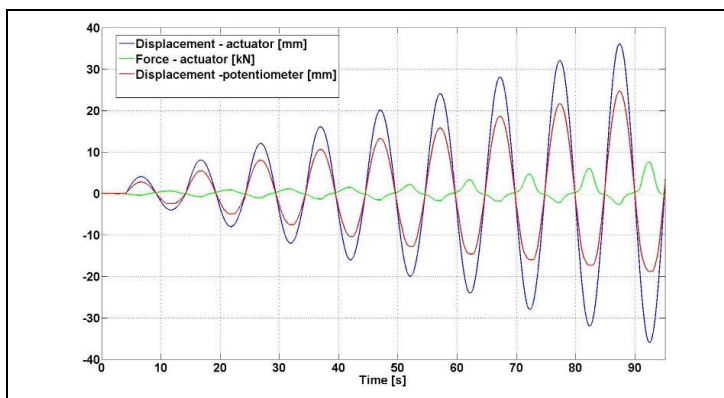
Obr. 2: Geometrie spoje

2.1 Testovací procedura

První soubor testů se provedl na nevyztuženém vzorku. Cílem této první série testů bylo dovést vzorek k takovému poškození, které by bylo dále opravitelné. Následně byl vzorek zesílen určitou technikou, viz dále.

Druhá sada testů se prováděla na zesíleném vzorku. Zatěžovací proces byl stejný jako v první sérii.

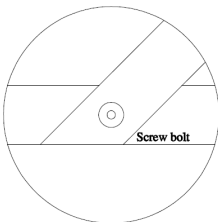
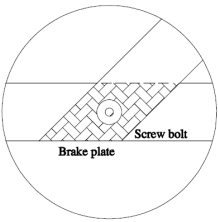
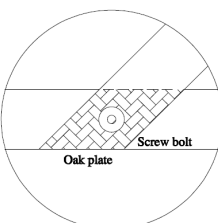
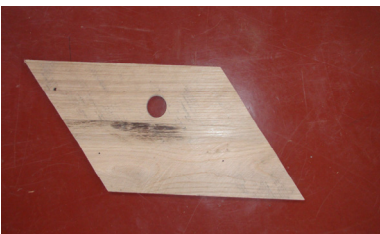
Schéma průběhu zatěžování je uvedeno na obrázku 3.



Obr. 3: Schéma zatěžování vzorků

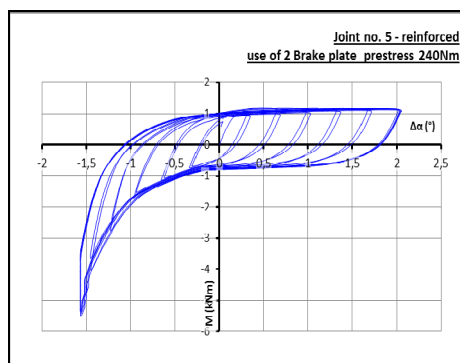
2.2 Zkušební vzorky a typy vyztužení

Tab. 1: Přehled použitých typů vyztužení

Schéma	Zobrazení	Popis
		Vložení ocelového svorníku a jeho předepnutí pomocí momentového klíče. 1. test: 90Nm 2. test: 115Nm
		Zesílení kombinací předepnutého svorníku a vložených brzdových destiček: předepnutí 90 Nm předepnutí 115 Nm předepnutí 240 Nm
		Zesílení kombinací předepnutého svorníku a vložených dubových destiček: předepnutí 90 Nm předepnutí 115 Nm předepnutí 170 Nm

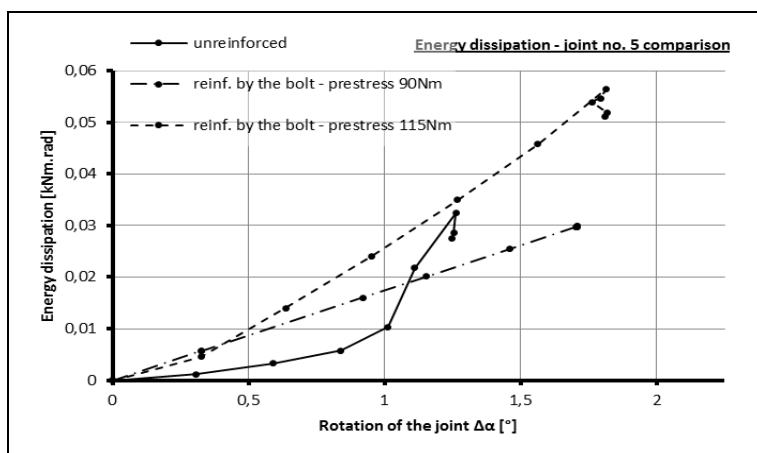
4 VÝSLEDKY

Během procesu zkoušky byly zaznamenávány veličiny posunutí válce a natočení v místě spojení dvou dřevěných elementů. Pomocí programu MATLAB byl vytvořen algoritmus, na jehož základě byly vytvořeny hysterezní křivky (závislost moment/natočení). Plocha jedné uzavřené smyčky pro jeden cyklus vyjadřuje množství disipované energie. Pro názornost je v tomto příspěvku ukázána hysterezní křivka při použití předepnutého styčníku na 240 Nm s použitím brzdových destiček, viz obr. 4.



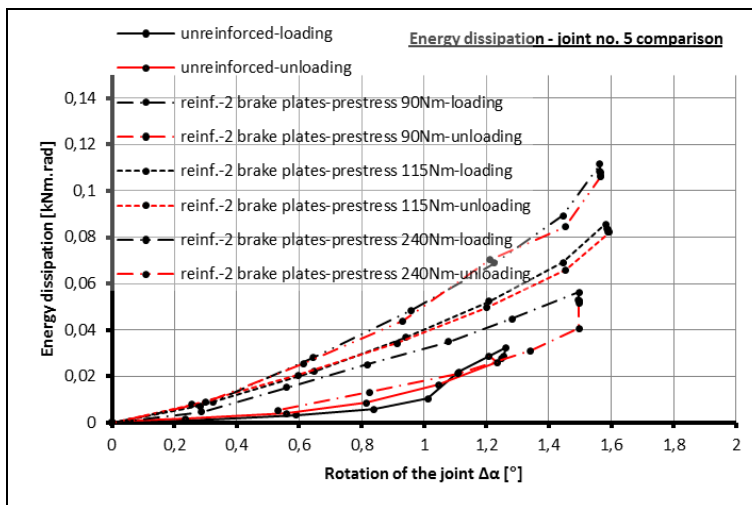
Obr. 4: Hysterezní křivka

Na základě vypočtených ploch byla vynesena závislost jednotlivých zesílení do grafu, viz obr. 5, obr. 6 a obr. 7.



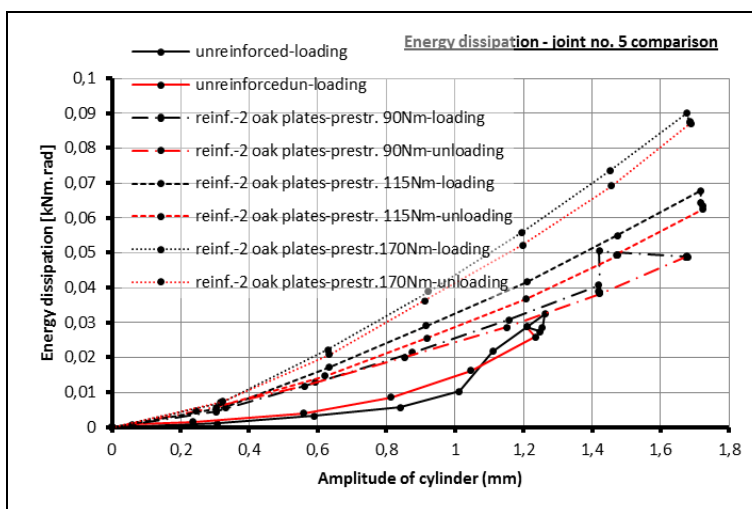
Obr. 5: Disipace energie jako funkce rotace pro zesílení pomocí předepnutých svorníků

V prvním případě vyztužení byly použity pouze přednuté svorníky, které byly přednuty v několika variantách, viz Tab.1. Graf jasně ukazuje, že existuje přímý vztah mezi disipací energie a předpětím. Ukazuje se jasná závislost, která říká, že čím větší předpětí je, tím větší je i disipace energie.



Obr. 6: Disipace energie jako funkce rotace pro zesílení pomocí kombinace předepnutých svorníků a brzdových destiček

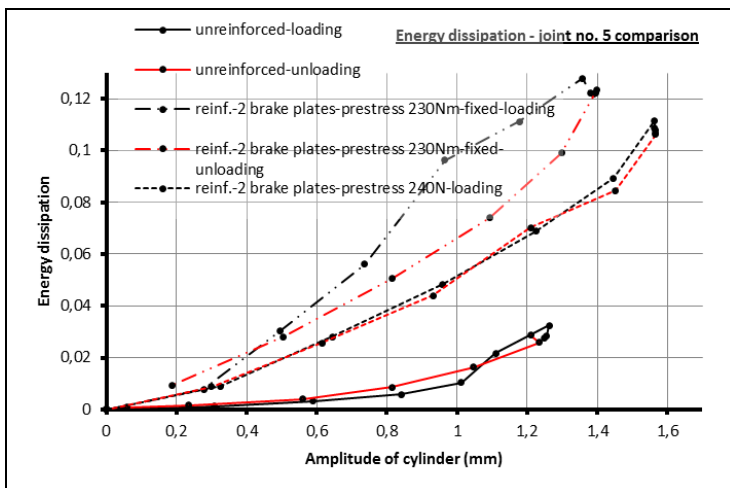
Po první sérii testů s nutýmie energie závisí na hodnotě předpětí. Tento druh zesílení je ovlivněn pouze tlakovou deformací dřevěných prvků.



Obr. 6: Disipace energie jako funkce rotace pro zesílení pomocí kombinace předepnutých svorníků a dubových destiček

V další variantě, byly nahrazeny brzdové desky dubovými destičkami. Z grafů je vidět, že použití dubových destiček je ve srovnání s brzdovými destičkami horší, nicméně stejně dobře použitelné a aplikovatelné na konstrukci.

Pro detailní zkoumání chování styčníků byla vytvořena ještě jedna varianta styčniku s brzdovými destičkami. V předešlých spojích byly destičky volně uloženy a v této variantě byly připojeny k plochám styčníků pomocí vrutů a předepnuty na 230 Nm.



Obr. 7: Disipace energie jako funkce rotace pro porovnání volně uložených a pevně přichycených brzdových destiček

Z provedených srovnání vyplývá, že jako nejlepší zesílení se jeví použití brzdových destiček, které jsou pevně přichyceny na obou plochách styku dřevěných prvků. Míra předeptnutí svorníku aplikovaná pomocí momentového klíče je závislá na tlakové deformaci dřevěných prvků, tzn. otlačení dřeva. Velkou výhodou takto vkládaných frikčních elementů je skutečnost, že nenarušují estetickou hodnotu dřevěné konstrukce.

3 ZÁVĚR

Článek pojednával o možnostech zesilování historických dřevěných spojů, které musejí splňovat kritéria použitelnosti a také estetické náročnosti. Srovnává rovněž možné aplikačně nejjednodušší principy zesilování takovýchto konstrukcí. Z předložených grafů je rovněž patrné, které zesílení je nejúčinnější z hlediska disipace energie.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum byl proveden v rámci evropského projektu Niker (New Integrated Knowledge Based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake – induced Risk), který se zaměřuje chování historických konstrukcí v seizmicky aktivní oblasti. Výzkum se zaměřuje na chování zděných, stropních a střešních konstrukcí. Tímto bych chtěl poděkovat Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v.v.i. za poskytnutí potřebných materiálů pro napsání tohoto článku.

LITERATURA

- [1] DRDÁČKÝ, M., MLÁZOVSKÝ, V., RŮŽIČKA, P. (2004). Historic Carpentry in Europe: Discoveries and Potential. APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology, Vol. XXXV (2-3):33-41.
- [2] DRDÁČKÝ, M. F., WALD, F., MAREŠ, J. (1999). Modeling of real historic timber joints. In Proc. of the STREMAH 99 Sixth International Conference Structural Studies of Historical Buildings, pp.169-178. Dresden, Germany.

Oponentní posudek vypracoval:

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

Doc. Ing. Bohumil Straka, CSc., Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Martin WÜNSCHE¹

VYUŽITÍ MKP K MODELOVÁNÍ STROPNÍCH KONSTRUKCÍ
PŘI CYKlickÉM ZATĚŽOVÁNÍ

USING FEM TO MODELLING OF CEILING STRUCTURES UNDER CYCLIC LOADING

Abstrakt

Pro účely studie chování dřevěných konstrukcí při cyklickém zatížení byla provedena počítačová analýza u jednoho typu stropní konstrukce. Úloha byla brána jako parametrický problém, kde parametrem byla tloušťka záklopu a tuhost spojovacích elementů. Výsledky poskytují informace o tuhosti v rovině stropu a smykové tuhosti spojovacích prostředků. Tato simulace může sloužit jako měřítko modelu pro stanovení napětí a identifikace mechanických vlastností.

Klíčová slova

Cyklický test, dřevěný strop, disipace energie.

Abstract

For the purposes of wooden ceilings behaviour a numerical analysis was performed by the one type of a wooden floor with the single planking. The results provide information about in-plane stiffness of the floors and the shear stiffness of elements substituting the nail joints. It serves as a benchmark model used in the stress calculation and identification of the mechanical properties.

Keywords

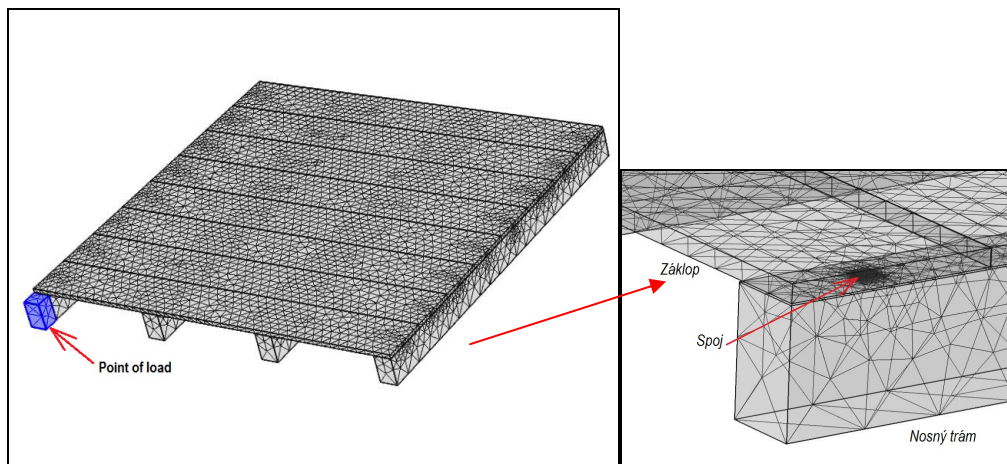
Cyclic test, Wood ceiling, Energy dissipation.

1 ÚVOD

Analýza se soustředila na parametrické zkoumání mechanických vlastností dřevěného trámového stropu se záklopem, který byl orientován kolmo k nosným trámům. Parametrizace spočívala v definování jednotlivých tlouštěk bednění od 14 do 30 mm. Zvolený interval tlouštěk se vztahoval na velké množství historických dřevěných stropů. Zkoumaný typ stropní konstrukce zaujímá významné místo v historickém vývoji stropních konstrukcí. Jednalo se o nejběžnější typ stropní konstrukce před vynálezem železového betonu. Stropní konstrukce se vyznačuje nízkou hmotností a dobrým poměrem únosnost / hmotnost.

Geometrie počítačového modelu se skládala ze čtyř trámů, na které byl přichycen záklop v jedné vrstvě v orientaci pod úhlem 90° vůči nosným trámům. Tento model a jeho modifikace předpokládala stejné materiálové vlastnosti a okrajové podmínky. Strop byl zatížen vodorovnou silou (viz obr. 1) a předpokládalo se ortotropní chování materiálu. Vzájemné spojení mezi trámy a záklopem bylo realizováno pomocí spojovacích elementů (hřebíků), které představovaly spolu s tloušťkou záklopu prvky s nastavitelnou tuhostí, což umožňovalo aktualizaci parametrů modelu.

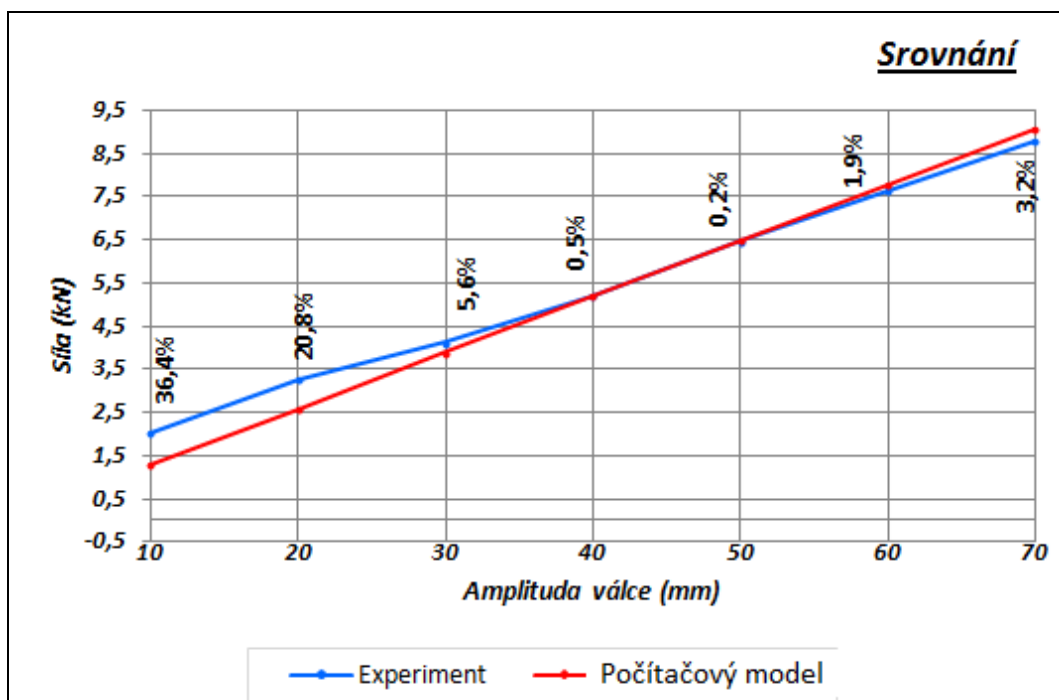
¹ Ing. Martin Wünsche, Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i., Prosecká 76, 190 00 Praha 9, e-mail: wunsche@itam.cas.cz.



Obr. 1: Numerický model stropní konstrukce s detailním zobrazením spoje

2 TESTOVACÍ PROCEDURA

Počítačové simulaci předcházela experiment na konstrukci stropu se záklopem o tloušťce 25 mm, která byla výchozí pro určování parametrů modelu [1]. Porovnání je uvedeno na obrázku č. 2.



Obr. 2: Porovnání numerického modelu a experimentu se záklopem tloušťky 25 mm

Pro účely parametrizace byly brány v úvahu čtyři varianty tlouštěk bednění, a to konkrétně 14 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm [2].

Aby bylo možné definovat počítačový model s elastickým chováním, musely být stanoveny základní vlastnosti materiálu [3] a [4]. Pokud jde o dřevěné části stropu, byly použity empirické hodnoty pro smrkové dřevo, viz tab. 1. Tuhosti spojovacích elementů byly určeny v závislosti na experimentu. To se provedlo pomocí iteračního procesu, který spočíval v hledání shodného posunu

počítačového modelu a experimentu změnou parametru modulu pružnosti spojovacích elementů v počítačovém modelu. Vzhledem k nelineárnímu chování s hysterezním efektem, který byl pozorován u experimentu, bylo dosaženo určitého rozdílu ve výsledku, a to v důsledku linearity počítačového modelu. Rozdíl je patrný na obrázku číslo 1.

Tab. 1: Vlastnosti materiálů

Název	Modul pružnosti [Pa]
Spojovací elementy	1.5e11
Smrkové dřevo (ve směru vláken)	6.7e9
Smrkové dřevo (kolmo na vlákna)	0.33e9

Počítačové simulace byly provedeny v programu COMSOL MULTIPHYSICS 4.2a, kde probíhal výpočet podle základního vztahu (1):

$$-\nabla \cdot \sigma = F \quad (1)$$

kde:

∇ – diferenciální operator Nabla,

σ – tenzor napětí,

F – vektor zatížení.

Geometrie předpokládala počáteční mezeru mezi jednotlivými prvky, díky čemuž byl počítačový model složitý, pokud jde o specifikaci parametrů kontaktu. Kontaktní problémy jsou vysoce nelineární a jsou pro výpočetní techniku náročné [5]. V závislosti na materiálu, okrajových podmínkách, zatížení a dalších faktorech mohou přijít jednotlivé prvky do kontaktu a pak je jejich chování náhlé a nepředvídatelné. Pro řešení je zapotřebí použít Newtonovu-Raphsonovu iteraci, proto je v COMSOLu implementována rozšířená Lagrangeova metoda. Existují v zásadě dva přístupy pro řešení tohoto konstantního problému.

V prvním případě by musely být definovány kontakty mezi jednotlivými konstrukčními prvky, které jsou popsány dvěma rovnicemi, popisující okrajovou kontaktní plochu prvku a hlavní prvek, kde okrajové kontaktní plochy nemohou proniknout do hlavního prvku. Pokud okrajové kontaktní plochy pronikají do hlavního prvku, čili je iterace negativní, jsou prvky rozšířeny o Lagrangeovy multiplikátory pro tlak.

$$T_{np} = \begin{cases} T_n - p_n g & \text{když } g \leq 0 \\ T_n e^{-\frac{p_n g}{T_n}} & \text{ostatní} \end{cases} \quad (2)$$

kde:

g – hranice mezi okrajem a hlavním prvkem.

Pokud se bere v úvahu i tření, pak:

$$\mu = \begin{cases} \mu_d + (\mu_s - \mu_d) e^{-\text{dfric}|v_s|} & \text{dynamické třetí} \\ \mu_s & \text{ostatní} \end{cases} \quad (3)$$

kde:

μ_s – součinitel statického třetí,

μ_d – součinitel dynamického třetí.

Ve druhém případě, který je typický pro program COMSOL MULTIPHYSICS od verze 4.2a, jsou již tyto kontaktní problémy řešeny úpravou sítě konečných prvků. Tato úprava vychází z deformace sítě, kdy pokud je konečný prvek deformován, jenž je popsán poměrem výšky a strany v určitém poměru, dojde k jeho překreslení. Tento poměr se pohybuje v rozmezí 0 až 1, přičemž hodnota 1 je pro poměr nejlepší hodnotou a 0 nejhorší hodnotou.

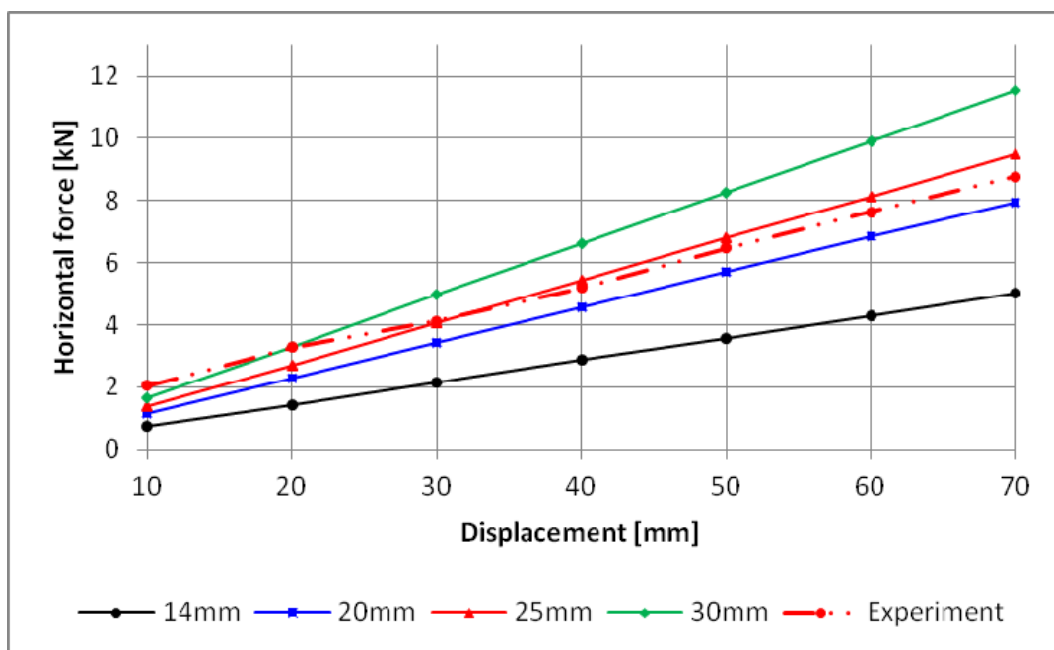
3 VÝSLEDKY

Řešení stropní konstrukce se předpokládalo ve dvou základních provedeních [2]. V prvním případě byl konstantní modul pružnosti spojovacích elementů, zatímco tloušťka záklopu byla proměnná. Ve druhém případě se zaměřovala na závislost tuhosti trámového stropu a na tuhosti spojovacích elementů s proměnným modulem pružnosti.

Tento počítačový model byl založen na lineární teorii pružnosti. Nebylo uvažováno žádné tření mezi prkny záklopu, stejně tak se nebralo v úvahu prolínání jednotlivých prken záklopu, což vyplynulo z povahy řešiče dané verze programu.

3.1 Konstantní tuhost spojovacích elementů

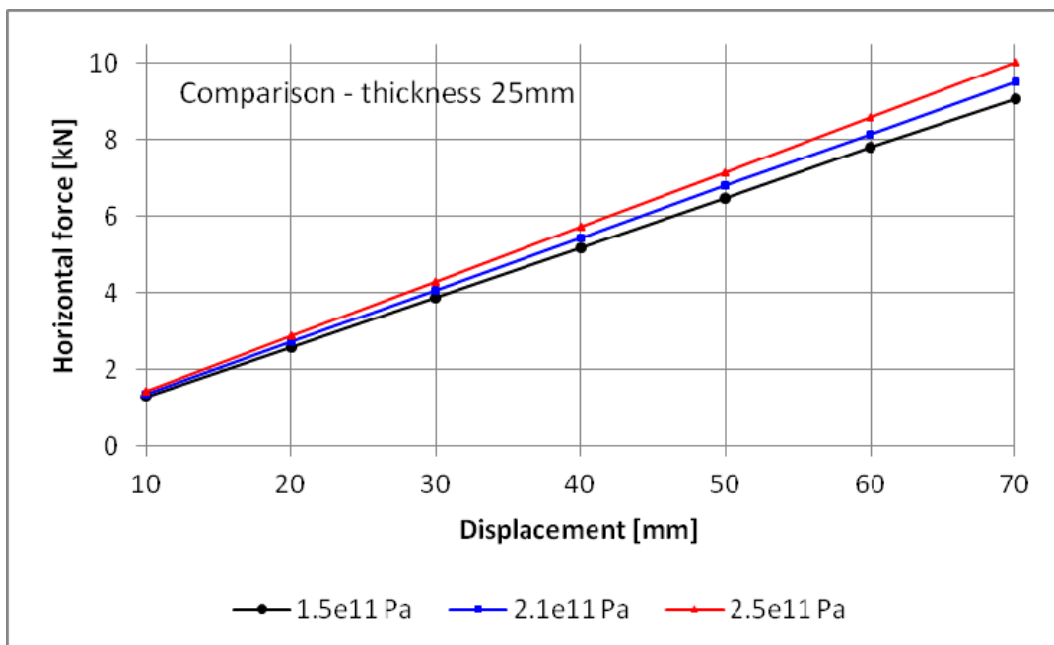
Výsledky získané změnou tloušťky bednění jsou uvedeny na obrázku 3. Obrázek ukazuje velikosti působící vodorovné síly, která stropní konstrukci posune pro příslušné tloušťky do požadované hodnoty.



Obr. 3: Průběh síly pro konstantní tuhost spojovacích elementů a proměnnou tloušťku záklopu

3.2 Konstantní tloušťka záklopu a proměnná tuhost spojovacích elementů

Tuhost spojovacích elementů je proměnná v závislosti na hodnotě modulu pružnosti ve třech modifikacích 1,5 e11, 2,1e11 a 2.5e11 Pa. Tloušťka bednění je konstantní s hodnotou 25 mm.



Obr. 4: Průběh síly pro konstantní tloušťku záklopu 25 mm a proměnnou tuhost spojovacích elementů

4 ZÁVĚR

Tato analýza byla zaměřena na parametrické hodnocení vlivu tloušťky záklopu na tuhost trámového stropu s jednovrstvým záklopem. Z výsledků vyplývá, že tloušťka záklopu má značný vliv na tuhost stropní konstrukce. To bylo prokázáno pomocí počítačových modelů, které uvažovaly čtyři druhy tlouštěk. Před parametrickou analýzou byly materiálové charakteristiky modelů přizpůsobeny výsledkům experimentu tak, že model měl srovnatelné mechanické vlastnosti.

Počítačový model, který zde byl analyzován, je možné nazvat jako "slabý kinematický systém". Jeho smyková tuhost a nelinearita je zásadně ovlivněna mezerami mezi prkny.

Byly provedeny dvě modifikace stropní konstrukce: (i) konstantní modul pružnosti spojovacích elementů a (ii) konstantní tloušťka záklopu 25 mm. První z nich byla zaměřena na vliv tloušťky bednění při konstantní tuhosti spojovacích elementů. Navzdory tomu, že počítačový model je přísně lineární bez možnosti uplatnění tření, prokázal záklop s ohledem na tuhost vysokou účinnost. Výrazný nárůst tuhosti byl prokázán u všech variant tlouštěk. Ve druhém nastavení, byla konstantní tloušťka záklopu a proměnná byla jen tuhost spojovacích elementů ve třech úrovních. Rovněž byl ověřen předpoklad, že celková tuhost stropní konstrukce roste s tuhostí spojovacích elementů.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum byl proveden v rámci evropského projektu Niker (New Integrated Knowledge Based Approaches to the Protection of Cultural Heritage From Earthquake – Induced Risk, grand agreement no. 244123), který se zaměřuje chování historických konstrukcí na seizmicky aktivní oblastí. Výzkum se zaměřuje na chování zděných, stropních a střešních konstrukcí. Tímto bych chtěl poděkovat Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v.v.i. za poskytnutí potřebných materiálů pro zpracování tohoto článku.

LITERATURA

- [1] D5.4 2011: Report about the accuracy and reliability of the numerical simulations on floors and vaults; Deliverable 5.4, Project NIKER (Grand Agreement No.: 244123).
- [2] D5.5 2011: Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults; Deliverable 5.4, Project NIKER (Grand Agreement No.: 244123).
- [3] Handbook 1, 2: Design of Timber Structures according to EC5 (2008); Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures - TEMTIS; Leonardo da Vinci Pilot Project (CZ/06/B/F/PP/168007).
- [4] EN 1995-1-1:2004. Eurocode 5 - Design of Timber Structures.
- [5] BROŽOVSKÝ J., MATERNA A.: Metoda konečných prvků ve stavební mechanice, Matematika pro inženýry 21. století, Ostrava 2011.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA, ČKAIT, Brno.

Marcela ČERNÍKOVÁ¹, Pavel ORAVEC², Vladan PANOVEC³

MĚŘENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ SKEL OKENNÍCH VÝPLNÍ PO PĚTI LETECH UŽÍVÁNÍ

MEASURING OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF WINDOW PANES AFTER FIVE YEARS OF USING

Abstrakt

Okenní výplně jsou v dnešní době díky nárokům na tepelně - technické vlastnosti čím dál více propracovanější z hlediska technického řešení. Je potřeba dbát jak na konstrukční řešení rámu, tak i na izolační výplň mezi zasklením. Okenní výplně mají značný podíl na tepelné ztrátě obálkou budovy. Proto považujeme za důležité zhodnotit stav zabudovaných oken i po určité době od zabudování výrobků. V tomto případě jsou hodnoty měřené téměř po pěti letech užívání stavby.

Klíčová slova

Okna, skla, tepelný tok, měření, teplota.

Abstract

Because of the requirements of thermophysical properties windows are becoming technically more sophisticated recently. We need to pay attention not only to structure of window frame but also to insulation between the window panes. Window panes contribute significantly to heat loss through building envelope. So we consider this as very important to test the state of installed windows after few years of using. In this case we have the values measured almost after five years of using.

Keywords

Windows, window panes, heat flow, measure, temperature.

1 ÚVOD

Popisovaná problematika byla prováděna v souvislosti s výzkumným záměrem, který je součástí projektů „Inovace a modernizace studijního oboru Prostředí staveb“ a „Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO“. V rámci záměru byly pracovníky a doktorandy Fakulty stavební VŠB – TU Ostrava (obr. 1) na souboru pasivních domů provedeny analýzy vzduchotěsnosti metodou Blower-Door, termovizní měření pasivních domů a měření a vyhodnocení zvukoizolačních schopností stěn a stropů. Tento příspěvek popisuje měření a vyhodnocení parametrů sloužících ke zjištění hodnoty součinitele

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) 597 321 957, e-mail: marcela.cernikova@vsb.cz.

² Ing. Pavel Oravec, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 912, e-mail: pavel.oravec@vsb.cz.

³ Ing. Vladan Panovec, Katedra Prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 941, e-mail: vladan.panovec@vsb.cz.

prostupu tepla zasklení, které bylo rovněž prováděno v rámci výzkumu. Obdobný výzkum byl prováděn na jiných stavbách uvedených v [5].

2 POPIS BUDOVY

Budova školicího střediska firmy Atrea se nachází v Koberovech a je součástí souboru dvanácti pasivních domů vybudovaných v roce 2007. Při návrhu tohoto komplexu domů v pasivním standardu bylo dbáno mj. na umístění oken vůči světovým stranám. Distance mezi budovami a jejich rozmístění na parcelách je provedeno tak, aby si vzájemně nestínily do obytných prostor.

Konstrukční řešení je u všech domů stejné – jedná se o dřevostavby. Rozdílnost představují např. přesahy střech nebo uspořádání oken. Odlišné jsou také konečné fasádní úpravy.



Obr. 1: Měřicí tým u budovy školicího střediska firmy Atrea s.r.o v Koberovech

Okna, která se měřila, byla orientována na východní a jižní stranu. Čidla se osazovala na otevíravá i fixní křídla oken. Místnost, ve které bylo měření prováděno, slouží jako výukový prostor při různých školeních či přednáškách. Okna nejsou chráněna žádnými venkovními clonícími prvky, ale jsou opatřena vnitřními žaluziemi. Budova se nachází ve větrné lokalitě, kde působí výraznější povětrnostní podmínky.

2.1 Popis měření



Měření parametrů, z nichž byl vypočítán součinitel prostupu tepla zasklení U_g [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}^{-1}$] bylo prováděno v zimním období při dostatečně velkém teplotním spádu. Měření bylo prováděno vždy v nočních hodinách (od 21:00-7:00), aby se vyloučil vliv slunečního záření.

Pro měření byly vytipovány tři okenní výplně. Data byla snímána i přes den, ale z hodnot denního měření v Tab. 2 je patrné, že výsledná hodnota součinitele prostupu tepla zasklení není reálná z důvodu ovlivnění slunečním svitem.

Obr. 2: Pohled na měřené okenní výplně školicího střediska

2.2 Požadavky

Požadavky na měření tepelného toku (resp. Součinitele prostupu tepla) zabudovaných otvorových výplní (tedy mimo zkušební laboratoř) nejsou specifikovány žádným předpisem. Je potřeba zdůraznit, že samotný prostup tepla přes skleněnou výplň je proces natolik složitý a navíc ovlivněný řadou faktorů, že i v laboratorních podmínkách bývá obtížné provést ho tak, aby získané výsledky nebyly zpochybňovány. Proto naměřené hodnoty „in situ“ je vždy nutné brát s určitou rezervou, jako hodnoty neautorizované.

Při samotném měření lze orientačně postupovat podle „ČSN EN 675 Sklo ve stavebnictví – Stanovení prostupu tepla (hodnota U) – Metoda měřidla tepelného toku“ [2]. Základní požadavky této normy lze shrnout takto:

- velikost měřeného vzorku má být 800 mm × 800 mm (s tolerancí 750 až 850 mm) – u větších vzorků je potřeba uvažovat s bočním tepelným tokem skly a s větším prouděním plynu mezi skly;
- teplota vzorku má být $(10 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$;
- rozdíl mezi teplým a studeným povrchem má být $(15 \pm 0,5) \text{ K}$.

Je jasné, že dodržení těchto požadavků není při měření „in situ“ reálné, proto je na základě dlouhodobých zkušeností doporučeno dodržet tento postup:

- protože se jedná o měření ustáleného toku tepla, musí být vyrovnaný teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem alespoň po dobu 6 hodin;
- teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem by měl činit alespoň 25 K – tzn. při teplotě v interiéru cca 20 °C by měla být venkovní teplota – 5 °C;
- měření je nutno provádět vždy v nočních hodinách, aby nedocházelo k ovlivnění teplot vlivem slunečního záření;
- čidla musí být umístěna uprostřed zasklení – při rozměrech zasklení větších než 150 × 150 cm se nepředpokládá výraznější ovlivnění výsledků rámem a tepelnou vazbou zasklívací spárou, naopak, při menších rozměrech může být toto ovlivnění významné.

Přesnější výsledky lze získat porovnáním s referenčním vzorkem – zasklení změřené ve zkušebně se osadí do některého z okenních rámců v dané budově a znovu se změří používaným měřicím zařízením. Stejným způsobem lze stanovit vliv zasklívací spáry, případně rámu.

2.3 Výpočetní vztahy

Výpočet tepelného odporu zasklení pomocí naměřeného tepelného toku dle ČSN EN 675[2]:

$$R = \frac{T_{si} - T_{se}}{q} \quad (1)$$

q	tepelný tok [W/m^2]
T_{si}	vnitřní povrchová teplota konstrukce [$^\circ\text{C}$]
T_{se}	vnější povrchová teplota konstrukce [$^\circ\text{C}$]

$$\frac{1}{U} = R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad (2)$$

$h_e = 25$	Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^{-1}]$
$h_i = 7,7$	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^{-1}]$

2.4 Použité měřicí zařízení

K měření byla použita měřicí sestava:

- Zařízení ALMEMO 2690-8 [9].
- Teplotní čidla AHLBORN [10].

Tab. 1: Použité zařízení pro měření

	AHLBORN – Almemo 2690-8 - napojení 5 konektorů – pro čidla - napojení zdroje energie - napojení USB kabelu na přenos dat do PC
	AHLBORN – ALMEMO – ZA 9020-FS – teplotní čidlo pro měření teploty v exteriéru -ozn. θ_e [°C]
	AHLBORN – ALMEMO – ZA 9020 FS – teplotní čidlo pro měření teploty na povrchu konstrukce z interiérové i exteriérové strany - ozn. θ_{si}, θ_{se} [°C]
	AHLBORN – ALMEMO – ZA 9007 FS čidlo pro měření tepelného toku W/m^2 - ozn. Q [W/m^2]
	AHLBORN – ALMEMO – FH A646-E1 – kombinovaná sonda pro zjišťování teploty a relativní vlhkosti v interiéru - ozn. θ_i [°C]

3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Naměřené hodnoty jsou získané pomocí měřicího přístroje AHLBORN – Almemo 2690-8 [9]. Ukládání a průměrování výsledků bylo po 15-ti minutách. Tyto naměřené hodnoty se zpracovávají pomocí softwaru [8] dodávaného k měřicímu přístroji, a dále se vyhodnotily v programu MICROSOFT EXCEL 2007 [7].

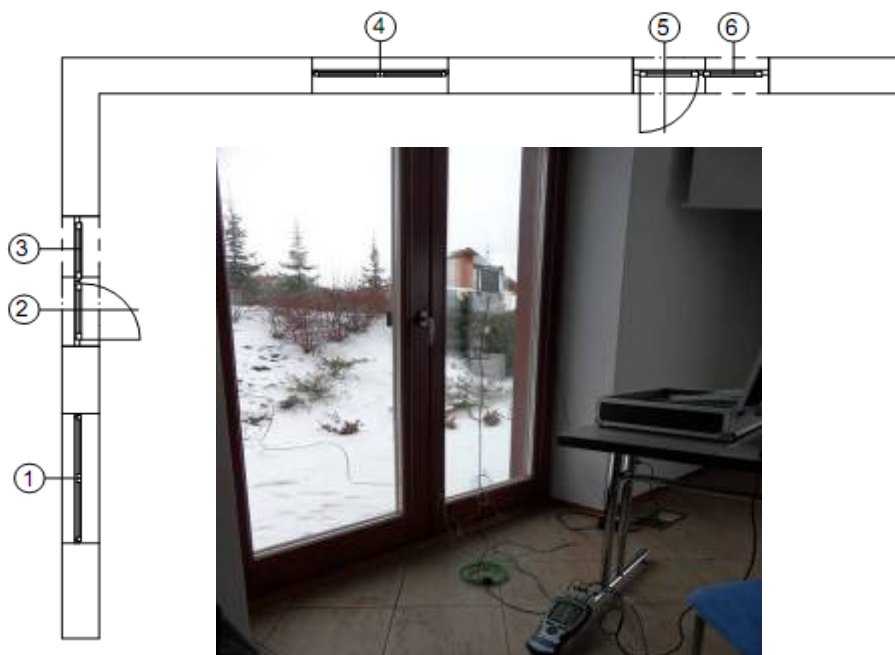
Podle podkladů od dodavatele oken firmy Slavona jsou v domě osazeny okenní výplně s dřevěnými rámy a zasklení je provedeno pomocí trojitého izolačního zasklení se součinitelem prostupu tepla zasklení $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$ [4].

Výsledné hodnoty součinitele prostupu tepla pro tři měřená okna jsou shrnuty ve výsledné

Tab. 2. Použité měřicí zařízení je shrnuto v Tab. 1.

Tab. 2: Porovnání hodnot U [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$]

Označení oken dle obr. 3	otevíravé	fixní	fixní
	č. 2	č. 3	č. 6
Deklarovaný součinitel prostupu tepla zasklením U_g [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$] (dle výrobce)	0,5		
Naměřená průměrná hodnota součinitele prostupu tepla zasklení U_g [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$] denní měření (orientační)	-	-0,01	0,09
Vypočítaná směrodatná odchylka - s	-	$\pm 0,4153$	$\pm 0,3666$
Naměřená průměrná hodnota součinitele prostupu tepla zasklení U_g [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$] noční měření (korektní)	0,78	0,65	0,58
Vypočítaná směrodatná odchylka - s	$\pm 0,0396$	$\pm 0,1214$	$\pm 0,0372$



Obr. 3,4: Půdorysné rozmístění hodnocených oken a instalované měřicí zařízení

4 ZÁVĚR

Měřené okenní výplně jsou v budově zabudovány téměř pět let. Hodnota součinitele prostupu tepla zasklení je vyhodnocena softwarem [8], který zohledňuje výslednou hodnotu s určitou odchylkou, která je uvedena v Tab. 2. Výrobce, který udává deklarovaný součinitel prostupu tepla, se musí řídit dle tepelně technické normy [1]. Tato norma prošla od roku 1954, kdy vznikla, postupně mnoha změnami. Změny se týkaly zpřísnění normových hodnot součinitele prostupu tepla U [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}^{-1}$] [6].

Z podkladů byly k dispozici hodnoty součinitele prostupu zasklení s hodnotou $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^{-1}$. Přímé porovnání naměřených výsledků s deklarovanou hodnotou součinitele prostupu zasklení však není možné, protože toto není hodnota, která by vypovídala o skutečném U_g v době montáže na stavbě. Při zhodnocení výsledků z probíhajícího měření je patrné, že tepelně izolační vlastnosti jsou rozdílné, a to i v rámci jednotlivých oken. Aby bylo možné potvrdit (nebo vyvrátit) vliv doby osazení otvorové výplně na její tepelně izolační vlastnosti, bude nutné provést v průběhu několika let další měření, pokud možno za stejných podmínek.

5 PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl vytvořen v rámci projektu „Tvorba a internacionalizace špičkových týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB – TUO“.

Příspěvek byl také realizován za laskavé podpory projektového manažera firmy Atrea s.r.o. pana Ing. Zdeňka Zikána, který umožnil měření v prostorách komplexu pasivních domů v Koberovech.

LITERATURA

- [1] ČSN 730540-2 - Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky (2011).
- [2] ČSN EN 675 Sklo ve stavebnictví.
- [3] PROJEKČNÍ PODKLADY – výkresy stavební části.
- [4] <http://domy.atrea.cz/cz/realizace-obytneho-souboru-12-ti-pasivnich-rodinnych-domu-a-skolicihostrediska-koberovy-cesky-raj>.
- [5] ORAVEC, P. & TESLÍK, J. & ZEMAN, K. & LABUDEK, J. Zjišťování tepelně izolačních vlastností izolačních dvojskel. In Závěrečná konference projektu CZ-PL. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, ISBN X978-80-248-2224-2.
- [6] SKOTNICOVÁ, I., Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2011, roč. 6, č. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2006, s. 205-212. ISSN 1213-1962.

POUŽITÝ SOFTWARE

- [7] MICROSOFT EXCEL 2007.
- [8] Amr Control 5.13.

POUŽITÉ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

- [9] Měřicí zařízení ALMEMO 2690-8.
- [10] Teplotní čidla AHLBORN.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D., Ústav pozemního stavitelství, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Milan DRDA¹, Lubomír MARTINÍK²

OPTIMALIZACE NÁVRHU VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY POMOCÍ LCC ANALÝZY

OPTIMIZING THE DESIGN OF AIR HANDLING UNIT VIA LCC ANALYSIS

Abstrakt

V dnešní době se společnost čím dál více zaměřuje na hodnocení budov z hlediska spotřeby energie. Je třeba se zaměřit i na energetické hodnocení strojních zařízení, které zajišťují vnitřní prostředí budovy. Tento článek krátce seznamuje s pojmy energetického hodnocení těchto zařízení používaných pro zajištění interního mikroklimatu. Dále autoři vysvětlují význam LCC analýzy již ve fázi návrhu vzduchotechnické jednotky. V příspěvku je také představen LCC nástroj vytvořený při spolupráci výrobce vzduchotechnických jednotek Remak a. s. a VŠB – TU Ostrava.

Klíčová slova

LCC analýza, energetické hodnocení, náklady životního cyklu.

Abstract

Current society is more focused on the evaluation of energy consumption of buildings. It is necessary to focus on the evaluation of energy consumption of machineries used to create internal microclimate. This article shortly presents some terms used to evaluate energy efficiency of these machineries used to create internal microclimate. In addition, authors explain the importance of analysis of AHU (air handling unit) via LCC at the concept stage air handling units. The paper also introduces LCC tool created during cooperation with Remak a. s. and VŠB – TU Ostrava.

Keywords

LCC analysis, energy evaluation, life cycle costs.

1 ÚVOD

Rostoucí ceny energií nutí provozovatele budov k hledání úspor energií. V již existujících budovách se možnosti úspor hledají daleko složitěji než v budovách, které jsou ve fázi projektu. Energeticky úsporný koncept budovy daný již v počátku projektování může přinést výrazné úspory energie a nákladů na ni v průběhu užívání stavebního díla. K zajištění vyhovujícího interního mikroklimatu je potřeba budovy klimatizovat. Srdcem klimatizačních systémů jsou klimatizační jednotky, ty se však mohou podílet velkou měrou na spotřebě energie budovy. V současné době existuje celá řada parametrů, podle kterých lze vzduchotechnické (dále jen VZT) jednotky hodnotit. Hlavní část příspěvku ukazuje využití LCC pro modelování nákladů na provoz VZT jednotek a využití těchto výsledků pro optimalizovaný návrh VZT jednotek. Pomocí LCC analýzy můžeme dokázat, že zařízení, které je dražší na pořízení, je ve výsledku za celý životní cyklus díky nižším provozním nákladům levnější než zařízení s nižší pořizovací cenou ale horšími technickými parametry.

¹ Ing. Milan Drda, Remak a. s., Zuberská 2601, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm, tel.: (+420) 571 877 708, e-mail: drda@remak.cz.

² Ing. Lubomír Martiník, 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: lubomir.martinik@vsb.cz.

2 VELIČINY HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI VZT JEDNOTEK

2.1 SFP

SFP (specific fan power) neboli měrný příkon ventilátorů, je veličinou, která hodnotí energetickou náročnost transportu vzduchu VZT jednotkou. SFP může být hodnota udávána pro celou budovu nebo pro VZT jednotku ale i pro samostatný ventilátor. Podrobněji o SFP pojednává norma ČSN EN 13779 dále jen [1]. Výpočtový vztah (1) udává SFP pro VZT jednotku s přívodní i odvodní větví.

$$SFP = \frac{P_{sup} + P_{exh}}{Q_{max}} \quad (1)$$

kde:

P_{sup} – elektrický příkon ventilátoru v přívodní větvi VZT jednotky [W],

P_{exh} – elektrický příkon ventilátoru v odvodní větvi VZT jednotky [W],

q_{max} – větší z hodnot objemového průtoku v odvodní nebo přívodní větvi VZT jednotky [m³/s].

SFP pro VZT jednotku nabývá dvou základních hodnot SFP_V nebo SFP_E .

Hodnota SFP_V je hodnota stanovena při počáteční tlakové ztrátě filtrů a tlakové ztrátě na straně vzduchu na výměnících stanovené v suchém stavu (bez kondenzace na lamelách). Hodnota SFP_E je stanovena pro návrhovou tlakovou ztrátu filtrů (střední zanesení) a tlakovou ztrátu výměníků mezi mokřým a suchým stavem.

2.1 Třída energetické účinnosti VZT jednotek

Jiným způsobem hodnocení VZT jednotek z pohledu energetické náročnosti jejich provozu je třída energetické účinnosti (energy efficiency class) dle organizace EUROVENT. Toto hodnocení rozděluje jednotky do 6 tříd. Nejlepší je třída A nejhorší pak třída E. Zatřídění probíhá pomocí vypočteného faktoru f (Absorbed power factor). Podrobněji o výpočtu faktoru f – viz [4]. Referenční hodnoty f_{ref} pro jednotlivé třídy – viz Tab. 1.

Tab. 1: Třídy energetické účinnosti VZT jednotek dle EUROVENT [4]

Třída	Doporučené parametry			Závěrečná kontrola třídy
	Všechny podskupiny	Podskupina 1		
	Rychlost	Jednotky s rekuperací tepla		Faktor spotřebované energie
	V_{ref} [m/s]	η_{ref} [%]	Δp_{ref} [Pa]	f_{ref} [-]
A/A→/A↑	1,8	75	280	0,90
B/B→/B↑	2,0	67	230	0,95
C/C→/C↑	2,2	57	170	1,00
D/D→/D↑	2,5	47	125	1,06
E/E→/E↑	2,8	37	100	1,12
<E/<E→/<E↑	Bez požadavků			Bez požadavků

3 LCC

SFP i třída energetické účinnosti poskytují představu o spotřebě energie VZT jednotky, ale pro laickou veřejnost je za tímto hodnocením obtížné si něco konkrétního přestavit. Hodnotou pro každého představitelnou jsou peníze. Právě hodnocení pomocí LCC (life cycle costs) neboli pomocí nákladů životního cyklu poskytuje tento jasně představitelný výstup.

Hodnocení pomocí LCC v sobě zahrnuje náklady na:

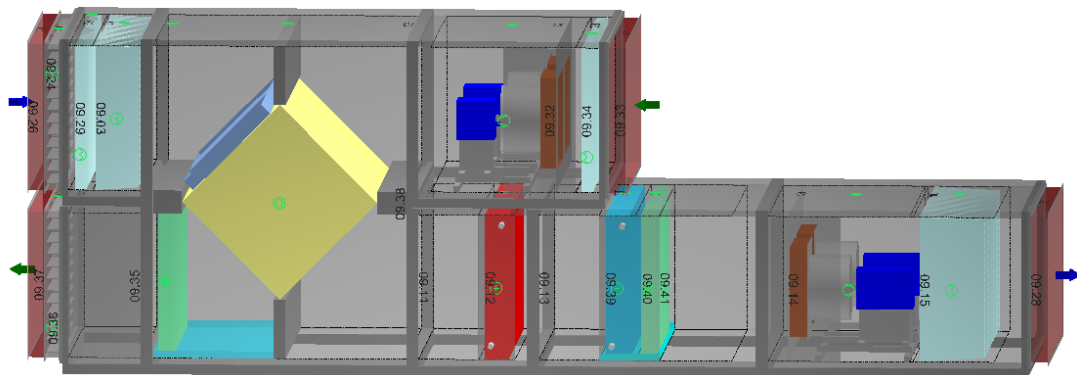
- transport vzduchu,
- ohřev a chlazení vzduchu,
- vlhčení vzduchu,

- provoz zařízení ZZT,
- provoz dalších pomocných zařízení nutných k správnému chodu VZT jednotky,
- údržbu VZT jednotky,
- pořizovací cenu VZT jednotky.

Hodnocení LCC v sobě zahrnuje i vliv růstu cen energií v průběhu hodnoceného období.

Vhodnou dobou pro použití LCC je projektová fáze budovy. Již v této fázi můžeme pomocí LCC optimalizovat v budoucnu instalované VZT zařízení z hlediska provozních nákladů. Praktické výstupy z LCC si demonstrujeme na níže uvedených příkladech.

4 VYUŽITÍ LCC PRO OPTIMALIZACI NÁVRHU JEDNOTEK SE ZPĚTNÝM ZÍSKÁVÁNÍM TEPLA



Obr. 1: VZT jednotka se zpětným získáváním tepla (dále jen ZZT) [7]

Modelovaná jednotka přivádí konstantní množství vzduchu $21\,500\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, v zimě přivádí vzduch o teplotě $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ v létě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, jednotka je v provozu 12 hodin denně v pracovních dnech. Jednotku navrhujeme ve třech variantách. V první s průřezovou rychlostí cca $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v druhé pak cca 3 a ve třetí s rychlostí přibližně $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Souhrnné výsledky udává Tab. 2.

Tab. 2: Souhrnné výsledky hodnocení jednotek se ZZT

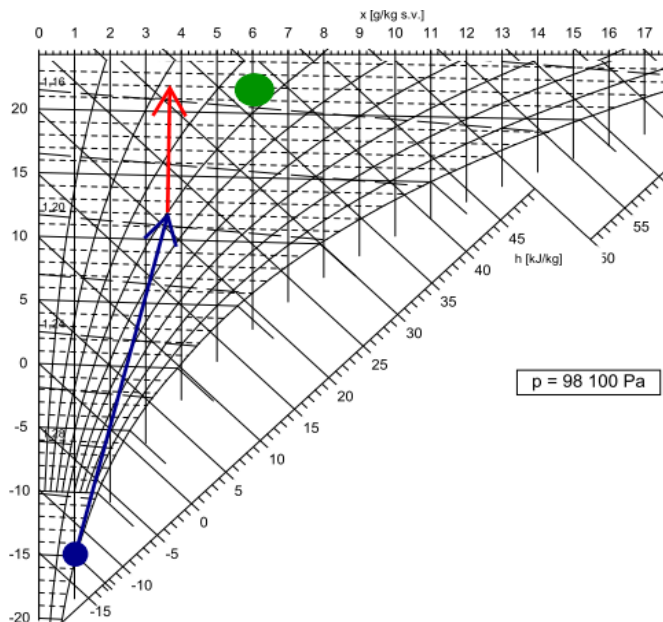
Velikost jednotky	Rychlost v průřezu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Pořizovací cena jednotky	Příkon ventilátorů (kW)	SFP _E ($\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$)	Třída energetické účinnosti	LCC za 15 let
2	1,95	1 013 755 Kč	17,29	2 894	A	9 646 471 Kč
3	3,04	644 815 Kč	20,98	3 595	D	11 749 125 Kč
4	3,86	625 100 Kč	27,59	4 620	E	13 436 628 Kč

Z Tab. 2. je patrné, že jednotka s nejnižší rychlostí v průřezu má nejvyšší pořizovací cenu, z tohoto hlediska by se mohlo zdát, že je nejlevnější koupit jednotku s nejvyšší průřezovou rychlostí. Ale pokud jednotky podrobíme LCC analýze, vyjde nám, že jednotka s nejvyšší pořizovací cenou je nejlevnější na provoz a za 15 let provozu ušetří oproti jednotce s nejnižší pořizovací cenou cca $3\,700\,000\text{ Kč}$. Návratnost investice do větší jednotky je do 2 let.

5 VYUŽITÍ LCC PRO OPTIMALIZACI NÁVRHU JEDNOTEK S POLYTROPICKÝM VLHČENÍM

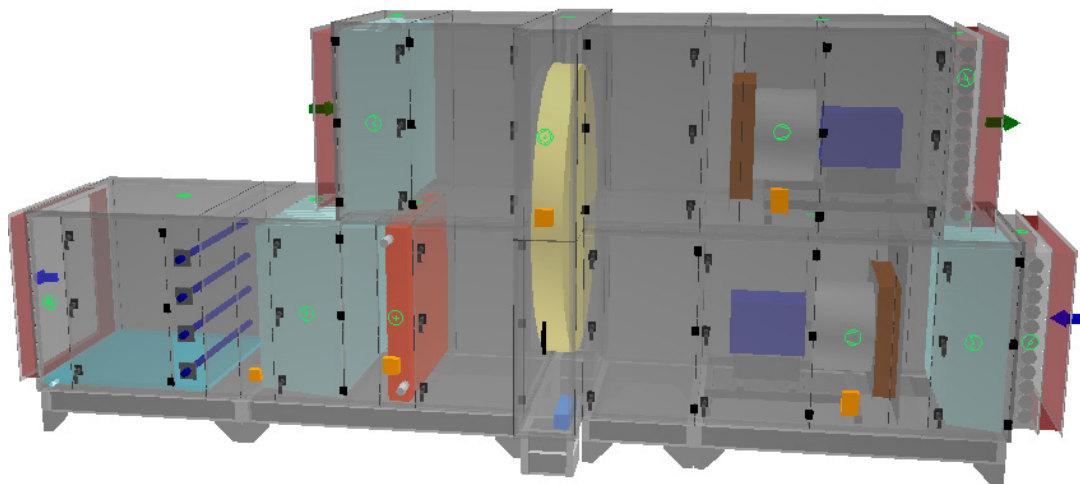
Dle WHO (World Health Organization = světová zdravotnická organizace) v roce 1984 pociťovalo 30% osob v moderních zemích tzv. SBS (Sick Building Syndrom = syndrom nemocných budov), v roce 2002 již tento syndrom pociťovalo 60% osob. Podrobněji o SBS – viz zdroj [5]. Jako jedna z hlavních příčin je uváděna nedostatečná kvalita interního mikroklimatu budov. Jedním

z parametrů interního mikroklimatu je relativní vlhkost vzduchu v místnosti. Dle normy [1] by minimální měrná vlhkost v zimní období měla být alespoň $6 \text{ g.kg}_{\text{sv}}^{-1}$. Pokud v zimním období nepoužijeme ve VZT jednotce zvlhčovač a v místnosti nejsou významné zdroje vlhkosti, tak této hodnoty stěží dosáhneme – viz Obr. 2. Požadovaný stav přiváděného vzduchu je na Obr. 2. označen zeleným kruhem.



Obr. 2: Úprava vzduchu v zimním období, při použití teplotního rotačního rekuperátoru

Možností jak dosáhnout požadované vlhkosti přivodního vzduchu je např. polytropické vlhčení. V realizaci se mu snaží investoři vyhnout, jelikož je energeticky náročné. Pokud ovšem místo tradičního rotačního rekuperátoru (dále jen ROV) použijeme ROV se speciální povrchovou úpravou k zvýšení přenosu vlhkosti tzv. vlhkostní rekuperátor, tak můžeme tuto potřebu energie významně redukovat. Výslednou úsporu si demonstrujeme LCC analýzou jednotky s běžným teplotním ROV a jednotky s tzv. vlhkostním ROV. Jednotka je uspořádána dle Obr. 3.



Obr. 3: Uspořádání jednotky s ROV a polytropickým vlhčením [7]

Jednotka je v provozu pouze v zimním období, množství přiváděného vzduchu $15\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, teplota přivodního vzduchu 22°C , relativní vlhkost 40-50 %. Souhrnné výsledky – viz Tab. 3.

Tab. 3: Souhrnné výsledky hodnocení jednotek s polytropickým vlhčením

Typ ROV v jednotce	Rychlost v průřezu (m.s^{-1})	Požizovací cena jednotky	Příkon ventilátorů (kW)	SFP_E ($\text{W.m}^{-3}.\text{s}$)	Třída energetické účinnosti	LCC za 15 let
Teplotní	2,69	773 466 Kč	11,23	2 697	A	11 859 056 Kč
Vlhkostní	2,69	867 000 Kč	11,36	2 726	A	8 531 102 Kč

Z Tab. 3. se podle hodnocení jednotek dle SFP a třídy energetické účinnosti zdá, že jednotky jsou téměř totožné. Pokud jednotky ale analyzuje pomocí LCC, tak vidíme, že jednotka s vlhkostním ROV za 15 let provozu ušetří oproti jednotce s teplotním ROV cca 3 300 000 Kč. Návratnost investice do jednotky s vlhkostním ROV je do 1 roku.

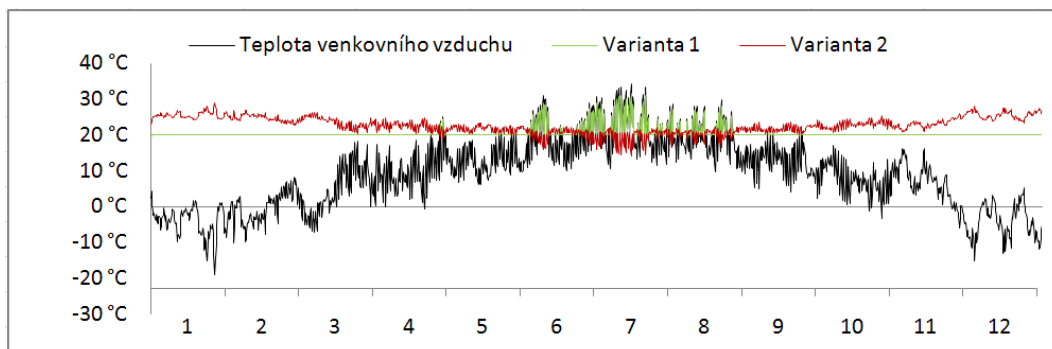
6 SPOLUPRÁCE FAKULTY STAVEBNÍ VŠB-TUO A FIRMY REMAK PŘI VÝVOJI LCC KALKULÁTORU

V rámci stáže byla ve spolupráci Fakulty stavební VŠB-TUO s firmou REMAK a.s. vyvíjena výpočetní pomůcka pro výpočet nákladů životního cyklu VZT jednotky – tzv. LCC kalkulator.

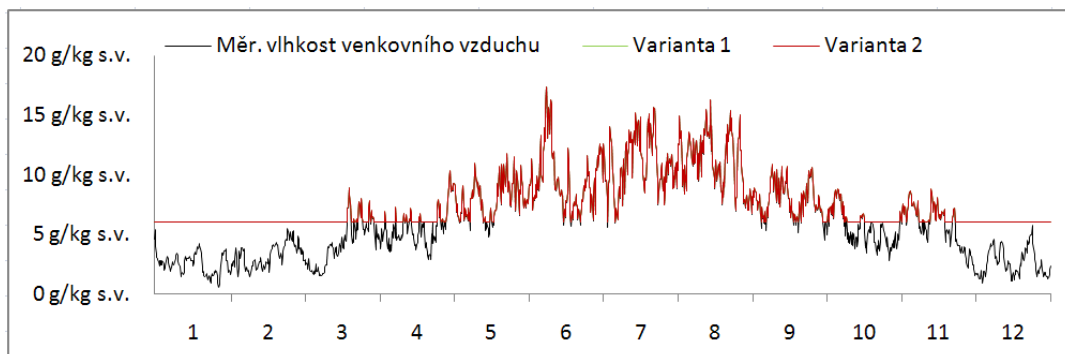
Tento kalkulator vychází z požadavků na výpočet LCC dle organizace EUROVENT [3]. V této fázi je kalkulator v podobě formuláře programu Excel [8], v němž jsou zaneseny základní algoritmy a principy větrání, předehřevu, chlazení, dohřevu, vlhčení pro různé provozní stavy od předvolených po plně volitelné. V programu je také možno nastavit meze pro přívod vzduchu bez úprav, případně nastavit poměr směsi venkovního a oběhového vzduchu. Program, kromě podrobných výpisů dat v kWh a Kč nebo jiné měně, také vykreslí vlastnosti přiváděného vzduchu oproti vzduchu v exteriéru, aby bylo možno různé cenové varianty jednotek porovnávat nejen z kvantitativního (finančního) hlediska, ale také z kvalitativního. Tato data nás informují o možnostech přijetí dílčích opatření, která by vedla ke snížení spotřeby energií a stabilizovala vnitřní prostředí na přijatelných podmínkách [6]. Díky tomu můžeme zvážit míru zlepšení kvality vzduchu a navýšení investičních a provozních nákladů. Pro příklad si uvedme dvě varianty VZT jednotky:

Varianta 1 je VZT jednotka, která zajišťuje nucené větrání bez chlazení přívodního vzduchu v letním období. Jednotka je vybavena polytropickým zvlhčovačem a v zimním období je přívodní vzduch zvlhčován na minimální hodnotu měrné vlhkosti $6 \text{ g.kg}_{\text{sv}}^{-1}$ - viz Obr. 4 a 5.

Varianta 2 je VZT jednotka, která zajišťuje v zimním období teplovzdušné vytápění a v letním období chlazení přívodního vzduchu. Jednotka je vybavena polytropickým zvlhčovačem a v zimním období je přívodní vzduch zvlhčován na minimální hodnotu měrné vlhkosti $6 \text{ g.kg}_{\text{sv}}^{-1}$, v režimu chlazení není vlhkost přívodního vzduchu řízena - viz Obr. 4 a 5.



Obr. 4: Porovnání teploty přiváděného vzduchu různými VZT jednotkami a teploty v exteriéru



Obr. 5: Porovnání vlhkosti přiváděného vzduchu různými VZT jednotkami a vlhkosti v exteriéru

7 ZÁVĚR

LCC je velmi užitečný nástroj pro hodnocení energetické náročnosti VZT jednotek. Poskytuje jasně pochopitelný výstup i pro ty, kteří nejsou odborníky v energetickém hodnocení VZT jednotek. Uživatel díky LCC analýze získá představu, kolik ho bude stát zajištění požadovaného interního mikroklimatu v jím provozované budově pomocí VZT jednotky. Použití LCC již ve fázi projektu budovy, může výrazně snížit náklady na její provoz. LCC analýza je zpracována dle [3], tato metodika neuvažuje se započtením dopadu na životní prostředí. Pro komplexní zhodnocení z hlediska environmentálního vlivu by bylo potřeba použít metodu LCA (Life Cycle Assessment).

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl vytvořen v rámci projektu „tvorba a internacionalizace špičkových týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB – TUO“ (CZ.1.07/2.3.00/20.0013) členem výzkumné skupiny katedry prostředí staveb a TZB a v rámci stáže technologického skauta projektu „AGENT“ (CZ.1.07/2.4.00/12.0097). Článek byl publikován na konferenci PROGRESS 2012.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 13779, 2010.
- [2] *Eurovent Certification for Air Handling Units :Five Energy Efficiency classes to make the right choice*, Paris – France.
- [3] *Recommendations for Calculations of Energy Consumption for Air Handling Units* - Eurovent 6/8 2005, Paris – France.
- [4] *Energy Efficiency Classification of Air Handling Units* (update 30/01/2010), Paris – France.
- [5] http://cs.wikipedia.org/wiki/Syndrom_nezdrav%C3%BDch_budov.
- [6] GALDA, Z., *Tepelná zátěž bazénových hal a její vliv na provoz z hlediska energetiky*, Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2/2011, Ostrava: VŠB-TUO, 2011, s. 287-296, ISSN 1213-1962.

SOFTWARE

- [7] AeroCAD.
- [8] Microsoft Excel 2007.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Jiří Hirš, CSc., Ústav technických zařízení budov, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Ing. Olga Rubinová, Ph.D., Ústav technických zařízení budov, Vysoké učení technické v Brně.

Sborník vědeckých prací
Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava
číslo 1, rok 2012, ročník XII, řada stavební

Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava
No. 1, 2012, Vol. XII, 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:

Ing. 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