



1 2009
ročník IX

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



1 2009
ročník IX

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

ISBN 978-80-248-2105-4

ISSN 1213-1962

ČAJKA Radim, MYNARZOVÁ Lucie

VYUŽITÍ NUMERICKÉHO MODELOVÁNÍ PŘI ANALÝZE ZDĚNÉ KONSTRUKCE NA PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ	1
--	---

ROSMATIT Miroslav

POST-BUCKLING STRENGTH OF UNIFORMLY COMPRESSED PLATES	7
---	---

SEKANINA David, ČAJKA Radim

INTERAKCE PŘEDPJATÝCH PODLAH A PODLOŽÍ	17
--	----

VAVRUŠOVÁ Kristýna, LOKAJ Antonín

POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ.....	25
--	----

ČESELSKÝ Jan

PRIVATIZACE KOMUNÁLNÍHO BYTOVÉHO FONDU A JEJÍ MOŽNÉ DOPADY.....	31
---	----

KUDA František, KOUDELA Vladimír, FERKO Martin

INOVATIVNÍ METODY FACILITY MANAGEMENTU PRO ÚDRŽBU A OBNOVU BYTOVÝCH DOMŮ A STAVEBNÍCH OBJEKTŮ	41
--	----

ALDORF Josef, HRUBEŠOVÁ Eva, VOJTASÍK Karel, ĎURIŠ Lukáš

VERIFIKACE ZDOKONALENÉ PREDIKCE ÚČINKŮ MĚLKÉHO TUNELOVÁNÍ NA POVRCH - ČÁST 1.....	51
--	----

ALDORF Josef, HRUBEŠOVÁ Eva, VOJTASÍK Karel, ĎURIŠ Lukáš

VERIFIKACE ZDOKONALENÉ PREDIKCE ÚČINKŮ MĚLKÉHO TUNELOVÁNÍ NA POVRCH - ČÁST 2.....	57
--	----

HRUBEŠOVÁ Eva, KALÁB Zdeněk

VLIV LOKÁLNÍ GEOLOGIE NA SEISMICKOU ODEZVU POVRCHU HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ	65
---	----

VOJTASÍK Karel, HRUBEŠOVÁ Eva, ĎURIŠ Lukáš

POROVNÁNÍ STAVU NAPJATOSTI V PRŮŘEZU TUNELOVÉ OCELOBETONOVÉ VÝZTUŽE STANOVENÉ DLE TEORIE SPOLUPRACUJÍCÍCH PRSTENCŮ A TEORIE ŽELEZOBETONU.....	71
--	----

ČÁBI Lukáš, VLČEK Pavel

BETONÁŽ TUNELŮ POMOCÍ BEDNÍCÍCH FOREM FIRMY PERI	77
--	----

FABIAN Radek, ČMIEL Filip

POSOUZENÍ KONSTRUKČNÍCH OPATŘENÍ TERMORIZNÍM MĚŘENÍM	85
--	----

HALÍŘOVÁ Marcela

SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA - NEOPOMENUTELNÉ KRITÉRIUM PŘÍČEK.....	91
--	----

KUBEČKOVÁ SKULINOVÁ Darja

VÍCEKRITÉRIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ PŘI STANOVENÍ VYUŽITELNOSTI BUDOV Z HLEDISKA STAVEBNĚ ENERGETICKÉ KONCEPCE NA ÚZEMÍCH SE ZVÝŠENOU PRŮMYSLOVOU ČINNOSTÍ.....	97
---	----

SOLAŘ Jaroslav

ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY POVRCHOVÉ KONDENZACE VODNÍ PÁRY	107
---	-----

SOLAŘ Jaroslav

NAVRHOVÁNÍ PODLAH V RÁMCI SANACE VLHKÉHO ZDIVA	117
--	-----

PEŘINKOVÁ Martina VÝZKUM DLOUHODOBÉ ÚČINNOSTI SANACE KLÁŠTERA NA HOŘE MATKY BOŽÍ U KRÁLÍK	127
MAHDALOVÁ Ivana ANALÝZA NEHOD NA DVOUPRUHOVÉ OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATCE	133
OŽANOVÁ Eva PŘESTUPNÍ TERMINÁLY INTEGROVANÉHO DOPRAVNÍHO SYSTÉMU V OSTRAVĚ	141
ŘEZÁČ Miloslav KONGESCE – LIMITUJÍCÍ PRVEK ROZVOJE SOUČASNÝCH MĚST	147
JANAS Petr, ŠŇUPÁREK Richard, KREJSA Martin, KREJSA Vlastimil VYUŽITÍ METODY PDPV K NAVRHOVÁNÍ KOTEVNÍ VÝZTUŽE DŮLNÍCH DĚL	157
JELÍNKOVÁ Petra, BERNATÍK Aleš, SUCHARDA Oldřich MODELOVÁNÍ EXPLOZE NEBEZPEČNÝCH LÁTEK	167
KONEČNÝ Petr VLIV POČTU NÁHODNĚ PROMĚNNÝCH NA PŘESNOST SIMULACE MONTE CARLO	173
LAUSOVÁ Lenka MOMENTOVÁ ÚNOSNOST OCELOVÉ KONSTRUKCE ZA POŽÁRU	181
MICHALCOVÁ Vladimíra, KOZUBKOVÁ Milada VYHODNOCENÍ VELIKOSTI NUMERICKÉ CHYBY PŘI ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY PROUDĚNÍ METODOU KONEČNÝCH OBJEMŮ	187
BALIAK František MONITORING ZOSUVNÉHO ÚZEMIA KORDÍKY - KRÁLIKY NA SLOVENSKU	195
BALIAK František NAJČASTEJŠIE INŽENIERSKOGEOLOGICKÉ PRÍČINY PORUŠENIA HISTORICKÝCH HRADNÝCH OBJEKTOV	205
MARSCHALCO Marian, PEŇÁZ Tomáš, FOJTOVÁ Lucie THE IMPORTANCE OF IMPLEMENTING TRANSPARENT GEOLOGICAL STRUCTURE INTO LAND- USE PLANNING DOCUMENTATION	217
SEITL Stanislav, ŘOUTIL Ladislav, VESELÝ Václav NUMERICKÁ ANALÝZA VLIVU VLASTNÍ TÍHY VZORKU PRO KLÍNOVÉ ŠTÍPÁNÍ NA ÚROVEŇ CONSTRAINTU U ČELA TRHLIN	227
ŠAMÁNEK Josef PROSTOR, ČAS A ČTYŘI DIMENZE ARCHITEKTURY	235
ŠAMÁNEK Josef SOUBĚŽNOST A ROZDÍLNOST TVORBY KONSTRUKCE A ARCHITEKTURY	247

Radim ČAJKA¹, Lucie MYNARZOVÁ²

**VYUŽITÍ NUMERICKÉHO MODELOVÁNÍ PŘI ANALÝZE ZDĚNÉ KONSTRUKCE
NA PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ**

**NUMERICAL MODELLING IN ANALYSIS OF MASONRY STRUCTURE ON UNDERMINED
AREA**

Abstrakt

Předpínání poškozených zděných konstrukcí patří k nejúčinnějším metodám sanace objektů na poddolovaném území. Při návrhu předpínacích lan lze s výhodou využít numerických modelů, jak je ukázáno v tomto příspěvku. Modelování zdiva není zatím s ohledem na jeho heterogenitu a ortotropii dostatečně přesně popsáno a definováno, přesto již lze aplikovat některé postupy pro tvorbu homogenizovaných vlastností.

Abstract

Prestressing of damaged masonry structures belongs to the most effective ways of reconstruction of buildings on undermined area. Numerical modelling could be used with advantage for design of prestressing tendons as it is shown in this paper. Considering heterogeneity and orthotropy of masonry, its modelling is not defined sufficiently. After all, some methods for homogenized properties of masonry could be already applied.

1 ÚVOD

Zděné stavby patří k nejoblíbenějším konstrukcím na našem území, vznikaly průběžně v předchozích staletích a i přes rozšíření betonu a oceli si u nás doposud zachovávají své místo. Přestože je zdivo osvědčeným stavebním materiálem s dobrou pevností a trvanlivostí, dochází u zděných objektů ke vzniku poruch. Důvodem ke vzniku poruch může být nedostatečná nebo nevhodná údržba objektu, nové využití konstrukce, změna funkce nebo účelu budovy, čímž dojde ke zvýšení zatížení, nebo třeba okolní prostředí, které negativně ovlivňuje stavbu například hlučností, prašností nebo okolní dopravou.

Na území severní Moravy se pak setkáváme se specifickými příčinami poruch souvisejícími s průmyslovou a těžební činností. Ta sice už na mnoha místech nepokračuje, ale následky poddolování se objevují i v horizontu mnoha let po ukončení těžby. Poddolování způsobuje mimo jiné nerovnoměrné sedání základové půdy, kterým trpí všechny stavební objekty. Ve městech lze k tomu analogicky přirovnat například stavby podzemních kolektorů, které mohou způsobit podobné typy poruch jako důlní vlivy. Zděné konstrukce jsou na účinky poddolování velmi citlivé – dochází u nich k poklesům podpor nebo jejich horizontálním posunům, ke vzniku trhlin, částečnému zborcení nebo vybočení zdí, porušení v rozích a křížení zdí.

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

² Ing. Lucie Mynarzová, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 363, e-mail: lucie.mynarzova@vsb.cz.

2 SANACE ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ NA PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ

Zděné konstrukce poškozené vlivy poddolování (např. vodorovným přetvořením terénu nebo jeho zakřivením) se nejčastěji sanují pomocí dodatečného vodorovného, případně prostorového ztužení objektu (Bradáč, 1999). Vodorovné ztužení se může provést několika způsoby, např. dodatečně provedenými železobetonovými věnci, ocelovými táhly nebo předpínacími kabely. Ztužení se obvykle provádí v několika výškových úrovních – u základové konstrukce (Obr. 1), pak alespoň v nejvyšším podlaží a obvykle také ve všech podlažích v úrovni stropních konstrukcí.

Ocelová táhla i předpínací kabely jsou mnohem účinnější, dají se také použít jako dočasné řešení pouze po dobu trvání důlních vlivů nebo například jako dočasné zajištění konstrukce při stavebních úpravách v okolí objektu. Toto řešení navíc napomáhá celkovému prostorovému ztužení konstrukce. Předpínací lana ihned po napnutí spolupůsobí s konstrukcí, vytvářejí dostatečnou tlakovou rezervu a zachovávají si svou účinnost po celou dobu životnosti objektu.

Když předpínací lana sepnou sanovaný objekt, dojde navíc – kromě vnesení žádoucího předpětí do objektu – k výraznému zvýšení pevnosti konstrukce, aniž by se musela zvyšovat její hmota (množství materiálu). Předpětí dále zabrání vzniku tahových trhlin, popřípadě může dojít i k sevření trhlin stávajících. Vnesení předpětí také dokáže vyvážit vnější zatížení (vítr, zemní tlak, zemětřesení), která by v případě nevyztuženého zdiva mohla způsobit prohýbání zdí nebo tahové trhliny.

Použití předpínacích ocelových lan k sepnutí poškozeného objektu (Obr. 2) je velmi efektivním a rychlým řešením. Vyznačuje se příznivým poměrem ceny k výraznému účinku na statiku objektu a umožní relativně snadno zachránit i hodně poškozené objekty.



Obr.1: Dodatečné vyztužení základů



Obr.2: Sepnutí objektu na poddolaném území předpjatými lany

Správně navržená soustava předpínacích lan stojí však až na konci poměrně složitého procesu, ve kterém se vyskytují některé zásadní otázky, např. určení skutečných vlastností daného zdiva, souhrnný návrh předpětí dle platných norem, tvorba numerického modelu zdiva nebo posouzení mezního stavu únosnosti a použitelnosti v čase.

Všechny čtyři problematické oblasti uvedené v předchozím odstavci musí být součástí komplexního řešení projektanta. Každý zděný objekt je jiný (použitý materiál a jeho pevnost, způsob poruchy, opotřebení během životnosti konstrukce, historický či společenský význam), proto je pro projektanta nejvýhodnější kombinace více způsobů: normativní postupy, informace od výrobců předpínacích materiálů, zkoušky na vzorcích zdiva, ale také provádění experimentů s využitím větších celků zděných konstrukcí a v neposlední řadě i numerické modelování, které je oproti experimentům výrazně levnější a jednodušší. Tento příspěvek popisuje tvorbu numerického modelu zdiva a následné využití tohoto modelu pro posouzení různých variant návrhu rozmístění předpínacích lan ve stěně porušené poklesem podpor.

3 NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ ZDIVA

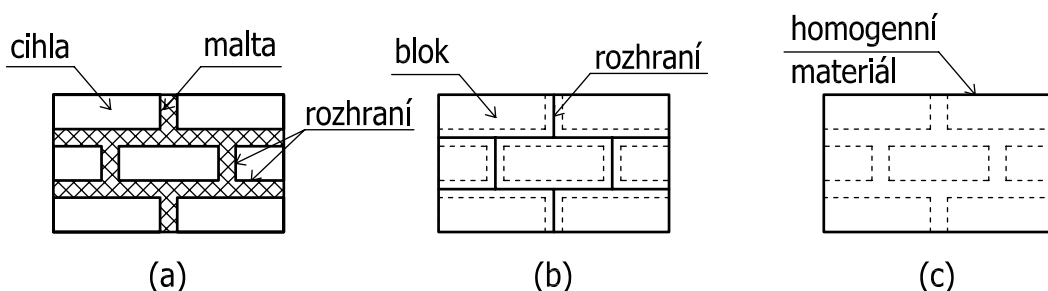
Numerické modelování je dnes užitečným nástrojem při vykonávání vědeckých i projekčních činností. Použití softwarů založených obvykle na metodě konečných prvků je již dlouhá léta běžné při analýzách ocelových i betonových konstrukcí, avšak zdivo stále zůstává specifickým materiálem s vlastnostmi, které dosud není možné přesně a spolehlivě formulovat, a využít tak jako základ pro počítačové programy určené odborné veřejnosti.

Zdivo je anizotropní a heterogenní materiál, jehož základní složky – cihly, resp. zdící prvky, a malta – mají různé složení a také odlišný způsob chování. Zdící prvky mají poměrně vysokou pevnost v tlaku, ale jsou obvykle velmi křehké. Chování cihel má v omezené oblasti zatěžování téměř lineární průběh. A to až do porušení, kdy se u tohoto materiálu může objevit křehký lom. Naproti tomu malta se chová podobně jako beton, takže při jejím modelování se často vychází z postupů zpracovaných pro analýzy betonových konstrukcí. V tlakové oblasti malta vykazuje nelineární chování už od velmi nízkých hodnot napětí, má relativně velkou duktilitu. Při namáhání tahem působí malta téměř lineárně, ale rychle dochází k rozvoji trhlin, a tím i k poklesu vlastností materiálu. Kromě toho, že je nutné brát v úvahu výše zmíněné charakteristiky jednotlivých materiálů, je neméně důležité vhodně formulovat jejich vzájemný vztah na styčných plochách (třecí parametry), a také stanovit způsoby chování prvků po porušení.

3.1 Mikromodel

Vesměs existují dva základní principy pro modelování zdiva, které lze označit jako mikromodelování a makromodelování (Lourenco, 1996). Mikromodel znázorňuje samostatně jednotlivé cihly. Vzniká ovšem problém, jak vyřešit styčné plochy představující maltu mezi jednotlivými cihlami. Při použití tzv. **detailního mikromodelu** (Obr. 3a) jsou cihly i malta modelovány jako dva odlišné materiály s jejich skutečnými rozměry i uspořádáním v konstrukci. **Zjednodušený mikromodel** (Obr. 3b) používá „rozšířené“ jednotky (bloky), které zahrnují cihlu a část okolní maltové spáry. Zjednodušený mikromodel je detailnímu částečně podobný, není ovšem tak přesný – nejsou už zde totiž uvažovány dva odlišné materiály. Styčné plochy – rozhraní – jsou umístěny do os maltových spár a vlastnosti obou materiálů jsou shrnuty do charakteristiky jakýchsi homogenních bloků. Geometrie ale odpovídá skutečnému uspořádání cihel. Největším problémem se stává určení vlastností rozhraní.

Mikromodel může detailně reprezentovat skutečné složky zdiva; obvykle se jím řeší jen malý výřez zdiva, u kterého lze podrobně zkoumat chování cihel a malty. Tento model je vhodný spíše pro vědecké účely, v případě větších celků konstrukcí je nereálné vytvořit takto podrobný model, navíc musíme brát v úvahu příliš velký rozsah výpočtu. Mikromodel může sloužit také jako základ a výchozí bod pro určení vlastností makromodelu.



Obr.3: Základní strategie pro modelování zděných konstrukcí: (a) detailní mikromodel; (b) zjednodušený mikromodel; (c) homogenní makromodel.

3.2 Makromodel

Uvažujeme-li o zdivu jako o materiálu se skladbou sice heterogenní, ale zato pravidelnou, kdy se periodicky opakují jednotlivé stejně velké cihly v pravidelné vazbě, můžeme modelování zdiva upravit. Zjednodušené modelování heterogenního zdiva spočívá v nalezení vhodného modelu (tzv.

makromodelu), který by měl homogenní charakteristiky a mohl by se tedy použít pro znázornění celé konstrukce.

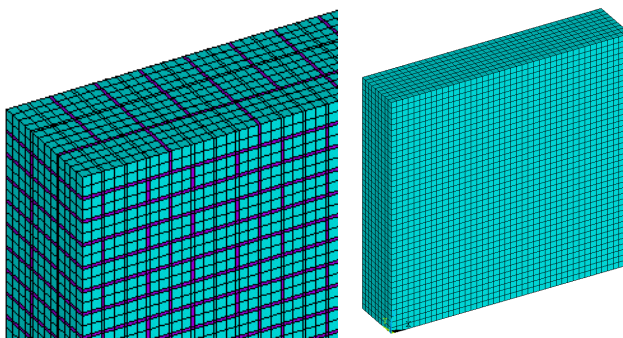
Makromodel (Obr. 3c) je užitečnější pro praxi a projektanty. Přístup zde použitý je odlišný od detailního mikromodelu. Není už důležité přesné vyjádření rozhraní mezi cihlami, protože zdivo je znázorněno jako celek, jako kompaktní ortotropní, ale homogenní materiál s příslušnou pevností v tlaku, tahu a ve smyku. Zájem se soustředí na celkové výsledné chování většího celku zdiva, které je často namáháno ve své nepružné oblasti. Makromodelování by mělo tedy co nejpřesněji postihovat fungování skutečné zděné konstrukce, použité nástroje musí ale zároveň umožnit jak snadnost při tvorbě modelu, tak rozumné nároky na operační paměť běžného počítače.

Otázkou zůstává, jak zjistit nebo určit vhodné homogenizované vlastnosti modelu, které by co nejlépe odpovídaly chování skutečného zdiva. Existuje několik postupů či metod, kterými lze homogenizované vlastnosti získat, ale každá z nich má své nevýhody a obtíže. V zásadě lze vyjít ze dvou základních přístupů pro tvorbu homogenního materiálu:

- použití **konstitutivních vztahů**, které reprezentují chování zdiva (model zdiva je přizpůsoben úpravou modelů pro beton; vychází se z předpokladu, že malta se chová podobně jako beton);
- **homogenizační proces** vycházející z vlastností jednotlivých prvků (cihly a malty) – např. pomocí výpočtů, na základě experimentálních měření nebo použitím mikromodelu jako výchozího kroku jsou definovány homogenní ortotropní vlastnosti makromodelu.

3.3 Příklad určení homogenizovaných vlastností makromodelu

Analýza zděné stěny poškozené svislým poklesem podpor způsobeným vlivy poddolování, která je popsána v následující kapitole, je provedena za použití makromodelu. Jeho vlastnosti byly určeny homogenizačním procesem (Brožovský et al., 2007). Prvním krokem bylo vytvoření detailního mikromodelu stěny o rozměrech 2,09 x 2,015 x 0,44 m. Mikromodel umožňuje přesné vykreslení jednotlivých cihel a maltových spár. V modelované zdi se v každé vrstvě střídají běhouny a vazáky podle pravidel reálné vazby zdiva. Po výšce zdi se vazba pravidelně střídá ve dvou vrstvách tak, že styčné spáry nejsou nad sebou (Obr. 4 vlevo).



Obr.4: Detailní mikromodel – část (vlevo); homogenní makromodel (vpravo).

Zdivo v mikromodelu je tvořeno dvěma odlišnými, ale homogenními materiály. Cihla i malta mají tedy přiřazeny každá své vlastnosti – modul pružnosti E , Poissonův součinitel ν a objemovou hmotnost ρ . Pokud v mikromodelu zatížíme jednu stranu vyšetřované stěny konstantní deformací a protější stranu podepřeme, můžeme z výsledné reakce/síly, příslušné plochy a velikosti použité deformace vypočítat Youngův modul pružnosti v tahu a tlaku E pro daný směr. Analogicky pak zatížením stran v ostatních dvou směrech získáme další dva moduly pružnosti.

Obdobně jako modul pružnosti v tahu a tlaku byly určeny moduly pružnosti ve smyku G . Vyšetřovaná stěna se tentokrát zatížila postupně se zvětšujícími deformacemi tak, aby došlo k jejímu zkošení, a z výsledné reakce, plochy a úhlu se dopočítaly hodnoty modulu G pro všechny tři směry.

Poissonovy součinitele se mohou předpokládat rovny 0,2, nebo se dopočítají z poměrů mezi součiniteli a moduly pružnosti pro příslušné směry (viz Brožovský et al., 2007).

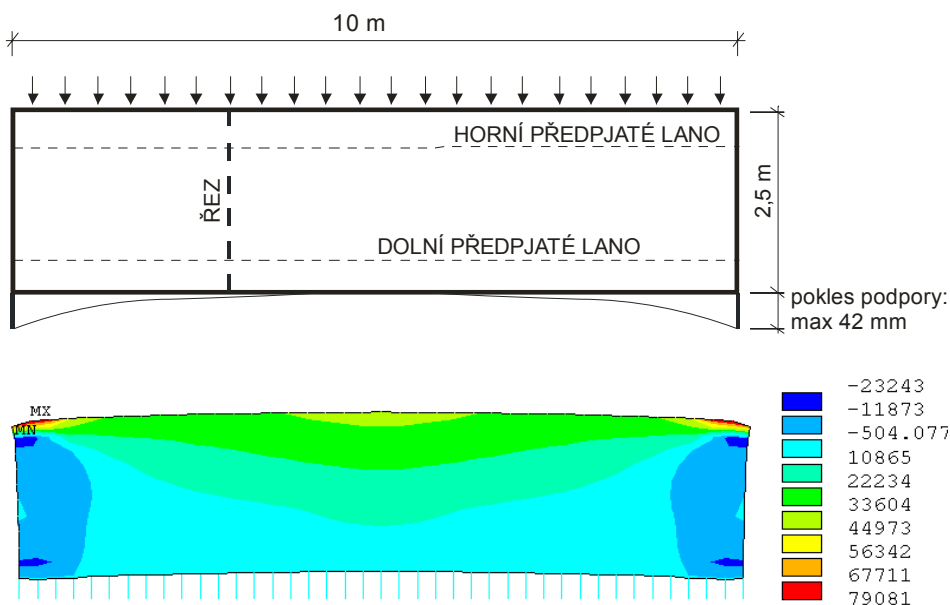
Toto je stručný popis jednoho ze způsobů, jakým lze získat devět materiálových konstant potřebných pro rovnice popisující ortotropní materiál, tedy 3 Youngovy moduly pružnosti v tahu a tlaku (E_x , E_y , E_z), 3 Poissonovy součinitele (ν_{xy} , ν_{yz} , ν_{zx}) a 3 moduly pružnosti ve smyku (G_{xy} , G_{yz} , G_{zx}).

V dalším kroku následuje vytvoření makromodelu (Obr. 4 vpravo), který je jednoduše namodelován jako homogenní kvádr příslušných rozměrů s nadefinovanými ortotropními vlastnostmi. Tvorba tohoto modelu je oproti mikromodelu vcelku nenáročná, stejně jako jeho nároky na operační paměť počítače.

4 SVISLÝ POKLES PODPOR

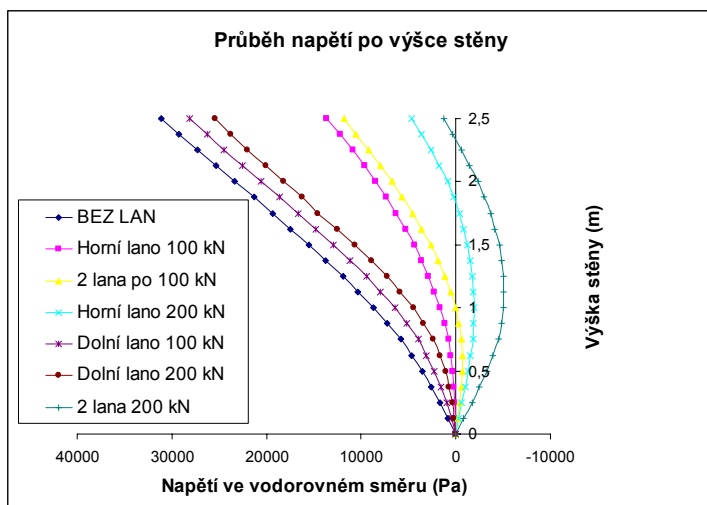
V následujícím příkladu je řešena zděná stěna zatížená vynuceným přetvořením způsobeným zakřivením terénu. Vlivem poddolování došlo ke svislému poklesu podpor. Využití předpínacích ocelových lan by v tomto případě bylo vhodným řešením sanace objektu. Projektant může s výhodou využít makromodel a ověřit několik způsobů umístění předpínacích lan, jejich množství, velikosti předpínacích sil a podobně. Vliv předpínacích lan na průběhy napětí v konstrukci je popsán v této kapitole.

Byl vytvořen 2D model zděné stěny s ortotropními vlastnostmi o rozměrech 10 x 2,5 m (Obr. 5). Homogenizované ortotropní vlastnosti byly určeny analogicky podle kap. 3.3. Stěna je podél spodní hrany podepřena tak, že účinkem zatížení působícího na ni shora dojde ke svislému poklesu podpor. Ve střední části stěny je pokles nulový a zvětšuje se symetricky směrem k oběma okrajům stěny postupně na 42 mm. Vlivem poklesu dochází v nevyztužené stěně ke vzniku nežádoucích tahových napětí. Při sepnutí konstrukce předpínacími lany se tahová napětí snižují, případně se úplně přestanou vyskytovat. Účinnost předpínání ovšem závisí na vhodném umístění lana a na velikosti předpínací síly.



Obr.5: Stěna se svislým poklesem podpor – geometrie; průběh vodorovných napětí.

V grafu na obr. 6 jsou vykresleny průběhy napětí po výšce stěny v řezu, který je veden zhruba v jedné třetině délky stěny – ve vzdálenosti 3 metry od levého okraje stěny. Bylo porovnáno několik variant působení předpjatého lana. Křivka úplně vlevo („bez lan“) odpovídá průběhu napětí po výšce stěny, která není nijak vyztužena. Je vidět, že v celém sledovaném řezu je zdivo plně tažené.



Obr.6: Průběh napětí po výšce stěny.

Pokud do stěny, u které poklesnou její krajní části, umístíme lana blízko pouze dolnímu okraji, předpětí nemá téměř žádný vliv (viz křivky „Dolní lano 100 kN“ a „Dolní lano 200 kN“) – a to ani při zdvojnásobení velikosti předpínací síly ze 100 kN na 200 kN. Teprve při uložení lana k hornímu povrchu stěny, případně k dolní i horní části současně, je vidět výrazný posun hodnot napětí směrem k tlakovému namáhání, které zdivo už přenáší velmi dobře. Horní lano s předpínací silou 200 kN výrazně eliminuje tahová napětí, větší část průřezu je tlačena. Pokud ještě navíc přidáme stejně předpjaté lano k dolnímu okraji stěny, tahová napětí jsou již zanedbatelná.

5 ZÁVĚR

Využití softwaru při návrhu nebo posouzení sanačních opatření poškozených zděných konstrukcí může být velmi užitečnou pomůckou všem projektantům. Přestože modelování zdiva patří k velmi specifickým oblastem zatím často bez jednoduchého a jasného řešení, je určitě možné použít alespoň některých metod pro definování homogenních ortotropních vlastností zdiva. Správně navržená soustava předpínacích lan pak může prodloužit životnost konstrukce o mnoho let.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

LITERATURA

- [1] BRADÁČ, J. *Účinky poddolování a ochrana objektů, díl první a druhý*. Dům Techniky Ostrava, 1999. ISBN 80-02-01276-3.
- [2] BROŽOVSKÝ, J.; KALOČOVÁ, L.; MATERNA, A. Constitutive modelling of structural masonry. In *Zborník príspevkov z VIII. Vedeckej konferencie Stavebnej fakulty Technickej univerzity v Košiciach, Košice 28.- 30. května 2007*. Place: Technická Univerzita v Košicích, Stavebná fakulta, 2007, s. 21 – 25. ISBN 978-80-8073-790-0.
- [3] LOURENCO, P. B. *Computational strategies for masonry structures*. Delft University Press, 1996.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Tomáš Čejka, Ph.D., Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Miroslav ROSMANIT¹, Monique C.M. BAKKER²

POST-BUCKLING STRENGTH OF UNIFORMLY COMPRESSED PLATES

POKRITICKÁ ÚNOSNOST ROVNOMĚRNĚ TLAČENÝCH STĚN

Abstract

This paper focuses on the development of simple models for describing the influence of initial out-of-plane imperfections on the post-buckling strength of square uniformly compressed plates without stiffeners. This is the first step in gaining a better understanding of the behavior of compression flanges of cold-formed steel members, necessary for the development of new, accurate and insight providing design rules for first and second generation trapezoidal profiled sheeting, subjected to the combined action of a concentrated load (support reaction) and a bending moment.

Abstrakt

Předmětem článku je vývoj jednoduchého modelu popisujícího pokritické chování čtvercových rovnoměrně tlačенých nevyztužených stěn se zahrnutím vlivu počátečních imperfekcí. Tento výzkum může být chápán jako první krok pro lepší pochopení chování tlačенých stěn tenkostěnných ocelových profilů, je nezbytný pro vývoj nového přesného a zároveň jednoduchého výpočetního postupu pro návrh první a druhé generace trapézových plechů namáhaných kombinací zatížení osamělým břemenem a ohybovým momentem (v místě nad vnitřní podporou).

1 INTRODUCTION

In this paper the post-buckling failure behavior of square plates is studied. All edges of the plate are simply supported ($u_z = 0$). The edges loaded by the compression force are forced to remain straight, but free to experience Poisson's contraction. The other two edges are free to wave in-plane, thus membrane stresses in the y-direction are equal to zero. These boundary conditions correspond to the boundary conditions usually used for the modeling of compression flanges in thin-walled steel deck sections. The research is focused on the strength of cold-formed deck sections subjected to the combined action of bending moment and concentrated load (Hofmeyer *et al*; 2001 and 2006). The concentrated load causes deformations of the compression flange which are large. Therefore it was decided to study the failure behavior of uniformly compressed plates with initial imperfections.

When a perfectly flat simply supported plate is subjected to uniaxial compression, the stress distribution is uniform over the plate, until the buckling load is reached. After buckling the stress distribution becomes non-uniform, both over the width b and the length a of the plate. Plate with unloaded edges forced to remain straight but free to move in-plane have the same buckling load, but differ in their post-buckling behavior. For plates with initial imperfections the stress distribution is non-uniform from the onset of loading. In this paper, it is assumed that the plate has a sinusoidal initial imperfection, with the maximum imperfection occurring at the center of the plate, see Fig. 1.

¹ Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 398, e-mail: miroslav.rosmanit@vsb.cz.

² dr. ir. M.C.M. Bakker, Department of Architecture, Building and Planning, Technische Mechanica, TU/e Technische Universiteit Eindhoven, P.O. Box 513, 5600 MB EINDHOVEN, tel.: (+31) 40 2472203, e-mail: m.c.m.bakker@bwk.tue.nl.

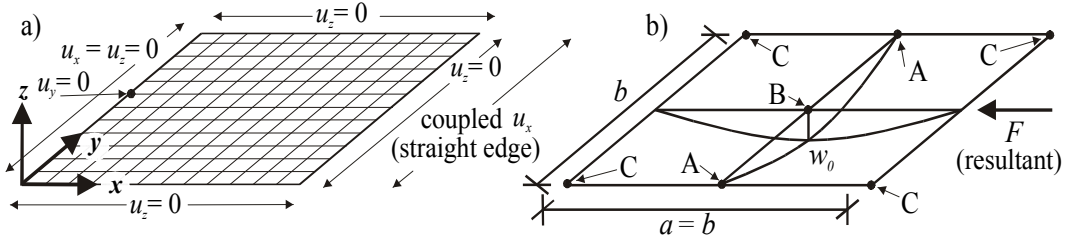


Fig. 1: Schematic view of numerical model:

- a) Boundary conditions;
- b) Initial imperfection, load, measures and location of points A and B and C. Point A is located in the middle fibers, points B and C are located in outer fibers which are most compressed.

In this paper the following results will be discussed:

- the load F or average stress in x -direction: $\sigma_{x,av} = F/(bt)$;
- the axial shortening u or the average strain in x -direction: $\varepsilon_{x,av} = u/a$;
- membrane stresses $\sigma_{x,A}$ in the x -direction at point A.

These results will be presented as functions of the out-of-plane deflection w at the center of the plate, where w is the total out-of-plane deflection at the center of the plate, including the initial imperfection w_0 . These results can be made dimensionless by using the buckling stress:

$$\sigma_{cr} = \frac{K\pi^2 D}{b^2 t} \quad (1)$$

from which we can define the critical strain: $\varepsilon_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{E}$ (2)

the critical axial shortening: $u_{cr} = \varepsilon_{cr} a = \frac{\sigma_{cr} a}{E}$ (3)

and the critical load: $F_{cr} = bt\sigma_{cr}$ (4)

and D is the plate flexural rigidity factor: $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$ (5)

t is the plate thickness, a and b are the length and width of the plate (for a square plate $a = b$), E is the modulus of elasticity and K is the buckling coefficient (for a square plate $K = 4$), and ν is Poisson's ratio.

According to Little (1980), for two plates having the same values of ν , a/b , b/t , $\sqrt{f_y/E}$ (or f_y/σ_{cr}) and w_0/t , but different values of f_y , E , and w_0/b , numerical analysis will predict precisely the same non-dimensional load-shortening response. Tab. 1 gives an overview of the material and plate properties which were kept constant in the parameter study. The critical stress was varied in five steps between f_y and $f_y/8$ by varying the width b of the plate. For each plate 7 different imperfections were considered ($0.01t$, $0.1t$, $0.25t$, $0.5t$, t , $1.5t$, and $2t$). Each simulation with the finite element program ANSYS 8.1 has been performed once with linear-elastic material properties, and once with linear-elastic/ideal plastic (bilinear) material properties. All boundary conditions, axis convention and the specific points on the plate are presented in Fig. 1. In the model rectangular elements Shell43 were used. The mesh density for each plate was 40×40 elements. In the calculations the effect of large deformations was included.

Tab. 1: Input data for performed numerical (FEM) parameter study.

constant properties			critical stresses	determined values, see eqs. (1) – (4)			
			σ_{cr} [N/mm ²]	b [mm]	b/t [-]	F_{cr} [N]	u_{cr} [mm]
f_y	[N/mm ²]	300	f_y	35.2	50.3	7392.0	$5.021 \cdot 10^{-2}$
t	[mm]	0.7	$2f_y/3$	40.7	58.1	6410.3	$4.361 \cdot 10^{-2}$
ν	[-]	0.3	$f_y/2$	49.8	71.1	5229.0	$3.557 \cdot 10^{-2}$
E	[N/mm ²]	$2.1 \cdot 10^5$	$f_y/4$	70.4	100.6	3696.0	$2.514 \cdot 10^{-2}$
D	[Nmm]	6596	$f_y/8$	99.6	142.3	2614.5	$1.779 \cdot 10^{-2}$

2 RESULTS OF FINITE ELEMENT SIMULATIONS

Fig. 2 gives an overview of the elastic and elasto-plastic behavior of the investigated plates obtained from the performed finite element simulations. In this Fig. 2 the solid dots indicate the ultimate loads. The meaning of the other symbols is discussed later in this paper.

The finite element simulations showed that for most cases first yield occurs in the outer fibers in an area near the corners of the plate (point C). Yielding continues along the longitudinal plate edge, with first membrane yield occurring at the midpoint of the longitudinal edges (point A). Failure is not at first membrane yield but after some membrane yielding of the plate edges. At failure the outer fibers in the center of the plate (point B) do not yield yet. This type of failure is ductile in nature and results in a failure load which may be significantly larger than the load corresponding to first membrane yield at the plate edge. It was also found that outer fiber yield at the corner hardly influences the load-deformation behavior. The elasto-plastic load-deformation behavior starts to deviate from the elastic behavior only after first membrane yield. This type of failure will be denoted further as failure by membrane yielding.

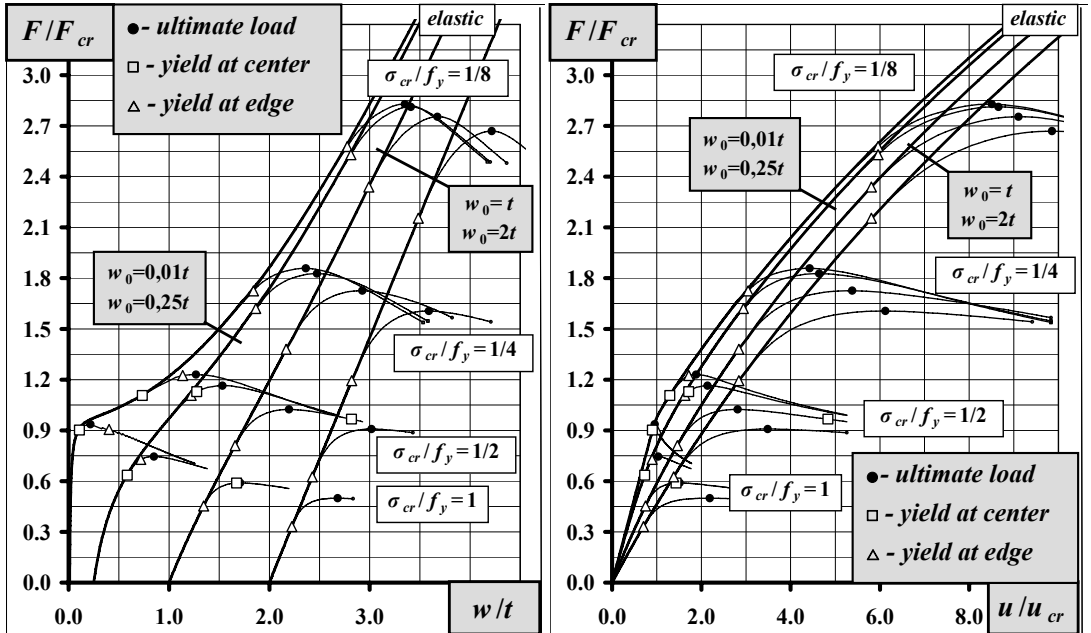


Fig. 2: Overview of selected curves obtained from the FEM simulations.

For the specific case of a plate with both small imperfections and a buckling stress close to the yield stress, first yield occurs in the outer fibers of the center of the plate (point B), resulting in an immediate deviation of the elasto-plastic load-deformation behavior from the elastic behavior. Next the outer fibers in an area near the corners of the plate (point C) start yielding. The ultimate load may

be reached before or after first membrane yield at point A. This type of failure is more violent, and may result in a load which may be either smaller or larger than the elastic load corresponding to first membrane yield. This type of failure will be denoted further as failure by outer fiber yield.

3 PREDICTION OF FAILURE LOADS

According to Rhodes (1982) the maximum load a plate can withstand is very close to the elastic load causing first membrane yield at point A. This assumption is also the starting point for strength predictions based on the effective width approach. According to Calladine (1985), failure occurs when the outer fibers in the center of the plate (at point B) start yielding. In this paper it is proposed to develop different models to predict failure by membrane yielding respectively failure by outer fiber yield. According to Rhodes (1982) the maximum load a plate can withstand is very close to the elastic load causing first membrane yield at point A. This assumption is also the starting point for strength predictions based on the effective width approach. According to Calladine (1985), failure occurs when the outer fibers in the center of the plate (at point B) start yielding. In this paper it is proposed to develop different models to predict failure by membrane yielding respectively failure by outer fiber yield.

Failure by membrane yielding is defined to occur in plates where first membrane yield at the midpoint of the longitudinal edges (point A) occurs before outer fiber yield at the center of the plate. To model the additional elasto-plastic strength after first membrane yield (which is disregarded in the effective width approach), the assumption is made that the plates fail at an average applied strain equal to the yield strain (or at in-plane shortening equal to f_y/σ_{cr} times the critical shortening).

Failure by outer fiber yield at the plate center is defined to occur in plates where outer fiber yield at the plate center occurs before first membrane yield. For this type of failure it was surprisingly found that the elastic load corresponding to first membrane yield at the edge results in a good prediction of the failure load, better than the elastic load corresponding to first outer fiber yield in the center of the plate. It is possible that taking the first-yield condition not at the surface of the plate but at a point positioned somewhat inwards to the middle surface (as proposed by Calladine 1985), will result in even better prediction of the ultimate load.

According to Mahendran (1997), outer fiber yield at the center of the plate will occur before first membrane yield if:

$$w_0/t \leq 0.67 + 0.086S - 0.081S^2 \quad (6)$$

with

$$S = (b/t)\sqrt{f_y/E} \quad (7)$$

This formula agreed with the performed finite element simulations and can thus be used to determine whether the plate will fail by outer fiber yield or by membrane yield. Note that in the derivation of this equation, as well as in the modified strip model it is assumed that outer fiber yield in an area near the corners of the plate (point C) does not affect the load-deformation behavior of the plates.

In the next sections it will be described how the elastic load corresponding to first membrane yield (indicated as open triangles in Fig. 2) and the elasto-plastic load corresponding to an average in-plane strain equal to the yield strain can be determined with a modification of a strip model originally proposed by Calladine (1985).

4 ELASTIC BEHAVIOR ACCORDING TO THE MODIFIED STRIP MODEL

The elastic post-buckling behavior of thin plates with initial imperfections is governed by Marguerre's equations. Bakker et al (2006) and Rosmanit and Bakker (2006-a), showed that the elastic load-deformation behavior of uniformly compressed square plates under load up to three times the critical load can accurately be described by a modification of a large deflection solution given by Williams and Walker (1975):

$$\frac{F}{F_{cr}} = \frac{\sigma_{x,av}}{\sigma_{cr}} = \left(1 - \frac{w_0}{w}\right) + A_F \eta + B_F \eta^2 \quad (8)$$

$$\frac{u}{u_{cr}} = \frac{\varepsilon_{x,av}}{\varepsilon_{cr}} = \left(1 - \frac{w_0}{w}\right) + A_u \eta + B_u \eta^2 \quad (9)$$

with

$$\eta = \left(\frac{w}{t}\right)^2 - \left(\frac{w_0}{t}\right)^2 \quad (10)$$

where

$$A_F = 0.2356, B_F = -0.3140 \cdot 10^{-2}, A_u = 0.5775, B_u = 0.7800 \cdot 10^{-2} \quad (11)$$

For the small deflection range (loads up to 1.5 times the buckling load) the coefficients B may be taken zero. The resulting equations then correspond to the equations given by Rhodes (1982).

Calladine (1985) used a simple two-element model to represent the behavior of a plate (see Fig. 3). In this model there are two edge strips with a total width b_{ed} that always remain straight, and one central strip with a width $b_{ce} = b - b_{ed}$ which behaves like a classical Euler column (i.e. it buckles at constant stress, equal to the buckling stress σ_{cr} of the full plate). According to this model the total load carried by the plate can be calculated as:

$$F = b_{ed} \sigma_{ed} t + (b - b_{ed}) \sigma_{ce} t \quad (12)$$

$$\frac{F}{F_{cr}} = \frac{\sigma_{x,av}}{\sigma_{cr}} = \frac{b_{ed}}{b} \frac{\sigma_{ed}}{\sigma_{cr}} + \frac{b - b_{ed}}{b} \frac{\sigma_{ce}}{\sigma_{cr}} \quad (13)$$

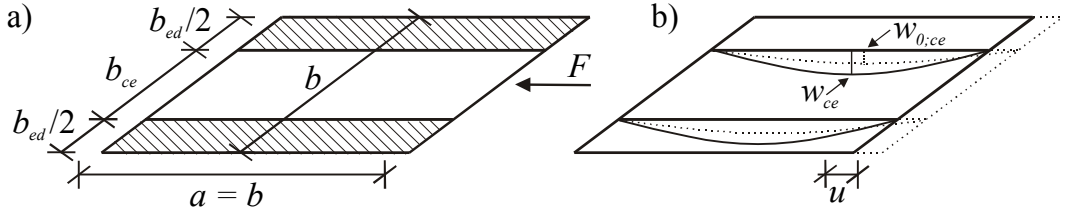


Fig.3: a) Strip and b) deformed strip model of the compressed plate by Calladine (1985).

The strain of the central strip can be calculated as the sum of the elastic compressive strain and the geometric strain ε_g :

$$\frac{\varepsilon_{ce}}{\varepsilon_{cr}} = \frac{\sigma_{ce}}{E \varepsilon_{cr}} + \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_{cr}} = \frac{\sigma_{ce}}{\sigma_{cr}} + \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_{cr}} \quad (14)$$

where ε_g is calculated from the shortening u of the central strip due to out-of-plane deflections (in the shape of a half-sine wave):

$$\varepsilon_g = \frac{u}{a} = \frac{\pi^2 (w_{ce}^2 - w_{0,ce}^2)}{4a^2} \quad (15)$$

The central strip behaves like an Euler column, so that the imperfection amplification factor $\xi = w_{ce} / w_{0,ce}$ can be determined as:

$$\xi = \frac{n}{n+1} \quad (16)$$

$$n = \frac{\sigma_{ce}}{\sigma_{cr}} \quad (17)$$

Eq. (16) can be used to calculate the membrane stress in the central strip as a function of the out-of-plane deflection of the plate:

$$\frac{\sigma_{ce}}{\sigma_{cr}} = (1 - 1/\xi) = 1 - \frac{w_{0;ce}}{w_{ce}} \quad (18)$$

Calladine (1985) assumed that the maximum lateral deflections w and w_0 of the plate are equal to the maximum lateral deflections w_{ce} and $w_{0;ce}$ of the central strip. In this paper it will be assumed that the maximum deflection (respectively maximum initial deformation) of the central strip can be related to the plate deformations by a scalar $\sqrt{C_w}$ as:

$$w_{ce} = \sqrt{C_w} w \quad (19)$$

$$w_{0;ce} = \sqrt{C_w} w_0 \quad (20)$$

Using eqs. (15), (18), (19) and (20), eq. (14) can be rewritten to give:

$$\frac{\varepsilon_{ce}}{\varepsilon_{cr}} = \left(1 - \frac{w_0}{w}\right) + \frac{C_w 3(1-\nu^2)b^2}{a^2 K} \eta \quad (21)$$

Calladine's model was developed for the small-deflection range. It can be shown that for elastic edge strip and elastic central strip behavior the modified strip model and the small-deflection model (eqs. (8) and (9), with $B_F = B_u = 0$) give identical strains if:

$$C_w = \frac{A_u a^2}{3(1-\nu^2)b^2} \quad (22)$$

Compatibility requires that the strain in the edge strip equals the strain in the central strip:

$$\varepsilon_{ed} = \varepsilon_{ce} = \varepsilon_{x;av} \quad (23)$$

The stress in the edge strip can be calculated as:

$$\sigma_{ed} = E \varepsilon_{ed} \quad (24)$$

Using eqs. (18) to (24), eq. (13) can be written as:

$$\frac{F}{F_{cr}} = \left(1 - \frac{w_0}{w}\right) + \frac{b_{ed}}{b} A_u \eta \quad (25)$$

Comparing Eq. (25) with eq. (8) in the small deflection range (taking $B_F = 0$), it can be seen that these two equations give identical results if:

$$\frac{b_{ed}}{b} = \frac{A_F}{A_u} \quad (26)$$

The modified strip model can also be used in the large-deflection range by using eq. (9) instead of (21) to describe the strain, resulting in:

$$\frac{F}{F_{cr}} = \left(1 - \frac{w_0}{w}\right) + \frac{b_{ed}}{b} (A_u \eta + B_u \eta^2) \quad (27)$$

Eqs. (27) and (8) give identical results if:

$$\frac{b_{ed}}{b} = \frac{A_F \eta + B_F \eta^2}{A_u \eta + B_u \eta^2} \quad (28)$$

Thus it can be concluded that the modified strip method gives identical results to eqs. (8) and (9).

5 PREDICTION OF ELASTIC LOAD CORRESPONDING TO FIRST MEMBRANE YIELD

In section 4 the membrane stresses are assumed to be constant over the width of the strips. A more accurate membrane edge stress can be calculated by taking σ_{ed} and σ_{ce} equal to the average stress over edge and central strip and assuming a linear stress distribution over the edge strip and a parabolic stress distribution in the central strip. Note that this model is different from Calladine's (1985) model which assumed that the stress in the edge strip equals the membrane stress at the edges of the plate ($\sigma_{ed} = \sigma_{x;A}$), see Fig. 4.

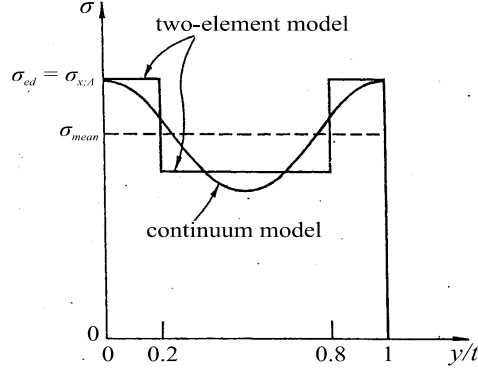


Fig. 4: Model of stress distribution over the central cross section (Calladine, 1985). The stresses at the edges of the plate, and the mean stress in the plate, are the same for both continuum and two-element models.

By requiring that the stresses and the stress gradients are continuous at the border between central strip and edge strip (see Fig. 5), the membrane stress at the edge of the plate can be calculated as:

$$\sigma_{x;A} = \sigma_{ed} + \Delta\sigma_{ed} \quad (29)$$

with

$$\Delta\sigma_{ed} = (\sigma_{ed} - \sigma_{ce}) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{b_{ce}}{b_{ed}} \right) \quad (30)$$

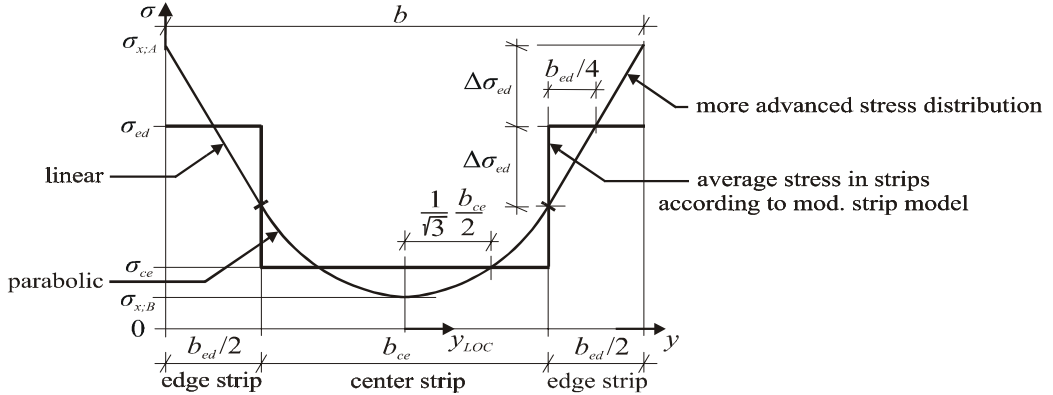


Fig. 5: Two models of stress distribution over the central cross section.

By using a series expansion of $\sigma_{x;A} / \sigma_{cr}$ around the point $\eta = 0$ and leaving out negligible small terms eq. (29) can be further simplified to get:

$$\frac{\sigma_{x;A}}{\sigma_{cr}} = \left(1 - \frac{w_0}{w} \right) + A_{\sigma x;A} \eta + B_{\sigma x;A} \eta^2 \quad (31)$$

where

$$A_{\sigma x;A} = 0.8710 \text{ and } B_{\sigma x;A} = -0.5223 \cdot 10^{-2} \quad (32)$$

From eq. (31) the deflection $w_{fy,A}$ corresponding to first membrane yield ($\sigma_{x,A} = f_y$) can be solved (by trial and error). Then the load corresponding to this deflection can be calculated from eq. (8). The thus determined elastic loads $F(w_{fy,A})$ are indicated with open triangles in Fig. 2, and can be used to predict failure by outer fiber yield as explained in section 3.

6 PREDICTION OF ELASTO-PLASTIC LOAD CORRESPONDING TO FIRST YIELD STRAIN

To determine the elasto-plastic load corresponding to an average in-plane strain equal to the yield strain the following model is proposed. First the deflection w_{ey} , corresponding to $\varepsilon_{x,av} = \varepsilon_y = f_y/E$ is solved (by trial and error) from eq. (9). Using this deflection the elastic load $F(w_{ey})$ and the stress difference $\Delta\sigma_{ed}(w_{ey})$ are calculated from equations (8) respectively (30). Then the stress resultant $\Delta F(w_{ey})$ of all stresses larger than the yield stress is calculated (33). Using this stress resultant the elasto-plastic load corresponding to the yield strain can be determined (34). The thus determined loads can be used to predict failure by membrane yield as explained in section 3. Elastic strain behavior remains valid in a plastic range, see Rosmanit and Bakker 2006-a.

$$\Delta F(w_{ey}) = \frac{1}{4} b_{ed} t \Delta \sigma_{ed}(w_{ey}) \quad (33)$$

$$F_{ep}(w_{ey}) = F(w_{ey}) - \Delta F(w_{ey}) \quad (34)$$

7 COMPARISON OF RESULTS AND CONCLUSIONS

The final results are presented in Tab. 2. The first column shows an overview of the results from numerical calculations by presenting the ratios of the ultimate loads to the critical loads for the full set of performed calculations. The second and third column show the ratios of the elastic loads corresponding to first membrane yield (according to (31) and (8)) respectively the elasto-plastic loads corresponding to the yield strain (according to (34)) to the ultimate loads calculated by ANSYS. The arithmetic means and coefficients of variations are also calculated, one for the shaded and one for the non-shaded cells.

Tab. 2: Errors in calculations of ultimate load.

	$F_{u:ANSYS}/F_{cr}$					$F(w_{fmy})/F_{u:ANSYS}$					$F_{ep}(w_{ey})/F_{u:ANSYS}$				
	σ_{cr}					σ_{cr}					σ_{cr}				
w_0	f_y	$2f_y/3$	$f_y/2$	$f_y/4$	$f_y/8$	f_y	$2f_y/3$	$f_y/2$	$f_y/4$	$f_y/8$	f_y	$2f_y/3$	$f_y/2$	$f_y/4$	$f_y/8$
0.01t	0.94	1.02	1.23	1.86	2.83	1.03	1.06	1.02	0.94	0.93	1.04	1.09	1.09	1.05	1.04
0.10t	0.82	0.96	1.20	1.85	2.83	1.04	1.03	1.00	0.93	0.92	1.08	1.09	1.07	1.04	1.03
0.25t	0.75	0.90	1.16*	1.83	2.81	0.99	0.98	0.95*	0.91	0.91	1.06	1.06	1.05*	1.02	1.02
0.50t	0.68*	0.83	1.11	1.79	2.79	0.90*	0.90	0.89	0.87	0.89	1.02*	1.02	1.02	1.00	1.01
1.00t	0.59	0.74	1.02	1.73	2.75	0.78	0.79	0.80	0.82	0.86	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98
1.50t	0.54	0.69	0.96	1.66	2.71	0.72	0.73	0.75	0.78	0.83	0.90	0.91	0.93	0.94	0.96
2.00t	0.50	0.64	0.91	1.61	2.67	0.69	0.70	0.73	0.76	0.81	0.88	0.89	0.91	0.93	0.95
<i>arithmetic mean</i>						0.99	1.02	0.99	-	-	1.05	1.08	1.07	-	-
<i>coefficient of variation</i>						0.07	0.04	0.04	-	-	0.03	0.01	0.02	-	-
<i>arithmetic mean</i>						0.73	0.78	0.79	0.86	0.88	0.91	0.94	0.95	0.99	1.00
<i>coefficient of variation</i>						0.06	0.11	0.09	0.08	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05	0.03

- The shaded cells represent failure by outer fiber yield – according to Mahendran (1997).

- The non-shaded cells represent failure by membrane yield – according to Mahendran (1997).

* Marked cells represent failure by membrane yield – according to ANSYS.

For plates failing by membrane yielding the elasto-plastic load corresponding to the yield strain results in a more accurate, less conservative prediction of the ultimate load than the elastic load corresponding to first membrane yield (as used in the effective width method). It can be seen that the proposed method slightly overestimates the elasto-plastic loads for small initial imperfections and slightly underestimates them for large initial imperfections.

For plates failing by outer fiber yield the elastic load corresponding to first membrane yield results in a good prediction of the failure load with respect to the average value.

To distinguish between failure by membrane yielding and failure by outer fiber yield formulas (6) and (7) derived by Mahendran (1997) can be used. As the marked (*) cells in Tab. 2 show, the Mahendran formulas for some cases predicts failure by outer fiber yield, where the ANSYS results indicate failure by membrane yield. Improvement of the Mahendran formulas may be possible, but therefore a more rigorous parameter study is needed.

Note that some more results on this project can be found in Rosmanit and Bakker (2006-b).

NOTATION

A_i, B_i	coefficients
D	plate flexural rigidity factor, see (5)
E	Young's modulus of elasticity
F	load – compression longitudinal force
F_{cr}	critical load, see (4)
K	buckling coefficient
a, b	plate length/width; for a square plate $a = b$
b_{ce}, b_{ed}	width of the centre respectively edge strip, see Figs. 3 and 5
t	plate thickness
u, u_{cr}	axial shortening respectively critical axial shortening
w, w_0	total respectively initial out-of-plane deflection at the centre of the plate
$\varepsilon_{ce}, \varepsilon_{ed}$	average strain at centre respectively edge strip according to σ_{ce}, σ_{ed}
ε_{cr}	critical strain of the plate, see (2)
ε_g	geometric strain, see (15)
$\varepsilon_{x;av}$	average strain in x -direction, $\varepsilon_{x;av} = u/a$
η	dimensionless parameter, depends on w, w_0 and t , see (10)
ν	Poisson's ratio
ζ	imperfection amplification factor, see (16)
σ_{ce}, σ_{ed}	average membrane stress at centre respectively edge strip, see Fig. 5
σ_{cr}	critical stress of the plate, see (1)
σ_{ij}	membrane stress on direction i at point j
$\sigma_{x;av}$	average stress in x -direction, $\sigma_{x;av} = F/(bt)$

ACKNOWLEDGMENT

This research was a part of an Aspasia programme and was supported by the Technology Foundation STW, applied science division of NWO and the technology programme of the Ministry of Economic Affairs.

REFERENCES

- [1] American Iron and Steel Institute: *AISI Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*, Washington, D.C., 1996.
- [2] BAKKER, M.C.M.: *Web crippling of cold-formed steel members*, Proefschrift Technische Universiteit Eindhoven, 1992.
- [3] BAKKER, M.C.M., ROSMANIT, M., HOFMEYER, H.: *Elastic Post-Buckling Behavior of Uniformly Compressed Plates*, 18th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, Orlando, 2006.
- [4] BAKKER, M.C.M., STARK, J.W.B.: *Theoretical and Experimental Research on Web Crippling of Cold-Formed Flexural Steel Members*, Thin-Walled Structures, Vol. 18, Nr.4, 1994, pp. 261-290.
- [5] CALLADINE, C.R.: *The Strength of Thin Plates in Compression*, In: Aspects of the Analysis of the Plate Structures: a volume in honour of Wittrick, W.H. Edited by Dawe, D.J., Horsinton, R.W., Little, A.G., Clarendon Press, Oxford, 1985.
- [6] European Committee for Standardization: *ENV 1993-1-3, European Prestandard Eurocode3, Design of Steel Structures, Part 1-3: General rules-Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting*, CEN, Brussels, 1996.
- [7] HOFMEYER, H.: *Web Crippling and Bending Moment Failure of First-Generation Trapezoidal Sheeting*, Experiments, Finite Element Models, Mechanical Models, Ph.D.- thesis, Eindhoven University of Technology, 2000.
- [8] HOFMEYER, H., KERSTENS, J.G.M., SNIJDER, H.H. and BAKKER, M.C.M.: *New Prediction Model for Failure of Steel Sheeting Subject to Concentrated Load (Web Crippling) and Bending*, Thin Walled Structures, Vol. 39, Nr.9, 2001, pp. 773-796.
- [9] HOFMEYER, H., ROSMANIT, M., BAKKER, M.C.M.: *Parameter study for first-generation sheeting failure using a theoretical and a FE model*, 18th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, Orlando, Florida, 2006.
- [10] LITTLE, G.A.: *The collapse of rectangular steel plates under uniaxial compression*, The Structural Engineer, Vol. 58B, No.3, 1980, pp. 45-61.
- [11] MAHENDRAN, M.: *Local Plastic Mechanisms in Thin Steel Plates Under In-Plane Compression*, Thin Walled Structures, Vol. 27, Nr.3, 1997, pp. 245-261.
- [12] MARGUERRE, K.: *Zur Theorie der gekrümmter Platte grosser Formänderung*, Proc. 5th Int. Congress for Applied Mechanics, Cambridge, UK, 1938.
- [13] MURRAY, N.W.: *Introduction to the Theory of Thin-Walled Structures*, Oxford Engineering Science Series 13., Clarendon Press, Oxford, 1986.
- [14] RHODES, J.: *Effective Widths in Plate Buckling*, In: *Developments in Thin-Walled Structures-I*, Edited by Rhodes, J. and Walker, A.C., Applied Science publishers, London, 1982.
- [15] ROSMANIT, M., BAKKER, M.C.M.: *Report on Elastic Post-Buckling Behavior of Uniformly Compressed Plates*, Research Paper O-2006.02, Department of Architecture, Structural Design Group, Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands, 2006-a.
- [16] ROSMANIT, M., BAKKER, M.C.M.: *Report on Post-Buckling Strength of Uniformly Compressed Plates*, Research Paper O-2006.03, Department of Architecture, Structural Design Group, Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands, 2006-b.
- [17] WILLIAMS, D.G., WALKER, A.C.: *Explicit Solutions for the Design of Initially Deformed Plates Subjected to Compression*, Proc. Instn. Civ. Engrs. Part 2.59, 1975, pages 763-787.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Tomáš Vraný, CSc., ČVUT Praha

David SEKANINA¹, Radim ČAJKA²

INTERAKCE PŘEDPJATÝCH PODLAH A PODLOŽÍ

INTERACTION BETWEEN PRESTRESSED FLOOR AND SUBSOIL

Abstrakt

Příspěvek se zabývá analýzou interakce předpjaté desky hangáru pro letadla s podložím. Výsledky řešení jsou porovnány s návrhem předpjaté podlahy hangáru podle směrnice společnosti VSL [2]. Pomocí nelineární analýzy je zkoumán vliv prokluzu v kontaktní spáře mezi podlahou a podložím na výslednou napjatost konstrukce.

Abstract

This paper is focused on analysis of interaction between hangars prestressed floor with subsoil. Results of solution are compare with design of prestressed floor, which was design according to rulebook of company VSL [2]. Through the use of nonlinear analysis is envisaged influence of slip in contact joint between floor and subsoil.

1 ÚVOD

Technologie předpínaných bezesparých podlah je zejména vhodná pro středně až těžce zatěžované podlahy různorodých skladových objektů, letištních hal, logistických parků atd.

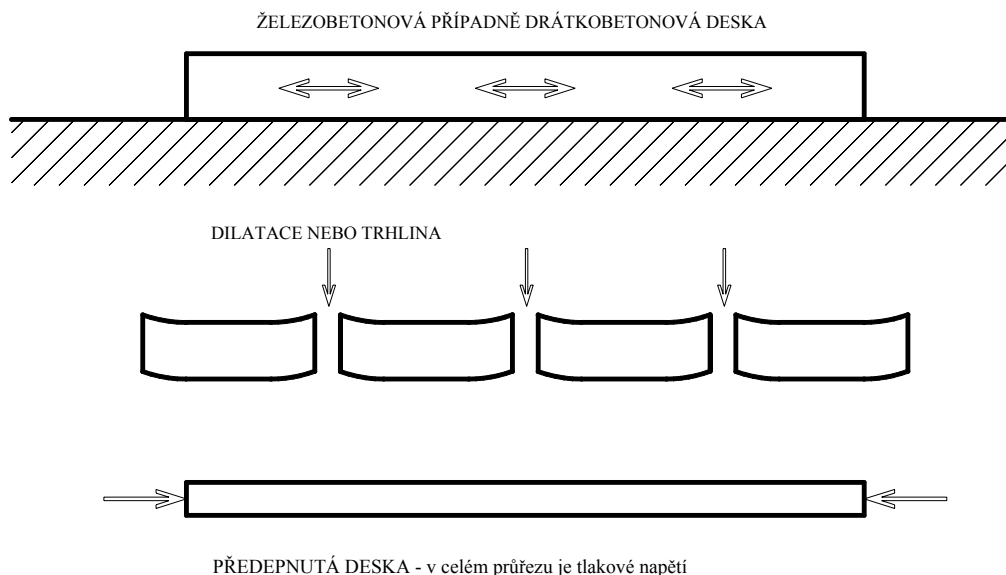
Mezi největší výhody předpínaných podlah patří výrazné omezení nutnosti dilatačních spár, které jsou nejcitlivější částí těchto konstrukcí, vyloučení trhlin, z toho plynoucí delší životnost, vysoká kvalita a současně výrazně menší náklady na údržbu. Předepnutá podlaha je tenčí ve srovnání s tradičně vyztuženou podlahou, přináší zkrácení doby provádění z důvodu ukládky menšího množství betonu ve větších plochách za den, často až 2500 m². Dle podkladů společnosti VSL [2], byla zhotovená předpínaná podlaha bez použití dilatačních spár, která pokrývala plochu 30 000 m².

Dodatečné předepnutí desek je navrženo tak, aby při nejnepříznivější kombinaci zatížení nedocházelo k tahovému porušení betonu, tzv. bez využití měkké výztuže, a předpětí bylo včas vnášeno do konstrukce ještě před zahájením tvorby smršťovacích trhlin. Z těchto důvodů je porušení betonu trhlinami zcela zabráněno na rozdíl od jiných metod kontroly trhlin, které spoléhají na vyšší množství pasivní výztuže s možností pouze omezit šířku trhlin dle určitého kritéria.

Proti předpjatým základům se do předpjatých podlah vnáší pouze normálová síla. Kotvení lan je v ose desky, protože ohybové momenty vlivem excentricity jsou v předpínaných podlahách nežádoucí.

¹ Ing. David Sekanina, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: david.sekanina@vsb.cz.

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



Obr.1: Schématické zobrazení principu předpjatých podlah

2 PŘÍKLAD PŘEDPJATÉ HANGÁROVÉ PODLAHY

Pro příklad byl zvolen projekt předpjaté podlahy hangáru pro letadla, viz [3]. Podlaha byla analyzována pro zatížení letadly typu SAAB 340.

Podlaha byla předpínaná ve dvou směrech. Pro delší směr „x“ byly navrženy 4 kabely po vzdálenostech 0,9 m. Na 1 m šířky vyšetřovaného pásu je tedy 4,44 kabelu. Skutečná síla po spočtených ztrátách v těchto kabelech byla $P_{x,skutečná} = 741,20 \text{ kN.m}^{-1}$.

V kratším směru „y“ byly navrženy 3 kabely po 0,75 m. Na 1 m šířky vyšetřovaného pásu připadají 4,0 kabely. Skutečná síla v kabelech byla $P_{y,skutečná} = 687,36 \text{ kN.m}^{-1}$.

Podlahová deska je spádovaná v průměrném sklonu 0,5 % směrem k vpustím. Tloušťka desky je proměnná od 0,3 m na okrajích a hřebenech spádových ploch až do 0,2 m v místech vpustí. Schéma desky a způsob spádování je patrný z obr. 2.

Ztráty vlivem tření podlahy o podloží byly dle projektu spočítány pomocí vztahu (1):

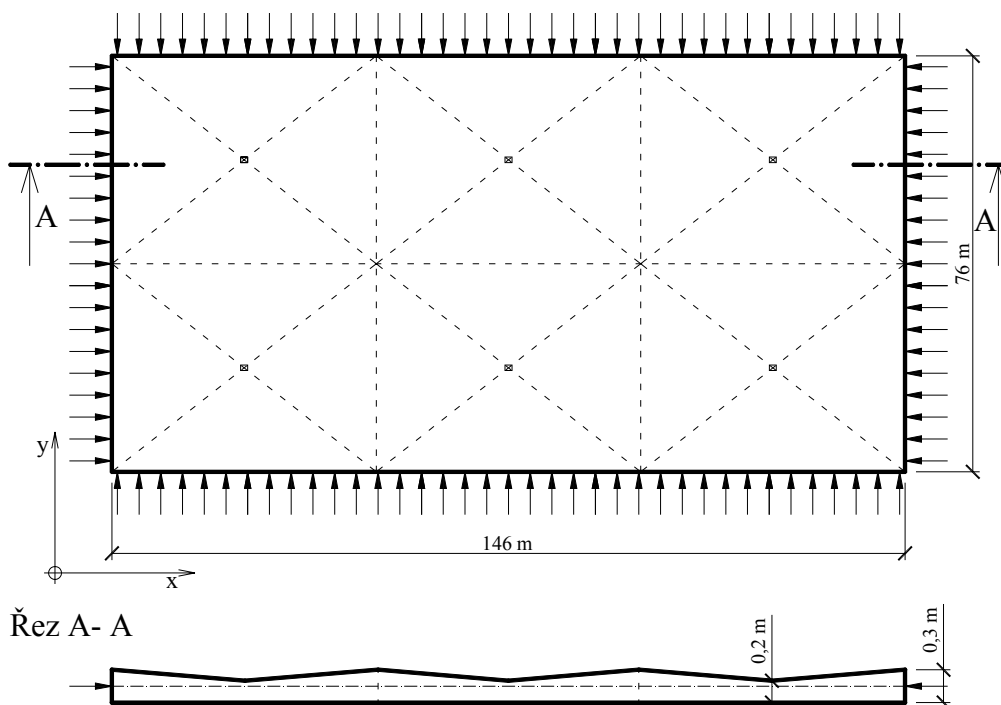
$$\Delta\sigma_{ir} = \frac{1}{2} f_t \cdot G \cdot L \quad (1)$$

kde:

- $\Delta\sigma_{ir}$ – ztráta předpětí vlivem tření podlahy o podloží
- f_t – součinitel tření (0,35 - 0,6) dle
- G – celková tíha předpínané podlahy
- L – celková délka předpínané podlahy

Jak je patrné z řezu na obr.2, tloušťka desky nemá konstantní šířku. Ztráty předpětí vlivem tření v kontaktní spáře byly proto analyzovány pro dva mezní případy a to pro tloušťku podlahy 0,2 a 0,3 m. Součinitel tření byl dle doporučení [2] a [4] uvažován hodnotou $f_t = 0,35$. V tabulce jsou uvedeny vypočtené hodnoty napětí bez a se zahrnutím ztrát předpětí třením, viz [3]. Hodnoty jsou vztaženy na šířku pásu 1 m.

Půdorys



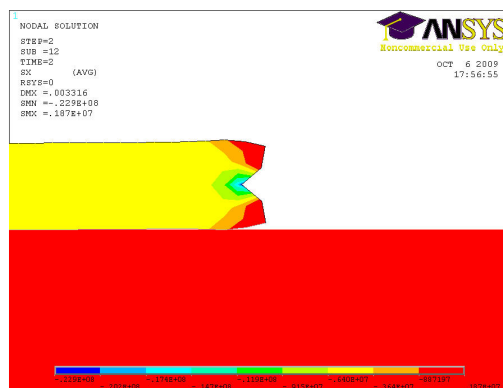
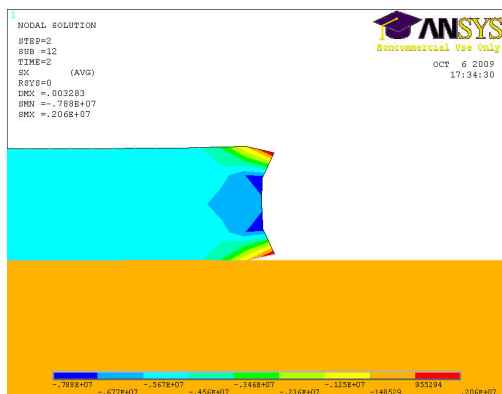
Obr.2: Schéma předpínané desky.

Tab.1: Tabulka hodnot normálových napětí uprostřed základu.

Směr	Předpínací síla [kN.m ⁻¹]	Normálové napětí [MPa]					
		Tl. desky 0,2 m			Tl. desky 0,3 m		
		Před ztrátou	Po ztrátě	Rozdíl [%]	Před ztrátou	Po ztrátě	Rozdíl [%]
x	741,20	3,71	3,00	19	2,47	1,77	28
y	687,36	3,44	3,07	11	2,29	1,93	16

2.1 Nelineární výpočet

Stejný příklad byl také řešen nelineárním výpočtem. Jedná se geometrickou nelinearitu. Pro výpočet byly použity plošné prvky PLANE42 a kontaktní liniové prvky CONTA172 a TARGE169. Kombinace těchto prvků zajišťovala tření mezi prvkem a podloží a hlídala maximální hodnotu napětí v základové spáře $\tau_{\max}$. Dále v kontaktu mezi prvkem a podloží nemělo být povoleno tahové napětí, tudíž bylo možno stanovit délku oblasti, kde došlo ke ztrátě kontaktu. Byly analyzovány 4 příklady předpjaté podlahy a byly zkoumány ztráty předpětí vlivem tření základu o podloží. Pro názornost jsou na obr.3 zobrazeny detaily kotevní oblasti, kde je patrné rozložení napětí od zatížení silou v bodě a plošným zatížením, nahrazujícím přenos zatížení přes kotevní desku. Způsob zadání předpětí (plošným zatížením nebo osamělou silou) nemělo na výsledky analýzy v daném zaokrouhlovacím intervalu vliv.



Obr.3: Lokální napjatost a deformace konce předpínané podlahy v místě kotvení lan.

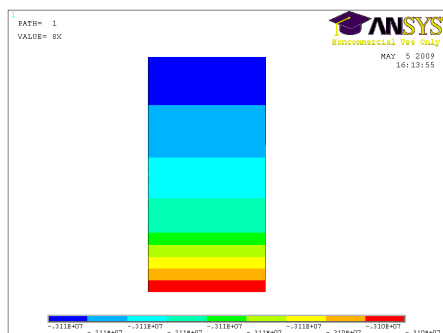
Kluzná spára je tvořena vrstvou písku a 2x PE fólií. V souladu s projektem byl zadán součinitel tření 0,35 mezi základem a PE fólií a bylo určeno mezní smykové napětí pískové vrstvy, které se stanovilo ze vztahu (1), kde byla hodnota pro:

Podlahu tloušťky 0,2 m

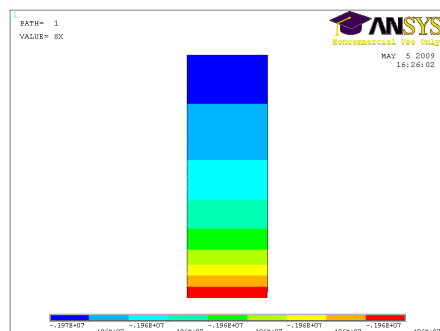
$$\tau_{\max} = \sigma \cdot \tan \varphi + c = 5 \cdot \tan 35^\circ + 0 = 3,5 \text{ kPa}$$

a pro tloušťku 0,3 m

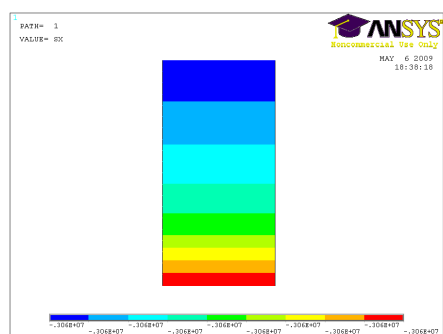
$$\tau_{\max} = \sigma \cdot \tan \varphi + c = 7,5 \cdot \tan 35^\circ + 0 = 5,25 \text{ kPa}$$



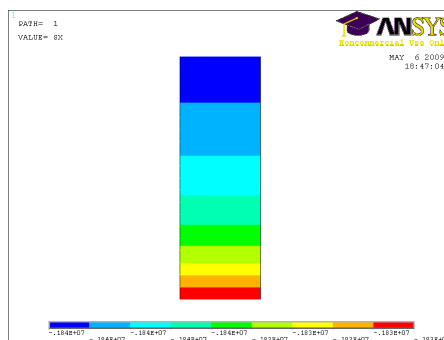
a)



b)



c)



d)

Obr.4: Průběhy napětí uprostřed prvku a) $h = 0,2$ m, délka 76m b) $h = 0,3$ m, délka 76 m
c) $h = 0,2$ m, 146 m d) $h = 0,3$ m, 146 m.

Parametry zeminy byly uvažovány v souladu s ČSN 73 1001 [1]. Na obr. 4 a) až d) jsou znázorněny průběhy normálových napětí, které byly řešeny nelineární analýzou pomocí programu ANSYS, pro 4 uvažované typy tloušťek a rozpětí. Průběhy normálových napětí po výšce průřezu jsou analyzovány uprostřed prvku vždy ve směru působení předpínací síly (pro délku 146 m – směr x , pro 46 m- směr y).

Výsledné hodnoty nelineárních výpočtů normálových napětí jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 2. Hodnoty jsou srovnány s hodnotami uvedenými v projektu.

Tab.2: Tabulka hodnot normálových napětí uprostřed základu

Směr	Předpínací síla [kN.m ⁻¹]	Normálové napětí [MPa]					
		Tl. desky 0,2 m			Tl. desky 0,3 m		
		ANSYS	Návrh VSL	Rozdíl [%]	ANSYS	Návrh VSL	Rozdíl [%]
x	741,20	3,060	3,00	1,96	1,835	1,77	3,54
y	687,36	3,105	3,07	1,13	1,965	1,93	1,78

V případě ideálního stavu, kdy nedochází ke ztrátě kontaktu, nebo prokluzu mezi podlahou a podloží, by byly hodnoty napětí totožné. Rozdíly uvedené v tabulce jsou dány zřejmě již zmiňovanou ztrátou kontaktu vlivem zvednutí konců vyšetřovaného prvku a hodnotou omezeného smykového napětí, které je největší na koncích.

2.2 Parametrická studie vlivu deformace a prokluzu konců předpínaných podlah

Na základě dosažených výsledků byla provedena srovnávací parametrická studie, kde byly srovnány ztráty předpětí třením podlahy o podloží pro příklady různých délek předpjatých podlah tl. 0,2 a 0,3 m. Byla zvolena jednotná předpínací síla 1000 kN. Délka podlah byla zvolena od 10 m do 200 m. Z nelineární analýzy byly získány hodnoty napětí uprostřed prvku a ty byly porovnány s výpočtem podle vztahu (1).

Rozdíly ztrát předpětí pro jednotlivé tloušťky podlah se pohybují v určitém intervalu hodnot. Pro tloušťku podlahy 0,2 m je tento interval 0,4 – 1,0 kN a pro tloušťku podlahy 0,3 m je interval dán v rozmezí 1,0 – 2,0 kN. Jak je patrné z hodnot rozdílu ztráty předpětí, není tento rozdíl závislý na délce podlahy. Odchylky jsou dány zaokrouhlovacími chybami. Z tohoto důvodu jsou uvedeny průměrné hodnoty rozdílu ztrát předpětí pro velikost předpínací síly $P = 1$ MN a pro:

- podlahu tloušťky $h = 0,2$ m : $\Delta F_p = 0,64$ kN
- podlahu tloušťky $h = 0,3$ m : $\Delta F_p = 1,76$ kN

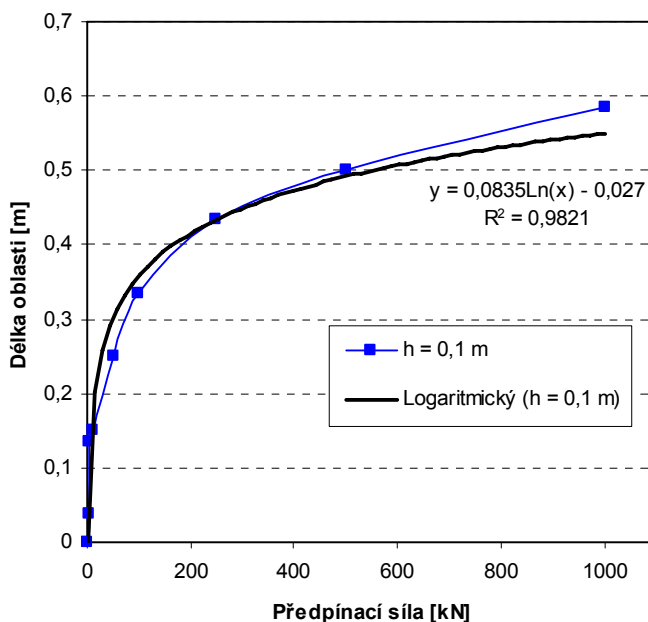
Hodnoty rozdílu ztrát jsou závislé na velikosti plochy, při níž došlo ke ztrátě kontaktu podlahy a podloží. Tímto dojde ke zmenšení kontaktní plochy a následnému snížení ztráty třením mezi podlahou a podloží. Zmenšením kontaktní plochy ale dojde ke zvětšení svislého kontaktního napětí. Pokud bude uvažována hodnota rozdílu ztrát předpětí $\Delta F_p = 1,76$ kN, hodnota délky vyšetřované oblasti by byla 0,67 m v souladu s uvedeným výpočtem dle vztahu (1). Hodnota délky oblasti ztráty kontaktu s podloží je v tomto řešeném případě závislá na hodnotě předpínací síly a tloušťce podlahy. Ve výpočtu nejsou uvažovány napětí a deformace vlivem smršťování a dotvarování betonu.

2.3 Vliv vstupních parametrů na velikost oblasti se ztrátou kontaktu s podloží

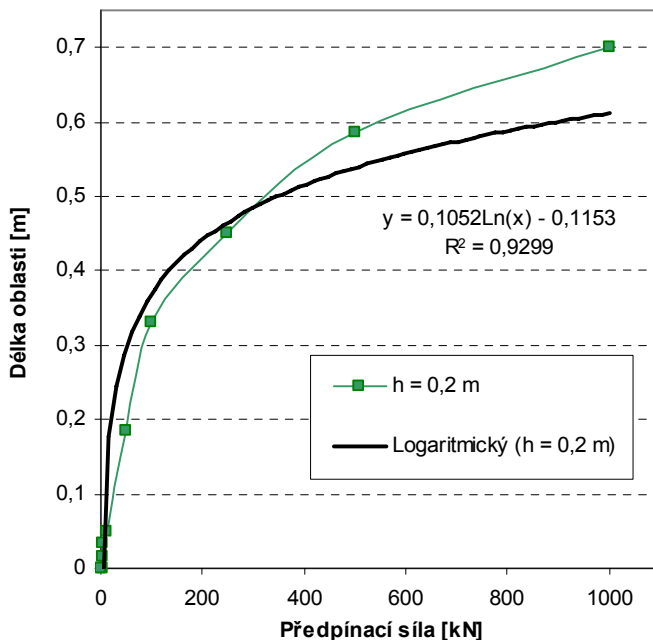
Z předchozích výsledků je patrná závislost velikosti oblasti ztráty kontaktu s podloží na tloušťce předpínané podlahy. Z důvodu větší přehlednosti závislosti velikosti vyšetřované krajní oblasti na vstupních parametrech, byla provedena další parametrická studie. Není zde patrná závislost na délce podlahy, tudíž je použit pouze jeden model délky 40 m.

Studie analyzovala případy podlah tl. 0,1 m, 0,2 m a 0,3 m. Dále byly použity hodnoty předpínací síly v intervalu od 1 kN do 1000 kN. V závislostech na tloušťce podlahy bylo upraveno i mezní smykové napětí $\tau_{\max}$. Výpočet probíhal standardně ve dvou zatěžovacích krocích s použitím kontaktních prvků, viz odstavec 2.1.

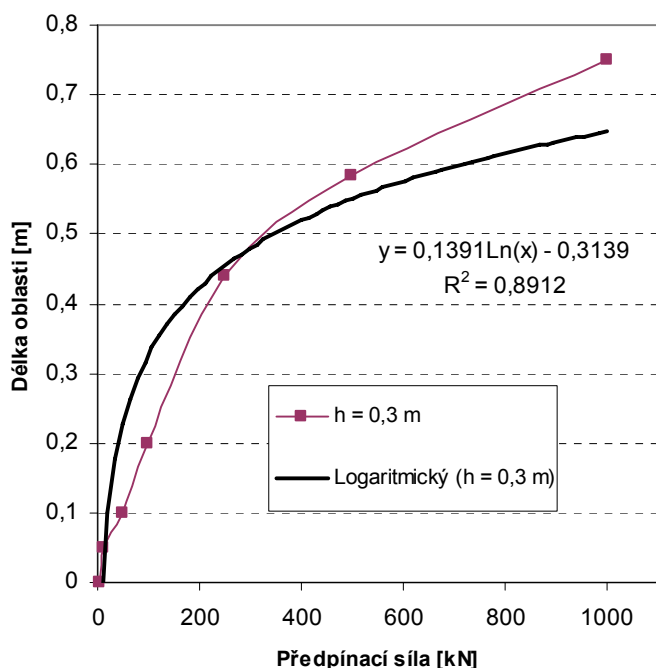
Z vypočtených hodnot byly provedeny průběhy závislostí délky deformované oblasti a předpětí, viz obr.4 – obr.6, a průběhy byly aproximovány logaritmickou funkcí.



Obr.4: Velikost oblasti bez kontaktu s podložím pro podlahu tl. 0,1 m



Obr.5: Velikost oblasti bez kontaktu s podložím pro podlahu tl. 0,2 m



Obr.6: Velikost oblasti bez kontaktu s podložím pro podlahu tl. 0,3 m

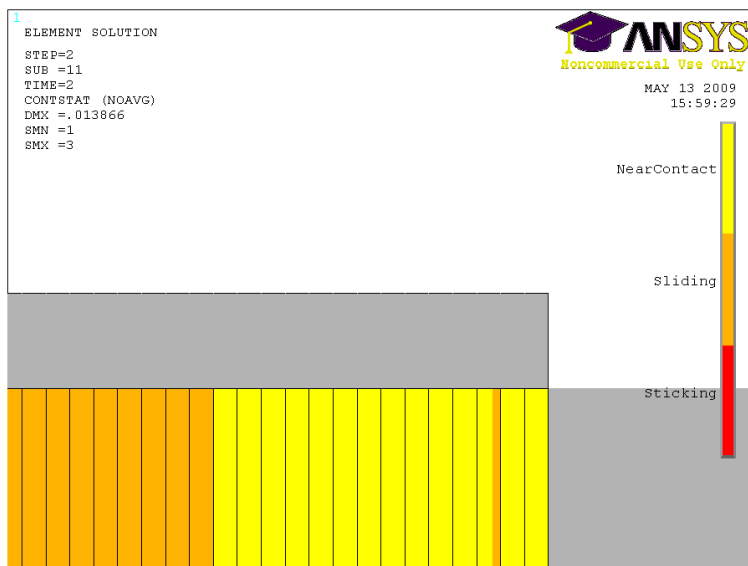
Rovnice aproximačních funkcí jsou následující:

Pro tloušťku podlahy 0,1 m: $y_{0,1} = 0,0835 \cdot \ln(P) - 0,027$

Pro tloušťku podlahy 0,2 m: $y_{0,2} = 0,1052 \cdot \ln(P) - 0,1153$

Pro tloušťku podlahy 0,3 m: $y_{0,3} = 0,1391 \cdot \ln(P) - 0,3139$

Z vyjádřených rovnic je patrná závislost strmosti dané logaritmické křivky na výšce předpínaného základu, resp. podlahy.



Obr.7: Žlutě je vyznačená oblast ztráty kontaktu podlahy s podložím

3 ZÁVĚR

V rámci studie byly provedeny pouze nelineární analýzy, kde byl zkoumán vliv tření v kontaktní spáře. Vlivem tření vzniká složka ohybového momentu deformující koncové části dlouhých konstrukcí. Použití kontaktních prvků umožnilo analyzovat délku oblasti, kde dochází ke ztrátě kontaktu s podložím a zahrnout vliv maximálního smykového napětí vzniklého mezi podložím a podlahou.

PODĚKOVÁNÍ

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

LITERATURA

- [1] ČSN 73 1001 Zakládání staveb: Základová půda pod plošnými základy, Vydavatelství norem, Praha 1988
- [2] Post tensioned foundations: Materiály VSL-international Ltd., Berne, Switzerland, 1988
- [3] Předpjatá podlahová deska – Hangár Mošnov: Projektová dokumentace, VSL, 7/2008
- [4] WRIGGERS P.: *Computation Contact Mechanics*, Springer, Germany, 2006

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Juraj Králik, Ph.D., Stavebná fakulta STU v Bratislavě.

Kristýna VAVRUŠOVÁ¹, Antonín LOKAJ²

POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

TIMBER STRUCTURES FIRE RESISTANCE

Abstrakt

Předmětem tohoto příspěvku je nástin problematiky navrhování a posuzování dřevěných konstrukcí na účinky požáru dle normativních a alternativních (plně pravděpodobnostních) metod.

Abstract

Aim of this article is adumbration of fire loaded timber structures design using normative and alternative (fully probabilistic) methods.

1 ÚVOD

Cenová dostupnost, rychlost výstavby, příznivé fyzikálně-mechanické, ekologické a estetické vlastnosti dřeva jsou jen některé z aspektů stále častějšího užití dřeva při stavbách nových obytných domů, jak již v podobě roubenek, srubů, či staveb ze sendvičových panelů nebo při rekonstrukcích stávajících objektů a realizacích střešních nástaveb, které v současné době patří k velmi vyhledávaným formám bydlení.

Především u střešních nástaveb je nutné, vzhledem ke snadné hořlavosti dřeva, věnovat pozornost dodržení všech požárních opatření a správnému návrhu dřevěných prvků na účinky požáru.

V současné době dochází, díky rozvoji počítačové techniky, vedle standardních normativních metod, k rozvoji i jiných, alternativních metod, které jsou na počítačové technice přímo závislé. Mezi ně patří i plně pravděpodobnostní metody (např. metoda SBRA [5]).

2 DŘEVO VYSTAVENÉ ÚČINKŮM POŽÁRU

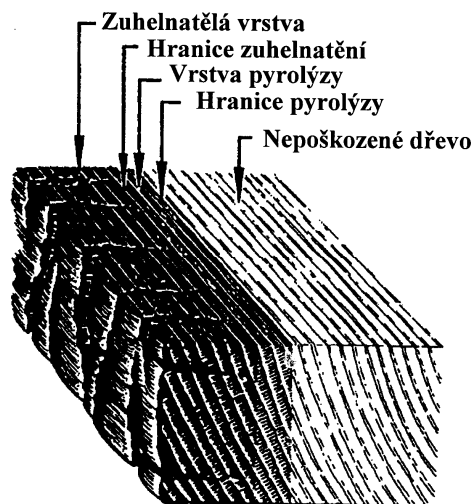
Dřevěné prvky vystavené požáru a teplotě okolo 300° C vzplanou na povrchu a zpočátku poměrně silně hoří. Postupně se vytvoří zuhelnatělá vrstva, která má přibližně 6-krát lepší tepelně-izolační vlastnosti než rostlé dřevo (obr. 1).

Tato vrstva pak chrání zbytkový průřez před účinky intenzivního ohřevu od požáru. Vnější povrch zuhelnatělé vrstvy má teplotu blízkou teplotě požáru, vnitřní povrch zuhelnatělé vrstvy má teplotu okolo 300° C. Pod zuhelnatělou vrstvou se nachází vrstva teplotně ovlivněného dřeva o tloušťce přibližně 35 mm, jejíž pevnostní a přetvárné vlastnosti jsou tepelně ovlivněny a sníženy. Část této vrstvy o teplotě nad 200° C se nazývá vrstva pyrolýzy, protože v ní dochází k intenzivnímu tepelnému rozkladu spojenému s uvolňováním plynů a vyznačujícím se změnou barvy a ztrátou

¹ Ing. Kristýna Vavrušová, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 375, e-mail: kristyna.vavrusova@vsb.cz.

² Doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 302, e-mail: antonin.lokaj@vsb.cz.

hmotnosti. Vlhkost se intenzivně vypařuje z vrstev s teplotou přesahující 100° C. Pod vrstvou pyrolýzy se nachází tepelně prakticky neovlivněný zbytkový průřez, který se v čase s postupujícím požárem zmenšuje.



Obr.1: Dřevěný průřez vystavený účinkům požáru

Z hlediska zbytkového průřezu lze rozlišovat dřevěné prvky subtilní (zpravidla se uvažují prvky do tloušťky 80 mm), u kterých je zbytkový průřez již při krátkém účinku požárního zatížení téměř nulový a prvky masivní, u kterých je zbytkový průřez dostatečně velký, aby plnil nosnou funkci i při požadované době požární odolnosti.

3 POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI DLE EC5

Pro návrh a posouzení spolehlivosti dřevěné konstrukce vystavené účinkům požáru podle Eurokódů ([1] a [2]) je možno použít alternativně tři metody. Jedná se o metodu redukovaného průřezu, metodu redukovaných vlastností a obecnou metodu. Tyto metody jsou seřazeny vzestupně podle náročnosti výpočtu a následně i podle výsledné požární odolnosti konstrukce.

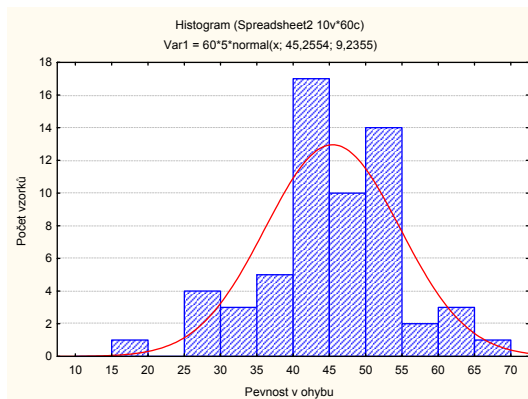
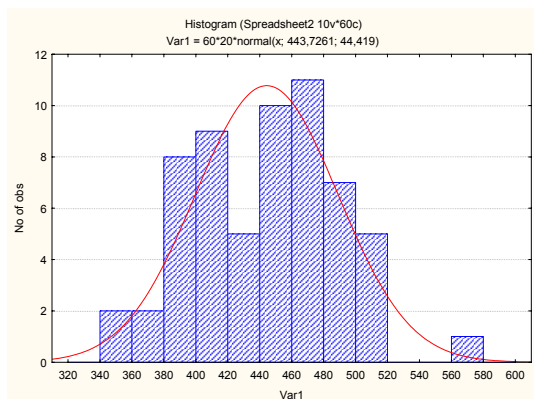
Principem všech těchto metod je výpočet hloubky zuhelnatění průřezu, případně změna fyzikálně-mechanických vlastností a posudek únosnosti zbytkového průřezu v požadovaném čase požární odolnosti.

Hloubka zuhelnatění vychází z návrhové rychlosti zuhelnatění daného materiálu a doby požární odolnosti.

Návrhová rychlost zuhelnatění (pohybuje se mezi 0,5 a 1,0 mm/min.) je závislá zejména na hustotě dřeva či materiálů na jeho bázi (zpravidla nepřímo úměrně) a je uvedena tabelárně charakteristickou hodnotou v ČSN EN 1995-1-2 ([2]).

4 POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI METODOU SBRA

V metodě SBRA jsou všechny náhodně proměnné reprezentovány ohraničenými histogramy, zatížení jsou vyjádřena křivkami trvání a odpovídajícími histogramy. Materiálové vlastnosti jsou, na rozdíl od EC5, vyjádřeny ohraničenými histogramy určenými na základě laboratorních testů (obr. 2 a 3) podle [3].



Obr.2 a 3: Histogram hustoty a pevnosti v ohybu jehličnatého řeziva podle [3]

Funkce spolehlivosti (FS) je analyzována použitím simulační techniky a přímé metody Monte Carlo:

$$FS = R - S \quad (1)$$

kde R je odolnost konstrukce, S vyjadřuje účinek kombinace zatížení.

5 PŘÍKLAD POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI STROPNÍHO TRÁMU ZA POŽÁRU

Je potřeba ověřit 60-ti minutovou požární odolnost smrkového stropního trámu (třída pevnosti S10) obdélníkového průřezu (180/240 mm) o délce 3,5 m. Stropní trám - prostý nosník je zatížen spojitým rovnoměrným zatížením stálým ($g_d = 3,0 \text{ kN/m}$) a užitným ($p_d = 3,0 \text{ kN/m}$).

5.1 Výpočet dle EC5

Výpočet byl proveden dle [2] metodou redukovaného průřezu.

A) Posouzení průřezu

$$M_{fi,d} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + p_d) \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot (3,0 + 3,0) \cdot 3,5^2 = 9,19 \text{ kNm}$$

$$\beta = 0,8 \text{ mm/min}$$

$$d_{ef} = \beta_n \cdot t + k_0 \cdot d_0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 = 1,0 \text{ (podle EC 5)}$$

$$d_{ef,60} = 0,8 \cdot 60 + 1,0 \cdot 7 = 55 \text{ mm}$$

$$b_{fi,60} = b - 2 \cdot d_{ef,60} = 180 - 2 \cdot 55 = 70 \text{ mm}$$

$$h_{fi,60} = h - d_{ef,60} = 240 - 55 = 185 \text{ mm}$$

$$W_{fi} = \frac{b_{fi,60} \cdot h_{fi,60}^2}{6} = \frac{70 \cdot 185^2}{6} = 399\,292 \text{ mm}^3$$

Návrhová hodnota pevnosti v ohybu

$$f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{22}{1,0} = 27,5 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová hodnota napětí v ohybu

$$\sigma_{m,fi,d} = \frac{M_{fi,d}}{W_{fi}} = \frac{9,19 \cdot 10^6}{399\,291} = 23,0 \text{ N/mm}^2$$

Stupeň využití

$$23,0 / 27,5 = \underline{0,84}$$

B) Návrh průřezu

Za návrhovou veličinu je zvolena šířka trámu **b**, vypočtená na základě zpětného postupu posudku požární odolnosti trámu. Metodou redukovaného průřezu je stanovena nejmenší možná šířka smrkového trámu ($b_{\min} = 168,6 \text{ mm}$).

5.2 Výpočet metodou SBRA

Zatížení je vyjádřeno ohraničenými histogramy: stálé (DEAD1), užité (SHORT1). Hustota a pevnost v ohybu smrkového dřeva jsou rovněž vyjádřeny ohraničenými histogramy získanými na základě laboratorního měření.

Pravděpodobnost vzniku požáru je předpokládána jako 1/300. Pokles ohybové pevnosti dřeva trámu na základě doby trvání účinků zatížení je uvažován podle "Madisonské křivky" - viz rov. (2):

$$SL = 108,4 T^{0,04635} + 18,3 \quad (2)$$

kde $SL \dots$ [%] je aktuální pevnost dřeva v čase T vzhledem ke krátkodobé pevnosti

$T \dots$ je doba trvání účinků zatížení [sec].

Rychlost odhořívání (β) v závislosti na hustotě dřeva podle ([6]):

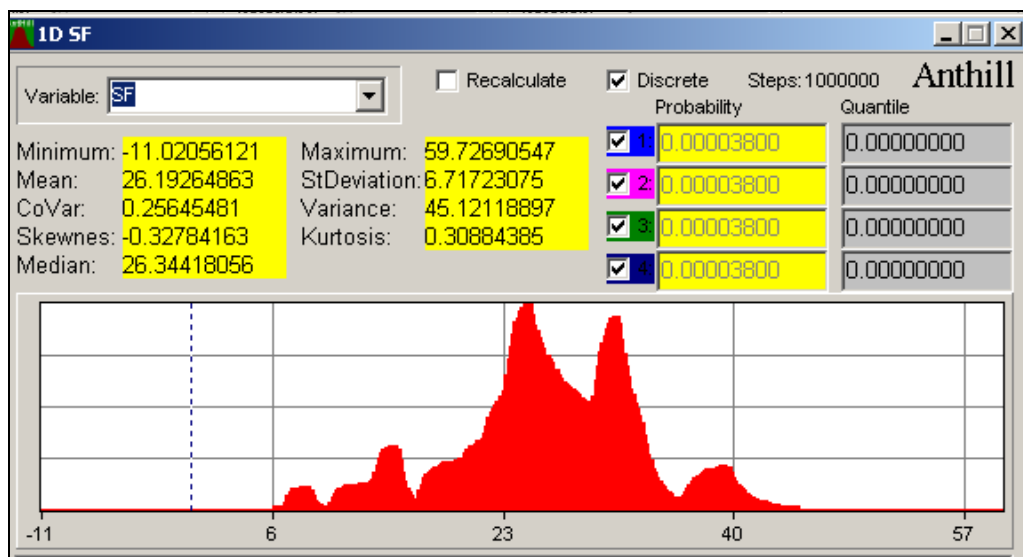
$$\beta = 0,4 + (280/\rho)^2 \quad (3)$$

kde $\rho \dots$ je hustota dřeva [kg/m^3].

Funkce spolehlivosti je analyzována v 1 mil. simulačních cyklů. Odolnost konstrukce (R) je vyjádřena pevností dřeva v ohybu redukovanou v závislosti na době trvání zatížení (v rozmezí 0 až 50 let). Účinek kombinace zatížení (S) je vyjádřen napětím v ohybu účinného průřezu namáhaného požárem ze tří stran.

A) Posouzení průřezu

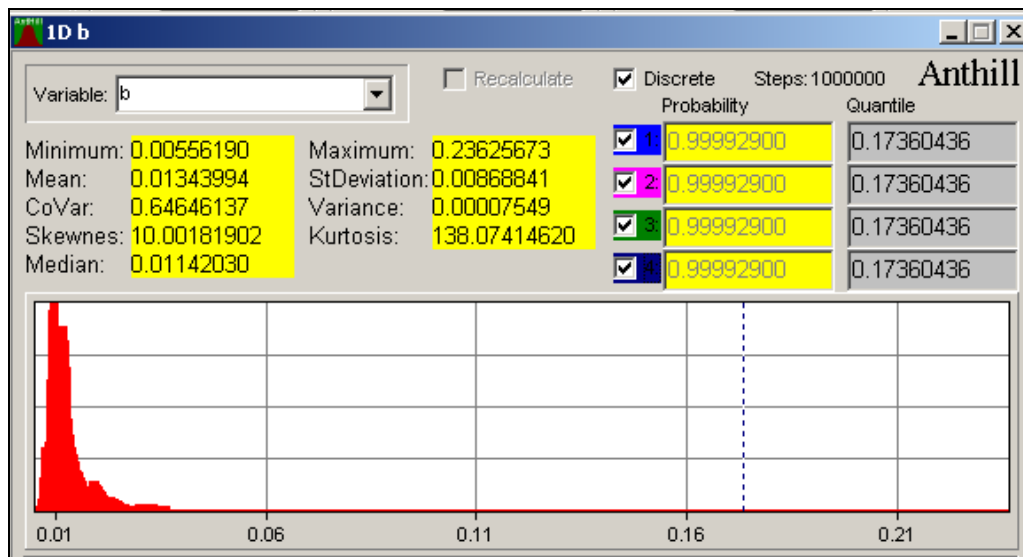
Vypočtená pravděpodobnost poruchy zadaného smrkového trámu: $P_f = 0,000038$ (Obr.4). Tato pravděpodobnost poruchy trámu pro 60-ti minutovou požární odolnost odpovídá obvyklé důležitosti konstrukce podle [6].



Obr.4: Výsledný histogram funkce spolehlivosti smrkového trámu.

B) Návrh průřezu

Jako návrhová veličina je zvolena šířka trámu b , která byla stanovena pro pravděpodobnost poruchy obvyklé důležitosti konstrukce $P_d = 0,00007$. U smrkového trámu je minimální možná šířka trámu pro 60-ti minutovou požární odolnost 173,6 mm (Obr. 5).



Obr.5: Výsledný histogram minimální šířky smrkového trámu.

6 ZÁVĚR

Tabulka č.1 uvádí srovnání výsledků návrhu a posouzení stropního trámu metodou SBRA a dle EC5.

Tab.1: Srovnání výsledků dle metody SBRA a výpočtu dle EC5.

	Posudek		Návrh	
	EC5 – stupeň využití	SBRA pravděpodobnost poruchy	EC5 (minimální šířka trámu – b [mm])	SBRA (minimální šířka trámu – b [mm])
Smrk	0,84	0,000038	168,6	173,6

Z tabulky je patrné, že výsledky obou metod jsou srovnatelné. K výhodám metody SBRA patří možnost explicitního vyjádření pravděpodobnosti poruchy nosných prvků a spojů, možnost vyjádření zatížení, fyzikálně-mechanických a geometrických vlastností prvků pomocí ohraničených histogramů. Metoda SBRA umožňuje rovněž zahrnout do výpočtu pravděpodobnost vzniku požáru, vliv vlhkosti, hustoty a dalších činitelů ovlivňujících požární odolnost prvků a spojů dřevěných konstrukcí.

PODĚKOVÁNÍ

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

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1995-1-1, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha, prosinec 2006.
- [2] ČSN EN 1995-1-2, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha, prosinec 2006.
- [3] LOKAJ, A., VAVRUŠOVÁ, K., HURTA, J., (2007): Materiálové charakteristiky jehličnatého dřeva, In *SBORNÍK vědeckých prací Vysoké školy báňské –Technické univerzit Ostrava*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika, ISBN 978-80-248-1661-6.
- [4] VAVRUŠOVÁ, K., LOKAJ, A., Spolehlivost prvků dřevěných konstrukcí, In *Spolehlivost konstrukcí*, Praha 2008, s. 33 – 36, ISBN 978-80-02-02007-3
- [5] MAREK, P., BROZZETTI, J., GUŠTAR, M., TIKALSKY, P., (2003): *Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation*, Second edition, Praha, ISBN 80-86246-19-1.
- [6] ČSN 73 1401/98 Navrhování ocelových konstrukcí. Změna A. ČNI, Praha, 1998.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Isabela Bradáčová, CSc., Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TU Ostrava.

Jan ČESELSKÝ¹

PRIVATIZACE KOMUNÁLNÍHO BYTOVÉHO FONDU A JEJÍ MOŽNÉ DOPADY

THE PRIVATIZATION OF MUNICIPAL DWELLING STOCK AND ITS POSSIBLE IMPACT

Abstrakt

Článek popisuje analýzu privatizace a kvantitativní stav obecního bytového portfolia v souvislosti s problematikou sociálního bydlení a zjišťuje možné dopady na strategický komunální bytový fond.

Abstract

The article describes a quantitative analysis of the privatization of municipal housing portfolio in connection with the issue of social housing and determines potential impact on the strategic council housing stock.

1 ÚVOD

Dnešní odborná veřejnost si klade za svůj dlouhodobý cíl nadále prohlubovat analýzu současného stavu bydlení a definovat rozhodující trendy a tendence bydlení. Je v zájmu každé společnosti, aby úroveň a kvalita bydlení byla na co možné nejvyšší úrovni.

Tuto kvalitu a úroveň je nutno udržovat také v komunální sféře. Obecní vlastnictví bytů má v naší zemi, a v evropských zemích obecně, dlouholetou tradici. Má zcela mimořádný význam pro samosprávné postavení obcí a měst. Vlastnictví komunálního nájemního bytového fondu k tomu vytváří příznivé hmotné předpoklady. Na činnosti obcí by mělo záležet, v jaké míře bude uspokojována jedna ze základních lidských potřeb a významný faktor sociálních jistot lidí. Nájemní byty ve vlastnictví obcí jsou významným prvkem tržně konformní vlastnické struktury. Jejich existence je předpokladem fungování trhu s bydlením. Přesto se počet těchto bytů rok po roce snižuje. Je to důsledek nejen negativního postoje k vlastnictví obce a preferování osobního vlastnictví bytů, ale také zanedbanosti a ztrátovosti obecního bytového fondu, který byl do obecní správy převeden v roce 1991 z rukou tehdejšího správce - státu.

Co je mimořádně důležité, obecní nájemní bytový fond představuje přirozený základ sociálního bydlení, které není založeno výhradně na ziskovém principu. Privatizací obecního bytového fondu se obce zbavují možnosti vzniku sociálního bydlení včetně startovních bytů pro mladé a začínající rodiny. Obce tak ztrácejí na atraktivnosti a sounáležitost obyvatelstva, pro které by právě tento bytový fond mohl být určen, klesá.

Hlavním důvodem opětovné analýzy postupu privatizace obecního bytového fondu je současná aktualizace tématu sociálního bydlení na české politické scéně. Je žádoucí analyzovat současnou míru privatizace a kvantitativní stav obecního bytového fondu, zjistit zda míra privatizace nepřekročila v obcích úměrnou hranici, ale také je přinejmenším žádoucí si ověřit jak privatizace obecního bytového fondu, v případě že je uskutečňována, ovlivňuje management hospodaření se

¹ Ing. Jan Česelský, Ph.D., Katedra městského inženýrství, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 951, e-mail: jan.ceselsky@vsb.cz.

zbývajícím strategickým bytovým fondem, který si obce a města ponechávají ve svém majetku, zda existuje jednotná závislost nebo města a obce vykazují nejednotnost vyplývající z jejich specifických problémů komunálních bytových politik.

2 ANALÝZA PROBLÉMU

Při první zmínce by se mohlo zdát, že privatizace obecního bytového fondu již není, v souvislosti s transformačním procesem české bytové politiky, příliš aktuální téma a že privatizace v jednotlivých městech a obcích buď již skončila nebo v následujících letech bude spět k závěru. Avšak v souvislosti s aktuálními tématy, které současnou bytovou politikou „hýbou“ - problematikou sociálního bydlení a napříč současným vlastnickým spektrem dalším průběhem procesu údržby a obnovy především panelového domovního fondu - se proces privatizace stává opět aktuální a je potřeba ho stále analyzovat a hodnotit. Především z toho důvodu, že kvantitativní změny obecního bytového fondu, které v průběhu privatizace nastaly nebo stále nastávají, nebyly od počátku privatizační vlny nijak centrálně metodicky podchyceny a města (obce) prodej bytového fondu provádí na základě svých obecních specifických podmínek, metodik a koncepčních materiálů, pokud je tedy obce mají přijaty. Tento fakt však není až tak závadný, mnohem větším problémem je vlastní absence metodických pokynů, které by určovaly a řídily proces privatizace, především její míru. To se může v některých obcích a městech projevit negativně.

Obce a města transformačním procesem bytové politiky převzala úlohu poskytovatelů veřejného nájemního bydlení, které by mělo sloužit především sociálním skupinám, které nejsou samostatně schopny si bydlení opatřit na volném trhu s byty. V širším měřítku obecní nájemní bytový fond může sloužit jako rezerva pro obyvatelstvo zařazené do složek, které jsou pro chod obcí a měst důležité (zdravotnictví, hasiči, policie, školství, kultura atd.) nebo dokonce může být rozvojovým prvkem obcí ve skupině nájemního bydlení, která může, v případě efektivního managementu strategického obecního bytového fondu, vyšší nájemného (místně obvyklé nájemné) přispívat do obecní pokladny nemalými finančními částkami (např. nadstandardní nájemní byty v půdních prostorech).

Neuváženou privatizací obecního bytového fondu se obce zbavují všech těchto výše zmíněných možností, navíc přílišným snižováním stavu sociálního bydlení v obcích může dojít v budoucnosti ke zvýšení bezdomovectví a sociální nestabilitě. Určité optimum podílu bytů ve vlastnictví města, popř. neziskových společností ve městech nelze pro konkrétní města nijak striktně stanovit, neboť vždy vyplývá z lokálních specifických podmínek (ekonomických, sociálních), ve kterých obce a města fungují. Nicméně dlouholeté zkušenosti z vyspělých evropských zemí ukazují, že by se tento podíl v celostátním průměru měl pohybovat mezi 15 – 25% k celkovému bytovému fondu (Terplan, 1998). Jiné odborné zdroje tento podíl nepaušalizují jednotně, ale uvádějí ho v dělení na vybrané evropské státy (MMR, 2005)(Tab.1).

Tab.1: Podíl sociálního nájemního bydlení na celkovém bytovém fondu ve vybraných evropských zemích (rok 2004).

Země	Podíl sociálního bydlení z celkového byt. fondu (%)	Země	Podíl sociálního bydlení z celkového byt. fondu (%)	Země	Podíl sociálního bydlení z celkového byt. fondu (%)
Rakousko	14,3	Irsko	8,0	Slovensko	4,5
Belgie	7,0	Litva	3,0	Slovinsko	6,6
Kypr	4,6	Holandsko	34,6	Švédsko	21,0
Dánsko	20,0	Polsko	23,4	Velká Británie	21,0
Estonsko	3,0	Portugalsko	3,3	Německo	6,5
Finsko	17,2	Francie	17,5	Maďarsko	4,6

Zdroj: MMR

3 MÍRA SOUČASNÉ PRIVATIZACE²

Pro zjištění současných privatizačních charakteristik v českých městech je možno začít na ukazateli podílu bytů uvažovaných k ponechání, jako strategický bytový fond, z úhrnu komunálních bytů před privatizačním procesem (Tab.2). Tento ukazatel do jisté míry charakterizuje určité záměry představitelů měst na ponechání či naopak prodej svého bytového majetku, může ukázat v širším pojetí, zda město upřednostňuje pravicový přístup k bytové politice nebo prosazuje přístup levice.

Tab.2: Vztah mezi velikostí města a podílem bytů uvažovaných k ponechání z úhrnu komunálních bytů před privatizací v %.

Velikost města podle počtu obyvatel		Podíl bytů uvažovaných k ponechání z úhrnu komunálních bytů před privatizací						
		do 20	20-39	40-59	60-79	80 a více	neuvedeno	CELKEM
2 000 – 9 999	a)	1	2	2	2	3	0	10
	b)	2,5	5,0	5,0	5,0	7,5	0,0	
	c)	10,0	20,0	20,0	20,0	30,0	0,0	
	d)	5,3	18,2	100,0	66,7	60,0	0,0	
10 000 – 19 999	a)	1	2	0	0	0	0	3
	b)	2,5	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	c)	33,3	66,7	0,0	0,0	0,0	0,0	
	d)	5,3	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	
20 000 – 49 999	a)	5	4	0	1	0	0	10
	b)	12,5	10,0	0,0	2,5	0,0	0,0	
	c)	50,0	40,0	0,0	10,0	0,0	0,0	
	d)	26,3	36,4	0,0	33,3	0,0	0,0	
50 000 – 74 999	a)	6	0	0	0	0	0	6
	b)	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	c)	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	d)	31,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
75 000 – 149 999	a)	4	2	0	0	1	0	7
	b)	10,0	5,0	0,0	0,0	2,5	0,0	
	c)	57,1	28,6	0,0	0,0	14,3	0,0	
	d)	21,1	18,2	0,0	0,0	20,0	0,0	
150 000 a více	a)	2	1	0	0	1	0	4
	b)	5,0	2,5	0,0	0,0	2,5	0,0	
	c)	50,0	25,0	0,0	0,0	25,0	0,0	
	d)	10,5	9,1	0,0	0,0	20,0	0,0	
Souhrn	a)	19	11	2	3	5	0	40
	c)	47,5	27,5	5,0	7,5	12,5	0,0	

Pozn.: a)absolutní četnost, b)v % z úhrnu všech měst šetření, c) v % z řádkových součtů, d)v % ze sloupcových součtů

Zdroj:Monitoring komunálního bydlení 2007, vlastní výpočty

² Datovou základnou hodnocení stavu obecního bytového fondu a míry privatizace bylo šetření „Monitoring komunálního bydlení“ z roku 2007 (informace jsou k 31.12.2006). V době zpracování analýzy (duben 2008 – červenec 2008) nebyly ještě k dispozici aktuálnější data z roku 2007. Pro další rozbor musela být základní databáze 54 hodnocených měst, v souvislosti s analýzou privatizace obecního bytového fondu, poněkud redukována na konečných 40 měst. V dotazníkovém šetření se tato redukce projevila poklesem procentní sazby posouzených obecních bytů na cca 20%.

Důvody redukce databáze byly následující:

- Pro výpočet ukazatelů musela být databáze jednotlivých měst omezena pouze na města, která dodala v příslušném roce kompletní informace pro výpočet ukazatelů.
- U měst větší velikosti některé městské obvody/části v příslušném roce dodaly nekompletně vyplněné dotazníky, pro výpočet byly použity pouze městské obvody/části, které dodaly kompletní informace.

Z tabulky 2 je patrné, že města potvrzují obecný trend ponechání si malého procenta původního komunálního bytového fondu, 75% měst chce ponechat cca méně než 40% původního obecního bytového fondu. Přibližně 48% měst chce svou privatizací zajít až pod 20% původního komunálního bytového fondu. Z hlediska velikostní diference se na tomto trendu podílejí všechny velikostní struktury měst, převažují však mírně města střední velikosti od 20 – 75 tis. obyvatel.

Závislost současného postupu privatizace, vyjádřeného počtem privatizovaných bytů na 100 komunálních bytů před privatizací, na velikosti města lze vyvodit z tabulky 3 (Tab.3).

Tab.3: Vztah mezi velikostí města a podílem privatizovaných bytů z úhrnu komunálních bytů před privatizací v %.

Velikost města podle počtu obyvatel		Počet privatizovaných bytů na 100 komunálních bytů							CELKEM
		0	1-19	20-39	40-69	70-89	90 a více	neuv.	
2 000 – 9 999	a)	0	3	1	4	2	0	0	10
	b)	0,0	7,5	2,5	10,0	5,0	0,0	0,0	
	c)	0,0	30,0	10,0	40,0	20,0	0,0	0,0	
	d)	0,0	75,0	50,0	50,0	11,8	0,0		25,0
10 000 – 19 999	a)	0	0	0	0	2	1	0	3
	b)	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	2,5	0,0	
	c)	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	33,3	0,0	
	d)	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	12,5	0,0	7,5
20 000 – 49 999	a)	0	0	1	2	6	1	0	10
	b)	0,0	0,0	2,5	5,0	15,0	2,5	0,0	
	c)	0,0	0,0	10,0	20,0	60,0	10,0	0,0	
	d)	0,0	0,0	50,0	25,0	35,3	12,5	0,0	25,0
50 000 – 74 999	a)	0	0	0	0	3	3	0	6
	b)	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	7,5	0,0	
	c)	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0	
	d)	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	37,5	0,0	15,0
75 000 – 149 999	a)	1	0	0	0	3	3	0	7
	b)	2,5	0,0	0,0	0,0	7,5	7,5	0,0	
	c)	14,3	0,0	0,0	0,0	42,9	42,9	0,0	
	d)	100,0	0,0	0,0	0,0	17,6	37,5	0,0	17,5
150 000 a více	a)	0	1	0	2	1	0	0	4
	b)	0,0	2,5	0,0	5,0	2,5	0,0	0,0	
	c)	0,0	25,0	0,0	50,0	25,0	0,0	0,0	
	d)	0,0	25,0	0,0	25,0	5,9	0,0	0,0	10,0
Souhrn	a)	1	4	2	8	17	8	0	40
	c)	2,5	10,0	5,0	20,0	42,5	20,0	0,0	100,0

Pozn.: a)absolutní četnost, b)v % z úhrnu všech měst šetření, c) v % z řádkových součtů, d)v % ze sloupcových součtů

Zdroj:Monitoring komunálního bydlení 2007, vlastní výpočty

Je patrné, že přes 60% měst již privatizovalo více jak 70% původních státem převedených nájemních bytů. Tento trend však není tak patrný u skupiny měst do 10 tis. obyvatel, zde se naopak většina měst drží nižší hladiny privatizace, třetina měst dokonce má privatizováno pouze 20% původního obecního nájemního bytového fondu z roku 1991.

Výstižnější obraz o rozsahu a dynamice proběhlé privatizace obecního bytového fondu dává porovnání podílu komunálních bytů po proběhlé privatizaci do současné doby z celkového úhrnu bytového fondu, nikoli pouze komunálního bytového fondu, jehož počet se právě v důsledku privatizace rychle mění. Je nutno ovšem vycházet a pomoci si počtem bytů z aktuálního censu 2001, vývoj bytového fondu totiž není ve městech ani v jiných úrovních statisticky podchycen v dynamické formě jednotlivých let. Přesto se z tabulky (Tab.4) dají vyvodit dílčí hodnověrné závěry.

Tab.4: Vztah mezi velikostí města a počtem komunálních bytů po proběhlé privatizaci z úhrnů všech bytů v obci.

Velikost města podle počtu obyvatel	Počet komunálních bytů po proběhlé privatizaci z úhrnu celkového bytového fondu								
		do 5,0	5,0 - 9,9	10,0 - 14,9	15,0 - 19,9	20,0 - 24,9	25,0 - 29,9	30 a více	neuv. CELKEM
2 000 – 9 999	a)	2	3	3	1	1	0	0	10
	b)	5,0	7,5	7,5	2,5	2,5	0,0	0,0	
	c)	20,0	30,0	30,0	10,0	10,0	0,0	0,0	
	d)	13,3	20,0	50,0	100,0	33,3	0,0	0,0	
10 000 – 19 999	a)	1	2	0	0	0	0	0	3
	b)	2,5	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	c)	33,3	66,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	d)	6,7	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20 000 – 49 999	a)	4	3	3	0	0	0	0	10
	b)	10,0	7,5	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
	c)	40,0	30,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	d)	26,7	20,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
50 000 – 74 999	a)	3	3	0	0	0	0	0	6
	b)	7,5	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	c)	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	d)	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
75 000 – 149 999	a)	4	2	0	0	1	0	0	7
	b)	10,0	5,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	
	c)	57,1	28,6	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	
	d)	26,7	13,3	0,0	0,0	33,3	0,0	0,0	
150 000 a více	a)	1	2	0	0	1	0	0	4
	b)	2,5	5,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	
	c)	25,0	50,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	
	d)	26,7	13,3	0,0	0,0	33,3	0,0	0,0	
Souhrn	a)	15	15	6	1	3	0	0	40
	c)	37,5	37,5	15,0	2,5	7,5	0,0	0,0	

Pozn.: a)absolutní četnost, b)v % z úhrnu všech měst šetření, c) v % z řádkových součtů, d)v % ze sloupcových součtů

Zdroj:Monitoring komunálního bydlení 2007, vlastní výpočty

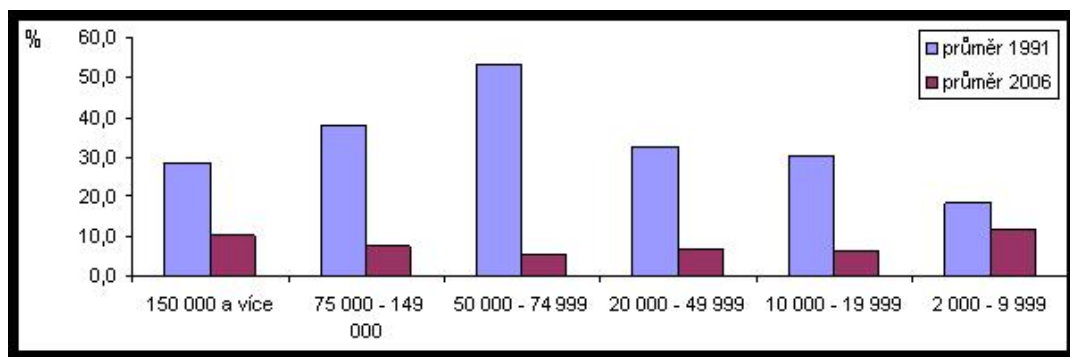
Při pohledu na souhrnný řádek, celé tři čtvrtiny měst svým privatizačním postupem dosáhly toho, že komunální bytový fond tvoří v současnosti do 10% z úhrnu celého bytového fondu v městech. Je zajímavé, že na tomto stavu se podílí všechny velikostní struktury měst (jejich podíly se pohybují od 13 – 27%), oproti tabulce předchozí, která ukázala, že města malá se nepouštějí do tak velké míry privatizace a zdálo by se, že situace není tak vážná. Podtrhuje to význam této tabulky resp. ukazatele, který nezjišťuje podíl z početně měnícího se komunálního fondu, ale z celku bytového fondu v městech. Je tedy ukazatelem podílu sociálního bydlení ve městech. Ještě alarmující je situace po přičtení skupiny měst, u kterých komunální bytový fond tvoří od 10 -15%, potom tento celek, který se pohybuje pod 15% z úhrnu všech bytů, tvoří až 90% šetřených měst.

Napříč všemi velikostními skupinami měst je patrný velký pokles podílu komunálních bytů vůči úhrnu všech bytů mezi roky 1991 a 2006. Zjištění dynamiky privatizačního procesu v jednotlivých velikostních skupinách šetřených měst je nejlépe patrné při srovnání průměrných hodnot ukazatele počtu obecních bytů z celkového úhrnu bytů v obci (Tab.5, Obrázek 1).

Tab.5: Vztah mezi velikostí města a porovnání průměrných hodnot ukazatele podílu obecních bytů z celkového bytového fondu města za roky 1991 a 2006.

Velikost města podle počtu obyvatel SLDB 2001	Podíl obecních bytů z úhrnu všech bytů ve městě (%)	
	průměr 1991	průměr 2006
150 000 a více	28,7	10,3
75 000 - 149 000	38,2	7,7
50 000 - 74 999	53,4	5,3
20 000 - 49 999	32,6	6,8
10 000 - 19 999	30,6	6,3
2 000 - 9 999	18,2	11,5

Zdroj: Monitoring komunálního bydlení 2007, vlastní výpočty



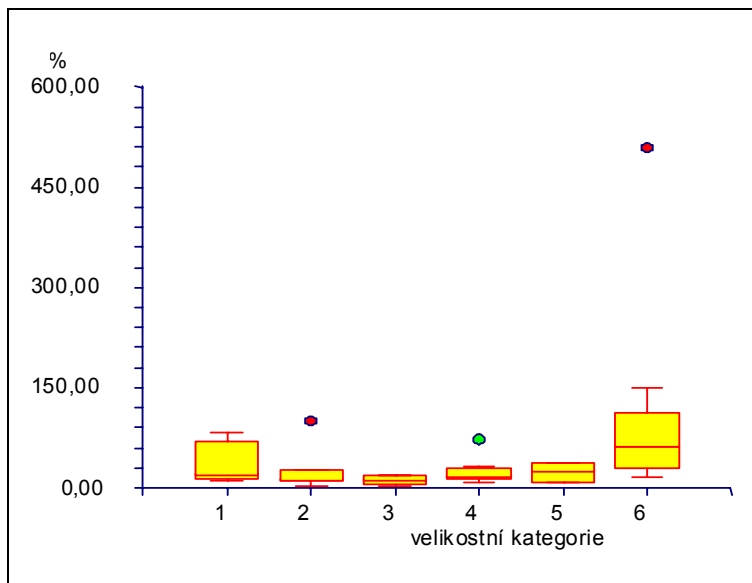
Obr.1: Porovnání průměrných ukazatele podílu komunálních bytů z úhrnu všech bytů mezi roky 2006 a 1991.

Na první pohled vyplývá, že dynamika privatizace obecního bytového fondu je v průměru ve všech velikostních skupinách měst podobná. Mírně větší dynamiky bylo docíleno ve městech střední velikosti (50 – 75 tis. obyvatel), kde podíl obecního bytového fondu za 15 let klesl na desetinu původní hodnoty. Naopak mírnější dynamika převládla v malých městech, což ukázaly už i předešlé prezentované tabulky.

Co je důležité tedy konstatovat, průměrné hodnoty ukazatele obecního byt. fondu z celku všech bytů v sídle se u všech velikostních skupin měst pohybují pod hranicí 15% celkového bytového fondu obce. Podle stanovených odhadů na základě dlouholetých zkušeností z vyspělých evropských zemí (15 – 25% z celkového byt. fondu) je patrné, že podle tohoto šetření je 90% českých měst pod touto minimální hranicí doporučeného odhadu. Po komparaci průměrných hodnot lze stanovit podobný závěr; průměr ukazatele podílu komunálních bytů z úhrnu všech bytů za celou Českou republiku hodnotou $\bar{O} = 8,21$ se pohybuje pod hodnotou průměru evropských států ($\bar{O} = 12,22$).

K zamezení možných debat ohledně vypovídající váhy hodnocení tradičním způsobem, je možno přistoupit také k hodnocení metodami statistickými. V případě tohoto šetření není k dispozici základní soubor dat, a proto můžeme analyzovat jen jeho výběr – výběrový soubor dat. Analýzou výběrového souboru nezískáme parametry populace, ale jen jejich odhady.

Prezentace stavu jednotlivých ukazatelů privatizace obecního bytového fondu tzv. krabicovými grafy nejvýstižněji hodnotí zjištění, protože oproti tradičnímu pojetí hodnocení, na tento způsob nemají vliv extrémní odlehlé hodnoty.

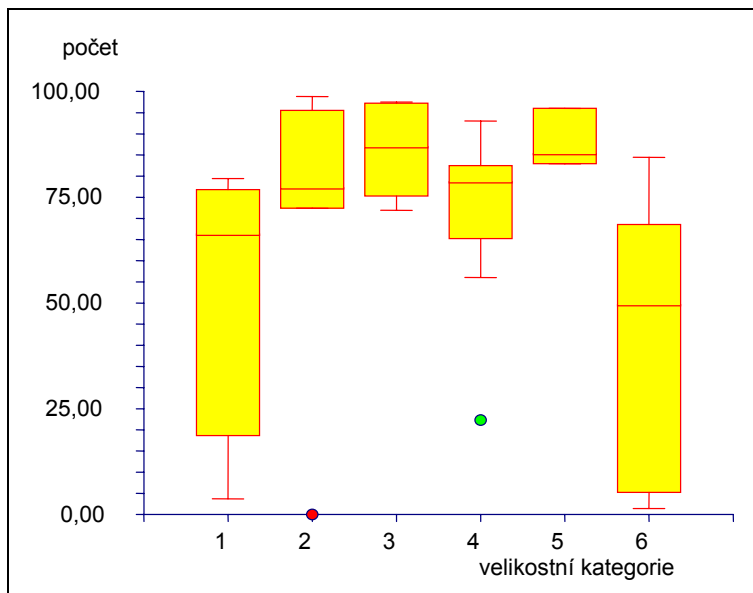


Obr.2: Podíl bytů uvažovaných k ponechání k počtu komunálních bytů před privatizací

Společná legenda:

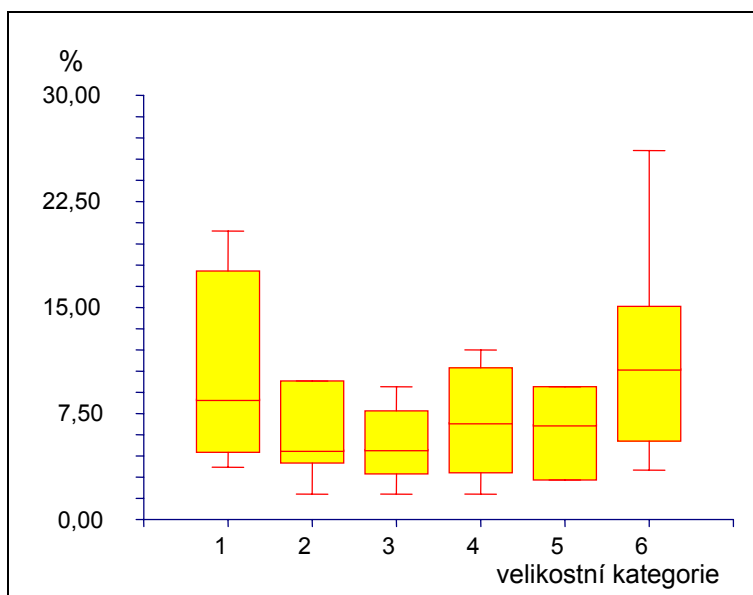
velikost měst	označení v grafu	velikost měst	označení v grafu
150 000 a více	1	75 000 - 149 000	2
50 000 - 74 999	3	20 000 - 49 999	4
10 000 - 19 999	5	2 000 - 9 999	6

Obrázek 2 jasně prezentuje, že ve velikostních strukturách měst, jsou tendence ponechání si části obecného bytového fondu ve skupinách od 10 – 150 tis. obyvatel, tedy ve většině českých měst, podobné. Mediány hodnot těchto ukazatelů jsou blízké. Nelze to však tvrdit o skupině malých měst, stejně tak jako o městech nad 150 tis. obyvatel. Malá města, oproti městům mezi 10 - 150 tis. obyvateli, mají tendenci si ponechat poněkud větší podíl. Krabicový graf této skupiny měst to o tom vypovídá celou plochou rozložení obdélníku. Větší rozpětí horního kvartilu a mediánu u skupiny velkých měst nad 150 tis. obyvatel je dáno vysokou hodnotou ukazatele v Brně. V souvislosti s tím, že tento ukazatel je v těchto velkých městech tvořen pouze některými městskými obvody/částmi, které se této problematice vyjádřily, je toto vychýlení od dříve popsaného většinového trendu možno považovat za částečnou deviaci, která by při použití celé množiny městských částí nenastala. Na druhé straně je možné, že tento krabicový graf v této skupině měst teoreticky popisuje a dává za pravdu odborným odhadům, které hovoří o požadavku vyššího ponechaného podílu.



Obr.3: Počet privatizovaných bytů na 100 obecních bytů před privatizací.

Krabicové grafy popisující dynamiku privatizace na základě počtu privatizovaných bytů z obecních bytů před privatizací představují velkou nejednotnost konkrétních velikostních skupin měst. Velké rozpětí hraničních kvartilů (dolní a horní) je patrné zejména ve skupině velkých a malých měst (Obr.3).



Obr.4: Podíl obecních bytů po proběhlé privatizaci z úhrnu všech bytů.

Již dříve popsaná skutečnost při tradičním způsobu hodnocení, že města všech velikostních kategorií bez výjimky, svou privatizací dospěla do stavu velmi nízkého podílu obecního bytového fondu z celkového fondu vzhledem k odborným odhadům opírajících se o dlouhodobé zkušenosti z vyspělých evropských zemí, je patrna z obrázku 4. Prakticky všechny krabičky (rozpětí horního a

dolního kvartilu) leží pod hodnotou 15% obecního bytového fondu, dokonce i úsečky měst od 10 – 150 tis. obyvatel leží pod hranicí doporučeného odhadu.

Také komparace hodnot ukazatele obecního bytového fondu z celku v průměrovém stavu s průměrem vybraných zemí Evropy, provedená metodou induktivní statistiky potvrzuje hodnocení tradičním způsobem. Při práci pouze z výběrem hodnot z celkového základního souboru a disponibilním informacím (průměrné hodnoty ukazatele) z obou skupin (ČR a země Evropy) je použitelná metoda induktivní statistiky – testování hypotézy, konkrétně testu významnosti rozdílu $|M - \mu_0|$, kdy se zjistí, zda průměrné hodnoty jsou statisticky shodné.

Předpokladem testu významnosti rozdílu $|M - \mu_0|$ je zadání výběru ze základního souboru (v tomto případě představován výběrem šetřených měst) s rozdělením $N(\mu; \sigma^2)^2$ o rozsahu n (40 měst) se střední hodnotou M (průměrem) a disperzí σ^2 (směrodatnou odchylkou). Pro výpočet testu významnosti $|M - \mu_0|$ platí:

- Nulovou hypotézu $H_0: \mu = \mu_0$
- Alternativní hypotézu $H_1: \mu \neq \mu_0$
- Testovací kritérium má Studentovo rozdělení $t(n - 1)$

$$T = \frac{M - \mu_0}{\sigma} \cdot \sqrt{n - 1}$$

- Kritické hodnoty testovacího kritéria vychází ze Studentova rozdělení za uvedených podmínek pravděpodobnosti a počtu stupňů volnosti.
- Jestliže $|T| > t_p(n - 1)$, zamítáme hypotézu H_0 (přijímáme H_1).

	státy Evropy	ČR
průměr směr. odchylka	$\mu_0 = 12,22777778$	$M = 8,211842804$ $\sigma = 5,486399418$
nulová hypotéza	$\mu = \mu_0 = 12,22777778$	
testovací kritérium	$T = \frac{8,211842804 - 12,22777778}{5,486399418} \cdot \sqrt{40 - 1} = 4,513712172$	
kritická hodnota	$t_{0,05}(39) = \text{TINV}(0,05;39) = 2,022688932$	
<i>Testovací kritérium překročilo kritickou hodnotu, nulová hypotéz zamítnuta.</i>		

Test potvrzuje, že průměr České republiky se vymyká průměru ostatních evropských zemí a fakticky potvrzuje hodnocení tradičním způsobem. Ukazatel podílu obecních bytů z úhrnu celého bytového fondu města se v České republice pohybuje statisticky pod hranicí průměru Evropy. Je nezpochybnitelné, že toto zjištění je přinejmenším s aktuálním tématem sociálního bydlení v České republice znepokojující.

² Parametry μ a σ znamenají v souvislosti s problematikou spojitého normálního (Gaussova) rozdělení střední hodnotu a směrodatnou odchylku.

4 ZÁVĚR

Sídla v rámci tohoto předmětného šetření vykazují ve všech zjišťovaných ukazatelích privatizace tj.:

1. Podílu bytů uvažovaných k privatizaci z úhrnu komunálních bytů před privatizací,
2. Počtu privatizovaných bytů na 100 komunálních bytů před privatizací,
3. Podílu obecních bytů po proběhlé privatizaci z celkového úhrnu bytů ve městě,

podobné trendy, i když samozřejmě s různou dynamikou. Dynamika privatizace komunálního bytového fondu z pohledu ukazatele podílu obecního fondu z úhrnu všech bytů je podle tohoto předmětného šetření vyšší ve středních a velkých městech. Toto zjištění se však neobjevuje v malých městech, ty se uchylují k mírnému postupu. Tato mírná dynamika v malých městech souvisí zejména s nižší kvantitou bytového portfolia, oproti velkým městům, se kterou v průběhu privatizačního procesu musí hospodařit.

Alarmujícím zjištěním v souvislosti s pojmem „sociální bydlení“ je, že průměrné hodnoty ukazatele obecního byt. fondu z celku všech bytů v sídle se u všech velikostních skupin měst pohybují pod hranicí 15% celkového bytového fondu obce, tedy pod hranicí doporučeného odhadu z vyspělých evropských zemí (15 – 25% z celkového byt. fondu), 90% českých měst se pohybuje pod minimální hranicí doporučeného odhadu. Zjištění potvrzuje také srovnání průměrných hodnot z České republiky a výběru evropských států.

Je zcela určitě žádoucí ověřit toto zjištění dalšími výzkumy, které se zaměří na rozsáhlejší skupinu šetřených českých obcí a měst, kterou bohužel zejména z důvodu technických nebylo možné v rámci tohoto šetření pokrýt. Zjištění i tak aspoň částečně odpovědělo na otázku, zda privatizace přispěla k uspokojení potřeb bydlení sociálně slabých skupin domácností. Podle výsledků a závěrů je možno konstatovat, že nikoliv. Objevily se však i další aspekty, na které má privatizace komunálního bytového fondu velký vliv. Jde především o otázky zda privatizace komunálního fondu přispěla:

- k lepšímu využití komunálního bytového fondu,
- k zmenšení podílu neobydlených bytů v obci (k zlepšení vzhledu města),
- ke zkvalitnění údržby a obnovy komunálního domovního fondu,
- k posílení nové bytové výstavby,
- k segregaci bydlení nebo eliminaci ghett,
- k posílení celkové atraktivity obce či města.

I přes dobíhající proces privatizace obecního bytového fondu v českých obcích a městech je zde doporučení dalšího řešení této problematiky na místě. Do jaké míry se však celá věc rozvine je pochopitelně otázkou času, financí, ale především lidské vůle a trpělivosti tuto problematiku řešit a dále rozvíjet.

LITERATURA

- [1] ČESELSKÝ, J. *Privatizace bytového fondu a její vliv na obecní bytovou politiku na základě zvolených ukazatelů*. Autoreferát disertační práce. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009. 40 s. ISBN 978-80-248-1882-5.
- [2] LUX, M., SUNEKA, P. *Postoje a preference vybraných skupin českých domácností v oblasti bydlení*. Praha: Sociologický ústav AV ČR, 2007.
- [3] MMR, NATIONAL BOARD OF HOUSING, BUILDING AND PLANNING. *Housing statistic in the European Union 2004*. Falun: Boverket, 2005. 126 p. ISBN 91-7147-865-5.
- [4] POVOLNÝ, F. Komunální bytová politika. S '96, 1996, č.17, s. 21.
- [5] TERPLAN *Komunální bytová politika*. Praha: TERPLAN, 1998. 93 s.
- [6] ÚÚR *Monitoring komunálního bydlení – Závěrečná zpráva*. Brno: ÚÚR, 2007. 116 s.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vlastimil Vyskočil, CSc., Podnikohospodářská fakulta VŠE Praha

František KUDA¹, Vladimír KOUDELA², Martin FERKO³

**INOVATIVNÍ METODY FACILITY MANAGEMENTU PRO ÚDRŽBU A OBNOVU
BYTOVÝCH DOMŮ A STAVEBNÍCH OBJEKTŮ**

**INOVATIVE METHODS FOR FACILITY MANAGEMENT OF RESIDENTIAL BUILDINGS
AND STRUCTURES**

Abstrakt

Dosavadní vývoj technicko-ekonomických řešení údržby a obnovy bytových domů je formován snahou zvyšovat prioritně efektivnost technicko-ekonomických řešení. Objevuje se stále větší prostor na uplatnění Facility managementu v kontextu nákladů životního cyklu stavby, užitků a zachování dlouhodobého, udržitelného rozvoje. Příspěvek se dotýká inovativních metod ekonomiky údržby bytových domů, kterou lze řešit jako spolehlivost provozu stavebních objektů, a která by měla vyjít z analýzy výnosů, postihující množství výstupů systému a analýzy nákladů, která řeší množství nezbytných vstupů pro jeho fungování. Tyto inovativní metody by mohly být základem pro veškerá ekonomická rozhodování, určování cen a zisků, dalších úvah o provozu a užívání.

Abstract

The development of technical and economic solutions to maintenance and rehabilitation of housing is shaped primarily an effort to increase the effectiveness of technical and economic solutions. There is still more room for the application of facility management in the context of life-cycle cost of construction, benefits and long-term conservation, sustainable development. Contribution affects the economy, innovative methods of maintenance of residential houses, which can be solved as the reliability of service buildings, and that should come from the analysis of income, affecting the quantity of output and system cost analysis to address the quantity of inputs necessary for its operation. These innovative methods could be the basis for all economic decisions, pricing and profits, further reflection on the operation and use.

1 ÚVOD

Příspěvek chce nabídnout také jiný pohled možného řešení procesů údržby obnovy a definovat postupy pro nové způsoby řešení, které bude třeba akceptovat při vytváření udržitelné výstavby. Je řešena otázka aplikace nových forem údržby a obnovy staveb jako prostředku k zvýšení jejich užitku. Zejména z hlediska jejich užívání, životnosti, termínů obnovy a řízeného ukončení jejich životnosti.

Problematickou údržby a obnovy se samozřejmě v současnosti zabývá mnoho organizací a subjektů (státních, obecních i soukromých). Ne vždy však mají zcela dořešenu celkovou koncepci

¹ Doc. Ing. František Kuda, CSc., Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 934, e-mail: frantisek.kuda@vsb.cz.

² Ing. Vladimír Koudela, CSc., Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 953, e-mail: vladimir.koudela@vsb.cz.

³ Ing. Martin Ferko, CSc., Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 966, e-mail: martin.ferko@vsb.cz.

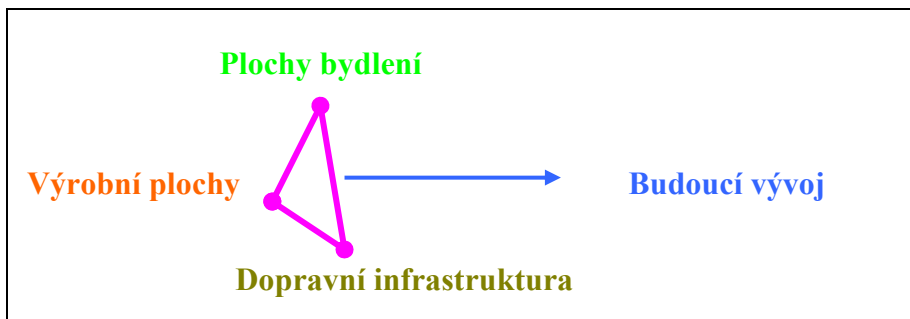
údržby a obnovy a odpovídající SW nástroje. Většinou se pouze snaží dodržovat platné provozní předpisy v souvislosti s údržbou objektů a řeší pouze kritické a havarijní situace. Pokud se alespoň o jistou koncepci pokusí, pak pouze malá část dovede jednotlivé detaily své koncepce až do konečných důsledků, které zohledňují například rizika spojená s provozem objektů, s finanční situací majitele nemovitostí apod.

Detailní pohled na současný stav nakládání se stavebními díly v průběhu jejich životnosti ukázal, že existující běžná ekonomická pravidla, jak s nimi nakládat je důležité rozšířit. Detailní pohled byl impulsem k doporučení nových forem procesů údržby pro zlepšení současného stavu. Jde především o analýzu současného stavu, využití nástroje Facility managementu jako nové metody řízení integrovaného managementu v oblasti správy a údržby stavebních objektů i bytového fondu včetně počítačové podpory rozhodovacích procesů. Navrhovaná metodika pro výběr technicko ekonomického řešení údržby a obnovy bytových domů z hlediska udržitelného rozvoje pak představuje praktické využití poznatků, které vyplynuly z této práce (Kuda, 2008).

Dosavadní zkušenosti nasvědčují tomu, že problematika ekonomiky správy majetku byla a stále ještě je podceňována a nedostatečně vnímána odbornou veřejností. Velkým problémem zůstává vzájemná neinformovanost jednotlivých složek zabývajících se správou a údržbou stavebních objektů a predikcí životního cyklu. Ta představuje především technicko ekonomickou výslednici životního cyklu stavby v celém jeho průběhu. Bez komplexního pojetí zůstane snaha po prodloužení životnosti a redukci budoucích nákladů stavebních objektů jen pouhou vizí.

Příspěvek se zabývá srovnáním aplikovaných rozhodovacích kritérií z hospodaření se svěřeným majetkem z hlediska krátkodobých, střednědobých nebo dlouhodobých záměrů, zvážení výchozího stavu stavebního objektu a jeho technicko ekonomické vyhlídky do budoucnosti. Propočty analytického typu napomáhají vytvořit, kvantifikovat a standardizovat celý postup. Ve všech kritériích jsou to náklady, které tvoří základní limit kalkulace. Snahou všech řešení nyní používaných je propočítat celý nákladový životní cyklus (life cycle costs - LCC). Jeho základním atributem je trvanlivost navrženého stavebního objektu.

Rozvoj území, obcí a jejich částí (sídlišť), předpokládá na jedné straně rozvoj infrastruktury, na druhé straně je podmíněn řadou dlouhodobých ekonomicko urbanizačních vlivů které mají sociální, ale i urbanistické a technické pozadí. Výrobní plochy, plochy pro bydlení a dopravní infrastruktura determinující budoucí vývoj jsou schematicky zobrazeny na obr. 1. Rozvoj prostorového uspořádání v současnosti je výsledkem znalostí promítnutých do strategií. Pozadím pro jejich vyjasnění a získání se zabývá mimo jiné také tvorba a výpočty dynamických modelů a aplikačních softwarů.



Obr.1: Prvky determinující budoucí vývoj území, obcí a sídlišť

2 INOVATIVNÍ METODY ÚDRŽBY A OBNOVY

Cílem práce není vytvoření dokonale přesného modelu údržby a obnovy staveb a konstrukcí pomocí matematického modelování (sestavení modelu, sběr dat, kalibrace a ladění) a aplikačních softwarů, ale použití a aplikace inovativních, méně obvyklých metod FM v rámci životního cyklu

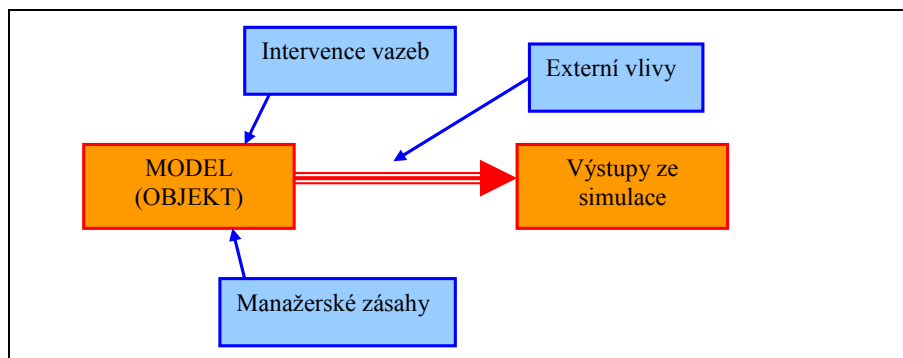
staveb. Jako moderní postupy současnosti, splňující požadavky předpisů platných i do budoucna, byla použita tzv. „triáda metod FM“ vyvinutých na Fakultě stavební ČVUT Praha a to:

- modifikovaný dynamický model (MDM),
- model technicko ekonomické analýzy (Buildpass obnova a údržba budov),
- grafická analýza dat (GRAC).

Tyto tři segmenty jsou v dalších kapitolách rámcově rozebrány. Na praktickém příkladu sídliště Jižní čtvrť statutárního města Přerova byla demonstrována aplikace teoretického rozboru v návaznosti na modelovou studii. Propočítání vhodného variantního řešení a jeho vyhodnocení představuje technicko ekonomický podklad pro zpracování urbanistického řešení. Strategie rozvoje je návrh ekonomického provedení s návazností na uskutečnitelná technická řešení.

3 MODIFIKOVANÝ DYNAMICKÝ MODEL MDM

Modifikovaný dynamický model MDM (Beran, Dlask, 2005) jako simulační nástroj slouží mimo jiné k ověřování hypotéz dlouhodobě udržitelného rozvoje. Výslednými hodnotami jsou spočtené standardy jednotlivých prvků modelu. Grafickou vizualizací výsledků jsou definované hypotézy potvrzeny nebo zpochybněny. Ve výpočtu MDM je možné provádět simulace s intervencemi vazeb mezi jednotlivými prvky, aplikace externích vlivů, parametrizace a simulace rizikových dopadů. Všechny tyto výpočty poskytují číselné výsledky, které je možné vizualizovat. Grafické zobrazení průběhu výpočtu přispívá k lepšímu náhledu na realizované výpočty (volně převzato Dlask, 2002). Schématické znázornění modelování úlohy je na obr. 2.

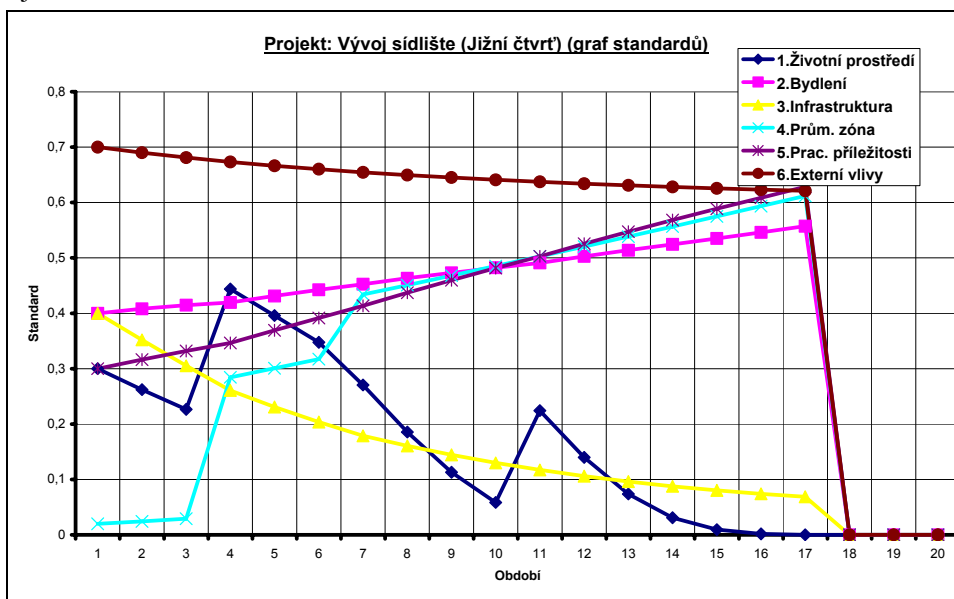


Obr.2: Schématické znázornění modelování úlohy

Jako komplexní příklad bylo vybráno statutární město Přerov a jeho městská část Jižní čtvrť. Strategický plán ekonomického a územního rozvoje statutárního města Přerova na období 2007 – 2013 počítá s novými investičními plochami pro podnikání a bydlení, kde se předpokládá také vybudování rozvojových lokalit tří průmyslových zón (průmyslová zóna Přerov-Jih, výměra 83,60 ha, terminál kombinované dopravy, výměra 19,30 ha, průmyslová zóna Přerov VI-Újezdec, výměra 9,09 ha) v blízkosti sídliště Jižní čtvrť. Byl proveden:

- Simulační výpočet dynamického modelu vývoje sídliště,
- Řídící zásahy a jejich modelování v MDM,
- Model vlivu vybudování průmyslových zón,
- Vliv výstavby terminálu kombinované dopravy,
- Průběh vybydlení bytového domu,
- Podmíněná obnova konstrukčních prvků,
- Eliminace tří externích vlivů periodickou údržbou.

Výsledky jsou uveřejněny v (Kuda, 2008). Příklad výstupu vlivu výstavby terminálu na vývoj sídliště je na obr. 3.



Obr.3: Vliv výstavby terminálu kombinované dopravy

4 MODEL TECHNICKO EKONOMICKÉ ANALÝZY – APLIKACE BUILDPASS

Aplikace Buildpass obnova a údržba budov je dle (Macek, 2004) nástroj určený pro správu a údržbu objektů. Poskytuje vlastníkům a správcům stavebních objektů informační systém, který umožňuje kvalifikovaně řídit náklady a výnosy objektu a jeho způsob využití s maximální možnou efektivitou. Jedná se o systém modulů, které se věnují různým oblastem správy objektů. Základní modul tvoří plánování obnovy konstrukčních prvků, které se v jednotlivých objektech vyskytují. Na trhu aplikačního softwaru v oblasti správy majetku se jedná o první aplikaci, která se zabývá otázkami životnosti dílčích konstrukčních prvků a následnou optimalizací jejich obnovy. Zpracovaná data jsou prezentována čtyřmi základními způsoby výstupních sestav:

- bilance objektu,
- plán oprav konstrukčních prvků,
- opravy v daném období,
- opravy v daném období – harmonogram.

Aplikace Buildpass obnova a údržba budov byla využita pro stanovení optimálního rozsahu obnovy a údržby sídliště Jižní čtvrť v celém životním cyklu. Při testování aplikace se projevily některé nesrovnalosti, které byly konzultovány s autory produktu. Na návrh autora příspěvku došlo k doplnění a rozšíření aplikace o:

- výstupní sestavu – bilance objektu po celou dobu životnosti,
- další nástroj v nabídkovém seznamu s názvem Skupiny objektů, který umožňuje výstupy správa skupin objektů, bilance skupiny, bilance skupiny po celou dobu životnosti a harmonogram oprav skupiny.

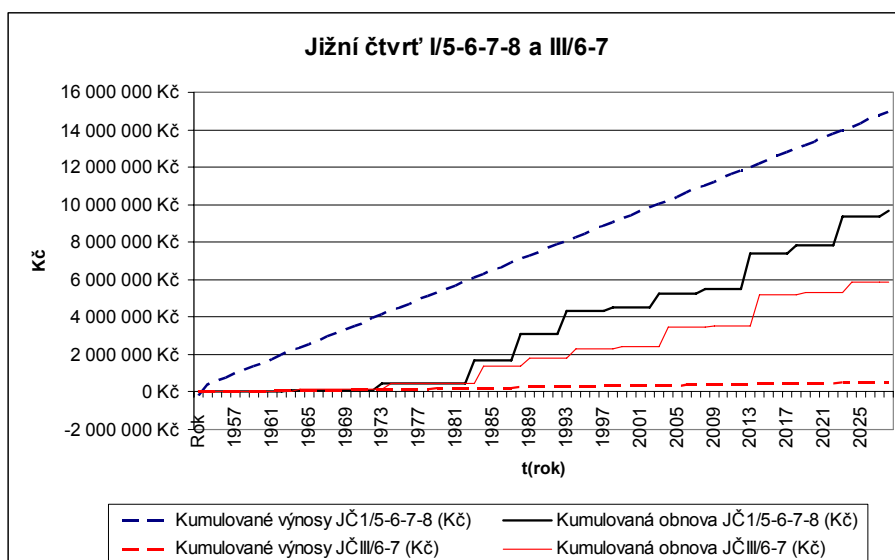
Do aplikace byly vloženy údaje celkem 73 bytových domů sídliště Jižní čtvrť z pasportů těchto domů a dále údaje k jednotlivým domovním blokům. Tím byly získány bilance skupin a bilance skupin po celou dobu životnosti celého sídliště Jižní čtvrť.

4.1 Náklady a výnosy sídliště Jižní čtvrť v celém životním cyklu

V aplikaci je vytvořeno rozhraní, které umožňuje import webových dat do prostředí tabulkového procesoru. Výstupy a informace z výpočtů v tabulkovém procesoru s optimalizovaným rozsahem obnovy a údržby byly zpracovány formou dvourozměrných grafů. Postupně byla provedena:

- bilance výnosů a obnovy pro jednotlivé bytové domy sídliště Jižní čtvrť,
- bilance výnosů a obnovy pro domovní bloky,
- bilance výnosů a obnovy pro části sídliště JČ I až JČ IV,
- bilance výnosů a obnovy pro celé sídliště Jižní čtvrť.

Příklad výstupu s optimalizovaným rozsahem obnovy a údržby pro domovní bloky JČ I/5-6-7-8 a JČ III/6-7 jsou uvedeny na obr. 4.



Obr.4: Zobrazení výnosů a obnovy pro domovní bloky JČ I/5-6-7-8 a JČ III/6-7

Z výstupů v tabulkovém procesoru lze stanovit optimalizovaná procenta obnovy a údržby pro zvolené cykly a k nim vypočtený celkový náklad. Vyhodnocením databázového souboru 73 bytových domů, z nich vytvořených domovních bloků a částí sídliště, vytvořením bilancí domů a znázorněním v dvourozměrných grafech, byly získány údaje o řešení s optimalizovaným rozsahem obnovy a údržby celého sídliště Jižní čtvrť. Posunutím křivky výnosů v grafu lze tedy poměrně snadno stanovit optimalizované výnosy k pokrytí optimalizované údržby a obnovy.

4.2 Závěry analýzy požadavků na softwarovou aplikaci

Programová aplikace umožňuje jen na základě několika celkových parametrů objektu nastartovat model s předpokládanými prvky na primární úrovni zadání specifikace objektu, ale i možnost blíže určit hodnoty jednotlivých prvků modelu a tím více přizpůsobit programový návrh svému konkrétnímu objektu. Pro potřebu optimalizace užitku konstrukčních dílů budovy je nutná znalost jednak technických a technologických parametrů objektu, a to nejen jako samostatné dílčí prvky, ale i v kontextu celého objektu. V další fázi navazuje vrstva ekonomicko správní. Jedná se jak o ekonomické analýzy, tak i o právní vztahy a normy stanovené ze zákona. Popis prvků a vytvoření vazeb v modelu vytvoří základ pro následnou optimalizaci míry užitku pro daného uživatele.

Aplikace Buildpass s využitím výstupů z dobře vedených pasportů by měla přispět ke zkvalitnění správy a financování stavebních objektů, zvláště se zaměřením na bytové domy.

5 GRAFICKÁ ANALÝZA DAT

Oblast výzkumu spojená s bydlením jakékoliv formy je spojena s vyhledáváním a vyšetřováním velkého objemu datových údajů. Pro řešenou oblast byl vyvinut nástroj upravený pro konkrétní potřeby stavebního analytika s názvem Grafická analýza dat – aplikace GRAC (Dlask, 2006). Autorem aplikace byla navržena separace získaných hodnot, které již budou splňovat strukturální náležitosti. Společně s tímto krokem byla navržena základní koncepce datových zdrojů uplatnitelná pro 2D grafické interpretace.

5.1 Bilanční analýza a kumulovaný objem nákladů a výnosů sídliště Jižní čtvrť

Do aplikace GRAC byly vloženy údaje celkem o 73 bytových domech sídliště Jižní čtvrť a 3 bytových domech sídliště Osmek v Přerově z pasportů těchto domů. Souhrn výnosů a nákladů v období od 01/1999 do 12/2006 u jednotlivých bytových domů byly zadán dle DES (Domovní Evidenční Systém) Hospodaření budovy domu, pasportů domů ve správě Domovní správy města Přerova.

Tab.1: Přehled počtu bytových domů a bytů (zdroj: Domovní správa města Přerova)

Část sídliště	Počet BD	Počet bytů	Rok výstavby
Jižní čtvrť I	27 BD	215 bytů	1952 - 1954
Jižní čtvrť II	19 BD	232 bytů	1955 - 1957
Jižní čtvrť III	10 BD	66 bytů	1955
Jižní čtvrť IV	17 BD	174 bytů	1954
Celkem	73 BD	687 bytů	-

Aby bylo možno provést srovnání nákladů v rámci celého životního cyklu v další části práce, byly skutečné výnosy a náklady v Hospodaření budovy domu v jednotlivých letech přepočteny na stejnou cenovou úroveň, tj. na cenovou úroveň roku 2003 vynásobením přepočítacím koeficientem. Vytvořená databáze v Excelu obsahuje údaje o rozměrech domu, velikosti užitkové plochy, době výstavby domu, počtu podzemních a nadzemních podlaží, počtu bytů a ekonomické údaje o hospodaření domu v letech 1999 až 2006.

Postupně byla provedena:

- bilanční analýza a kumulovaný objem nákladů a výnosů pro jednotlivé bytové domy sídliště JČ,
- bilanční analýza a kumulovaný objem nákladů a výnosů pro jednotlivé domovní bloky sídliště JČ,
- bilanční analýza a kumulovaný objem nákladů a výnosů pro části sídliště Jižní čtvrť,
- bilanční analýza a kumulovaný objem nákladů a výnosů pro celé sídliště Jižní čtvrť.

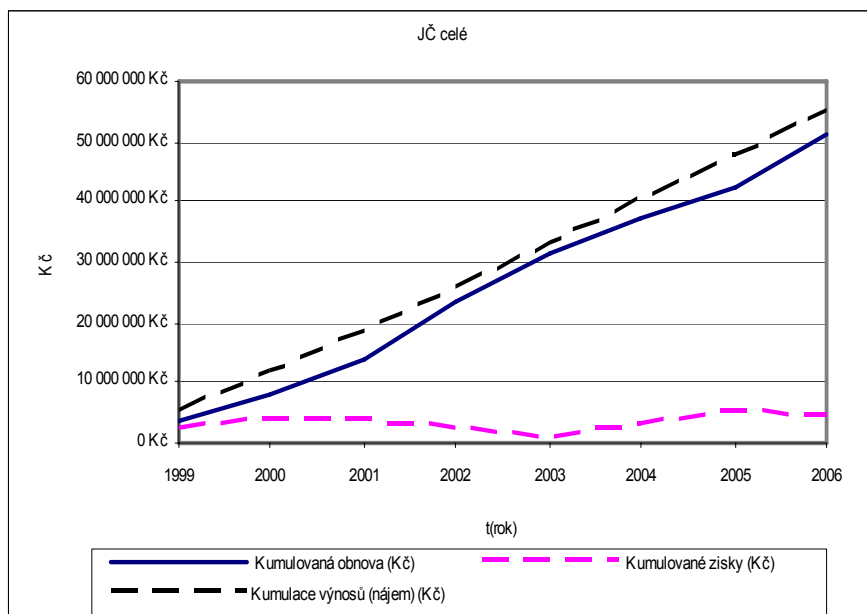
Příklad hospodaření bytového domu JČ I/5 v letech 1999-2006 je uveden v Tab. 2.

Tab.2: Hospodaření bytového domu JČ I/5 (zdroj: Pasport domu DES DSmP)

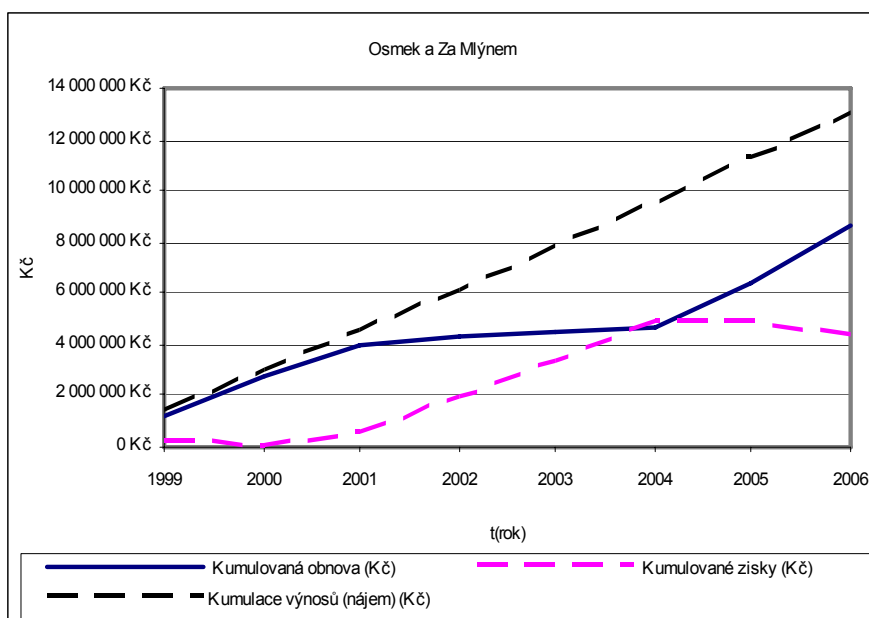
Rok	Opravy [Kč]	Služby [Kč]	Nájem [Kč]	Zisk [Kč]
1999	7393,9	12019,89	47976,00	40 582,10
2000	70286,9	14853,53	51564,00	-18 722,90
2001	44215,97	13739,84	51101,00	6 885,03
2002	574175,06	10564,13	58620,00	-515 555,06
2003	155277,75	13794,83	61389,00	-93 888,75
2004	22183,34	13100,84	61910,00	39 726,66
2005	8951,74	12398,77	63009,00	54 057,26
2006	10507,00	6356,54	62993,00	52 486,00
Celkem	892 991,66	96 827,53	458562,00	-434 429,66

Výstupy a informace z výpočtů v tabulkovém procesoru byly zpracovány formou dvourozměrných grafů a sloupcového grafu pro všechny bytové domy sídliště jižní čtvrt'. Obecně lze ze zobrazení nákladů a výnosů pro jednotlivý objekt proložením křivek v Excelu provést prognózu budoucího vývoje nákladů na opravy a výnosů z nájmu. Výstupy a informace z výpočtů v tabulkovém procesoru formou kumulovaných objemů nákladů a výnosů pro části sídliště Jižní čtvrt' I, II, III a IV jsou zpracovány formou sloupcového grafu (viz prezentace příspěvku). Z rekapitulace nákladů a výnosů je patrné, že část sídliště JČ I nebyla schopna pokrýt vlastními náklady vlastní opravy. Jedná se o pasivní část z pohledu sídliště. Opravy domovních bloků byly financovány z příjmů jiných částí sídliště. U ostatních částí sídliště výnosy pokryly náklady na údržbu a obnovu

Výstupy a informace z výpočtů v tabulkovém procesoru formou kumulovaného objemu nákladů a výnosů pro celé sídliště Jižní čtvrt' je uveden na obr. 5.



Obr.5: Kumulovaný objem nákladů a výnosů sídliště Jižní čtvrt'



Obr.6: Kumulovaný objem nákladů a výnosů sídliště Osmek, Za mlýnem

Výsledek hospodaření sídliště Jižní čtvrť v období 1999 až 2006 prokázal, že výsledná bilance za celý soubor objektů sídliště Jižní čtvrť je kladná (viz obr.5). Sídlíště v období 1999 až 2006 pokrylo svými výnosy své náklady. Sídlíště jako celek bylo schopno financovat vlastní náklady na vlastní opravy. Generovaný výnos za období 1999 – 2006 byl v hodnotě 4 143 445,- Kč. Sídlíště bylo rentabilní. Trendy nákladů na služby a příjmy z nájmu jsou v budoucnosti očekávaně rostoucí.

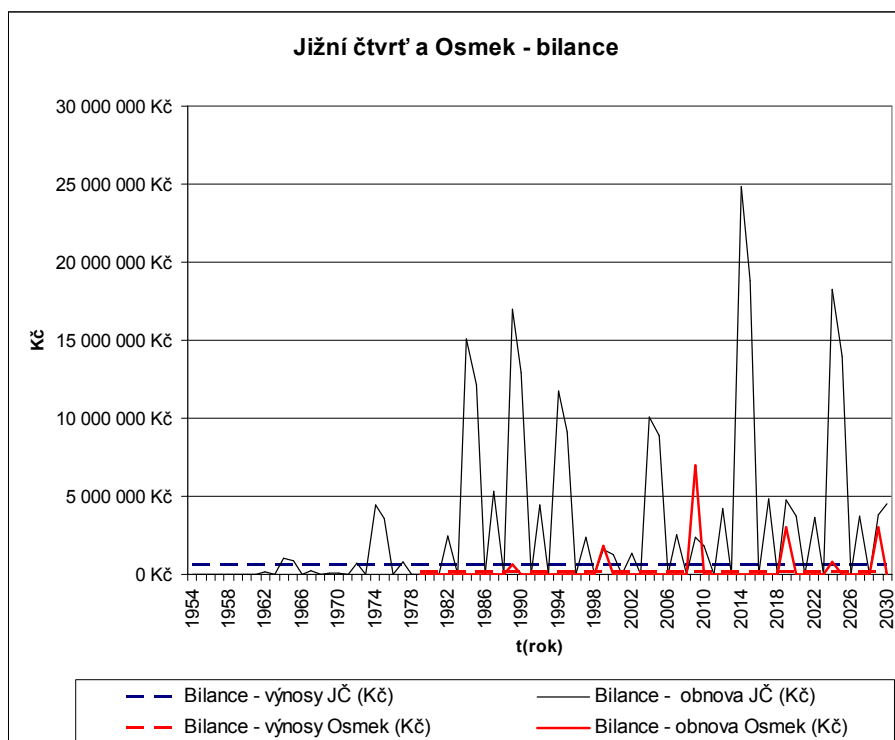
Pro srovnání údržby a obnovy sídliště Jižní čtvrť, které je vybudováno klasickou zděnou technologií s panelovým sídlištěm byla zpracována data ve stejném rozsahu i pro další sídlíště v Přerově a to část panelového sídliště Osmek. Kumulovaný objem nákladů a výnosů pro celé sídlíště Osmek je uveden na obr. 6., který prokázal, že sídlíště Osmek bylo schopno ve sledovaném období financovat vlastní opravy. Jedná se o aktivní sídlíště, údržba nemusí být financována z příjmů (zdrojů) jiného objektu.

5.2 Závěry k softwarové aplikaci GRAC

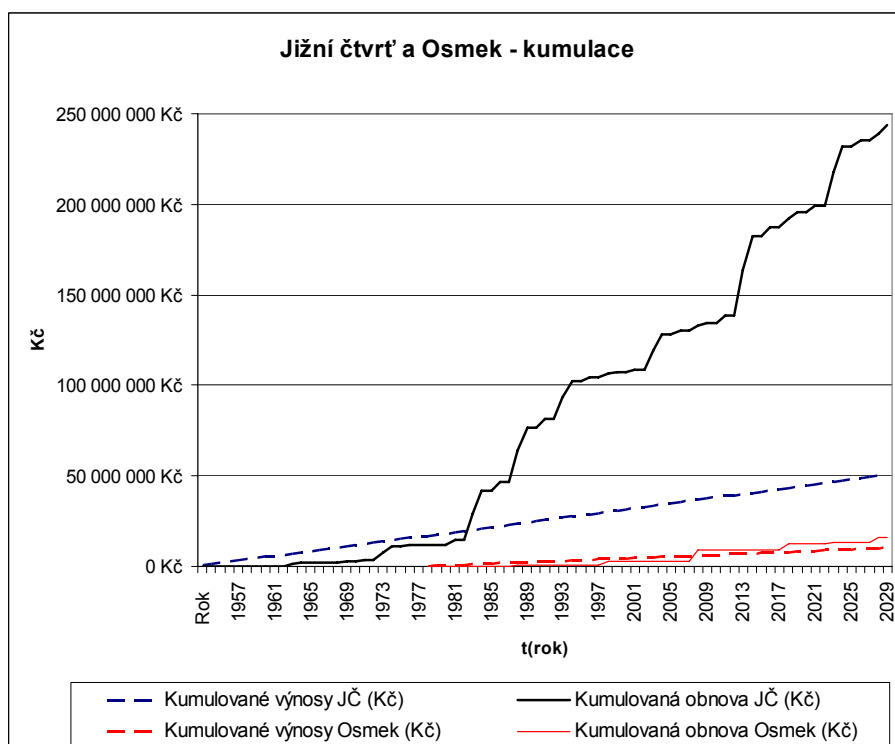
Ke každému realizovanému stavebnímu objektu lze dohledat velké množství informací týkajících se jeho technického a ekonomického stavu. Tyto informace pocházejí z různě spolehlivých zdrojů, mají různou váhu, různou přesnost a jsou proměnné v čase. Rozhodovat o financování provozu stavebního objektu, zejména o výdajích na údržbu a opravy na základě těchto informací je závislé zejména na kvalitě těchto získaných informací. Aplikace GRAC s využitím výstupů z dobře vedených pasportů přispívá k zkvalitnění správy, údržby a financování stavebních objektů, zvláště se zaměřením na bytové domy.

6 SROVNÁNÍ NÁKLADŮ A VÝNOSŮ ZDĚNÉ A PANELOVÉ TECHNOLOGIE

Rozsah a tempo údržby a obnovy, případně i rekonstrukcí neodpovídají potřebě jak z hlediska stáří, tak i z důvodu narůstajícího nebezpečí nepříznivých změn v sociálním složení bydlících. Je potřeba dosáhnout razantnějšího rozvoje obnovy bytového fondu ve spojitosti s výraznými úsporami tepelných energií a prodloužení životnosti těchto staveb s dostatečným ekonomickým efektem. Bylo by nesprávné tyto činnosti od sebe oddělovat. Bilance nákladů a výnosů sídliště Jižní čtvrť a Osmek je na obr. 7. Srovnání kumulovaných nákladů a výnosů obou sídlišť je na obr. 8.



Obr.7: Srovnání kumulovaných nákladů a sídliště Jižní čtvrť a Osmek



Obr.8: Srovnání kumulovaných nákladů a sídliště Jižní čtvrť a Osmek

7 SHRnutí

U sídliště Jižní čtvrť je patrná dlouhodobě zanedbaná údržba a obnova. Bytové domy jsou v druhé polovině své životnosti. Neobjevují se u nich závady ohrožující bezpečnost a havarijní stavy ve spojitosti se špatnou údržbou, ale vady snižující hodnotu užívání a zvyšující provozní náklady. Řešením může být provedení postupného zateplování domů, u nichž by rostoucí náklady na vytápění znemožnily jejich efektivní pronájem. Spolu se zateplením je třeba provést vždy jejich celkovou regeneraci a modernizaci, zvýšit kvalitu bydlení úpravou dispozic, sloučením, dělením bytů, úpravou bytových jader, modernizací komunikačních prostor apod.

Sídliště Osmek je v první třetině své životnosti. Z hlediska prognózy nákladů a výnosů je dlouhodobě neufinancovatelné. Rekonstrukce u panelových domů postavených v sedmdesátých letech může prodloužit dobu životnosti o padesát a více let. Finanční náročnost rekonstrukcí je oproti nové výstavbě pouze čtvrtinová.

8 ZÁVĚR

Zásadní vliv na celkové náklady v rámci užívání stavby má lidský činitel a zejména pak osoby nebo skupiny osob podílející se na její správě a údržbě. Jedním z dlouhodobých úkolů je začít uplatňovat novou profesi manažera provozu budov – facility managera.

Inovativní metody údržby k prodloužení užitku stavebních děl by měly být důsledně vyžadovány vnějším technicko-ekonomickým prostředím. Jsou vlastně další disciplínou obecného Facility managementu.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění MMR programu WD Výzkum pro řešení regionálních disparit Ministerstva pro místní rozvoj WD-05-07-3 Regionální disparity v dostupnosti bydlení, jejich socioekonomické důsledky a návrhy opatření na snížení regionálních disparit (RO).

LITERATURA

- [1] BERAN, V., DLASK, P. *Management udržitelného rozvoje regionů, sídel a obcí* 1. vyd. Praha: ACADEMIA, nakladatelství AV ČR, 2005. 330 s. ISBN 80-200-1201-X.
- [2] DLASK, P. *Grafická analýza dat – aplikace GRAC*. In: sborník příspěvků 8.ročníku konference Regenerace bytových domů – Proměny bydlení, Ostrava, únor 2006, str. 189-195, ISBN 80-248-1015-8.
- [3] KUDA, F. *Nové formy údržby a obnovy staveb a konstrukcí*. Habilitační práce, Ostrava 2008, ISBN 978-80-248-1824-5.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vlastimil Vyskočil, CSc., Podnikohospodářská fakulta VŠE Praha

Josef ALDORF¹, Eva HRUBEŠOVÁ², Karel VOJTASÍK³, Lukáš ĎURIŠ⁴

**VERIFIKACE ZDOKONALENÉ PREDIKCE ÚČINKŮ MĚLKÉHO TUNELOVÁNÍ NA
POVRCH - ČÁST 1.**

**COMPETENCE OF AN ADVANCED ESTIMATION OF SHALLOW TUNELLING IMPACTS
ON GROUND SURFACE – PART 1.**

Abstrakt

Obsahem příspěvku je ověření spolehlivosti praktického použití prezentovaných výpočetních postupů pro stanovení parametrů poklesové kotliny při ražení mělkých podzemních děl, pro kvantitativní i kvalitativní vyhodnocení těchto parametrů v konkrétních praktických úlohách a ověření dostatečné vypovídací schopnosti výsledků provedených výpočtů.

Abstract

The contribution investigates a competence of an advanced estimation providing for the variables of subsidence curve above a shallow tunnelling and scrutinizes their qualitative and quantitative outputs with regard to the actual variable values drawn on field measurements.

1 ÚVOD

Na základě výpočetních postupů uvedených dále byl proveden výpočet hodnot sedání povrchu v důsledku ražení kolektoru Ostrava-Centrum, včetně vyhodnocení základních charakteristik poklesových kotlin (maximální pokles, poloha inflexního bodu, maximální hodnota naklonění, rozsah poklesové kotliny), a následné srovnání modelově získaných výsledků s výsledky monitorovanými in situ.

Konkrétně bylo provedeno kvantitativní i kvalitativní srovnání tří poklesových kotlin PK 060 (staničení 0.100 km) a PK 260 (staničení 0.752 40 km) a PK 390 (staničení 1.1 km) (viz obr. 1, 2, 3). Výsledky monitoringu byly převzaty z podkladů poskytnutých firmou INSET, která uvedená monitorovací měření prováděla.

Kolektor byl ražen technologií ručního ražení, délka zabírky činila 0.7 m. Zajištění výrubu bylo prováděno v klenbě díla ochranným deštníkem z injektovaných jehel o délce 2.2 m s roztečí 0.35 m, výjimečně bylo prováděno i zajištění boku díla injektovanými jehlami. Primární výztuž výru-

¹ prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 944, e-mail: josef.aldorf@vsb.cz.

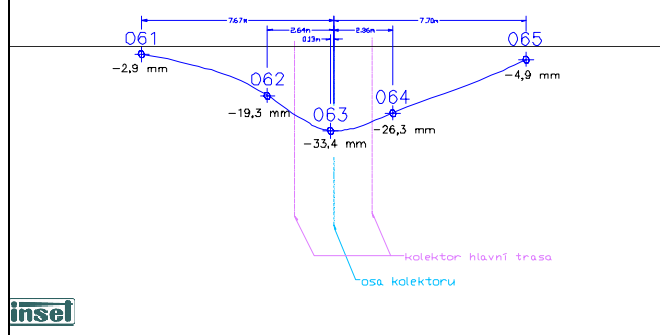
² doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

³ 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.

⁴ Ing. Lukáš Ďuriš, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 948, e-mail: lukas.duris@vsb.cz.

POKLESOVÁ KOTLINA PK 060
staničení 0,100 km

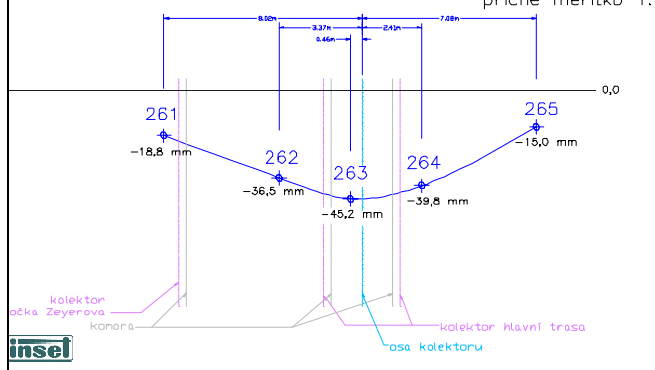
měřeno 12.4.2005
podélné měřítko 1:100
příčné měřítko 1:1



Obr.1

POKLESOVÁ KOTLINA PK 260
staničení 0,752 40 km

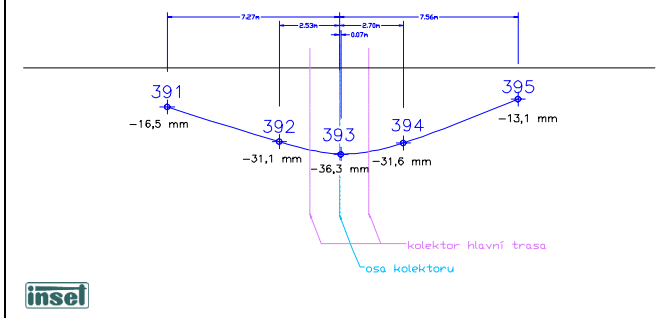
měřeno 7.6.2004
podélné měřítko 1:100
příčné měřítko 1:1



Obr.2

POKLESOVÁ KOTLINA PK 390
staničení 1,100 km

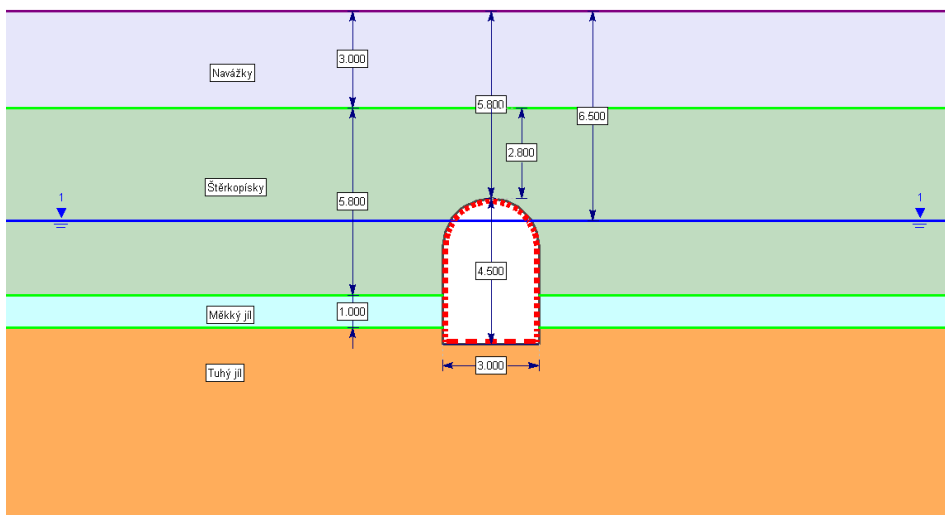
měřeno 20.4.2005
podélné měřítko 1:100
příčné měřítko 1:1



Obr.3

bu byla provedena ze stříkaného betonu (tl. 200 mm) armovaného příhradovými oblouky ASTA a dvěma vrstvami ocelové mřížoviny 100x100x6 mm.

Geometrické charakteristiky kolektoru, hloubka uložení díla a charakter horninového prostředí, v němž byl kolektor ražen, jsou uvedeny na obr. č. 4 a v tabulce č.1.



Obr.4: Geometrické charakteristiky kolektoru a lokalizace horninových vrstev.

Tab.1: Základní materiálové charakteristiky zeminových vrstev.

Parametr	Typ zeminy			
	navážky	štěrkopíský	měkký jíl	tuhý jíl
objemová tíha (kN/m ³)	19.5	19.6	19.9	19.9
modul pružnosti E (MPa)	8	25	4.5	18.5
Poissonovo číslo	0.4	0.2	0.4	0.4
soudržnost (kPa)	8	3	20	30
úhel vnitřního tření (°)	26	31.5	21	21

Pro výpočet charakteristik poklesové kotliny byly využity empirické metody [5], [6]) a dále zdokonalená analyticko-numerická metoda [1]. Obě tyto metody vycházejí z předpokladu kruhového příčného průřezu díla a z tohoto důvodu bylo nutno nahradit obloukový příčný průřez kolektoru průřezem kruhovým s ekvivalentní plochou příčného průřezu (poloměr ekvivalentního kruhového příčného průřezu činí 2 m).

2 PŘEHLED ZÁKLADNÍCH CHARAKTERISTIK POKLESOVÝCH KOTLIN DETERMINUJÍCÍCH VLIV MĚLKÉHO TUNELOVÁNÍ NA POVRCHOVÉ OBJEKTY

Mezi základní charakteristiky poklesové kotliny, určující vliv mělkého tunelování na povrch patří:

- maximální hodnota poklesu $u_{\max}$,

- poloha inflexního bodu i ,
- šířka poklesové kotliny L ,
- maximální naklonění v inflexním bodě $d_{\max}$,
- maximální poměrné vodorovné přetvoření $\varepsilon_{\max}$.

Výše uvedené kvantitativní charakteristiky poklesové kotliny jsou vyhodnocovány dle dále uvedených výpočetních metod. Pro stanovení maximálního poměrného vodorovného přetvoření byl využit aproximační vztah [2], [6]:

$$\varepsilon_{\max} \cong 0.66 d_{\max} \quad (1)$$

3 REGRESNÍ ANALÝZA PRO STANOVENÍ PARAMETRŮ POKLESOVÉ KOTLINY VYCHÁZEJÍCÍ Z MONITOROVANÝCH DAT

V každém monitorovaném profilu bylo firmou INSET monitorováno sedání v pěti bodech, přičemž není monitorován bod s maximální hodnotou sedání přímo nad stropem kolektoru. Vzhledem k tomu, že lze předpokládat, že skutečný průběh příčného profilu poklesové kotliny má analogický průběh s Gaussovou křivkou, lze pro přibližné určení maximální hodnoty sedání nad stropem kolektoru, polohy inflexního bodu, šířky a denivelace poklesových kotlin stanovených na základě naměřených hodnot sedání použít regresní analýzu vycházející z regresní funkce ve tvaru Gaussovy křivky

$$u(x) = u_{\max} \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot i^2}\right), \quad (2)$$

kde neznámými regresními koeficienty je maximální hodnota sedání $u_{\max}$ a parametr i určující polohu inflexního bodu monitorované poklesové kotliny.

Naklonění poklesové kotliny $d(x)$ určené touto regresní Gaussovou funkcí je rovno:

$$d(x) = u' = u_{\max} \left(\frac{-x}{i^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot i^2}\right) \quad (3)$$

Regresní koeficienty byly v případě poklesových kotlin stanovovány na základě všech pěti monitorovaných bodů (obr. 1) v příslušném monitorovaném profilu s využitím statistického programu UNISTAT.

Výsledkem regresní analýzy profilu PK 260 (obr. 2) je Gaussova křivka ve tvaru:

$$u(x) = 0.0445 \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot 29.2}\right), \quad (4)$$

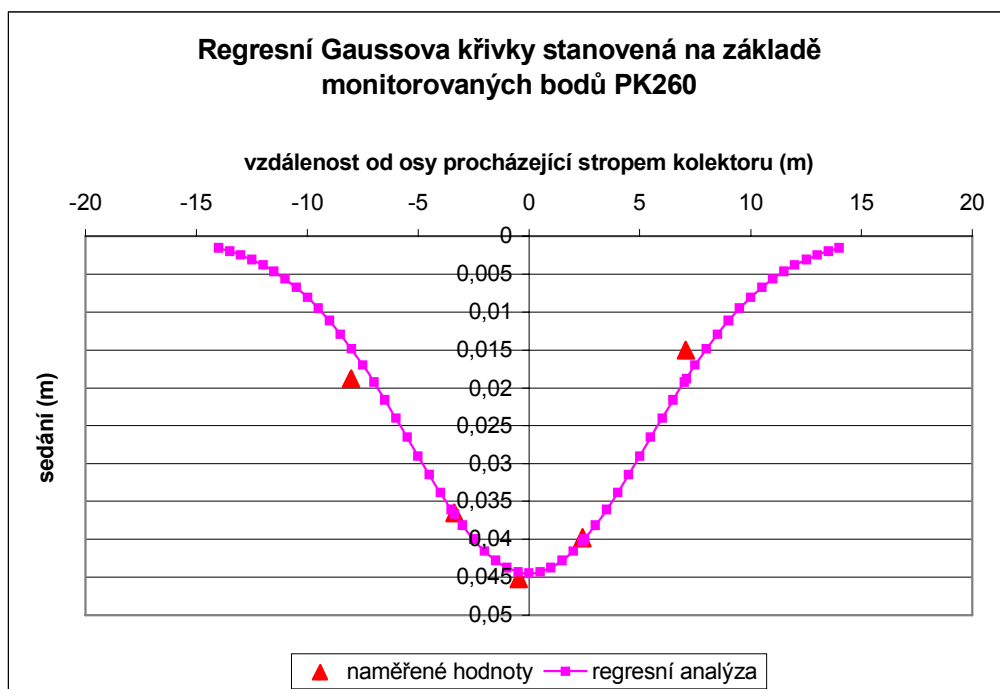
Tedy $u_{\max} = 0.0445$ m, přibližná poloha inflexního bodu $i = 5.4$ m. Šířku poklesové kotliny L lze odhadnout s využitím polohy inflexního bodu. Šířka poklesové kotliny L je přitom v tomto odhadu určována jako vzdálenost dvou bodů na Gaussově křivce, v nichž hodnoty sedání nepřekročí hodnotu $u_{\max}/8$, tj v tomto případě 5.5 mm. Z vlastností Gaussovy křivky plyne, že odhad šířky poklesové kotliny činí $L = 2 \times 2 \times i = 21.6$ m.

Naklonění $d(x)$ je pak dáno funkčním vztahem:

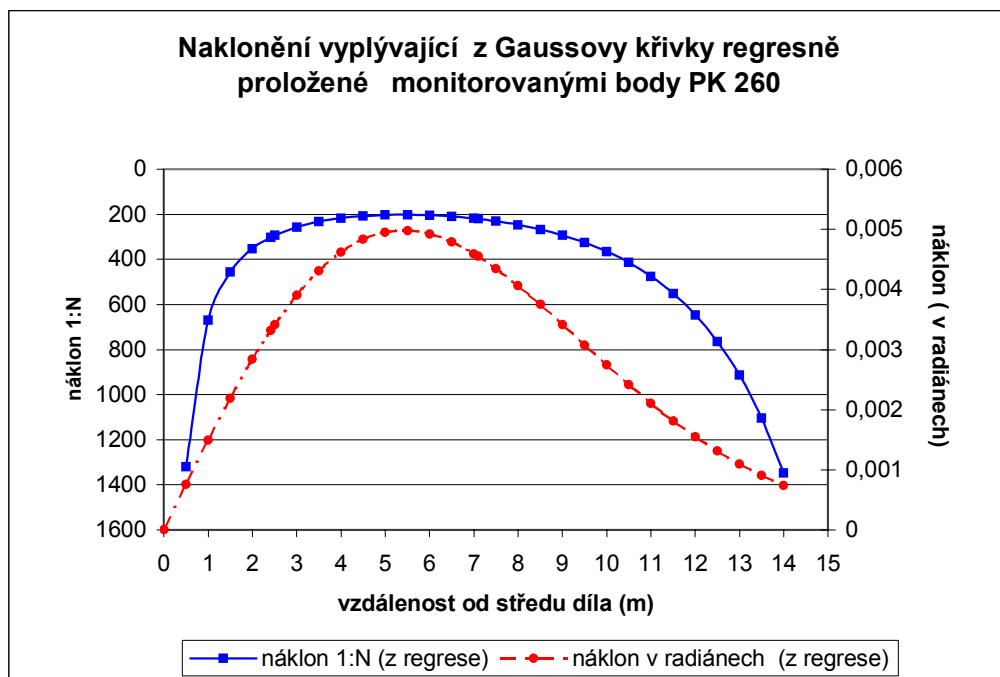
$$d(x) = -0.00152 \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot 29.2}\right) \quad (5)$$

Poklesová kotlina je v tomto případě dosti široká, mezní úhel vlivu je nereálně nízký (cca 42°) a lze se tedy domnívat, že monitorovaná poklesová kotlina není výsledkem pouze ražení samotného

kolektoru, ale že se v monitorovaných hodnotách projevuje i vliv realizace komory v boku díla - viz obr. 5; 6.



Obr.5



Obr.6

Obdobně pro poklesovou kotlinu PK 060 má regresně stanovená Gaussova křivka tvar:

$$u(x) = 0.0319 \exp\left(-\frac{x^2}{2 \times 11.09}\right) \quad (6)$$

Tedy $u_{\max} = 0.0319$ m, přibližná poloha inflexního bodu $i = 3.33$ m. Odhad šířky poklesové kotliny L , určené vzdáleností mezi body na Gaussově křivce, v nichž v tomto případě nepřekročí hodnota sedání $u_{\max}/8$, tj. cca 4 mm je roven: $L = 2 \times 2 \times i = 13.3$ m

Naklonění $d(x)$ je pak dáno vztahem:

$$d(x) = -0.00287 \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot 11.09}\right) \quad (7)$$

Mezní úhel vlivu odpovídající této šířce poklesové kotliny je 60° , což koresponduje s obecně známým vyjádřením mezního úhlu vlivu $45^\circ + \varphi/2$ při úhlu $\varphi = 31.5^\circ$ ve vrstvě štěrkopísků.

V případě poklesové kotliny PK 390 je regresní Gaussova křivka daná vztahem:

$$u(x) = 0.036 \exp\left(-\frac{x^2}{2 \times 29.98}\right) \quad (8)$$

Tedy $u_{\max} = 0.036$ m, přibližná poloha inflexního bodu $i = 5.48$ m. Odhad šířky poklesové kotliny L , určené vzdáleností mezi body na Gaussově křivce, v nichž v tomto případě nepřekročí hodnota sedání $u_{\max}/8$, tj. cca 4.5 mm je roven: $L = 2 \times 2 \times i = 21.92$ m

Naklonění $d(x)$ je pak dáno vztahem:

$$d(x) = -0.0012 \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot 29.98}\right) \quad (9)$$

Poklesová kotlina má podobný charakter jako kotlina PK 260, je dosti široká, mezní úhel vlivu je pouze cca 42° a lze tedy rovněž předpokládat, že se na vzniku této poklesové kotliny kromě vlastní ražby kolektoru podílejí ještě další vlivy (např. vliv nadvýlomů).

LITERATURA

- [1] HRUBEŠOVÁ, E.; ALDORF, J.; VOJTASÍK, K. Návrh metod a postupů pro stanovení hodnoty možných vlivů poklesů a deformací na povrchové stavby a inž. sítě. *Dílčí zpráva č. 2 projektu ČBÚ 38-05 : 2006*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006.
- [2] ALDORF, J.; BRADÁČ, J.; VOJTASÍK, K. a kol. *Podzemní stavby a zakládání staveb - vybrané kapitoly*. Ostrava : ES VŠB, 1992, s. 68-88. ISBN 80-7078-163-7.
- [3] ČSN 73 0039 *Navrhování objektů na poddolovaném území*
- [4] ATTEWELL, P. B. Ground movements caused by tunnelling in soil. In *Proc. Int. Conf. „Large Ground Movements and Structures“ : 1977*, Cardiff, U.K. : Pentech Press, London, 1977, s. 812-948.
- [5] CLOUGH, G. W.; SCHMIDT, B. Design and performance of excavations and tunnels in soft clay. *Soft clay Engineering*. Eds. E.W. Brand & R.P. Brenner, Elsevier, N.Y., 1981, s. 569-634.
- [6] PECK, R. B. Deep excavations and tunnelling in soft ground. In *Proc. Int. Conf. „VIIth Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng“ : 1969*, Mexico, State-of-the-Ar Volume. 1969, s. 225-290.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl zpracován s podporou Grantové agentury ČR při řešení projektu GAČR č. 103/09/2016.

Oponentní posudek vypracoval:

doc. Ing. Petr Konečný, CSc., Ústav geoniky AV ČR

Josef_ALDORF¹, Eva_HRUBEŠOVÁ², Karel_VOJTASÍK³, Lukáš_ŽURIŠ⁴

**VERIFIKACE ZDOKONALENÉ PREDIKCE ÚČINKŮ MĚLKÉHO TUNELOVÁNÍ
NA POVRCH - ČÁST 2.**

**COMPETENCE OF AN ADVANCED ESTIMATION OF SHALLOW TUNELLING IMPACTS
ON GROUND SURFACE – PART 2.**

Abstrakt

Obsahem příspěvku je ověření spolehlivosti praktického použití prezentovaných výpočetních postupů pro stanovení parametrů poklesové kotliny při ražení mělkých podzemních děl, pro kvantitativní i kvalitativní vyhodnocení těchto parametrů v konkrétních praktických úlohách a ověření dostatečné vypovídací schopnosti výsledků provedených výpočtů.

Abstract

The contribution investigates a competence of an advanced estimation providing for the variables of subsidence curve above a shallow tunneling and scrutinizes their qualitative and quantitative outputs with regard to the actual variable values drawn on field measurements.

**1 VÝPOČET POKLESOVÉ KOTLINY ZDOKONALENOU ANALYTICKO-
NUMERICKOU METODOU**

K výpočtu hodnot poklesové kotliny byla využita zdokonalená analyticko-numerická výpočetní metoda odvozená autory příspěvku [1].

Vzhledem k tomu, že metoda předpokládá nejvýše dvouvrstvé horninové prostředí, bylo nutno model z tohoto hlediska zjednodušit. Zjednodušení vychází z předpokladu, že rozhodující vliv na kvantitativní i kvalitativní charakter poklesové kotliny budou mít zeminové vrstvy v části nad stropem kolektoru – tj. navážky a štěrkopísková vrstva. Jílovité zeminy v podloží kolektoru a ve spodní části jeho příčného průřezu nejsou ve výpočtu zohledněny. Model tedy předpokládá, že celý kolektor je ražen ve vrstvě štěrkopísků s nadloží tvořeným navážkami. Jílovité zeminy v podloží kolektoru a ve spodní části jeho příčného průřezu nejsou ve výpočtu zohledněny.

Jak už bylo uvedeno dříve, výpočet byl proveden za předpokladu ekvivaletního kruhového průřezu o poloměru 2 m. Vliv skutečného obloukového tvaru příčného průřezu kolektoru je pak zohledněn zavedením odpovídajících součinitelů tvaru průřezu $\text{koef}_{\text{tvarx}} = 1.23$, $\text{koef}_{\text{tvary}} = 1.32$ [1],

¹ prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 944, e-mail: josef.aldorf@vsb.cz.

² doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

³ 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.

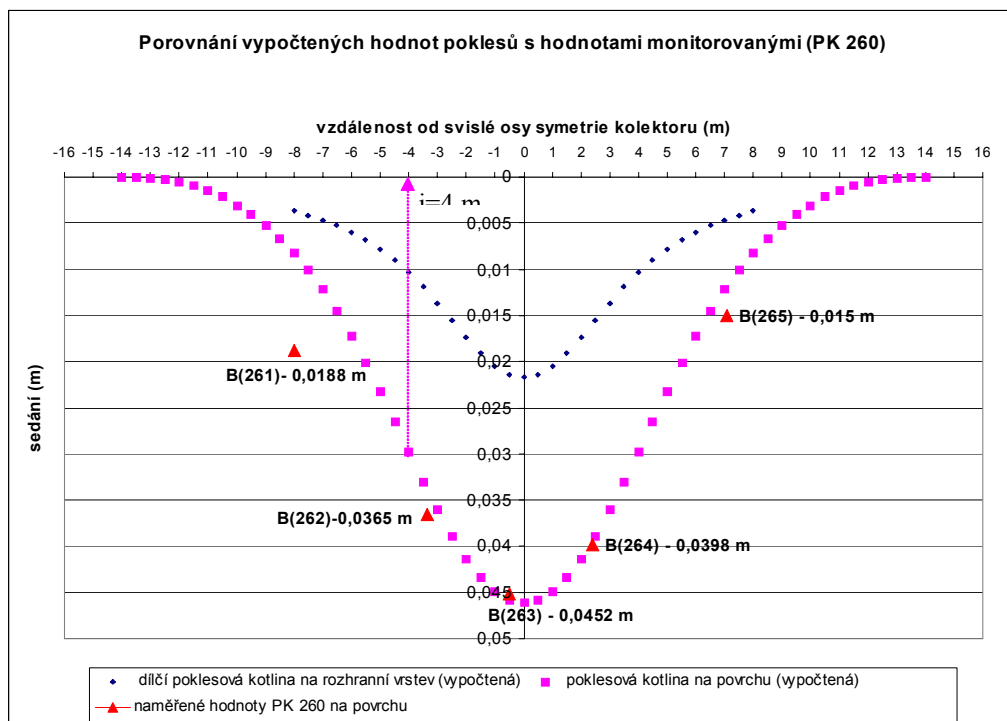
⁴ Ing. Lukáš Žuriš, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 948, e-mail: lukas.duris@vsb.cz.

kteře byly stanoveny parametrickými numerickými výpočty. Účinek reakce výztuže, která má pozitivní vliv na vznik, vývoj a charakter poklesové kotliny, byl v tomto případě eliminován zadáním nulové hodnoty reakce výztuže, což je na straně bezpečnosti. Vliv změny vodního režimu v důsledku ražení kolektoru není možno do výpočtu zahrnout.

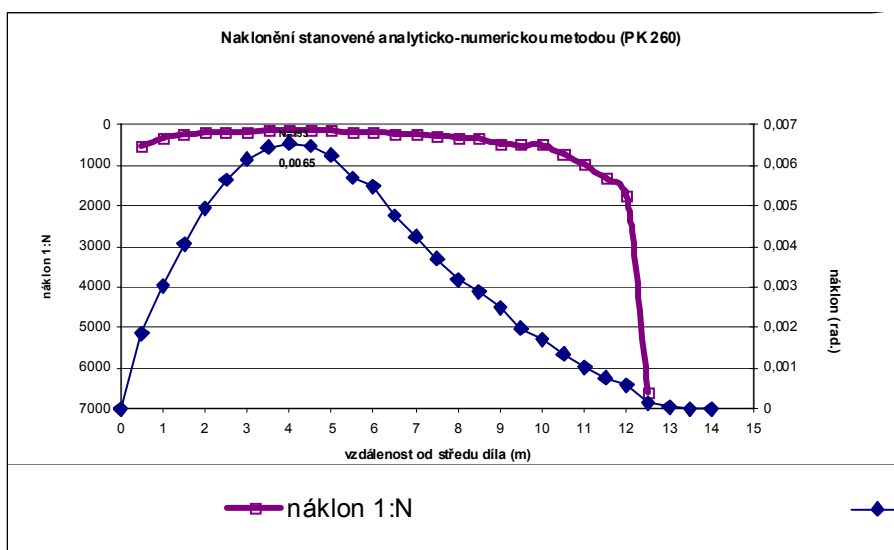
Obecný postup výpočtu představuje dva základní kroky:

- 1) Stanovení dílčí poklesové kotliny na rozhraní vrstvy štěrkopísků a navážek z analytického řešení „těžké poloviny“, ve které je situováno dílo.
- 2) Stanovení vlivu této dílčí poklesové kotliny na poklesy na povrchu. Byla aplikována Knotheho metoda charakterizovaná hodnotou konstanty vlivu účinků tunelování a úhlem vlivu účinků tunelování. Tyto určující parametry Knotheho metody je třeba pro každou konkrétní situaci kalibrovat (konstanta vlivu účinků tunelování, úhel vlivu) [1].

Výsledky výpočtu jsou ve shodě s dříve uvedenou poznámkou o velkém rozsahu poklesové kotliny PK 260, což pravděpodobně může souviset s vlivy realizace komory v blízkosti kolektoru. Výpočet, který zohledňoval pouze vliv realizace kolektoru, dokumentuje poněkud menší šířkový dosah poklesové kotliny, výpočtem stanovený inflexní bod $i = 4$ m. Naměřené hodnoty sedání ve třech monitorovaných bodech B(262), B(263), B(264) nejbližší svislé osy symetrie kolektoru jsou v podstatě identické s hodnotami vypočtenými, větší odchylky mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami sedání se projevují ve dvou vzdálenějších bodech, a to především v bodě B(261) na levé straně monitorovaného profilu. Maximální hodnota sedání nad stropem kolektoru stanovená výpočtem je 46.1 mm, polovina šířky poklesové kotliny stanovené výpočtem je cca 12 m (odpovídající vypočtená hodnota sedání v krajních bodech 0.6 mm). Maximální naklonění v inflexním bodě je dáno poměrem 1:153. Výsledky jsou ilustrovány na obr. č. 1 a 2.



Obr. 1: Porovnání vypočtených a monitorovaných hodnot sedání (PK 260).



Obr.2: Naklonění stanovené analyticko-numerickou metodou PK 260.

Stejným postupem byly analyzovány byly i situace profilů PK060 a PK 390.

2 EMPIRICKÝ PŘÍSTUP KE STANOVENÍ PARAMETRŮ POKLESOVÉ KOTLINY

Empirické přístupy stanovení parametrů poklesové kotliny vychází z poznatků plynoucích z výsledků měření velikosti poklesů v reálných situacích. Ve většině sledovaných případů naměřené hodnoty poklesů prokazují, že charakter jejich průběhu je analogický s Gaussovou funkcí - křivkou rozložení chyb. Vyjádření poklesové křivky prostřednictvím Gaussovy funkce je základem empirických metod. Charakterizace prostředí (soudržná, nesoudržná zemina, nesoudržná zemina pod hladinou vody) a základní objektivní okolnosti definující dílo (poloměr díla, hloubka uložení díla pod povrchem terénu, „*ground loss – nadvýlom*“) [5], které determinují poklesovou kotlinu, jsou implementovány do parametrů, které určují průběh Gaussovy křivky.

K vyjádření průběhu poklesové kotliny jsou rozhodující dva její parametry. Prvým je hodnota horizontální vzdálenosti inflexního bodu na poklesové křivce od středu díla (i). Druhým je hodnota maximálního poklesu na povrchu terénu nad středem díla ($u_{\max}$).

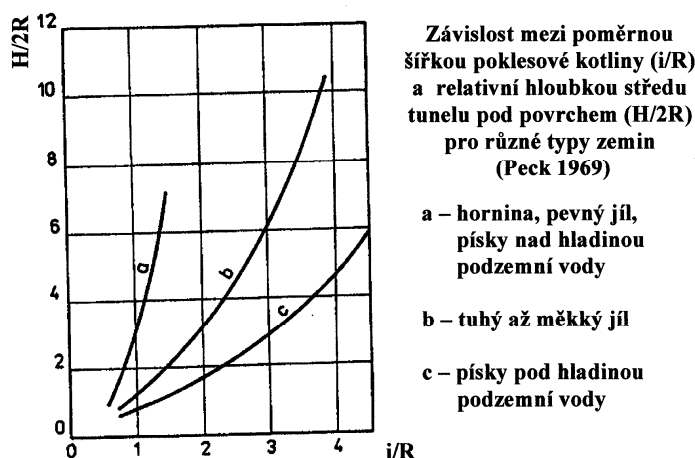
Hodnota vzdálenosti inflexního bodu (i) vymezuje šířku - dosah poklesové kotliny. Závisí na typu prostředí a mají na ni také vliv hloubka umístění středu díla pod povrchem terénu (H) a poloměr díla (R).

Hodnota maximálního poklesu na povrchu terénu nad středem díla ($u_{\max}$) závisí na velikosti nadvýlomu – ground loss (V_0). Jeho hodnota je dána technologickými okolnostmi tj. použitou metodou realizace díla a dále subjektivními okolnostmi. Technologické okolnosti jsou např. rozdíl mezi hrubým – raženým profilem díla a rozměry konstrukce výztuže. Tyto okolnosti jsou neměnné. Naopak, subjektivní okolnosti zachycují proces realizace díla. Hodnoty nadvýlomu z titulu subjektivních okolností jsou značně proměnlivé a předem obtížně odhadnutelné.

Hodnota maximálního poklesu na povrchu terénu nad středem díla ($u_{\max}$) je určována z podmínky rovnosti ploch nadvýlomu (V_0) a poklesové kotliny (hodnoty integrálu Gaussovy křivky). Přibližný vztah pro výpočet maximálního poklesu ($u_{\max}$) je [5]:

$$u_{\max} = V_0 / (2,5 \cdot i) \quad (1)$$

Rozhodujícím parametrem, který určuje průběh poklesové kotliny, je hodnota vzdálenosti inflexního bodu. V případě empirických metod, je její velikost odvozována z výsledků získaných na skutečných dílech (viz. obr. 3).



Obr.3

Naměřené hodnoty vzdálenosti inflexního bodu (grafy na obr. 3) jsou základem k odvození analytických vztahů, podle kterých stanovujeme tuto vzdálenost.

Jednou z funkcí, která umožňuje vyjádřit charakter závislostí prezentovaných na obr. 3 je polynommická funkce, tvaru:

$$i/R = (H/2R)^n \quad (2)$$

Exponent (n) nabývá různých hodnot: $n=1,0$ (Attewell, 1977); $n=0,8$ viz. [4]. Vzdálenost inflexního bodu je zde funkcí poloměru díla a hloubky středu díla pod povrchem terénu. Hodnota exponentu (n) je konstantní pro všechny typy prostředí. Konstantní hodnota exponentu reprezentuje jedinou křivku, nivelizuje význam role charakteru prostředí na vývoj poklesové kotliny.

Objektivnější zahrnutí vlivu charakteru prostředí je podmíněno volbou funkce. Tato funkce musí umožnit vyjádřit soustavu křivek, které reprezentují příslušný typ prostředí. Pro tento účel je vhodná exponenciální funkce, která má tvar:

$$i = k_1 \cdot R \cdot \exp^{[k_2 \cdot \ln(H/2R)]} \quad (3)$$

Kde (k_1) a (k_2) jsou koeficienty, které jsou individuálně stanoveny pro určitý typ zeminy (dle křivek a, b, c na obr. 2).

Tab.1: Hodnoty koeficientů k_1 a k_2 odvozené dle závislostí viz.obr. 2 (Peck, 1969).

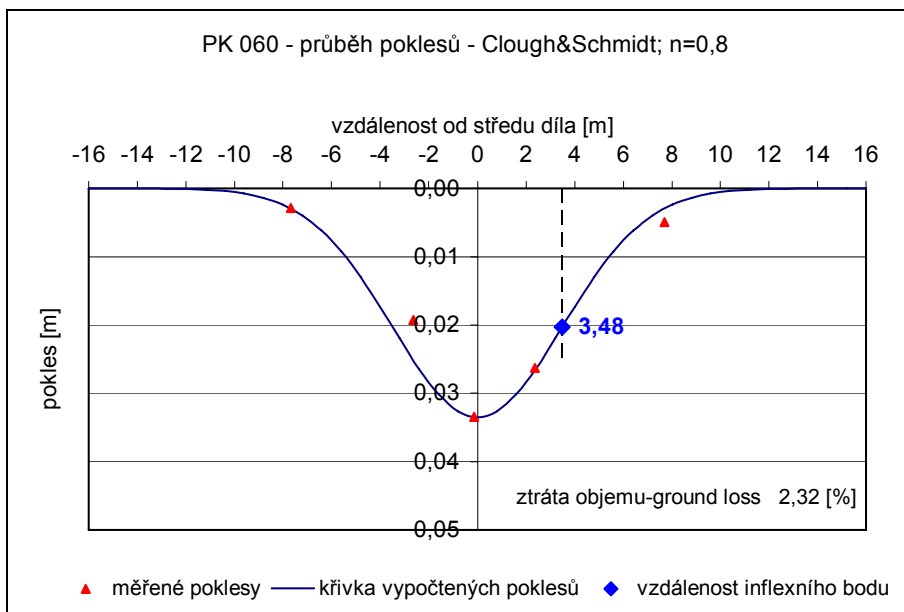
typ prostředí	k_1	k_2
pevný jíl, písek nad hladinou podzemních vod	0,5912	0,4646
měkký jíl	0,9009	0,6491
písek pod hladinou podzemních vod	1,2899	0,7207

Velikost nadvýlomu je parametr, který by bylo možno stanovit například na základě sledování hmotnosti vytěžené zeminy na jeden metr zabírky nebo vyhodnocením konvergencí. V praxi se to však neprovádí. Tento parametr je zpravidla pouze odhadován. Podle způsobu realizace díla a charakteru prostředí se jeho velikost pohybuje v intervalu od 2 do 6 procent z projektované plochy hrubého průřezu díla, přičemž nižší hodnota charakterizuje kvalitnější technologii ražení.

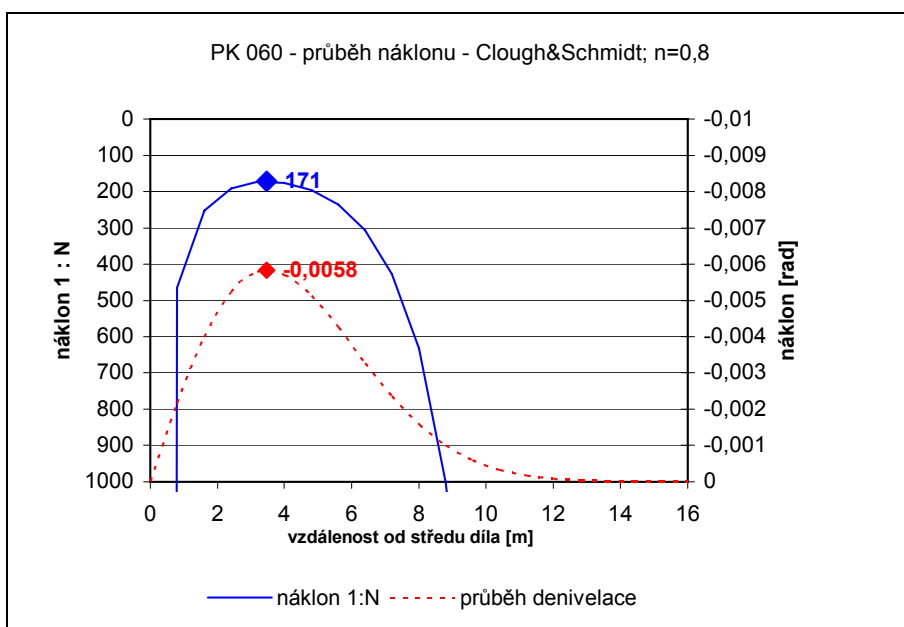
Hodnota velikosti nadvýlomu (V_0) je parametr, který je vesměs odhadován. Variací tohoto parametru můžeme přizpůsobovat poklesovou funkci, tj. upřesňovat hodnoty exponentu n nebo koeficientů k_1 a k_2 , skutečné situaci za předpokladu, že známe hodnoty skutečných poklesů. Jsou k tomu zapotřebí hodnoty poklesů v minimálně třech bodech, které leží na jednom rameni - svahu

poklesové kotliny. Body by měly být lokalizovány tak, aby první bod byl nad dílem, nejlépe na jeho vertikální ose. Hodnota poklesu v tomto bodu je důležitá pro upřesnění hodnoty nadvýlomu (V_0). Zbývající dva body by měly ležet jeden před a druhý za přepokládaným inflexním bodem. Hodnoty poklesu ve druhém a třetím bodě jsou důležité pro doladění průběhu poklesové křivky, tj. k stanovení koeficientů (n), nebo (k_1) a (k_2).

Následující obrázky (obr. 4 a 5) uvádí výsledky stanovení funkce průběhu poklesové kotliny nad kolektorem pro profil PK 060, na kterém byly měřeny hodnoty poklesů. Náhradní poloměr kolektoru, činí 2 m, jeho střed leží 8 m pod povrchem terénu. Analogické výstupy byly zpracovány i pro situace PK 260 a PK 390.



Obr.4



Obr.5

3 SHRUTÍ POZNATKŮ EMPIRICKÉHO PŘÍSTUPU PROGNOZY POKLESOVÉ KOTLINY NAD PODZEMNÍM DÍLEM LEŽÍCÍM V MALÉ HLOUBCE POD POVRCHEM TERÉNU

Z provedených výpočtů průběhů poklesů na základě Gaussovy křivky a jejich srovnání s naměřenými poklesy ve skutečných situacích lze konstatovat, že tato funkce je vhodná k analytickému vyjádření poklesové křivky. Jejimi parametry lze do výpočtu průběhu poklesové kotliny zahrnout základní okolnosti, které do výpočtu zavádí charakter prostředí, parametry realizovaného díla, metodu a proces realizace díla.

Rozhodujícím parametrem, který má zásadní vliv na průběh poklesové kotliny je hodnota horizontální vzdálenosti inflexního bodu od středu díla. Její odhad pro prvotní prognózu vývoje poklesové křivky je možno provádět na základě všeobecně uznávaných hypotéz a z nich odvozených metod [3], [4], [5]. Z grafického vyjádření průběhu vypočtené poklesové křivky a v témže grafu vynesných naměřených hodnot poklesů plyne, že zde existuje soulad mezi vypočtenými a měřenými hodnotami poklesů.

K výpočtu hodnoty vzdálenosti inflexního bodu je možno použít dvou různých závislostí. Závislost (2) pracuje s jedním parametrem a závislost (3) se dvěma parametry, s pomocí kterých je do výpočtu inflexního bodu implementován typ prostředí. Který z použitých vztahů je vhodnější, zda vztah (2) modifikující exponent n , nebo vztah (3) modifikující dva koeficienty k_1 a k_2 , k výpočtu vzdálenosti inflexního bodu, z provedené analýzy nelze určit.

Uvedeným postupem je možno provádět prognózu průběhu poklesové křivky. Zpřesnění prognózy je podmíněno odvozením příslušných parametrů, vztah (2) exponent n , nebo vztah pro koeficienty k_1 a k_2 , které vystupují v závislostech určujících velikost vzdálenosti inflexního bodu, a to z výsledků měření poklesů na reprezentativních situacích. Hodnoty odvozených koeficientů mohou být použity k stanovení velikosti vzdálenosti inflexního bodu i dalších situacích v typu prostředí, pro které byly odvozeny.

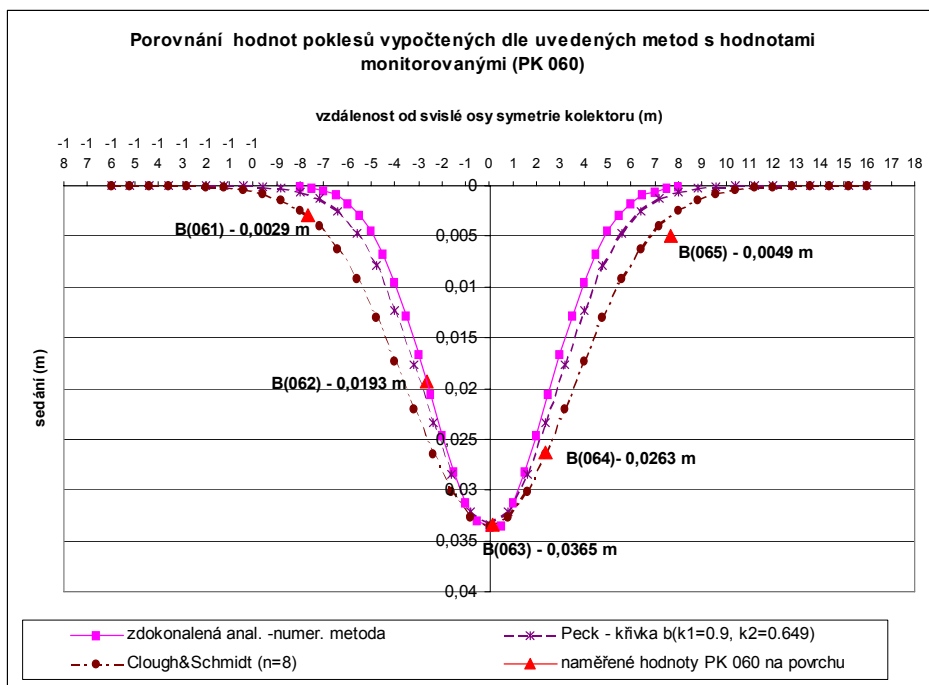
4 ZÁVĚREČNÁ SROVNÁNÍ POKLESOVÝCH KOTLIN STANOVENÝCH DLE JEDNOTLIVÝCH VÝPOČETNÍCH METOD S HODNOTAMI ZÍSKANÝMI GEOTECHNICKÝM MONITORINGEM

Graf na obr. č. 6 ilustruje srovnání výsledků vypočtených hodnot sedání stanovených jak empirickými metodami, tak i zdokonalenou analyticko-numerickou metodu na příkladu profilu PK 060.

Z provedeného srovnání plyne, že výsledky výpočtů jak empirickými metodami, tak i zdokonalenou analyticko-numerickou metodou vykazují dobrou shodu mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami sedání v monitorovaných bodech B(062), B(063) a B(064) v blízkosti svislé osy symetrie kolektoru. V bodech B(061) a B(065) situovaných na okrajích poklesové kotliny jsou již odchylky u většiny metod relativně výraznější (max. však cca 5 mm v pravé části kotliny). Pouze metoda Clough&Schmidt ($n = 0,8$) vykazuje dobrou shodu i v těchto krajních bodech poklesové kotliny.

Výpočtem stanovená maximální hodnota sedání je v případě aplikace všech tří metod 33 mm, stanovená vzdálenost inflexního bodu od svislé osy symetrie se poněkud liší, hodnoty jsou uvedeny ve srovnávací tabulce č. 2.

V posledním řádku tabulky jsou pak uvedeny charakteristiky poklesové kotliny vyplývající z pouhého proložení Gaussovy křivky naměřenými hodnotami.



Obr.6: Porovnání vypočtených hodnot poklesů dle uvedených výpočetních metod s hodnotami naměřenými (PK 060).

Tab.2: Tabulka vypočtených hodnot charakteristik poklesové kotliny PK 060.

metoda	ztráta objemu [%]	vypočtený max.pokles [m]	inflexe [m]	max. naklonění v inf. bodě	max. poměrné vodorovné přetvoření*)
Peck křivka b (K1=0,9; K2=0,649)	1.88	0.0334	2.83	1:139	0.004
Clough&Schmidt (n=8)	2.32	0.0335	3.48	1:171	0.0035
zdokon. anal.-num. metoda	-	0.0337	2.5	1:124	0.005
regrese z naměřených hodnot (Gaussova křivka)	-	0.0319	3.33	1:179	0.003
*) maximální poměrné vodorovné přetvoření je aproximováno vztahem $\varepsilon_{\max} = 0.6$ násobek naklonění v inflex. bodě (Bradáč)					

5 ZÁVĚREČNÁ DOPORUČENÍ

Z výsledků komparace plyne, že použité výpočetní metody jsou prakticky aplikovatelné a mají dostatečnou vypovídací schopnost. Využití empirických výpočetních metod však vyžaduje důslednou kalibraci výpočetního modelu vzhledem k empirickým koeficientům vstupujícím do výpočtu. Kalibraci vyžaduje rovněž zdokonalená analyticko- numerická metoda v případě, že je aplikována na dvouvrstvé horninové prostředí. V tomto případě je nutno vhodně zvolit v závislosti na konkrétních podmínkách dva zmiňované parametry Knothovy metody – konstantu vlivu účinků tunelování a úhel vlivu účinků tunelování.

Z porovnání výsledků rovněž plyne ta skutečnost, že ve většině případů bylo dosaženo nejlepší shody mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami sedání v bodech lokalizovaných v blízkosti svislé osy kolektoru. Obecně lze konstatovat, že vypočtené poklesové kotliny nedosahují takové šířky, jaká byla signalizována monitorovanými hodnotami sedání v krajních bodech poklesové kotliny. Tento nesoulad může být pravděpodobně z velké části zapříčiněn některými dalšími faktory, které danou poklesovou kotlinu ovlivňují a které nemohly být do aplikovaných výpočetních modelů implementovány (vliv ražení sousedících podzemních děl, vliv změny vodního režimu v důsledku ražení, vliv nadvýlomů apod.). Výhodou těchto aplikovaných metod je však operativnost, nepřilíhající velké požadavky na vstupní data výpočtu, snadná a rychlá příprava modelu a minimální nároky na výpočetní čas (výpočet trvá řádově několik sekund). Vliv některých dalších výše zmíněných faktorů ovlivňujících vznik, vývoj a charakter poklesové kotliny by pak vyžadoval využití numerických metod modelování (např. metodu konečných prvků), což však je však z hlediska vstupních dat, tvorby modelu i samotného výpočtu záležitost časově náročnější.

Doporučení

Provedené analýzy a komparace naměřených parametrů poklesových kotlin s hodnotami stanovenými z výpočtových postupů ukázaly, že:

- pro stanovení parametrů poklesových kotlin ve fázi předběžné prognózy (DUR-Dokumentace pro územní rozhodnutí, DSP- Dokumentace pro stavební povolení) se jako nejvhodnější postup jeví metody „loss of ground“ s použitím doporučených hodnot empirických koeficientů ($\Delta V \approx$ cca 2-3%; k_1, k_2). Po provedení ověřovacích měření parametrů poklesové kotliny lze pro dané konkrétní geotechnické podmínky hodnoty empirických koeficientů upřesnit do té míry, že spolehlivost prognózy bude vyhovující i pro stupeň RDS(Realizační dokumentace stavby) a konečné rozhodnutí o realizaci ochrany objektů.
- zdokonalenou analyticko-numerickou metodu a metody MKP používat v případě složitých geotechnických podmínek rovněž po prvotním ověření měření. Vypovídací schopnost těchto metod zajišťuje vysokou spolehlivost prognózy s odchylkami do max. cca 3-5 % skutečných účinků vlivu tunelování. Její spolehlivější využití může být doplněno modelem MKP, který zohlední další geotechnické a geologické faktory.

LITERATURA

- [1] HRUBEŠOVÁ, E.; ALDORF, J.; VOJTASÍK, K. Návrh metod a postupů pro stanovení hodnoty možných vlivů poklesů a deformací na povrchové stavby a inž. sítě. *Dílčí zpráva č. 2 projektu ČBÚ 38-05 : 2006*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006
- [2] ALDORF, J.; BRADÁČ, J.; VOJTASÍK, K. a kol. *Podzemní stavby a zakládání staveb - vybrané kapitoly*. Ostrava : ES VŠB, 1992, s. 68-88 . ISBN 80-7078-163-7.
- [3] ČSN 73 0039 *Navrhování objektů na poddolovaném území*
- [4] ATTEWELL, P. B. Ground movements caused by tunnelling in soil . In *Proc. Int. Conf. „Large Ground Movements and Structures“ : 1977*, Cardiff, U.K. : Pentech Press, London, 1977, s. 812-948.
- [5] CLOUGH, G. W.; SCHMIDT, B. Design and performance of excavations and tunnels in soft clay. *Soft clay Engineering*. Eds. E.W. Brand & R.P. Brenner, Elsevier, N.Y., 1981, s. 569-634.
- [6] PECK, R .B. Deep excavations and tunnelling in soft ground. In *Proc. Int. Conf. „VIIth Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng“ : 1969*, Mexico, State-of-the-Ar Volume. 1969, s. 225-290.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl zpracován s podporou Grantové agentury ČR při řešení projektu GAČR č. 103/09/2016.

Oponentní posudek vypracoval:

doc. Ing. Petr Konečný, CSc., Ústav geoniky AV ČR

Eva HRUBEŠOVÁ¹, Zdeněk KALÁB²

VLIV LOKÁLNÍ GEOLOGIE NA SEISMICKOU ODEZVU POVRCHU HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ

IMPACT OF THE LOCAL GEOLOGY ON THE SEISMIC RESPONSE OF THE ROCK MASS SURFACE

Abstrakt

Příspěvek se týká problematiky vlivu místních geologických podmínek na odezvu povrchu na důlně indukovaný dynamický jev. Inženýrská praxe a realizovaná experimentální měření potvrzují, že místní geologické podmínky modifikují určitým způsobem seismickou odezvu povrchu horninového prostředí a stavebních konstrukcí. V příspěvku jsou uvedeny některé výsledky numerické analýzy realizované s využitím dynamického modulu programového systému Plaxis 2D, dokumentující zesilující účinky měkkých sedimentárních vrstev v podloží konstrukce na deformační odezvu povrchu horninového prostředí.

Abstract

This paper deals with influence of local geological conditions on response of surface after mining induced seismic event occurring. Engineering experience and performed measurements document that local geology modifies seismic response of rock massif and structures by some means. Some results of numerical analysis using dynamic module in programming system Plaxis 2D are presented in this paper. These results document intensification of soft sedimentary layers in basement of structure on deformation response of surface of rock medium.

1 ÚVOD

Stavební objekty a konstrukce jsou po dobu výstavby a následně po dobu jejich dalšího využívání vystaveny různým druhům zatížení. V oblastech možného působení přirozené nebo důlně – indukované seismicity a v souvislosti s působením účinků technické seismicity je nutno mezi určující typy zatížení zahrnout zatížení dynamická. Kvantitativní i kvalitativní odezva stavební konstrukce na uvažované seismické zatížení závisí na mnoha faktorech. Mezi tyto faktory patří jak parametry samotného dynamického zatížení (maximální amplituda, převládající frekvence, doba působení dynamického zatížení), materiálové a konstrukční parametry samotné stavební konstrukce a rovněž geologické a hydrogeologické podmínky v dané zájmové lokalitě a vlastnosti zemin v podložním geologickém profilu (např. Kaláb, 2004). Bez znalosti těchto místních geologických a hydrogeologických podmínek (tzv. site effect), které mohou mnohdy výrazným způsobem modifikovat účinky působení dynamických zatížení, nelze objektivně posuzovat možné negativní dopady působení dynamických zatížení ([2], [4]).

¹ Doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

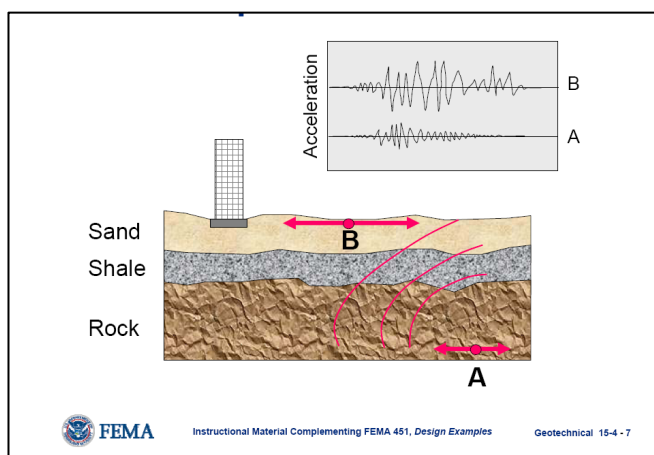
² Doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba; též Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava, tel.: (+420) 596 979341, e-mail: kalab@ugn.cas.cz

2 ZÁKLADNÍ FAKTORY LOKÁLNÍHO GEOLOGICKÉHO Vlivu

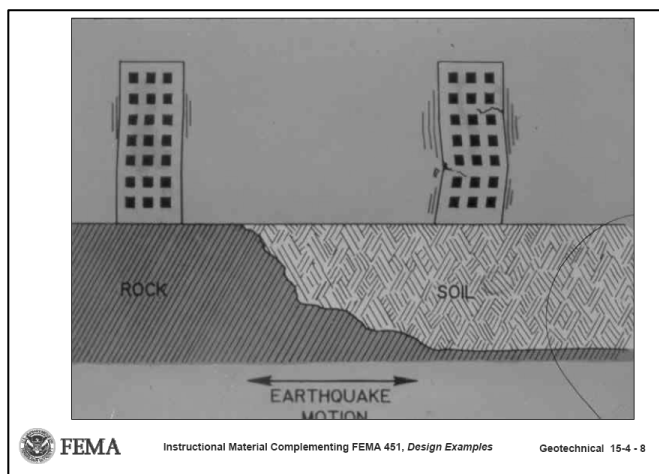
Obecně lze mezi základní faktory geologického site effectu zahrnout:

- modifikaci (zesílení resp. zeslabení) účinků seismického zatížení průchodem nadložními měkkými sedimentárními vrstvami
- topografické vlivy
- sedání suchých písků v podloží
- ztekucení saturovaných nesoudržných zemin

Tento příspěvek je zaměřen na problematiku prvního výše uvedeného bodu, tj. modifikaci dynamické odezvy povrchu v důsledku lokalizace měkkých podložních vrstev v podloží. Praktická pozorování a realizovaná monitorovací měření ukazují, že přítomnost měkkých sedimentárních vrstev v podloží má zesilující účinek na seismickou odezvu vlastního zeminového prostředí, a tudíž i samotné konstrukce (obr. 1 a 2).



Obr.1: Zesilující vliv kvartérních vrstev vyjádřený velikostmi zrychlení (FEMA).



Obr.2: Intenzita porušení konstrukce v závislosti na charakteru podloží (FEMA).

3 MODELOVÁ ANALÝZA VLIVU LOKÁLNÍ GEOLOGIE

3.1 Základní geometrické a materiálové charakteristiky modelu

Modelová analýza pro vyhodnocení vlivu lokální geologie na seismickou odezvu na povrchu byla provedena s využitím dynamického modulu softwarového systému PLAXIS 2D metodou konečných prvků [1]. Rovinný model má šířku 100 m a výšku 70 m. Modelová analýza byla provedena za předpokladu izotropního horninového prostředí a Mohr-Coulombova konstitutivního modelu. V podložním geologickém profilu se vyskytují jednak podložní skalní horniny a jednak kvartérní vrstvy. Geotechnické parametry vrstev odpovídají parametrům charakteristickým pro oblast Karvinska (Müllerová, Müller, Grmela, 2008, [5]), v níž je v důsledku projevů důlně-indukované seismicity problematika dynamické odezvy aktuální. Konkrétní hodnoty použitých geotechnických parametrů karbonských a kvartérních horninových útvarů jsou uvedeny v tabulce č. 1, v posledních dvou řádcích tabulky jsou pak uvedeny vypočtené rychlosti šíření vln V_p , V_s dle vztahů:

$$V_p = \sqrt{\frac{E_{oed}}{\rho}}, \quad E_{oed} = E \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}, \quad \rho = \frac{\gamma}{g}, \quad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

kde

E – modul pružnosti

μ – Poissonovo číslo

γ – objemová tíha

g – tíhové zrychlení

Tab.1: Geotechnické parametry karbonských a kvartérních horninových útvarů.

parametr	jednotky	kvartér	karbon
objemová hmotnost	kg /m ³	1800	2300
Poissonovo číslo	-	0.3	0.2
modul pružnosti	MPa	3.4	9000
soudržnost	kPa	15	100
úhel vnitřního tření	°	11	25

3.2 Základní charakteristiky dynamického zatížení modelu

Realizovaným modelovým výpočtem byl analyzován vliv reálně monitorovaného projevu důlně-indukované seismicity v oblasti Karvinska (obr.3), doba trvání tohoto jevu byla cca 15 s, maximální hodnota amplitudy rychlosti 0.0075 m/s. Tento jev byl zaznamenán soliterní seismickou stanicí ve Stonavě, která je provozována v rámci výzkumného úkolu Ústavem geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava.



Obr.3: Časový záznam rychlosti kmitání důlně indukovaného seismického jevu (Stonava,Karvinsko).

3.3 Výchozí matematická formulace metody a základní okrajové podmínky modelu

Implementovaná dynamická analýza vychází z Newtonova pohybového zákona $F=m.a$, z něhož plyne maticový zápis výchozí soustavy rovnic:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F,$$

kde M je hmotnostní matice, u je vektor posunů, C je matice tlumení, K je matice tuhosti a F je zatěžovací vektor. Posuny u , rychlosti $\dot{u}$ a zrychlení $\ddot{u}$ se mění s časem.

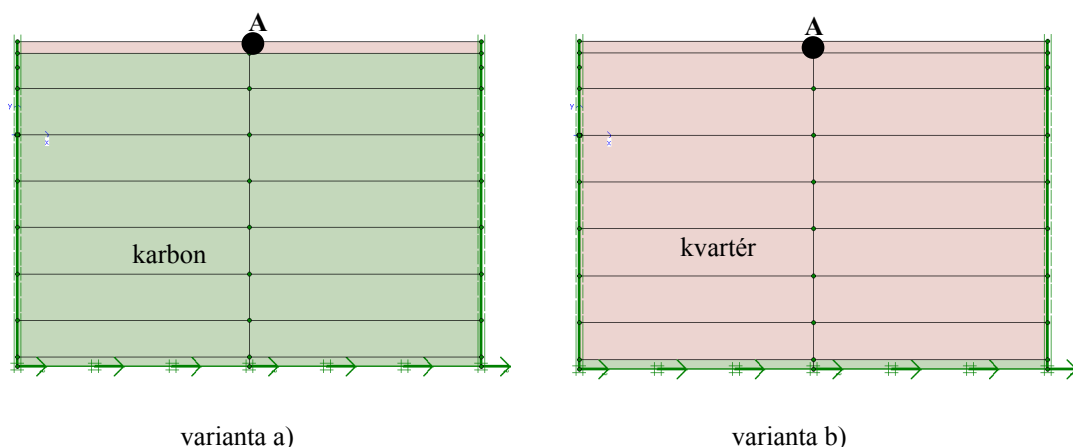
Matice tlumení C je lineární kombinací Rayleighových tlumících parametrů α_R a β_R , zohledňujících materiálové tlumení, a hmotnostní a tuhostní matice.

$$C = \alpha_R M + \beta_R K$$

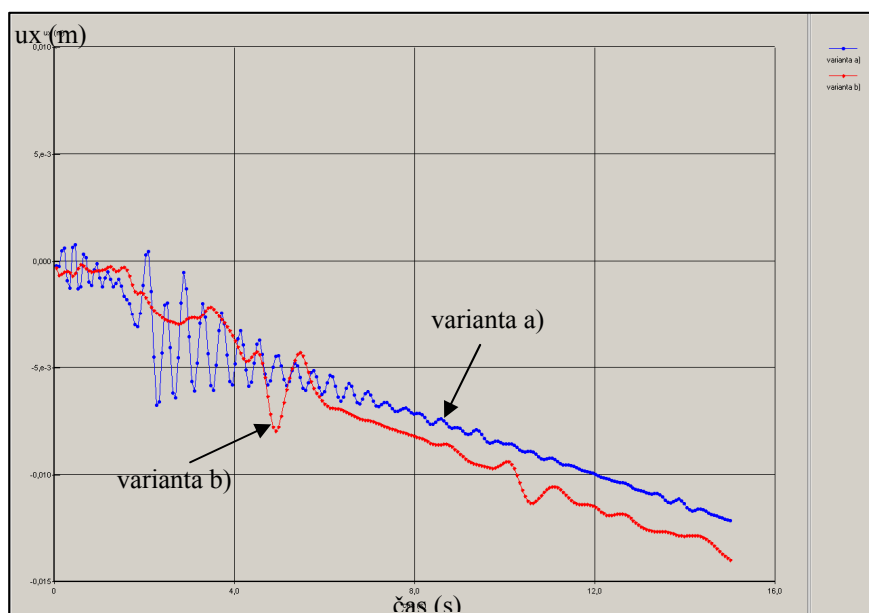
Realizovaný dynamický výpočet vycházel ze dvou typů okrajových podmínek. Tzv. absorbční okrajové podmínky umožňují absorbovat přírůstky napětí, která vznikají v důsledku dynamického zatížení na hranici modelu. Tyto podmínky znemožňují nereálný odraz seismických vln zpět do modelu a jejich vzájemnou interakci. Druhý typ okrajových podmínek se zadává na spodní hranici modelu a odpovídá velikostem naměřených hodnot rychlostí seismického jevu v jednotlivých časových krocích.

3.4 Vyhodnocení výsledků matematického modelování

V následující části příspěvku jsou vyhodnoceny modelové výsledky deformační dynamické odezvy pro dvě varianty podloží (obr. 4). V případě varianty a) je podloží tvořeno kvartérními zeminami pouze do hloubky 2.5 m pod povrchem, pod touto vrstvou kvartérních zemin se již nacházejí karbonské podkladní vrstvy. V případě varianty b) tvoří podloží kvartérní vrstvy o mocnosti 68 m, karbonské vrstvy o mocnosti 2 m jsou lokalizovány pouze při spodní hranici modelu. Následující obrázek č. 5 ilustruje vyhodnocení horizontálních posunů v modelově monitorovaném bodě A na povrchu modelu.



Obr.4: Analyzované varianty podloží: a) kvartér o mocnosti 2.5 m, b) kvartér o mocnosti 68 m.
(zelená barva označuje karbon, růžová kvartér)



Obr.5: Časový vývoj horizontálních posunů v modelově monitorovaném bodě A na povrchu.

Z výsledku modelování vyplývá, že:

- vyšších hodnot horizontálních posunů je dosahováno ve variantě b) ve srovnání s variantou a) – pro čas odpovídající konci působení seismického jevu $t=15.02$ s představuje toto zvýšení hodnot horizontálních posunů cca 17 %
- ve variantě s vyšší mocností kvartérních zemin v podloží dochází ke snížení frekvence

4 ZÁVĚR

Důlně indukovaná seismicitá na Karvinsku představuje významný zásah nejen do životního prostředí, ale také významným způsobem ovlivňuje technický stav objektů. I přes útlum těžby černého uhlí v této oblasti nedochází k významnému snížení počtu či velikosti seismických jevů. To je důsledek těžby ve složitých geomechanických podmínkách a též postupu těžebních prací do větších hloubek. Jako příklad uveďme nejsilnější seismický jev z 4. prosince 2008 (lokální magnitudo 3,2), při němž byla na stanici Darkov naměřena hodnota rychlosti kmitání přesahující 20 mm.s^{-1} . Takovéto hodnoty již mohou způsobovat poškození stavebních objektů.

Matematické modelování má za úkol poskytnout zpřesňující podklady pro stanovení seismického zatížení v místech, v nichž se připravuje nová výstavba, případně možný projev kmitání na existujícím objektu (např. Pitilakis, 2007, [6]). Uvedený příklad ukazuje, jaký vliv má lokální geologická stavba na velikost seismického projevu na povrchu (zesilující účinky kvartérních vrstev).

Z hlediska matematického modelování je dynamická modelová analýza ve srovnání se statickými výpočty náročnější jak po stránce obsahové, tak i časové. Problematická se jeví především charakteristika dynamických parametrů horninového prostředí, včetně parametrů materiálového tlumení, a dále charakteristika samotného dynamického zatížení. Použitý dynamický modul programového systému Plaxis 2D prokázal svou vhodnost aplikace v oblasti rovinných dynamických úloh. Firma Plaxis však dosud nevyvinula dynamický modul pro prostorové modelování a je tedy třeba v případech prostorových dynamických výpočtů využít jiných softwarových systémů – např. CESAR LCPC, MIDAS GTS. Jejich využití se předpokládá v dalších fázích výzkumu katedry geotechniky a podzemního stavitelství FAST.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za finančního přispění Grantové agentury ČR, projekt 105/07/0878.

LITERATURA

- [1] BRINKGREVE, R.B.J. *PLAXIS 2D- version 8 (manual)*. Balkema, 2002. ISBN 90-5809-508-8.
- [2] DOWRICK, D. J. *Earthquake Resistant Design*. 2 nd ed. New York : Wiley, 1987. ISBN 0-471-91503 3.
- [3] KALÁB Z. Impact of Seismicity on Surface in Mining Affected Areas: General Description. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2004, Vol. 1 (133), Prague, pp. 35-39. ISSN 1211-1910,
- [4] KEY, D. *Earthquake Design Practice for Buildings*. 1 st ed. London: Telford,, 1988. ISBN 0-7277 1315 9.
- [5] MÜLLEROVÁ ,J. & MÜLLER, K. & GRMELA, A. Geologické a hydrogeologické poměry vybraných lokalit Karvinska. *Sborník vědeckých prací VŠB-TU Ostrava, řada stavební*. 2008, VIII. Nr. 2, pp. 151-164. ISSN 1213-1962.
- [6] PITILAKIS, K.D.-ed. (2007): *Earthquake Geotechnical Engineering*. Proceedings of 4th Int. Conf., Springer, 487 pp., ISBN 978-1-4020-5892-9.

Oponentní posudek vypracoval:

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

Karel VOJTASÍK¹, Eva HRUBEŠOVÁ², Lukáš ĎURIŠ³

**POROVNÁNÍ STAVU NAPJATOSTI V PRŮŘEZU TUNELOVÉ OCELOBETONOVÉ
VÝZTUŽE STANOVENÉ DLE TEORIE SPOLUPRACUJÍCÍCH PRSTENCŮ A TEORIE
ŽELEZOBETONU**

**STRESS STATE CORRESPONDENCY IN CROSSECTION OF A TUNNEL STEEL CONCRETE
LINING FOR A COOPERATING RINGS THEORY AND A REINFORCED CONCRETE
THEORY**

Abstrakt

Článek uvádí poznatky z porovnání stavů napjatosti v ocelobetonovém profilu obdélníkového průřezu. Stav napjatosti je stanoven podle dvou různých přístupů. První, založený na teorii spolupracujících prstenců, je rozvíjen na katedře geotechniky. Druhým, referenčním, je teorie železobetonu, aplikovaná v pozemním stavitelství. Porovnání stavů napjatosti slouží k posouzení, zda lze metodu spolupracujících prstenců aplikovat k řešení stavu napjatosti v tunelových ostěních z ocelobetonových profilů a k vymezení, za jakých podmínek. Ověření bylo provedeno na ocelobetonovém profilu s prutovým příhradovým nosníkem.

Abstract

The paper exposes knowledge referring a correspondence of stress states in the cross-section of steel concrete lining. The two different theories size the stress states. The first a theory of cooperating rings is pursued at department of geotechnics. The second referential is a reinforced concrete theory in use at building construction habitually. The correspondence targets the evaluation of suitability and the working condition of a cooperating rings theory to state the stress in the cross-section of steel concrete lining. An investigation was work out on a steel concrete section having been endorsing by lattice girder.

1 ÚVOD

Profil primárního ocelobetonového ostění podzemních děl a železobetonový profil stavebních prvků jsou po materiální a formální stránce téměř identické konstrukce. V obou případech jsou konstrukčním materiálem beton (stříkaný beton u obezdívek) a ocelové pruty. Nejčastějším tvarem profilu je obdélník. Oba typy konstrukce profilu se odlišují v technologii provádění a způsobu zatěžování. Železobetonové stavební prvky jsou nejdříve zhotoveny, posléze instalovány a zatěžovány. Ocelobetonová ostění podzemních děl jsou vždy prováděna na místě a již během jejich provádění jsou zatěžována. Dalším zásadním rozdílem je, že ocelobetonová ostění jsou prováděna

¹ Doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), 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, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

³ Ing. Lukáš Ďuriš, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 948, e-mail: lukas.duris@vsb.cz.

etapovitě, protože technologie stříkaného betonu je limitována tloušťkou vrstvy, na kterou lze provést nástřik. Po uplynutí jisté doby, poté co předchozí vrstva stříkaného betonu utuhne a stane se samonosnou, se proces nástřiku opakuje, dokud tloušťka stříkaného betonu nedosáhne požadované velikosti. Dalším zásadním rozdílem je obloukovitý tvar konstrukce tunelového ostění. Zakřivení obloukové konstrukce ve vrcholu klenby, bocích a protiklenbě mají různé poloměry a podobně jsou různé i tloušťky nástřiku betonu. Konstrukce ostění je budována postupně. V prvních fázích je oblouková konstrukce zajišťující klenbu a boky neuzavřená. Teprve provedením protiklenby se konstrukce uzavírá a vytváří tuhý rám. Navrhování parametrů a posouzení únosnosti obloukové konstrukce provedené z ocelobetonu (stříkaný beton a ocelové pruty) v podmínkách určených výstavbou podzemního díla, které jsou charakterizovány etapovitostí provedení, obloukovitými konstrukcemi a časovou proměnlivostí geometrických a přetvárných parametrů ostění, vyžaduje metody, které jsou schopny uveřejnit okolnosti obsáhnout a exaktně kvantifikovat.

Teorie spolupracujících prstenců provádí materiálovou homogenizaci skutečného profilu ocelobetonového ostění, přičemž zůstává zachován tvar profilu, jeho výška a šířka. Materiálová homogenizace se týká pouze hodnot přetvárných parametrů materiálů - modulu pružnosti a Poissonova čísla - z nichž je profil konstruován. Jejím výsledkem je pro daný profil jediná hodnota modulu pružnosti. Tato hodnota je následně aplikována v dalších statických výpočtech k řešení vnitřních sil a deformací obloukové ocelobetonové konstrukce. Výsledkem procesu homogenizace jsou další proměnné, které umožňují přepočet stavu napětí v homogenizovaném profilu na stav napětí ve skutečných materiálech.

Článek je věnován porovnání výsledků stavu napjatosti, který je výsledkem výpočtů provedených dle teorie spolupracujících prstenců, se stavem napjatosti v profilu vypočítaném dle teorie železobetonu. Cílem srovnání je posoudit, do jaké míry a pro jaké podmínky lze stav napjatosti v profilu, stanovený dle teorie spolupracujících prstenců, považovat za objektivní.

2 TEORIE SPOLUPRACUJÍCÍCH PRSTENCŮ

Cílem teorie spolupracujících prstenců je odvození jediné hodnoty modulu pružnosti, která bude reprezentovat strukturu a konstrukční materiály (stříkaný beton, ocel) profilu ostění. Vlastní řešení tohoto cíle vychází z analytického modelu pro výpočet napěťo-deformačního stavu ve vícevrstevném kruhovém prstenci, který byl formulován (BULYTCHEV, 1982). Vnější zatížení na ostění, normálové i smykové, jsou rozpočtena na jednotlivé vrstvy - prstence, na které je ostění podle své struktury členěno. Tyto prstence mohou být homogenní, tvořeny jedním materiálem (beton), nebo nehomogenní, tvořeny dvěma materiály (beton a ocel; ocel a volný prostor). Rozpočet je uskutečněn pomocí tzv. přenosových koeficientů, které obecně plynou z podmínky spojitosti deformací na jednotlivých kontaktech mezi prstenci. Není zde zachována spojitost přenosu napětí na rozhraní dvou sousedních prstenců. Hodnota napětí na vnitřním okraji vnitřního prstence je rovna nule. Přenosové koeficienty jsou funkcemi tloušťek a přetvárných charakteristik skutečných materiálů jednotlivých prstenců (Poissonovo číslo, modul pružnosti). Z hodnot přenosových koeficientů jsou určeny velikosti napětí na jednotlivých kontaktech mezi prstenci. Výpočetní postup pro stanovení jednotné hodnoty modulu pružnosti nehomogenního ostění se člení do dvou dílčích kroků:

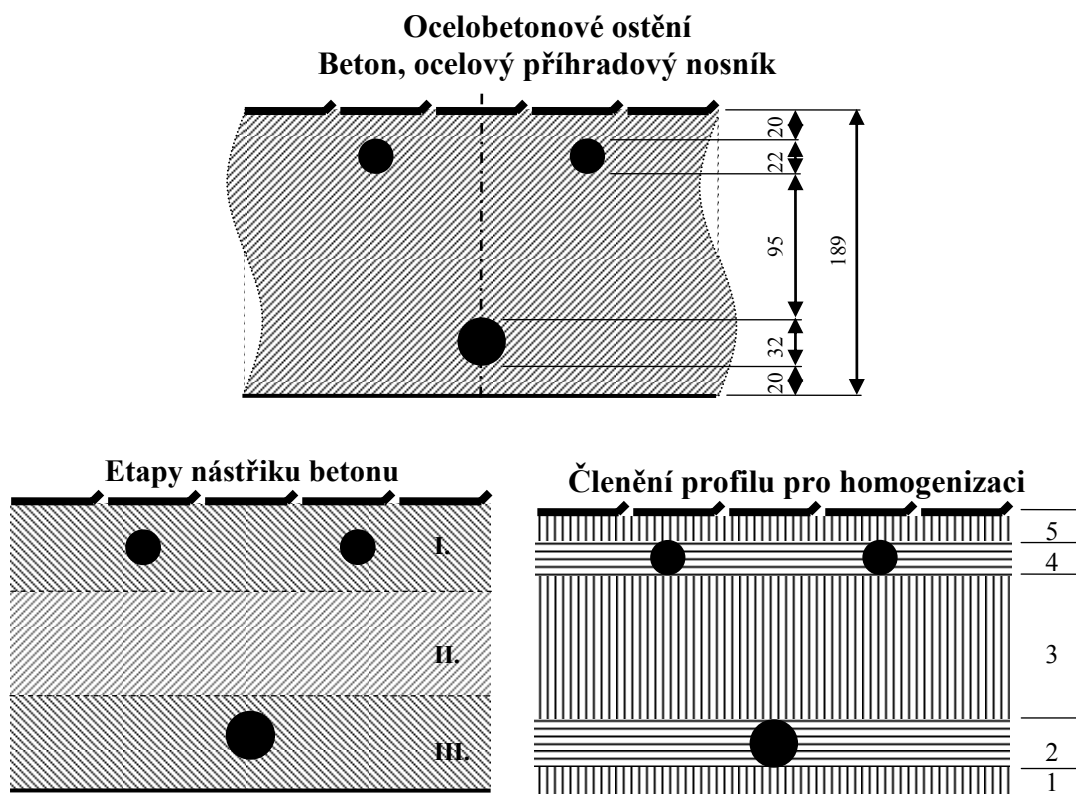
1) dílčí homogenizace materiálně nehomogenních prstenců (beton-ocel, ocel-volný prostor)

2) globální homogenizace dílčích prstenců, která probíhá postupně, vždy na dvou sousedních prstencích. V prvním kroku jsou homogenizovány dva první prstence, vnitřní prstenec a jeho soused. Dále se postup opakuje, k nově vzniklému (ze dvou předchozích prstenců) je připojen následující dílčí prstenec. Postup se opakuje dokud nejsou všechny prstence sloučeny do jednoho celku.

Výsledkem homogenizace je jediná hodnota modulu pružnosti, reprezentující strukturu a konstrukční materiály profilu ostění a přenosové koeficienty napětí. Z přenosových koeficientů napětí jsou dále odvozeny přerozdělovací koeficienty, které slouží pro zpětný výpočet hodnot napětí v krajních vláknech jednotlivých prstenců, homogenních i nehomogenních, ve skutečných materiálech, tj. v betonu a oceli. Celá teorie spolupracujících prstenců je podrobně uvedena v (ALDORF, J., HRUBEŠOVÁ, E., VOJTASÍK, K., ĎURIŠ, L., 2008)

3 METODA OVĚŘENÍ TEORIE SPOLUPRACUJÍCÍCH PRSTENCŮ

Ověření teorie spolupracujících prstenců je založeno na srovnání výsledků stavu napjatosti v profilu s referenčním stavem napjatosti, který je definován dle teorie železobetonu. Porovnání je provedeno pro typický profil ocelobetonového ostění, které má tloušťku 189 mm a je vyztužené příhradovým prutem ASTA 95 (obr.1).



Obr.1

Vnitřní poloměr oblouku konstrukce ostění je 3,5 m. Šířka pásu ostění a rozteč umístění příhradových prutů v ostění jsou rovny jednomu metru. Překrytí ocelových prvků příhradového prutu stříkaným betonem činí 20 mm. Moduly pružnosti betonu a oceli jsou 20 000 MPa pro beton, 210 000 MPa pro ocel. Poissonovo číslo je pro oba materiály rovno 0,2 a stejná hodnota je požadována i zadána pro homogenizovaný profil. Programem HOMO, který je založen na teorii spolupracujících prstenců, jsou vypočteny modul pružnosti homogenizovaného profilu a přerozdělovací koeficienty k přepočtu napětí v materiálech v jednotlivých prstencích. Pro řešenou konstrukci profilu ostění hodnota homogenizovaného modulu pružnosti činí 22 000 MPa a hodnoty přerozdělovacích koeficientů pro jednotlivé prstence jsou uvedeny v tabulce č.1. Z pohledu teorie železobetonu představuje ostění oboustranně vyztužený betonový profil obdélníkového tvaru, jehož rozměry jsou: výška „h“ 189 mm; šířka 1000 mm. Stupeň vyztužení profilu je cca 1 %.

Stav napjatosti v betonovém, popřípadě železobetonovém profilu, je obecně určen velikostmi hodnot vnitřních sil, tj. normálovou silou a ohybovým momentem (uvažován je případ rovinného zatížení konstrukce ostění). V případě malé excentricity v profilu budou působit jen tlaková napětí s extrémními hodnotami, minimem a maximem v krajních vláknech profilu. Za podmínek velké výstřednosti v profilu budou působit současně jak tlaková, tak tahová napětí. Za této situace je nutno

betonový profil vyztužit ocelovou výztuží na té části profilu, kde se očekávají tahová napětí. Možné je i vyztužení profilu na obou částech namáhaných jak tahovým, tak i tlakovým napětím. Prvky ocelové výztuže se umísťují ke krajním hranám profilu. Tloušťka překrytí ocelových prvků betonem je stanovena na 20 mm. Při současném tahovém a tlakovém namáhání stav napjatosti v profilu může být posuzován následujícími přístupy: betonový profil – s vyloučením tahu; betonový profil vyztužený ocelí – jednostranně vyztužený, nebo oboustranně vyztužený.

K ověření výsledků teorie spolupracujících prstenců byly aplikovány dva stavy napjatosti v profilu. První reprezentuje stav s malou excentricitou, druhý stav velkou excentricitu a oboustranně vyztužený profil.

Tab.1: Hodnoty přerozdělovacích koeficientů pro beton a ocel.

Varianta		Číslo prstence						E _{homo} [MPa]
		1	2	3	4		5	
1	beton	vnitřní poloměr	0,91	0,81	1,02	091	1,45	22 000
		vnější poloměr	0,91	0,81	1,02	0,91	1,45	
	ocel	vnitřní poloměr		9,54		9,46		
		vnější poloměr		9,54		9,46		

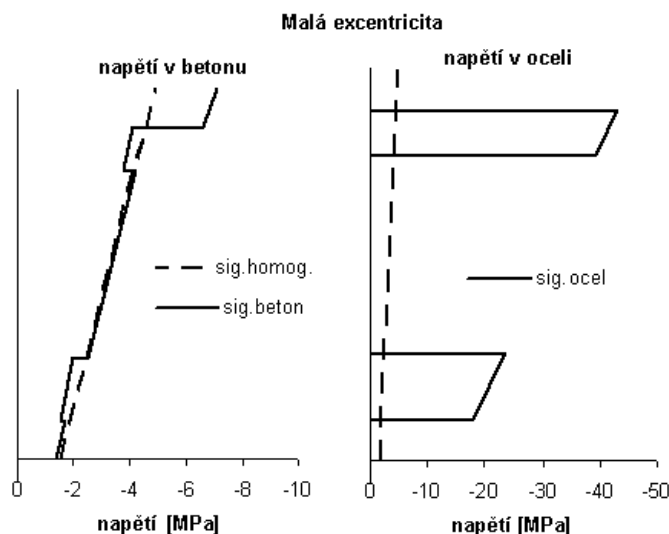
4 VÝSLEDKY

Výsledky výpočtů stavu napjatosti v profilu pro hodnoty vnitřních sil působících s malou a s velkou excentricitou jsou znázorněny graficky na obrázcích č. 2 (situace s malou excentricitou) a č. 3 (situace s velkou excentricitou).

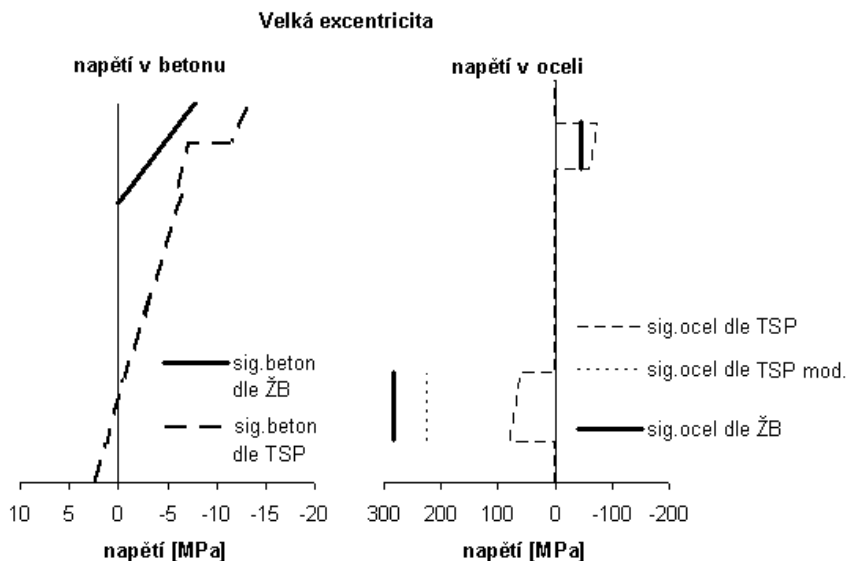
Za předpokladu malé excentricity působících vnitřních sil jsou hodnoty napjatosti v jednotlivých materiálech (betonu a oceli), stanovené prostřednictvím přerozdělovacích koeficientů (tabulka č.1) z hodnot napjatosti v homogenizovaném profilu, v souladu se skutečností. Průběh napjatosti v betonu napříč profilem není spojitý (sig.beton). Na úsecích, které odpovídají nehomogenním prstencům, dochází k skokové změně. Tato změna je dána nehomogenní strukturou prstence, tj. existencí dvou různých hodnot přetvárných parametrů (beton, ocel). Rovněž analogický, stupňovitý průběh lze očekávat i mezi dvěma homogenními prstenci, pokud tyto budou mít odlišné hodnoty přetvárných parametrů. Stupňovitý průběh je zákonitým projevem, který plyne z podmínky spojitosti deformací.

Pro situace s velkou výstředností se hodnoty a průběh stavu napjatosti dle teorie spolupracujících prstenců plně neshodují s řešením dle teorie železobetonu. Přesto, jak je patrné z obr. č.3, zde existuje obecná principiální shoda výsledků. Odlišnost výsledků dle teorie spolupracujících prstenců je daná podmínkami odvození této teorie. Hlavní rozdíl spočívá v okolnosti, že v teorii železobetonu je vyloučen beton z činnosti na té části profilu, kde dochází ke vzniku tahových napětí. Tato skutečnost je hlavní příčinou rozdílů, kterými jsou: různá poloha neutrální osy profilu a z toho plynoucí rozdílné délky úseku tlačené části profilu; odlišná maximální hodnota tlakového napětí v betonu v krajních vláknech profilu; výrazně odlišná hodnota tahového napětí v oceli v tažené části profilu. Maximální hodnota tlakového napětí v betonu v krajních vláknech v případě teorie spolupracujících prstenců je vyšší oproti řešení dle teorie železobetonu. Nejvýznamnější rozdíl je u oceli v tažené části profilu. Tahové napětí v oceli dle teorie železobetonu je až šestinásobkem hodnoty plynoucí z teorie spolupracujících prstenců. Mají-li být výsledky stavu napjatosti stanovené dle teorie spolupracujících prstenců za podmínek velké excentricity aplikovány k posouzení únosnosti profilu, je potřeba metodiku výpočtu napětí upravit tak, aby byla respektována okolnost vyloučení tahových napětí v betonu a hodnota tahového napětí v betonu byla připočtena k stavu napětí v oceli. Na obrázku č.3 je uvedena hodnota napětí v oceli v tažené části profilu

(sig. ocel dle TSP mod), která byla stanovena dle výše navržené úpravy. Její velikost je součtem hodnoty tahového napětí, stanovené dle teorie spolupracujících prstenců (sig. ocel dle TSP), a hodnoty plynoucí z vyloučení tahu v betonu. Tato je stanovena z maximální hodnoty tahového napětí v betonu v krajních vláknech na tažené části profilu, určené dle teorie spolupracujících prstenců, a délky úseku, na kterém budou působit tahová napětí (dle teorie ŽB). I po této úpravě výpočtu stavu napětí v oceli na tažené části profilu je hodnota napětí v oceli menší, než je tomu v případě výpočtu dle teorie železobetonu. Nicméně došlo k výraznému snížení existujícího rozdílu v napětí ocelového prvku.



Obr.2: Stav napjatosti v profilu ostění stanovený dle teorie spolupracujících prstenců – malá excentricita působících vnitřních sil.



Obr.3: Porovnání stavů napjatosti v profilu ostění stanovených dle teorie spolupracujících prstenců (TSP) a teorie železobetonu (ŽB) pro oboustranně vyztužený profil – velká excentricita působících vnitřních sil.

5 ZÁVĚR

Dle teorie spolupracujících prstenců lze provádět výpočty stavu napjatosti v kompozitních typech profilů, u kterých se ve stavbě profilu kombinují různé materiály, které disponují jak tlakovou, tak i srovnatelnou tahovou pevností, to ale není případ ocelobetonových ostění.

V případě ocelobetonového ostění, kdy pevnost betonu v tahu je asi jednou desetinou pevnosti v tlaku, a za situace vnitřních sil působících s velkou excentricitou, kdy část profilu je namáhána tahem, nelze teorii spolupracujících prstenců přímo aplikovat. Zpětný přepočítání stavu napětí do betonu a oceli je založen na přerozdělovacích koeficientech, kterými jsou přenášeny hodnoty napětí. Samotná teorie spolupracujících prstenců pomíjí skutečnost, že na tažené části profilu jsou v betonu vyloučena tahová napětí a jejich hodnota je připočítána k tahovému napětí v ocelových prvcích. V tomto smyslu je nutné zpětný výpočet napjatosti pro taženou část profilu ostění modifikovat, aby byla zohledněna i tato podstatná okolnost.

Uvedený poznatek, omezující platnosti výsledků výpočtu stavu napjatosti v ocelobetonovém profilu, nezpochybňuje tuto teorii, která je zaměřena v první řadě na stanovení reprezentativních přetvárných parametrů materiálů kombinovaných ostění. S respektováním výše uvedených poznatků mohou být její výsledky použity i pro hodnocení únosnosti profilů namáhaných vnitřními silami, působících s velkou excentricitou.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního příspěví Grantové agentury ČR, projekt 103/09/1438 Výzkum pevnostních a přetvárných vlastností ostění ze stříkaného betonu vyztužených tuhými ocelovými prvky

LITERATURA

- [1] BULYTCHEV, N. C. *Mechanika podzemnych sooruzenij*. Moskva : NEDRA, 1982. 270 pp.
- [2] ALDORF, J., HRUBEŠOVÁ, E., VOJTASÍK, K., ĎURIŠ, L. Alternativní způsob stanovení tuhosti betonového ostění vyztuženého válcovými prvky. *Sborník 3. konference Beton v podzemních a základových konstrukcích*. Praha : CBS Servis,s.r.o., 2008, pp. 119-124. ISBN 978-80-87158-05-0.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Jan PRUŠKA., FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29, Praha 6.

Lukáš ČÁBI¹, Pavel VLČEK²

BETONÁŽ TUNELŮ POMOCÍ BEDNICÍCH FOREM FIRMY PERI

CONCRETING OF TUNNELS WITH FORMWORK BY PERI

Abstrakt

Projekt je zaměřen na výstavbu tunelových staveb, které se nachází v jižní části pražského okruhu, jehož funkcí bude odlehčení zatížené sítě městských komunikací a propojení všech dálnic a rychlostních silnic u Prahy.

Hlavním cílem projektu je představit bednicí formy firmy PERI. Je popsán konstrukční systém bednicí formy. V projektu jsou uvedeny poznatky o provádění a využití bednění pro betonáž.

Abstract

The project focuses on building of tunnels located in southern part of the Prague circuit, which aims at easing of overloaded net of urban communication and interconnection of all motorways and speedways near Prague.

The main target of the project is to introduce the formwork by PERI company. The construction system of the formwork is described. The project provides pieces of knowledge on performing and use of the formwork for concreting.

1 HISTORIE A NÁPLŇ PRÁCE FIRMY PERI

Firma PERI byla založena v lednu 1969 ve Weissehornu (Německo). Patří mezi tři největší výrobce systémového bednění a lešení na světě. Firma vlastní celkem 47 národních dceřiných společností, což firmu PERI řadí vzhledem k ročnímu obratu mezi 50 nejvlivnějších firem ve spolkové zemi Bavorsko (Německo).

V roce 1994 byla založena česká pobočka firmy PERI. V této době začal rychlý rozvoj stavebnictví v České republice a firma začala dodávat systémové bednění pro referenční stavby. Po určité době bylo ve firmě založeno oddělení lešení, které se velmi rychle adaptovalo na stavebním trhu a začalo nabízet kvalitní služby. V současné době jsou ve firmě celkem 4 technická oddělení (bednění, lešení, mostní konstrukce a speciální konstrukce), které nabízejí své služby v různých odvětvích stavitelství.

Oddělení tunelových a speciálních konstrukcí bylo založeno v roce 2000. Cílem založení bylo vytvořit oddělení, které bude provádět návrhy bednění atypických konstrukcí ve stavebnictví. Většina projektů tohoto oddělení je zaměřena na dopravní stavitelství, ve kterém se návrhy bednění specializují zejména na :

- bednění tunelů a štol (Obr. 1),
- bednění říms mostních konstrukcí pomocí římsového vozíku,
- bednicí konstrukce spřaženého mostu (Obr. 2).

¹ Ing. Lukáš Čábí, Ph.D., PERI spol. s r. o., Průmyslová 392, 252 42 Jesenice, tel.: (+420) 222 359 462, e-mail: l.cabi@peri.cz.

² Ing. Pavel Vlček, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 322, e-mail: pavel.vlcek1@vsb.cz.



Obr.1: Bednicí forma PERI tunelu (foto PERI s.r.o. ©)



Obr.2: Bednicí forma PERI sprážené mostní konstrukce (foto PERI s.r.o. ©).

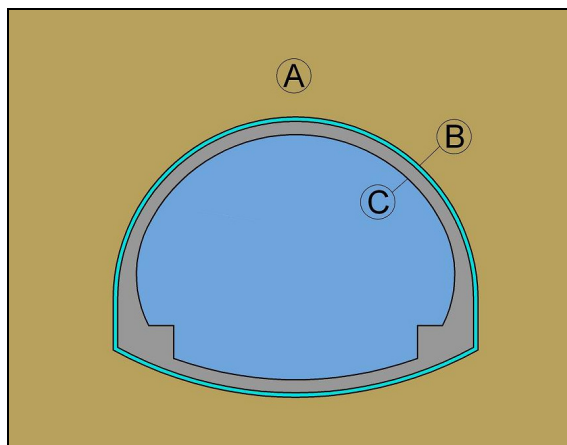
2 BEDNICÍ FORMY PODLE KONSTRUKCE TUNELU

Tunel je podzemní liniová stavba, jejíž základní charakteristikou je převládající délka stavby proti šířce a výšce. Světlý průřez je větší než 16 m^2 [1]. V současné době se ve stavitelství setkáváme s několika různými druhy výstavby tunelů, mezi které patří především ražený tunel (ražená podzemní stavba) nebo hloubený tunel (hloubená podzemní stavba). Ražený tunel (Obr. 3) je stavební dílo, jehož výstavba se provádí bez odstranění nadloží, tedy buď klasickým hornickým způsobem, nebo za použití některé z tunelářských metod. Konvenční ražení podle zásad nové rakouské tunelářské metody (NRTM) je v současnosti nejrozšířenější metodou ražení tunelů ve skalních a poloskalních horninách. Ostění konvenčně ražených tunelů mají zpravidla dvě vrstvy:

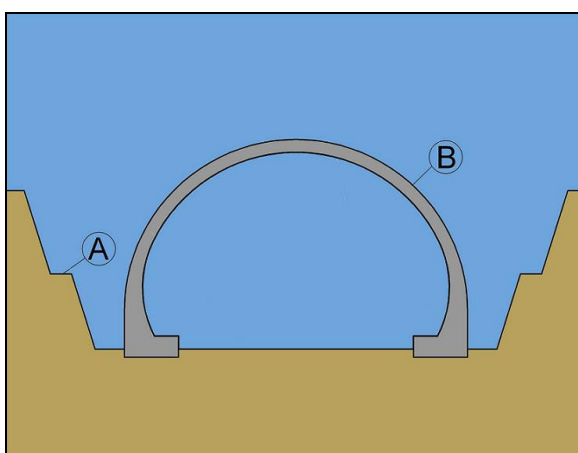
- primární ostění ze stříkaného betonu vyztuženého sítěmi, ocelovými oblouky a kotvami (svorníky),
- monolitické sekundární ostění z prostého nebo vyztuženého betonu [4].

Hloubený tunel (Obr. 4) je stavební dílo, jehož výstavba se provádí v otevřené stavební jámě nebo šachtě. Jedná se tedy o způsob výstavby podzemních staveb prováděný z povrchu a po vybudování se hotové dílo zakryje nebo zasype [1].

Bednění je pomocná konstrukce vytvářející formu určenou k vyplnění amorfním stavebním materiálem. Ve vyplněné formě tento materiál působením fyzikálních nebo chemických procesů ztuhne a ztvrdne, takže nakonec lze pomocnou konstrukci odstranit [2]. Pro splnění technologicko konstrukčních podmínek (např. těsnost bednění, přesnost bednění, únosnost a stabilita, bezpečnost) je důležitá volba materiálu a typu bednění, aby vyhověla stanovenému kritériu optima, kterým jsou obvykle celkové náklady na zhotovovanou železobetonovou konstrukci, nebo čas potřebný k jejímu vybudování [2].



Obr.3: Ražený tunel, A – horninový masiv, B – primární ostění, C – sekundární ostění.



Obr.4: Hloubený tunel, A – hloubená jáma, B – ostění tunelu.

Betonáž ostění tunelu se provádí pomocí pojízdné bednicí formy (bednicího vozu). Bednicí vůz se pohybuje po kolejnicích, umístěných na betonových základových pásech tunelu. Bednění je samonosné a při povolených limitních deformacích musí přenést i tíhu čerstvého betonu [3].

Bednění firmy PERI pro hloubené nebo ražené tunely jsou charakterizovány jako systémové bednění [2], které je tvořeno souborem (systémem) továrně vyráběných prvků. Spojování prvků systémového bednění je málo pracné, bednicí formy z nich vytvořené se vyznačují velkou přesností. Prvky systémového bednění jsou vyráběny z kvalitních trvanlivých materiálů, čímž může být docíleno při technologické kázní velkého počtu opakovaného použití.

V současnosti jsou silniční a železniční tunely v podélném směru z hlediska provádění stavby rozděleny na raženou a hloubenou část. Pro obě části tunelu může být použit pouze jeden typ bednicí formy.

V praxi se však často setkáváme se situací, kdy jsou z ekonomických nebo časových důvodů použity dva různé typy bednicích forem tunelu. *Typ A – Bednicí forma pro hloubené tunely* (Obr. 5), která je použita v otevřené stavební jámě – pažené nebo svahované. Mezi výhody této bednicí formy patří:

- rychlá montáž/demontáž,
- hmotnost,
- cena.



Obr.5: Bednicí forma pro hloubené tunely (foto PERI s.r.o. ©).

Typ B – Bednicí forma pro ražené tunely (Obr. 6), která je použita při betonáži monolitického sekundárního ostění tunelu. Ve srovnání s bednicí formou typu A je tato bednicí forma konstrukčně vyspělejší, ale také dražší. Z těchto důvodů stoupá význam dobré organizace práce, aby byla forma co nejefektivněji použita a tím zkrátila dobu výstavby. Pro budování definitivních konstrukcí je rychlost postupu betonáže sekundárního ostění závislá na délce a počtu nasazených bednicích forem (vozů). Rychlost betonáže sekundárního ostění dosahuje 150 až 300 m za měsíc na jeden bednicí vůz délky 10 m [3].



Obr.6: Bednicí forma pro ražené tunely (foto PERI s.r.o. ©)

3 KONSTRUKCE BEDNICÍCH FOREM PRO HLOUBENÉ TUNELY

Základ bednicí formy firmy PERI pro hloubenou část tunelu tvoří nosná příhradovina (Obr. 7) z ocelových profilů, která přenáší zatížení betonové směsi a provozní zatížení do podloží. Jednotlivé nosné příhradoviny jsou v podélném směru spojeny ocelovými profily, které rovněž zajišťují tužení bednicí formy.

Na konstrukci nosné příhradoviny se postupně osazují obloukové brány (Obr. 8), jejichž poloha se stabilizuje pomocí ocelových vzpěr. Následně jsou na jednotlivé obloukové brány rozmístěny dřevěné nosníky, které jsou opláštěny dřevěnou překližkou.

Pohyb bednicí formy do dalšího pracovního záběru je zajištěn pomocí ocelových rolen, které pojíždějí po ocelových kolejních. Jednotlivé teleskopické sloupky jsou spojeny s podélným ocelovým nosníkem, ke kterému jsou připojeny ocelové rolny zaručující bezproblémový posun

do dalšího pracovního záběru. Součástí bednicí formy je rovněž adaptér příčného posunu, který zaručuje nastavení bednicího pláště v příčném směru do požadované polohy.



Obr.7: Nosná příhradovina bednicí formy PERI (foto PERI s.r.o. ©).

Vnitřní bednicí forma hloubeného tunelu je doplněna vnějším bedněním – záklopem (Obr. 9), jehož poloha a spolupůsobení s vnitřní formou je zajištěna prostřednictvím ocelových táhel. V praxi se můžeme setkat s využitím vnějšího ocelového bednění (Obr. 10), které je součástí ocelové bednicí formy pro ražené části tunelů.



Obr.8: Osazení GRV bran do bednicí formy PERI (foto PERI s.r.o. ©).

Důležitým prvkem bednicí formy je bednicí plášť [2]. Pláštěm nazýváme tu část bednění, která je v přímém kontaktu s čerstvým betonem. Vlastnosti pláště jsou rozhodující pro výslednou kvalitu povrchu betonové konstrukce. Jako materiál bednicího pláště firmy PERI jsou používány dřevěné překližky dodávané v různých variantách. Pro bednicí formy tunelů se nejčastěji používají:

1. Třívrstvé překližky tloušťky 21 mm (velkoplošná betonářská deska oboustranně potažená melaminovou pryskyřicí).
2. Překližky tloušťky 9 mm pro pohledový beton (křížem lepená březová dýha, oboustranně potažená zesíleným povlakem z fenolové pryskyřice).
3. Vložkové překližky tloušťky 4 nebo 8 mm (3 nebo 5vrstvá překližka oboustranně potažená povlakem z fenolové pryskyřice).



Obr.9: Vnější bednění - záklop PERI (foto PERI s.r.o. ©).



Obr.10: Ocelové vnější bednění – záklop (foto PERI s.r.o. ©).

4 BETONÁŽ HLOUBENÉHO TUNELU POMOCÍ BEDNICÍ FORMY PERI

Betonáž běžného pracovního úseku tunelu (Obr. 11 a 12) spočívá v naplnění bednicí formy, která se skládá z vnějšího a vnitřního pláště, čerstvou betonovou směsí. Vnitřní a vnější plášť bednicí formy se navzájem spojuje v předepsaných bodech pomocí ocelových táhel zajištěných kloubovými maticemi. Při návrhu polohy táhel je důležité, aby hlavní výztuž tunelu nebránila průchodu táhel a distančním trubkám. Pro plnění bednicí formy tunelu čerstvou betonovou směsí se používají napouštěcí otvory, které jsou součástí bednicí formy. Dokonalé vyplnění volného prostoru kolem hlavní výztuže tunelu se zajistí příložnými vibrátory, které jsou osazeny na vnitřní a vnější plášť bednicí formy.



Obr.11: Bednicí forma běžného pracovního úseku (foto PERI s.r.o. ©).

Konstrukce tunelu je na začátku a na konci tvořena portálovým úsekem, který je charakteristický svým atypickým tvarem. Z tohoto důvodu nemůže být návrh bednění portálového úseku proveden s velkou přesností a předmontované bednění (Obr. 13) musí být doplněno bedněním provedeným přímo na staveništi, což prodražuje a zpomaluje výstavbu tunelu. Pro kvalitní provedení betonáže se doporučuje zvolit pracovní spáru mezi portálovým blokem a límcem portálu. V praxi je často kladen požadavek na provedení betonáže obou prvků bez pracovní spáry, což je však za určitých podmínek velice komplikovaná a nákladná práce.



Obr.12: Bednicí forma běžného pracovního úseku (foto PERI s.r.o. ©).

Nedílnou součástí portálového úseku je límec portálu, který plní i estetickou funkci. Z tohoto důvodu je kladen velký nárok na vysokou kvalitu provedení límce portálu (Obr. 14). Vzhledem k faktu, že čas potřebný pro návrh bednění běžné stavební konstrukce a čas potřebný pro návrh bednění límce portálu tunelu je diametrálně rozdílný, není návrh bednění límce pro projekční kancelář ekonomicky zajímavý. Proto je přijatelnější použít pro návrh jiný typ bednění, který by čas a cenu provedení bednění výrazně snížil (např. bednění z ocelových plechů).



Obr.13: Vnější bednění portálového bloku tunelu (foto PERI s.r.o. ©).



Obr.14: Bednění límce portálu tunelu (foto PERI s.r.o. ©).

Oddělení speciálních konstrukcí firmy PERI navrhuje bednicí formy pro výstavbu silničních a železničních tunelů. Vzhledem ke spolehlivosti, kvalitě, ceně a variabilitě bednění byly bednicí formy nasazeny nejen na území České republiky, ale i v zahraničí (Slovensko a Polsko). Tento fakt dokazuje konkurenceschopnost bednicích forem firmy PERI i na mezinárodním trhu.

LITERATURA

- [1] ALDORF, J. – KOŘÍNEK, R. – KALANDRA, D. – KOMENDA, L.: *Geotechnické stavby*. Vydavatelství VŠB – TU Ostrava, Ostrava 1984.
- [2] LADRA, J. – MUSIL, F. – POSPÍCHAL, V. – SVOBODA, P.: *Technologie staveb 11 – Realizace železobetonové monolitické konstrukce budov*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2002, ISBN 80-01-02487-3.
- [3] KLEPSATEL, F. - KUSÝ, P. - MAŘÍK, L.: *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Vydavatelství Jaga group, Bratislava 2003, ISBN 80-88905-43-5.
- [4] KLEPSATEL, F. – MAŘÍK, L. – FRANKOVSKÝ, M.: *Městské podzemní stavby*. Vydavatelství Jaga group, Bratislava 2005, ISBN 80-8076-021-7.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Miroslav Hamřík. Minova – Bohemia s.r.o., Lihovarská 10, 713 03 Ostrava - Radvanice.

Radek FABIAN¹, Filip ČMIEL²

POSOUZENÍ KONSTRUKČNÍCH OPATŘENÍ TERMORIZNÍM MĚŘENÍM

ASSESSMENT OF STRUCTURAL MEASURES BY THERMOCAMERA

Abstrakt

Termovizní kamera může být využita k posuzování obvodových plášťů budov. Tepelné mosty a jejich závažnost může být odhalena termokamerou. Využili jsme tato měření k určení tepelných mostů a k posouzení konstrukčních opatření pro zlepšení tepelně-technických parametrů obvodového pláště.

Abstract

Thermocamera can be used for assessment of building envelope. Cold bridges and their seriousness can be detected by thermocamera. We used these measurements for detection of cold bridges and then for assessment of improving steps on the building envelope.

1 ÚVOD

Termovizní měření lze považovat za moderní způsob kontroly obvodových plášťů a detekce případných slabých míst - tepelných mostů. V dnešní době se stává termovizní měření standardem a v našem případě nám posloužilo k zhodnocení efektivnosti provedených konstrukčních opatření u objektu T 06-B z Prefy Olomouc. Termovizní měření jsme zaměřili jak na obvodové konstrukce objektu, tak na vliv tepelných mostů a na dopad následných opatření v interiéru.

2 POPIS OBJEKTU

Měření se týkalo objektu konstrukční soustavy T 06 – B z Prefy Olomouc. Panelový bytový dům byl realizován na ulici Vítězná v Rožnově pod Radhoštěm v roce 1988, kdy nové sídliště vznikalo. Pozornost jsme zaměřili na styk obvodového panelu s lodžiovou stěnou, kde bylo viditelně napadení plísní (Obr.1). Tento kout místnosti byl v první fázi, s ohledem na zdraví uživatelů, chemicky sanován Savem na plísně. Následovalo mechanické odstranění plísní spočívající ve stržení tapet. Následovala sanace obnažených panelů, které byly po vyschnutí vytapetovány.

Obvodový plášť je sestaven z nosné železobetonové vrstvy 145 mm tlusté, tepelně izolační funkce je zajištěna vrstvou pěnového polystyrenu o celkové tloušťce 80 mm, která je chráněna proti povětrnostním vnějším vlivům 55 mm tlustou vrstvou betonu se sypanou povrchovou úpravou (10 mm). Součinitel prostupu tepla sendvičového obvodového panelu je $U = 0,47 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]}$.

Lodžiová stěna je sestavena ze schodišťového nosného panelu tloušťky 140 mm, který je v místě lodžie doplněn 150 mm tlustou dodatečnou tepelnou izolací z pěnového polystyrenu, která je

¹ Ing. Radek Fabian, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 913, e-mail: radek.fabian@vsb.cz.

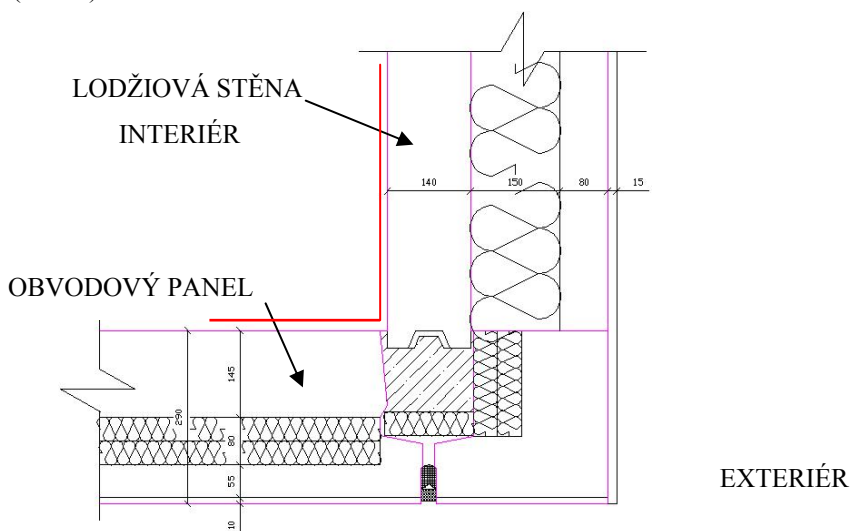
² Ing. Filip Čmiel, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 337, e-mail: filip.cmiel@vsb.cz.

chráněna proti povětrnostním vlivům přidruženým ochranným železobetonovým panelem, v tomto případě se jedná o příčkový panel tl. 80 mm upravený nástřikovou omítkou.



Obr.1: Kout napadený plísní.

Styk je chráněn rohovým železobetonovým prvkem, který je doplněn tepelnou izolací z pěnového polystyrenu tl. 80 mm. Do místa zmonolitnění obou panelů se vkládala 40 mm vrstva pěnového polystyrenu (Obr. 2).



Obr.2: Detail styku obvodového panelu a lodžiové stěny

Vnitřní stěny jsou ze železobetonových panelů tloušťky 140 mm. Stropní konstrukci tvoří železobetonové desky o tloušťce 150 mm. Oblast napadení konstrukce je červeně znázorněna v detailu (Obr. 2).

3 OKRAJOVÉ PODMÍNKY MĚŘENÍ

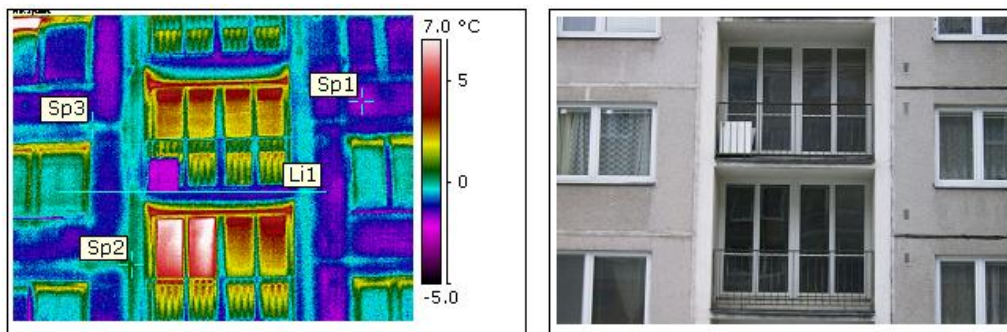
Termovizní měření bylo provedeno na severní fasádě měřeného objektu 15. 2. 2008 dopoledne v Rožnově pod Radhoštěm. Obloha byla částečně zatažená. Teplota venkovního vzduchu dosáhla -4°C, relativní vlhkost venkovního vzduchu byla 81 %.

Teplota vnitřního vzduchu na chodbě byla + 14 °C a relativní vlhkost vnitřního vzduchu dosáhla hodnoty 34 %.

Teplota vnitřního vzduchu v pokoji neupraveného objektu byla + 19 °C a relativní vlhkost vnitřního vzduchu byla 46 %. Teplota rosného bodu byla 6,81 °C a kritická povrchová teplota byla 10,1 °C.

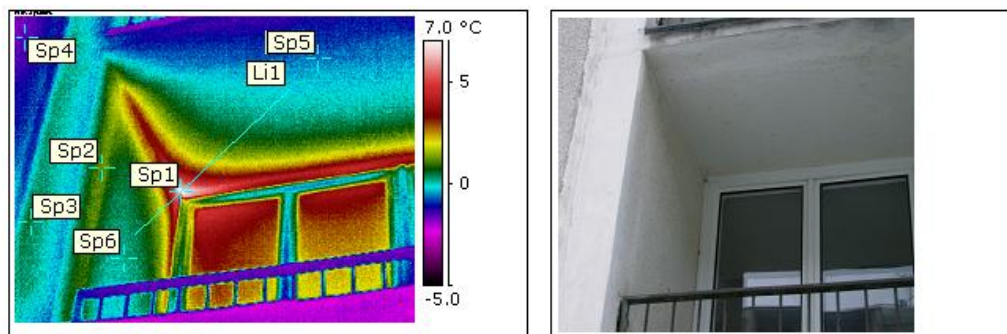
4 VÝSTUPY Z MĚŘENÍ

Na prvním termosnímku (Obr. 3) je pohled na mezipodestové lodžie. Největší úniky tepla jsou lodžiovou deskou. Menší úniky tepla venkovním koutem (Sp1 = - 1,6 °C, Sp2 = 0,5 °C, Sp3 = - 0,1 °C). V některých místech jsou patrné styky izolačních desek pěnového polystyrenu.



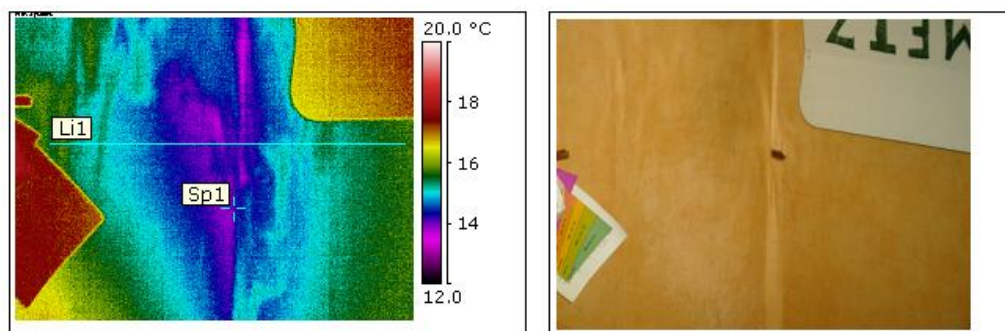
Obr.3: Severní pohled na mezipodestové lodžie

Na Obr. 4 lze lépe vidět tepelná pole v koutě lodžie, kde bylo naměřeno 7,1 °C (Sp1). Dobře patrný je styk obvodového panelu se schodišťovou stěnou projevující se vyššími povrchovými teplotami (Sp2 = 1,1 °C).



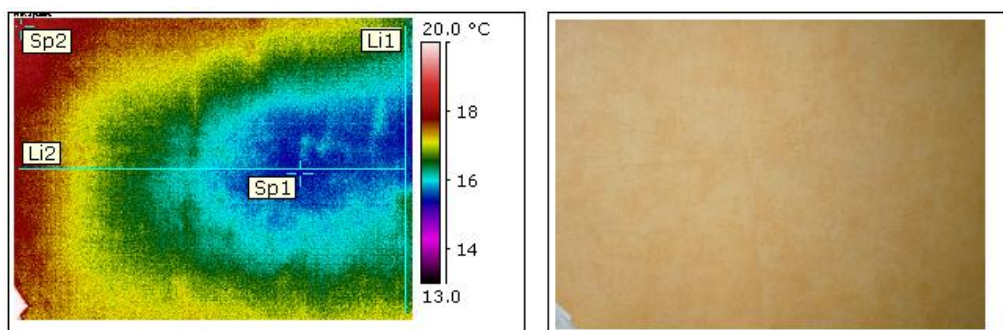
Obr.4: Detail mezipodestové lodžie

Pro lepší představu, co mohlo být příčinou výskytu plísní, proběhlo termovizní měření také v interiéru. Na termosnímku (Obr. 5) lze pozorovat, že plíseň přibližně kopírovala oblasti s nižšími povrchovými teplotami, které plísním lépe vyhovují. V bodě Sp1 byla naměřena povrchová teplota 14 °C. V rohu místnosti lze pozorovat korodující výztuž, která je dokladem nekvalitní výroby železobetonových panelů. Takže naměřené povrchové teploty nedosáhly ani hodnot kritické povrchové teploty.



Obr.5: Kout po povrchové sanaci plísní.

Na posledním termogramu (Obr. 6) jsou patrné tepelná pole povrchových teplot, které jsou vyvolány tepelným mostem způsobeným lodžiovou deskou. Mimo vliv tohoto tepelného mostu byla naměřena povrchová teplota 18,2°C (Sp2). Nejnižší naměřená povrchová teplota v tomto místě byla 14,1 °C.



Obr.6: Schodišťová stěna s patrným vlivem lodžiové desky.

Pozoruhodný je rozdíl teplot v bodu Sp2 v rohu snímku, kde bylo naměřeno 18,2 °C a uprostřed panelu v bodu Sp1, kde bylo před rekonstrukcí naměřeno 14,1 °C, tedy rozdíl 4,1 °C mezi místem v blízkosti ochlazované spáry a místem maximálně účinné tepelné izolace.

5 POPIS KONSTRUKČNÍCH OPATŘENÍ

Problematika plísní a snaha o úspory energií na provoz budov vedly v tomto objektu ke konstrukčním úpravám. Došlo k zazdění bývalých mezipodestových lodžii s vestavěnými plastovými okny. Tím byla zachována větrací a osvětlovací funkce a zároveň došlo ke snížení hodnoty faktoru tvaru budovy. Zazděním se bývalé mezipodestové lodžie staly vnitřními prostory, severní fasáda už není tak prostorově členitá a zazděním bývalých lodžii došlo ke snížení rozlohy ochlazovaných ploch. Toto opatření změnilo i okrajové podmínky v této části objektu, protože lodžiová bývalá stěna není v přímém kontaktu s venkovním prostředím. Vliv tepelného mostu, který vytvářela lodžiová deska je tak nižší.

Z konstrukčních důvodů k odstranění plísní došlo k zateplení celé severní fasády kontaktním zateplovacím systémem Terranova tloušťky 100 mm, který byl opatřen silikátovou omítkou.

6 POPIS MĚŘENÍ

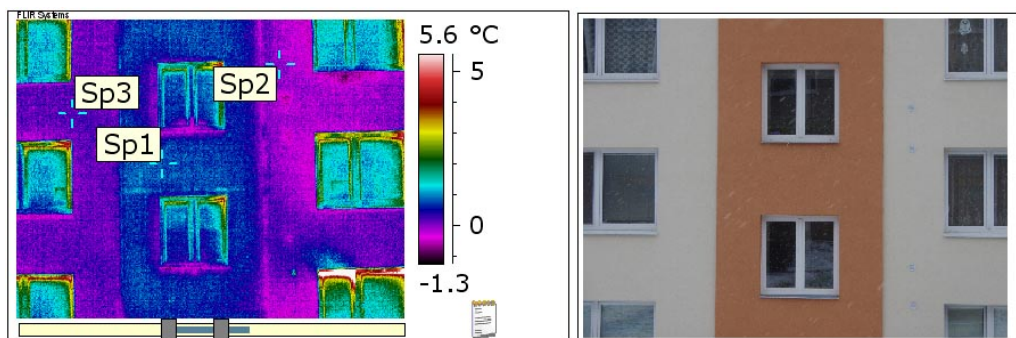
V období po prvním měření byla provedena rekonstrukce, po které následovalo druhé měření, uvedené dále.

Opětovné termovizní měření proběhlo na severní fasádě téhož objektu 11. 2. 2009 dopoledne, kdy teplota venkovního vzduchu byla $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ s relativní vlhkostí 85 %.

Na chodbě byla teplota vnitřního vzduchu $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost vnitřního vzduchu dosáhla 45%. V bytě byla naměřena teplota $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost vnitřního vzduchu byla 65%. Teplota rosného bodu byla $16,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ a kritická povrchová teplota dosáhla $19,61\text{ }^{\circ}\text{C}$.

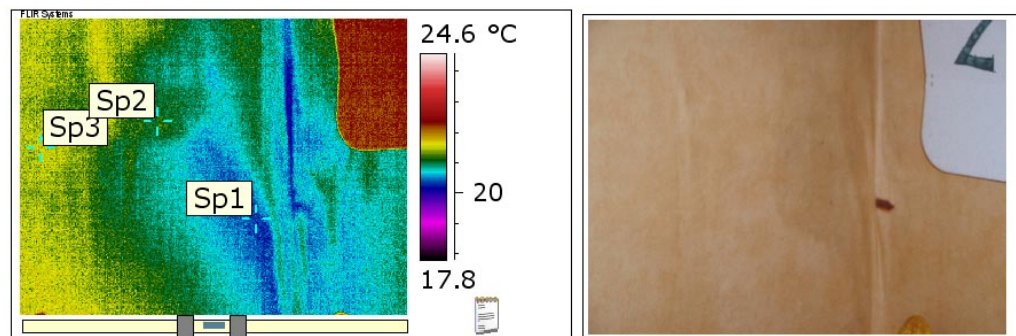
7 VÝSTUPY Z MĚŘENÍ

Na prvním snímku z nového měření (Obr. 7) už nejsou patrné prostupy tepla způsobené mezipodestovými lodžiemi. Povrchové teploty se liší řádově v desetinách stupně Celsia ($Sp1 = 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Sp2 = -0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Sp3 = 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) v porovnání s předchozím měřením, kde rozdíl naměřených povrchových teplot byl až několik stupňů.



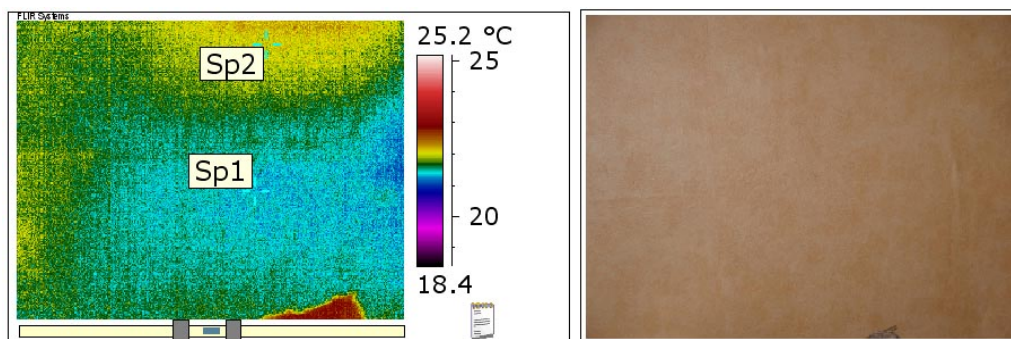
Obr.7: Severní pohled na upravené mezipodestové lodžie.

Pro zjištění vlivu provedených konstrukčních opatření proběhlo termovizní měření i v samotném bytě. Na termosnímku (Obr. 8) je zachycen stejný kout jako při minulém měření z 15. 2. 2008. Opět je patrná oblast, která byla podobná i při minulém termovizním měření. Příčinou je vyšší vlhkost v konstrukci. Efektivitu provedených opatření dokládají naměřené hodnoty ($Sp1 = 20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Sp2 = 21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Sp3 = 21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), které se pohybovaly v rozmezí od $20,2$ do $21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr.8: Napadený kout plísní rok po povrchové sanaci a následné konstrukční úpravě.

Obdobné měření proběhlo i na místě, kde byl dříve patrný vliv tepelného mostu na povrchové teploty konstrukce (Obr. 9). Na posledním termosnímku vidíme rozdíl povrchových teplot do $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($Sp1 = 21,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Sp2 = 22,1\text{ }^{\circ}\text{C}$). V předchozím měření z 15. 2. 2008 rozdíl povrchových teplot přesahoval $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je tedy patrné, že rekonstrukce měla značný účinek.



Obr.9: Schodišťová stěna s patrným vlivem lodžiové desky po konstrukčních úpravách.

8 ZÁVĚR

Měření termovizní kamerou se vyznačuje nedestruktivním přístupem měření tepelně-technických závad v obvodových pláštích budov a lze ho využít ke kontrole kvality provedených konstrukčních opatření, která mohou vést ke zlepšení tepelně-technických parametrů konstrukcí a mikroklimatu v interiérech budov. Výsledek měření může být ovlivněn několika faktory, proto je vhodné jej doplnit kontrolním kontaktním měřením v charakteristických bodech na povrchu snímaného objektu, znalostí skladby měřené konstrukce, doplňkovým šetřením, sondami, výpočty apod. Nedodržení základních pravidel pro měření či nesprávná interpretace výsledků může vést k chybným závěrům a v důsledku toho i k nesprávnému návrhu řešení.

Naše první termovizní měření poukázalo na závažný tepelný most v obvodové konstrukci, který byl tím závažnější, že výskyt plísní v tomto místě působil negativně na zdraví uživatelů. Následné termovizní měření prokázalo uspokojivou efektivitu provedených konstrukčních opatření. Vliv lodžiových desek je po těchto úpravách minimální a jeví se jako ideální řešení těchto problémových míst v konstrukční panelové soustavě T 06-B z Prefy Olomouc.

Zabarvení termografických snímků obvodového pláště panelového bytového domu po zateplení prokazují vylepšení jejich tepelně technických vlastností oproti stavu před zateplením. Z intenzity zabarvení jednotlivých termovizních snímků je patrné, že se snížil po provedeném zateplení tepelný tok obvodovým pláštěm panelového domu a také klesly jejich venkovní povrchové teploty.

LITERATURA

- [1] WASSERBAUER, R. *Biologické znehodnocení staveb*. Praha: ABF,a.s., Nakladatelství ARCH. 2000. 280 s. ISBN 80-86165-30-2.
- [2] Paříková, J., Kučerová, I., *Jak likvidovat plísně*. Praha: Grada Publishing, spol. s r.o., 2001. 100 s. ISBN 80-247-9029-7.
- [3] Šála, J. *Zateplování budov*. Praha: Grada Publishing, spol. s r. o., 2000. 176 s. ISBN 80-7169-833-4.
- [4] ČSN 73 0540-3 *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Vydavatelství ČNI. 2005. 96 s.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jiří Klíma, Slezská projektová společnost, spol s r.o. Opava, Hradecká 2594/3.

Marcela HALÍŘOVÁ¹

SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA - NEOPOMENUTELNÉ KRITÉRIUM PŘÍČEK

HEAT PASSAGE COEFFICIENT STANDARD OF SEPARATING WALL

Abstrakt

Na stavební konstrukce klademe mnoho závažných nároků. Požadavky kladené na stavební prvky a konstrukce jsou stavebně technické, technologické, ekonomické, estetické i celospolečenské, a to ve všech svých širších souvislostech. Součinitel prostupu tepla je jedním z významných požadavků.

Abstract

We subject engineering structures to many substantial requirements. The requirements on the construction elements and constructions are constructive technical, technological, economic, esthetic and all-societal in the wider context. Coefficient of heat is one of the major requirements.

1 ÚVOD

Vnitřní nenosné stěny dělí interiér stavebních objektů podle způsobu užívání. Sousedící místnosti mají předepsané požadované prostředí. V některých případech, kdy příčky oddělují místnosti s různými požadavky na teplotu vnitřního vzduchu je nutné zajistit odpovídající tepelnou ochranu.

Dodržením tepelně technických požadavků zajistíme pohodu uživatelů a zamezíme vzniku tepelně technických vad a poruch (kondenzace, růst plísní apod.).

Požadované hodnoty jsou stanovované normou ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, část 2 - Požadavky [2] a navazují na technické předpisy, tzn. na zákon č.183/2006 Sb. O územním plánování a stavebním řádu, včetně prováděcích vyhlášek tohoto zákona [6], apod.

2 TEPELNĚ TECHNICKÁ KRITÉRIA

Pro stanovení tepelně technických požadavků se řídíme podle ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, část 2 - Požadavky [2].

Stavební konstrukce vytápěných nebo klimatizovaných budov musí mít v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60\%$ součinitel prostupu tepla U [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] takový, aby splňoval podmínku:

$$U \leq U_N \quad (1)$$

kde: $U \dots$ je skutečná hodnota součinitele prostupu tepla, ve [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

$U_N \dots$ je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla, ve [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

Při návrhu budov a jejich konstrukčních částí je nutné vytvářet co nejvyšší vnitřní prostředí při nízké provozní energetické náročnosti a přiměřeně nízké zátěži životního prostředí v lokálním, regionálním a globálním měřítku, a to po celý životní cyklus stavebního díla. Správně

¹ Ing. Marcela Halířová, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 359, e-mail: marcela.halirova@vsb.cz.

aplikované poznatky tepelné ochrany budov mohou výrazně přispět k vytvoření kvalitního vnitřního prostředí interiéru navrhovaných objektů. I vnitřní stěny podléhají nutnosti takového hodnocení s ohledem na uspořádání a soulad vytápěcích režimů, tepelných zón apod. Vnitřní stěny mohou v interiérech oddělovat různě vytápěné nebo částečně vytápěné prostory apod.

Tab.1: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U_N pro vnitřní stěny vytápěných budov s převládající návrhovou vnitřní teplotou $\theta_{mi} = 20^\circ\text{C}$, podle ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, část 2 – Požadavky [2].

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U_N [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty
Stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru	0,75	0,50
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5°C včetně	2,70	1,80
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C včetně	1,30	0,90

Pro výpočet tepelně technických parametrů podle ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov, část 4 – Výpočtové metody pro navrhování a ověřování [4] je nutné charakterizovat jak vlastnosti jednotlivých stavebních materiálů, tak vnitřní prostředí interiéru jednotlivých místností, které hodnocené vnitřní nenosné stěny mohou oddělovat.

Návrhové hodnoty veličin stavebních materiálů a návrhové hodnoty parametrů vnitřního prostředí se řídí ustanoveními podle ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov, část 3 – Návrhové hodnoty veličin [3].

Tab.2: Použité návrhové hodnoty parametrů vnitřního prostředí podle ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov, část 3 – Návrhové hodnoty veličin [3] podle tabulky I.1.

Č.	Druh místnosti	Návrhová vnitřní teplota v zimním období θ_i , $[\text{C}^\circ]$	Návrhová teplota vnitřního vzduchu v zimním období θ_{ai} , $[\text{C}^\circ]$	Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i , [%]
1	Obytné místnosti, kanceláře, jídelny, WC, šatny, tělocvičen, čekárny lékařů, prodejní místnosti, hotelové pokoje, hotelové haly, hlediště a sály divadel, čekárny letišť a nádraží.	20	21	50
2	Koupelny, umývárny, sprchy.	24	25	70
3	Chodby, vedlejší vytápěné místnosti, předsíně, hlavní schodiště hotelů, restaurací a divadel, výstavní sály, uzavřené nádražní haly.	15	16	50
4	Vytápěná schodiště, vedlejší schodiště obytných budov a hotelů.	10	11	60

Tepelně technické posouzení je zaměřeno na vnitřní nenosné stěny (příčky) z drobných kusových staviv, jejichž výběr byl stanoven podle ČSN EN 1996 -1-1 Navrhování zděných konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby – pravidla pro vyztužené a nevyztužené konstrukce [7] a ze sádkartonu, podle ČSN EN 520 Sádkartonové desky – Definice, požadavky a zkušební metody [8] .

Tab.č.3: Návrhové hodnoty veličin stavebních materiálů použitých pro hodnocení nenosných stěn podle ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov, část 3 – Návrhové hodnoty veličin [3] podle tabulky A.1.

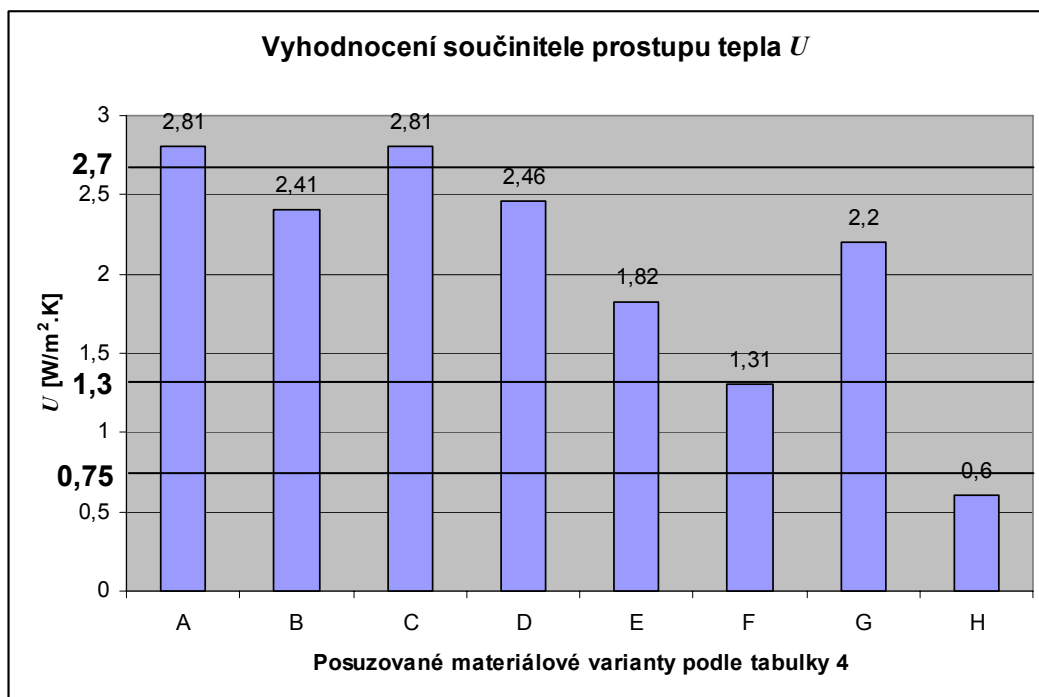
Č.	Stavební materiály	Objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_{o,u}$, [kg.m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ , [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
1	Cihla pálená plná	1800	0,86
2	Příčkovka Supertherm Pk CD 65	1250	0,54
3	Příčkovka Supertherm CD 6 DF	1000	0,52
4	Vápenopisková cihla	1800	0,86
5	Tvárnice příčková betonová TP 7-B	1100	0,56
6	Tvárnice příčková betonová TP 12-B		
7	Příčkovka Liapor PS 70	850	0,26
8	Příčkovka Liapor M 115	1200	0,32
9	Ytong – příčkový dílec	550	0,17
10	Sádkarton (GKB)	750	0,22
11	Orsil – tep.izolace (kamenná vlna)	50	0,048
12	Běžná malta – vápenná	1600	0,87
13	Malta pro tenké spáry Ytong	1850	0,97

3 TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ KONSTRUKCÍ VNITŘNÍCH NENOSNÝCH STĚN (PŘÍČEK). KRITÉRIA

Výpočet tepelně technických vlastností konstrukcí byl proveden pomocí programu Teplo 2007 [5].

Tab.4: Vybrané hodnotící tepelně technické kritérium – součinitel prostupu tepla U - pro posuzované materiálové varianty

Materiálová varianta	Označení materiálové varianty	Hodnotící kritérium: $U[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
Příčka z z cihel plných pálených tl.160 mm	A	2,81
Příčka z dutých pálených příčkovek Supertherm CD 6 DF tl.135 mm	B	2,41
Příčka z vápenopískových cihel tl.160 mm	C	2,81
Příčka z tvárnice příčkových betonových TP 12-B tl.140 mm	D	2,46
Příčka z příčkovek Liapor M 115, tl.135 mm	E	1,82
Příčka z příčkovek Ytong, tl.105 mm	F	1,31
Roštová sádrokartonová příčka bez vložené tep. izolace, tl.125 mm	G	2,20
Roštová sádrokartonová příčka s vloženou tep. izolací tl.60 mm, celková tloušťka příčky 125 mm	H	0,60



Graf 1: Grafické srovnání hodnot vybraného hodnotícího kritéria – součinitele prostupu tepla U - hodnocených materiálových variant.

V grafu č.1 byly vyznačeny hodnoty součinitele prostupu tepla U normou požadované, nebylo přihlíženo k hodnotám doporučeným, které jsou mnohem přísnější.

4 VYHODNOCENÍ

Při hodnocení tepelně technických vlastností budov je třeba přihlídnout k různým vnitřním návrhovým teplotám vzduchu dle ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov [1], [2], [3], [4] a podle normových kritérií zodpovědně navrhnout i vnitřní nenosné stěny.

Nesmíme zapomenout, že i vnitřní nenosné stěny-příčky dělí interiér budovy na prostory s různou vnitřní návrhovou teplotou vzduchu.

4.1 Hodnocení příček pro vnitřní prostředí s rozdílem teplot nad 10°C

Pro toto prostředí je požadovaná hodnota $U_N=0,75$ [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$] a doporučená hodnota $U_N=0,50$ [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$]. Těmto normovým požadavkům vyhoví pouze materiálová varianta H (roštová sádkartonová příčka s vloženou tepelnou izolací) a to pouze pro požadované normové hodnoty.

4.2 Hodnocení příček pro vnitřní prostředí s rozdílem teplot do 10°C

Pro toto prostředí je požadovaná hodnota $U_N=1,30$ [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$] a doporučená hodnota $U_N=0,90$ [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$]. Takto předepsaným požadavkům vyhoví opět jen materiálová varianta H (roštová sádkartonová příčka s vloženou tepelnou izolací) avšak v tomto případě jsou splněny nejen požadované normové hodnoty, ale i hodnoty doporučené.

4.3 Hodnocení příček pro vnitřní prostředí s rozdílem teplot do 5°C

Pro vnitřní prostředí s rozdílem teplot do 5°C vyhoví normovým požadavkům materiálové varianty B (příčka z dutých pálených příčkovek Supertherm), D (příčka z příčkových betonových

tvárnice), E (příčka z příčkovek Liapor), F (příčka z příčkovek Ytong), G a H (roštová sádrokartonová příčka bez a s vloženou tepelnou izolací). Vyhoví všechny příčky – viz. Příloha – příklad výpočtu.

4.4 Hodnocení příček pro vnitřní prostředí bez rozdílu teplot.

Pokud příčky oddělují místnosti s totožným prostředím nemusíme tepelně technické hodnocení provádět. Přesto bych chtěla upozornit na skutečnost, že příčka A (příčka z cihel plných pálených) a C (příčka z vápenopískových cihel) mohou být navrženy jen pro oddělení interiéru s totožnými nároky na vnitřní prostředí.

5 ZÁVĚR

Při hodnocení tepelně technických vlastností budov je třeba přihlídnout k různým vnitřním návrhovým teplotám vzduchu dle ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov [1] a podle normových kritérií zodpovědně navrhnout nejen obvodové pláště objektů, ale nesmíme zapomínat na vnitřní nenosné stěny. I vnitřní nenosné stěny-příčky často člení interiér na prostory s různou návrhovou teplotou vnitřního prostředí. Jen zodpovědným návrhem zajistíme příjemné vnitřní prostředí bez poruch.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov, Část 1-Termíny a definice a veličiny pro navrhování a ověřování*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 48 s.
- [2] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov, Část 2-Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 44 s.
- [3] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov, Část 3 – Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 95 s.
- [4] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov, Část 4 -Výpočtové metody pro navrhování a ověřování*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 58 s.
- [5] Program Teplo 2007, firma K-CAD Praha s.r.o., autor Dr.Ing. Zbyněk Svoboda.
- [6] Zákon č. 183 / 2006 Sb. *O územním plánování a stavebním řádu*, Praha, MMR. 2006
- [7] ČSN ENV 1996-1-1 *Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 168 s.
- [8] ČSN EN 520 (72 3611) *Sádrokartonové desky – Definice, požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 44 s.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jiří Klíma, Slezská projektová společnost, spol s r.o. Opava, Hradecká 2594/3.

Darja KUBEČKOVÁ SKULINOVÁ¹

**VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ PŘI STANOVENÍ VYUŽITELNOSTI BUDOV
Z HLEDISTA STAVEBNĚ ENERGETICKÉ KONCEPCE NA ÚZEMÍCH SE ZVÝŠENOU
PRŮMYSLVOU ČINNOSTÍ**

**MULTICRITERION DECISION AND USAGE OF BUILDINGS OF INDUSTRY AREA WITH
REGARD TO BUILDING-ENERGY CONCEPTION**

Abstrakt

Nedílnou součástí regenerace každého industriálního sídla je péče o budovy, které se na těchto postižených územích nacházejí. V rámci rozvoje kraje a města jsou tyto budovy určeny k rekonstrukcím a sanacím, konverzi. Součástí všech zásahů u těchto budov je mj. stanovení nové stavebně energetické koncepce, s ohledem na platnou tepelně technickou a energetickou legislativu. Pro hodnocení budov, z hlediska jejich nové stavebně energetické koncepce, lze využít hodnotící nástroj, který využívá vícekritériální analýzy.

Abstract

Integral part of regeneration industry area is care of buildings. Within the frame of development of region and city is necessity services, repair and maintenance of this buildings. The paper is oriented up to problems heat engineering and energy of buildings on industry area. Part of paper is oriented on assessment of this buildings with using multicriterion analysis.

1 ÚVOD

Nedílnou součástí regenerace každého území postiženého zvýšenou průmyslovou činností je péče o budovy, které se na těchto postižených územích nacházejí. V rámci rozvoje kraje a města jsou tyto budovy určeny k rekonstrukcím a sanacím, konverzi. Území postižená zvýšenou průmyslovou činností představují v celé České republice významný problém nejen z hlediska řešení škod vlastního území, ale i budov, které se na těchto územích nacházejí.

1.1 Metodika hodnocení budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností

Velkou pozornost je potřeba věnovat metodice, která se při využitelnosti budov industriálních sídel uplatňuje a zavádí. Problematika regenerace území postiženého zvýšenou průmyslovou činností se dotýká řady oblastí, jako je např. problematika regenerace území, problematika sociální a společenské a v neposlední řadě oblast technická. Posuzujeme nejen industriální území jako plochu (známo též pod názvem „brownfield“), ale i řadu budov, které se na těchto územích nacházejí. Při hodnocení budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností je potřeba posuzovat budovy z hlediska jejich dalšího možného uplatnění ze dvou základních hledisek, a to: z hlediska stavebně technického a z hlediska stavebně energetické koncepce [1].

Budovy, které se na území se zvýšenou průmyslovou činností nacházejí lze rozdělit do tří skupin. Přehled rozdělení budov uvádí Tab.1.

¹ Doc. Ing. Darja Kubečková Skulinová, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 306, e-mail: darja.kubeckova.skulinova@vsb.cz.

Tab.1: Budovy industriálního sídla a jejich základní rozdělení.

Budova a její hodnota		
1. skupina budov Budovy památkově chráněné (např. z důvodu technologie, která zde v minulosti probíhala nebo strojního vybavení, apod.)	2. skupina budov Budovy, které nespádají do kategorie památkově chráněných objektů; jsou realizované převážně v druhé polovině minulého století, jsou zachovalé a mají nového investora a tím i svoji novou funkci.	3. skupina budov Budovy, které nespádají do kategorie památkově chráněných objektů; jsou realizované zejména na přelomu minulého století nebo v druhé polovině minulého století, jsou značně zchátralé a nemají nového investora a tím zcela postrádají svoji novou funkci.
Budovy slouží zpravidla k prohlídkám, jsou součástí muzeí, např. Muzeum Lanek.	Budovy, které sloužily zpravidla pro správní a administrativní účely, bytové domy, panelová bytová výstavba.	Zpravidla se jedná o budovy, které jsou určeny k demolici nebo jejich sanace by byla neekonomická.
Hodnota zejména kulturní, společenská, ekonomická.	Hodnota ekonomická; Budova po sanaci a rekonstrukci nadále přináší užitek i zisk.	Hodnota prakticky nulová; budova bez společenského, kulturního a ekonomického přínosu.

2 VÍCEKRITERIÁLNÍ ANALÝZA

Jednou z možných variant posuzování budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností je uplatnění úloh vícekritériálního rozhodování. Teorie vícekritériálního rozhodování je založena na matematickém modelování. Podstatou úloh vícekritériálního rozhodování je konečné, optimální rozhodnutí, čímž rozumíme vybrání jedné varianty ze seznamu v dané situaci potencionálně realizovatelných variant. Vícekritériální rozhodování vzniká všude tam, kde rozhodovatel hodnotí důsledky své volby dle několika kritérií, a to: kvantitativních (zpravidla se vyjadřují v přirozených stupnicích, hovoříme také o číselných kritériích) nebo kvalitativních (zpravidla se zavádí vhodná stupnice např. klasifikační nebo stupnice velmi vysoký-vysoký-průměrný-nízký-velmi nízký). Současně je definován směr lepšího hodnocení, tj. zda je lepší maximální nebo minimální hodnota. Případem formulované úlohy může být i požadavek na seřazení rozhodovacích variant podle pořadí [2].

Základní motivy pro použití exaktních přístupů v procesu rozhodování spočívají zejména v oblastech, kdy je potřeba snížit rizika nesprávných rozhodnutí a umožnit experimentování v oblasti ekonomické, technicko ekonomické i sociální. Rozhodování stanovujeme podle jednoho kritéria nebo podle více kritérií, tj. monokritériální řešení x multikritériální řešení.

Problematické vícekritériálního rozhodování se věnuje řada odborných a vědeckých publikací. V zahraničí je vícekritériální rozhodování známé pod názvem Multi-criterion Decision Analysis.

Vícekritériální analýzy a vícekritériálního rozhodování bylo využito v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS na FAST VŠB-TUO Katedře pozemního stavitelství při řešení výzkumného úkolu „Hodnocení budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností z hlediska jejich stavebně energetické koncepce (viz www.cideas.cz, řešení úkolu 1.2.3 Management a údržba budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností a řešení úkolu 1.2.3.2 Vícekritériální rozhodování při stanovení využitelnosti budov na těchto plochách).

Hodnocení se vztahovalo k 5-ti vybraným budovám (nazýváno též zástupci budov na území se zvýšenou průmyslovou činností; v daném případě území Ostravy). Hodnocené budovy byly postaveny v různém konstrukčním systému a různém materiálovém řešení. Převážně se jednalo o budovy, které byly postaveny v druhé polovině minulého století a můžeme je charakterizovat jako

prefabrikované konstrukce montované v konstrukčním systému stěnovém a skeletovém; a konstrukce v konstrukčním systému stěnovém, zděné. Přehled hodnocených budov č.1 až 5 je uveden v Tab.2.

Tab.2: Hodnocené budovy.

Budova	Původní využití budovy / konstrukční systém	Lokalita	Nové využití budovy
1.	Správně administrativní budova; konstrukční systém montovaný skeletový.	Ostrava - Přívoz	Administrativa a bydlení
2.	Základní škola; konstrukční systém montovaný skeletový.	Ostrava - Poruba	Budova vysokého školství
3.	Bytový dům; konstrukční systém montovaný stěnový (panelový).	Ostrava - Poruba	Bytový dům
4.	Bytový dům; konstrukční systém stěnový zděný (památkově chráněná budova).	Ostrava - Hrabůvka	Bytový dům
5.	Administrativní budova; konstrukční systém stěnový zděný.	Ostrava - Přívoz	Bytový dům

Budovy č.1 až 5 (viz Tab.2) byly nejprve hodnoceny z hlediska aktuálního stavebně technického stavu (tzn. na základě stavebně technického průzkumu a posouzení, vč. potřebné diagnostiky je potřeba definovat, zda je budova vhodná pro další sanace a konverze) a dále byly budovy hodnoceny z hlediska jejich stávající stavebně energetické koncepce a z hlediska nové stavebně energetické koncepce, která zahrnuje dvě možné varianty zlepšení, v souladu se současně platnou tepelně technickou a energetickou legislativou. Výstupem tohoto hodnocení je získání základního přehledu o budově z hlediska jejího možného dalšího využití a přehledu o předpokládaných investičních nákladech vynaložených nejen na zlepšení stavebně technického stavu, ale zejména stavebně energetického stavu, kdy budova získá průkaz energetické náročnosti budovy (ENB) stávajícího stavu a ENB pro dvě uvažovaná variantní řešení pro zlepšení stavebně energetické koncepce budovy, přičemž v předkládaných variantních řešeních se uvažuje přípustná klasifikační třída A až C po provedené sanaci (pozn.: klasifikační třídy jsou stanoveny A až G, viz [3], [7] ; od 1.1.2009 je průkaz ENB součástí projektové dokumentace části D – Dokladová část, dle Vyhlášky č. 499/2006 Sb.). Potencionální investor získá přehled o předpokládaných investičních nákladech na sanaci, vč. návratnosti vložených investic. Příklad výstupu hodnocení budov je uveden na Obr.1. U hodnocené budovy na území se zvýšenou průmyslovou činností jsou současně definovány možné vlivy industriálního území, na kterém se budova nachází, jako je například poddolované území, výskyt metanu, zvýšená hladina podzemní vody, kontaminace půdy, apod.

2.1 Stavebně energetická koncepce budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností a jejich hodnocení s využitím vícekritériální analýzy

Zavedení a hodnocení stavebně energetické koncepce budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností není náhodné. Vychází ze současné legislativy a cílů společnosti, mezi které patří u budov nových i budov rekonstruovaných a sanovaných přijímat taková stavebně technická a stavebně energetická opatření, která vedou k úsporám energie. Zohlednění nové stavebně energetické koncepce budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností vede k úsporám energie, což je v souladu s cíli energetické koncepce nejen České republiky, ale i všech zemí Evropské unie. Současně jsou plněny požadavky vyjádřené ve Směrnici o energetické náročnosti budovy (EPBD Energy Performance Building Directive). Tato směrnice sama o sobě žádná společná kritéria nestanovuje, nýbrž ukládá povinnost členským zemím energetickou náročnost budov hodnotit [3], [5]. Promyšlená stavebně energetická koncepce přispívá k tomu, že vlastní modernizace a sanace budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností vede k dosažení kvalitního energetického standardu.

1. úroveň:

- Definování takových stavebně konstrukčních a materiálových opatření, která vedou ke snížení tepelných ztrát budovy a k energetickým úsporám. Tato opatření se vztahují u každé budovy k hodnocení konstrukce: střecha, obvodový plášť, výplně otvorů, podlaha nad 1.PP.
- Hodnocení energetiky budovy uvažuje původní stav budovy a varianty přijatých opatření, která vedou ke zlepšení stavebně energetické koncepce budovy, přičemž výsledkem je klasifikační třída definovaná v souladu s platnou legislativou. Součástí výsledků je dále definování nákladů [Kč] a návratnosti [roky].
- Definování opatření, která vedou ke snížení energetické náročnosti budovy (zejména opatření z oblasti technického zařízení budov). Tato opatření se vztahují k možným úpravám jako je např. doplnění rozvodů tepelnou izolací, vyregulování otopné soustavy, osazení termoregulačních ventilů, instalaci regulačního uzlu na patě domu. Výsledkem je přehled o nákladech na zlepšení [Kč], návratnosti [roky], a úspoře [%].

2. úroveň:

- Sestavení hodnotící modelu a zadání vstupních dat, zadávání váhy, klasifikace, práce s modelem. Hodnotící model vychází ze základů vícekritériálního hodnocení, které je součástí analytického hierarchického procesu (**Analytic Hierarchy Process**).

Práce s hodnotícím modelem zahrnuje:

- a) teoretické základy a principy vícekritériálního hodnocení variant,
- b) definování kritérií (n – počet kritérií), popis kritérií, charakteristika,
- c) práce s modelem – transformace dat,
- d) definování váhy kritérií; Saatyho postup, Saatyho matice, určení váhy kritérií z matice párových porovnání. Při vytváření párových srovnání $S = (a_{ij})$, $i, j = 1, 2, 3, \dots, k$ se často používá stupnice 1, 2, 3, ..., 9 a reciproké hodnoty. Prvky matice s_{ij} jsou prezentovány jako odhady podílu vah i -tého a j -tého kritéria [6].

$$s_{ij} = \frac{v_i}{v_j} \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

Tuto matici nazýváme Saatyho matice. Pro prvky matice platí:

$$\begin{aligned} s_{ii} &= 1 \quad i = 1, 2, \dots, k \\ s_{ji} &= \frac{1}{s_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (2)$$

Pro hodnocení existuje i odpovídající verbální stupnice:

- 1 Rovnocenná kritéria i a j
- 3 Slabě preferované kritérium i před j
- 5 Silně preferované kritérium i před j
- 7 Velmi silně preferované kritérium i před j
- 9 Absolutně preferované kritérium i před j

Hodnoty 2, 4, 6, 8 vyjadřují mezistupně verbální stupnice. Platí, že prvky matice A jako odhady podílu vah nejsou většinou plně konzistentní, tzn. že neplatí $s_{hj} = s_{hi} s_{ij}$ pro všechna $h, i, j = 1, 2, \dots, k$. Sestavíme-li matici $V = (v_{ij})$, jejíž prvky by byly skutečné podíly vah:

$$v_{ij} = \frac{v_i}{v_j} \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

e) potom by pro tyto prvky platilo $v_{hj} = v_{hi} v_{ij}$ pro všechna $h, i, j = 1, 2, \dots, k$, [6].

Dle Saatyho se pro odhad vah zavádí vektor, který odpovídá největšímu vlastnímu číslu matice A . Saatyho metody patří mezi nejčastěji používané metody u vícekritériálního hodnocení a jsou používány i v postupu analytického hierarchického procesu (Analytic Hierarchy Process, AHP [6]).

3. úroveň:

- Vstupy zjišťujeme ze zpracovaných katalogových listů (příklad je uveden na Obr.1), vytvořených dle metodiky hodnocení budov industriálních ploch (viz www.cideas.cz, Technický list TL 1.2.3 a Technický list TL 1.2.3.2, vč. výstupů z dílčích výzkumných zpráv zpracovaných v letech 2007 až 2008). Tabulkově seřazena data z katalogových listů definujeme jako maticovou tabulku, tj. maticovou tabulku základních vstupních údajů dle výsledků uvedených v katalogových listech.
- Maticová tabulka vstupních údajů je rozdělena na dvě základní části, a to na oblast stavebně energetické koncepce a oblast technického zařízení budov (Viz Tab.3).
- Klasifikační stupnice vícekritériálního hodnocení je stanovena na 1 až 10.
- Při určování váhy a při aplikaci vícekritériálního hodnocení v souborů ukazatelů kritérií nemají všechny prvky množiny stejný relativní význam ve vztahu ke konkrétnímu řešenému problému. Relativní, vzájemně poměrný význam „důležitost“ se označuje jako váha kritéria w_j (parameter weights). Tato váha poskytuje informaci o relativní důležitosti jednotlivých ukazatelů kritérií v rámci dané množiny $P_1, \dots, P_n$, [4].

Tab.3: Maticová tabulka vstupních údajů (data z katalogových listů), [3],[4].

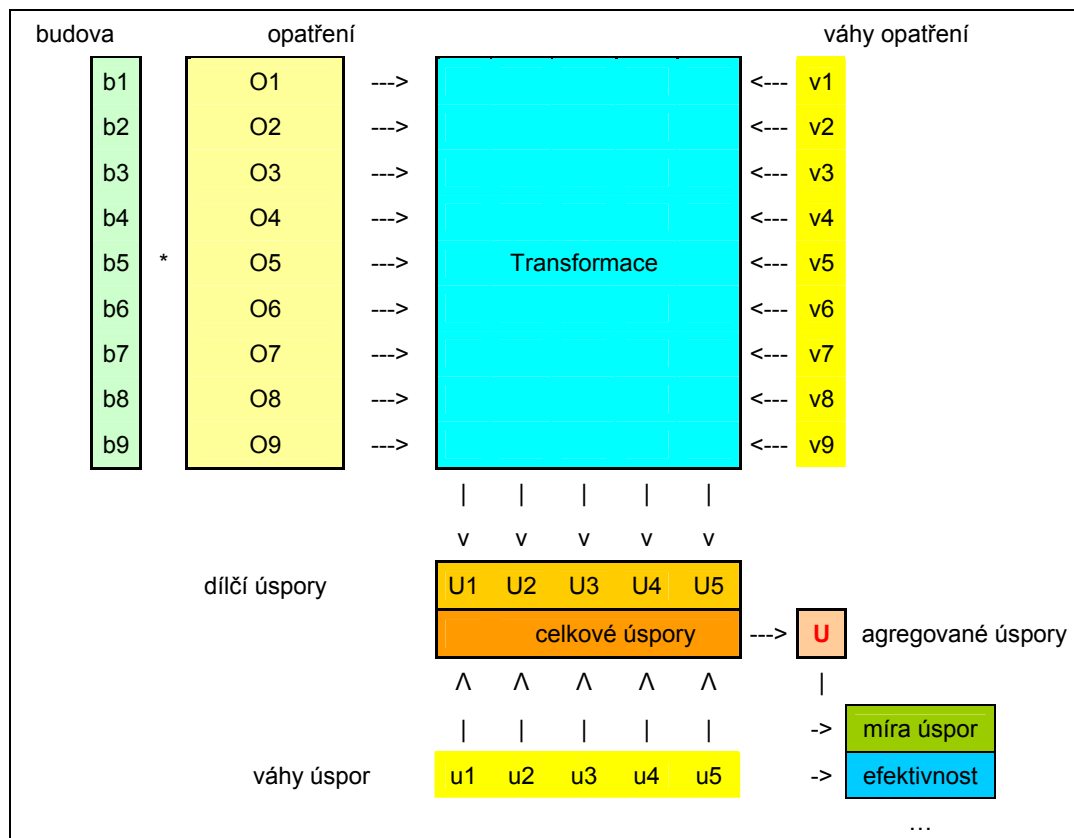
B	B1			B2			B3			B4			B5					SEK		
	T06B	r	%	MS-OB	r	%	MSKO	r	%	Jub.	r	%	Kok.	r	%	Na	Np	Ue	Npr	Ž
O1	30,000	4	35	70,000	4	38	50,000	6	36				35,000	5	33	7	8	8	10	10
O2	25,000	2	35	35,000	3	38										10	8	10	8	5
O3	30,000	3	35	45,000	4	38	70,000	4	36				25,000	2	33	9	8	9	6	4
O4	60,000	4	35	180,000	7	38	230,000	7	36				45,000	4	33	8	8	7	9	7
O5				1,100,000	9	38	1,300,000	10	36				170,000	11	33	6	7	3	8	4
O6							650,000	11	36				150,000	11	33	4	6	4	10	8
O7							650,000	13	50	220,000	13	50	250,000	13	50	5	10	5	8	10
O8							150,000	7	20							3	3	6	8	10
O9							2,500,000									1	1	1	9	8
																K	=	Ú		

Definování možných opatření:

O1	Doplnění rozvodů tepelnou izolací	U1	Návratnost [roky]
O2	Instalace regulačního uzlu na patě domu	U2	Náklady na pořízení [Kč]
O3	Vyregulování soustavy	U3	Úspora energie [%]
O4	Termoregulační ventily	U4	Náklady na provoz [Kč]
O5	Teplotní snímače, kabeláž	U5	Životnost [roky]
O6	Úprava otopné plochy		
O7	Instalace solárního zařízení (ohřev TV)		
O8	Instalace solárního zařízení (teperatury objektu)		
O9	Instalace fotovoltaického zařízení		

B1 až B_n Hodnocené budovy, SEK Stavebně energetická koncepce

Po zadání vstupních dat (viz Tab.3) chápeme hodnotící model jako nástroj, který přispívá k objektivnímu rozhodování. V sestaveném modelu jsou váhy úspor a váhy opatření nastaveny jako stejné. Váhy relativní významnosti některých opatření mohou být nastaveny v rámci daných opatření větší než váhy jiných opatření a totéž platí pro váhy úspor (z čehož vyplývá, že tyto váhy je možné snadno změnit). Ke správnému nastavení využíváme párového porovnání (lze také využít softwarové podpory „Expert Choice“).



Obr.2: Sestavení modelu, transformace dat (Kubečková Skulinová, D., Ramík, J, [4].).

Porovnání v hodnotícím modelu může být nastaveno dvěma způsoby:

1. absolutní porovnání, kdy alternativy jsou porovnávány zavedeným standardem, který byl vytvořen zpravidla na základě zkušenosti či vzorových hodnot. Kritériem, podle kterého se absolutně hodnotí, se nazývá kardinální kritériem. Jedná se tedy o absolutní hodnocení prvků z k -té úrovně hierarchické úrovně L_k vzhledem k danému prvku z nadřazené úrovně vzhledem z nadřazené úrovně L_{k-1} , [4].
2. relativní porovnání, kdy alternativy jsou srovnávány párově. Výsledkem je relativní ohodnocení ve tvaru vah w_{ki} pro každý prvek i z k -té hierarchické úrovně L_k vzhledem k danému prvku z nadřazené úrovně L_{k-1} . Při párovém porovnání jsou prvky i a j z L_k porovnávány s ohledem na vlastnost, která je jim společná. Výsledkem je odhad poměru w_{ki} / w_{kj} , (v) pomocí základní stupnice. Postupným porovnáváním dostaneme matici párových porovnání a z ní maximální vlastní číslo, následně i vlastní vektor, jehož normalizací získáme požadované váhy w_{ki} .

Tab. 4: Data hodnotícího modelu-absolutní model.

Opatření	Váhy	U1	U2	U3	U4	U5
	Opatření	Návratnost	Úsp.nákl.na pořiz.	Úspora energie	Úsp.nákl. na provoz	Životnost
O1	1	7	8	8	10	10
O2	1	10	8	10	8	5
O3	1	9	8	9	6	4
O4	1	8	8	7	9	7
O5	1	6	7	3	8	4
O6	1	4	6	4	10	8
O7	1	5	10	5	8	10
O8	1	3	3	6	8	10
O9	1	1	1	1	9	8
Sumy	9	53	59	53	76	66
Váhy úspor		1	1	1	1	1

Jsou zadávány váhy opatření a váhy úspor na stupnici 1 až 10.

Tab.5: Hodnocené budovy B1 až B5 (dle Tab.2).

Budovy (tis.Kč)					
	B1	B2	B3	B4	B5
	T06B	MO-OB	MS-KO	Jubilejní	Koksární
1	30	70	50	0	35
2	25	35	0	0	0
3	30	45	70	0	25
4	60	180	230	0	45
5	0	1100	1300	0	170
6	0	0	650	0	150
7	0	0	650	220	250
8	0	0	150	0	0
9	0	0	2500	0	0
Σ	145	1430	5600	220	675
Objem budovy	2574	353366	12411	2056	1330
Ochlazovaná plocha	966,2	14981	381	735,5	1159

Na základě Tab.5 definujeme matici hodnocených budov (budovy / tis. Kč)

✓ Absolutní model úspor

Tab.6: Model úspor se zadáním váhy.

W = matice úspor						
Opatření	V = váhy					
	Opatření	Návratnost	Úspory na pořízení	Úspora energie	Úspory na provoz	Životnost
O1	0,11111	7	8	8	10	10
O2	0,11111	10	8	10	8	5
O3	0,11111	9	8	9	6	4
O4	0,11111	8	8	7	9	7
O5	0,11111	6	7	3	8	4
O6	0,11111	4	6	4	10	8
O7	0,11111	5	10	5	8	10
O8	0,11111	3	3	6	8	10
O9	0,11111	1	1	1	9	8
u = váhy úspor		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

V modelu úspor (viz Tab.6) je váha v matici úspor nastavena na hodnotu 0,1.

Při využití hodnotícího modelu získáme výsledek, tj. přehled, jak nejlépe budovy sanovat a rekonstruovat tak, aby efektivnost v celkových energetických úsporách byla co největší, při nejkratší návratnosti vložených investičních prostředků, přičemž je v maximální možné míře zohledněno hledisko nové stavebně energetické koncepce (viz Tab.7 až Tab.9).

Tab.7: Míra úspor vzhledem k objemu budovy a pořadí efektivnosti.

Míra úspor vzhledem k objemu budovy					
Budova	T06B	MS-OB	MS-KO	Jubilejní	Koksární
Celk.úspory	127	975	3334	186	516
Rel.hodn.	0,050	0,028	0,269	0,090	0,388
Pořadí	4	5	2	3	1
Náklady	145	1430	5600	220	675
Celk.úspory= $\text{diag}(v) \cdot W \cdot u \cdot B_i$					
Rel.hodn. = $\text{diag}(v) \cdot W \cdot u \cdot B_i / \text{Objem} B_i$					
Efektivnost	0,879	0,682	0,595	0,844	0,764
Pořadí	1	4	5	2	3
Efektivnost = Celk.úspory/Náklady					

✓ Relativní model

Tab.8: Relativní hodnota míry úspor.

Míra úspor = $10000 \cdot \text{diag}(v) \cdot W \cdot u \cdot B_i$					
Budova	T06B	MS-OB	MS-KO	Jubilejní	Koksární
Hodnota	146,3	111,4	93,3	136,7	123,7
Pořadí	1	4	5	2	3
Hodnota = $10000 \cdot \text{diag}(v) \cdot W \cdot u \cdot B_i$					

Tab.9: Celkový přehled výstupů.

Budova	T06B	MS-OB	MS-KO	Jubilejní	Koksární
Celk.úspory	127	975	3334	186	516
Rel. Hodn.	0,050	0,028	0,269	0,090	0,338
Pořadí	4	5	2	3	1
Náklady	145	1430	5600	220	675
Celkové úspory = $\text{diag}(v) \cdot W \cdot u \cdot B_i$					
Rel.hodnota = $\text{diag}(v) \cdot W \cdot u \cdot B_i / \text{objem } B_i$					
Efektivnost	0,879	0,682	0,595	0,844	0,764
Pořadí	1	4	5	2	3
Efektivnost = celk.úspory / náklady					
Míra úspor = $10000 \cdot \text{diag}(v) \cdot W \cdot u \cdot B_i$					
Hodnota	146,3	114,4	93,3	136,7	123,7
Pořadí	1	4	5	2	3
Hodnota = $10000 \cdot \text{diag}(v) \cdot W \cdot u \cdot B_i$					

3 ZÁVĚR

Metodou vícekritériálního hodnocení byla posuzována řada projektů; pro příklad lze uvést posuzování protipovodňových a revitalizačních opatření na malých vodních tocích [Říha, „Applikace rizikové analýzy při posuzování protipovodňových opatření“, 2001], hodnocení vlivů investic na životní prostředí [Říha, „Hodnocení vlivu investic na životní prostředí-vícekritériální analýza a EIA“, 1995], apod. Vícekritériální hodnocení a rozhodování lze uplatnit při hodnocení sanačních projektů budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností.

Z uvedené aplikace vícekritériální analýzy a výstupů z hodnotícího modelu při hodnocení budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností je zřejmé, že předkládaný postup poskytuje ucelený přehled o daném území, jeho složitosti; současně přispívá k objektivizaci rozhodnutí, jak dále nakládat a postupovat s budovy, které se na území nacházejí.

PODĚKOVÁNÍ

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt IM6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

LITERATURA

- [1] KUBEČKOVÁ SKULINOVÁ, D., KUBENKOVÁ, D.: *Snižování energetické náročnosti budov, udržitelná výstavba*, Vyadala Polska Akademia Nauk, oddział w Katowicach, Komisja Inżynierii Budowlanej, Roczniki Inżynierii Budowlanej, Zeszyt 6, Katowice-Opole, ISSN 1505-8425, str.117-125, 2006
- [2] KUBEČKOVÁ SKULINOVÁ, D.: *Management a údržba panelového bytového fondu, posuzování investičních projektů vícekritériální analýzou*, Sborník vědeckých prací FAST VŠB-TUO, 12/2005, ISBN 80-248-0997-4
- [3] KUBEČKOVÁ SKULINOVÁ, D., KUBENKOVÁ, K., GALDA, Z.: *Technické listy z let 2005-2008*, www.cideas.cz, řešení úkolu 1.2.3 *Management a údržba budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností*, ISBN 80-01-03631-6
- [4] KUBEČKOVÁ SKULINOVÁ, D., RAMÍK, J.: *Hodnotící model pro hodnocení budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností z hlediska stavebně energetické koncepce*, Technický list 1.2.3.2, www.cideas.cz, 2008-2009
- [5] KUBEČKOVÁ, D.: *Bytová výstavba v Ostravě v druhé polovině minulého století, vady a poruchy*, FAST VŠB-TUO, 02/2008 ISBN 978-80-248-1718-7, Ostrava
- [6] Fiala, P., Jablonský, J., Maňas, M.: *Vícekritériální rozhodování*, VŠE Praha, 1997
- [7] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, 2002-2007

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Petr hájek, CSc., ČVUT Praha, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Jaroslav SOLAŘ¹

ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY POVRCHOVÉ KONDENZACE VODNÍ PÁRY

ISSUE OF SURFACE CONDENSATION OF WATER VAPOUR

Abstrakt

Príspevok pojednáva o problematice nežádoucí kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí. V příspěvku jsou analyzovány stavebně fyzikální příčiny povrchové kondenzace vodní páry. Dále je zde pojednáno o možnostech technických opatření vedoucích k eliminaci uvedeného negativního jevu - změna užívání, úprava obvodových konstrukcí, zajištění požadovaných parametrů vnitřního vzduchu přirozeným větráním, nebo pomocí vzduchotechniky.

Abstract

The article deals with the issue of unwanted condensation of water vapour on internal surface of building structures. Building and physical conditions of surface condensation of water vapour is analysed. It discusses possibilities of technical solutions leading to elimination of the mentioned negative phenomenon – change of use, adjustment of peripheral structures, reaching the required parameters of internal air by natural ventilation or through air-conditioning.

1 ÚVOD

Atmosférický vzduch obsahuje vodní páru. Množství vodní páry obsažené ve vzduchu uvnitř budovy závisí především na způsobu jejího užívání. Tedy na zdrojích vodní páry zde situovaných. Ty mohou být různé. Několik příkladů je uvedeno v tab. 1.

Množství vodní páry obsažené ve vzduchu je charakterizováno jeho vlhkostí. Pokud má předmět, který je obkloповán vzduchem o určité teplotě a relativní vlhkosti teplotu nižší než je teplota rosného bodu, dochází na jeho povrchu ke kondenzaci vodní páry. **Ve stavebních objektech jsou z tohoto hlediska kritickými místy především:**

1. Výplně otvorů v obvodových stěnách (okna, dveře, výkladce apod.).
2. Svislé kouty.
3. Vodorovné kouty u obvodových stěn v místech kontaktu se stropy či podlahami, resp. podlahami na terénu.
4. Vodorovné kouty u vnitřních stěn, jestliže tyto oddělují místnosti s výrazně odlišnými vnitřními teplotami.
5. Tepelné mosty v obvodových stěnách, střeších, ve vnitřních stěnách, nebo stropech, které oddělují místnosti s výrazně odlišnou teplotou vnitřního vzduchu.

¹ Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 301, e-mail: jaroslav.solar@vsb.cz.

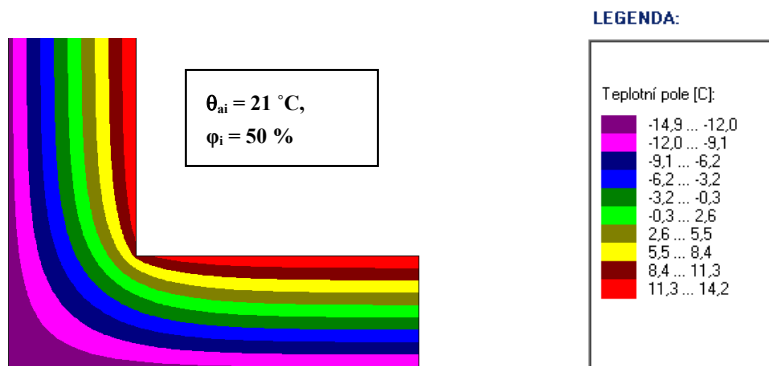
Tab. 1: Zdroje vodní páry a množství její produkce [1]

Člověk při lehké činnosti	30 – 60 g/h
při středně těžké práci	120 – 200 g/h
při těžké práci	200 – 300 g/h
Koupelna s vanou	700 g/h
se sprchou	2600 g/h
Kuchyně při vaření	600 – 1500 g/h
průměrně denně	100 g/h
Sušení prádla (pračka na 4,5 kg)	50 – 200 g/h
odstředěného	100 – 500 g/h
mokrého kapajícího	
Bazény (volné vodní plochy)	40 g/m ² .h
Rostliny	
pokožkové květiny, např. fialka (Viola)	5 – 10 g/h
rostliny v květináči, např. kapradina (Comptonia asplemifolia)	7 – 15 g/h
fikus střední velikosti (Ficus elastica)	10 – 20 g/h

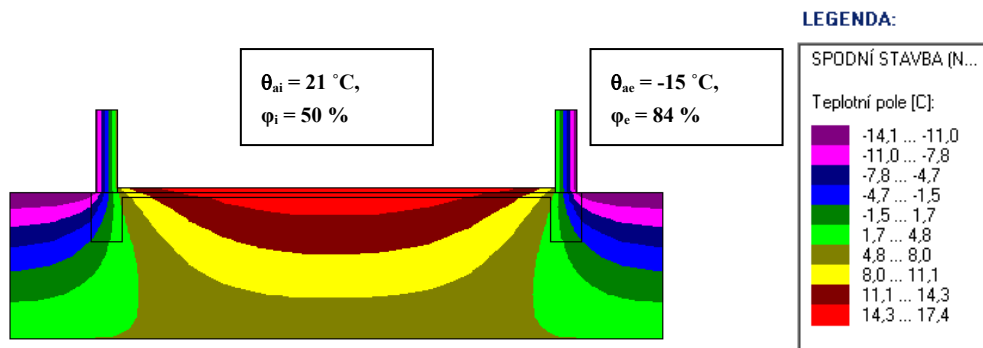
Místa uvedená v bodech 2 až 5 jsou kritickými z hlediska povrchové kondenzace vodní páry z toho důvodu, že jejich povrchová teplota bývá vždy nižší než povrchová teplota okolních konstrukcí. To je zapříčiněno dvourozměrným, případně také třírozměrným vedením tepla na rozdíl od jednorozměrného vedení tepla, jež se uskutečňuje například v plochách stěn. Pak je jen otázkou, zda teplota jejich vnitřního povrchu je vyšší či nižší než teplota rosného bodu vnitřního vzduchu, která odpovídá jeho teplotě a relativní vlhkosti.

U výplní otvorů (viz bod 1) pak povrchové teploty často bývají nižší než teplota rosného bodu vnitřního vzduchu.

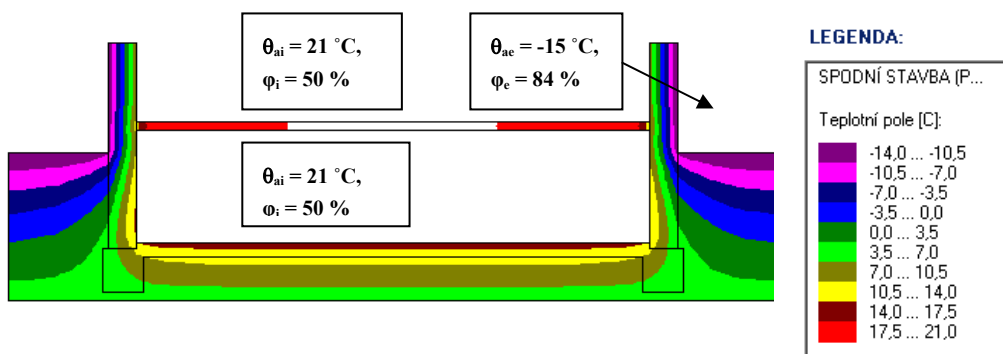
Pro ilustraci jsou na obr. 1 až 3 znázorněny průběhy teplot ve svislém koutě a u spodních staveb nepodsklepeného a podsklepeného objektu, resp. u jejich vodorovných koutů.



Obr.1: Ukázka průběhu teplot u svislého koutu obvodového zdiva z plných cihel o tl. 450 mm.
Výstup z programu AREA 2009 [4].



Obr.2: Ukázka průběhu teplot u spodní stavby nepodsklepeného objektu bez tepelné izolace v podlaze. Výstup z programu AREA 2009 [4].



Obr.3: Ukázka průběhu teplot u spodní stavby a stropu nad suterénem u podsklepeného objektu bez tepelné izolace v podlaze. Výstup z programu AREA 2009 [4].

Příčina výrazně nižších teplot ve svislých a vodorovných koutech v nadzemní i v podzemní části budov spočívá v tom, že u staveb realizovaných v dřívější době byly na obvodové konstrukce (stěny a podlahy na terénu) kladeny výrazně nižší tepelné technické požadavky, než je tomu v současné době (viz ČSN 73 0540-2 [2]).

Dále je možno výskyt nežádoucí kondenzace vodní páry pozorovat, kromě jiného, obvykle také:

1. U objektů, které mají velkou tloušťku obvodových stěn (zpravidla historické budovy).
2. V místnostech, kde byla původní dřevěná okna nahrazena novými, která jsou velmi těsná proti infiltraci venkovního vzduchu.
3. V místnostech, resp. v celých objektech, kde v důsledku změny užívání vnitřního prostoru došlo ke zvýšení produkce vodní páry (např. v důsledku zavedení nové technologie).

U objektů, které mají velkou tloušťku obvodových stěn (např. historické budovy) zůstává v důsledku jejich velké tepelné setrvačnosti vnitřní povrchová teplota na obvodových stěnách i po zvýšení venkovní teploty v jarních měsících nadále nízká – pod úroveň teploty rosného bodu, která odpovídá hodnotám teploty a relativní vlhkosti venkovního vzduchu. Venkovní vzduch o vyšší teplotě je schopen pojmout větší množství vodní páry a má tedy větší měrnou vlhkost (vodní obsah). A tím také vyšší teplotu rosného bodu. Vnikne-li tento vzduch dovnitř objektu, dojde ke kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu obvodových stěn (viz obr. 10).

V současné době nastává problém s povrchovou kondenzací vodní páry také v místnostech, kde byla původní dřevěná okna nahrazena novými, která jsou velmi těsná proti infiltraci

venkovního vzduchu. Vodní pára, jež byla dříve nepřetržitě odvětrávána v důsledku infiltrace původními okny, nyní zůstává v místnosti, přičemž zároveň dochází k další produkci vodní páry v důsledku užívání místnosti (viz tab. 1). Tím dochází ke zvyšování měrné vlhkosti (vodního obsahu) vnitřního vzduchu (viz obr. 13 a 14). To má za následek zvýšení teploty rosného bodu vnitřního vzduchu nad hodnotu teploty povrchu některých stavebních konstrukcí. Výsledkem je kondenzace vodní páry na konstrukcích, které mají nízkou povrchovou teplotu.

Pokud jde o výskyt kondenzace vodní páry na povrchu stavebních konstrukcí **v místnostech, resp. v celých objektech, kde v důsledku změny užívání vnitřního prostoru došlo ke zvýšení produkce vodní páry (např. v důsledku zavedení nové technologie)**, mechanismus jejího vzniku je podrobně popsán níže v kap. 2 (viz obr. 13 a 14).

Ilustrativní příklady kondenzace vodní páry na povrchu stavebních konstrukcí jsou znázorněny na obr. 4 až 6. Důsledkem kondenzace vodní páry je pak vznik plísní, které mají negativní vliv na užívání takto postižených prostorů (viz obr. 7).



Obr.4: Kondenzace vodní páry na povrchu stěny v blízkosti podlahy (objekt s vysokou tepelnou setrvačností)



Obr.5: Kondenzace vodní páry v koutě na povrchu stěny a stropu (nedostatečná tepelná izolace obvodové stěny)



Obr.6: Kondenzace vodní páry v místě obvodové stěny ze železobetonu



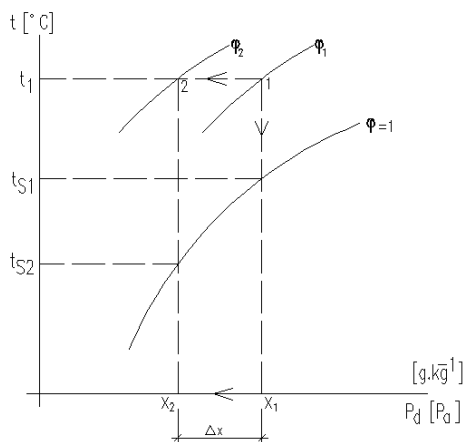
Obr.7: Důsledek kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu obvodových konstrukcí – růst plísní

2 VLHKOSTNÍ PROBLÉMY ZAPŘÍČINĚNÉ ZMĚNOU V UŽÍVÁNÍ VNITŘNÍCH PROSTORŮ

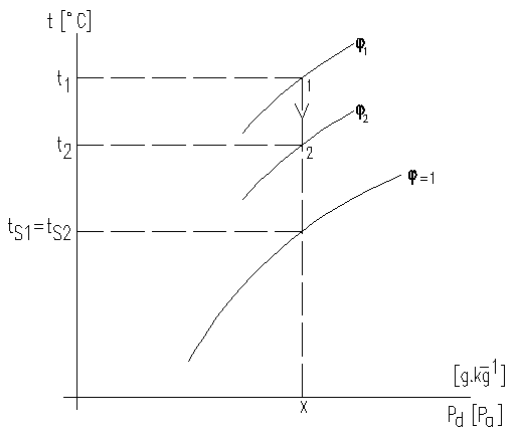
Pokud ve stávajícím objektu změníme užívání, ať už jednotlivé místnosti nebo celé budovy, často s tím souvisí také změna podmínek vnitřního mikroklimatu – tedy teploty a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Se změnou teploty a relativní vlhkosti vzduchu se mění také jeho teplota rosného bodu. Pokud je teplota rosného bodu vnitřního vzduchu nižší než povrchová teplota stavebních konstrukcí, pak dochází ke kondenzaci vodní páry na jejich povrchu.

Z obecného hlediska zde mohou principiálně nastat následující možnosti:

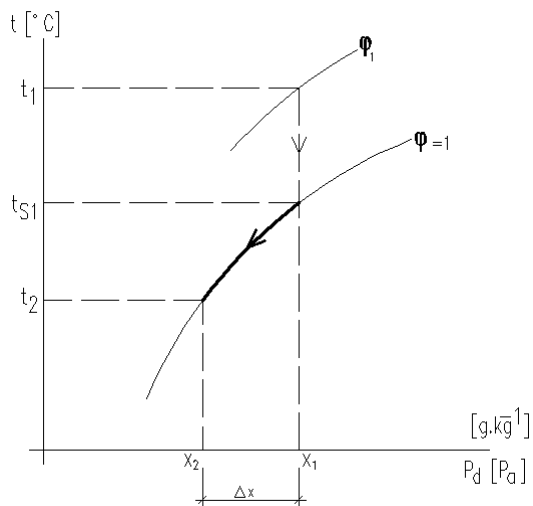
1. Snížení relativní vlhkosti vzduchu za konstantní nebo i vyšší teploty ($t_1 = \text{konst.}$, resp. $t_2 > t_1$, $\varphi_2 < \varphi_1$, $x_2 < x_1$, $t_{s2} < t_{s1}$). Viz obr. 8.
2. Snížení teploty vzduchu, přičemž dochází ke zvýšení relativní vlhkosti ($t_2 < t_1$, $\varphi_2 > \varphi_1$, $x = \text{konst.}$, $t_s = \text{konst.}$). Viz obr. 9.
3. Snížení teploty vzduchu pod teplotu rosného bodu. ($t_2 < t_1$, $\varphi_2 = 1$, $x_2 < x_1$). Viz obr. 10.
4. Snížení teploty a změna relativní vlhkosti vzduchu ($t_2 < t_1$, $x_2 < x_1$, $t_{s2} < t_{s1}$ $\varphi_2 < \varphi_1$, nebo $\varphi_2 = \varphi_1$, nebo $\varphi_2 > \varphi_1$). Viz obr. 11.
5. Zvýšení teploty vzduchu, přičemž dochází ke snížení relativní vlhkosti ($t_2 > t_1$, $\varphi_2 < \varphi_1$, $x = \text{konst.}$, $t_s = \text{konst.}$). Viz obr. 12.
6. Zvýšení relativní vlhkosti vzduchu za konstantní teploty ($t_i = \text{konst.}$, $\varphi_2 > \varphi_1$, $x_2 > x_1$, $t_{s2} > t_{s1}$). Viz obr. 13.
7. Zvýšení teploty a změna relativní vlhkosti vzduchu ($t_2 > t_1$, $x_2 > x_1$, $\varphi_2 < \varphi_1$, nebo $\varphi_2 = \varphi_1$, nebo $\varphi_2 > \varphi_1$, $t_{s2} > t_{s1}$). Viz obr. 14.



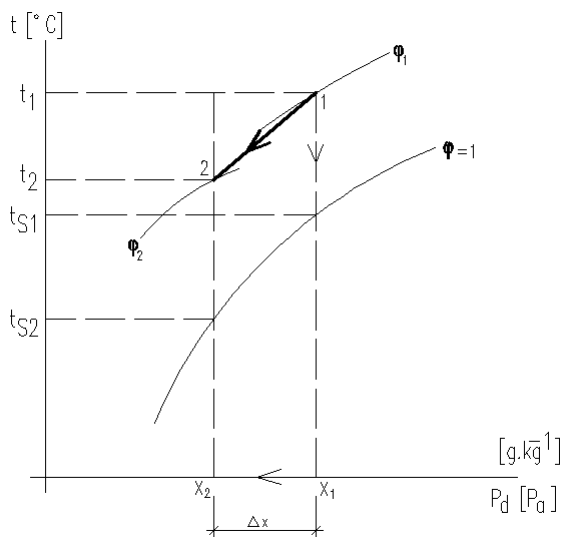
Obr.8: Snížení relativní vlhkosti vzduchu za konstantní nebo i vyšší teploty – znázornění v Mollierově h-x diagramu



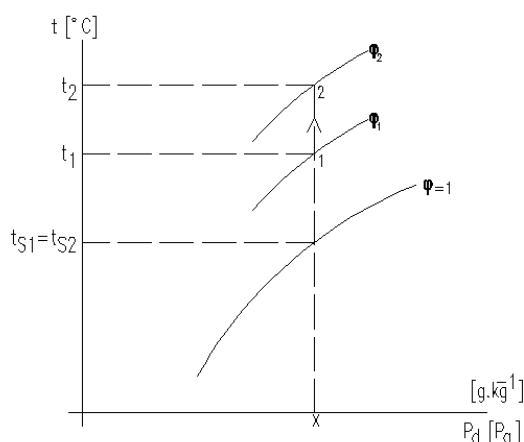
Obr.9: Snížení teploty vzduchu – znázornění v Mollierově h-x diagramu.



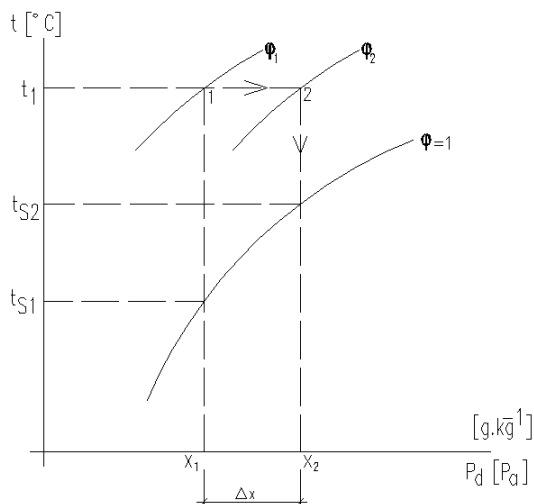
Obr.10: Snížení teploty vzduchu pod teplotu rosného bodu – znázornění v Mollierově h-x diagramu



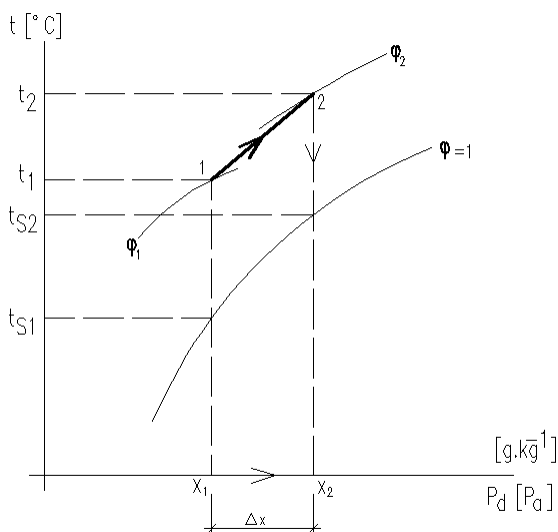
Obr.11: Snížení teploty a změna relativní vlhkosti vzduchu – znázornění v Mollierově h-x diagramu



Obr.12: Zvýšení teploty vzduchu – znázornění v Mollierově h-x diagramu



Obr.13: Zvýšení relativní vlhkosti vzduchu za konstantní teploty – znázornění v Mollierově h-x diagramu



Obr. 14: Zvýšení teploty a změna relativní vlhkosti vzduchu – znázornění v Mollierově h-x diagramu

Pokud jde o **případy uvedené v bodech 1, 2, 4 a 5** pak zde z hlediska povrchové kondenzace vodní páry **nebude problém**. To proto, že v těchto případech dochází k zachování, resp. ke snížení teploty rosného bodu vnitřního vzduchu ($t_{s2} < t_{s1}$, resp. $t_s = \text{konst.}$).

Jestliže dojde k výraznému snížení teploty vnitřního vzduchu až pod hodnotu teploty rosného bodu (viz **bod 3**), pak dochází k nasycení vzduchu vodní párou a k její kondenzaci jak v prostoru (tvorba mlhy), tak také na povrchu stavebních konstrukcí s nižší povrchovou teplotou. To proto, že vlivem výrazného snížení teploty vnitřního vzduchu dojde také k výraznému snížení povrchové

teploty zejména obvodových stěn v zimním období – taktéž pod hodnotu teploty rosného bodu. Tento případ však nastává většinou pouze u objektů, které se přestaly užívat a nejsou v zimním období vytápěny ani temperovány.

Problémy s kondenzací vodní páry na povrchu stavebních konstrukcí však zpravidla nastávají v případech uvedených v bodech 6 a 7. To proto, že zde dochází ke zvýšení teploty rosného bodu. Tedy: $t_{s2} > t_{s1}$. Pokud dojde ke zvýšení teploty rosného bodu natolik, že přesáhne povrchovou teplotu obvodových (případně i vnitřních) stěn což je v převážné většině těchto případů, pak nastává povrchová kondenzace vodní páry.

To proto, že při zvýšení relativní vlhkosti vzduchu, resp. při zvýšení teploty a změně relativní vlhkosti vzduchu tak, že se zvýší měrná vlhkost (vodní obsah), dochází k prudkému zvýšení teploty rosného bodu. Ta pak bývá vyšší než povrchová teplota obvodových stěn, resp. dalších stavebních konstrukcí, čímž nastává povrchová kondenzace vodní páry.

Máme-li například vlhký vzduch o teplotě $t = 20\text{ °C}$ a relativní vlhkosti $\varphi = 50\%$, jeho teplota rosného bodu je $t_s = 9,26\text{ °C}$. Zvýšíme-li jeho vlhkost na $\varphi = 60\%$, zvýší se teplota rosného bodu na $t_s = 12\text{ °C}$. Zvýšíme-li dále jeho vlhkost na $\varphi = 80\%$, zvýší se teplota rosného bodu na $t_s = 16,44\text{ °C}$. V teplotách rosného bodu je pak rozdíl větší než 7 °C .

V praxi se může se jednat například o zavedení nové technologie při které dochází k vyšší produkci vodní páry, zřízení nové koupelny apod.

3 TECHNICKÁ OPATŘENÍ PŘI PROBLÉMECH S KONDENZACÍ VODNÍ PÁRY NA VNITŘNÍM POVRCHU STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Z výše uvedeného také plyne, že pokud je stávající objekt (resp. vnitřní místnost) využíván k určitému účelu a vyskytují se zde vlhkostní problémy zapříčiněné nevhodným užíváním, pak máme v následující možnosti:

- a) Změnit užívání.**
- b) Provést úpravu obvodových konstrukcí.**
- c) Zajistit požadované parametry vnitřního vzduchu přirozeným větráním, nebo pomocí vдуchotechniky.**
- d) Kombinace uvedených možností.**

3.1 Změna užívání

Provedeme změnu užívání objektu či problematické místnosti tak, abychom snížili jeho relativní vlhkost. Teplota vnitřního vzduchu může zůstat stejná, být zvýšena či snížena (viz kap. 2, bod 1 a 4, resp. obr. 8 a 11). Z hlediska technického je to způsob nejjednodušší, finančně nejméně nákladný. Neuvažujeme-li náklady potřebné k zajištění změny užívání (stěhování apod.). Z praktického hlediska je však tato možnost často nereálná.

Snížíme tedy relativní vlhkost vnitřního vzduchu a provedeme posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu v kritických místech (viz kap. 1, body 1 až 5) podle ČSN 73 0540-2 [2] – např. pomocí výpočetního programu AREA 2009 [4]. Musí být splněna podmínka:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} [-] \quad (1)$$

kde:

$f_{Rsi} [-]$ – teplotní faktor vnitřního povrchu

$f_{Rsi,N} [-]$ – požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu

V prostorách, kde se vyskytuje povrchová kondenzace vodní páry však nemusí být vždy nutně změněn způsob jejich užívání, ale často postačí pouze zajištění dostatečné výměny vzduchu běžným

způsobem bez jakýchkoliv dalších úprav (např. u místností s okny, která jsou velmi těsná proti infiltraci venkovního vzduchu (např. plastová okna).

3.2 Úprava obvodových konstrukcí

Provedeme úpravu obvodových konstrukcí (stěn a stropu, resp. střešního pláště) tak, aby tyto konstrukce byly vyhovující z hlediska aktuálních parametrů vnitřního vzduchu. To prakticky znamená odborný návrh a realizace patřičných stavebních úprav – návrh vhodných skladeb obvodových konstrukcí (zateplení, vložení parotěsné vrstvy apod.) za účelem:

1. Zvýšení teplotního faktoru vnitřního povrchu v rizikových místech tak, aby byla splněna podmínka (1).
2. Snížení či úplného vyloučení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce tak, aby byly splněny požadavky ČSN 73 0540-2 [2] ohledně vnitřní kondenzace vodní páry.
3. Snížení hodnoty součinitele prostupu tepla U tak, aby byl splněn požadavek ČSN 73 0540-2 [2] na jeho maximální hodnotu. Pokud nebude možné tento požadavek splnit, je třeba postupovat podle čl. 5. 2. 2 ČSN 73 0540-2 [2].

Posouzení uvedené v bodě 1. můžeme provést například pomocí výpočetního programu AREA 2009 [4]. Posouzení uvedená v bodech 2. a 3. můžeme provést například pomocí výpočetního programu TEPLO 2009 [3].

Problémy s kondenzací vodní páry na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí mohou být řešeny například:

- a) Celkovým dodatečným zateplením objektu.
- b) Provedením dodatečné tepelné izolace spodní stavby.
- c) Dodatečným vložení tepelné izolace do podlahy situované na terénu.
- d) Provedením dodatečné tepelné izolace soklu.

3.3 Zajištění požadovaných parametrů vnitřního vzduchu přirozeným větráním, nebo pomocí vzduchotechniky

Pokud je to možné, zajistíme požadované snížení vlhkosti vnitřního vzduchu jeho řádnou výměnou přirozeným větráním. Pokud toto není možné, bude třeba využít vzduchotechniky. Tento způsob je však energeticky náročný a tím také finančně nákladný.

Pomocí vzduchotechniky (např. nuceným větráním, odvlhčováním apod.) je možno upravit parametry vnitřního vzduchu na požadované hodnoty tak, aby bylo dosaženo splnění podmínky (1). Provedeme tedy posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu v kritických místech (viz kap. 1, body 1 až 5) pro upravené parametry vnitřního vzduchu. Princip je stejný jako v případě změny užívání – viz kap. 3. 1.

3.4 Kombinace uvedených možností

Výše uvedené způsoby můžeme také kombinovat. Například snížíme relativní vlhkost vnitřního vzduchu a dodatečně provedeme tepelnou izolaci obvodové konstrukce. Tím dosáhneme:

1. Zvýšení teplotního faktoru vnitřního povrchu tak, aby byla splněna podmínka (1).
2. Snížení či úplného vyloučení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce tak, aby byly splněny požadavky ČSN 73 0540-2 [2] ohledně kondenzace vodní páry uvnitř konstrukcí.
3. Snížení hodnoty součinitele prostupu tepla U tak, aby byl splněn požadavek ČSN 73 0540-2 [2] na jeho maximální hodnotu. Pokud nebude možné tento požadavek splnit, je třeba postupovat podle čl. 5. 2. 2 ČSN 73 0540-2 [2].

Tepelně technické posouzení se provede stejným způsobem jako v případě úpravy obvodových konstrukcí – viz kap. 3. 2.

4 ZÁVĚR

Bez provedení některé z výše uvedených úprav hrozí riziko výskytu poruch způsobených nadměrnou kondenzací vodní páry, a to:

1. Na povrchu stavebních konstrukcí tak, jak je popsáno v kap. 1.
2. Uvnitř obvodových konstrukcí, což může mít za následek:
 - a) Snížení jejich tepelně izolační schopnosti.
 - b) V případě dřevěných konstrukcí pak může být důsledkem jejich napadení biologickými škůdci (hnilobou, plísněmi, dřevokaznými houbami nebo hmyzem), což může vést i ke ztrátě únosnosti v důsledku totální destrukce (např. u nosných prvků dřevěných stropů, krovů, dřevěných hrázdných stěn atd.).

LITERATURA

- [1] GERTIS, K., ERHORN, H. *Wohnfeuchte and Wärmebrücken*. HLH 36, 1985, 3.
- [2] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky (2007).
- [3] SVOBODA, Z. *TEPLO 2009 pro Windows*. Výpočtový program pro PC.
- [4] SVOBODA, Z. *AREA 2009 pro Windows*. Výpočtový program pro PC.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, ČVUT Praha, Fakulta stavební

Jaroslav SOLAŘ¹

NAVRHOVÁNÍ PODLAH V RÁMCI SANACE VHLKÉHO ZDIVA

DESIGNING OF FLOORS WITHIN REHABILITATION OF WET MASONRY

Abstrakt

Při sanacích vlhkého zdiva odchází často k zásahu do podlahových konstrukcí. V příspěvku je pojednáno o možnosti návrhu skladeb podlah s tepelnou izolací uloženou přímo na zemině. Dále pak je zde popsána problematika stavebně fyzikálního návrhu a posouzení podlahových vzduchových mezer, které se běžně aplikují při sanacích vlhkého zdiva zejména u historických objektů. V příspěvku je také zmíněna problematika rekonstrukcí stávajících podlahových vzduchových dutin.

Abstract

During rehabilitation of wet masonry, intervention into floor structures often occurs. The article deals with possibility of floor structure designing with thermal insulation laid directly on soil. The issue of building and physical design and assessment of floor air cavities that is commonly applied in rehabilitation of wet masonry mainly with historical buildings is described. In the article the issue of reconstruction of current floor air cavities is mentioned.

1 ÚVOD

Při sanaci vlhkého zdiva u stávajících objektů dochází často také k zásahu do podlahových konstrukcí, resp. k provádění podlah nových. Ve většině případů se jedná o podlahy situované na terénu. **Důvodem pro zásah do stávající podlahy může být:**

1. **Nutnost provedení nové hydroizolace v podlaze.**
2. **Napojení hydroizolace v podlaze na novou hydroizolaci ve stěnách; ukončení hydroizolace v podlaze v návaznosti na jiné hydroizolační opatření ve stěnách.**
3. **Nutnost dodatečného provedení protiradonového opatření v podlaze.**
4. **Nutnost dodatečného vložení tepelné izolace do podlahy.**
5. **Nutnost provedení nové nášlapné vrstvy podlahy.**

Provedení nové hydroizolace v podlaze je nutné zpravidla tehdy, jestliže stávající hydroizolace má již prošlou životnost a neplní svou funkci, nebo hydroizolace v podlaze nebyla provedena vůbec (což je u objektů postavených před více jak padesáti lety zcela běžné).

Napojení hydroizolace v podlaze na novou hydroizolaci ve stěnách, pokud byla provedena jejich sanace některou z mechanických metod (např. podřezáváním zdiva, probouráváním zdiva či HW systémem) je nutné z důvodu zajištění celistvosti hydroizolačního povlaku. Taktéž je nutno zajistit řádné spolupůsobení sanačních opatření, tedy návaznost hydroizolace v podlaze v místě jejího napojení na zdivo při sanaci chemickou injektáží, některou z elektroosmotických metod apod.

Nutnost provedení dodatečné tepelné izolace v podlaze může vyplynout z požadavků na hodnotu součinitele prostupu tepla U , jež jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2 [3],

¹ Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 301, e-mail: jaroslav.solar@vsb.cz.

a které jsou v současné době také na podlahové konstrukce situované na terénu poměrně vysoké. Dalším důvodem může být nutnost vyřešení kondenzace vodní páry ve vodorovných koutech u podlahy (zejména u obvodových stěn).

Nutnost dodatečného provedení protiradonového opatření v podlaze může vyvstat zejména u nepodsklepených místností, jestliže jsou zde situovány pobytové prostory (definice – viz Vyhláška MMR č. 137/1998 Sb. [4]). a pokud v nich byla zjištěna koncentrace radonu vyšší, než je směrná hodnota objemové aktivity radonu v interiéru, která je uvedena ve Vyhlášce č. 307/2002 Sb [5] a činí 400 Bq/m^3 pro stávající stavby (pro nové stavby pak 200 Bq/m^3). Konkrétně se zde jedná o vložení protiradonové izolace, případně také vložení trub pro odvětrání podloží, nebo provedení ventilační vrstvy v konstrukci podlahy.

Nutnost provedení nové nášlapné vrstvy podlahy může vyvstat z důvodu jejího opotřebení, nebo z důvodu změny užívání dané místnosti.

Pokud se již do konstrukce podlahy v rámci realizace sanace vlhkého zdiva zasahuje z jakéhokoli důvodu, je třeba již v rámci zpracování projektu **navrhnout novou skladbu podlahy komplexně tak, aby kromě požadavků, které jsou uvedeny v ČSN 74 4505 [7] byly splněny také požadavky:**

1. **Na ochranu proti působení zemní vlhkosti (případně tlakové vody)** v souladu s ČSN P 73 0600 [1] a ČSN P 73 0606 [2].
2. **Na ochranu proti pronikání radonu z podloží** – viz ČSN 73 0601 [6].
3. **Z hlediska stavební tepelné techniky**, které jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2 [3].

Dále je nutno **řádně vyřešit detail napojení hydroizolace** v podlaze na novou hydroizolaci ve stěnách; resp. ukončení hydroizolace v podlaze v návaznosti na jiné hydroizolační opatření ve stěnách.

2 DODATEČNÉ VLOŽENÍ TEPELNÉ IZOLACE DO PODLAHY

Pokud v rámci projekčního návrhu sanačních prací vyvstane potřeba k celoplošnému zásahu do podlahy situované na terénu (tedy v suterénu u podsklepených objektů, nebo v 1. nadzemním podlaží u nepodsklepených objektů), pak **je nutno zvážit možnost, resp. nutnost dodatečného vložení tepelné izolace do podlahy**. A to tak, aby byl splněn požadavek ČSN 73 0540-2 [3] na hodnotu součinitele prostupu tepla U (pokud to bude možné). **To z následujících důvodů:**

1. **Výrazně se sníží tepelné ztráty postupem skrze konstrukci podlahy.**
2. **Dojde ke zvýšení povrchových teplot ve vodorovném koutu v místě podlahy.**

Tepelně technické posouzení se provede vhodným výpočetním programem (např. TEPLO 2009 [8]).

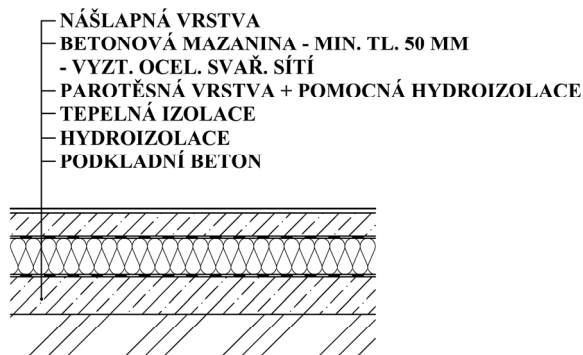
Pokud je to možné, **je vhodné položit tepelnou izolaci** ne způsobem doposud obvyklým (viz obr. 1), ale **přímo na zeminu** (viz obr. 2). **Návrh takovéto skladby podlahy má dvě zásadní přednosti:**

1. **Oproti obvyklému způsobu (viz obr. 1) je skladba s tepelnou izolací uloženou přímo na zemině (viz obr. 2) výhodná z hlediska průběhů parciálních tlaků a tedy i kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce.** To proto, že uvedená skladba respektuje oba základní stavebně fyzikální požadavky (resp. konstrukční zásady), které jsou v našich klimatických podmínkách obecně platné pro veškeré obvodové konstrukce. Jedná se o:

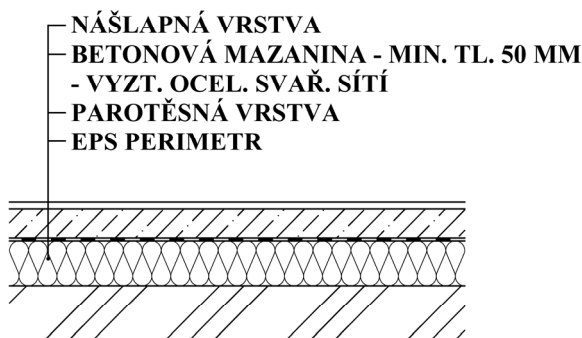
- a) **Požadavek na průběh tepelných odporů R** – tepelný odpor R obvodové konstrukce (podlahy, svislé obvodové konstrukce, střešního pláště) se musí ve směru od interiéru k exteriéru zvyšovat.
- b) **Požadavek na průběh difúzních odporů R_d** – difúzní odpor R_d , resp. ekvivalentní difúzní tloušťka r_d obvodové konstrukce (podlahy, svislé obvodové konstrukce, střešního pláště) se musí ve směru od interiéru k exteriéru snižovat.

To je dáno tím, že asfaltový pás tvořící hydroizolaci a parozábranu zároveň blíže interiéru, tedy před tepelnou izolací, což má pozitivní vliv na průběh parciálních tlaků vodní páry v konstrukci podlahy, čímž je prakticky vyloučena možnost kondenzace vodní páry v tepelné izolaci. Tepelná izolace v tomto případě musí být z pěnového polystyrénu typu Perimetr, nebo z extrudovaného polystyrénu (XPS).

2. Dochází zde k úspoře podkladní betonové vrstvy a jedné vrstvy hydroizolace.

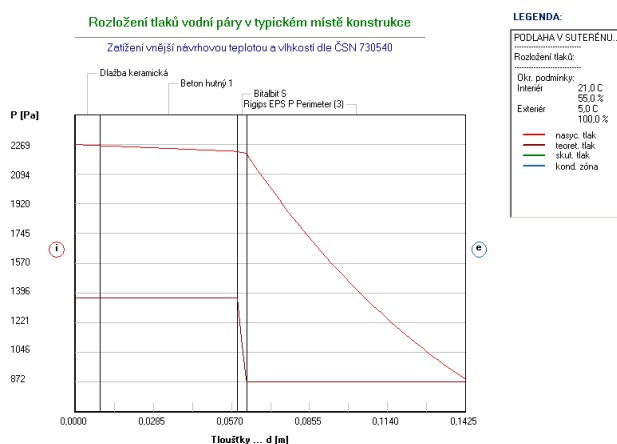


Obr.1: Princip obvyklé skladby podlah situovaných na terénu.



Obr.2: Princip skladby podlahy s tepelnou izolací uloženou přímo na zemině.

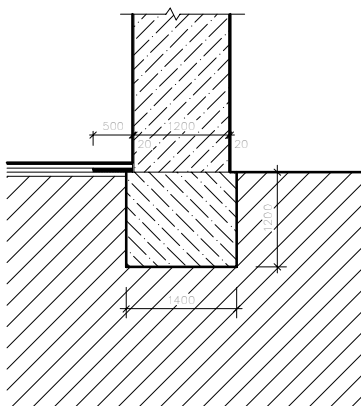
Na obr. 3 je znázorněn příklad průběhu parciálních tlaků vodní páry u podlahy s tepelnou izolací z EPS typu Perimetr o tl. 80 mm položenou přímo na zemině.



Obr.3: Průběh parciálních tlaků vodní páry u podlahy s tepelnou izolací z EPS typu Perimetr o tl. 80 mm. Výstup z programu TEPLO 2009 [8].

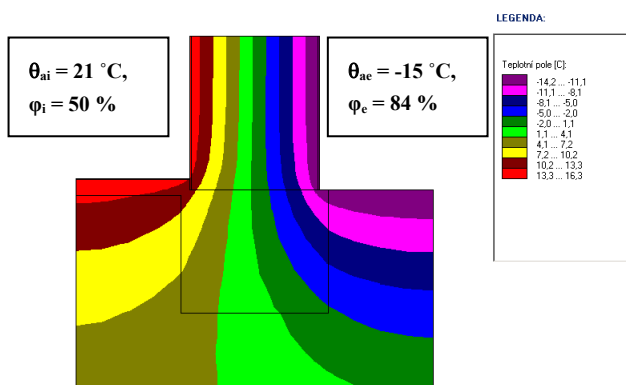
Pokud jde o snížení tepelných ztrát, toto bude nutno zejména u podlah ve vytápěných místnostech situovaných na terénu.

U nevytápěných místností může být dodatečné vložení tepelné izolace neekonomické. Zde je pak vhodné vložit tepelnou izolaci nikoliv v celé ploše podlahy, ale pouze v místě vodorovného koutu za účelem zvýšení povrchových teplot, což má vliv nejen na tepelné ztráty v místě koutu, ale také na snížení, resp. úplné vyloučení kondenzace vodní páry v daném místě. Na stěně v místě koutu je také možno provést vhodný typ tepelně izolační omítky. Návrh tepelné izolace v místě vodorovného koutu může mít velký význam zejména u objektů s vysokou tepelnou setrvačností, což jsou zděné objekty s velkými tloušťkami obvodových stěn (zejména historické budovy). Příklad řešení je znázorněn na obr. 4.

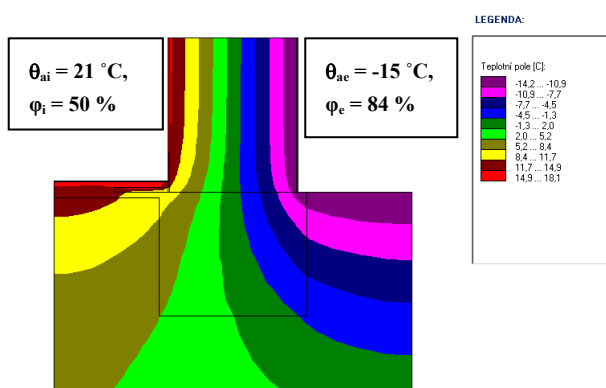


Obr.4: Schéma vodorovného dolního koutu s tepelnou izolací – EPS typu Perimetr, event. extrudovaný polystyrén (XPS) v podlaze.

Tepelně technické posouzení se provede podle ČSN 73 0540-2 [1] řešením dvourozměrného teplotního pole (např. pomocí výpočtového programu AREA 2009 [9]). Viz obr. 5 a 6.



Obr.5: Průběh teplot ve vodorovném dolním koutu bez úpravy. Výstup z programu AREA 2005 (předchozí verze AREA 2009 [9]).



Obr.6: Průběh teplot ve vodorovném dolním koutu s extrudovaným polystyrénem v podlaze (viz obr. 3). Výstup z programu AREA 2005 (předchozí verze AREA 2009 [9]).

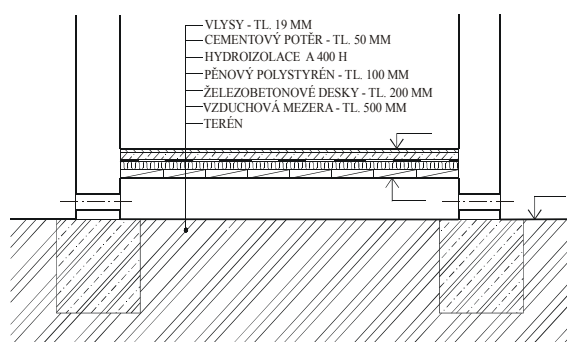
3 PODLAHOVÉ VZDUCHOVÉ MEZERY

V souvislosti s prováděním sanací vlhkého zdiva se v České republice běžně používá větraných vzduchových mezer pod podlahami, které jsou v kontaktu s podloží. Větrané vzduchové mezery je možno použít také jako ochranu proti radonu pronikajícímu z podloží. Z konstrukčního hlediska mohou být vzduchové mezery řešeny dvěma způsoby:

1. Zastropením pomocí vodorovné nosné konstrukce.
2. Pomocí speciálních tvarovek z plastických hmot (např. typu IGLU, IPT desky apod.).

3.1 Vzduchová mezera vytvořená zastropením

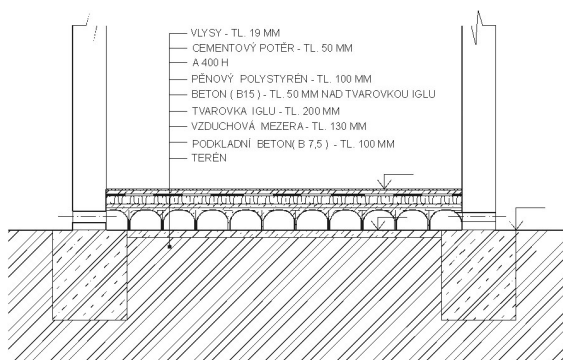
Zastropení vzduchové mezery se provede pomocí vodorovné nosné konstrukce, která může být tvořena například železobetonovými stropními deskami, dřevěnými trámy a prkny (zde však bude nutná její ochrana proti biologickým škůdcům), ocelovými profilovanými plechy, atd. Tento způsob je vhodný zejména v případě historických objektů a u objektů, které jsou na seznamu kulturních památek České republiky. Způsob zastropení musí respektovat případný památkový charakter objektu. Příklad řešení dutiny tímto způsobem je uveden na obr. 7.



Obr.7: Příklad vodorovné vzduchové mezery pod podlahou, vytvořené zastropením.

3.2 Vzduchová mezera vytvořená pomocí speciálních tvarovek z plastických hmot

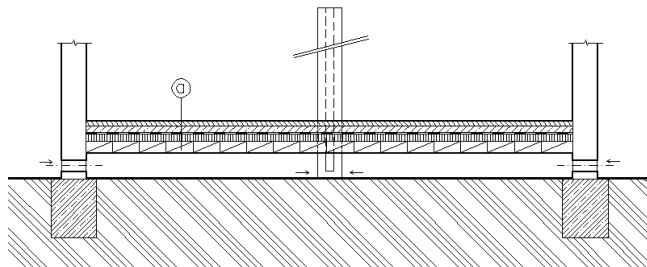
Před několika lety se na českém trhu objevily různé typy tvarovek určených pro tento účel. Způsob řešení podlahové dutiny pomocí zmíněných tvarovek spočívá v provedení podkladní betonové vrstvy, popřípadě pouze zhutněného štěrkopískového podsypu. Na podkladní vrstvu se položí tvarovky, které se pak zalijí betonovou zálivkou, na kterou se posléze provedou další vrstvy podlahy. Použití tohoto způsobu řešení vzduchové mezery u památkově chráněných objektů bude zřejmě problematické.



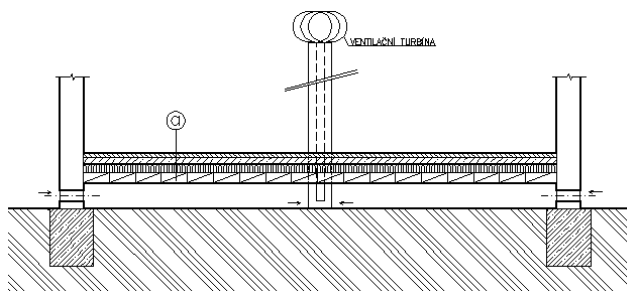
Obr.8: Příklad vodorovné vzduchové mezery pod podlahou, vytvořené pomocí tvarovek z plastických hmot.

V obou uvedených případech je vhodné, pokud se výšková úroveň okraje vlhkostní mapy ve zdivu nachází nad úrovní nášlapné vrstvy nové podlahy, nebo v úrovni její konstrukce, oddělit konstrukci nové podlahy od stěny dělicí spárou o tl. 10 mm, která se překryje podlahovou lištou.

Pokud je to možné, provedeme napojení vzduchové mezery na stávající nepoužívaný komínový průduch (viz obr. 9). Pro zlepšení funkce (zvýšení rychlosti proudění vzduchu) osadíme v místě komínové hlavy vhodný typ ventilační turbíny (viz obr. 10).



Obr.9: Příklad vodorovné vzduchové mezery pod podlahou, vytvořené zastropením s napojením na nepoužívaný komínový průduch.



Obr.10: Příklad vodorovné vzduchové mezery pod podlahou, vytvořené zastropením s napojením na nepoužívaný komínový průduch a s ventilační turbínou osazenou v místě komínové hlavy.

3.3 Návrh výšky vzduchové mezery

Výška vzduchové mezery závisí u obou uvedených způsobů:

- Na vzdálenosti nasávacích a výdechových otvorů.
- Na osové vzdálenosti a celkové ploše nasávacích a výdechových otvorů.

Nutnou podmínkou je zajištění proudění vzduchu tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vodní páry uvnitř vzduchové mezery. V případě vzduchové mezery řešené pomocí tvarovek je třeba respektovat výšky ve kterých se tyto tvarovky vyrábějí. V současné době se v projekční praxi podlahové vzduchové mezery navrhuji pouze na základě empirie. Aby však byla zajištěna jejich správná funkce je třeba, aby návrh výšky vzduchové mezery a návrh plochy a polohy nasávacích a výdechových otvorů musí být doložen tepelně technickým výpočtem.

V obou uvedených případech dojde k určitému snížení světlé výšky příslušné místnosti. Pokud by toto bylo na závadu, pak bude třeba odstranit stávající podlahu v celé tloušťce (včetně podkladních vrstev) a provést prohloubení na takovou úroveň, aby byla zajištěna potřebná světlá výška. Zde však bude hrát roli také úroveň základové spáry. Mezi dolním povrchem vzduchové mezery a úrovní základové spáry musí být dodržena nezámrazná hloubka, která v našich klimatických podmínkách činí minimálně 800 mm.

3.4 Tepelně technické posouzení podlahových konstrukcí s větranou vzduchovou mezerou

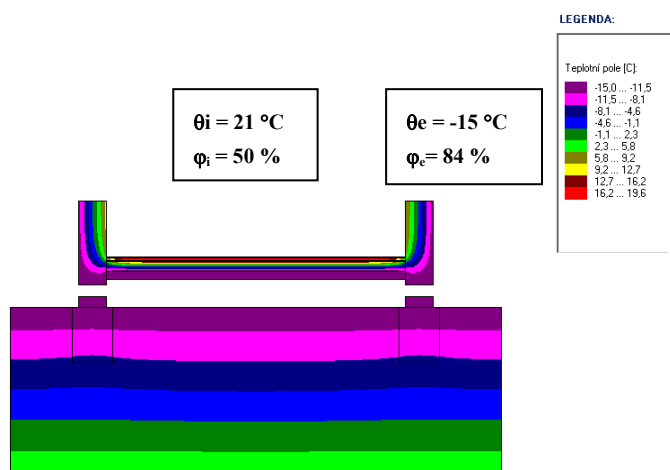
Z tepelně technického hlediska je uvedený problém částečně analogický s problematikou plochých dvouplášťových větraných střeš. Z tohoto důvodu zde není v rámci jednotlivých částí níže uvedeného tepelně technického posouzení tato problematika podrobně rozebírána, neboť je uvedena v dostupné literatuře z oblasti plochých střeš či tepelné techniky. Tepelně technické posouzení se provede podle ČSN 73 5040-2 [3].

Tepelně technické posouzení podlahových konstrukcí s větranou vzduchovou mezerou sestává z:

1. Posouzení hodnoty součinitele prostupu tepla U [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$] konstrukce podlahy nad vzduchovou mezerou.
2. Posouzení teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} v dolních koutech místností v rizikových detailech (venkovní stěna, vnitřní stěna sousedící s nevytápěnou místností apod.).
3. Posouzení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce podlahy.
4. Posouzení poklesu dotykové teploty podlahy.
5. Posouzení proudění vzduchu a kondenzace vodní páry ve vzduchové mezeře.

Zmíněné tepelně technické posouzení je podrobně popsáno v [15]. Je vhodné použít výpočtových programů – např. TEPLLO 2009 [8], AREA 2009 [9] a MEZERA 2009 [12].

Pro doplnění výpočtu uvedeného v bodě 2. je vhodné ověřit také průběh teplotních polí (například pomocí výpočetního programu AREA 2009 [9]).



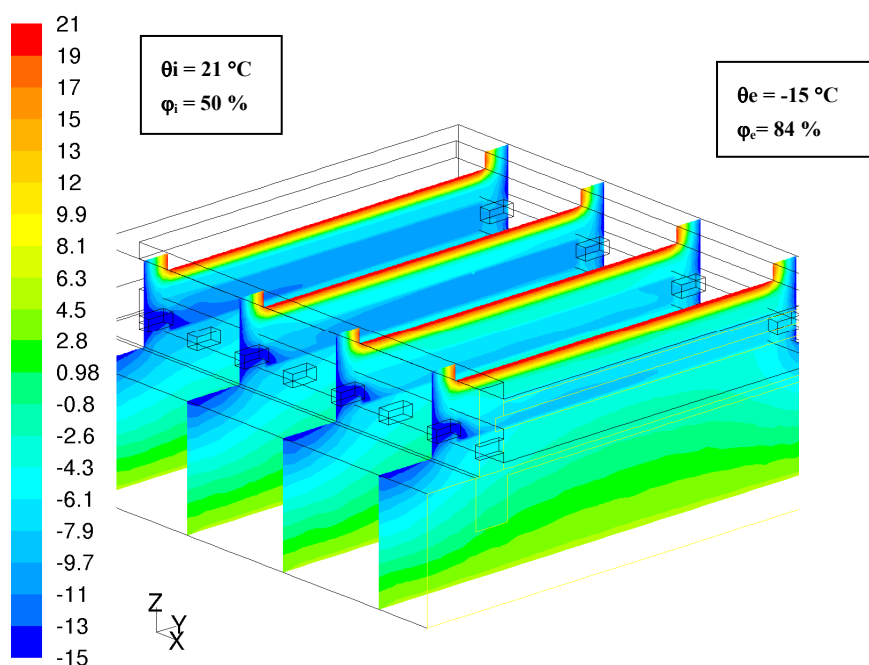
Obr.11: Průběh teplot v konstrukcích tvořících vodorovnou vzduchovou dutinu pod podlahou Výstup z programu AREA 2007 (předchozí vrze programu AREA 2009 [9]).

Pokud bude podlahová vzduchová mezera navrhována u nových objektů (např. z důvodu ochrany proti pronikání radonu z podloží), pak se příslušná riziková místa navrhnou tak, aby nevytvářela tepelné mosty a nemohlo v nich docházet ke kondenzaci vodní páry.

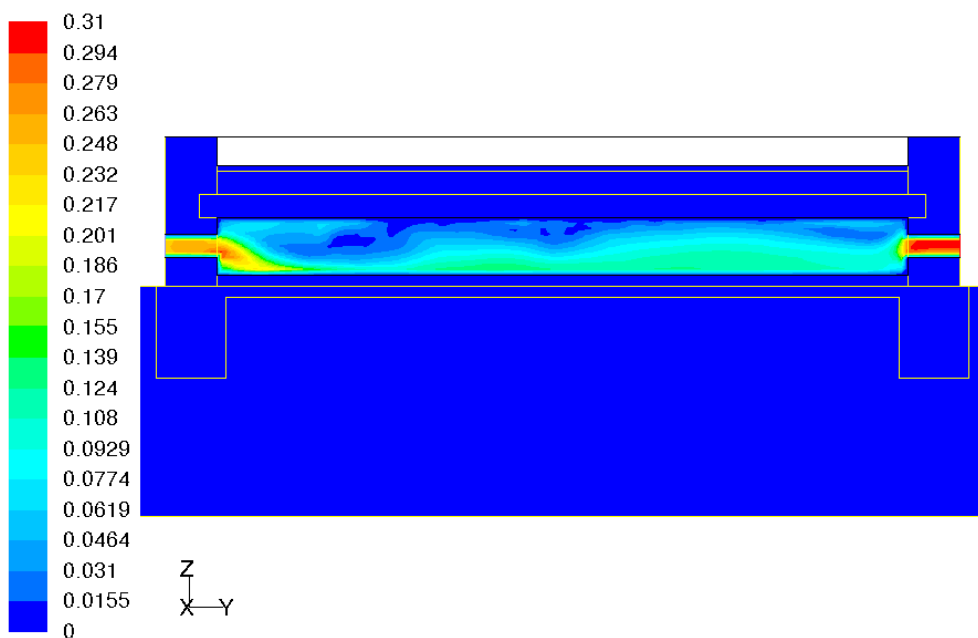
3.4.1. Posouzení podlahových vzduchových dutin metodou CFD (computational fluid dynamics)

Posouzení proudění vzduchu ve vzduchové mezeře (jeho rychlostí a průběhu teplot) a průběhů teplot v přilehlých konstrukcích je vhodné provést metodou CFD (např. pomocí výpočetního programu ANSYS [13]). To zejména tehdy, jestliže geometrie vzduchové mezery je taková, že posouzení například pomocí programu MEZERA 2009 [12] je již neproveditelné (složitější půdorysný tvar, překážky ve vzduchové mezeře, napojení vzduchové mezery na nepoužívaný komínový průduch – ať už bez použití ventilační turbíny, nebo s ventilační turbínou apod.).

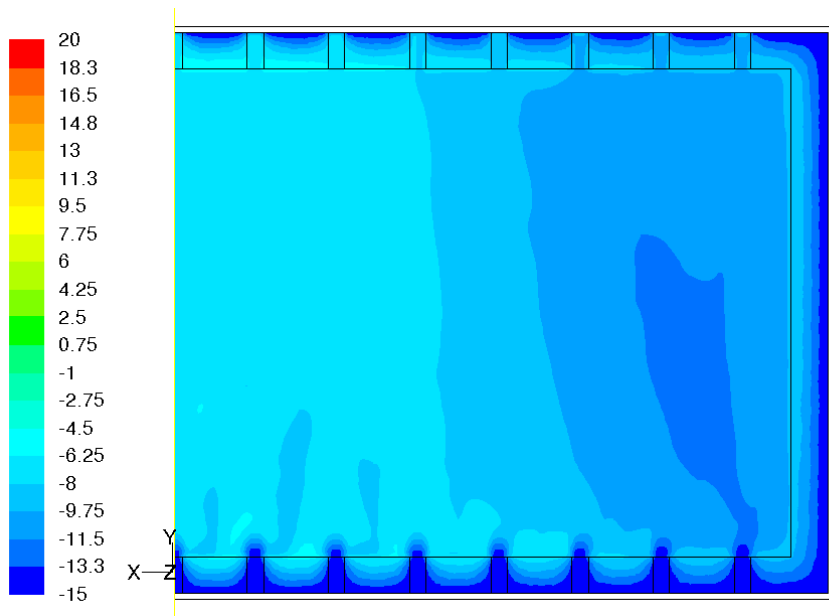
Na obr. 12 a 13 jsou pro ilustraci znázorněny průběhy teplot a rychlostí proudění vzduchu ve vodorovné vzduchové mezeře, které byly vypočteny metodou CFD pomocí výpočtového programu ANSYS [13]. Výpočty provedl M. Kalousek. O problematice posuzování vzduchových dutin metodou CFD je podrobněji pojednáno v [11].



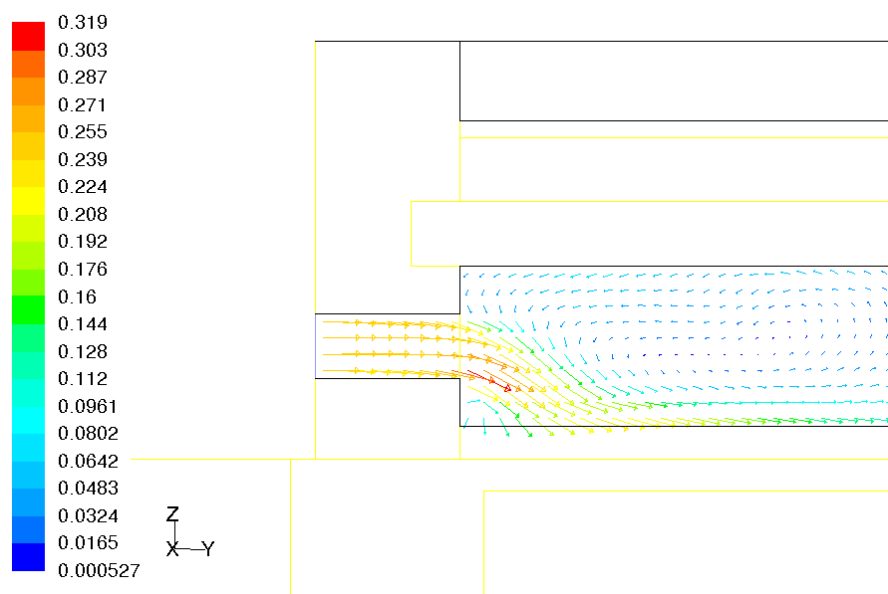
Obr.12: Pole teplot [$^{\circ}\text{C}$] ve vybraných řezech ve svislé rovině mezery v místech větracích otvorů pro rychlost větru $2,5 \text{ m.s}^{-1}$.



Obr.13: Pole rychlostí proudění vzduchu v řezu v ose větracích otvorů pro rychlost větru $2,5 \text{ m.s}^{-1}$.



Obr.14: Pole teplot v půdoryse v ose mezery [°C] pro rychlost větru $2,5 \text{ m.s}^{-1}$.



Obr.15: Pole rychlostí proudění vzduchu v řezu v ose větracích otvorů [m.s^{-1}].

3.5 Rekonstrukce podlahových dutin

Oprava nebo rekonstrukce podlahové vzduchové dutiny musí být navržena a provedena odborným způsobem. Je tedy třeba, aby návrhu opravy či rekonstrukce dutiny vždy předcházela přesná diagnóza poruchy, a to formou **odborného posudku**, který musí obsahovat:

1. **Výsledek vizuální prohlídky** – konstrukce podlahy, koutů v místech přilehlých svislých stěn, nasávacích a výdechových otvorů, atd.
2. **Měření teplot** – na povrchu podlahy a v koutech přilehlých svislých stěn, a to v návaznosti na příslušné okrajové podmínky (teplota a relativní vlhkost v interiéru a v exteriéru). Zde je vhodné využít také termovize.
3. **Výsledky měření vlhkosti zdiva přilehlých svislých stěn** – v souladu s ČSN P 73 0610 [14]. Určení příčiny jejich případné nadměrné vlhkosti.
4. **Výsledek sondy do konstrukce podlahy a dutiny** – skladba podlahy, tloušťky jednotlivých vrstev a jejich hmotnostní vlhkost. Dále pak velikost dutiny, případně překážky uvnitř dutiny, bránící proudění vzduchu. V případě průzkumu dutiny je možno využít endoskopie.
5. **Tepelně technické posouzení.**

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl vypracován za finančního přispění MŠMT, projekt 1M0571 v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

LITERATURA

- [1] ČSN P 73 0600 Hydroizolace staveb – Základní ustanovení (2000)
- [2] ČSN P 73 0606 Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení (2000)
- [3] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky (2007).
- [4] Vyhláška MMR č. 137/1998 Sb. o obecných požadavcích na výstavbu.
- [5] Vyhláška č. 307/2002 Sb. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost ze dne 13. června 2002 o radiační ochraně.
- [6] ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti pronikání radonu z podloží (2006).
- [7] ČSN 74 4505 Podlahy. Společná ustanovení (2008).
- [8] SVOBODA, Z. *TEPLO 2009. Výpočtový program pro PC.*
- [9] SVOBODA, Z. *AREA 2009. Výpočtový program pro PC.*
- [10] WTA 2-2-04/D Sanační a omítkové systémy.
- [11] SOLAŘ, J., KALOUSEK, M. *Posouzení proudění vzduchu v podlahové vzduchové dutině metodou CFD.* Tepelná ochrana budov č. 2/2008, str. 3 – 9. ISSN 1213-0907.
- [12] SVOBODA, Z. *MEZERA 2009. Výpočtový program pro PC.*
- [13] *ANSYS – FLUENT. Výpočtový program pro PC.*
- [14] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – základní ustanovení (2000)
- [15] BALÍK, M. a kol: *Odvhlčování staveb.* Grada Publishing, a. s., 2008. ISBN 978-80-247-2693-9.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, ČVUT Praha, Fakulta stavební.

Martina PEŘINKOVÁ¹

**VÝZKUM DLOUHODOBÉ ÚČINNOSTI SANACE KLÁŠTERA
NA HOŘE MATKY BOŽÍ U KRÁLÍK**

**THE RESEARCH OF LONG TERM EFFECT OF RECONSTRUCTION MONASTERY ON THE
MOUNTAIN OF MOTHER OF GOD IN KRÁLÍKY**

Abstrakt

Historické objekty jsou sanovány mnoha způsoby a to především s ohledem na způsob jejich degradace. Nejčastějším problémem těchto budov je vlhkost pronikající do konstrukcí mnoha způsoby. Jedním ze způsobů ochrany stěn je aplikace sanačních omítek. Je nutné se zabývat průzkumem jejich dlouhodobé účinnosti.

Abstract

Historical buildings are reconstructed by many methods which with view on their degradation form. The most common problem of these buildings is damp which sing into constructions by many ways. One of a lot of protection methods is application of redevelopment plasters. It seems necessary to dwell research of their long term effect.

1 ÚVOD

Použití sanačních omítek u historických objektů má svá specifika. Tento typ omítek nemá díky svému složení historickou tradici. Z toho důvodu jsou sanační omítky představiteli památkové péče vnímány negativně a jejich používání na historických objektech je přísně regulováno.

Na historicky cenných stavbách je rovněž často obtížné realizovat některá velmi účinná sanační opatření jako je podřezávání, injektáže, elektroosmózy a jiné. Příčiny jsou především v ochraně památek, dále pak problémy technické a ekonomické. Velmi často tak není možné skutečně důsledně zamezit pronikání zemní vlhkosti do nosných konstrukcí. Musíme tedy počítat s tím, že vlhkost se ve zdivu bude nadále vyskytovat a bude ovlivňovat funkci sanačních omítek. Pokud má sanační systém fungovat co nejdéle, musíme přístup zemní vlhkosti alespoň výrazně omezit. Teprve tehdy mají sanační omítky šanci fungovat.

2 HISTORIE OBJEKTU

Mariánské poutní místo Hora Matky Boží se rozpíná nad městem Králíky na samých hranicích s Polskem pod Králíckým Sněžníkem více než 300 let. Téměř pětitisícové město Králíky se připomíná poprvé roku 1367. Nad ním v nadmořské výšce 760 metrů na hoře, která se dříve jmenovala Lysá, založil králícký rodák Tobiáš Jan Becker, svatovítský kanovník a později královéhradecký biskup, monumentální poutní komplex..

Poutní komplex se začal stavět roku 1696. Podle některých svědectví byla prý na místě poutního kostela předkřesťanská svatyně. Lidé přinášeli vlastníma rukama na stavbu materiál - trámy i kamení - a pomáhali při stavbě bez nároku na odměnu. Stavba rostla úctyhodným tempem a již za

¹ Doc. Ing. Martina Peřinková, Ph.D., Katedra architektury, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 351, e-mail: martina.perinkova@vsb.cz.

čtyři roky, 21. 8. 1700, byl do kostela přenesen milostný obraz a kostel posvěcen. Podle přání zakladatele Tobiáše Jana Beckera se od toho dne začala Lysá hora nazývat Horou Matky Boží.

Poté, co byl vystavěn poutní areál, začalo se stavbou konventu. Biskup Becker povolal kněze z řádu servitů, a ti se roku 1710 přestěhovali do nového kláštera.

Na sklonku 70. let 20. století se začíná psát novodobá historie Hory Matky Boží. V té době navštívil poutní místo nemocný krajan Franz Jentschke a vyprosil si zde uzdravení. Později začal opravovat kapličky křížové cesty. Když viděl, jak veliké investice budou potřeba, založil Nadaci „Muttergottesberg -Stiftung“, která o obnovu poutního místa pečuje dodnes.

Areál kláštera tvoří ambit, kostel a budova konventu. Ambit má čtyři křídla, v nárožích jsou osmiboké kaple. Kostel nanebevzetí Panny Marie je trojlodní bazilika.



Foto 1 a 2: Interiér chodeb kláštera

3 STAV OBJEKTU PŘED SANACÍ

Objekt je zděnou stavbou v oblasti soklu z kamenného zdiva, nad soklem z cihelného zdiva. Základy jsou tradičně kamenné. Omítky uvnitř objektu byly již před zahájením sanace částečně odstraněny a to až do výšky, kde je zdivo narušeno vlhkostí a působením nežádoucích solí. Na omítkách bylo vidět místní poškození převážně ve výšce spodní části oken a výrazně tmavší hranice na nátěru ukazující přechod vlhkého a suchého zdiva, která se pohybovala mezi 1,5 až cca 3m.

Větší zatížení bylo na vnitřní stěně v boční chodbě a postupně klesalo. Vnější stěna vykazovala rovnoměrnější výšku zatížení vlhkostí a zasolení asi 1,0m až 1,8m. Největší vlhkost se pravděpodobně nedostávala do zdiva vztlínáním ze základů, ale kondenzací v teplejším období, kdy je v chodbách výrazně nižší teplota než venku. Vlhkost v dolní části zdiva stékala (nevypařovala se, a proto byla v dolní části nižší koncentrace zasolení). V horní části chodby v místě vypařování narůstá v omítce koncentrace solí. Proto bylo třeba dbát na dostatečnou výšku provedení sanační omítky.

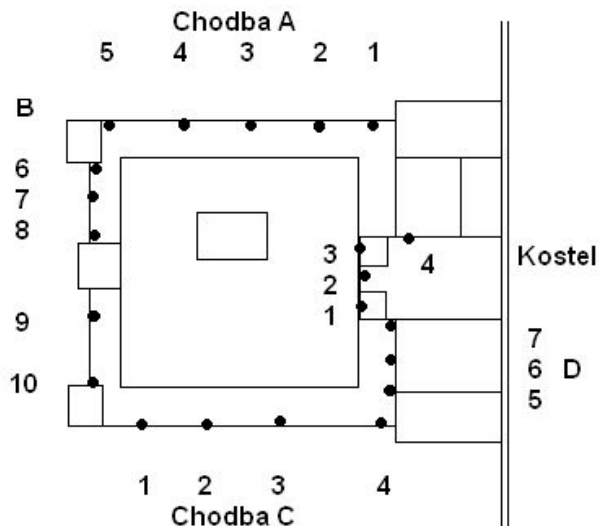
V letních měsících, kdy v chodbách dochází ke zvýšené kondenzaci vlhkosti, je nutné zajistit zvýšené větrání, popřípadě i zvýšení teploty tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vlhkosti na studeném zdivu.

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP SANACE

Sanační omítky v klášteře byly prováděny po etapách. První z nich proběhla v roce 2004, druhá v roce 2005 a třetí v roce 2006. Na obrázku 1 jsou označena místa měření a v tabulkách 1-6 a grafech 2-4 je zaznamenáno, jakým způsobem etapy probíhaly. Přesné označení bylo důležité proto, aby bylo možné rozdělit realizace podle doby působení a byla zadána správná data pro statistickou analýzu.

Objekt je památkově chráněn a nebyly zde povoleny jiné sanační úpravy než sanační omítky. Také jejich použití bylo přísně regulováno a zohledňovalo výskyt historických záznamů na původních omítkách a pod nimi.

Omítky na chodbách byly odstraněny do potřebné výšky a spáry byly vyškrábány do hloubky 20mm. Dále bylo zdivo očištěno ocelovými kartáči. Na očištěné zdivo byl aplikován přípravek Kieselfest a následně byl proveden postřík SANIER – Vorspritzmörtel 205. Kaverny po odstraněných, nesoudržných a vydrolených částech zdiva, drážky po instalaci a výrazné nerovnosti byly doplněny vyrovnávací sanační maltou SANIER – Porenausgleichsputz 208. Jako další vrstva byla celoplošně provedena jádrová omítka SANIER - Porenausgleichsputz 208 v tloušťce 10-25mm. Následující vrstvu tvoří sanační omítka SANIER – Wandputz 200 v tloušťce 20-25mm. Po vyschnutí jádrové sanační omítky byl nanesen sanační štuk Feinputz 212 v tloušťce 2mm. Konečná úprava byla provedena nátěrem barvou SILIKAT Innenanstrich 760 – vnitřní silikátová barva.



Obr.1: Označení míst měření a odběru vzorků, S▲.

3 STAV OBJEKTU V ROCE 2007

Objekt je velmi pečlivě udržován a je ve výborném technickém stavu. Omítky jsou bez poruch avšak nebylo možné odebrat vzorky pro laboratorní analýzu solí. Bylo tedy provedeno důkladné měření vlhkosti vlhkoměrem UNI 2.

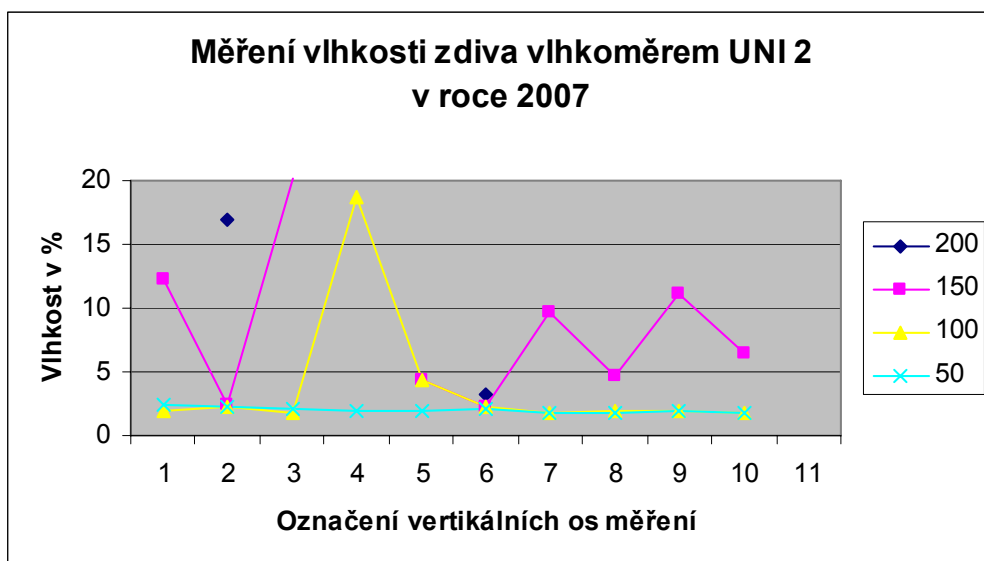
Protože byly přísně regulovány výšky sanačních omítek, bylo přistoupeno k měření vlhkosti pod přechodem sanační omítky na běžnou omítku a nad ním. V tabulkách jsou měření nad sanací označena žlutou barvou.

Tab.1: Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2004 a 2005, chodba A+B.

Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2004 a 2005											
Výška měření(cm)	Naměřená hodnota vlhkosti zdiva v %										
	Označení vertikálních os měření										
	rok 2004							rok 2005			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
200											
150		5,21	18,50		5,71	5,28	4,45		2,80	4,60	
100		6,51	8,50		5,45	6,55	4,52		3,50	5,50	
50		8,70	8,90		6,98	7,82	5,26		3,90	6,10	

Tab.2: Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007, chodba A+B.

Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007											
Výška měření(cm)	Naměřená hodnota vlhkosti zdiva v %										
	Označení vertikálních os měření										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
200		17,00				3,19					
150	12,29	2,47	20,10		4,40	2,32	9,72	4,60	11,06	6,51	
100	1,97	2,27	1,75	18,71	4,40	2,25	1,85	1,86	1,92	1,83	
50	2,36	2,28	2,15	1,86	1,86	2,11	1,84	1,84	1,93	1,78	



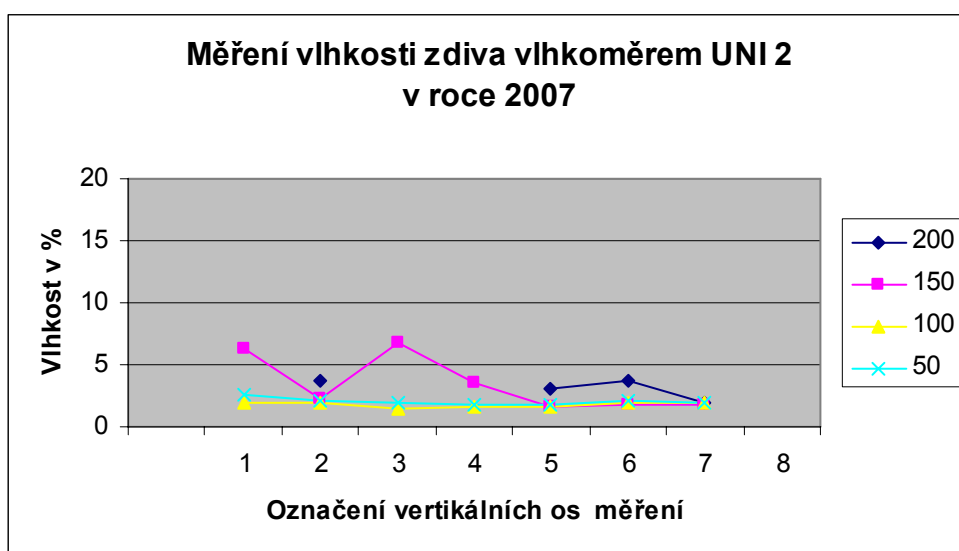
Obr.2: Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007, chodba A+B.

Tab.3: Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2005 -2006, chodba C+D.

Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 - chodba C+D									
Výška měření(cm)	Naměřená hodnota vlhkosti zdiva v %								
	Označení vertikálních os měření								
	realizace rok 2005					realizace rok 2006			
		1	2	3	4	5	6	7	8
200									
150		2,80	3,30	5,40	2,10	5,20	4,70	2,90	
100		4,12	4,00	5,50	3,50	6,60	5,90	3,40	
50		3,90	4,40	6,10	5,50	7,10	7,00	5,30	

Tab.4: Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007- chodba C+D.

Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007- chodba C+D									
Výška měření(cm)	Naměřená hodnota vlhkosti zdiva v %								
	Označení vertikálních os měření								
		1	2	3	4	5	6	7	8
200			3,70			3,04	3,70	1,86	
150		6,31	2,20	6,80	3,61	1,64	1,75	1,81	
100		1,86	1,97	1,40	1,67	1,64	2,00	1,86	
50		2,60	2,17	1,88	1,76	1,75	2,17	1,95	



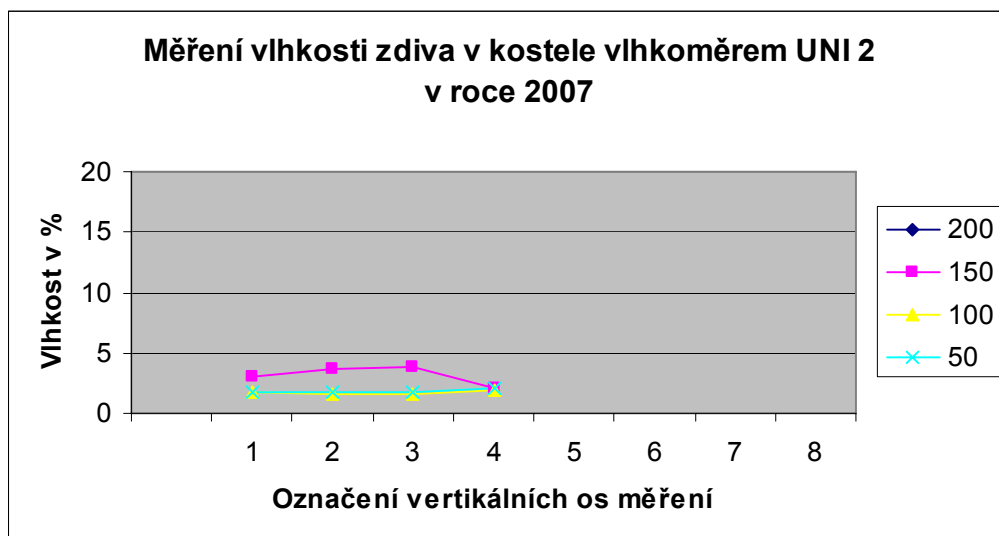
Obr.3: Měření vlhkosti zdiva vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007- chodba C+D.

Tab.5: Měření vlhkosti zdiva v kostele vlhkoměrem UNI 2 v roce 2006.

Měření vlhkosti zdiva v kostele vlhkoměrem UNI 2 v roce 2006									
Výška měření(cm)	Naměřená hodnota vlhkosti zdiva v %								
	Označení vertikálních os měření								
		1	2	3	4	5	6	7	8
200									
150		4,80	2,20	5,20	6,00				
100		5,50	2,20	6,60	7,10				
50		6,10	3,30	7,10	7,70				

Tab. 6: Měření vlhkosti zdiva v kostele vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007.

Měření vlhkosti zdiva v kostele vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007									
Výška měření(cm)	Naměřená hodnota vlhkosti zdiva v %								
	Označení vertikálních os měření								
		1	2	3	4	5	6	7	8
200									
150		3,12	3,70	3,79	2,10				
100		1,75	1,54	1,57	1,92				
50		1,75	1,77	1,84	2,05				



Obr.4: Měření vlhkosti zdiva v kostele vlhkoměrem UNI 2 v roce 2007.

5 ZÁVĚR

Výsledky této realizace nám ukazují důležité informace. Především si není možné nepovšimnout rozdílů vlhkostí pod a nad hranicí sanace. Je to názorná ukázka nedodržení doporučení dodavatele na dostatečnou výšku sanační omítky, která by měla být minimálně 50cm nad kritickou vlhkost. Je jistě pochopitelná snaha památkové péče o zachování identity historických objektů, avšak zde právě vidíme možné důsledky polovičatých rozhodnutí. Špatným a nedůsledným řešením je možné znehodnotit celou realizaci a v konečném důsledku promrhat investice, které již nemohou být znovu vynaloženy.

Protože ještě neuplynula dostatečně dlouhá doba od aplikací omítek, nejsou důsledky destruktivní. Zatím se místy vyskytují viditelné rozdíly vlhkosti na líci omítek. Objekt bude nadále sledován a budou prováděna další měření vlhkostí.

LITERATURA

- [1] BALÍK, M.: *Vysušování zdiva III*. Grada Publishing. 1999.
- [2] BÁRTA, J. a kol.: *Sanace vlhkého zdiva II*, Česká staveb. společnost WTA, Praha 2006. Fotografie: doc. Ing. Martina Peřínková, Ph.D.

Oponentní posudek vypracoval: Doc. Ing. Josef Chybík, CSc., Vysoké učení technické v Brně

Ivana MAHDALOVÁ¹

ANALÝZA NEHOD NA DVOUPRUHOVÉ OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATCE

ACCIDENT ANALYSIS FOR TWO LANES ROUNDABOUT

Abstrakt

Okružní křižovatky patří v poslední době k preferované formě uspořádání úrovnových křižovatek. Na silně dopravně zatížených pozemních komunikacích se používá také uspořádání se dvěma jízdními pruhy na okružním pásu a na zatíženějších vjezdech a výjezdech, a to z důvodu jejich vyšší kapacity. Ty mají ale významně vyšší nehodovost ve srovnání s jednopruhovými okružními křižovatkami. Článek analyzuje popisovaný stav.

Abstract

Roundabouts are preferred form of intersections in last time. On heavy traffic load roads are used two lanes roundabouts of reason their higher capacity. But they have higher accident rate in compare with one lane roundabouts. The paper analyzes this situation.

1 ÚVOD

Okružní křižovatky patří v poslední době k preferované formě uspořádání úrovnových křižovatek pozemních komunikací. Důvodem je jejich obecně vyšší bezpečnost ve srovnání s klasickými úrovnovými křižovatkami. Z hlediska srozumitelné organizace a plynulosti dopravního provozu je výhodná zejména forma okružní křižovatky s jedním jízdním pruhem na vjezdech, výjezdech i na okružním pásu. Na silně dopravně zatížených pozemních komunikacích se používá také uspořádání se dvěma jízdními pruhy na okružním pásu a na zatíženějších vjezdech a výjezdech, a to z důvodu jejich poněkud vyšší kapacity ve srovnání s jednopruhovou okružní křižovatkou. Přínos dvoupruhových okružních křižovatek z hlediska jejich vyšší kapacity je však zastíněn jejich významně vyšší nehodovostí ve srovnání s jednopruhovými okružními křižovatkami.

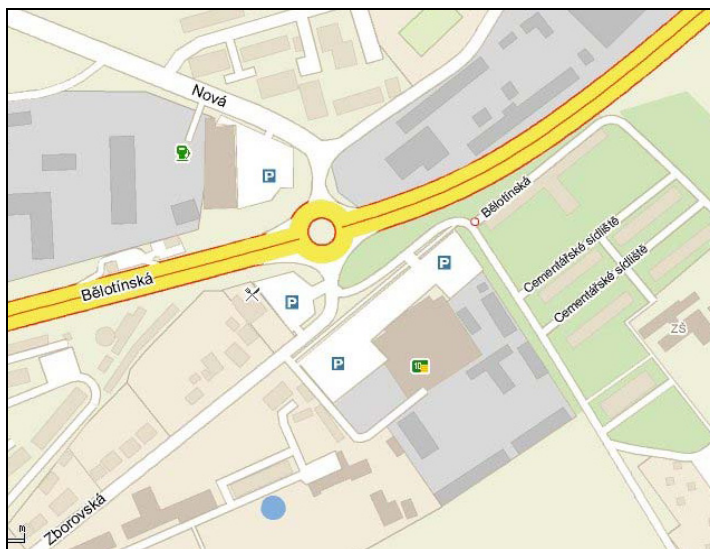
Katedra dopravního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava řeší v současnosti výzkumný projekt Ministerstva dopravy č. CG911-008-910 Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod. Při řešení byla prováděna analýza nehodovosti okružních křižovatek v souvislosti s jejich geometrickým uspořádáním. Možné příčiny vyšší nehodovosti na okružních křižovatkách se dvěma jízdními pruhy na okružním pásu jsou uvedeny v následujícím textu. Pro názornost je zde prezentována analýza konkrétní dvoupruhové okružní křižovatky ulic Bělotínská-Zborovská v Hranicích na Moravě.

2 POPIS ANALYZOVANÉ OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATKY

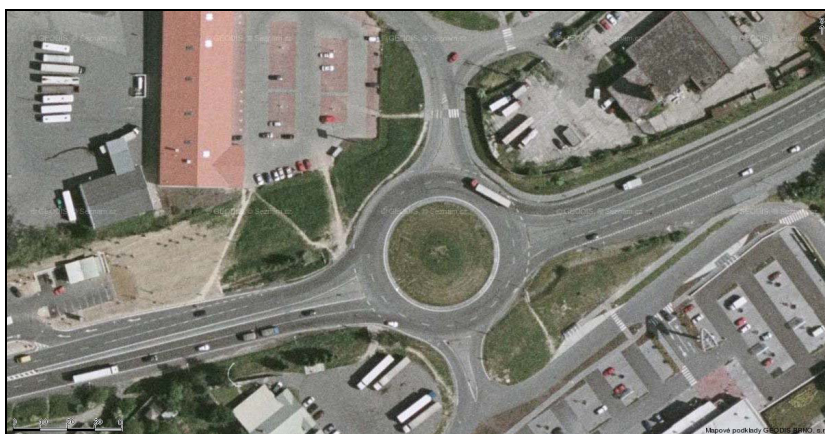
Předmětná okružní křižovatka o vnějším průměru cca 65 m se dvěma pruhy na okružním pásu se nachází v Hranicích na Moravě, na průtahu silně dopravně zatížené silnice I/47 (ulice Bělotínská). Konkrétně jedná o křižovatku s ulicemi Nová a Zborovská (viz obr. 1 a 2). Jde o první okružní

¹ Ing. Ivana Mahdalová, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 342, e-mail: ivana.mahdalova@vsb.cz

křižovatku v Hranicích na Moravě na silnici I/47 ve směru jízdy od Ostravy. Silnice I/47 je v tomto úseku čtyřpruhová. Roční průměr denních intenzit v obou směrech byl podle sčítání v roce 2005 ve sčítacím úseku 7-0356 (od Ostravy k předmětné křižovatce) 30 019 voz/den a ve sčítacím úseku 7-0354 (od křižovatky ve směru na Brno) 26 809 voz/den. Při předchozím sčítání v roce 2000 byla v úseku 7-0356 zjištěna intenzita 14 112 voz/den a v úseku 7-0354 byla zjištěna intenzita 19 566 voz/den. Pro účely analýzy byl proveden přepočet intenzit na sledované období r. 2007, resp. 2008.



Obr.1: Schéma okružní křižovatky Běloutinská-Zborovská v Hranicích na Moravě. Zdroj [4]



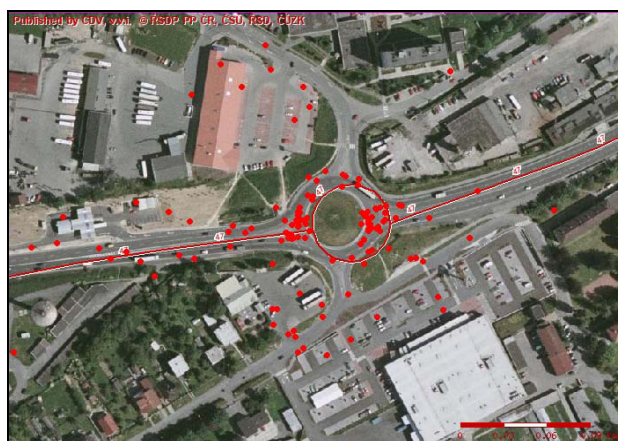
Obr.2: Letecký snímek okružní křižovatky Běloutinská-Zborovská v Hranicích na Moravě. Zdroj [4]

V rámci výzkumného projektu jsou sledovány nehody, které se staly na okružních křižovatkách v letech 2007 a 2008. Výskyt nehod na analyzované okružní křižovatce dobře ilustruje nehodová mapa z webové aplikace Dopravní nehody v mapě [2] – viz obrázek 3. Počet policíí evidovaných nehod na řešené okružní křižovatce je uveden v tabulce 1.

Tab.1: Počet evidovaných nehod a zranění na okružní křižovatce Bělotínská-Zborovská v Hranicích na Moravě v letech 2007 a 2008

rok	počet vozidel vjíždějících do okružní křižovatky * (voz/24 hod)	počet nehod evidovaných Policíí ČR na okružní křižovatce	počet nehod se zraněním	počet zranění účastníků nehod			relativní nehodovost (počet nehod / milion vozidel)
				lehké	těžké	smrtelné	
2007	37166	33	2	2	0	0	2,43
2008	41542	35	2	0	2	0	2,31

* kvalifikovaný odhad stanovený z ročního průměru denních intenzit dopravy ze sčítání 2005



Legenda:

- lokalizace jednotlivé nehody v mapě

Obr.3: Výskyt nehod na okružní křižovatce Bělotínská-Zborovská v Hranicích na Moravě. Zdroj [2]



Obr.4: Poloha okružních křižovatek na průtahu silnice I/47 v Hranicích na Moravě. Zdroj [4]

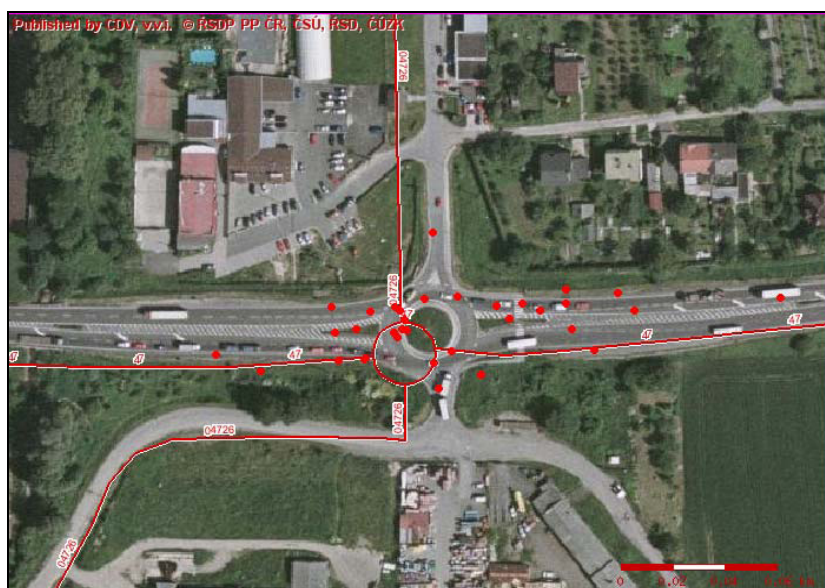
3 ANALÝZA VÝSKYTU NEHOD NA OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATCE

Na průtahu silnice I/47 jsou v Hranicích na Moravě umístěny ještě další dvě okružní křižovatky. Celkovou situaci na průtahu silnice I/47 ilustruje obrázek 4. Následující okružní křižovatka (ve směru od Ostravy) se silnicí I/35 je rovněž dvoupruhová a vykazuje obdobně vysokou nehodovost, jako zde prezentovaná křižovatka Bělotínská-Zborovská. Poslední okružní křižovatka v místní části Drahotuše je provedena jako jednopruhá. Tato křižovatka vykazuje podstatně nižší počet nehod – viz obrázek 5. Přitom intenzity dopravy jsou na všech křižovatkách zhruba srovnatelné. Pro srovnání je v tabulce 2 prezentován policií evidovaný počet nehod na zmíněné okružní křižovatce v Drahotuších.

Tab.2: Počet evidovaných nehod a zranění na okružní křižovatce Drahotuše v letech 2007 a 2008

rok	počet vozidel vjíždějících do okružní křižovatky * (voz/24 hod)	počet nehod evidovaných Policií ČR na okružní křižovatce	počet nehod se zraněním	počet zranění účastníků nehod			relativní nehodovost (počet nehod / milion vozidel)
				lehké	těžké	smrtelné	
2007	33228	8	0	0	0	0	0,66
2008	34865	8	3	4	1	0	0,63

* kvalifikovaný odhad stanovený z ročního průměru denních intenzit dopravy ze sčítání 2005



Legenda:

- lokalizace jednotlivé nehody v mapě

Obr.5: Výskyt nehod na okružní křižovatce Drahotuše. Zdroj [2]

Je zřejmé, že vysoký počet nehod na okružní křižovatce Bělotínská-Zborovská v Hranicích na Moravě patrně souvisí s dvoupruhovým uspořádáním okružního pásu a s dvoupruhovými vjezdy a výjezdy na silnici I/47. Podrobnou analýzou nehod bylo zjištěno, že Policie ČR evidovala jako příčinu poloviny všech nehod na okružním pásu v každém sledovaném roce manévr „přejíždění z jednoho pruhu do druhého“ – viz tabulka 3. U zbývajících nehod je uváděna řada rozličných jiných příčin (nerespektování příkazu dopravní značky Dej přednost v jízdě, chyby při udání směru jízdy,

nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem, nepřizpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky, nepřizpůsobení rychlosti vlastnostem vozidla a nákladu, řidič se plně nevěnoval řízení vozidla, ...).

Tab.3: Specifikace nehod na okružní křižovatce v Hranicích na Moravě podle příčiny nehody

rok	počet nehod evidovaných Policií ČR na okružní křižovatce	z toho nehod na okružním pásu	počet nehod na okružním pásu dle příčiny	
			přejíždění z jednoho pruhu do druhého	jiná příčina (nerozlišeno)
2007	33	26	13	13
2008	35	27	14	13

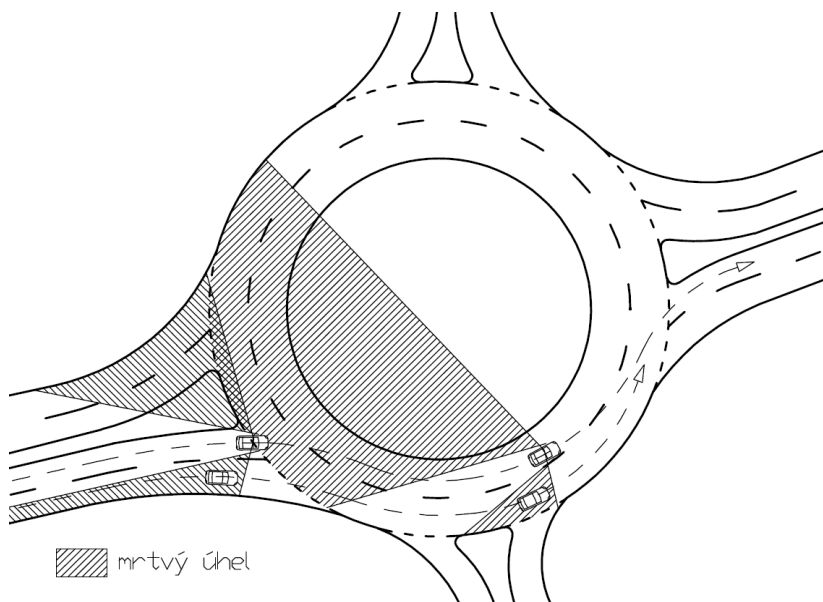
Je vysoce pravděpodobné, že pokud by se všichni řidiči plně soustředili na jízdu a bezchybně dodržovali dopravní předpisy, reálný výskyt dopravních nehod by byl minimální. Je zde ale předpoklad, že na dvoupruhové okružní křižovatce se vyskytuje nějaký faktor, který podporuje zvýšený výskyt nehod.

Na okružních křižovatkách se dvěma jízdními pruhy na okružním pásu a dvěma pruhy na výjezdu z křižovatky, při dosud obvyklém uspořádání souběžných jízdních pruhů na okruhu, vznikají velmi nebezpečné situace s křížovými body na výjezdu z okružní křižovatky, když vozidlo ve vnějším jízdním pruhu na okruhu pokračuje v jízdě po okružním pásu a vozidlo z vnitřního jízdního pruhu na okruhu opouští okružní pás. V této situaci při souběžné jízdě řidič vozidla na vnitřním jízdním pruhu nevidí, zda vozidlo na vnějším jízdním pruhu dává znamení o změně směru jízdy, a budoucí pohyb souběžně jedoucího vozidla může pouze odhadovat. Jestliže řidič vozidla na vnějším jízdním pruhu okružního pásu zřetelně zpomalí, například z důvodu zaváhání, kterým výjezdem má opustit křižovatku směrem ke svému cíli jízdy, může si tuto situaci řidič na vnitřním jízdním pruhu na okruhu vysvětlit tak, že druhé vozidlo zpomaluje proto, aby mohlo bezpečně odbočit kolem malého poloměru do pravého jízdního pruhu na výjezdu z křižovatky, a usoudí, že je možno bezpečně provést souběžné odbočení do levého jízdního pruhu na výjezdu. Až po zahájení manévru může náhle zjistit, že jeho domněnka nebyla správná a že vozidlo na vnějším jízdním pruhu neodbočuje vpravo, ale pokračuje v jízdě po okružním pásu k následujícímu výjezdu. V té chvíli už je ale obtížné odvrátit kolizi obou vozidel.

Dalším významným faktorem, ovlivňujícím zvýšenou nehodovost, zřejmě může být problém s rozhledovými poměry při přejíždění z jednoho jízdního pruhu do druhého na okružním pásu křižovatky. Byla proto dále podrobněji analyzována situace na řešené okružní křižovatce Běloušská-Zborovská v Hranicích na Moravě, a to v souvislosti s její konkrétní geometrií. Zjištěné poznatky podrobněji ilustrují obrázky 6 a 7. Ze schémat je zřejmé, že řidič vozidla ve vnitřním jízdním pruhu na okružním pásu v okamžiku zahájení manévru přejíždění do druhého pruhu prakticky nemusí mít přehled o dění na vnějším jízdním pruhu na okruhu. Je možné, že vozidlo vpravo od něj může najet v tzv. mrtvém úhlu souběžně na dvoupruhovém vjezdu a pohybovat se v tomto prostoru po okružním pásu (obr. 6). Případně může druhé vozidlo vjíždět z jednopruhového vjezdu opět nešťastně právě do mrtvého úhlu vozidla na vnitřním jízdním pruhu (obr. 7). V obou případech může dojít k nehodě, i když řidič vozidla na vnitřním jízdním pruhu pojedí v zásadě vhodným způsobem, t.j. přeřadí se včas před výjezdem do vnějšího jízdního pruhu na okružním pásu a teprve z něj vyjíždí ven z okružní křižovatky.

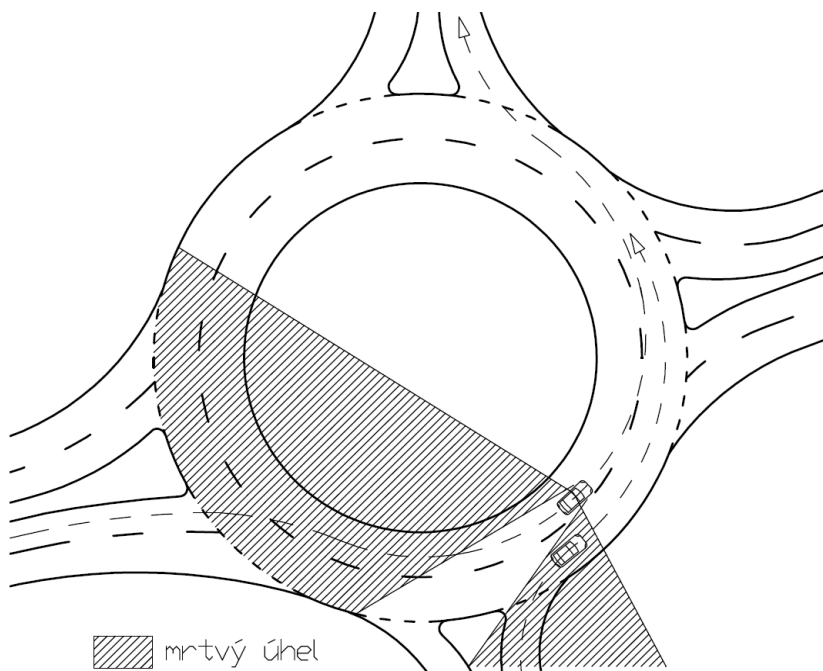
V prvním případě (obr. 6), když vozidlo vjíždí na okružní pás z vnitřního jízdního pruhu dvoupruhového vjezdu, najíždí správně na vnitřní jízdní pruh okružního pásu, protože nebude vyjíždět hned na následujícím výjezdu, a poté se přeřazuje do vnějšího jízdního pruhu před druhým výjezdem, který hodlá použít. Bohužel při konkrétní geometrii křižovatky nemá pro tento manévr k dispozici dostatečně dlouhou dráhu a jeho optimální trajektorie je velmi blízká tzv. nesprávnému

vyjíždění z okružní křižovatky přímo z vnitřního jízdního pruhu na okruhu. Prakticky by tedy z hlediska bezpečnosti provozu neměl řidič vnitřní jízdní pruh vůbec použít.



Obr.5: Schématické vyznačení průjezdu vozidla vnitřními jízdními pruhy na okružní křižovatce Bělotínská-Zborovská v Hranicích na Moravě

Ve druhém případě (obr. 7), kdy vozidlo opouští okružní křižovatku až na třetím výjezdu, má pro svůj manévr relativně delší dráhu, ale po určitou dobu nemá prakticky přehled o dění na jednopruhovém vjezdu a při přejíždění do vnějšího pruhu se může střetnout s vozidlem, které mu najelo právě do mrtvého úhlu.



Obr.6: Schéma najetí vozidla z jednopruhového vjezdu do mrtvého úhlu vozidla na vnitřním jízdním pruhu okružního pásu na křižovatce Bělotínská-Zborovská v Hranicích na Moravě

Je pravdou, že správně se má řidič před zamýšleným manévrem přejíždění z jednoho jízdního pruhu do druhého přesvědčit, zda může tento úkon bezpečně provést. Fakticky je ale tato povinnost značně ztížena právě geometrickým uspořádáním dvoupruhové okružní křižovatky. Chce-li se disciplinovaný řidič vyhnout potenciálně nebezpečné situaci, neměl by raději vnitřní jízdní pruh na okruhu vůbec použít. Pak je ovšem otázkou, k čemu tento druhý pruh na okružním pásu vlastně je. Zvyšuje sice poněkud kapacitu křižovatky, ale na úkor její bezpečnosti.

4 ZÁVĚR

Při porovnání se srovnatelně dopravně zatíženou okružní křižovatkou Drahotuše je zřejmé, že příčinou vyššího výskytu nehod na okružní křižovatce Bělotínská-Zborovská v Hranicích je s největší pravděpodobností právě skutečnost, že hranická křižovatka má dvoupruhové vjezdy a výjezdy a dva jízdní pruhy na okružním pásu.

V Ostravě byla s úspěchem významně snížena nehodovost na původní dvoupruhové okružní křižovatce ulic Dr. Martíňka - Horní v Hrabůvce její úpravou na jednopruhovou okružní křižovatku s odbočovacími pruhy, kdy byl pomocí dopravního značení usměrněn provoz na paprscích křižovatky i na okruhu do jednoho jízdního pruhu. Jedná se o tříramennou okružní křižovatku s původně dvoupruhovými vjezdy a výjezdy oddělenými dělicími pásy. Okružní pás měl dva jízdní pruhy a celkovou šířku cca 14 m. Přes okružní křižovatku je vedena tramvajová doprava. Podle sčítání intenzit dopravy, které proběhlo v řešené křižovatce v roce 2001, dosahoval celkový počet vjezdů a výjezdů 32 338 vozidel za 16 hod. Před úpravou bylo v roce 2000 evidováno na této okružní křižovatce celkem 26 nehod a v roce 2001 pak 23 nehod. Podle posledních dostupných údajů [3] na nyní již upravené křižovatce (obr. 8) dosahoval v roce 2008 celkový počet vjezdů a výjezdů 63 800 vozidel za 24 hodin a bylo zde v tomto roce evidováno pouze 7 dopravních nehod.



Obr.8: Letecký snímek okružní křižovatky Dr.Martínka-Horní v Ostravě-Hrabůvce. Zdroj [4]

Dvoupruhové okružní křižovatky o menších poloměrech by z hlediska bezpečnosti provozu s ohledem na ztížené rozhledové poměry měly být navrhovány pouze tehdy, je-li graficky prokázána bezpečnost všech křižovatkových pohybů. Stávající česká technická norma ČSN 73 6102 [1] již toto pravidlo přijala pro ověřování rozhledů na připojovacích pruzích mimoúrovňových křižovatek (viz čl. 7.3.7 a obr. 93 citované normy). Bude zřejmě nutné podrobněji specifikovat i pravidla pro navrhování vícepruhových okružních křižovatek. K tomu by měly přispět výsledky právě řešeného výzkumného projektu.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění Ministerstva dopravy ČR jako součást řešení 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.

LITERATURA

- [1] *ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích*. Praha : Český normalizační institut, 2007
- [2] *Dopravní nehody v mapě*. Dostupné z <http://www.jdvm.cz/pcr>
- [3] *Nehodovost v Ostravě v roce 2008*. Ostrava : Ostravské komunikace a.s., 2009
- [4] <http://www.mapy.cz>

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vladislav Křivda, Ph.D., Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB-TU Ostrava

Eva OŽANOVÁ¹

PŘESTUPNÍ TERMINÁLY INTEGROVANÉHO DOPRAVNÍHO SYSTÉMU V OSTRAVĚ

TRANSITION TERMINALS INTEGRATED TRAFFIC SYSTEM IN OSTRAVA

Abstrakt

Přestupní uzly a terminály jsou jedním z nejdůležitějších míst v systému hromadné veřejné dopravy. Jsou to místa, kde mohou cestující změnit způsob a směr přepravy a dochází zde ke střetávání různých druhů dopravy a různých dopravců. Umístění přestupních uzlů a terminálů je velmi individuální a podléhá potřebám daného města nebo regionu. Mohou být umístěny jak na okraji měst tak v jeho centrální části (přestupní stanice metra, železniční stanice). V periferních částech města mohou přestupní uzly a terminály být umístěny na území města nebo v jeho blízkém okolí v závislosti na velikosti a rozsahu plněných funkcí.

Abstract

Transfer nodes and terminals are one of the most important places in the system of mass public in-law. These are the places where passengers can change the course and direction of transport and there's a clash of different modes and different carriers. Location interchanges and terminals is very individual needs and subject to the city or region. They can be placed both on the outskirts of cities and in the central part (the transfer station subway, train station). In the peripheral parts of the city may transfer nodes and terminals to be located within the city or its vicinity, depending on the size and scope of filled functions.

1 ÚVOD

Přestupní uzel představuje jakousi pomyslnou bránu, kterou cestující vstupuje do dopravního systému v daném území. Pokud je přestupní uzel umístěn v centru města, tak vlastně představuje cestující veřejnosti město samotné. Taková stanice musí svým architektonickým ztvárněním zaujmout možná i překvapit, avšak musí vždy vhodně zapadat do prostředí. Přestupní terminály, které jsou vhodně začleněny do městské struktury tak pomáhají formovat kvalitní prostředí a jsou přijímány veřejností bez ohledu na jejich umístění. Hlavní prostory terminálů musí odpovídat současným potřebám cestující veřejnosti. V dnešní době tyto prostory spíše připomínají obchodní pasáže, konferenční centra nebo hotelové haly, kde může cestující uspokojit většinu svých potřeb. Na malém prostoru je tak integrováno velké množství různých činností a funkcí, které však nesmí být orientovány jen na komerční aktivity, ale i na aktivity volno-časové.

Problematiku přestupních míst můžeme rozdělit do dvou základních oblastí podle své funkce a účelu. Jednak jsou to přestupní uzly vybudované v rámci městské hromadné dopravy určené pro kombinaci tramvajové, trolejbusové a autobusové dopravy. Druhou skupinou jsou přestupní terminály zajišťující širší vazby v okolí, tj. spojení mezi městskou hromadnou dopravou a dopravou příměstskou reprezentovanou především železnicí.

¹ Ing. Eva OŽANOVÁ, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 312, e-mail: eva.ozanova@vsb.cz .

2 PŘESTUPNÍ UZLY V OSTRAVĚ

V Moravskoslezském kraji je možno pozorovat odlišné přístupy k problematice přestupních uzlů. Jiný je pro krajské město Ostravu a jiný pro ostatní města v rámci kraje. Na území ostatních měst lze sledovat záměr co nejlepšího přestupu mezi jednotlivými systémy (vlak, autobus, MHD) v prostoru např. poblíž centra města v bezprostřední blízkosti železničního a autobusového nádraží. V těchto prostorech se vytváří místa pro parkování individuální dopravy, ať již formou parkovišť P+R (Park and ride) nebo K+R (Kiss and ride).

Na území města Ostravy působí Ostravský dopravní integrovaný systém (ODIS), který vznikl v listopadu 1997. Původně tento dopravní systém tvořilo jen několik okolních obcí. V současné době je v ODIS přímo či nepřímo zapojeno celkem 145 měst a obcí Moravskoslezského kraje s rozlohou přesahující 2 400 km² a s více než 750 000 obyvateli. Na území obsluhovaném v rámci ODIS platí jednotný tarifní systém a jednotné smluvní tarifní podmínky. Výjimkou je však železniční doprava, kde je zavedena pouze částečná tarifní integrace na vybraných úsecích tratí a platí zde odlišné přepravní podmínky. Celý tento systém vytváří dobré předpoklady pro hromadnou přepravu cestujících, kteří přijíždějí do Ostravy do zaměstnání, škol nebo také za kulturním poznáním a ostatními volno-časovými aktivitami.

Přestupní místa v Ostravě lze rozdělit do dvou základních částí. První část tvoří přestupní místa v rámci městské hromadné dopravy (kombinace tramvaj, trolejbus, autobus). Tato místa, kde se setkávají různé druhy dopravy a také různí dopravci, umožňují rychle a plynule měnit směr a způsob dopravy s využitím jednotného tarifu nebo jednoho jízdního dokladu. Mezi nejdůležitější přestupní místa rámci městské hromadné dopravy řadíme:

- Sad B.Němcové
- Vozovna Poruba
- Hranečník
- Hulváky
- Náměstí Republiky
- Výstaviště
- Mírové náměstí
- Jeremenko
- Svinov

Druhou skupinu představují přestupní terminály, které zajišťující vazby městské hromadné dopravy a příměstské dopravy reprezentované železnicí. V návaznosti na příměstskou dopravu tyto terminály umožňují parkování automobilů (systém "park and ride"), rychlý, bezpečný a pohodlný přestup na dopravu hromadnou a vzájemné návaznosti mezi městskou a příměstskou dopravou. Účelem takovýchto terminálů je ochránit centrum města od stále narůstajícího počtu osobních automobilů a částečně tak řešit problematiku nedostatku parkovacích míst v centru města. Následuje výčet některých důležitých přestupních míst ve vazbě na příměstskou dopravu:

- Ostrava Svinov, žst.
- Ostrava hlavní nádraží, žst.
- ÚAN, autobusové nádraží
- Ostrava Vítkovice, žst.
- Ostrava střed, žst.
- Ostrava centrum, žst.

3 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH UZLŮ A TERMINÁLŮ

Mezi významné přestupní uzly a terminály rámci městské hromadné dopravy a příměstské dopravy patří Sad Boženy Němcové, Ostrava Svinov, Vozovna Poruba, Hranečník a ÚAN, autobusové nádraží a Ostrava hlavní nádraží. Tyto přestupní uzly umožňují především přestup z tramvajové dopravy na dopravu autobusovou případně trolejbusovou s napojením na příměstské železniční tratě. Následují charakteristiky vybraných přestupních uzlů a terminálů:

3.1 Vozovna Poruba

Jedná se o přestupní uzel v okrajové části města, kde se střetává vnitřní autobusová doprava převážně z městské části Poruba s dopravou tramvajovou. V posledních letech dochází k neustálému nárůstu objemu přestupujících osob v tomto uzlu. Důvodem je zejména významná změna v organizaci autobusové dopravy v tangenciálních vazbách (trasa Hlavní třída, Severní spoj, Mariánskohorská, Přívoz), ale také rozšiřování bytové zástavby a výstavba nákupních center (např. GLOBUS). Dopravní řešení přestupního místa je úzce spojeno s řešením křižovatky ulic Opavská-Porubská-Sokolovská, kde pro zvýšení bezpečnosti cestující veřejnosti je instalováno světelné signalizační zařízení.



Obr. 1: Průjezd tramvají přestupním uzlem Vozovna Poruba

3.2 Sad Boženy Němcové

Přestupní uzel městské dopravy s názvem Sad Boženy Němcové je jedním z nejvýznamnějších přestupních uzlů na území města Ostravy. Setkává se zde páteřní tramvajová doprava s ostatními druhy dopravy včetně dopravy příměstské představované autobusovou dopravou. V tomto přestupním uzlu mohou cestující využít jak dopravu tramvajovou tak také dopravu autobusovou nebo trolejbusovou. Dochází zde k realizaci vazeb zejména mezi městskou a příměstskou autobusovou dopravou z oblasti Poruby a Hlučínka a městskou tramvajovou a trolejbusovou dopravou ve směru do centra města. Vlastní dopravní řešení přestupního místa je úzce spjato s přestavbou velmi kritického úzkého hrdla na ulici Mariánskohorská, kterým je Dalimilův podjezd. Tento podjezd slouží jako mimoúrovňové křížení s tratí Ostrava hlavní nádraží – Frýdek Místek, avšak svým uspořádáním již dnes neodpovídá nárůstu intenzity dopravy na ulici Mariánskohorské, která je významnou komunikací směrem na Bohumín.



Obr. 2: Sdružená zastávka na tramvajové trati v přestupním uzlu Sad Boženy Němcové

3.3 Ostrava Svinov

Přestupní terminál Ostrava Svinov je významné přestupní místo především mezi příměstskou železniční osobní dopravou a městskou hromadnou dopravou. Tento přestupní terminál také umožňuje přestup cestující veřejnosti na městskou autobusovou dopravu a vzdálenější dopravu tramvajovou. Přednádražní prostor je bezprostředně obsluhován linkami městské autobusové dopravy především ve směru do oblasti Poruby. Součástí prostoru je také plocha pro odstavování osobních automobilů a krátkodobá místa stání P+R a K+R. Dopravní význam tohoto prostoru ještě vyžaduje zkvalitnit přestupní vazby především na tramvajovou dopravu. Náznaky takového řešení jsou již patrné, například bylo započato s odstraňováním nevzhledné betonové konstrukce “plata” u Svinovských mostů.



Obr. 3: Přestupní terminál Ostrava Svinov po rekonstrukci odbavovací haly a přednádražního prostoru

3.4 Hranečník a ÚAN, autobusové nádraží

Hranečník je významný přestupní uzel ve východní oblasti města. Zajišťuje bezprostřední vazbu mezi městskou a příměstskou autobusovou dopravou a dopravou tramvajovou. Přestupní uzel má úzkou vazbu na nově zavedené přímé železniční spojení Havířov-Ostrava Kunčice-Ostrava hlavní nádraží, novou železniční zastávku Ostrava-Stodolná a nové tramvajové propojení u Elektry. Součástí přestupního uzlu je také autobusové stanoviště s omezeným odstavováním vozidel a prostorem vymezeným pro záchytné parkoviště osobních vozidel s možností pokračování městskou hromadnou dopravou.

ÚAN, autobusové nádraží je významné dominantní nádraží příměstské, meziměstské a

mezinárodní osobní autobusové dopravy umístěné v centru města s vazbou na městskou hromadnou dopravu i železniční osobní dopravu. Přestupní uzel umožňuje krátkodobé i dlouhodobé odstavování a základní údržbu vozidel.

3.5 Hlavní nádraží

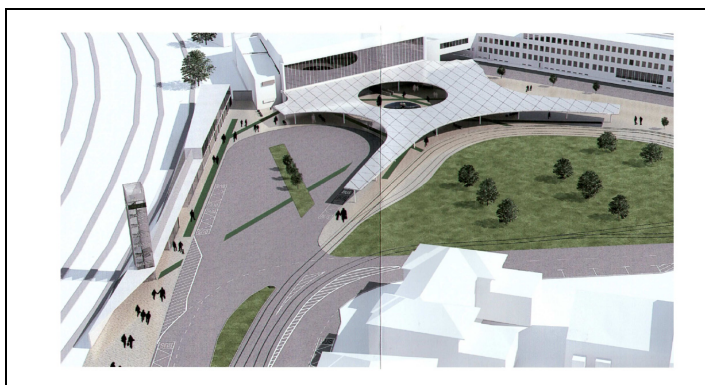
Jedná se o významný přestupní terminál především mezi železniční osobní dopravou a městskou hromadnou dopravou. Uskutečňují se zde významné městské a příměstské přepravní vazby. Tento přestupní terminál svůj význam potvrdil např. zavedením nového přímého železničního spojení Havířov-Ostrava hlavní nádraží nebo spojením Opava-Ostrava Svinov-Ostrava hlavní nádraží-Havířov-Český Těšín. V rámci městské hromadné dopravy zde může cestující veřejnost využít jak dopravu tramvajovou tak také dopravu trolejbusovou a v menší míře i autobusovou. Součástí terminálu je doplňující autobusové stanoviště pro severní oblast města s omezeným krátkodobým odstavování vozidel.



Obr. 4: Stávající stav přestupního terminálu Ostrava hlavní nádraží

4 ZÁVĚR

Přestupní uzly a terminály v Ostravě jsou součástí Ostravského integrovaného dopravního systému. Tyto uzly mají v rámci organizace městské dopravy, ale i dopravy příměstské nezaměnitelnou úlohu. Každý den těmito uzly procházejí tisíce cestujících, kteří požadují kvalitní a rychlé spojení do všech městských částí včetně potřebného vybavení, jako např. jízdní doklady, informace a ostatní komerční náležitosti. Nejvhodnějším typem dopravy v centru města je doprava kolejová reprezentovaná dopravou tramvajovou nebo trolejbusovou, které vyhovují současným ekologickým nárokům na snižování spotřeby fosilních paliv a zkvalitňování čistoty ovzduší v městských aglomeracích



Obr. 5 Výhled úprav přednádražního prostoru terminálu Ostrava hlavní nádraží

Vybrané přestupní uzly a terminály procházejí postupnými úpravami spojenými s modernizací veškerých prostor tak, aby plně odpovídaly současným potřebám cestující veřejnosti. Jako příklad z posledního období můžeme uvést rekonstrukci nádražní budovy v žst. Ostrava hlavní nádraží s připravovanou rekonstrukcí přednádražního prostoru nebo rekonstrukci žst. Ostrava Svinov s navazujícími úpravami tramvajové zastávky Svinov mosty včetně úpravy ploch pro stání autobusů.



Obr. 6: Návrh úprav přestupního uzlu Svinovské mosty s návazností na žst. Ostrava Svinov

Přínosem modernizovaných a komplexně řešených přestupních uzlů a terminálů je:

- zajištění kvalitní dopravní obslužnosti,
- zlepšení dostupnosti centra města z příměstských oblastí
- zachování nebo i rozšíření provozu na regionálních železničních tratích,
- posílení kolejové dopravy obecně
- alternativa vůči individuální automobilové dopravě
- významný přínos pro ekologii města

LITERATURA

- [1] UDI Morava, s.r.o.: Koncepce rozvoje dopravní infrastruktury Moravskoslezského kraje, Ostrava, prosinec 2003, (schválená Zastupitelstvem Moravskoslezského kraje dne 10. 6. 2004).
- [2] Urbanistické středisko Ostrava, s.r.o.: Návrh územního plánu velkého územního celku Ostrava–Karviná, 2006.
- [3] VIKTORINOVÁ, P., ZEMAN, K.: *Konstrukční úpravy sdružených nástupišť pro jednotlivé druhy kolejových dopravních prostředků*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, SVOČ 2008.
- [4] ŘEZÁČ, M., FENCL, I. In *Vybrané otázky rozvoje dopravy ve městech*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 156 pp, ISBN 978-80-248-1985-3.
- [5] www.dpo.cz.
- [6] www.ids.net.
- [7] www.filandr.cz.
- [8] <http://archiv.dopravni.net>.
- [9] www.mhdcr.biz.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jana Míková, Ph.D., VŠB TU Ostrava, Strojní fakulta, Institut dopravy

Miloslav ŘEZÁČ¹

KONGESCE - LIMITUJÍCÍ PRVEK ROZVOJE SOUČASNÝCH MĚST

CONGESTION - THE LIMITING FACTOR FOR DEVELOPING EXISTING CITY

Abstrakt

Kongesce se v řadě vyspělých zemí stávají stále významnějším problémem, mohou se stát limitujícím prvkem rozvoje dopravy i území a ovlivňují všechny uživatele komunikací. Větší koncentrace automobilů, požadavek na vyšší rychlosti a výkony zapříčiňují vznik kongescí, které ve svém důsledku vedou k požadavku na neustálé rozšiřování silniční infrastruktury.

Abstract

Congestion in many developed countries are becoming increasingly important problem is, they may become a limiting factor in the development of transport and territory and affect all road users. Greater concentration of automobiles, demand for higher speed and performance causing the emergence of congestion, which in turn leads to the requirement for continued expansion of road infrastructure.

1 ÚVOD

V EU je denně postiženo dopravními zácpami asi 7 500 km komunikací, převážně ve velkých evropských městech a městských regionech. Tento fenomén se týká i železničních tratí. Jako úzká místa označuje dokument zhruba 16 000 km železnic (20 % sítě TEN). Zpoždění znamená ekonomické ztráty a zvýšení spotřeby energie. K hlavním příčinám vzniku dopravní kongesce náleží:

- růst automobilové dopravy, kdy dopravní zátěž přesahuje kapacitu komunikace,
- úzká místa, která vznikají při silničních pracích (např. oprava vozovky) nebo při dopravní nehodě a odstraňování jejích následků (nehodový management),
- nevhodná technická řešení dopravních uzlů (např. nevhodně umístěná okružní křižovatka),
- špatné plánování rozvoje dopravní infrastruktury nebo špatné načasování výstavby nové dopravní infrastruktury a také ze zpoždění výstavby nových úseků z důvodu nedostatečných finančních prostředků. (dlouhodobé problémy),
- nedostatečná úroveň veřejné dopravy v regionu měst, případně slabý stupeň integrace jednotlivých modů systémů veřejné dopravy a jejich návaznost na IAD,
- atraktivita určitých částí měst, která vyvolává enormní poptávku po dopravě do určitých oblastí se specifickými funkcemi (obchodní, kulturní, sportovní, výrobní apod.),
- geografická poloha městského území často limituje možnosti výstavby vyvážené dopravní infrastruktury (vodní toky, mořské pobřeží, horské pásma apod.).

Kongesce mají zásadní význam na výkonnost systému silniční dopravy zejména ve městech a také ovlivňují úroveň dostupnosti jednotlivých cílů cest v různém časovém období během dne (ranní

¹ Doc. Ing. Miloslav Řezáč, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 313, e-mail: miloslav.rezac@vsb.cz.

a odpolední špička, noční sedlo). Problematika dopravy je jedním z klíčových faktorů úrovně spokojenosti obyvatel s životem v jejich městech.

Pokud je společnost zásadním způsobem zainteresována na dokonalejším přístupu zvládání kongescí, pak je to proto, že tento problém vnímá většina současné populace měst. Kongesce se objevily současně s dynamickým růstem městských oblastí, obyvatelé měst požadují kongesce řešit, což sníží negativních vlivů na život ve městech. Úřady působící v oblasti dopravy na celém světě, **musí** dokazovat svou značnou kreativitu a projevovat pevné odhodlání a vysokou dávku energie při nalézání cest při minimalizaci negativních vlivů kongescí, dosud naneštěstí jen s krátkodobými pozitivními výsledky. Z mnoha realizovaných opatření neexistuje žádné, které by mohlo být označeno jako dokonalé řešení.

Aktivita vedoucí ke snížení kongescí jsou části komplikovaných a vzájemně se ovlivňujících procesů – jsou to procesy územního plánování a plánování dopravy, které jsou pro každé město a jeho region specifické.

2 STRATEGICKÝ PŘÍSTUP KE ZVLÁDÁNÍ KONGESCÍ

V současné době existuje velký počet koncepčních přístupů, které se zabývají problematikou kongescí. Například:

- Podmínky vydané FHWA (Federální správa dálnic - součást Ministerstva dopravy USA) pro vyplacení federální podpory pro projekty na infrastrukturu s cílem snížení kongescí určují, aby všechny další opatření byla využita pro usměrňování poptávky po dopravě.
- Japonští experti jsou přesvědčeni, že řešení problematiky kongescí napomůže budování infrastruktury, přesněji řečeno její dobudování, po kterém bude až následně zavedeno usměrňování poptávky.
- Londýn zvolil cestu řešení budováním zpoplatňovaných pásem v centru města založenou na tržním přístupu, kdy se uživatelé silniční dopravy mohou sami rozhodnout, jakým způsobem vykonat cestu, a to v závislosti na výši poplatku, jenž může být uvalen na uživatele IAD a který odráží odhad nákladů na vznik místních kongescí.

Každý z těchto přístupů se odvíjí nejen od daného národního uspořádání státní správy, ale je založen také na místních, resp. regionálních vazbách a rozhodování zahrnuje celou řadu dalších předpokladů a řešení v oblastech:

- územního plánování,
- místních zvyklostí a aktivit v území,
- průběhu úrovně dopravy během dne (dopravních intenzit),
- úrovně mobility,
- hospodářského rozvoje území,
- stupně motorizace,
- ceny pohonných hmot.

Snižování závažnosti důsledků kongescí neznamena jen zajistit změny přímo v dopravě a v návazných oblastech, ale také působit na potencionální cestující/řidiče a na jejich rozhodnutí, ZDA, JAK a KDY vykonat cestu. Další komplikací při řešení kongesce je velká heterogenost cílů cest cestujících a jejich záměrů i u nákladní dopravy.

3 REGULACE DOPRAVY

Kromě dopravně inženýrských a technických opatření, existují také ekonomické, administrativní a institucionální nástroje, použitelné pro regulaci dopravy a poptávky po ní.

Ekonomické nástroje mění relativní ceny výrobků a služeb (tj. změny cen vůči sobě navzájem), případně mění příjmy domácností a firem, čímž působí na změnu chování spotřebitelů i výrobců. Jsou kompatibilní s tržním fungováním. Jejich hlavním cílem je:

- poskytovat správné signály pro efektivitu a udržitelné využívání zdrojů – právě díky internalizaci externích nákladů,
- generovat nezbytné výnosy pro různé úrovně státní správy a samosprávy
- přispět k žádané příjmové distribuci ve společnosti.

Ekonomické nástroje však mají i svá omezení. Jsou jimi mimo jiné:

- počáteční nedůvěra veřejnosti: nejen veřejnost, ale často i politici velmi negativně reagují na možnosti zavedení nových poplatků a daní,
- nejistota o výši „správných“ cen: přesné ceny vyžadují informace o výši externích nákladů. Na odhad výše externích nákladů existuje řada metod tzv. netržního hodnocení, ovšem jejich aplikace je velmi nákladná a výsledky jsou spíše odhady než skutečné výše nákladů,
- nejistota v rychlosti reakce na cenové změny: doba reakce účastníků může být poměrně dlouhá – např. reakce na nárůst cen paliv je v krátkém období velmi malá, ale v dlouhém období je významná,
- nejisté výnosy: přestože mají ekonomické nástroje v dopravě velký potenciál generovat výnosy do veřejných rozpočtů, nelze se vždy na jejich výnosy spoléhat. Roli hrají také možnosti substituce, technologické změny a snížení používání zpoplatněného zboží / služeb. Pokles využívání pak vede k poklesu výnosů.

Normativní nástroje můžeme rozdělit na administrativní a institucionální nástroje (vedou ke změnám v organizaci dopravy). Tyto nástroje jsou založeny na donucovací pravomoci orgánů státní správy. Patří sem nařízení (zákazy a příkazy), limity, standardy a normy a předepsané administrativní postupy a omezení. Subjekt se podle nich musí chovat, jinak je trestán. Dosažení stanoveného cíle lze snadno monitorovat. Mají však i negativní efekty:

- jsou makroekonomicky velmi nákladné a stanoveného cíle není obvykle dosahováno s minimálními celkovými společenskými náklady,
- znečišťovatelé většinou nemají žádné stimuly k dalšímu pozitivnímu překračování norem (chybí dynamická efektivita),
- v některých případech mohou mít tvrdé ekonomické dopady na mnoho subjektů. Ty pak, často na základě sociální argumentace (zejména hrozby ztráty pracovních míst), vytvářejí silný a mnohdy úspěšný tlak na politiky a orgány státní správy ve smyslu změkčení normativních předpisů či udělení výjimek,
- je třeba rozsáhlý administrativní aparát, což vede k řadě nebezpečí (neúměrná byrokracie, nákladnost, korupce, atd.).

V oblasti ochrany životního prostředí se používá stále více ekonomických nástrojů, které postupně přebírají roli nástrojů normativních. Ekonomické nástroje totiž přinášejí řadu výhod:

- minimalizují celkové společenské náklady nutné na dosažení stanovených environmentálních efektů, protože zohledňují – na rozdíl od normativních nástrojů – náklady na zamezení znečištění u jednotlivých subjektů. Ty subjekty, u nichž jsou náklady na zamezení znečištění nejvyšší, pak nejvíce snižují znečištění,
- podněcují subjekty k ekonomicky optimálnímu snižování znečištění (nikoli pouze ke splnění nařízených norem a limitů – tzv. **dynamická efektivita**),
- motivují ekonomické subjekty k podpoře výzkumu nových technologií a k využití všech dalších možností omezení emisí (substituce vstupů atd.), ke zvyšování eko-efektivity,
- nemají takové vysoké nároky na státní administrativu jako nástroje normativní a díky tomu snižují administrativní náklady a omezují nebezpečí korupce,

- vedou k naplnění pravidla „znečišťovatel platí“,
- zvyšují příjmy veřejných rozpočtů.

Ekonomické nástroje lze dále dělit do různých skupin podle jejich předpokládaných dopadů či časového horizontu jejich působení. Například evropský projekt SPECTRUM rozděluje ekonomické nástroje v dopravě následujícím způsobem:

Tab.1: Přehled nejběžnějších ekonomických nástrojů v dopravě [2]

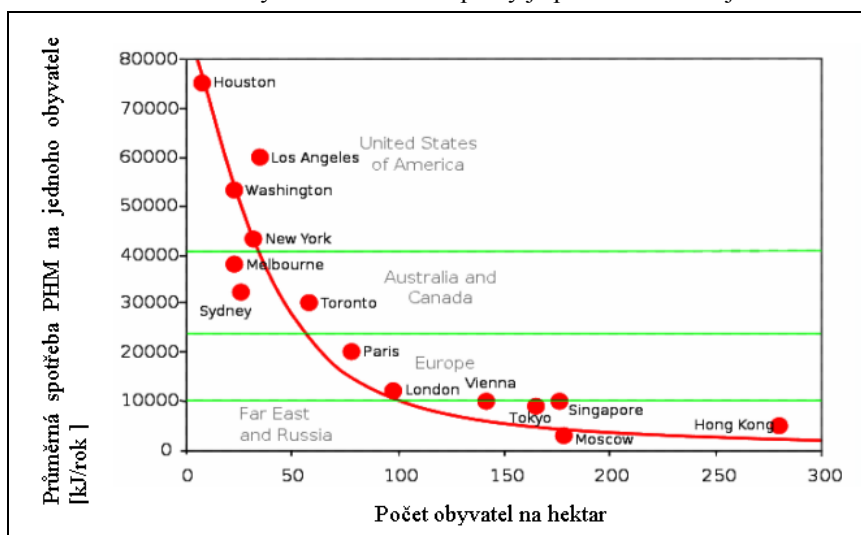
Nástroj	Předpokládané dopady	Časový horizont
Zpoplatnění dopravy	efektivita dopravy (minimalizace ujetých km) získání výnosů	krátký krátký
Daně z paliv	získání výnosů snížení používání aut, spotřeby PHM a emisí zvýšení efektivity paliv pokles kongescí zvýšení využívání alternativních paliv	krátký krátký střední krátký krátký
Daně z vozidla	pokles počtu aut nárůst palivové efektivity u flotily vozidel získávání výnosů	střední střední krátký
Finanční pobídky k vozidlům na čistší paliva	nárůst palivové efektivity pokles emisí skleníkových plynů a jiných polutantů	střední střední
Zpoplatnění nemovitostí	získání výnosů pro dopravu, poskytování infrastruktury podpora požadovaného využívání půdy	střední krátký
Parkovací poplatky	zvýšení efektivity trhu s parkováním omezení cest autem nepřímý vliv na kongesce výnosy	krátký střední/krátký krátký krátký
Tarifní systém a výše jízdného MHD	povzbuzování obyvatel k většímu využívání HD, závisí na cenové elasticitě (vztahu mezi změnou v počtu pasažérů díky změně poplatků za použití HD)	krátký/střední

Aby došlo k regulačnímu efektu, tj. ke skutečné změně poptávky po dopravě a k přerozdělení výkonů mezi jednotlivými druhy dopravy, je třeba, aby byly s ekonomickými nástroji sladěny i další nástroje, které jejich účinnost posílí – například podpora hromadné dopravy, cyklistiky a chůze. Jedním z příkladů je výstavba obchvatů. Pokud se po výstavbě obchvatů zároveň nezavádějí restrikce pro motorová vozidla v prostoru, který je obchvatem obcházen, nemusí být konečný pozitivní efekt na obyvatele tak výrazný, jak se předpokládalo (projeví se jev tzv. **dopravní indukce**).

Jednotlivé nástroje regulace jsou navrhovány podle jejich očekávaného dopadu, délky času jejich působení, náročnosti jejich implementace, územního působení (lokální x národní) atd.

4 INTEGROVANÝ PŘÍSTUP K PLÁNOVÁNÍ DOPRAVY A PLÁNOVÁNÍ ÚZEMNÍHO ROZVOJE

Pro harmonický rozvoj měst je nutno zavést nové postupy plánování, které prováží plánovací procesy dvou klíčových oblastí, které mají vliv na úspěšnost konceptu rozvoje dané urbánní oblasti. Jedná se o oblast územního plánování a o oblast plánování její obsluhy – tedy o dopravu. Blízkost územní struktury měst a oblasti dopravy je patrná z následujícího obrázku.



Obr.1: Vztah mezi typem území danou hustotou osídlení a spotřebou PHM [1]

Vize a následně strategické cíle návrhu budoucího rozvoje urbánního území se snahou o eliminaci nepříznivých průvodních jevů dopravy (mj. kongescí) je nutno konfrontovat s reálnými možnostmi daného regionu a podrobně rozpracovat analýzu stávající i budoucí situace (v závislosti na časovém horizontu jednotlivého plánu), přičemž musí být provedena:

A - Analýza existujícího dopravního systému, identifikace nedostatků a potřebných změn.

B - Identifikace budoucích dopravních potřeb regionu s ohledem na jeho předpokládaný rozvoj a prognózy rozvoje jednotlivých dopravních módů. Při tom musí být zohledněna:

- demografická situace v regionu a očekávaný vývoj,
- předpokládané nové aktivity,
- předpokládaný vývoj zaměstnanosti,
- prognóza ekonomického vývoje regionu,
- předpokládaný vývoj turistiky (i vnější), aspekty rekreace a trávení volného času,
- změny v dopravě zboží – vnější vlivy, změny nákupního chování obyvatelstva atd.

C - Identifikace současné a budoucí role jednotlivých druhů dopravy v regionu, včetně nákladní dopravy, veřejné osobní dopravy, cyklistické a pěší dopravy.

D - Identifikace vhodných prostředků (nástrojů) k zabezpečení takto stanovených potřeb regionu, s ohledem na bezpečnost, ekonomiku řešení, ekologické požadavky a zabezpečení fungování komplexního regionálního dopravního systému. Bude se jednat zejména o:

- dopravně politické prostředky,
- financování, uplatňování role státu a soukromého kapitálu,
- analýzu institucionálního a legislativního rámce.

E - Identifikace styčných bodů (rozhraní) pro město a jeho region a zabezpečení funkce regionálního systému v rámci národních a nadnárodních dopravních systémů.

Metodické nástroje harmonického plánování rozvoje měst jsou takové prostředky, resp. opatření, které musí být použity, aby byly překonány problémy a dosaženy stanovené plánované úkoly. Ve vztahu územního plánování a dopravy, existuje poznatek, že uplatnění určitých nástrojů způsobuje povzbuzení kladného vývoje, respektive zlepšení situace v druhé oblasti. Na příklad realizované změny v územním plánování mohou význačně přispět k eliminaci, nebo alespoň k redukci určitých dopravních problémů a naopak.

V oblasti dopravy a územního plánování existuje až 60 různých nástrojů, které zahrnují jednak obvyklé dopravní metody, jako:

- výstavbu nové infrastruktury, respektive zajištění potřebné infrastruktury,
- zřízení, popř. zlepšení managementu infrastruktury,
- komplexní dopravně-provozní plán dopravních procesů v území (mobility management plan),
- zpoplatnění používání určitých tras, popř. vjezdů do určitých oblastí (městská centra) apod.

Stále více pozitivních změn v dopravě je dosahováno vhodnou implementací informačních a telekomunikačních technologií (ICT). Integraci dopravy, informací a telekomunikací se zabývá technický obor dopravní telematika, resp. inteligentní dopravní systémy (ITS - Intelligent Transport Systems). Dalšími nástroji mohou být například:

- opatření v rámci územního plánu, vyplývající ze znalostí lokace a alokace ekonomických jednotek v řešeném území,
- zajištění potřebných informací pro uživatele dopravy,
- opatření v oblasti informačních technologií,
- zlepšení v oblasti veřejné dopravy – zvýšení atraktivity veřejné dopravy osob atd.

Použití výše uvedených nástrojů má rozmanitý charakter implementace z hlediska času a místa použití. Mohou být použity:

- plošně – na celý region, popř. na městské centrum (např. jízdné v IDS, celostátně v ČD),
- v určité zóně – např. parkování,
- nebo pouze s časovým omezením během dne, týdne, v sezóně apod.

V mnoha případech jsou používány stejné nástroje v různé intenzitě na příklad poplatky, omezení, rozsah služeb.

Jednotlivě použité metodické nástroje mají pouze omezený efekt, proto je nutná **společná strategie** zaměřená na dosažení strategického cíle, která kombinuje použití více nástrojů a opatření.

5 PŘÍKLAD IMPLEMENTOVANÝCH OPATŘENÍ

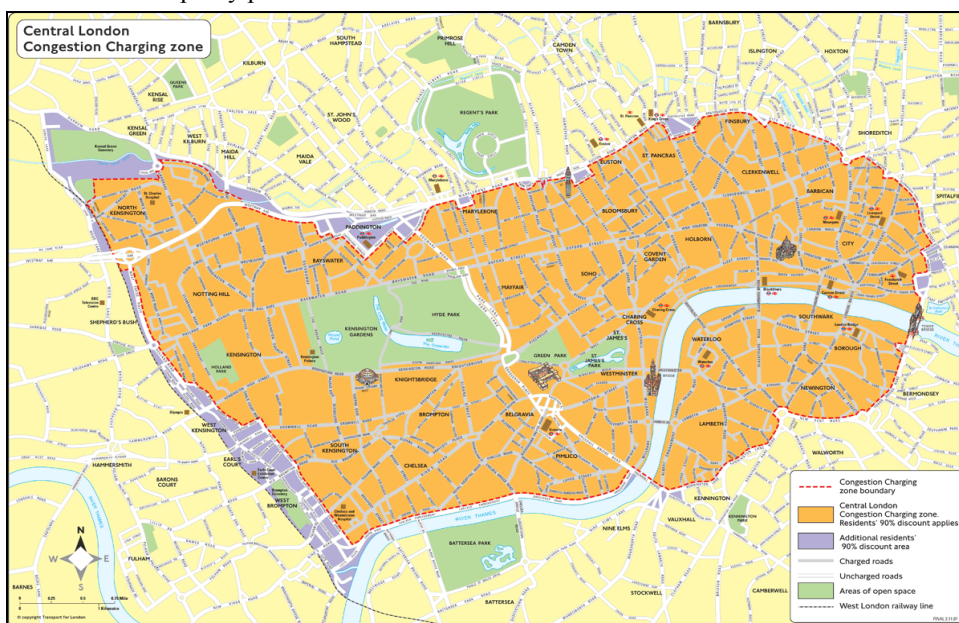
V současné době jsou využívány jako nástroje pro snižování poptávky po cílech v historických jádrech měst systémy pro zpoplatňování při vjezdech do jejich center (Řím, norský Trondheim, Oslo, Bergen, Londýn a nověji Stockholm). Mimo Evropu je mýtné např. v New Yorku (mosty do Manhattanu), v San Franciscu a na Harbour Bridge v Sydney, Singapuru, Tokiu, Hongkongu.

Program zpoplatnění kongescí (CCP - Congestion Charching Plan) v Londýně byl zaveden v roce 2003 v jeho centrální oblasti. Zahrnuje paušální poplatek za cestu v pracovní dny do centrálního Londýna nebo v okruhu o ploše 22 km². Platby mohou být prováděny předem (obchody, internet aj.) nebo po jízdě a pokuty jsou uplatňovány v případě, že platba nebyla provedena do půlnoci dne uskutečnění cesty. Provádějí se kontroly státních poznávacích značek. Hlavní cíle zpoplatnění:

- snížení dopravních kongescí,

- zajištění radikálních zlepšení u autobusové dopravy,
- zlepšení spolehlivosti jízdní doby pro uživatele automobilů,
- zvýšení efektivity distribuce zboží a služeb,
- podpora energeticky účinných automobilů,
- zlepšování životního prostředí a podmínek pro chodce a cyklisty.

Počáteční paušální denní poplatek ve výši 7,40 EUR byl zvýšen na 11,90 EUR v červenci 2005. K tomu se vždy vázaly 90 % slevy pro rezidenty, úlevy pro čistá vozidla, atd. a žádný poplatek se nevybíral za autobusy, vozidla taxislužby nebo motocykly. Odhaduje se, že zvýšení poplatku o 60 % vedlo ke snížení dopravy pouze o 6 %.



Obr.1: Zpoplatněná oblast v rámci CCP včetně II. etapy rozšíření o Kensington a Notting Hill [2]

Zavedení zpoplatnění kongescí okamžitě snížilo dopravní objemy vstupující do zpoplatněné zóny o 18 % (u osobních automobilů o 35 %). Tento ukazatel zůstal na poměrně stabilní hodnotě od roku 2003, který byl rokem, kdy došlo k zavedení programu. Zpoždění způsobená kongescemi se uvnitř zpoplatněné zóny snížila o 30 %, v typickém případě dosahovala zhruba 1,8 minut na jeden kilometr.

Uvnitř zpoplatněné zóny došlo ke značnému zvýšení rychlostí autobusů a ke snížení čekacích dob cestujících, což naznačilo lepší spolehlivost. Mimo zpoplatněnou zónu či na silničních komunikacích obklopujících tuto zónu nebyly zaznamenány žádné vážné negativní vlivy na dopravu. Některé ze silničních kapacit uvolněné poplatkem za kongesci jsou nyní využívány pro zajištění snazšího přecházení ulic pro chodce.

6 DALŠÍ FORMY SNIŽOVÁNÍ KONGESCÍ VE MĚSTECH

6.1 Městská hromadná doprava

Nabízí se představa, že metro, tramvaje nebo příměstská železnice jsou řešením pro odstranění kongescí. Přitom ale většina úsilí v městech řešit tento problém touto cestou selhává. Ve všech státech EU automobilová doprava stále zůstává hlavní formou městské dopravy, ve většině měst až na výjimky představuje kolem 80 % nebo i více všech motorizovaných cest. Výstavba další infrastruktury pro hromadnou dopravu neměla nikde žádný dopad na silniční provoz.

Existuje logické vysvětlení pro tento snad překvapující závěr. Hlavním kritériem, na základě kterého se uživatelé rozhodují, je čas dopravy od dveří ke dveřím. Dopravní průzkumy uskutečněné v mnoha evropských městech ukázaly, že osobní auto nemá u tohoto hlavního kritéria žádného konkurenta u většiny cest. Ve všech zkoumaných městech se ukázalo, že průměrná délka cesty autem od dveří ke dveřím je 20 minut, zatímco dvakrát tolik s využitím MHD, takže použití auta ušetří cestujícím na zpáteční cestě 40 minut.

Na trasách v centrech a do centra je MHD mnohem více konkurenceschopná. V některých velkých městech může MHD konkurovat osobním autům i v čase dopravy od dveří ke dveřím. Užití MHD je vhodné zejména tehdy, pokud silniční kapacita je nedostatečná a parkovací možnosti omezené. MHD potom hraje důležitou roli ve velkých městech, kde je nepostradatelná. Nicméně výstavba nových tras nebo zlepšení stávajících nikdy nemá velký dopad na silniční provoz. Takové jsou závěry odborníků OECD v případě Curychu. Poté, co toto město investovalo 2 miliardy CHF do svého systému MHD, doprava na dotčených linkách vzrostla o 25 %. Nebyl ale zaznamenán žádný dopad na silniční provoz, což vedlo odborníky OECD k závěru, že „navzdory velkému úsilí ve prospěch veřejné dopravy, osobní auta zůstávají příliš přitažlivá“. Zkušenosti ukázaly stejné závěry i v Holandsku na např. trase mezi Amsterdamem a Almeerem, pak také v Toulouse, v Lyonu a v Nantes ve Francii, ale i v jiných městech.

6.2 Příměstské cesty a integrovaná regionální veřejná doprava

Příměstské cesty jsou co do počtu nejpočetnější a představují průměrně tři čtvrtiny celkové městské a příměstské dopravy. Čas, ušetřený využitím auta místo hromadné dopravy, je často více jak půl hodiny na jednu cestu, tzn. celá jedna hodina na jednu zpáteční cestu. Za těchto okolností je osobní auto neporazitelné, a to téměř bez výjimek, a proto také všichni ti, kteří mají možnost, auto používají (v západní Evropě obvykle více jak 9 dospělých z 10) ať jako řidiči, či jako spolucestující.

Tato skutečnost přiměla Světovou banku k poznámce v její zprávě o městské dopravě: „Protože hustota je klíčový faktor železniční dopravy, nikde ve světě neexistuje příklad efektivního pokrytí železničním okruhem, cestující jsou příliš široce rozptýleni a zboží příliš rozkouskováno“. Ať už jde tedy o radiální či okružní trasy, zkušenosti ukazují, že investice do příměstské HD dokonce i v případech, kdy nová trasa přitáhne velké množství cestujících, má na silniční provoz pouze okrajový vliv. Cestující dávají přednost jízdám autem, protože auto poskytuje navíc možnost časové úspory, a tak vyšší kvality života, protože nabízí možnost většího výběru cíle cesty a možných činností. Navíc je nutné připomenout, že městská a příměstská silniční síť také přepravuje prakticky veškeré zboží.

Veřejnost se obává, že se městská silniční síť stane neprůjezdnou. Tato obava je neodůvodněná či přehnaná, protože naštěstí ve hře je množství pozitivních faktorů. Růst populace ve většině velkých evropských měst se stabilizoval. Doprava v městských centrech se nezvyšuje a naopak je zřetelná tendence ke snižování. Pouze v okrajových částech se požadavky na dopravu zvyšují, tzn. v oblastech, kde dopravní podmínky nejsou tak špatné a kde je snazší rozšířit kapacity a reagovat tak na zvýšené požadavky.

6.3 Železniční doprava mezi významnými urbánními centry a v jejich okolí

Zřejmě nejvýznamnějším faktorem pro pokles významu železniční dopravy byl nástup automobilové dopravy, měnící se struktura ekonomiky a klesající vnitřní flexibilita železnice. Železniční doprava, která byla limitována svou nákladnou infrastrukturou, nebyla schopná nabídnout spojení z bodu do bodu. Čím více se prodlužovala silniční dopravní síť, tím více ztrácela železnice ze svého vedoucího postavení. Zajímavým postřehem je stále aktuální komentář k malé pružnosti železnice. Autor se již v roce 1934 domnívá, že si železnice neuvědomily nástup silniční dopravy nebo tyto reakce byly velmi pomalé. Na stížnosti se čekalo, nikoliv jim předcházelo (Hallsworth, 1934).

Evropské železnice se v současnosti potýkají s dvěma hlavními ekonomickými problémy: s monopolní strukturou železnic a s velkým objemem veřejných dotací, které vyžadují provoz a investice do železniční dopravy. Revitalizace železnic je klíčem ke znovunalezení rovnováhy na

dopravním trhu. To bude vyžadovat ambiciózní opatření, které nezávisí pouze na evropských směrniciích, nýbrž musí být řízeny investory v jednotlivých odvětvích (European Commission, 2005).

Ve státech, kde existuje doprava regionální (ne městská) železniční doprava, je přepravováno jen nepatrné množství denních cestujících v dané oblasti. Např. ve Francii se průměrně vykoná denně 550 000 cest z celé populace 50 milionů kromě Ile-de France. Dotace pro regionální železnici ve Francii představují asi 2,5 miliardy EUR ročně - tedy 13 EUR na jednu jízdu, je mnohem víc než cena jízdy taxikem. Přesto tento druh dopravy proto nemá větší vliv na intenzitu silničního provozu.

6.3.1 Osobní doprava

Pro obhájení vysokorychlostní železniční trasy, musí být splněny dvě podmínky. Centra obyvatelstva, která mají spojit, nesmí být vzdálená více než dvě až tři hodiny jízdy a počet jejich obyvatel musí zajistit dostatečný počet cestujících.

6.3.2 Přeprava zboží

Železnice přepravuje pouze méně než 4 % celkové přepravy zboží v Evropě a procento není o mnoho vyšší ani na mezinárodních trasách. Tam je v řádu 10 %, například mezi Španělskem a zbytkem Evropy s tím, že 90 % nákladní dopravy používá bez problémů silnici a uspokojí tak požadavky uživatelů, protože mohou dosáhnout nejvzdálenější body Evropy z Iberského poloostrova v rámci maximálně několika hodin či desítek hodin. Paradoxní je, že navzdory své omezené roli, železnice má potíže s kapacitou na hranicích jednotlivých států, které dále prodlužují pro železniční dopravu charakteristické dlouhé časy dodávek od dveří ke dveřím. Otázkou je, zda se v Evropě vyplatí investovat enormní výdaje z veřejných rozpočtů, které by bylo nutné pro zlepšení této neutešené situace použít. Současná dopravní politika EU k těmto kroků vybízí.

6.4 Zklidňování dopravy

V průběhu 20. století se používání automobilů stalo dominantním způsobem osobní i nákladní dopravy. Tento vývoj měl vliv na změnu struktury měst a přinesl nutnost výstavby nových pozemních komunikací.

Zklidňování dopravy je proces omezování negativních fyzických a sociálních vlivů dopravy na městský život, a to zejména pomocí snižování rychlostí a intenzit motorové dopravy. Hlavním cílem zklidňování je snížení nehodovosti a zkvalitnění života ve městech. Zklidňování dopravy může být uplatňováno nejen v rezidenčních ulicích a oblastech, nýbrž také na průjezdných úsecích vesnic i měst nebo na celém území měst. Zklidňování nelze chápat pouze jako dopravně-inženýrskou záležitost, neboť se úzce dotýká též problematiky urbanismu, integrovaného plánování, zapojování veřejnosti do rozhodování, snahy o trvale udržitelnou dopravu a dopravního managementu.

Definice zklidňování dopravy se shodují v tom, že jeho cílem je snižování rychlostí vozidel, zvyšování bezpečnosti a zlepšování kvality života.

6.4.1 Centra měst bez aut

V Německu a dalších západoevropských zemích se v 70. letech 20. století zrodila myšlenka, že centra měst bez aut jsou pro život lidí atraktivnější. Tento náhled byl kontroverzní zejména pro dvě zájmové skupiny:

- místní obchodníci se obávali, že úbytkem dopravy dojde k úbytku tržeb,
- někteří dopravní inženýři předpovídali vznik dopravního chaosu v ulicích přilehlých k centrální zóně bez aut.

Je třeba správně stanovit hranice zóny, řešit zásobování, stanovit podmínky pro rezidenty aj. Neexistuje žádná ucelená teorie, která by problémy řešila, je však k dispozici více než čtvrtstoletí praxe a zkušenosti a na mnohé problémy již existují řešení. Zřizování center měst bez aut je nyní již tak rozšířené a populární, že nelze hovořit o experimentu – takto upravená centra prosperují, jsou komerčně i kulturně úspěšná a přinášejí také politické body.

6.4.2 Zklidňování dopravy v rezidenčních oblastech

Zahrnuje změny směrového a výškového vedení komunikace a instalaci bariér a jiných fyzických opatření za účelem snižování rychlostí a/nebo snižování dopravních intenzit v zájmu bezpečnosti, zvýšení kvality života a ostatních veřejných zájmů. Je to tedy kombinace zejména fyzických opatření, cílem jejichž aplikace je omezit negativní vlivy motorové dopravy, ovlivnit chování řidičů a zlepšit podmínky pro nemotorizované účastníky silničního provozu.

První woonerf (neboli místa pro život – obytná ulice) vznikl již koncem 60. let v holandském městě Delft, kdy občané pobouření neúnosnou dopravní situací iniciovali změnu uspořádání „svých“ ulic, které byly doposud využívány zejména pro průjezdní dopravu, na místo, kde se objevily lavičky, zeleň, pískoviště, parkovací zálivy.

Dalším možným a realizovaným opatřením jsou zóny Tempo 30 představovalo především stavební opatření. Zjištění:

- dopravní intenzity zůstaly nezměněny,
- došlo ke snížení rychlostí,
- počet nehod zůstal stejný, vážnost následků však byla menší,
- došlo ke snížení znečištění ovzduší,
- došlo ke snížení hladiny hluku.

V posledních letech se začínají při utváření tzv. městských prostranství (zejména v Holandsku a Dánsku) uplatňovat principy sdílení veřejných prostorů (share spaces), kdy díky stavebnímu uspořádání uličního prostoru nedochází k diskriminaci žádného způsobu dopravy a ulice kromě funkce dopravní umožňuje i provozování rozličných sociálních a rekreačních aktivit.

7 ZÁVĚR

Náklady na „kongesci“ jsou velice často pokládány na „nákladovou“ stranu silničního provozu. Avšak dojde-li ke kongesci, cesta autem nebo nákladním vozidlem je často rychlejší ode dveří ke dveřím než jakýkoliv jiný druh dopravy, což vysvětluje, proč uživatelé opakovaně volí možnost silniční dopravy. Jednoduše i v případě kongesci použití automobilů je stále výhodnější než jiné formy dopravy.

Pro vyvážený a harmonický rozvoj měst a všech jeho životně důležitých složek je důležitý komplexní přístup všech relevantních partnerů, a to jak ze sféry privátní, tak veřejné. Současně je velmi důležitý přístup zainteresovaných partnerů do integrovaného procesu plánování dalšího rozvoje města, aby město a jeho spádová oblast mohla využívat principy harmonického rozvoje všech pro město důležitých oblastí v dlouhodobém horizontu (rozvoj území, doprava, ekonomický rozvoj, dostupnost rekreace, využívání služeb, kulturních zařízení, bezpečných veřejných prostorů atd.).

Do většiny etap plánování rozvoje města a jejich regionů je třeba zapojit odborníky vybavené nástroji (softwarové systémy), se kterými budou schopni ověřovat reálnost dosažení navrhovaných cílů. Současně je nutné projektový tým využívat průběžně pro ověřování výsledků po dosažení jednotlivých etap nebo po implementaci souboru zamýšlených opatření. Takto ověřená metodika se stane novým nedílným prvkem nových postupů a přístupů v oblasti územního plánování v České republice a tento obor tak dosáhne své renesance a opětovného plnohodnotného postavení.

LITERATURA

- [1] KOLEKTIV: *Managing Urban Traffic Congestion*. OECD, 2007.
- [2] BRŮHOVÁ-FOLTÝNOVÁ H.: *Možnosti regulace dopravy*. www.enviwiki.cz, 2008.
- [3] *Transport for London*, www.tfl.gov.uk, 2008.
- [4] ŘEZÁČ M.-FENCL I.: *Vybrané otázky vývoje dopravy ve městech*. Monografie VŠB-TU Ostrava. 2009, 156 pp, ISBN 978-80-248-1985-3.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jindřich Frič, Ph.D., Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno

Petr JANAS¹, Richard ŠŇUPÁREK², Martin KREJSA³ a Vlastimil KREJSA

VYUŽITÍ METODY PDPV K NAVRHOVÁNÍ KOTEVNÍ VÝZTUŽE DŮLNÍCH DĚL

DESIGNING OF ANCHORING REINFORCEMENT IN UNDERGROUND WORKINGS USING DDFPM METHOD

Abstrakt

Při navrhování kotevní výztuže se vychází z různých teoretických předpokladů a empirických poznatků. Zpravidla se přitom předpokládá, že vstupní hodnoty jsou jednoznačně dány deterministicky. Předložený příspěvek ukazuje postup pravděpodobnostního navrhování a posuzování spolehlivosti kotevní výztuže při aplikaci metody PDPV (Přímého Determinovaného Pravděpodobnostního Výpočtu).

Abstract

The anchoring reinforcement (roof bolting) ranks currently among important reinforcing solutions available in the mining industry and underground engineering. The reinforcement is sized on the basis of various theoretical assumptions and empirical pieces of knowledge. Generally it is assumed that the input values are clearly deterministic. This is valid for both the geotechnical conditions under which the anchors will be applied as well as for properties of the anchors that are influenced also by installation procedures. But most data used as inputs in various anchor sizing methods are random. Recently, applied Direct Determined Fully-Probabilistic Method (DDFPM) has started developing for the assessment of the reliability of building constructions. DDFPM is also applicable for the design of anchors. An assumption for the application is a sufficient database of random quantities relating to the environment where the anchors will be installed, properties of the anchors and anchoring technologies, anchor design computational models and suitable and efficient tools for the probabilistic design of the anchoring reinforcement.

1 ÚVOD

Metoda Přímého Determinovaného Pravděpodobnostního Výpočtu (dále PDPV) byla původně vyvíjena jako alternativa aplikace metody Monte Carlo v pravděpodobnostních výpočtech při posuzování spolehlivosti konstrukcí. První zárodky metody PDPV se začaly rodit na přelomu let 2002 a 2003, kdy se autoři snažili nahradit simulační techniku Monte Carlo využívající generátor pseudonáhodných čísel (např. metoda SBRA) přímým numerickým řešením, které při sestavování vhodného algoritmu výpočtu vychází čistě z principů matematické teorie pravděpodobnosti a statistiky [1].

Při rozvoji a zejména při aplikaci metody PDPV se ukázalo, že pravděpodobnostní výpočty zejména složitějších úloh jsou náročné technicky i časově. Rozhodující jsou zde hlavně počty

¹ Doc. Ing. Petr Janas, CSc., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 308, e-mail: petr.janas@vsb.cz .

² Doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc., tel.: (+420) 596 979 351, Ústav geoniky AV ČR Ostrava, Studentská 1768, 708 00 Ostrava-Poruba, e-mail: richard.snuparek@ugn.cas.cz.

³ 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.

náhodných proměnných vstupujících do úlohy a počty zvolených tříd (intervalů) každé proměnné. Pro danou úlohu je počet proměnných jednoznačně dán.

Je-li **B** histogram, který hledáme např. pro určení pravděpodobnosti poruchy, funkcí **n** histogramů A_j , pak formálně platí:

$$B = f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_j, \dots, A_n), \quad (1)$$

Je-li počet tříd N_j v histogramu A_j , pak počet tříd v histogramu **B** je principiálně

$$N \leq N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot \dots \cdot N_j \cdot \dots \cdot N_n \quad (2)$$

Počet výpočetních operací je přitom úměrný součinu

$$P = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot \dots \cdot N_j \cdot \dots \cdot N_n \quad (3)$$

a pro $N_1 = N_2 = N_3 = \dots = N_j = \dots = N_n = N$ je počet výpočetních informací roven

$$P = (N)^n \quad (4)$$

Při aplikaci PDPV logicky vznikla otázka, je-li pravděpodobnostní výpočet vůbec využitelný, ve kterých případech a existují-li cesty požadovaný počet operací v dané úloze podstatně snížit při zachování korektnosti řešení [6].

Hledaly se způsoby zmenšující požadovaný počet operací pro určení pravděpodobnosti poruchy mimo jiné ve:

1. snižování počtu tříd proměnlivých vstupních veličin jednotlivých histogramů při zachování celého rozsahu každé náhodné vstupní veličiny,

2. snižování počtu tříd proměnlivých vstupních veličin každého do výpočtu vstupujícího histogramu při zachování celkového počtu tříd; do výpočtu vstupují pouze nebo z velké části pouze ty třídy, které se podílejí na hledané hodnotě, např. pravděpodobnosti poruchy konstrukce; výsledkem je tzv. zonální a trendová optimalizace,

3. grupování těch vstupních proměnlivých veličin [17], které mohou do výpočtu vstupovat společně a lze pro ně předem zpracovat společný histogram; předzpracování vstupních veličin musí být korektní a musí zabezpečit, že společný histogram vstupující do výpočtu vede ke stejnému výsledku, jako v případě samostatného použití jednotlivých histogramů ve výpočtu,

5. v kombinaci uvedených postupů,

6. v paralelizaci výpočtů.

Pravděpodobnostní výpočty však nejsou určeny pouze k určení spolehlivosti konstrukce.

Metodu PDPV lze využít také pro navrhování prvků konstrukcí s předepsanou úrovní spolehlivosti, když alespoň některé vstupní veličiny návrhu mají náhodný charakter. Lze přitom velmi výhodně využít možnosti, které metoda PDPV umožňuje při operaci s náhodnými veličinami. Platí to zejména o možnostech, které poskytuje tzv. grupování vstupních náhodných veličin. Tohoto postupu se využilo při pravděpodobnostním návrhu kotevní výztuže důlních děl [2]. Ukazuje se, že tento postup je operativní a uživatelsky vhodnější, než např. aplikace metody Monte Carlo.

V případě možností aplikace postupného grupování lze ukázat, že počet operací pro určení histogramu **B** dle vztahu (1) lze korektně realizovat při počtu operací dle vztahu (5):

$$P_{gr} = (n-1)N^2 \quad (5)$$

Předpokládá se přitom, že počet tříd každé náhodné veličiny vyjádřené histogramem A_j a vstupující do výpočtu je N , a že počet histogramů je n , což se předpokládalo i pro vztah (4).

Vztah (5) platí za předpokladu, že pravděpodobnostní výpočet probíhá tak, že vždy ze dvou histogramů se sestaví jeden histogram o stejném počtu tříd jako měl každý histogram vstupující do výpočtu. Výsledný histogram **B** je při dostatečném počtu tříd stejný, provádí-li se při nezkráceném výpočtu nebo při výpočtu využívajícího grupování. Efektivitu grupování, respektive postupné tvorby histogramu **B**, ukazuje poměr η :

$$\eta = \frac{P_{gr}}{P} = (n-1)N^{2-n} \quad (6)$$

V praktických výpočtech může mít každý histogram různý počet tříd, výsledný histogram bude mít při numerickém výpočtu metodou PDPV vždy počet tříd zvolený výpočtářem (např. 256). Porovnání počtu operací P a P_{gr} pak nebude přesně odpovídat (6). Pro každý konkrétní případ jej však lze přesně určit. Efektivita pravděpodobnostního výpočtu metodou PDPV využívajícího grupování (je-li to možné a korektní) je vysoká.

2 PRAVDĚPODOBNOSTNÍ VÝPOČET SPOLEHLIVOSTI KOTEVNÍ VÝZTUŽE

Pravděpodobnostní výpočet kotevní výztuže vyžaduje zpracovat:

- metodicky návrh postupu navrhování této výztuže,
- databáze parametrů nezbytných pro pravděpodobnostní výpočty (soubory náhodných veličin pro návrh kotev),
- softwarové prostředky pro pravděpodobnostní výpočty.

Metodických přístupů používaných k navrhování kotevní výztuže je celá řada ([13], [16]). Velmi rozsáhlou oblast metod dimenzování kotevní výztuže představují postupy, založené na empirických a analyticko-experimentálních metodách. Takzvané empiricko-analytické metody vycházejí zpravidla ze zjednodušených analytických řešení, zavádějí však do výpočtu součinitele, závislé na relativně snadno zjistitelných parametrech. Patří k nim vlastnosti materiálu (v daném případě hornin, jejichž vlastnosti se většinou zjišťují laboratorně), ale i parametry zjistitelné pozorováním, či měřením in situ. Zde jsou cenným zdrojem informací výsledky měření konvergence, zjišťování pásma „nepružných deformací“ v okolí důlního a podzemního díla, které může svou tíhou zatěžovat podpěrnou výztuž, jež se případně musí stabilizovat kotevní výztuží.

Empiricko-analytické metody mají sice omezenou platnost pro oblasti, kde byly získány potřebné znalosti, lze je však aplikovat i v jiných podmínkách po ověření či upřesnění potřebných údajů. Již desítky let se používají např. v uhelných dolech v Ostravsko karvinském revíru pro navrhování podpěrné výztuže dlouhých důlních děl, ale také při navrhování svorníkové výztuže. Pro účely projektování samostatné a kombinované svorníkové výztuže podzemních děl v OKR byl vyvinut výpočtový soubor ANKER (Šňupárek, Janas, Slavík 1994, [15]).

Při navrhování svorníkové výztuže je pro dané podmínky nezbytné specifikovat:

- délku svorníků,
- jejich počet a rozmístění v okolí důlního nebo podzemního díla,
- parametry vlastních svorníků (druh, průměr, materiál, způsob kotvení, atd.).

Pro podmínky OKR bylo na základě rozsáhlých měření v důlních dílech odvozeno [14], že konvergenci, tj. posunutí hornin do důlního díla, lze vypočítat dle vztahu:

$$u = 0,1B \cdot (1 - e^{-0,015t}) \cdot \left(e^{\frac{1,2H-q}{45\sigma_r}} - 1 \right) \quad (7)$$

Ve vztahu (7) se vyskytují parametry, charakterizující dané podmínky:

H	...	tzv. efektivní hloubka pod povrchem [m],
B	...	rozměr důlního díla (zpravidla šířka) [m],
t	...	čas ve dnech,
q	...	únosnost podpěrné výztuže [kNm^{-2}],
σ_r	...	redukovaná pevnost hornin [MPa].

Redukovaná pevnost nadložních hornin σ_r se stanoví následovně:

$$\sigma_r = \beta \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{di} m_i}{2B} \quad (8)$$

kde β je součinitel vrstevnatosti podle tabulky 1, σ_{di} pevnost v jednoosém tlaku i -té vrstvy a m_i mocnost i -té vrstvy.

Tab.1: Součinitel vrstevnatosti β .

Počet vrstev	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
β	1,0	0,95	0,90	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,71	0,70

Pásmo nepružných deformací B_n , které je podkladem pro specifikaci zatížení a určení délky svorníku, se v minulosti zjišťovalo geofyzikálním a extenzometrickým měřením. Po jeho vyhodnocení se ukázalo, že je lze určit z výsledků konvergenčních měření ve tvaru (8) [14]:

$$B_n = K_n \cdot B^{0,4} \cdot u^{0,6} \quad (9)$$

Po dosazení (7) do (9) a pro $t \rightarrow \infty$ je pak

$$B_n = 0,251189 \cdot B \cdot K_n \cdot \left(e^{\frac{1,2H-q}{45\sigma_r}} - 1 \right)^{0,6} \quad (10)$$

Koeficient K_n , charakterizující vztah mezi pásmem nepružných deformací v důlním nebo podzemním díle o rozměru B a konvergencí ve vztahu (9), byl v minulosti vyhodnocen jedinou deterministickou hodnotou, $K_n = 8,3$ ([4], [5] a [14]). Bylo tomu tak proto, že s proměnlivou hodnotou, nebo lépe řečeno se souborem proměnlivých hodnot K_n , bylo obtížné či dokonce nemožné operativně počítat, i když byly k dispozici. Podobně tomu bylo při výpočtech i v případě rozměru B nebo redukované pevnosti σ_r , které se používaly jako deterministické hodnoty i přesto, že tomu tak ve skutečnosti není.

Zatížení, které by měla svorníková výztuž přenášet, musí odpovídat rozsahu pásma nepružných deformací B_n , tíze hornin γ a také určité samonosnosti horninových vrstev, která v pásmu nepružných deformací existuje. Po dobrých zkušenostech s aplikací geomechanického klasifikačního parametru RMR dle Bienawského (1989) [3], bylo zatížení svorníkové výztuže určeno vztahem:

$$Q = B_n \cdot B \cdot \gamma \cdot \frac{100 - RMR}{100} = 2,51189 B^2 \gamma \frac{100 - RMR}{100} K_n \left(e^{\frac{1,2H-q}{45\sigma_r}} - 1 \right)^{0,6} \quad (11)$$

Ve vztahu (5) představuje veličina γ objemovou hmotnost hornin v $[10^3 \cdot \text{kg/m}^3]$. Zatížení Q pak představuje celkové zatížení svorníkové výztuže na běžný metr díla v [kN]. Kvalifikační parametr RMR se vyhodnocuje dle Bienavského (1989) [3].

Posudek spolehlivosti svorníkové výztuže důlních děl je založen na analýze funkce spolehlivosti, jež je dána výrazem:

$$FS = Q_{sv} - Q \quad (12)$$

kde Q_{sv} představuje únosnost svorníků a Q jejich zatížení na běžný metr díla.

Pro stanovení únosnosti svorníků se vychází ze vztahu:

$$Q_{sv} = n_{sv} q_{sv} = \frac{n \cdot q_{sv}}{d_s} = \frac{n \pi (d_1 - d_2)^2 \cdot \sigma_{sv}}{4 d_s} \quad (13)$$

kde n_{sv} představuje celkový počet kotev na běžný m díla, n počet kotev v řadě zpravidla kolmo na osu díla, q_{sv} únosnost jednoho svorníku, d_1 vnější průměr svorníku, d_2 vnitřní průměr svorníku, d_s vzdálenost řad kotev a σ_{sv} normálové napětí v jednom svorníku.

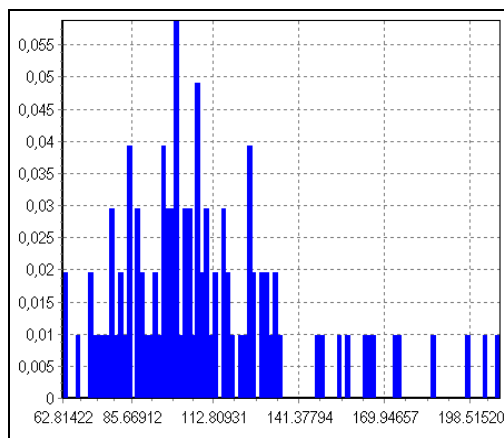
Vedle zatížení, respektive požadované únosnosti kotevní výztuže, je dalším důležitým parametrem určení potřebné délky kotev. Délka kotev by měla odpovídat pásmu nepružných deformací B_n v okolí důlního či podzemního díla. Z praktických pozorování a měření v důlních podmínkách se ukázalo, že při aplikaci kotevní výztuže je konvergence do důlního díla menší než odpovídá vztahu (7), kdy se konvergence určuje v dílech vyztužených podpěrnou výztuží. Je tomu tak proto, že tato výztuž vyvoluje odpor proti posunutí horninového masivu až po vytvoření kontaktu hornina-výztuž, což je spojeno s většími deformačními projevy horninového masivu, než je tomu u kotevní výztuže. Ze srovnání deformačních projevů v dílech vyztužených kotevní výztuží a hodnotou u dle vztahu (7) byl získán soubor, který umožňuje vypočítat délku kotev l ve stropě díla dle:

$$l = 0,251189 \cdot K_n \cdot B \cdot K \cdot \left(e^{\frac{1,5H-q}{45\sigma}} - 1 \right)^{0,6} \quad (14)$$

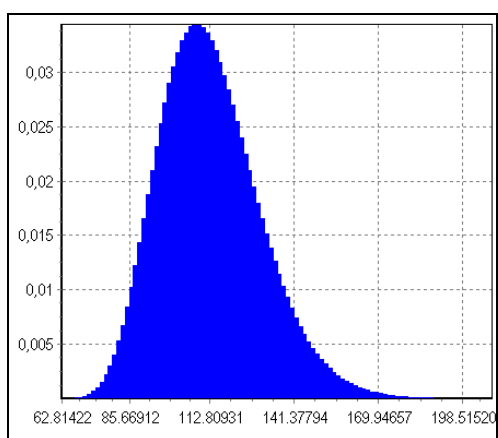
Ve vztahu (14) představuje veličina K soubor experimentálně získaných hodnot, který je pracovním označován jako konvergenční součinitel, i když, na rozdíl od postupu aplikovaného v [15], kde byl deterministicky určen, má proměnlivý charakter.

Jednotlivé databáze vstupních náhodných veličin byly sestaveny na základě měření u výrobců kotevních prvků a v dolech, kde byla svorníková výztuž realizována. Šířka důlního díla, která závisí především na technologii ražení (výložníkové razicí stroje, trhací práce) byla podrobně měřena na dolech v OKR v chodbách se svorníkovou výztuží. Databáze jednoosé pevnosti a objemové hmotnosti hornin byla sestavena na základě rozsáhlého laboratorního výzkumu jader průzkumných vrtů z karbonského masivu, provedeného ve VVUÚ Radvanice a v Ústavu geoniky AV ČR v posledních cca 40 letech. Rovněž hodnoty součinitelů K a K_n vycházejí z rozsáhlých měření konvergencí v porubních chodbách na dolech OKR, realizovaných v minulosti VVUÚ Radvanice a Ústavem geoniky AV ČR. Databáze tahové pevnosti kotevních prvků byla získána z archivu výrobce Ankra Petřvald, přičemž měření byla provedena v laboratořích státních zkušebních ústavů a Ústavu geoniky AVČR.

Zpracované SW prostředky umožňují prvotní data zjištěné měřeními sestavit do histogramů vytvořených z těchto dat a následně vyjádřit parametricky. Z desítek známých parametrických rozdělení se přitom vyhodnotí dle velikosti tzv. koeficientu těsnosti nejvhodnější rozdělení. Na obr. 1 je příklad histogramu prvotních dat sestaveného ze 102 naměřených hodnot pevnosti v tlaku karbonského pískovce. Na horizontální ose jsou přitom pevnosti v tlaku v [MPa], na svislé ose pravděpodobnosti výskytu. Počet tříd se přitom volil roven počtu primárních dat. Na obr. 2 je parametrické vyhodnocení toho histogramu. Pro parametrické rozdělení Gamma (viz obr. 2), které je v daném případě nejvhodnější, je těsnost 0,951. Pokud budeme volit jiné rozdělení, případně větší počet tříd, což je možné, bude hodnota těsnosti menší.



Obr.1: Histogram prvotních dat pevnosti v tlaku karbonského pískovce [MPa].



Obr.2: Histogram parametrického rozdělení pevnosti v tlaku karbonského pískovce [MPa].

3 SOFTWARE PRO PRAVDĚPODOBNOSTNÍ VÝPOČET SPOLEHLIVOSTI KOTEVNÍ VÝZTUŽE

Pro pravděpodobnostní posouzení spolehlivosti kotevní výztuže důlního díla byl vytvořen program Kotvení, aplikující metodu Přímého Determinovaného Pravděpodobnostního výpočtu (PDPV). Pracovní plocha tohoto programu je na obr.3.

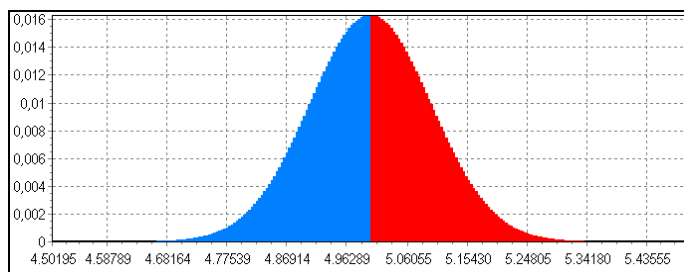
Do vstupního formuláře se zadávají hodnoty mající pravděpodobnostní charakter, jako je šířka důlního díla B (obr.4), pevnost v jednoosém tlaku σ_d v jednotlivých vrstvách, konvergenční součinitel K , součinitel vlivu kotvení výztuže na snížení konvergence K_n (obr.5), objemová hmotnost hornin γ , odpor podpěrné výztuže q v případě kombinované výztuže a pevnost svorníku σ_H . K volbě uvedených veličin lze využít zpracované databáze, které jsou přístupné zpracovaným programem.

The screenshot shows the 'KOTVENÍ' software interface. It has a menu bar (Projekt, Výsledky, Nastavení, nápověda) and a toolbar. The main window is divided into two sections: 'Zadání 1.' and 'Zadání 2.'.

Zadání 1. contains a 'Název' field with 'Výsledky_Kotvení_14_5_2009'. Below it is a table for 'Horninové poměry nad důlním dílem' with columns for 'Vrstva', 'Druh horniny', 'Pevnost v jednoosém tlaku [MPa]', and 'Mocnost [m]'. The table lists 10 layers with various rock types and strengths. Below the table are input fields for 'Beta' (7.600E-1), 'H' (1200), 'K' (0.1), 'K_n' (0.1), and 'RMR' (10). There is also a 'Redukovaná pevnost' field.

Zadání 2. contains a 'Kombinovaná výztuž' checkbox. Below it is a table for 'Odpor podpěrné výztuže (kombinovaná výztuž)' with columns for 'Odpor [MPa]' and 'Délka svorníku'. There are also input fields for 'd1' (22), 'd2' (0), 'n' (5), 'ds' (1000), and 'Pevnost svorníku' (HK24-Fv235-FLP-rok 2000). At the bottom, there are dropdown menus for 'Výběr a uložení histogramu' and 'Ulož'.

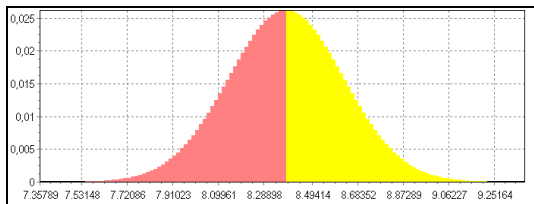
Obr.3: Pracovní plocha programu Kotvení.



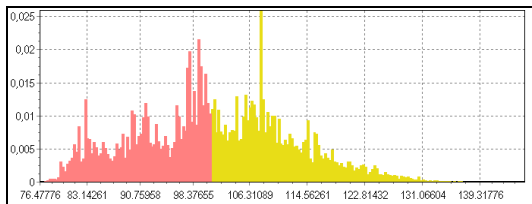
Obr.4: Histogram šířky důlního díla B [m].

Deterministicky vyjádřenými vstupními veličinami zůstává součinitel vrstevnatosti β , efektivní hloubka pod povrchem H , mocnosti jednotlivých vrstev m_i , vnější a vnitřní průměr svorníků d_1 a d_2 a vzdálenost řad kotev d_s .

V první etapě pravděpodobnostního výpočtu lze nejprve určit histogram redukované pevnosti nadložních hornin σ dle (8) (obr.6). Je potřebný k určení délky kotev a jejich zatížení včetně geomechanického klasifikačního koeficientu RMR dle Bienawského (1989), pro jehož stanovení slouží samostatná tabulka programu (obr.7). Výsledkem zpracování je histogram geomechanického klasifikačního koeficientu RMR (obr.8).



Obr.5: Součinitel K_n .



Obr.6: Histogram redukované pevnosti nadložních hornin [MPa].

Třída horninového masivu dle hodnocení RMR (podle Bieniawského 1989)

B : Kvalita jádrového vrtu ROD

Kvalita	Hodnocení
4/ 25% - 50%	8

C : Vzdálenost ploch nespojivosti

Vzdálenost	Hodnocení
4/ 60 - 200 mm	8

D1 : Charakter ploch nespojivosti (typ 1)

Charakter	Hodnocení
3/ Nepravidelný povrch, odučinnost < 1 mm, velmi zvětralé	20

E : Přítomnost a tlak podzemní vody

Přítok na 10 m délky tunelu [l/m]	Tlak vody v puklině (Sigma)	Hodnocení
1/ Suché, Přítok : žádný, Tlak : 0		15

F : Orientace puklin vzhledem ke směru ražby

Důlní dílo	Směr a sklon vrstvy	Hodnocení
1/ Tunel a doly	3/ Spjatý	-5

Třída horninového masivu - hodnocení

T R Í D A	I	II	III	IV	V
Rozsah RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	< 21
Doba stability zajištěného výrubu	20 let pro 15m rozpětí	1 rok pro 10m rozpětí	1 týden pro 5m rozpětí	10 hod pro 2,5m rozpětí	30 min pro 1m rozpětí
Soudržnost horniny [MPa]	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Úhel tření horniny [°]	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15
Kvalita horniny	Výborná	Dobrá	Střední	Nízká	Velmi nízká

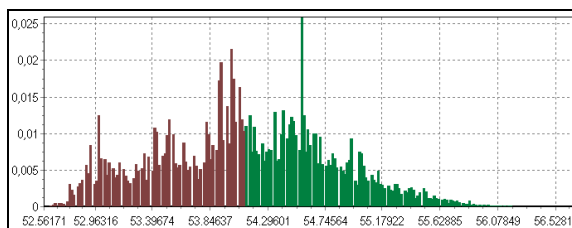
A : Pevnost neporušené horniny

Pevnost	Min.	Max.	Graf
Redukovaná [MPa]	76.47776	145.34786	
Neporušené horniny (hodnocení)	6.56171	10.65659	

Suma B + C + D1 (D2) + E + F = 46

Třída : III RMR : (52.56171, 56.65659) medián = 54.11134

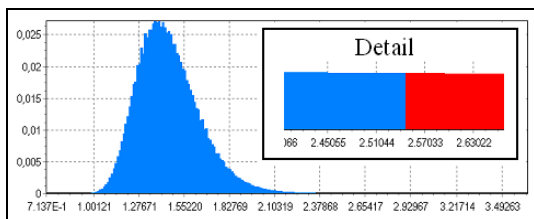
Obr.7: Pracovní plocha programu s tabulkou pro stanovení geomechanického klasifikačního koeficientu RMR dle Bienawského (1989).



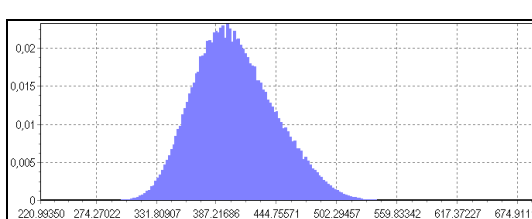
Obr.8: Histogram geomechanického klasifikačního koeficientu RMR dle Bienawského (1989).

V dalším výpočtu pak lze stanovit histogram pro délku navrhovaného svorníku l dle (14) (obr.9). Vyplývá z něj, že pro úroveň spolehlivosti 0,9999 je potřebná délka svorníku 2,54 m.

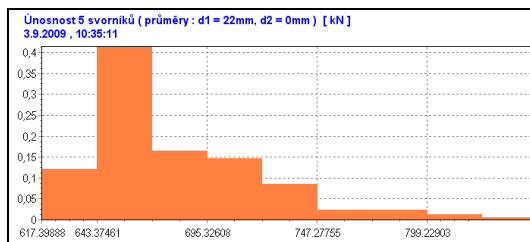
Na obr. 10 je histogram pro zatížení svorníku Q dle (11). Únosnost svorníků Q_{sv} se pak stanoví na základě vztahu (13) (obr.11). Histogramy Q a Q_{sv} pak lze dosadit do funkce spolehlivosti (12) a provést výsledné pravděpodobnostní posouzení na základě určení pravděpodobnosti poruchy P_f (obr.12).



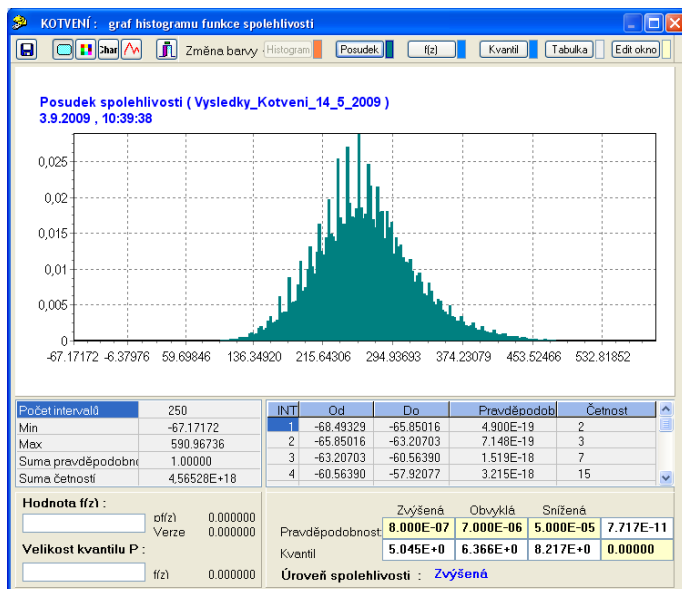
Obr.9: Histogram délky svorníku l [m].



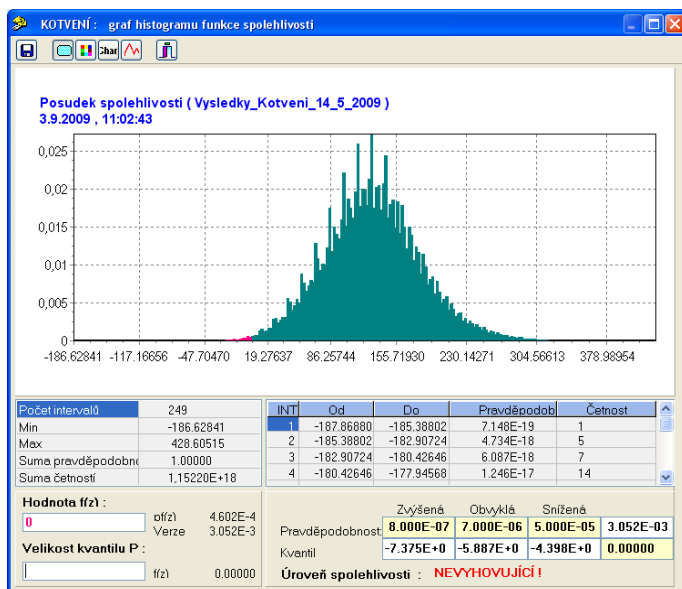
Obr.10: Histogram zatížení svorníků Q [kN/m].



Obr.11: Histogram únosnosti svorníků Q_{sv} [kN].



Obr.12: Histogram funkce spolehlivosti FS s výslednou pravděpodobností poruchy $P_f=7,72 \cdot 10^{-11}$ pro 5 kotev na běžný metr díla.



Obr.13: Histogram funkce spolehlivosti FS s výslednou pravděpodobností poruchy $P_f=3,05 \cdot 10^{-3}$ pro 4 kotvy na běžný metr díla.

V daném případě byla výsledná pravděpodobnost poruchy určena hodnotou $P_f=7,72 \cdot 10^{-11}$ a pro přísná kritéria uvedená v ČSN 73 1401 – Navrhování ocelových konstrukcí (1998) by kotevní výztuž vyhovovala, neboť návrhová pravděpodobnost P_d pro zvýšenou úroveň spolehlivosti je rovna $8 \cdot 10^{-7}$ a podmínka spolehlivost $P_f \leq P_d$ je splněna. Počet ocelových kotev byl volen 5 na běžný m díla a jejich průměr 22 mm. Pokud by se volil menší počet kotev, např. 4, pak by situace byla jiná, neboť při stejném průměru kotev a stejné oceli by platilo $P_f=3,05 \cdot 10^{-3}$ (viz obr.13). Podmínka spolehlivost $P_f \leq P_d$ by nebyla splněna ani pro sníženou pravděpodobnost ve smyslu uvedené ČSN. Posuzování a navrhování kotevní výztuže lze s využitím programu Kotvení realizovat velmi operativně.

3 ZÁVĚR

Tento příspěvek obsahuje konkrétní příklad využití PDPV k navrhování kotevní výztuže důlních děl. Publikovaná metodika vychází z postupů dimenzování výztuže v podmínkách uhelných dolů v Ostravsko karvinském revíru a nelze ji s ohledem na vytvořenou datovou základnu přímo aplikovat v jiných podmínkách zejména podzemních a tunelových staveb. Cílem publikace tohoto příspěvku je především metodicky ukázat postup pravděpodobnostního posuzování konstrukcí výztuže s využitím metody Přímého determinovaného pravděpodobnostního výpočtu a zpracovaným softwarovým prostředkem pro její využití ve vymezených podmínkách.

Základním předpokladem pro aplikaci metody v jiných oblastech je vytvoření databázi parametrů nezbytných pro pravděpodobnostní výpočty (soubory náhodných veličin) a případné upřesnění algoritmů pro dimenzování kotevní výztuže ve specifických podmínkách.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je 105/07/1265.

LITERATURA

- [1] JANAS, P., KREJSA, M.: Numerický výpočet pravděpodobnosti užitím useknutých histogramů při posuzování spolehlivosti konstrukcí. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, číslo 1, rok 2002, ročník II, řada stavební, str.47-58, ISBN: 80-248-0397-6, ISSN 1213-1962.
- [2] JANAS, P., ŠŇUPÁREK, R., KREJSA, M., KREJSA, V.: Pravděpodobnostní přístup k navrhování kotevní výztuže důlních děl v podmínkách OKR. *Časopis Tunel*, 2009, v tisku.
- [3] BIENAWSKI, Z.T.: *Engineering rock mass classifications*, Wiley New York, 1989.
- [4] JANAS, P., BLÁHA, F.: Dimenzování výztuže dlouhých důlních děl, křížů a odboček v podmínkách ostravsko-karvinského revíru. *Časopis Uhlí*, č. 9, 1987.
- [5] JANAS, P.: *Dimensioning of roadway supports in conditions of the Ostrava-Karviná coal field*. A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1990.
- [6] JANAS, P., KREJSA, M., Krejsa, V.: Structural Reliability Assessment Using Direct Determined Fully Probabilistic Calculation. In *International ASRANet Colloquium*, Glasgow, UK, ISBN 0-9553550-0-1/978-0-9553550-0-4, 2006.
- [7] JANAS, P., KREJSA, M., KREJSA, V.: Současné možnosti Přímého determinovaného pravděpodobnostního výpočtu při posuzování spolehlivosti konstrukcí. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*, řada stavební, číslo 1, ročník VI, ISSN 1213-1962; ISBN 80-248-1248-7, 2006.
- [8] JANAS, P., KREJSA, M., KREJSA, V.: Current Possibilities of Direct Determined Fully Probabilistic Method (DDPFM). In *4th International ASRANet Colloquium*, Athens, Greece, ISBN 978-0-9553550-2-8, 2008.
- [9] JANAS, P., KREJSA, M., KREJSA, V.: Současné možnosti metody PDPV. In *Medzinárodná konferencia 70 rokov SvF STU*, Bratislava, Slovensko, 2008.

- [10] KRÁLÍK, J.: Porovnanie efektívnosti pravdepodobnostných metód na riešenie spoľahlivosti konštrukcií v MKP. In *IX. celostátní konference se zahraniční účastí „Spolehlivost konstrukcí“*, 14. a 15. dubna 2008, Praha, ISBN 978-80-02-02007-3.
- [11] MAREK, P., GUŠTAR, M., ANAGNOS, T.: *Simulation-Based Reliability Assessment for Structural Engineers*, CRC Press Inc., Boca Raton, 1995, ISBN 0-8493-8286-6.
- [12] NOVÁK, D., VOŘECHOVSKÝ, M. RUSINA, R.: Small-sample probabilistic assessment – software FREET. In *9th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering – ICASP 9*, San Francisco, USA, 91-96, Rotterdam: Millpress, 2003.
- [13] PRUŠKA, J.: *Vliv svorníkové výztuže na napjatost a deformaci diskontinuítního horninového masivu*, habilitační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2002.
- [14] ŠKRABIŠ, A.: *Předvídání a hodnocení tlakových a deformáčních projevů v horizontálních otvirkových a přípravných důlních dílech v podmínkách československé části hornoslezské pánve empiricko-analytickou metodou*, doktorská disertační práce, Praha, 1977.
- [15] ŠŇUPÁREK, R., JANAS, P., SLAVÍK, J.: Výpočet svorníkové výztuže, *Geotechnika*, 1994.
- [16] ŠŇUPÁREK, R.: *Svorníková výztuž v hornictví a v podzemním stavitelství*, habilitační práce, FAST VŠB-TU Ostrava, 2001.
- [17] JANAS, P., KREJSA, M.: Analýza optimalizačních kroků přímého determinovaného pravděpodobnostního výpočtu a jejich využití při posuzování spolehlivosti konstrukce, III. mezinárodní konference „Nové trendy v statice a dynamice stavebních konstrukcí“, 21.-22. októbra 2004, str. 247 až 254, Stavebná fakulta STU v Bratislave, ISBN: 80-227-2116-6.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Dr. Ing. Jan PRUŠKA., FSV ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29, Praha 6.

Poznámka: Grupování v metodě PDPV je popsáno v [17]. Určuje-li se např. redukovaná pevnost hornin dle dále uvedeného vztahu (8), pak lze postupovat tak, že se pevnosti jednotlivých vrstev (zadané histogramy) násobí podílem příslušné vrstvy a celkovou mocností uvažovaných vrstev $2B$. Takto vytvořené histogramy se mohou postupně sčítat (ze dvou histogramů po součtu vznikne nový histogram, k němuž lze následně připočíst další atd.) až se vytvoří histogram dle vztahu (8). Tento postup je racionální a korektní. Lze ovšem postupovat tak, že se sčítají všechny histogramy vstupujícího do vztahu (8) najednou. Vytváří se tak postupně daný histogram. Tento postup je také korektní, vyžaduje však více početních operací a je proto časově náročnější a méně efektivní. Ještě méně efektivní je postup, kdy výpočet redukované pevnosti je součástí pravděpodobnostního výpočtu zatížení svorníků (11), posudku spolehlivosti kotev (12), nebo určení délky kotvy (dle vztahu 14). Obdobně jako se sčítáním lze postupovat i s násobením a dělením histogramů. Platí, že grupování je možné, vstupují-li histogramy do výpočtu pouze jednou. Vstupovaly-li by dvakrát a vícekrát, pak by výpočet nebyl korektní. Při operacemi s histogramy např. neplatí, že $a.(b+c)=ab + ac$. Korektní a správné je nejdříve vytvoření součtového histogramu $(b+c)$ a následně jeho vynásobení histogramem a . Histogram vytvořený roznásobením $ab + ac$ je chybný, výpočet není korektní.

Petra JELÍNKOVÁ¹, Aleš BERNATÍK², Oldřich SUCHARDA³

MODELOVÁNÍ EXPLOZE NEBEZPEČNÝCH LÁTEK

EXPLOSION MODELLING OF HAZARDOUS SUBSTANCES

Abstrakt

Článek se zabývá oblastí managementu rizik, který tvoří pilíř integrovaného manažerského systému. Zaměřuje se do oblasti mimořádných situací, jako je vznik požáru a výbuchu způsobený únikem chemických látek, které vykazují nebezpečné vlastnosti. V oblasti teoretické se diskutují možnosti modelování a následné posuzování těchto mimořádných událostí. Součástí je i konkrétní případová studie úniku vodíku z potrubí a potenciálních dopadů na osoby a stavební konstrukce.

Abstract

The article deals with a sphere of a risk management which creates an element of the integrated management system. It focuses on extraordinary situations such as a fire and an explosion creation which are caused by chemical substances' releases which have hazardous properties. In theoretical part possibilities of a modelling and an assessment of these extraordinary situations are discussed. The part and parcel is a concrete study of hydrogen releases from pipeline and potential consequences to people and building structures.

1 ÚVOD

V průmyslových oblastech se můžeme setkat s celou řadou průmyslových látek, které jsou nezbytné pro výrobu, ale zároveň jsou potenciálním zdrojem havárie, např. exploze. Typickým regionem s vysokou koncentrací průmyslu může být Moravskoslezský kraj. Nalezneme zde chemický, hutní a strojírenský průmysl. Mezi nejrozšířenější nebezpečné průmyslové látky z pohledu požáru a výbuchu, které se používají při průmyslové výrobě jsou plyny jako např. kyslík, vodík, zemní plyn, acetylen. Dalším nebezpečným zdrojem mohou být odpadní hutní plyny jako např. koksárenský plyn vznikající při výrobě koksu.

Základní požadavky na provedení opatření pro eliminaci rizik spojených s havárií stanovuje legislativa. Základní legislativní požadavky jsou vydávány nejčastěji formou zákona a jeho prováděcích předpisů, které stanovují opatření, nejčastěji vymezení ochranných zón, implementace opatření do havarijních plánů, krizových plánů apod. Pro získání parametrů exploze se využívá modelování exploze jako součást analýzy rizik zahrnující pravděpodobné scénáře explozí [5].

Možností, jak zkoumat exploze je modelováním. Základní typy modelů lze rozdělit do následujících skupin:

- nomogramy,

¹ Ing. Petra Jelínková, Katedra bezpečnostního managementu, Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Lumírova 13, 700 30 Ostrava – Výškovice, e-mail: petra.jelinkova.st2@vsb.cz.

² doc. Dr. Ing. Aleš Bernatík, Katedra bezpečnostního managementu, Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Lumírova 13, 700 30 Ostrava – Výškovice, e-mail: ales.bernatik@vsb.cz.

³ Ing. Oldřich Sucharda, Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 32 1391, e-mail: oldrich.sucharda@vsb.cz.

- aplikace analogicky odvozených zjednodušených teoretických modelů,
- počítačové simulace,
- simulace výbuchu v reálných podmínkách pomocí předem připravených postupů.

2 MODELOVÁNÍ HAVÁRIÍ

Nejjednodušší formou simulace exploze je výpočet s využitím nomogramu. Jedná se o kombinaci grafické a výpočetní metody. Výpočetní náročnost není velká, ale existuje celá řada faktorů, které nemohou být zahrnuty ve výpočtu. Tyto faktory mohou způsobit velkou odchylku od skutečného průběhu exploze. S postupem se nejčastěji setkáváme v normách, jak v rámci českých, tak i v legislativě EU. Normy obsahují i postup výpočtu. K nejčastějším omezením patří řešení exploze pouze v určité oblasti, dále je omezeno množství vstupních parametrů. Na základě tohoto postupu se obdrží pouze limitované výsledky.

Další metodou je aplikace analogicky odvozených zjednodušených teoretických modelů. Metoda vyžaduje při výpočtu teoretickou rozvahu a odvození vzorců. Řešitel musí hledat v teoretických zdrojích informací, jak nejlépe charakterizovat chemické látky a parametry exploze pro daný teoretický model. Možnosti parametrizace vstupu a výstupu určuje volba výpočetního modelu exploze. Ruční výpočet je časově náročný, a proto je doporučeno použít algoritmus s využitím např. tabulkového procesoru.

Třetí metodou je využití modelování exploze počítačovými simulacemi, kdy je v současné době s možností výpočetní techniky nejzajímavější. Výpočetní systémy pro modelování explozí zahrnují podrobně zpracované výpočetní modely explozí. Zpracované výpočetní modely explozí nejznámějších software (např. ALOHA, EFFECTSPLUS a TEREX) umožňují širší řadu vstupních aplikací než metody předešlé. Při vyhodnocování nabízí použití také různých klasifikačních a hodnotících kritérií pro hodnocení dopadů na zdraví a životy lidí. Aplikaci je možno použít k posouzení možných ztrát na majetku a životním prostředí [5], což může být zajímavý údaj, jak pro provozovatele takového zařízení, tak i pro průmyslové pojišťovny a orgány státní správy.

Poslední možností je simulace výbuchu v reálných podmínkách s omezením množství výbušné látky, kdy je použito při zkoumání výbuchů technologických postupů, tak aby nedošlo k újmě na zdraví osob a majetku. Jako příklad lze uvést činnost zkušebních ústavů, kdy se vyvolává a zkoumá exploze ve zkušebních štolách po důlní činnosti.

3 VÝBUCH V OTEVŘENÉM A UZAVŘENÉM PROSTORU

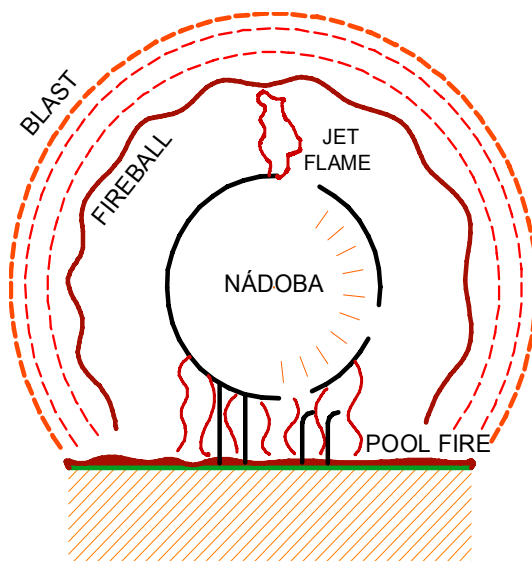
Výbuch je mimořádná událost, fyzikálně – chemický jev, kdy dochází k uvolnění množství energie do okolních prostorů spolu se šířením tlakové vlny a doprovázené lokálním zvýšením tlaku a teploty [2]. Jedná se o rychlé hoření, kdy koncentrace plynu s oxidační látkou je v rozsahu mezi mezemi výbušnosti. Existují různé typy možných výbuchů v závislosti na hořlavé nebo výbušné látce. Jiným způsobem reagují kapaliny, plyny, zkapalněné plyny, prachy, výbušniny. Základními podmínkami pro vznik výbušné reakce je vedle přítomnosti těchto látek, přítomnost oxidačního prostředí, zápalného zdroje a prostoru, ve kterém se bude výbuch šířit.

Mezi základní typy výbuchů hořlavých kapalin, plynů nebo par lze zařadit následující [3]:

- Boiling liquid expanding vapors explosion (B.L.E.V.E),
- Vapour cloud explosion (V.C.E).

Prvním typem výbuchu je tzv. B.L.E.V.E., jehož zkratka pochází od anglického slova „Boiling liquid expanding vapour explosion“. Jedná se o výbuch expandujících par přehřáté kapaliny, nejčastěji zkapalněných uhlovodíkových plynů (např. LPG, LNG apod.). Obecně lze říci, že tento jev nastává, když dojde k náhlému uvolnění velkého množství výše zmíněných látek do atmosféry. Jako primární příčina vzniku tohoto výbuchu je oheň v okolí nádoby, který postupně oslabí plášť nádoby až dojde k jeho prasknutí. V tomto okamžiku se veškerý objem této nádoby uvolní do okolních prostorů. Exploze je doprovázena vznikem tlakové vlny a tvorbou úlomků. V případě úniku hořlavé

kapaliny nebo zkapalněného uhlovodíkového plynu může vzniknout ohnivá koule (fire ball) [2]. Princip tohoto jevu je zobrazen na obr. 1



Obr. 1: Princip B.L.E.V.E.

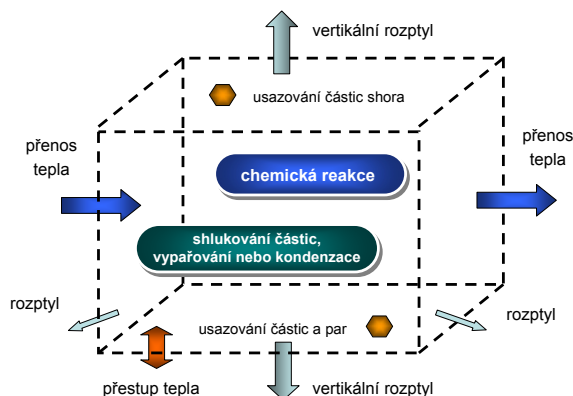
Druhým typem jsou výbuchy hořlavých mraků par známé pod označením v anglickém jazyce "Vapour cloud explosion, V.C.E". Tento typ výbuchu může způsobit nejzávažnější možné následky. V historii je dokumentována řada případů tohoto výbuchu, kdy vlivem úniku chemické látky došlo k vzniku jevu V.C.E., které dokazují účinky tohoto výbuchu. Zejména jde o výsledky působení na okolní konstrukce stavebních objektů, životní prostředí a v neposlední řadě na člověka. Je možné jmenovat závažné havárie ve Flixborough v roce 1974, kdy při úniku a následném výbuchu cyklohexanu došlo k usmrcení 28 osob. Další havárie z roku 1989 byl výbuch zemního plynu v Rusku, při němž bylo usmrceno 1218 osob a 575 osob bylo zraněno. Poměrně známá je i havárie z Pasadeny, rovněž z roku 1989, kdy v podniku na výrobu polyethylenu došlo k chybě při údržbě a nastalo uvolnění směsi plynu ethylenu, izobutanu, hexenu a vodíku z kulového ventilu. Celkové uvolněné množství bylo zhruba 38 650 kg. Následoval prudký výbuch mračna par. Řetězově exploze způsobila dvě další exploze skladovacích nádrží izobutanu o obsahu zhruba 76 m³ a reaktoru s polyethylenem. Časové rozmezí bylo asi od 10 - 15 do 25 - 45 minut po tom, kdy nastal první výbuch. Postupně docházelo ke vzniku dalších požárů a výbuchů. Ve vzdálenosti 6 milí byly ještě nalézány úlomky. Důsledkem této havárie byla dvě zcela zničená zařízení, 23 usmrcených osob a mnoho zraněných lidí [3].

Podmínky pro vznik jevu V.C.E jsou následující [1]:

- přítomnost hořlavých látek za odpovídajícího tlaku nebo teploty,
- mrak par musí být vytvořen před zapálením,
- část mraku musí být v mezích výbušnosti dané látky,
- tlaková vlna způsobená výbuchem tohoto typu je závislá na rychlosti šíření plamene.

Výbuch mračna par je přeměna hořlavých plynů nebo par ve směsi s oxidačním prostředkem, která je doprovázena tlakovou vlnou. Mohou nastat dvě situace [3]. Pokud nedojde ke vzniku přetlaku vznikne požár typu Flash Fire, při kterém nedochází ke vzniku tlakové vlny. Pokud přetlak nastane, pak se jedná o V.C.E. Při tomto typu výbuchů již vzniká tlaková vlna. Obvykle nastává detonace, kde plamen postupuje jako rázová vlna následována těsně vlnou, která uvolňuje energii na udržení rázové vlny. Hořlavý soubor hoří nadzvukovou rychlostí. Jako důsledek může nastat zhroutil stavby a konstrukčních systémů.

Charakter tohoto jevu je uveden na obr. 2.



Obr.2: Princip V.C.E.

Ve výše uvedených odstavcích jsou objasněny základní principy vzniku výbuchu mračna hořlavých par. Podstatné je rovněž objasnit možné dopady těchto jevů. Tabulky níže uvedené zobrazují působení tlaku vznikajícího při výbuchu na osoby a stavební konstrukce.

Tab.1: Účinky výbuchu na osoby a stavební konstrukce [3, 4].

Přetlak [bar]	Pravděpodobnost úmrtí osob [%]	Účinek na stavební konstrukce
<0,07	0	Vyražená okna a dveře
0,07 – 0,21	10	Budovy dočasně neobyvatelné
0,21 – 0,34	25	Budovy těžce poškozené (zničené z 50%)
0,34 – 0,48	70	Budovy takřka zničené (zničené ze 75%)
>0,48	95	Zlomené stožáry, lámání kmenů stromů a silných větví

Na typ výbuchu V.C.E. je zaměřen příklad následující případové studie.

4 PŘÍPADOVÁ STUDIE

Pro případovou studii analýzy rizik je zvolen případ havárie průmyslové látky vodíku ve venkovním a vnitřním prostoru. Tato testovací studie je provedena v průmyslovém podniku zabývajícím se výrobou vodíku a dalšími chemickými produkty.

Základní algoritmus při analýze rizik je definování možných skupin scénářů, které mohou nastat. Pro analýzu rizik jsou vybrány dva scénáře, roztržení potrubí v plném průřezu a následný požár typu Jet Fire a jev V.C.E, jehož vysvětlení je uvedeno v minulé kapitole. Požár typu Jet Fire nastává v zařízeních pod vysokým tlakem (např. produktovody). Při úniku hořlavé kapaliny z potrubí za vysokého tlaku dochází buď k rozstříkávání nebo k úniku proudem. Tyto požáry mohou být velmi intenzivní, ohrožují okolí vlivem sálavého tepla, mohou působit na zařízení a způsobit poškození vedoucí k ještě větším únikům [2]. Vstupní parametry pro počítačovou simulaci výbuchu s uvažováním jevu Jet Fire a výbuchu typu V.C.E jsou shrnuty v tab. 2.

Tab.2: Vstupní podmínky.

Scénář	Rychlost větru	Třída atmosférické stability	Typ úniku látky z potrubí	Typ úniku
1.	5 m.s ⁻¹	D	Jet fire	Katastrofický *
2.	1,7 m.s ⁻¹	F	Jet fire	Katastrofický *
3.	5 m.s ⁻¹	D	V. C. E.	Katastrofický*
4.	1,7 m.s ⁻¹	F	V. C. E.	Katastrofický*

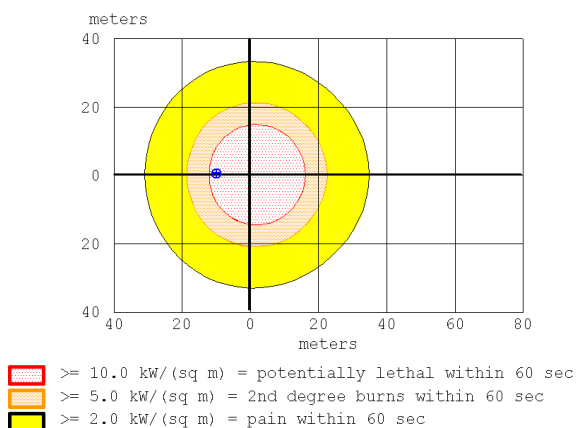
*celým průměrem

Výsledky provedených simulací explozí shrnuje tab. 3, obr. 3, obr. 4 a obr. 5.

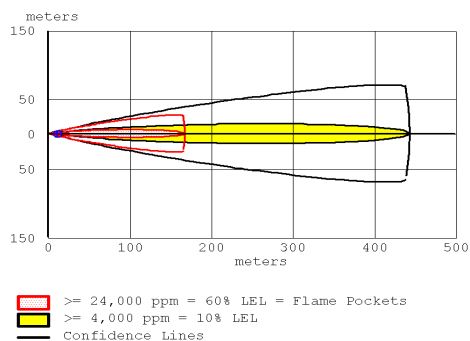
Je simulováno potrubí o délce 2 km, průměru 250 mm, vstupním tlaku 5 bar a teplotě 20 °C.

Tab.3: Výsledné hodnoty po provedené počítačové simulaci.

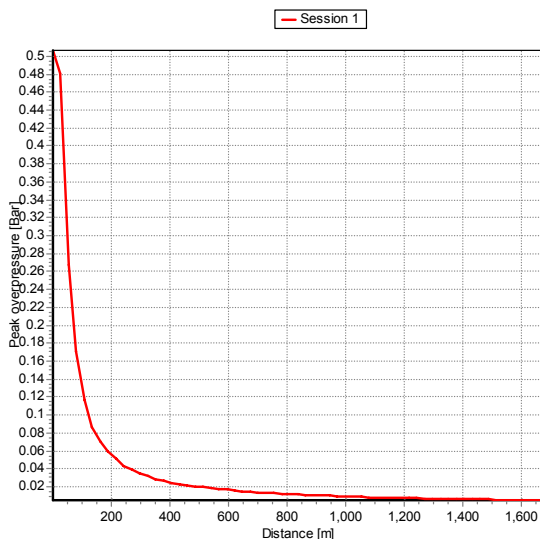
Scénář	Maximální délka plamene (burn duration 1 hour)	Maximální poměr odhořelé látky v čase	Celkové odhořelé množství	Průměrné uvolněné množství v čase	Smrtelná zóna	Ohrožení v bodě (v 10 m)
1.	7 m	741 kg.min ⁻¹	5 199 kg	—	16 m	12,5 kW.m ⁻²
2.	7 m	741 kg.min ⁻¹	5 199 kg	—	15 m	15,6 kW.m ⁻²
3.	—	—	5 199 kg	90,9 kg. min ⁻¹	168 m	119 000 ppm
4.	—	—	5 199 kg	90,9 kg. min ⁻¹	443 m	41,9 ppm



Obr.3: Zóna ohrožení pro scénář č. 1.



Obr.4: Zóna ohrožení pro scénář č. 3.



Obr.5: Vývoj přetlaku při explozi.

Působící přetlak na konstrukce je 0,129 bar, což způsobuje malé škody na budovách, jsou nutné pouze opravy malého rozsahu, budovy jsou dočasně neobyvatelné.

ZÁVĚR

V současné době je management rizik jeden z nejdůležitějších prvků ve strategii podniků. V průmyslových společnostech, kde se užívá hořlavých látek k technologickým procesům je vysoký rizikový faktor požáru a výbuchu. Článek se zabývá oblastí risk managementu a ukazuje na možnosti řešení teoretické prevence rizik před škodami na majetku a lidských životech formou modelování. Nejvyšší riziko škod způsobených explozí lze zejména nalézt v chemickém, hutním a v dalších odvětvích průmyslu. Nedílnou součástí rizikového managementu je stanovování a provedení opatření s cílem snižování působících rizik. Jednou z možných cest ukazuje i případová studie v tomto článku. Provedení správného managementu rizik má také podstatný vliv na průmyslové pojištění (strategický management, spolupráce top managementu, konzultantských firem, pojišťovacích společností).

Součástí předloženého článku je případová studie potrubí vodíku v průmyslovém areálu. Riziko exploze je modelováno pomocí výpočetních simulací. Rizikem v případě vodíku je jeho nekontrolovatelné hoření při jeho náhodném úniku, jak ve vnitřním tak i venkovním prostředí. Vysoká pravděpodobnost úniku vodíku, vzhledem k jeho vlastnostem, a následně tvorba hořlavé směsi může vést při iniciaci k uvolnění velké energie a následně k hoření nebo k explozi.

Praktickým závěrem je stanovení účinku výbuchu co do stanovení okruhu smrtelných zranění a ohrožení tepelným zatížením, či koncentrací použité látky v bodě 10 m od epicentra výbuchu. Největším rizikem při vzniku exploze uvnitř zařízení je tlaková vlna a požární zatížení objektu. V případě výbuchu vně objektu je největším ohrožením na lidské zdraví koncentrace nebezpečné látky nebo následných spalin v ovzduší.

LITERATURA

- [1] *Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases)*, "Yellow Book", 3 ed., PR 14E, 1997
- [2] BARTLOVÁ I., DAMEC J. *Prevence technologických zařízení*. Ostrava: SPBI, Edice spektrum 30., 2002
- [3] *Lees' Loss Prevention in the Process Industries, hazard identification, assessment and control*. 3. ed. Elsevier: Edited by Sam Mannan, 2005, ISBN 0-7506-7555-1
- [4] URL:< <http://www.rmrisk.ch/> > [cit. 1. 10. 2009]
- [5] JELÍNKOVÁ P., BERNATÍK A., SUCHARDA O. *Risk analysis, computational simulation of accident and its influence to surround*, The First International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering , B.H.V. Topping and M. Papadrakakis, (Editors), Civil-Comp Press, Stirlingshire, United Kingdom

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jaroslav Bartoš, Ph.D., ArcelorMittal Ostrava, a.s., podnikový revizní technik.

Petr KONEČNÝ¹

VLIV POČTU PROMĚNNÝCH NA PŘESNOST ODHADU PRAVDĚPODOBNOSTI PORUCHY METODOU MONTE CARLO

**EFFECT OF THE NUMBER OF RANDOM VARIABLES ON THE PRECISION OF THE
PROBABILITY LIKELIHOOD ESTIMATION USING MONTE CARLO SIMULATION**

Abstrakt

Příspěvek se zabývá vztahem mezi cílovou pravděpodobností, počtem náhodně proměnných a počtem simulací Monte Carlo nutných k získání uspokojivého výsledku. Je zjištěno, že u přímé metody Monte Carlo ve studovaném případě nezávisí přesnost odhadu pravděpodobnosti poruchy na počtu náhodných veličin. Výsledky získané Monte Carlo simulací jsou porovnány s řešením pomocí přímého determinovaného pravděpodobnostního výpočtu (PDPV), přičemž užití PDPV může vést u dobře zmapovaných úloh k rapidní úspoře výpočetního času.

Abstract

The paper deals with the relationship between the target probability, number of applied random variables and the number of Monte Carlo simulation steps needed to obtain satisfactory results. The precision of probability of failure estimation using crude Monte Carlo simulation is independent on the number of random variables in studied case. Results obtained by Monte Carlo simulation are compared with Direct Determined Probabilistic solution that allows for the fast solution in case of well-mapped tasks.

1 ÚVOD - PRAVDĚPODOBNOST PORUCHY JAKO NÁHODNÁ VELIČINA

Analyzujeme-li inženýrskou spolehlivost simulačními nástroji typu Monte Carlo, užívanými např. v metodě SBRA (viz [6], [5]), které užívají pro odhad pravděpodobnosti poruchy generátory náhodných čísel, je nutné i na výsledný odhad pravděpodobnosti pohlížet jako na náhodnou veličinu (viz např. [10], [11], [1] a [9]).

Přesnost odhadu pravděpodobnosti poruchy metodou Monte Carlo je závislá na cílové pravděpodobnosti poruchy a počtu simulačních kroků viz. např. [10], [11], [1]. U přímé metody Monte Carlo by neměl mít počet náhodně proměnných obecného tvaru vliv na chybu odhadu cílové pravděpodobnosti (viz. [10], [11]). V práci [4] bylo u binárních histogramů provedeno ověření pro cílové pravděpodobnosti $P_t = 1 \times 10^{-2}$, $P_t = 1 \times 10^{-3}$, $P_t = 1 \times 10^{-4}$ a $P_t = 1 \times 10^{-5}$. Zde nebyl pozorován vztah mezi počtem histogramů a přesností odhadu pravděpodobnosti poruchy.

Příspěvek si klade za cíl ověřit, zda počet náhodně proměnných obecného tvaru nemá vliv na přesnost odhadu cílové pravděpodobnosti u přímé metody Monte Carlo. Výpočet metodou Monte Carlo je porovnán s výpočtem metodou PDPV [2], [3].

2 METODIKA

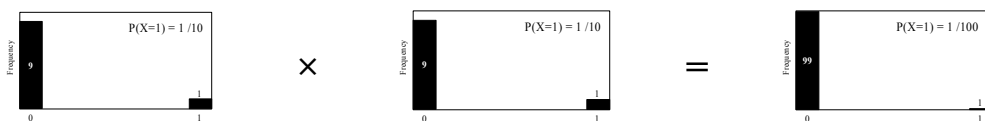
Princip numerických pokusů pro ověření vztahu mezi počtem náhodně proměnných a přesností odhadu simulace Monte Carlo je následující. Vytvoříme-li příklad, u kterého známe

¹ Ing. Petr Konečný, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST) Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 384, e-mail: petr.konecny@vsb.cz.

cílovou pravděpodobnost poruchy, pak je možno ověřit přesnost výpočtu této pravděpodobnosti u metody Monte Carlo. Na každou simulaci Monte Carlo o daném počtu simulačních kroků se díváme jako na jeden vzorek. Tyto vzorky jsme schopni statisticky vyhodnotit, získáme-li jich dostatečné množství, a to pro různé počty simulačních kroků.

2.1 Součin histogramů

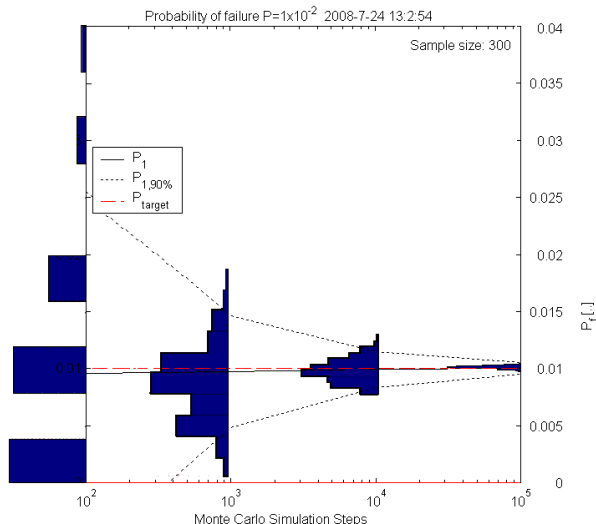
Jako vzorový příklad je uveden součin binárních histogramů použitý v práci [4]. V této práci byl ověřen vztah mezi počtem náhodně proměnných a přesností odhadu za pomoci simulace na příkladech součinu binárních histogramů se známou exaktně vypočitatelnou pravděpodobností. Příklad součinu dvou histogramů uvádí následující obrázek. Pravděpodobnost výskytu hodnoty 1 ve výsledném součinu RF je rovna $1/100$.



Obr.1: Součin dvou histogramů $RF = X1 \times X2$

Pravděpodobnost je analyzována metodou Monte Carlo. Je užito prostředí *Matlab* a simulačního nástroje jehož jádro vytvořil P. Praks, viz [7] a [8].

Stochastický charakter odhadu pravděpodobnosti poruchy naznačuje Obr. 2, který zobrazuje rozdělení pravděpodobnosti poruchy pro 300 výpočtů pravděpodobnosti poruchy $P = 1/100$ odhadnuté ($N = 10^2, 10^3 \dots 10^5$). Rozptyl odhadu klesá s nárůstem počtu simulačních kroků.



Obr.2: Odhad pravděpodobnosti poruchy P_f (svislá osa) jako náhodná veličina odhadnutá 300-krát v závislosti na počtu simulací Monte Carlo (vodorovná osa), cílová pravděpodobnost P_t je $1/100$

2.2 Součet histogramů

Pomocí Centrálního limitního teorému (CLT) je možno z obecného počtu identických nezávislých náhodně proměnných vytvořit normální rozdělení o známém průměru a známé směrodatné odchylce (viz. např. [12]). Předpokladem je součet I rozdělení x o stejné distribuční křivce. Součtem je normální rozdělení X :

$$X = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I x_i, \quad (1)$$

kde je:

- I počet shodných statisticky nezávislých rozdělení x_i ,
 x_i rozdělení o průměru $\mu_{x,i}$ a směrodatné odchylce $\sigma_{x,i}$,
 X výsledné rozdělení o průměru μ_X a směrodatné odchylce σ_X , které konverguje k normálnímu rozdělení při dostatečně velkém počtu vstupních rozdělení x_i (a tedy pro velké I).

Průměr μ_X výsledného normálního rozdělení X je jeho roven průměru μ_x náhodně proměnného vstupu. Směrodatná odchylka výsledného souboru σ_X je závislá na směrodatné odchylce vstupu $\sigma_{x,i}$ a nepřímo závislá na odmocnině z počtu náhodně proměnných $\sqrt{I}$:

$$\sigma_X = \frac{\sigma_{x,i}}{\sqrt{I}} \quad (2)$$

Získáme-li parametry normálního rozdělení, jsme schopni sestavit jeho distribuční funkci a určit její hodnotu pro zvolenou pravděpodobnost podkročení. U získaného normálního rozdělení o průměru μ_X a směrodatné odchylce σ_X je možno pro zvolené pravděpodobnosti nepřekročení (např. $P_t = 1 \times 10^{-4}$, $P_t = 1 \times 10^{-3}$ a $P_t = 1 \times 10^{-2}$) odvodit z jeho inverzní distribuční funkce odpovídající hraniční hodnoty X_h .

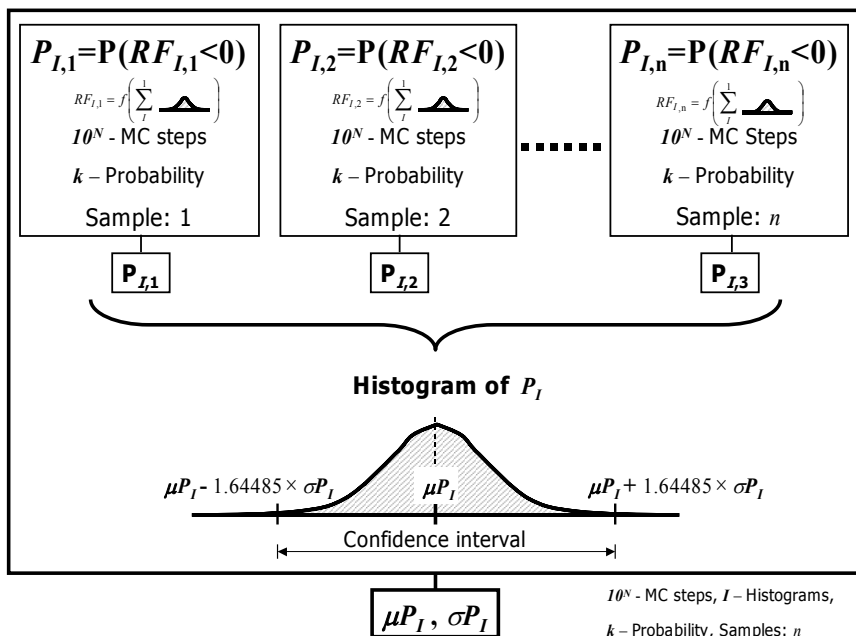
$$X_h = \Phi^{-1}(P_t) \quad (3)$$

Získané normální rozdělení lze tedy s výhodou použít pro testování závislosti počtu náhodně proměnných na přesnost odhadu metody Monte Carlo, neboť testovaná pravděpodobnost P_I je:

$$P_I = P(X_{I,h} - X \leq 0) \quad (4)$$

kde je:

- P_I hledaná pravděpodobnost pro I uvažovaných histogramů,
 X výsledné normální rozdělení o μ_X a směrodatné odchylce σ_X ,
 $X_{I,h}$ hraniční hodnota rozdělení X pro I náhodných veličin.

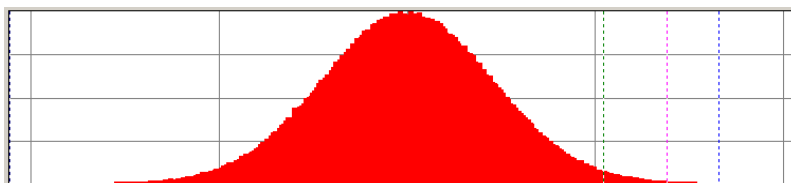


Obr.3: Schéma výpočtu jedné sady vstupů pro parametrickou studii. Průměr μP_I a směrodatná odchylka σP_I odhadnuté pravděpodobnosti odpovídají zvolenému počtu simulačních kroků 10^N , počtu histogramů I , cílové pravděpodobnosti k , přičemž počet vzorků je n .

3 NUMERICKÉ PŘÍKLADY

3.1 Součet náhodně proměnných – CLT

Pro ověření přesnosti simulace Monte Carlo s využitím Centrálního limitního teorému (CLT) je užito useknutého normálního rozdělení (viz. Obr. 4).



Obr.4: Pravděpodobnostní rozdělení náhodně proměnných vstupů x_i - histogram normal3.dis (viz. [5]); $\sigma_{x,i} = 0.9969$, $\mu_{x,i} = 6.224 \times 10^{-17} \approx 0$, $\langle -3.5..3.5 \rangle$

Součtem libovolného množství nezávislých realizací zvoleného rozdělení dle vztahu (1) lze získat normální rozdělení o směrodatné odchylce popsané v (2). Hraníční hodnoty výsledného normálního rozdělení X potřebné k ověření přesnosti simulace Monte Carlo uvádí Tab. 1.

Tab.1: Hraníční hodnoty a statistické parametry výsledného normálního rozdělení X odpovídající uvažovaným pravděpodobnostem nepřekročení P_t a počtu náhodně proměnných N .

I	σ_X	μ_X	Hraníční hodnoty výsledného rozdělení $X_{I,h}$		
			$P_t = (1 \times 10^{-2})$	$P_t = (1 \times 10^{-3})$	$P_t = (1 \times 10^{-4})$
5	0.445827	0.00E+00	-1.03715	-1.37772	-1.65824
10	0.315247	0.00E+00	-0.73337	-0.97419	-1.17255
20	0.222914	0.00E+00	-0.51857	-0.68886	-0.82912

Vztah (5) naznačuje odhad pravděpodobnosti P_5 metodou Monte Carlo pro 5 histogramů a cílovou pravděpodobnosti $P_t = 1 \times 10^{-4}$.

$$P_5 = P(X_{5,h} - X_5 \leq 0) = P(1.65824 - X \leq 0) \approx 1 \times 10^{-4} \quad (5)$$

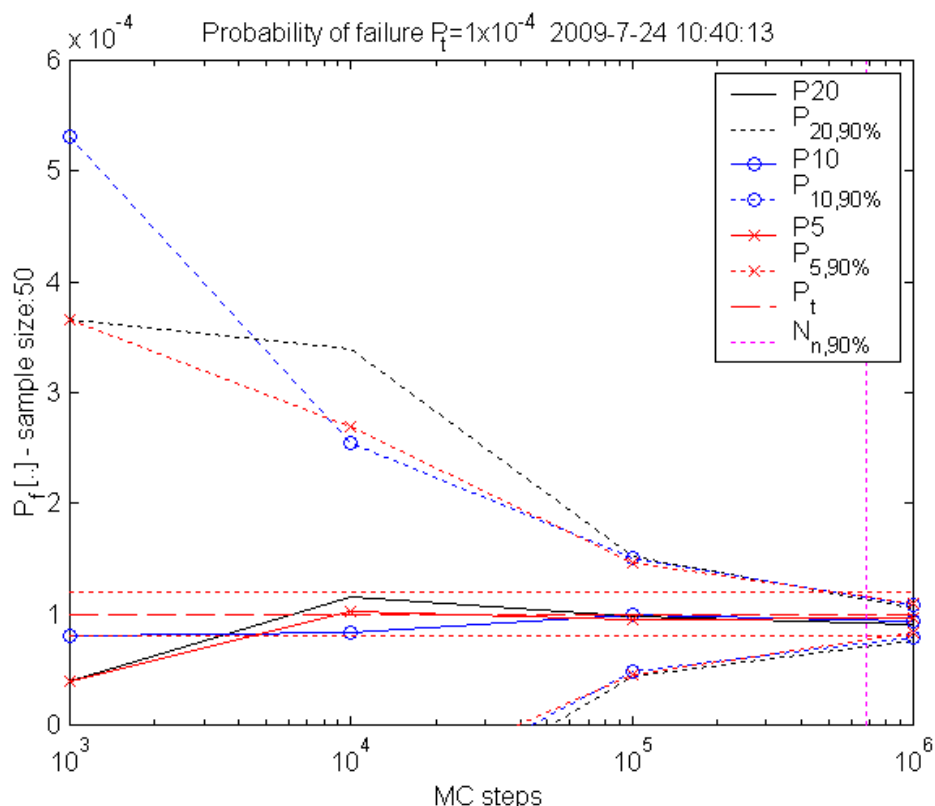
Nutno podotknout, že výsledné pravděpodobnosti P_t jsou při 5 a 10 náhodně proměnných lehce podhodnoceny. Tato nepřesnost je akceptovatelná s ohledem na stanovený cíl. Analogicky je možno odvodit výpočet pro 10 a 20 užitých histogramů, a dále pro $P_t = 1 \times 10^{-3}$ a $P_t = 1 \times 10^{-2}$.

3.1.1 Pravděpodobnost poruchy $P_t = 1 \times 10^{-4}$

Následující graf ukazuje závislost mezi počtem aplikovaných simulačních kroků a rozptylem odhadu pravděpodobnosti poruchy P_t . Odhad pravděpodobnosti poruchy je proveden s využitím simulačního nástroje Monte Carlo. Pravděpodobnost $P_t = 1 \times 10^{-4}$ řádově odpovídá hodnotě aplikované pro mezní stavy únosnosti ($P_d = 0.7 \times 10^{-4}$), a je odhadnuta s využitím 5, 10 a 20 histogramů. Nástin exaktního řešení uvádí vztah (5).

Každá pravděpodobnost je odhadnuta pro zvolený počet simulačních kroků ($N = 10^3, 10^4, 10^6$) 50-krát a následně je statisticky vyhodnocena. Mezilehlé hodnoty jsou proloženy přímkou. Graf na Obr. 5 obsahuje průměrnou hodnotu a také hranice konfidenčního intervalu. Je uvažováno s rozptylem odhadu pravděpodobnosti poruchy ± 20 procent, a to na 90 procentní úrovni spolehlivosti). Přičemž požadovanou přesnost odhadu při $P_t = 1 \times 10^{-4}$ je možno dosáhnout s cca 676 000 simulačními kroky, jak uvádí následující vztah (viz. [11], [4]):

$$N_n = P_t(1 - P_t) \left[\frac{t}{\varepsilon} \right]^2 = \frac{1}{10000} \left(1 - \frac{1}{10000} \right) \left[\frac{1.64485}{\frac{0.2}{10000}} \right]^2 = 676315. \quad (6)$$



Obr.5: Pravděpodobnost poruchy P_f jako náhodná veličina v závislosti na počtu simulací Monte Carlo. Exaktní pravděpodobnost poruchy $P_t = 10^{-4}$. (P_{20} – 20 histogramů, P_{10} – 10 histogramů, P_5 – 5 histogramů)

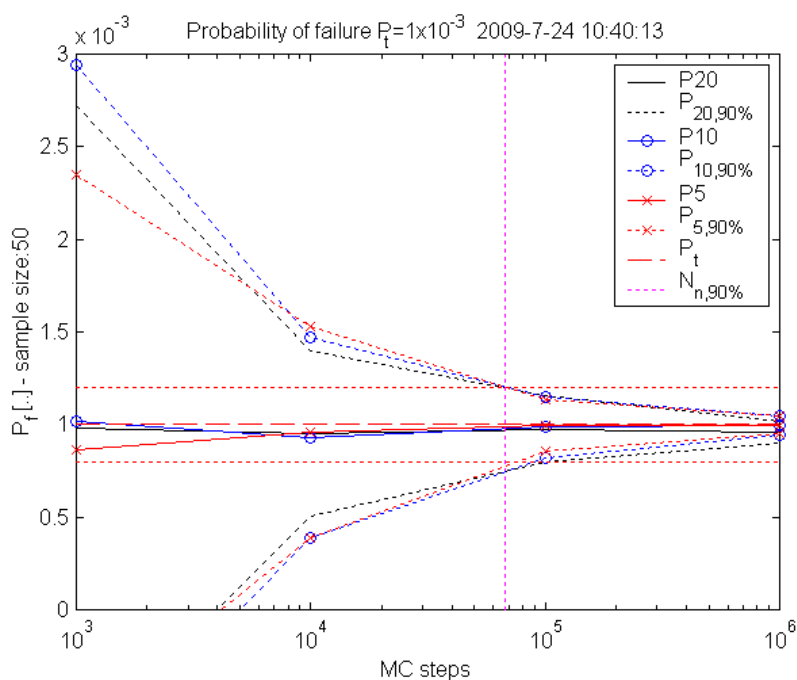
Výsledek numerické simulace na Obr. 5 ukazuje, že počet histogramů neovlivňuje přesnost odhadu v závislosti na počtu simulačních kroků. Průměry a rozptyly výsledných pravděpodobností P_5 , P_{10} a P_{20} se pro 10^5 a 10^6 simulačních kroků výrazně vzájemně neliší, což odpovídá doporučeným 676 000 simulacím.

3.1.2 Pravděpodobnosti poruchy $P_t = 1 \times 10^{-3}$ a $P_t = 1 \times 10^{-2}$

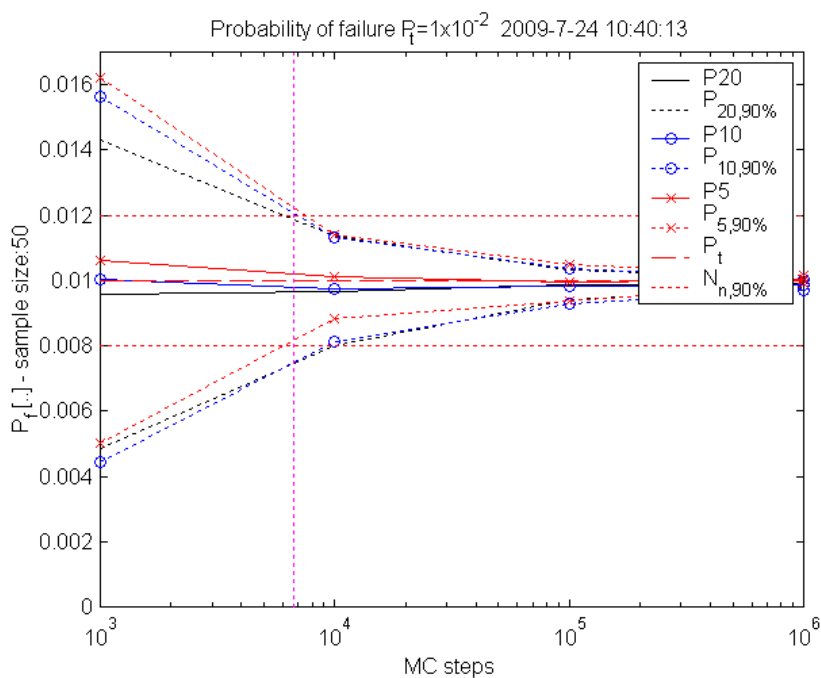
Při odhadu pravděpodobností $P_t = 1 \times 10^{-3}$ a $P_t = 1 \times 10^{-2}$ vychází výsledky podobně jako v předchozím odstavci, viz Obr. 6 a Obr. 7. Počet histogramů nemá ani v těchto případech vliv na přesnost odhadované pravděpodobnosti.

3.2 Výsledky a výpočetní čas

V Tab. 2 jsou uvedeny vypočtené pravděpodobnosti a je zde uveden i čas potřebný k odhadu pravděpodobnosti poruchy. Doba výpočtu je uvedena pro metodu Monte Carlo a nutný počet simulačních kroků při využití programu *Anthill*. Tato doba je porovnána s časem výpočtu



Obr.6: Pravděpodobnost poruchy P_f jako náhodná veličina v závislosti na počtu simulací Monte Carlo. Exaktní pravděpodobnost poruchy $P_t = 10^{-3}$. (P_{20} – 20 histogramů, P_{10} – 10 histogramů, P_5 – 5 histogramů)



Obr.7: Pravděpodobnost poruchy P_f jako náhodná veličina v závislosti na počtu simulací Monte Carlo. Exaktní pravděpodobnost poruchy $P_t = 10^{-2}$. (P_{20} – 20 histogramů, P_{10} – 10 histogramů, P_5 – 5 histogramů)

Přímým determinovaným výpočtem (PDPV, viz [2] a [3]) za pomoci programu *ProbCalc*. Ve všech zkoumaných případech vyšla požadovaná pravděpodobnost v očekávaném rozmezí $\pm 20\%$, a to jak metodou Monte Carlo, tak metodou PDPV. Nutno podotknout, že pro účely porovnání výpočetního času s *Anthillem* není k výpočtu *ProbCalcem* užito definice mezního stavu s použitím DLL knihovny.

Čas nutný k výpočtu metodou PDPV je odvislý od zvolené metodiky řešení. V případě prosté kombinace všech histogramů o 256 třídách by přicházelo v úvahu $1,1 \times 10^{12}$ simulací pro 5 náhodně proměnných, což by odpovídalo asi 239 dnům výpočtu. Uvažovat o prostém součtu 20 proměnných je tedy nemyslitelné, protože výpočetní náročnost s počtem proměnných dramaticky narůstá. Pro vlastní výpočet metodou PDPV je nutno zvolit vhodnou strategii. V případě součtu jednotlivých náhodně proměnných před vlastním výpočtem, volba *Kombinace* v programu ProbCalc [3], dojde k drastickému poklesu výpočetní náročnosti. Čas výpočtu je pak ve všech uvažovaných případech menší než 1 sekunda.

Tab.2: Porovnání cílových pravděpodobností P_t s vypočtenými pravděpodobnostmi P_I pro I histogramů, a to včetně doby simulace přímou metodou Monte Carlo a metodou PDPV. U metody Monte Carlo je uveden průměr a konfidenční interval z 50 výsledných pravděpodobností.

P_t		Monte Carlo (Anthill)			PDPV (ProbCalc)		
		$\varnothing P_t \pm P_{t,90}$	Počet kroků	Čas [sec]	P_I	Popis	Čas [sec]
1×10^{-2}	5	$(0.97 \pm 0.17) \times 10^{-2}$	6.7 tis.	1	0.97×10^{-2}	Součet náhodně proměnných proveden metodou kombinace. Výpočet proběhl bez optimalizace	<1
	10	$(0.97 \pm 0.16) \times 10^{-2}$	6.7 tis.	1	0.99×10^{-2}		<1
	20	$(1.0 \pm 0.13) \times 10^{-2}$	6.7 tis.	1	0.92×10^{-2}		<1
1×10^{-3}	5	$(0.98 \pm 0.18) \times 10^{-3}$	67.5 tis.	11	0.93×10^{-3}		<1
	10	$(0.98 \pm 0.17) \times 10^{-3}$	67.5 tis.	11	0.96×10^{-3}		<1
	20	$(0.99 \pm 0.14) \times 10^{-3}$	67.5 tis.	11	0.94×10^{-3}		<1
1×10^{-4}	5	$(0.90 \pm 0.15) \times 10^{-4}$	675.3 tis.	110	0.86×10^{-4}		<1
	10	$(0.94 \pm 0.15) \times 10^{-4}$	675.3 tis.	110	0.93×10^{-4}		<1
	20	$(0.97 \pm 0.13) \times 10^{-4}$	675.3 tis.	110	0.91×10^{-4}		<1

4 ZÁVĚR

V příspěvku je připomenuto, že odhad pravděpodobnosti poruchy je při užití přímé metody Monte Carlo rovněž náhodná veličina. Je zjištěno, že u přímé metody Monte Carlo ve studovaném případě nezávisí přesnost odhadu pravděpodobnosti poruchy na počtu náhodných veličin. Příspěvek ověřuje, že na přesnost odhadu metodou Monte Carlo má vliv velikost cílové pravděpodobnosti P_t a počet aplikovaných simulačních kroků, jak uvádí mj. [11]. Je – li počet simulačních kroků dostatečně velký, je možno popsat rozdělení pravděpodobnosti poruchy P_t normálním rozdělením. Na základě normálního rozdělení odhadu pravděpodobnosti poruchy je možno odhadnout nutný počet simulačních kroků pro dosažení požadované přesnosti, či odhadnout přesnost získaného výsledku (konfidenční interval).

Porovnávací řešení metodou PDPV vedlo k získání uspokojivých pravděpodobností poruchy, které se stejně jako výsledky získané metodou Monte Carlo pohybovaly v uvažované toleranci. U

metody PDPV je důležité zvolit správnou strategii řešení tak, aby bylo možno výpočetní čas výrazně zredukovat. U dobře zmapovaných úloh je pak možno metodou PDPV dojít k rapidní úspoře výpočetního času, a to i v porovnání s přímou metodou Monte Carlo.

Další práce by bylo vhodné zaměřit na porovnání přímé metody Monte Carlo a pokročilých metod Monte Carlo typu Importance Sampling a Latin Hypercube Sampling s ohledem na počet vstupních náhodně proměnných a nutného počtu simulačních kroků.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je GA ČR 105/07/1265.

LITERATURA

- [1] FEGAN, G. Chapter: „Precision Of Simulation Results.“ in [5], 2003.
- [2] JANAS, P., KREJSA, M. Chapter 24.5 Using a Direct Determined Probabilistic Solution in the Framework of SBRA Method. In CD-ROM of [5], 2003.
- [3] JANAS, P., KREJSA, M. Numerický výpočet pravděpodobnosti užitím useknutých histogramů při posuzování spolehlivosti konstrukcí. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*, 2002, vol. II., (č. 1), s. 47-58. ISSN 1213-1962.
- [4] KONEČNÝ, P. Přesnost odhadu pravděpodobnosti poruchy, In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*. Číslo 1, rok 2008, ročník VIII, řada stavební, článek č. 33, pp. 333-344, 2008, ISBN 978-80-248-1883-2, ISSN 1213-1962.
- [5] MAREK P., BROZZETTI J., GUŠTAR M., TIKALSKY P., Editors. *Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation. Basics, Exercises, Software, (Second extended edition)*. Publisher: ITAM Academy of Sciences of Czech Republic, Prosecká 76, 190 00 Prague 9, Czech Republic, 2003. ISBN 80-86246-19-1.
- [6] MAREK, P., GUŠTAR, M., BATHON, L. *Simulation-Based Reliability Assesment for Structural Engineers*. Boca Taton, Florida, CRC Press, 1995, ISBN 0-8493-8286-6.
- [7] PRAKS, P. Numerical aspects of Simulation Based Reliability Assessment of Systems. In *International Colloquium Euro-SiBRAM'2002*. Volume II. ITAM, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, 2002. ISBN 80-86246-17-5.
- [8] PRAKS, P. *Analýza spolehlivosti s iteračními řešiči*. Doctoral dissertation thesis, VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Applied mathematics, December, 2005.
- [9] PRAKS, P., KONEČNÝ, P. Chapter „Direct Monte Carlo Method vs. Improved Methods Considering Applications in Designers Every Day Work“ in CD-ROM of [5], 2003.
- [10] SHOOMAN, M.L. *Probabilistic Reliability: An Engineering Approach*. MCGRAW-HILL, New York, 1968.
- [11] SCHUËLLER, G. Past, present & Future of Simulation-based Structural Analysis In *International Colloquium Euro-SiBRAM'2002*. Volume II. Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, June 2002. ISBN 80-86246-17-5.
- [12] MATH WORLD – Central Limit Theorem - <http://mathworld.wolfram.com/CentralLimitTheorem.html>

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D., ČVUT v Praze - Kloknerův ústav

Lenka LAUSOVÁ¹

MOMENTOVÁ ÚNOSNOST OCELOVÉ KONSTRUKCE ZA POŽÁRU

ULTIMATE MOMENT OF BENDING ON STEEL FRAME DURING FIRE

Abstrakt

Tato práce srovnává normový způsob výpočtu kritické teploty u ocelové konstrukce a možné chování staticky neurčitěho rámu během požáru z hlediska dosažení momentové únosnosti. Jsou porovnány normové hodnoty času dosažení kritické teploty a naprogramovaný postup v programu Excel. Jsou ukázány výhody plastického chování materiálu u konstrukcí s možností vzniku plastických kloubů.

Abstract

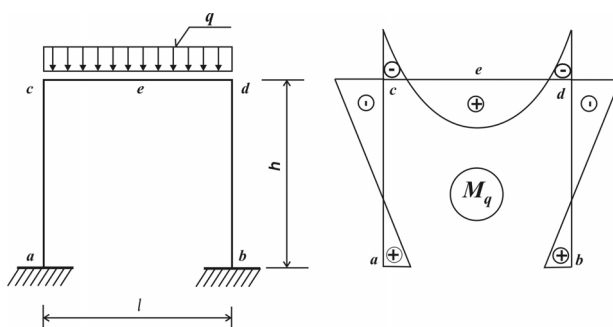
This paper compares a standard way of determining of critical temperature in steel construction and a possible behaviour of a symmetric statically indeterminate steel frame during fire from the aspect of bending moments and a load carrying capacity. There are shown advantages of steel constructions especially use of plastic joints.

1 ÚVOD

V tomto článku je ukázáno srovnání výpočtů dosažení momentové únosnosti v čase požáru na staticky neurčitě ocelové konstrukci. Jsou porovnány hodnoty času dosažení kritické teploty a naprogramovaný postup v programu Excel, kdy je počítáno s možností vzniku plastických kloubů a kde kromě obvyklých změn materiálových a tepelně technických charakteristik jsou hodnoty ohybových momentů v krocích redukovány snižujícím se modulem pružnosti v tahu a tlaku.

2 ŘEŠENÁ RÁMOVÁ KONSTRUKCE

V příkladě je řešena nechráněná ocelová konstrukce viz obr.1 z materiálu S275. Pro jednoduchost je zvolen konstantní profil HE-A 300, rozpětí l i výška rámu h jsou 3 m. Zatížení q je symetrické spojitě rovnoměrné na příčli rámu. Jsou řešeny dvě varianty zatížení na stejném rámu.



Obr.1: Schéma řešené konstrukce a ohybové momenty od zatížení q .

¹ Ing. Lenka Lausová, Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 326, e-mail: lenka.lausova@vsb.cz.

- varianta A: stálé zatížení o charakteristické hodnotě $q_{A,k}=200\text{kN/m}$ a
- varianta B: stálé zatížení o charakteristické hodnotě $q_{B,k}=400\text{kN/m}$.

Přepočet zatížení na návrhovou hodnotu: $q_{A,d}=200 \cdot 1,35=270\text{kN/m}$, $q_{B,d}=400 \cdot 1,35=540\text{kN/m}$.
Za pokojové teploty rám vyhoví podle mezního stavu únosnosti i použitelnosti.

3 VÝPOČET PODLE KRITICKÉ TEPLOTY

3.1 Předpoklady

- rám je zatížen rovnoměrnou změnou teploty po výšce i délce
- není uvažován vznik plastických kloubů
- není řešena kombinace napětí

3.2 Určení kritické teploty

Při výpočtu požární odolnosti konstrukce zatížené ohybovými momenty je momentová únosnost vyčerpána dosažením teploty v konstrukci rovné kritické teplotě θ_{cr} . Čas, kdy bude dosaženo kritické teploty v konstrukci, lze určit přibližně pomocí grafu podle [1] nebo přesněji výpočtem také podle [1]. Pro použití grafu je třeba určit hodnoty stupně využití průřezu při požáru μ_0 viz (1) a součinitele průřezu A_m/V viz (7) a přímo lze odečíst hodnotu a čas dosažení kritické teploty. Výpočtem se čas dosažení kritické teploty určí například pomocí iterační přírůstkové metody, kdy se přírůstek teploty v nechráněném ocelovém průřezu určí podle vztahu (8).

Kritická teplota θ_{cr} závisí na stupni využití průřezu při požáru μ_0 :

$$\mu_0 = \frac{M_{fi,Ed}}{M_{fi,t,Rd}} \quad (1)$$

kde:

$M_{fi,Ed}$ – ohybový moment pro požární návrhovou situaci [kNm] viz (4) a

$M_{fi,t,Rd}$ – celková momentová únosnost při požáru v čase $t=0$ [kNm] viz (6).

Výpočet kritické teploty θ_{cr} :

$$\theta_{cr} = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad (2)$$

Redukce momentu od mechanického zatížení na zatížení při požáru $M_{fi,Ed}$ se vypočte pomocí redukčního součinitele η_{fi} (záleží na podílu stálého a proměnného zatížení, v tomto příspěvku je uvažováno pouze stálé zatížení):

$$\eta_{fi} = \frac{E_{fi,d}}{E_d} = \frac{g_k + q_k \psi^{1,1}}{g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q} = \frac{1}{1,35} = 0,74 \quad (3)$$

kde:

g_k – stálé zatížení [kN/m],

q_k – proměnné zatížení [kN/m] a

γ – součinitel příslušného zatížení.

Ohybový moment pro požární návrhovou situaci:

$$M_{fi,Ed} = \eta_{fi} M_{Ed} \quad (4)$$

Momentová únosnost za pokojové teploty pro profil HE-A300 se vypočte podle vztahu:

$$M_{fi,\theta,Rd} = \frac{W_y k_{y,\theta} f_{y,k}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{1383 \cdot 1,00 \cdot 275}{1,00} = 380 \text{ kNm} \quad (5)$$

kde:

W_y – modul průřezu [m^3],

$k_{y,\theta}$ – redukční součinitel meze kluzu ($k_{y,\theta}=1,00$ pro teplotu 20°C v čase $t=0$),

f_{yk} – charakteristická hodnota meze kluzu a

$\gamma_{m,fi}$ – součinitel spolehlivosti materiálu pro požární situaci.

Momentová únosnost při požáru vlivem nerovnoměrného rozdělení teploty (pro čas $t=0$ a pokojovou teplotu):

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{M_{fi,\theta,Rd}}{\kappa_1 \kappa_2} = 380,0 \text{ kNm} \quad (6)$$

kde:

κ_1, κ_2 – součinitelé nerovnoměrného rozdělení teploty po výšce a délce průřezu ($\kappa_1=\kappa_2=1$)

Součinitel průřezu:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{2.290 + 2.300 + 2.(300 - 8,5)}{11,25 \cdot 10^3} = 0,157 \text{ mm}^{-1} = 157 \text{ m}^{-1} \quad (7)$$

Přírůstek teploty v konstrukci $\Delta\theta$ se počítá přírůstkovou metodou v programu Excel podle [1] a tímto postupem je přesně určen čas, kdy bude kritické teploty dosaženo. Lze také jednoduše pro dané hodnoty použít graf viz [1].

$$\Delta\theta = k_{sh} \frac{\frac{A_m}{V}}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad (8)$$

kde:

$\dot{h}_{net,d}$ – hustota tepelného toku [Wm^{-2}],

k_{sh} – součinitel vlivu zastínění,

A_m/V – součinitel průřezu [m^{-1}] viz (7),

Δt – časový krok [sec],

c_a – měrné teplo materiálu v závislosti na teplotě [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$] a

ρ_a – měrná hmotnost materiálu [7850 kg.m^{-3}].

3.3 Varianta A – $q_{A,k} = 200 \text{ kN/m}$

$$M_{max} = M_c = M_d = M_e = M_{Ed} = -135 \text{ kNm}$$

Postupem uvedeným v odstavci 3.2 bude kritické teploty v konstrukci $\theta_{cr} = 685^\circ\text{C}$ dosaženo v 18. minutě jak výpočtem iterační přírůstkovou metodou, tak i ověřením podle grafu z normy [1].

3.4 Varianta B – $q_{B,k} = 400 \text{ kN/m}$

$$M_{max} = M_c = M_d = M_e = M_{Ed} = -270 \text{ kNm}$$

V tomto případě bude kritické teploty $\theta_{cr} = 576^\circ\text{C}$ dosaženo v 13. minutě. Výpočet je opět proveden postupem uvedeným v odstavci 3.2.

4 VÝSLEDKY VÝPOČTU V PROGRAMU EXCEL

Celý postup výpočtu tohoto třikrát staticky neurčitěho symetrického rámu je uveden v [4]. V tomto článku z něj budou převzaty nejdůležitější údaje potřebné k porovnání obou postupů výpočtu dosažení momentové únosnosti na daném rámu.

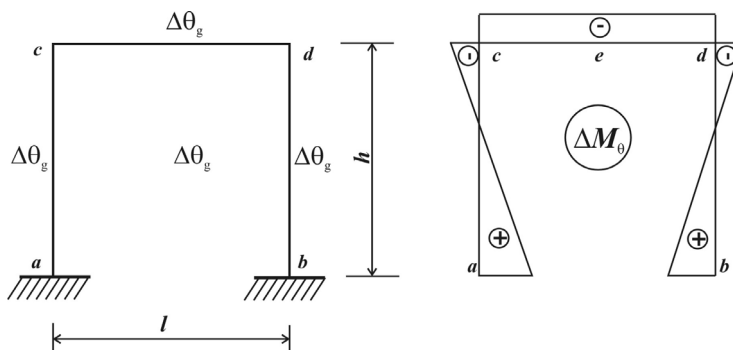
4.1 Předpoklady

- rám je zatížen rovnoměrnou změnou teploty po výšce i délce

- je počítáno s možností vzniku plastických kloubů na konstrukci
- není řešena kombinace napětí a změna normálových sil
- odvozené vztahy pro výpočet momentů platí pro konstantní průřez ($I = \text{konstanta}$)

V odstavci 3 je počítáno se změnami tepelně technických a materiálových charakteristik vlivem rostoucí teploty, je provedena redukce zatížení pro požární návrhovou situaci (zmenšená hodnota ohybových momentů viz (1)), ale není započítána změna ohybových momentů vlivem redukce modulu pružnosti v tahu a tlaku E a součinitele délkové roztažnosti α_t . V příspěvku [4] byly v programu Excel provedeny výpočty změn ohybových momentů (od vnějšího zatížení i od teploty) v rámových rozích a v uložení včetně redukce momentů vlivem změny E a α_t . Celkový moment byl výsledkem superpozice momentů. Při současném porovnávání s redukovanou momentovou únosností došlo ke vzniku prvních plastických kloubů v obou variantách v jiných místech. Byla sledována celková ztráta únosnosti konstrukce po vzniku dalších dvou plastických kloubů a vzniku mechanismu.

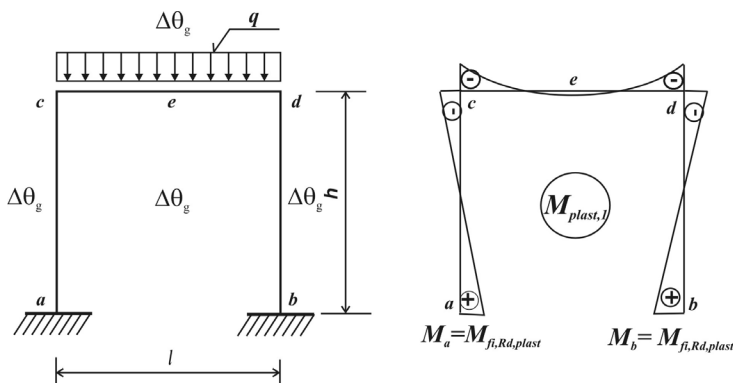
Průběh ohybových momentů od zatížení q viz obr.1 a průběh ohybových momentů od zatížení teplotou v konstrukci $\Delta\theta$ viz obr. 2.



Obr.2: Ohybové momenty na rámu od zatížení teplotou v pružném stavu.

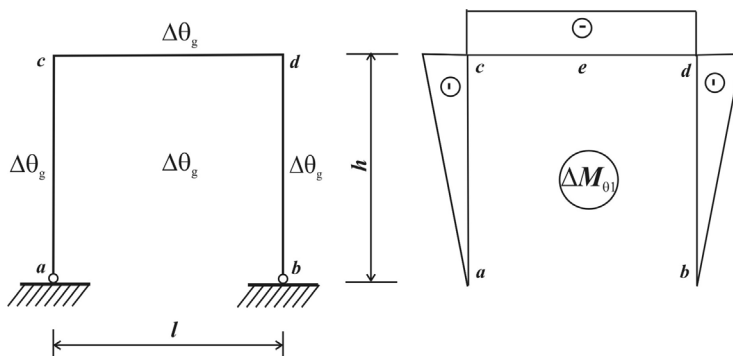
4.2 Varianta A

Při zatížení $q_{A,k}=200 \text{ kN/m}$ dojde k dosažení plastické momentové únosnosti za požáru $M_{fi,Rd,plast}$ současně v obou místech vetknutí viz obr.3.



Obr.3: Varianta A - plastické klouby v uložení.

Po dalším nárůstu teplotního zatížení vzniknou v bodech a a b plastické klouby a konstrukce se stane jedenkrát staticky neurčitou. Ohybové momenty od nárůstu teploty jsou počítány na změněné konstrukci z hlediska statického systému viz obr.4.

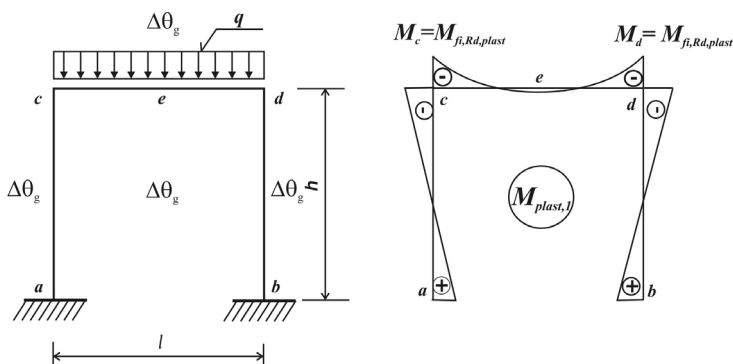


Obr.4: Varianta A – ΔM po vzniku prvních plastických kloubů v uložení.

Přírůstek ohybových momentů v rámových rozích c a d vlivem rostoucí teploty je přičítán k momentu $M_{plast,l}$ v bodech c a d . Po dosažení plastické únosnosti i v těchto rámových rozích dojde v nich současně k vzniku dalších dvou plastických kloubů na konstrukci a tím mechanismu.

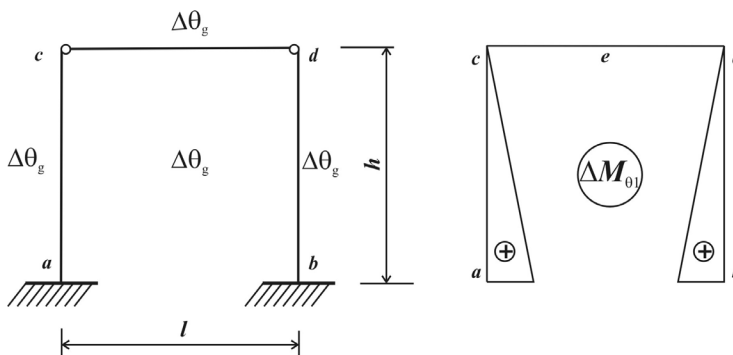
4.2 Varianta B

Při zatížení $q_{B,k}=400kN/m$ dojde při zvyšování teploty nejprve k dosažení plastické momentové únosnosti za požáru $M_{fi,Rd,plast}$ současně v rámových rozích c a d viz obr.5.



Obr.5: Varianta B - plastické klouby v rámových rozích.

Při dalším teplotním zatěžování se opět změní statický systém konstrukce na jedenkrát staticky neurčitý, narůstají ohybové momenty v uložení a a b viz obr.6.



Obr.6: Varianta B – ΔM po vzniku prvních plastických kloubů v rámových rozích.

Přírůstek těchto ohybových momentů ve vetknutí při změněném statickém systému je analogicky jako u varianty A přičítán k momentu $M_{plast,l}$ v bodech a a b , kde po dosažení $M_{fi,Rd,pl}$ opět vznikne mechanismus.

5 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

V tabulce 1 jsou uvedeny časy dosažení kritické teploty postupem popsáním v odstavci 3 v obou variantách a hodnoty momentových únosností a ohybových momentů postupem naznačeným v odstavci 4 v čase vzniku požáru ($t=0$), v čase vzniku prvních plastických kloubů a v čase vzniku mechanismu na konstrukci.

Tab. 1: Momentové únosnosti a ohybové momenty v čase t .

	výpočetní postup	čas	momentová únosnost za požáru $M_{fi,Rd,pl}$ [kNm]	ohybové momenty v čase t	
		t		podpory $M_a = M_b$ [kNm]	rámové rohy $M_c = M_d$ [kNm]
		[min]		[kNm]	[kNm]
varianta A $q_k = 200 \text{ kN/m}$	podle kritické teploty	18	0		
	program Excel	0	380	67,5	-135
		43	25	25 plastický kloub	-19
		52	21	25	-21 mechanismus
varianta B $q_k = 400 \text{ kN/m}$	podle kritické teploty	13	0		
	program Excel	0	380	135	-270
		35	33	32	-33 plastický kloub
		36	32	32 mechanismus	-33

6 ZÁVĚR

Z výsledků v tabulce 1 je patrné, že normový způsob výpočtu momentové únosnosti pomocí kritické teploty a postup v programu Excel se započtením vlivu zmenšujícího se modulu pružnosti v tahu a tlaku vlivem teploty a s možností využití plastických kloubů na konstrukci vede k poměrně rozdílným hodnotám dosažení momentové únosnosti konstrukce v čase trvání požáru.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1993-1-2. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: *Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*.
- [2] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-2, *Obecná zatížení, Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*, Český Normalizační Institut, Praha, 2004.
- [3] Wald, F. a kolektiv: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, ČVUT Praha, 2005.
- [4] LAUSOVÁ L., Výpočet momentové únosnosti staticky neurčité ocelové rámové konstrukce za požáru. Mezinárodní konference *Modelování v mechanice*. Ostrava, 2009, str.49-50, ISBN 978-80-248-2016-3.
- [5] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: *Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Miloslav Šeliga, STACAD, s.r.o.

Vladimíra MICHALCOVÁ¹, Milada KOZUBKOVÁ²

VYHODNOCENÍ VELIKOSTI NUMERICKÉ CHYBY PŘI ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY
PROUDĚNÍ METODOU KONEČNÝCH OBJEMŮ

EVALUATION OF NUMERICAL ERROR IN FLUID FLOW SOLUTION USING FINITE
VOLUMES ANALYSIS

Abstrakt

Řešení transportních rovnic ve Fluentu využívá diskretizačního procesu, ve kterém je základním problémem přesný výpočet transportní veličiny Φ přes stěny konkrétního objemu a jeho konvektivní tok přes tyto hranice. Při výpočtu je nutno počítat jednak s výskytem tzv. „falešné“ numerické difúze a také s výskytem hodnot Φ , které jsou mimo rozsah správného řešení. Tato práce porovnává fyzikální přesnost výpočtu při použití nabízených diskretizačních výpočtových schémat navržených v CFD kódu ve Fluentu 6.3 a možnosti, jak tyto numerické chyby zredukovat.

Abstract

Numerical diffusion impairs the accuracy of discrete solutions of the equations governing the convective transport of a scalar when the flow is not aligned with grid lines. Numerical diffusion leads to unintentional smoothing of advected gradients. This work presents an assessment of numerical diffusion in CFD code FLUENT 6.3 and available means of reducing impairment.

1 ÚVOD

Fluent využívá metodu konečných objemů k převodu obecných transportních rovnic na soustavu lineárních rovnic, které jsou řešeny numericky Gauss-Seidlovou iterační metodou. Tento způsob spočívá v integrování rovnic v každém kontrolním objemu-buňce, jehož výsledkem jsou diskrétní rovnice, které prezentují rovnováhu toku, tedy zákony zachování každé transportní veličiny Φ v daném objemu. V této práci je diskretizace rovnic ukázána na zákonu zachování transportu veličiny Φ při stacionárním proudění, které lze popsat rovnicí v integrální formě ve tvaru (1), jež prezentuje rovnováhu toku v konstantním objemu:

$$\oint \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} = \oint \Gamma_{\Phi} \nabla \Phi \cdot d\vec{A} + \int_V S_{\Phi} dV \quad (1)$$

kde:

ρ – je hustota proudícího média [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

$\vec{v}$ – vektor rychlosti [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

$\vec{A}$ – vektor plochy [m^2],

Γ_{Φ} – difúzní koeficient veličiny Φ [dle veličiny],

¹ Ing. Vladimíra Michalcová, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB - Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 348, e-mail: vladimira.michalcova@vsb.cz.

² doc. RNDr. Milada Kozubková, CS.c., Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní (FS), 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 323 342, e-mail: milada.kozubkova@vsb.cz.

$\nabla \Phi$ – gradient veličiny Φ [dle veličiny],

Γ_Φ – difúzní koeficient veličiny Φ [dle veličiny] a

S_Φ – zdroj veličiny Φ na jednotku objemu [dle veličiny].

Rovnice (1) se aplikuje na všechny kontrolní objemy (buňky) výpočtové oblasti. Po diskretizaci rovnic (1) v dané buňce dostaneme:

$$\sum_f^{N_{faces}} \rho_f \vec{v}_f \Phi_f \cdot \vec{A}_f = \sum_f^{N_{faces}} \Gamma_\Phi \nabla \Phi_f \cdot \vec{A}_f + S_\Phi V \quad (2)$$

kde:

N_{faces} počet stěn (faces) obklopujících buňku [-],

Φ_f hodnota veličiny Φ proudící přes plochu f [dle veličiny],

$\rho_f \vec{v}_f \cdot \vec{A}_f$ hmotnostní tok přes plochu [kg.s⁻¹],

$\vec{A}_f$ vektor plochy f [m²],

$\nabla \Phi_f$ gradient veličiny Φ na ploše f [dle veličiny] a

V objem buňky [m³].

Levá strana v obou rovnicích představuje konvektivní přenos veličiny Φ , pravá strana pak difúzní přenos a zdrojový člen transportní veličiny Φ (její úbytek nebo nárůst). Základním problémem při diskretizaci konvektivního členu je přesný výpočet transportní veličiny na stěně konkrétního objemu Φ_f a její gradient $\nabla \Phi_f$. Difúzní proces ovlivňuje přenos transportní veličiny podél jejího gradientu ve všech směrech, zatímco konvektivní přenos se šíří pouze ve směru proudění. Najít přesné diskretizační výpočtové schéma při řešení konvektivního členu v rovnici (2) je velmi obtížné.

Je známo, že numerická difúze vzniká hlavně v případě, když směr proudění není rovnoběžný se stěnami mřížky. Takových optimálních stavů (rovnoběžné proudění) lze ovšem dosáhnout jen při výpočtech rovných úseků potrubí bez překážek s použitím hexa buněk. U převážné většiny případů proudění je směr proudu vždy v obecném směru vzhledem ke stěnám buněk (hexa, tetra, polyhedra) a při hodnocení konvektivního stavu je nutno počítat s numerickou chybou.

Rovnice (2) obsahuje neznámou skalární veličinu Φ v centru buňky a zároveň neznámé skalární hodnoty Φ_{nb} v přiléhajících buňkách. Rovnice je obecně nelineární a převádí se do linearizovaného tvaru:

$$a_p \Phi = \sum_{nb} a_{nb} \Phi_{nb} + b \quad (3)$$

Index nb zde značí přiléhající (okolní) buňky, a_p a a_{nb} jsou linearizované koeficienty pro veličinu Φ a Φ_{nb} .

Počet okolních buněk závisí na typologii mřížky, ale ve většině případů je množství shodné s počtem stěn tvořících sledovanou buňku. Daná rovnice popisuje stav ve všech buňkách mřížky. Soustava lineárních rovnic se ve Fluentu řeší implicitně Gauss-Seidlovou metodou v kombinaci s algebraickou „multidrid“ vícestupňovou metodou, v našem případě AMG.

Fluent ukládá diskrétní hodnoty skalární veličiny Φ v centru buňky. V rovnici (2) jsou ovšem pro výpočet konvektivního členu (levá strana rovnice) požadovány hodnoty skalární veličiny Φ_f také na stěnách buňky, které jsou stanovené interpolací z hodnot v centrech přiléhajících okolních buněk. K tomuto procesu se používá „upwind“ schéma, což znamená, že hodnota Φ_f je odvozena z hodnoty následující buňky ve směru proudění.

Fluent umožňuje výběr z pěti „upwind“ schémat pro výpočet konvektivního členu: First-order upwind, Power-law, Second-order upwind, Quick, Third-order Muscl s tím, že Quick schéma je použitelné pouze pro hexa buňky.

Difúzní člen v rovnici (2) (první člen na pravé straně) je nastaven na „Central –differencing“ výpočtové schéma druhého řádu, které je dostatečně přesné.

Při řešení proudění je také potřeba stanovení gradientů, které jsou nutné pro výpočet hodnot skalárních veličin na stěnách buněk, ale též při diskreditaci konvektivního a difúzního členu v rovnici (2). Ve Fluentu je možno gradient $\nabla \Phi$ počítat třemi způsoby: Green-Gauss Cell-Based, Green-Gauss Node-Based a Least Squares Cell-Based. Poslední jmenovaný výpočet gradientu je doporučený pro polyhedra buňky a pro jeho rozsáhlé vysvětlení odkazujeme na manuál [2].

Green-Gausovy teoremy počítají gradient v centru buňky ve tvaru:

$$(\nabla \Phi)_{c_0} = \frac{1}{V} \sum_f \bar{\Phi}_f \bar{A} \quad (4)$$

příčemž hodnota buňky na stěně Φ_f se počítá v případě Green-Gauss Cell-Based jako průměr z hodnot v sousedících buňkách:

$$\bar{\Phi}_f = \frac{\Phi_{c0} + \Phi_{cl}}{2}, \quad (5)$$

zatímco v případě Green-Gauss Node-Based jako průměr z uzlů dané stěny

$$\bar{\Phi}_f = \frac{1}{N_f} \sum_n^{N_f} \Phi_n \quad (6)$$

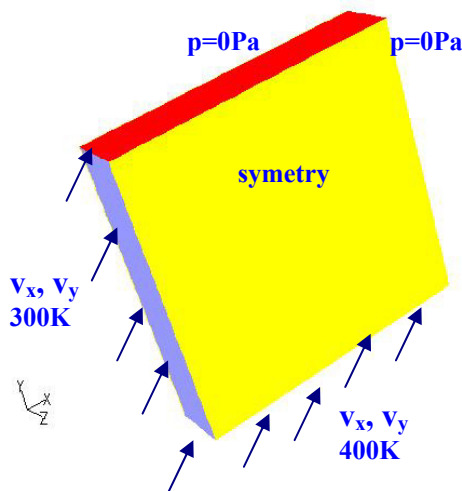
kde N_f je počet uzlů.

Hodnota v uzlu Φ_n se počítá z hodnot v centru všech buněk s daným uzlem.

2 POPIS TESTOVACÍCH ÚLOH

Cílem testovacích úloh bylo vyhodnocení stupně fyzikální přesnosti numerického výpočtu v závislosti na hustotě i tvaru mřížky a na volbě výše popsaných výpočtových schémat i přístupů k výpočtu gradientů transportní veličiny.

Bylo simulováno 3D stacionární proudění **fiktivního** plynu při hustotě $\rho=1\text{kgm}^{-3}$ ve výpočtové oblasti o rozměrech $1 \times 1 \times 0,2$ metrů (obr.1). Hodnoty tepelné vodivosti $\lambda [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$ a dynamické viskozity $\mu [\text{Pa.s}]$ plynu se blížily nule. Okrajové podmínky jsou uvedeny v tabulce 1.



Obr. 1: Schéma výpočtové oblasti $1 \times 1 \times 0,2$ metrů

Tab.1: Okrajové podmínky

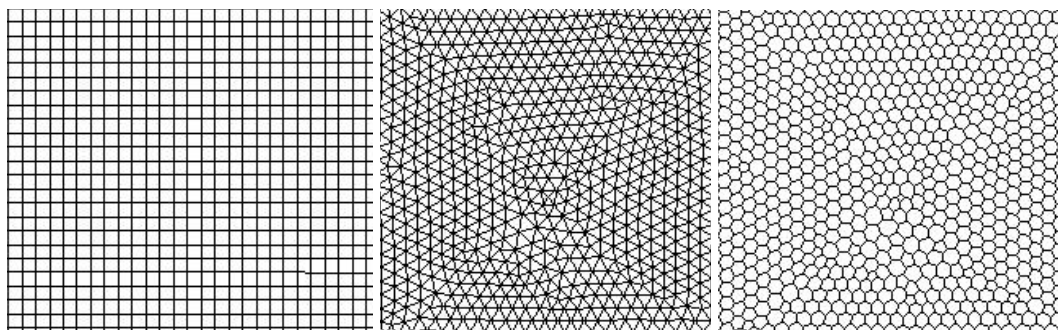
Okrajové podmínky		
Vstup do oblasti	velocity inlet	Na dvou stěnách konstantní vertikální profil zadaný vektory rychlosti $v_x=v_y=5\text{m/s}$
	teplota	Jedna stěna 300K Druhá stěna 400K
Výstup z oblasti	pressure outlet	$p=0\text{Pa}$
Boční stěny	symetry	Nulový tok všech veličin přes hranici a nulová normálová rychlost

Předmětem sledování bylo stanovení úrovně rozptylu (numerické difúze) teplotního pole a vyhodnocení hodnot teploty, které jsou mimo rozsah zadaných okrajových podmínek (tedy mimo rozsah 300-400 K) při různě nastavených faktorech výpočtů.

Úlohy byly řešeny na třech typech mřížky (hexa, tetra a polyhedra), jejichž tvary jsou patrné z obr.2. Všechny typy mřížek měly dvojí hustotu. Hexa a tetra buňky byly vytvořeny ze 40-ti, nebo ze 100 bodů vztažených na délku 1m na všech hranách oblasti. Polyhedra buňky byly vytvořeny ve Fluentu z tetra buněk. Vzniklo tím tedy celkem 6 výpočtových oblastí o shodných výše uvedených rozměrech a o počtu buněk uvedených v tabulce 2. Názorně je zde vidět velká úspora jejich počtu při použití polyhedra typologie, která je právě z tohoto důvodů v mnoha případech doporučována.

Tab.2: Počet buněk ve výpočtových oblastech

Druh mřížky	Hexa 40 bodů	Hexa 100 bodů	Tetra 40 bodů	Tetra 100 bodů	Polyhedra 40 bodů _{tetra}	Polyhedra 100 bodů _{tetra}
Počet buněk v tisících	12,8	200	83,9	1332	16,6	238



Obr. 2: Typologie buněk (hexa – tetra - polyhedra)

Výpočty s tetra a polyhedra buňkami byly testovány s postupným nastavením tří výpočtových schémat (First-order upwind, Second-order upwind, Third-order Muscl). U hexa buněk byl výpočet proveden navíc také se schématem Quick.

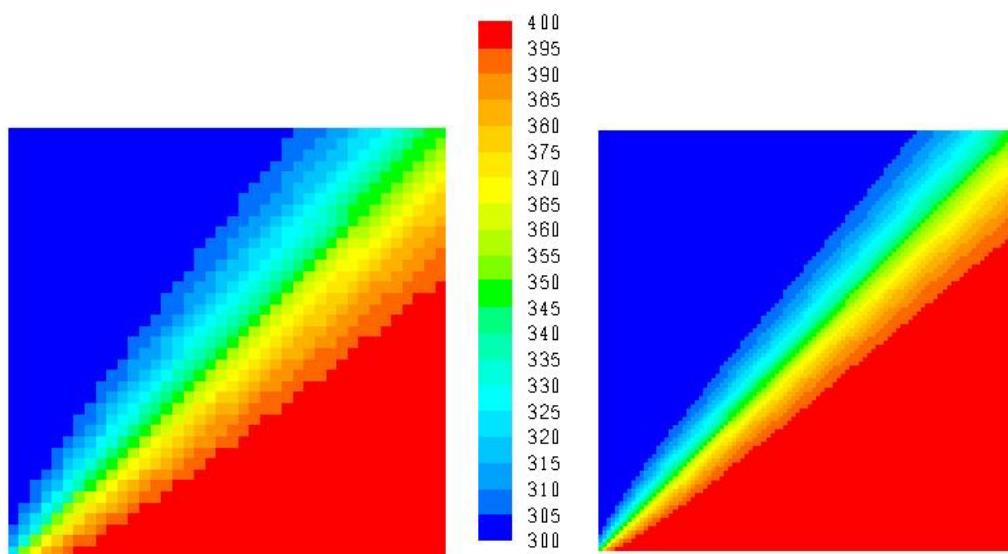
Výpočet gradientu u hexa a tetra buněk byl řešen Green-Gauss Cell-Based i Green-Gauss Node-Based metodou, u polyhedra buněk byl použit ve Fluentu doporučený Least Squares Cell-Based způsob. Všechny výsledky při různých podmínkách nastavení výpočtu byly vzájemně porovnány. Výpočtové schéma Power-law nebylo testováno, protože pro tento případ výpočtu počítá stejně jako First-order upwind.

3 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

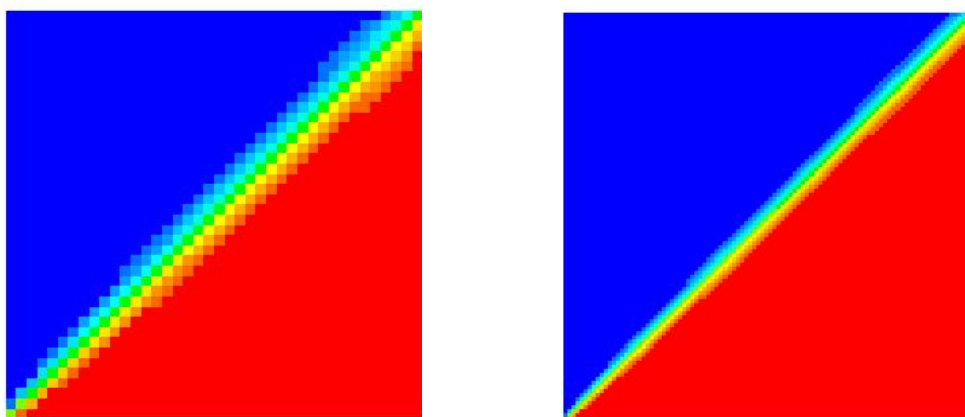
Níže uvedené obrázky představují teplotní pole v podélných řezech vedených středem výpočtových oblastí při různě zadaných podmínkách výpočtu. Stupnice teplot v kelvinech [K] u obr.3 je platná i pro ostatní obrázky. V ideálním případě by mělo být teplotní pole úhlopříčně ostře rozděleno na dvě pole odpovídající vstupním parametrům a v celé oblasti by se neměly vyskytovat teploty mimo rozsah 300K a 400K.

3.1 Vliv hustoty mřížky

Na velikost numerické difúze má hustota mřížky významný vliv. Na obr.3 je názorně ukázán teplotní rozptyl při hexa mřížce o hustotě 40bodů a 100bodů na jednotce délky při použití výpočtového schématu First order. U zbývajících dvou typů mřížek a stejného schématu má hustota mřížky podobný vliv na rozptyl teplotního pole. Při použití výpočtových schémat Second-order upwind, Quick, Third-order Muscl jsou sice celkové rozptyly i rozdíly v hustotě mřížky menší (obr.4), ale vyskytují se problémy s hodnotami transportní veličiny (teploty) mimo rozsah vstupních parametrů (více kap.3.3).



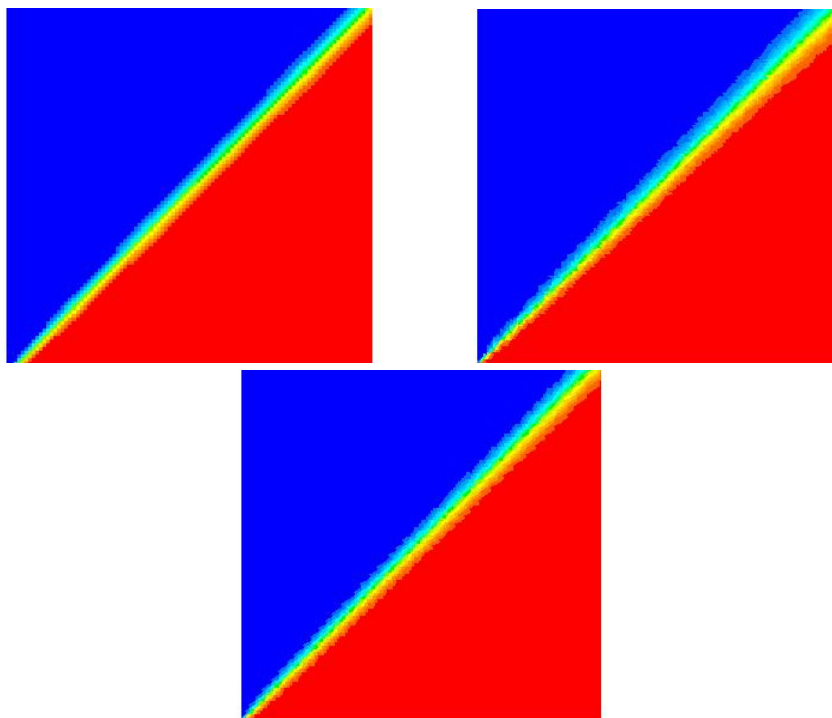
Obr. 3: Teplotní pole, vliv hustoty mřížky na numerickou difúzi-hexa buňky-First order:
40 bodů/metr 100 bodů/ metr



Obr. 4: Teplotní pole, vliv hustoty mřížky na numerickou difúzi-hexa buňky-Second order:
40 bodů/metr 100 bodů/metr

3.2 Vliv typologie mřížky

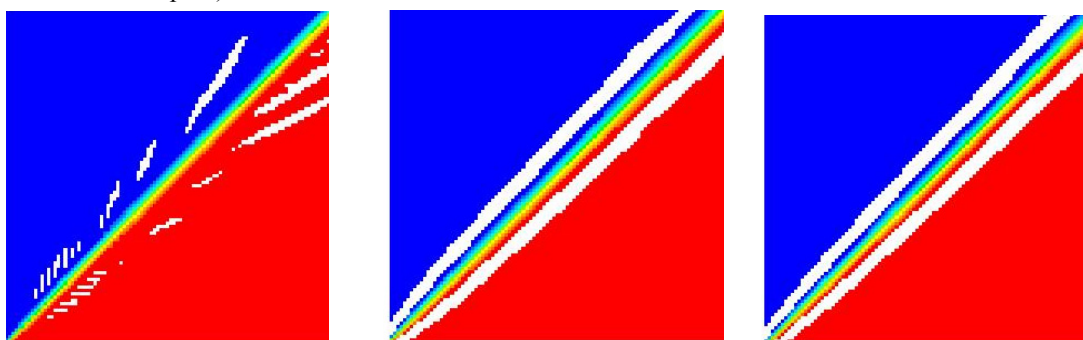
Typologie mřížky má také vliv na numerickou difúzi transportní veličiny, i když ne tak výrazný, jak je patrné z obr.5. Jsou zde porovnány rozptyly teplotních polí všech tří typů mřížek o srovnatelné hustotě (100 bodů na 1m) a shodně zvoleném výpočtovém schématu (Second-order upwind). Je zřejmé, že nejmenšího rozptylu docílí hexa mřížka, ovšem vzhledem k typům výpočtových oblastí i obtékaných těles, není častá možnost tuto mřížku použít. Typ mřížky ovšem částečně omezuje volbu výpočtového schématu i způsob výpočtu gradientu, což se výrazně projeví na přesnosti výpočtu (viz další kap.).



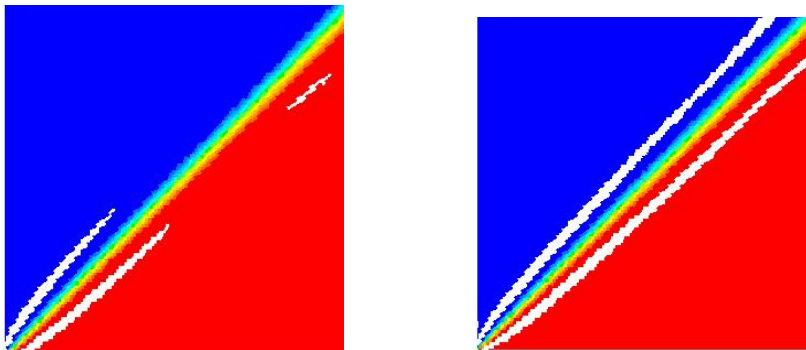
Obr. 5: Teplotní pole, vliv typologie mřížky na numerickou difúzi-100bodů/metr-Second order:
hexa buňky - tetra buňky - polyhedra buňky

3.3 Vliv volby výpočtového schématu

Nejpřesnějších výsledků se dosáhne při využití Quick výpočtového schématu, jak v oblasti numerické difúze, tak i v nejmenším výskytu hodnot mimo rozsah vstupních parametrů (na obr.6 a obr.7 bezbarvá pole).



Obr. 6: Teplotní pole- vliv volby výpočtového schématu na přesnost výpočtu-hexa buňky-100bodů/metr:
Quick Second-order Third-order Muscl



Obr. 7: Teplotní pole, vliv volby výpočtového schématu na přesnost výpočtu- polyhedra-100bodů/metr:

Second-order

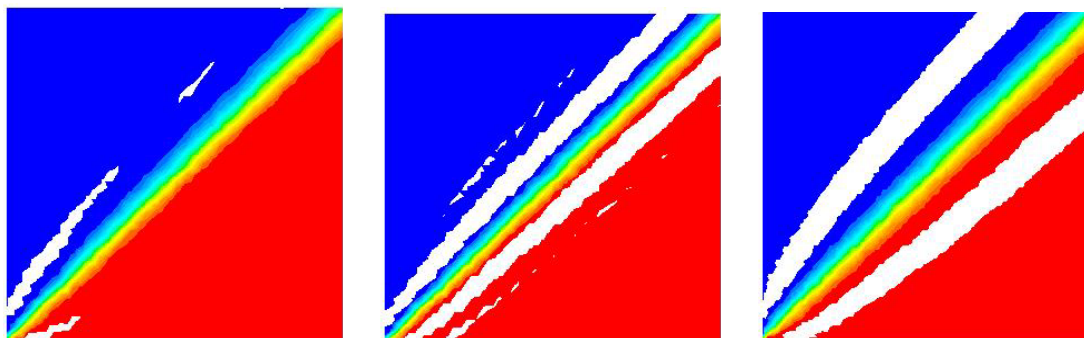
Third-order Muscl

Výpočtová schémata First-order a Power-law vykazují vzájemně stejné výsledky, v teplotním poli se nevyskytují hodnoty mimo požadovaný rozsah, ale u obou schémat vzniká výrazná numerická difúze, jak bylo vidět již v obr.3. Tento výrazný rozptyl vzniká u všech typů mřížek při použití těchto dvou schémat.

U tetra a polyhedra mřížek vykazuje lepší výsledky výpočtové schéma Second-order oproti Third-order Muscl, jak je patrné z obr.7. Nižší počet buněk s hodnotami mimo požadovaný rozsah teplotního pole oproti hexa buňkám na obr.6 negativně kompenzuje vyšší hodnota odchylky, jak bude vysvětleno v kap.3.4.

3.4 Vliv volby způsobu řešení gradientu transportní veličiny

Způsob řešení gradientu transportní veličiny má výrazný vliv na vznik hodnot mimo rozsah vstupních parametrů, stejně jako volba výpočtových schémat. Výpočty s hexa a tetra buňkami byly řešeny doporučenými Green-Gauss Cell-Based i Green-Gauss Node-Based metodami, přičemž u hexa buněk vykazovala lepších výsledků Cell-Based metoda, zatímco u tetra buněk Node-Based metoda.



Obr. 8: Teplotní pole, vliv volby způsobu řešení gradientu transportní veličiny-40bodů/metr:

tetra, Cell-Based

tetra, Node-Based

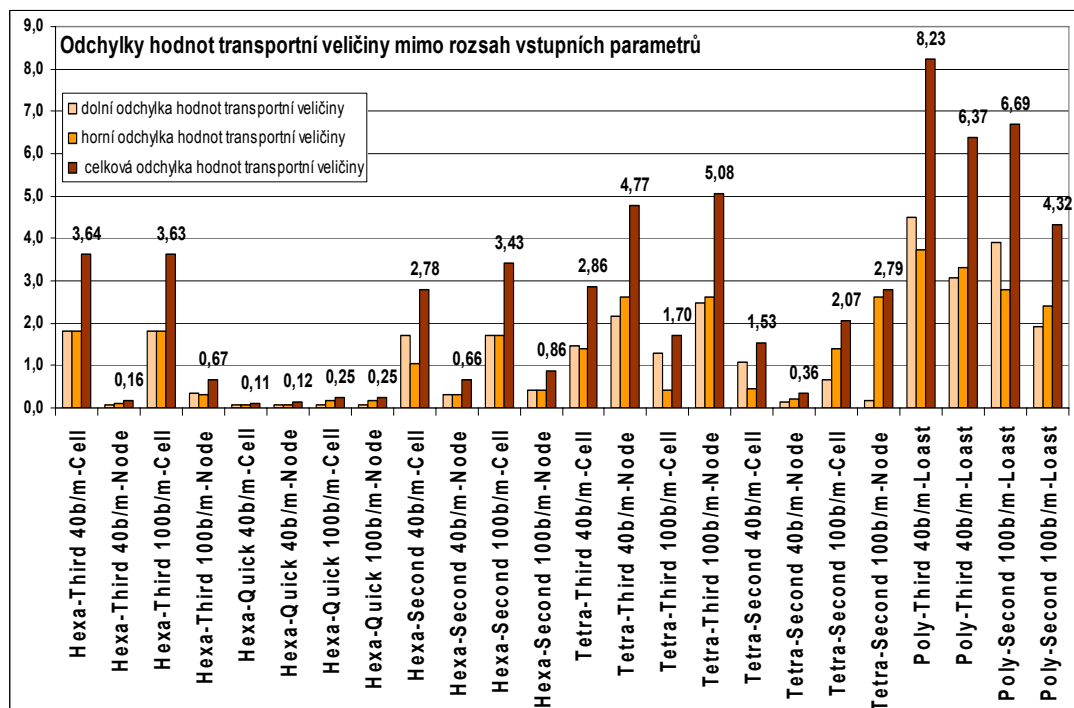
polyhedra, Least Squares

Oblasti s polyhedra buňkami byly počítány pouze Least Squares Cell-Based metodou, který je pro tento typ buněk doporučený v manuálu Fluent. Tato metoda však dosáhla nejslabších výsledků, hlavně ve výši hodnot odchylek od požadovaných parametrů, které jsou dobře zřetelné na obr.9. Jsou zde vzájemně porovnány výsledky všech variant výpočtů, při kterých odchylky vznikají.

4 ZÁVĚR

- Jak již bylo zmíněno, při aplikaci First-order a Power-law schémat nevznikají žádná teplotní pole mimo rozmezí vstupních podmínek, ovšem velká numerická difúze značně snižuje přesnost výpočtu.

- Nejlepších výsledků se dosahuje při použití Hexa mřížky a výpočtového schématu Quick upwind. V tomto případě má způsob výpočtu gradientu zanedbatelný vliv na výskyt hodnot mimo „správné“ rozmezí teplot. Menší difúze vzniká při hustější mřížce.
- U zbývajících dvou schémat (Second-order a Third-order) je zajímavé poznání, že pro hexa buňky je jednoznačně přesnější výpočet gradientu Node-Based metodou, naopak pro tetra buňky je přesnější Cell-Based metoda.
- Negativním poznáním jsou poměrně vysoké hodnoty odchylek transportní veličiny mimo rozsah teplot u polyhedra buněk, které výrazně snižují počet buněk ve výpočtové oblasti a tím také časovou náročnost výpočtu. Současná nabídka možností způsobu výpočtu u tohoto typu mřížkování zatím neumožňuje provádět výpočty s uspokojivou fyzikální přesností.



Obr. 9: Vliv typologie i hustoty mřížky, výpočtového schématu i způsobu výpočtu gradientu na hodnoty teplotního pole mimo rozsah vstupních parametrů

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je GAČR 105/08/1414.

LITERATURA

- [1] VESTEER, H. K., MALALASEKERA, W. *Computational Fluid dynamics*. England: Pearson education limited, 2007. 503 pp. ISBN 978-0-13-127498-3.
- [2] Fluent 6.3, Users guide, Tutorial guide.

Oponentní posudek vypracoval:

RNDr. Jan Chura, Ústav Geoniky AV ČR, Ostrava Poruba

František BALIAK¹

MONITORING ZOSUVNÉHO ÚZEMIA KORDÍKY – KRÁLIKY NA SLOVENSKU

MONITORING OF SLIDE AREA KORDÍKY – KRÁLIKY IN SLOVAKIA

Abstrakt

V oblasti zosuvného územia Kordíky - Králiky vyvstala potreba zhodnotenie aktivity svahových porúch a stability svahov, pretože posledne mapovanie a prieskum sa uskutočnil pred 30 rokmi. Na základe štúdia archívnych dát, monitoringu, výpočtových metód a grafických uprav máp je analyzovaný súčasný stav zosuvného územia, ktorý je potrebné poznať z dôvodu ochrany obyvateľov a majetku, rozvoja urbanizmu v obciach a budúceho využitia územia pre možnú prevenciu aktivácie svahových pohybov pri stavebných prácach.

Abstract

There was a need assessment of activity of slope failures and slope stability of the slide area called Kordíky - Rabbit in Slovak. Last mapping and survey conducted 30 years ago. This area is analyzed based on a study of archival information, monitoring, calculation methods and lay-map for the evaluation recent condition, which is necessary to know because of the protection of the people, developments urbanism in urban area and future use of area for prevent possible activation slope deformation during construction works.

1 ÚVOD

Oblasť obcí Kordíky a Králiky je súčasťou rozsiahleho územia postihnutého gravitačnými svahovými deformáciami ležiacimi na východnom okraji Kremnických vrchov západne od Banskej Bystrice. Porušené územie tu má rozlohu okolo 30 km². Na porušených svahoch leží obec Kordíky, časti obcí Králiky, Malachov, Horné Pršany a Tajov (obr. 1). Na zosuvných územiach sa nachádzajú stovky rekreačných chát, väčšie turistické chaty a lyžiarske zariadenia (skokanský mostík, lyžiarske vleky). Cez zosuvy vedú štátne cesty III. triedy, početné líniové podzemné stavby a desiatky stožiarov elektrického vedenia VN. Výskyt nestabilných svahov znemožňuje racionálne využitie ložísk ortuti nad obcou Malachov, rozširovanie obcí a výstavbu špeciálnych zariadení pre obranné účely. Zosuvy sú bariérou pre výstavbu dôležitej pozemnej komunikácie medzi B. Bystricou a Kremnicou.

Územie sa pri mapovaní v r. 1975 - 76 vyznačovalo pomerne vysokým stupňom aktivity svahových pohybov, ktoré do značnej miery ohrozovali spomenuté objekty. Preto po vyše 30 ročnom odstupe sme vykonali monitoring zosuvného územia, cieľom ktorého bolo zhodnotenie súčasného stavu.

V rámci monitoringu sme vykonali:

- Exerpciu archívnych podkladov získaných z doterajších prieskumných a monitorovacích prác a ich vyhodnotenie.
- Reambuláciu niektorých častí pôvodných účelových máp v mierke 1 : 10.000.

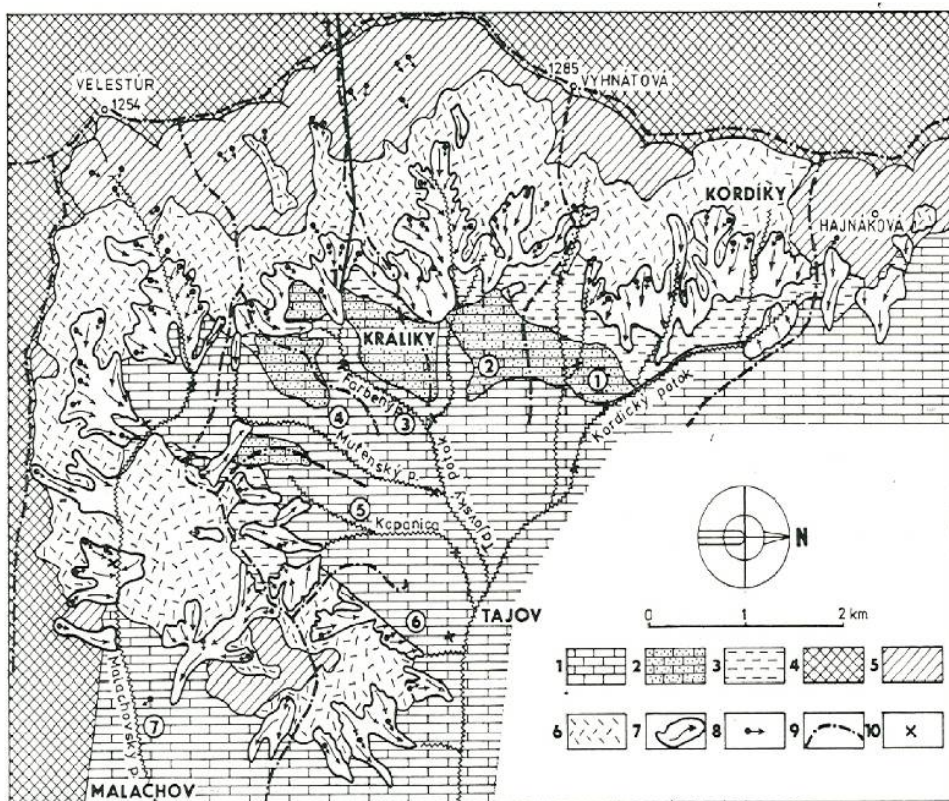
¹ prof. RNDr. František Baliak, PhD., Katedra geotechniky, Fakulta stavebná, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 81368 Bratislava, tel.: (+421) 259 274 284, e-mail: frantisek.baliak@stuba.sk.

- Inventarizáciu existujúcich geologických objektov (šachtice, prístroje TM-71, vrty, geodetické body).
- Kódovanie zosuvov pre použitie v Geofonde systémom použiteľným pre Atlas zosuvov SR.
- Reambuláciu a prehodnotenie geotechnických profilov zosuvnými územiaми.
- Návrh opatrení na zabezpečenie dlhodobej stability, resp. rekonštrukciu a údržbu existujúcich diel.

Monitoring sme vykonali v rámci geologickej úlohy „Zhodnotenie efektívnosti prieskumno-sanačných prác a účinnosti stabilizačných opatrení na zosuvoch v rôznych geologických štruktúrach Slovenska“, ktorej obstarávateľom bolo MŽP SR a vykonávateľom INGEO-inghp, s.r.o Žilina (Baliak a kol., 2005).

2 CHARAKTERISTIKA SVAHOVÝCH PORÚCH

Svahové gravitačné poruchy vznikli na západnom okraji Kremnických vrchov ako dôsledok priaznivej geologickej stavby svahov. Významnú úlohu tu mal i geomorfologický vývoj územia, vlastnosti hornín a hydrogeologické pomery. Plošné rozšírenie porušeného územia, geologická stavba a hydrogeologické pomery sú schematicky znázornené na obr. 1.



Obr.1: Mapa svahových porúch V okraja Kremnických vrchov (upravená podľa J. Malgota, F. Baliaka, T. Mahra, 1976).

1 – vápence a dolomity - trias, 2 – zlepenice, pieskovce a vápence – str. eocén, 3 – íly, ílovce s vložkami pieskovcov – vrch. oligocén – sp. miocén, 4 – vulkanogénny komplex Kremnických vrchov (aglomeratické tufy, andezity) – sp. sarmat, 5 – územia tvorené blokovými rozpadlinami, 6 – územia tvorené blokovým poľom, 7 – zosuvy s označením smeru pohybu, 8 – pramene, 9 – hranice geostratigrafických ohraničení potokov, 10 – miesta merania povrchových prietokov.

V celom území sú strmé, vyššie položené časti svahov, tvoriace výbežky vulkanogénnych Kremnických vrchov tvorené rigidnými vulkanickými horninami .

Kremnické vrchy v tomto území majú zložitú geologickú stavbu. Zachovalá hrúbka vulkanitov pod hrebeňmi pohoria dosahuje už iba 300 - 400m.

Najvrchnejšiu časť a vrcholky pohoria tvoria lávové prúdy leukokrátnych andezitov a ich epiklastické brekcie sielnickej formácie (spodný sarmat). V ich podloží ležia andezity a ich pyroklastiká turčeckej formácie (vrchný báden). Subakválne lávové prúdy pyroxenických andezitov striedajúcich sa s polohami epiklastických brekcií, ktoré tu majú najväčšie plošné rozšírenie sú začlenené do zlatostudianskej formácie (Lexa et al., 1998) strednobádenského veku.

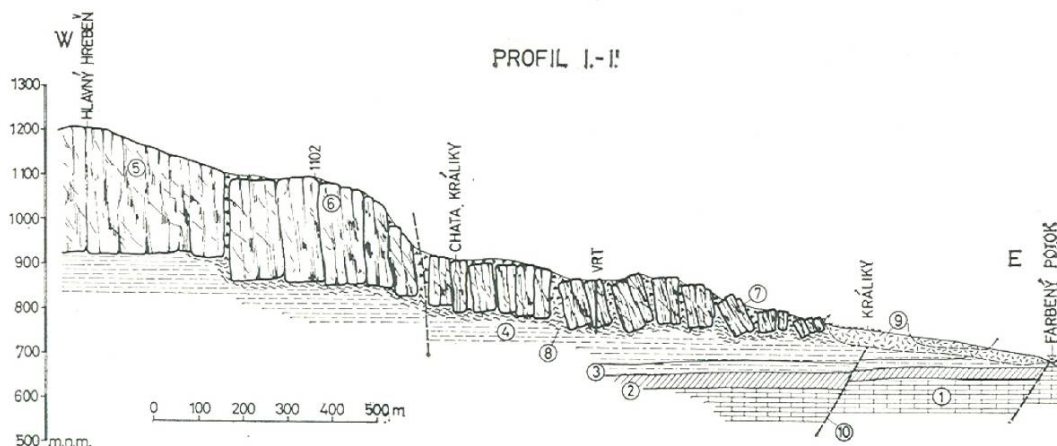
V podloží vulkanogénneho komplexu sa na stredných, miernejších častiach svahov nachádza v značnej časti územia kordické súvrstvie (spodný báden). Je tvorené plastickými tufitickými siltovcami s polohami štrkov nevulkanického pôvodu a uhoľných ílovcov a tmavých laminovaných ílovcov.

Miocénne súvrstvie leží na flyšoidnom paleogéne, ktorý sa vekove zaraďuje do podtatranskej sústavy oligocénu (Lexa et al., 1998). Tvorí tzv. hutnianské súvrstvie zastúpené súvrstvím ílovcov s vložkami pieskovcov. Na niektorých miestach v okolí Králikov je oligocén a eocén vyvinutý v podobe brekcií a zlepcov (borovské súvrstvie).

Najspodnejšie časti svahov sú tvorené vápencami a dolomitmi stredného až vrchného triasu (Hronikum – šturecký príkrov) a vápencami, škvrtitými slieňami a dolomitmi triasu a jury krížňanského príkrovu.

Výstup opísanej superpozície rigidných a plastických členov na povrch závisí od jej tektonického rozčlenenia. Zlomový systém smeru SV-JZ spôsobuje postupné zaklesávanie vulkanitov smerom do pohoria, teda na Z. Zlomový systém smeru SZ-JV člení tieto segmenty detailnejšie na sériu hrástí a poklesov.

Tektonické rozčlenenie štruktúry svahov je druhým základným predpokladom ich ďalšieho deštruktívneho vývoja, pričom pokročilosť rozpadu svahovej štruktúry závisí od výšky jej elevácie. V čiastkových depresiách, kde je kontakt tvrdého nadložného vulkanického komplexu s plastickým podložíom ponorený hlbšie, je vývoj svahových porúch spomalený, prípadne až zastavený (obr. 2).



Obr. 2: Charakteristický geologický profil východným okrajom Kremnických vrchov.

1 – vápence – trias, 2 – vápence, zlepecce, pieskovce – paleogén, 3 – ílovité bridlice – paleogén, 4 – íly, tufitické íly s vložkami piesku – neogén, 5 – aglomeratické tufy, andezity – neogén, 6 – blokové rozpadliny, 7 – izolované bloky v blokovom poli, 8 – creepové zóny, 9 – zosuvy.

Geologická stavba svahov vyvoláva v dôsledku rôznych vlastností hornín trvalo nestabilný stav. Skalné horniny vulkanického komplexu pôsobia svojou tiažou na podložné plastické poloskalné horniny, ktoré majú podstatne nižšie pevnostné charakteristiky.

Vulkanický masív je prestúpený pomerne hustou sieťou plôch mechanickej diskontinuity. Tektonické porušenie vulkanitov predstavuje podmienku, ktorá rozhoduje o tvare a veľkosti pohybujúcich sa blokov, o rýchlosti a smere ich pohybu. Bolo to dokázané výsledkami niekoľko sto meraní plôch diskontinuit (Mahr, Malgot, 1978). Vlastnosti podložných hornín (ílovce, siltovce) a materiálov tvoriacich zosuvy sú dôležité najmä pre vývoj zosunov a zemných prúdov. Aj z obmedzeného počtu skúšok, ktoré sa robili na vzorkách dôležitejších typov zemín a poloskalných hornín sa zistilo, že vlastnosti vyčlenených typov sú dosť odlišné. Štatistické spracovanie výsledkov laboratórnych skúšok dôležitejších typov zemín uvádza tabuľka 1 (Mahr, Malgot, 1978).

Z tabuľky 1 vyplýva, že najpriaznivejšie vlastnosti majú paleogénne ílovité bridlice (vlhkosť 10,3%). Z ílových minerálov v nich prevláda illit. V neogénnych ílovcoch je dominujúcim ílovým minerálom Ca-montmorillonit. Voči paleogénnym bridliciám majú ílovce nižší stupeň litifikácie, vyššiu pórovitosť a vyššiu prirodzenú vlhkosť. Kvartérne ílovité hliny majú najnepriaznivejšie vlastnosti. Majú nižšie hodnoty objemových hmotností, vyššiu vlhkosť, vyššiu plasticitu a nižšie parametre šmykovej pevnosti.

Tab. 1: Vlastnosti zemín na lokalite Kordíky – Králik.

Vlastnosti zemín Kordíky - Králiky	Označ.	Jedn.	Paleogén			Neogén			Kvartér		
			ílovce			íly			ílovité hliny		
			rozsah	$\bar{x}$	N	rozsah	$\bar{x}$	N	rozsah	$\bar{x}$	N
Objemová hmotnosť	O_n	g.cm ⁻³	2,03-2,44	2,27	32	1,90-2,38	2,19	39	1,84-2,22	2,07	45
Suchá objemová hmotnosť	O_d	g.cm ⁻³	1,84-2,31	2,05	32	1,48-2,21	1,94	39	1,36-1,95	1,74	45
Merná hmotnosť	O_s	g.cm ⁻³	2,66-2,77	2,71	18	2,54-2,74	2,69	32	2,62-2,76	2,76	26
Prirodzená vlhkosť	w_n	%	4,6-17,5	10,3	36	6,9-28,1	13,7	50	11,8-36,0	19,6	45
Medza tekutosti	w_l	%	29,0-59,0	46,4	19	23,0-68,0	46,7	48	29,0-63,0	49,8	30
Medza plasticity	w_p	%	19,0-28,0	22,5	19	16,0-30,0	23,5	42	18,0-32,0	23,5	30
Index plasticity	I_p	%	8,0-38,0	23,9	19	5,0-41,0	23,2	42	10,0-35,0	26,3	30
Index konzistencie	I_c	-	1,25-2,20	1,55	19	0,86-2,14	1,46	42	0,77-1,57	1,12	30
Pórovitosť	n	%	15,6-32,2	23,5	18	17,8-44,2	28,1	32	27,7-49,1	37,0	26
Stupeň nasýtenia	S_r	%	62,7-99,1	86,2	17	65,2-99,4	90,1	31	53,7-100	92,6	25
Vápnitosť	CaCO ₃	%	0,6-20,7	7,23	22	0,03-21,7	8,44	36	0,0-22,7	6,42	24
Obsah organických látok	I_o	%							1,1-1,8	1,45	2
Ílová aktivita	A_c		0,65-1,70	1,02	15	0,89-11,0	3,04	33	0,57-14,5	1,99	24
Obsah psamitov		%	7-29	12,9	17	7-30	15,2	34	8-19	12,8	24
Obsah aleuritov		%	31-65	47,1	17	34-84	54,4	34	36-60	46,3	24
Obsah pelitov		%	25-52	40,0	17	3-55	30,3	34	33-53	40,9	24
Obsah ílovitých častíc		%	10-35	24,0	17	1-28	13,1	34	5-37	19,8	24

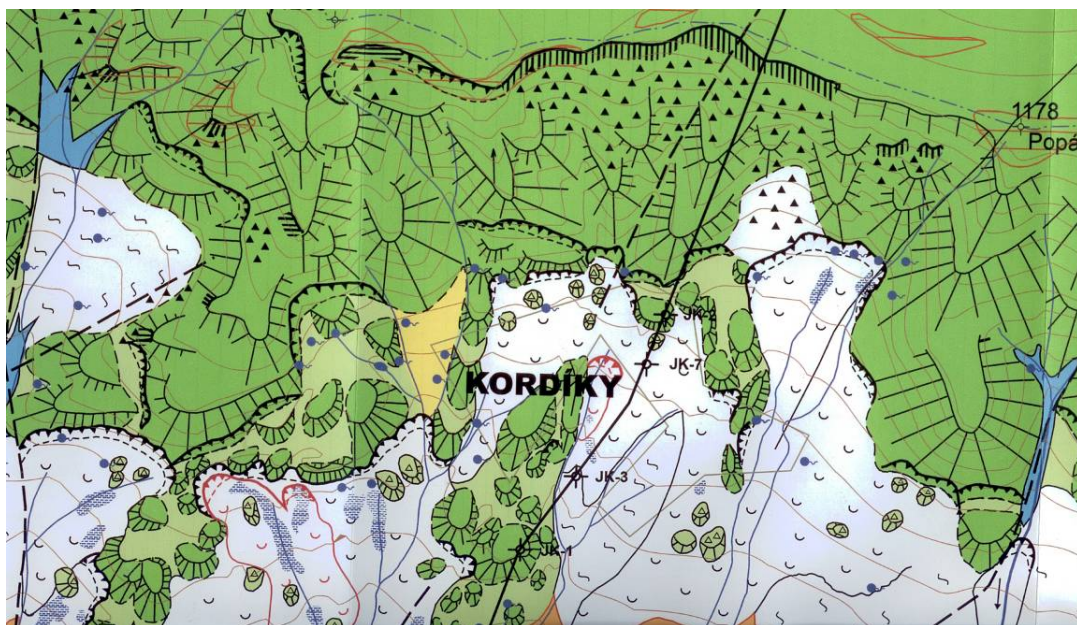
Zo schematickej mapy porušeného územia (obr. 1) vidno, že jednotlivé typy porúch sa vyznačujú v rôznych častiach územia charakteristickým vývojom. Na základe rozdielov v ich vývoji možno vyčleniť tri vzájomne sa líšiace územné celky:

1. Svahové poruchy na pravej strane Malachovského potoka začínajú v okolí obce Horné Pršany, kde vulkanity ležia na tektonicky poklesnutých neogénnych ílovcoch. Svahové poruchy sú tu ovplyvnené tektonikou smeru S-J. Územie nesie všetky stopy mladého vývoja. Bloky sú presunuté iba nakrátko. Zachovali si výraznú morfológiu. Siahajú väčšinou až do dna doliny.
Vyššia (západná) časť doliny je viazaná na elevačnú štruktúru a svahy nadobudli rýchlejší gravitačný vývoj. V dne doliny už vystupuje mezozoikum. V blízkosti rozvodnice sa vyvinuli až 30 m vysoké strmé skalné steny modelované rúťivým pohybom. Na stredných častiach svahov ležia blokové polia a zosuny.
2. Svahové poruchy tvoria súvislý pás od kóty Veľestúr až k obci Harmanec, kde sedimenty paleogénu a miocénu vyклиňujú a vulkanity už ležia priamo na skalnom mezozoiku.
Blokové rozpadliny sú podmienené tektonikou SV-JZ a SZ-JV smeru. Takéto výrazné rozpadliny sú pod kótami Lopúchový vrch, Mýtny vrch, Suchá hora, Popálenisko a Plešina.
Rozsiahly vývoj blokových polí vznikol v okolí ložiska Hg-rúd Veľká Studňa v uzávere Malachovského potoka, ktorý bude podrobnejšie opísaný v kap. 4. Najvýraznejšie bloky sa zachovali v okolí Chaty nad Králikami (obr. 2). V oblasti medzi chatou a obcou Králiky vznikli bloky s úklonom proti svahu. Na jednom z nich bol situovaný vrt, ktorý zistil až 117 m mocnosť aglomeratických tufov. Uzáver Kordického potoka je na juhu ohraničený dlhou bočnou rázsochou, ktorá predstavuje typickú rozpadlinu s charakteristickým stupňovitým reliéfom. V strednej časti vznikol široký amfiteáter, v ktorom leží obec Kordíky. Na hlavnom hrebeni sa nachádza asi 1400 m dlhá a 30 - 60m vysoká zvislá odlučná stena blokových rozpadlín.
3. V centrálnej časti územia sa zachovali relikty vulkanitov v tektonickej depresii medzi Malachovom a Tajovom. Komplikovaná stavba vznikla v okolí Nemeckého vrchu, ktorý predstavuje vypreparovaný peň lineárnej erupcie. Lávové prúdy sú tu intenzívne porušené. Do Malachovského potoka smerujú prúdy bazaltoidného andezitu, ktoré tam spôsobujú bulgingové javy. Smerom SV smerujú do Mutenského potoka prúdové zosuny, ktoré spôsobili prehradenie doliny a vznik jazera hradeného typu.
Rozsiahle porušené územie leží i v okolí pňa Suchého vrchu. Sopečné teleso je tektonicky rozdiferencované a smerom na juh a juhovýchod je zaklesnuté.

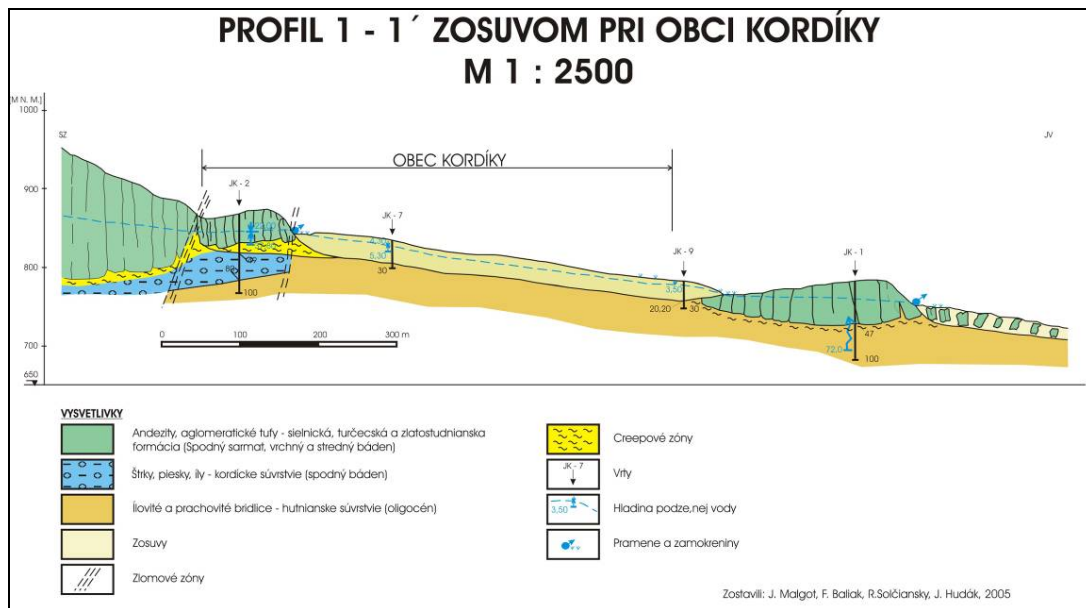
3 ZHODNOTENIE SÚČASNÉHO STAVU ZOSUVNÉHO ÚZEMIA KORDÍKY - KRÁLIKY

3.1 Opis pôvodného stavu

Geologická mapa svahových deformácií v okolí obce Kordíky v mierke 1 : 10000 je súčasťou mapy celého porušeného územia (Malgot, Baliak, Mahr, 1976). Horné strmé časti svahov až po rozvodnicu Kremnického pohoria sú tvorené mohutnými deformáciami blokového typu (obr. 3, 4). Blokové rozpadliny sú odtrhnuté od materského masívu odtrhovou skalnou stenou o výške okolo 20m. Jej priebeh je približne zhodný s rozvodnicou. Na úpätí blokových rozpadlín – približne na V okraji obce je vulkanický komplex tektonicky zaklesnutý pozdĺž zlomovej línie smeru SV-JZ (obr. 4). Pod komplexom blokových rozpadlín sú na svahoch o sklone 8 - 10° vyvinuté blokové polia a zosuvy prevážne potenciálneho až stabilizovaného charakteru. Vznikajú po vrstvách flyšoidného paleogénu. Šmykové plochy sú rovinné, rovnobežné so sklonom terénu, v hĺbke 20 - 25 m.



Obr. 3: Mapa svahových deformácií v okolí obce Kordíky 1 : 10 000 (výrez).



Obr. 4: Profil zosuvným územím pri obci Kordíky.

3.2 Hodnotenie súčasného stavu

Podrobnou obhliadkou územia sa v okolí obce našli určité stopy aktivizovania svahových pohybov. Nové aktivizované zosuvy vznikli mimo intravilánu obce iba v akumulčných oblastiach zosuvov. Porušujú a ohrozujú príjazdovú štátnu cestu 3. triedy vo viacerých úsekoch.

Obec Kordíky je postavená na telesách blokových polí a zosuvov potenciálneho až stabilizovaného štádia. Pri podrobnej obhliadke domov v obci sme zistili stopy porušenia niektorých objektov. Tieto poruchy však nie sú typické pre zosuvné pohyby. Môžu byť vyvolané aj inými vplyvmi (objemové zmeny a p.). V intraviláne obce sa vyskytujú územia, ktoré javia súčasné aktivity pohybov. V týchto územiach je nutné vylúčiť ďalšiu výstavbu.

Celkovo možno konštatovať, že väčšia časť územia je dlhodobo stabilizovaná systémom odvodňovacích povrchových drenov, ktoré udržiavajú majiteľov pozemkov.

Na základe súčasného mapovania dotknutého územia sme vykonali stabilitnú analýzu súčasného stavu v profile 1-1' (obr. 3). Pri prieskume v r. 1975 v tomto profile nebola vykonaná stabilitná analýza. V profile boli odvrtné 4 vrtý (JK-1, 2, 7 a 9) v r. 1975.

3.3 Analýza súčasnej stability

Pre samotný výpočet stupňa stability v profile 1-1' boli potrebné zadať nasledovné údaje:

- morfológia povrchu terénu,
- geometrický tvar a hĺbka šmykových plôch,
- pevnostné parametre a objemovú tiaž zemín a hornín,
- hladinu podzemnej vody

Morfológia terénu je zrejmá z obr. 4.

V hornej časti svahu je vyvinutá bloková deformácia, kde bloky andezitov (priemerná mocnosť okolo 40 m) sa posúvajú po creepovej zóne vytvorenej v kordickom súvrství (ílovce a siltovce s polohami štrkov). Creepová zóna bola vrtom JK-2 zistená v hĺbke 37,8 - 49,0 m p. t. Pri stabilitnom výpočte sme uvažovali s hĺbkou šmykovej plochy na báze creepovej zóny.

V predpolí blokovej deformácie sa nachádza zosuvné územie, ktoré je vyvinuté v prostredí paleogénneho flyšu (ilovce s vložkami pieskovcov). Šmykové plochy uvedených zosuvov boli zistené v hĺbke cca 20 - 25 m a mali planárny charakter (JK-7 a JK-9).

Vlastnosti zemín a hornín vystupujúcich nad šmykovými plochami v profile sú uvedené v tab. 2. Boli zisťované početnými laboratórnymi skúškami a uvedené hodnoty predstavujú priemerné hodnoty jednotlivých parametrov .

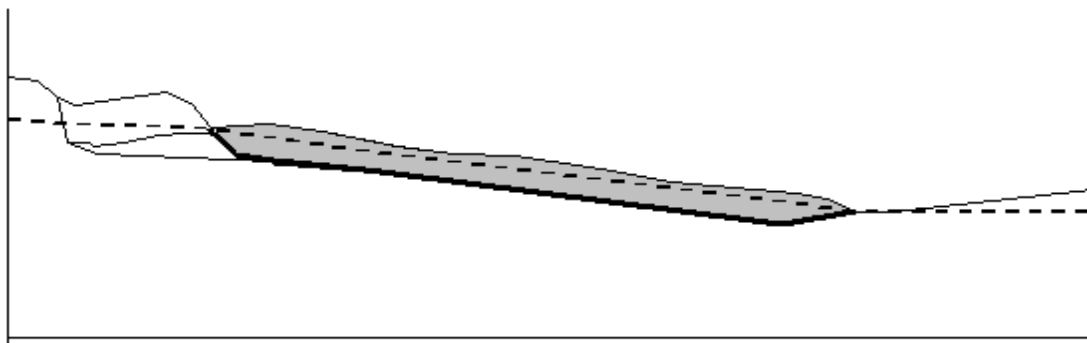
Tab.2 Priemerné hodnoty geotechnických parametrov vstupujúcich do výpočtov stability.

Horniny	Objemová tiaž – γ (kN.m^{-3})	Reziduálny uhol vnútorného trenia - φ_r (°)	Reziduálna súdržnosť – c_r (kPa)
andezity	22,40	-	-
kordické súvrstvie	18,70	12,33	0
paleogénne flyšové súvrstvie	19,40	15,4	0

Hladina podzemnej vody bola do výpočtu zavedená na základe jej zistení počas realizácie prieskumných prác. Uvedenú výšku hladiny podzemnej vody považujeme za maximálnu.

Výpočty stability boli realizované uvedenou metódou S. K. Sarmu pomocou programu GEO4 (firma FINE s.r.o.).

Najskôr bola analyzovaná stabilita zosuvov vynitých v nižšej časti svahu (paleogénny flyš). Model pre uvedený výpočet stability je na obr. 5.



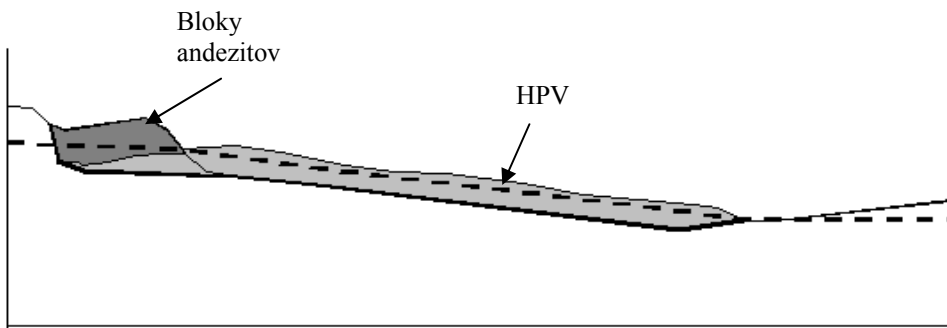
Obr. 5: Model pre výpočet stability zosuvu z prílohy č. 3 ($\varphi_r = 15,4^\circ$, $c_r = 0\text{kPa}$).

Vypočítaná hodnota stupňa stability je:

$$F_s = 1,46$$

Z uvedeného vyplýva, že zosuvný svah pod blokovým poľom za súčasných podmienok vykazuje pomerne vysoký stupeň stability.

Ďalej bola výpočtovo analyzovaná stabilita celého svahu, teda aj s blokovou deformáciou. V uvedenom výpočte sa počítalo s viacerými hodnotami reziduálnej šmykovej pevnosti na celkovej šmykovej ploche, podľa typu hornín (zemín), ktorými šmyková plocha prechádza. Model pre uvedený výpočet stability je na obr. 6.



Obr. 6: Model pre výpočet stability zosuvu z prof. č. 3.

flyš - $\varphi_r = 15,4^\circ$, $c_r = 0\text{kPa}$

creepová zóna pod blokmi andezitov - $\varphi_r = 12,33^\circ$, $c_r = 0\text{kPa}$

Vypočítaná hodnota stupňa stability celého svahu je:

$$F_s = 1,35$$

Z uvedeného vyplýva, že zosuvný svah aj s blokovým poľom za súčasných podmienok vykazuje nižší stupeň stability ako zosuvný svah viazaný na flyšový paleogén. Je to vyvolané predovšetkým nižšími parametrami šmykovej pevnosti kordického súvrstvia a zvýšením aktívnych síl od priťaženie andezitových blokov.

Avšak aj zistený stupeň stability celého svahu poukazuje na pomerne vysokú stabilitu za súčasných podmienok.

4 ZÁVERY A ODPORÚČANIA NA ZABEZPEČENIE DLHODOBEJ STABILITY ZOSUVNÉHO ÚZEMIA

Na základe podrobných kontrolných obhliadok celého územia o rozlohe 30km^2 sme nenašli stopy rozsiahlejších aktivizácií svahových pohybov.

V územiach tvorených deformáciami blokového typu je i v súčasnosti pohyb blokov aktívny. Z výsledkov meraní v najaktívnejšej oblasti Veľkej Studne v r. 1975 - 1978 predpokladáme, že celkové pohyby blokov sú nepretržité, rádovo v mm/rok. Takéto pohyby nedokážu zanechať na povrchu viditeľné stopy. Zosuvy a zemné prúdy sú väčšinou upokojené. Najnebezpečnejšie aktivity v okolí V. Studne sú už ukončené. Hrozba aktivizácie svahových pohybov v celom území je minimálna.

Pri ďalšom využívaní územia aj napriek upokojenému stavu svahových pohybov treba postupovať opatrne. Je možné uvažovať s výstavbou ľahších objektov (chaty, rodinné domy a p.). Treba sa však vyhnúť budovaniu väčších zárezov najmä v odlučných a akumulčných častiach zosuvov.

Pri rozširovaní obcí a novej výstavbe komunikácií v zosuvmi porušených svahoch je však potrebná inžiniersko-geologická expertíza. Jej úlohou je stanovenie podmienok výstavby tak, aby sa vylúčili aktivizácie zosuvov lokálneho významu.

Kontrolný monitoring zosuvného územia Kordíky – Králiky o rozlohe cca 30km^2 jednoznačne preukázal postupnú stabilizáciu svahových deformácií. Pravdepodobne je to spôsobené oslabením klimatických faktorov a účinnejšími preventívnymi opatreniami, ktoré tu vykonávajú majitelia pozemkov, domov a rekreačných chát.

Analýza stability svahu v okolí obce Kordíky preukázala, že v súčasnosti je väčšia časť územia dostatočne stabilná.

LITERATURA

- [1] BALIAK, F., MALGOT, J., SOLČIANSKY, R., HUDÁK, J., KOPECKÝ, M., 2005: Zhodnotenie efektívnosti priskumno-sanačných prác a účinnosti stabilizačných opatrení na zosuvoch v rôznych geologických štruktúrach Slovenka – lokalita Kordíky-Králiky. Manuskript, Archív MŽP SR Bratislava
- [2] LEXA, J. et al., 1998: *Geologická mapa Kremnických vrchov*. GS SR, Bratislava.
- [3] MAHR, T., MALGOT, J., 1978: Influence of discontinuities on the gravitational desintegration of rock masses. In: *Proc. of the IIIrd Congr. IAEG*, Vol. 2, pp. 35-50, Madrid.
- [4] MALGOT, J., BALIAK, F., MAHR, T., 1976: *Kordíky – Králiky – prieskum zosuvov*. Záverečná správa. Manuskript, Archív GS SR Bratislava.
- [5] MALGOT, J., BALIAK, F., 1977: Vplyv hydrogeologických podmienok na vznik gravitačných porúch východných svahov Kremnických hôr. *Mineralia Slovaca*, 9, 5, s. 361-366, Bratislava.
- [6] MALGOT, J., BALIAK, F., MAHR, T., 1997: *Inžineirskogeologický prieskum ložiska Hg rúd Veľká Studňa*. Manuskript, Archív GS SR Bratislava.

V príspevku boli použité poznatky zistené v rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0599/08.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Marian Marschalko, Ph.D., Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba.

František BALIAK¹

**NAJČASTEJŠIE INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ PRÍČINY PORUŠENIA HISTORICKÝCH
HRADNÝCH OBJEKTOV**

**THE MOST FREQUENT ENGINEERING GEOLOGICAL CAUSES OF DESTRUCTION
HISTORICAL CASTLES**

Abstrakt

Na Slovensku sa nachádza veľké množstvo kultúrnych pamiatok, ktoré sú cenné po stránke historickej, urbanistickej a architektonickej. Medzi najatraktívnejšie patria hrady a zámky, ktorých je spolu asi 200. Prevažná väčšina, hlavne hradov, je v stave ruín odsúdených na zánik. Sú situované v blízkosti takmer zvislých skalných stien. Existencia pamiatok je vo väčšine prípadov priamo závislá na stabilite skalných masívov, ktoré sú najčastejšie ohrozené gravitačnými svahovými pohybmi.

V predkladanom príspevku uvádzame prehľad použitých metód výskumu porušenia a najčastejšie inžinierskogeologické príčiny, ktoré ilustrujeme na lokalitách hradov Strečno, Spišský hrad, Beckov, Devín, a Súľov.

Abstract

In Slovak Republic there are many cultural monuments having great historical, urban and architectural value. The most attractive are the castles and palaces. There are about 200 of them. Most of them are in ruins doomed to gradual destruction usually located above almost-vertical rock faces. The existence of these monuments depended mostly on stability of the rocks endangered with rock falls and other slope failures. In this paper, we present the most frequent engineering geological causes of the failures and results of their investigation on some rock faces.

1 UVOD

Na Slovensku sa nachádza veľké množstvo kultúrnych pamiatok, ktoré sú cenné po stránke historickej, urbanistickej a architektonickej. Medzi najatraktívnejšie patria hrady a zámky, ktorých je spolu asi 200. Prevažná väčšina, hlavne hradov, je v stave ruín odsúdených na zánik. Sú situované v blízkosti takmer zvislých skalných stien. Existencia pamiatok je vo väčšine prípadov priamo závislá na stabilite skalných masívov, ktoré sú najčastejšie ohrozené gravitačnými svahovými pohybmi.

V rámci zachovania časti kultúrneho dedičstva našich predkov bola v minulých rokoch venovaná značná pozornosť práve výskumu porušenia skalných masívov, na ktorom sme sa v nemalej miere podieľali aj pracovníci Katedry geotechniky SvF STU v Bratislave.

Najdôležitejšou úlohou výskumu bolo objasnenie inžiniersko-geologických príčin porušenia hradných masívov vrátane hradných objektov. V predkladanom príspevku uvádzame prehľad použitých metód výskumu porušenia a najčastejšie inžinierskogeologické príčiny, ktoré ilustrujeme na lokalitách hradov Strečno, Spišský hrad, Beckov, Devín, a Súľov.

¹ prof. RNDr. František Baliak, PhD., Katedra geotechniky, Fakulta stavebná, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 81368 Bratislava, tel.: (+421) 259 274 284, e-mail: frantisek.baliak@stuba.sk.

2 PREHLAD POUŽITÝCH METÓD VÝSKUMU PORUŠENIA HRADNÝCH SKALNÝCH MASÍVOV

Základnými metódami, ktoré sme použili boli metódy geologické (mapovacie práce, vrtné práce, geofyzikálne práce, geodetické práce, monitorovanie a p.) Hlavným predpokladom pre úspešné splnenie úloh je získanie exaktných kvantitatívnych údajov o základných zložkách inžinierskogeologických pomerov (o horninách, podzemnej vode a reliéfe), o ich vývoji i rôznych interakciách tzn. o prírodných geologických procesoch ako aj o ich vzájomnom spolupôsobení s inžinierskymi objektmi, (t.j. o vplyve geologických faktorov na stavby a údajov a nimi spätne vyvolaných antropogénnych geologických procesoch). Neustále sa vo väčšom rozsahu používajú nové laboratórne i terénne experimentálne metódy, metódy modelovania, výpočtové metódy s množstvom počítačových programov a p.

Pri riešení porušenia skalných masívov je vhodné využívanie podkladov a údajov zistených na základe fotografických metód. Zo širokého spektra pozitívnych týchto meraní sú vhodné hlavne metódy pozemnej stereofotogrametrie.

Fotogrametrické údaje slúžia pri:

- presnom zobrazení morfológie skalného masívu,
- inžinierskogeologickej interpretácii základných charakteristík skalného masívu formou profilov,
- určovaní štruktúrnych, litologických a tektonických rozhraní,
- zbere údajov o polohe a hustote diskontinuit,
- zbere údajov o blokovitosti v skalných masívoch,
- identifikácii kvázi homogénnych celkov podľa stability skalných masívov.

Okrem uvedených metód sa využívajú pri hodnotení skalných hradných masívov aj výsledky archeologických, architektonických, statických a iných prieskumov.

Všetky získané údaje slúžia pre objasnenie príčin porušenia historických objektov hradných skalných masívov, ktoré sú podkladom pre návrh sanačných, rekonštrukčných alebo konzervačných opatrení.

3 NAJČASTEJŠIE INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ PRÍČINY PORUŠENIA

Prevažná väčšina inžinierskogeologických príčin porúch na historických objektoch spočíva najmä v zmenách v geologickom prostredí, ktoré vyvolali jeho negatívnu interakciu s historickými objektami. Mnohé zmeny dokumentujú negatívne vplyvy dlhodobej antropogénnej činnosti, čo výrazne ovplyvňuje ich charakter ako aj ich rýchlosť a intenzitu.

Podrobná klasifikácia inžinierskogeologických príčin vzniku porúch je uvedená v prácach Baliaka a Malgota (1991), resp. Vlčka (1998).

Na základe našich získaných poznatkov z riešenia úlohy vyplýva, že najčastejšími inžinierskogeologickými príčinami porušenia historických objektov sú geodynamické procesy. Sú to predovšetkým svahové gravitačné javy, nezanedbateľný je však i vplyv procesov zvetrávania, erózie a krasovatenia, príp. pôsobenie viacerých javov súčasne.

Svahové pohyby vyvolávajú vznik porúch na objektoch hradov postavených na svahoch s citlivým stabilitným režimom. Najčastejšími príčinami porušenia sú svahové pohyby charakteru gravitačného rozvoľňovania, skalných zrútení a zriedkavejšie zosúvania.

Gravitačné rozvoľňovanie svahov postihuje predovšetkým objekty postavené na strmých svahoch, alebo v tesnej blízkosti skalných zrázov. Obyčajne sa kombinuje s intenzívnym postupom mechanického zvetrávania, v karbonátových horninách s procesmi krasovania. V dôsledku gravitačného rozvoľňovania sa na objektoch prejavuje sieť širokých ťahových trhlín. V extrémnych prípadoch môže dôjsť k transformácii creepového pohybu na pohyb rúťový, ktorý môže strhnúť i časť objektu. Gravitačným rozvoľnením sú postihnuté prakticky všetky hrady na Slovensku, postavené na

strmých kopcoch. Najvýraznejšie sú týmto procesom postihnuté hrady Spiš, Strečno, Súľov, Beckov, Devín a iné.

Blokové pohyby vznikajú v územiach s priaznivou geologickotektonickou stavbou, kde pevné skalné horniny majú plastické podložie. Vznikajú tak deformácie blokového typu, ktoré spôsobujú rozpad hradných masívov, napr. Spišský hrad.

Skalné zrútenia a zosuvy sú všeobecne považované za katastrofické geologické javy. Spôsobujú často kritické porúch na objektoch, resp. aj ich deštrukciu, hoci ich frekvencia je zriedkavá. Skalnými zrúteniami boli postihnuté, resp. sú ohrozené časti hradov Spiš, Strečno, Súľov, Beckov, Devín, Považský hrad, Hričov, Modrý Kameň a Kamenica. Prípady porušenia hradov zosúvaním sme nezaznamenali.

Zvetrávanie prebieha v podzákladi všetkých hradov na Slovensku. Pôsobí hlavne pozdĺž plôch diskontinuit, ktoré sa postupne rozširujú a prispievajú tak k intenzívnemu rozčleneniu masívov, často s výrazným reliéfom (napr. Spiš, Strečno, Hričov). Z hľadiska porušenia objektov sa nepriaznivo procesy zvetrávania prejavujú, v dôsledku rozdielnej tepelnej dilatácie na kontakte múrov so skalným podloží, kde jeho degradáciou dochádza často k zmenám zloženia a vlastností základových pôd, ktoré sú častou príčinou porúch. Veľmi rozšírené sú procesy zvetrávania, ktoré postihujú stavebný materiál a spojivo na objektoch.

Krasové procesy zohrávajú negatívnu úlohu hlavne pri rozširovaní poruchových línií tektonického a gravitačného pôvodu. Krasovanie tak napomáha k celkovému oslabeniu horninových masívov. Vyskytuje sa prakticky vo všetkých karbonatických hradných bralách na Slovensku. Zo študovaných lokalít sú to napr. Spiš, Strečno, Beckov, Devín, Krásna Hôrka. Napríklad na hrade Liptovský Hrádok, je krasovými procesmi rozšírená tektonická línia na charakter jaskyne a prechádza z masívu aj do podložia veže, ktorej múry sú porušené.

Z ďalších geodynamických procesov sa na porušenosti skalných brál podieľa erózia a premena hornín. Okrem geodynamických javov značnú úlohu zohrávajú účinky podzemných vôd, dynamické účinky, priťaženie a odľahčenie (Vlčko, 1998).

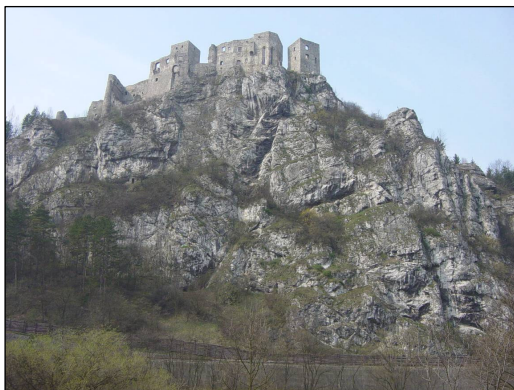
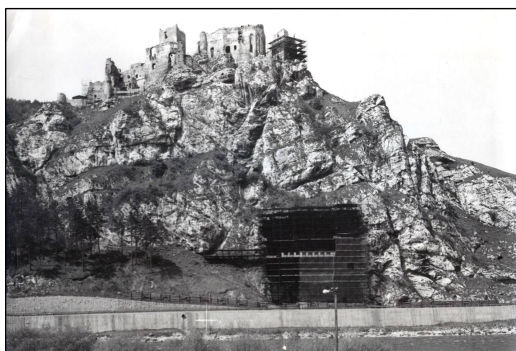
4 PRÍKLADY PORUŠENIA NIEKTORÝCH HRADOV

V ďalšom uvedieme niekoľko poznatkov, ktoré sme získali v rámci inžinierskogeologického hodnotenia skalných hradných masívov pre ich sanáciu (Strečno, Spišský Hrad), resp. pre pasportizáciu inžinierskogeologických príčin porušenia historických objektov (Súľov, Beckov, Devín).

4.1 Hrad Strečno

Hrad Strečno je postavený na skalnom brale vysokom 103 m v údolí rieky Váh na severnom okraji pohoria Malá Fatra. Jeho založenie sa pripisuje Matúšovi Čákovi v r. 1290 - 1321. Za vlády Leopolda II. v r. 1698 hrad násilne demolovali. V r. 1978 sa začala jeho čiastočná rekonštrukcia a konzervácia zvyškov muriva (obr. 1).

Rekonštrukčné a konzervačné práce si vynútili vypracovanie podrobného inžinierskogeologického prieskumu podzákladia hradu a stability skalnej steny, na okraji ktorej je hrad založený (Malgot et al. 1981). Prieskumné práce sa robili využitím metód pozemnej fotogrametrie interpretáciou snímok v stereokomparátore a priamym výskumom pomocou horolezcov. Zvlášť užitočná bola fotogrametria, pomocou ktorej sa zisťovali úložné pomery hornín, priebehy diskontinuit a vykreslili sa charakteristické profily skalnou stenou v mierke 1 : 200 pomocou stereometrografu.



Obr. 1: vľavo - Strečno- hradná skala z r 1981(foto P. Bartoš), vpravo - Strečno - hradná skala a sanovaný hrad z r. 2007 (foto F. Baliak).

Podrobný výskum podzákladia hradných múrov vo vnútri hradného areálu preukázal, že od zničenia hradu v r. 1698, kedy boli východy hornín v podzákladi zasutené ruinami, nebola jeho základová pôda tvorená dolomitickými vápencami triasového veku podstatnejšie znehodnotená zvetrávaním. Podstatne horšie sú však pomery v podzákladi východného obvodu hradu. Hradné múry sú tu v niektorých úsekoch založené na skalných previsoch, z ktorých sa v minulosti niektoré časti už zrútili. Okrem zvetrávania pôsobili nepriaznivo na ich stabilitu aj účinky zemetrasení. Najsilnejšie o intenzite 9° MCS bolo v r. 1858.

Prieskum stability hradnej skaly ukázal, že táto skala má mimoriadne komplikovanú geologicko-tektonickú stavbu. V exponovanej skalnej stene vystupujú vápence guttensteinského typu, komplex šedých vápencov s vložkami dolomitov a dolomity chočského typu (stredný a vrchný trias).

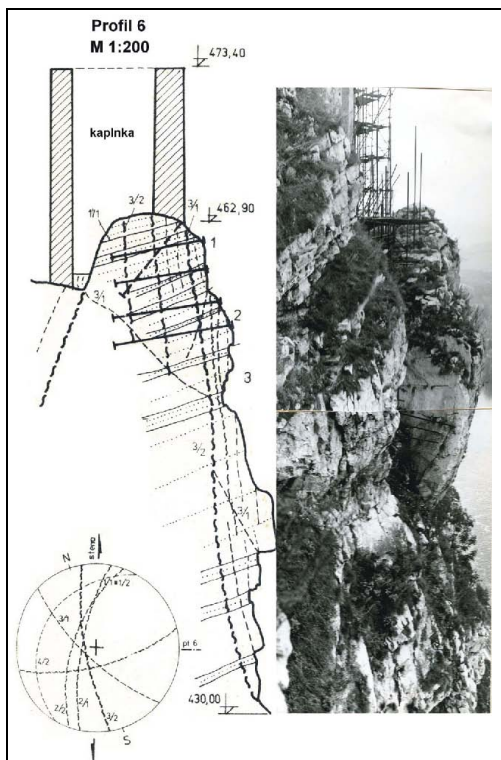
Horninový masív je výrazne tektonicky porušený, čo značne vplýva na stabilitu skalnej steny. Výsledkom podrobného štúdia plôch mechanickej diskontinuity sú i profily celou skalnou stenou a detailné profily podzákladia hradu.

Prieskum konštatoval, že skalná stena ako celok je stabilná. Z hradnej skalnej steny však môžu vypadávať relatívne malé bloky priamo z podložia hradných múrov. Preto sa venoval ďalší detailný prieskum iba podrobnému výskumu bezprostredného podložia múrov. Na základe podobnosti inžiniersko-geologických pomerov sme tu vyčlenili 8 úsekov, v ktorých sú základy hradu v približne rovnakých stabilitných podmienkach. V každom z vyčlenených úsekov sa zostrojil pomocou stereometrografu detailný profil v mierke 1 : 200. V každom sme potom vykreslili všetky hlavné diskontinuity zistené pri priamom terennom prieskume, ktoré vplývajú na stabilitu podzákladia hradu. Všetky študované diskontinuity majú v profiloch a v tektonogramoch svoje označenie. Profily umožnili aj schematické vykreslenie navrhovaných sanačných opatrení (obr. 2).

Rozsah navrhovaných sanačných prác bol pomerne rozsiahly. Podzákladie hradu bolo v takom zlom stave, že na jeho sanáciu bolo potrebné urobiť tieto práce:

- očistenie stien od produktov zvetrávania, ktoré hrozia vypadnutím,
- utesnenie škár trhlín, puklín, vrstevných plôch cementom,
- vyplombovanie dutín a kavern v podzákladi hradu,
- podmurovanie previsu múrmi, ktoré musia byť s horninovým masívom zmonolitnené pomocou mikropilot,
- podchytenie podzákladia múrov mikropilotami o dĺžke 4 - 6 m a rozstupom 0,5 m,
- kotvenie kalných previsov tyčovými kotvami o dĺžke 12 - 15 m a injektáž podzákladia hradu.

Všetky navrhované práce úspešne realizoval v rokoch 1980 - 2000 vtedajší n.p. Ingstav Brno z lešenia, ktoré sa spúšťalo z úrovne podlahy hradu do hĺbky asi 10 m.



Obr. 2: Detailný profil č. 6 s návrhmi kotvenia podzákladia objektov hradu.

Po ukončení práce bol hrad následne sprístupnený verejnosti. V roku 2007 sme zhodnotili účinnosť navrhnutých a realizovaných opatrení (Malgot, Baliak, Solčiansky, 2007).

Vizuálny monitoring podzákladia celého hradu a stability východnej skalnej steny vysokej až 103 m nad štátnou cestou 1/18 preukázal správnosť záverov geologickej expertízy. V hornej časti hradu, v jeho častiach založených na spevnenom podloží sa neprejavili žiadne, ani minimálne deformácie. Hradné steny pôvodne porušené 10 - 20 cm širokými zvislými trhlinami sú doteraz kompaktné bez mikroskopických náznakov účinkov nerovnomerného sadania.

Podzákladie východných skalných múrov založených na skalných previsoch neprejavuje žiadne známky porušenia. Skalná stena je dokonale zmonolitnená. Pri voľnom pohľade nie sú viditeľné žiadne stopy po kotvových platniach a ukončeníach mikropilót prikrýtych kamuflážou.

Na základe nášho odporúčenia vykonávajú tu pracovníci ŠGÚDŠ Bratislava minitoring pohybov bloku v asi 1,5 m širokej otvorenej diskontinuite v S časti hradu.

Výsledky merania od roku 1996 potvrdili, že pohyby na tomto výraznom odklonenom bloku od masívu v kubatúre cca 560 m³ za 6 rokov neboli väčšie ako 1,2 mm, pričom časť tohto posunu možno pripočítať k sezónnym zmenám teploty (Petro, in Vlčko et al., 2002).

Prípadným zrútením tohto bloku však nebude kaplnka postihnutá.

Podzákladie východných skalných stien priamo na okraji skalnej steny možno považovať za stabilné. Stabilizácia bola vykonaná do hĺbky 4 – 10 m pod úroveň základov múrov tak že statika hradu nebude narušená prípadným odpadnutím nižšie ležiacich častí hradnej skaly, ktoré neboli spevnené pre nezáujem Slovenskej správy ciest.

V nesanovaných častiach hradnej skaly možno každoročne pozorovať opadávanie sutí a blokov vápencov, ktoré priamo ohrozujú premávku na štátnej ceste 1/18. Jej úsek vedený pod hradom Strečno patrí medzi najohrozenejšie úseky na Slovensku.

4.2 Spišský hrad

Spišský hrad – Národná kultúrna pamiatka – patrí medzi najrozsiahlejšie hrady v Strednej Európe (obr. 3). Bol založený v r. 1120. Jeho stavebný vývoj bol zložitý. Po požiari v r. 1780 bol hrad opustený. V 80-tich rokoch začala rekonštrukcia hradieb, konzervácia jeho objektov a statické zabezpečenie skalných stien, na ktorých je hrad založený.



Obr. 3: Spišský hrad (západná časť) (Foto J.Malgot).

Spišský hrad je postavený na travertínovom telese, ktoré je intenzívne porušené gravitačnými svahovými deformáciami blokového typu. Hradné bralo je rozlámané na kryhy a bloky, ktoré sa pomaly nakláňajú, zabárajú a kľžu po flyšovom plastickom podklade, ktorý je tvorený paleogénnymi slienitými ílovcami a vložkami pieskocov. Hradné múry sú teda postavené na travertínových blokoch, ktoré sú rôznym spôsobom odseparované a posunuté smerom k obvodu kopca.

Podložie travertínových telies tvorí paleogénne súvrstvie centrálneokarpatského flyša v prechodnom pieskovcovom vývoji, kde sa pieskovce a bridličnaté slieňovce i prachovce striedajú asi v pomere 2:1. Smer flyšových vrstiev v okolí Dreveníka má mierny sklon na JZ až JJZ, cca 5 - 10°.

Geologicky mimoriadne rýchly pohyb jednotlivých blokov spôsobil vážne škody na objekte hradu. Zapríčinil zrútenie niektorých periférnych hradieb, početné roztrhnutie múrov a vykrútenie podperných stĺpov v miestnostiach pod citadelou. V dôsledku pohybov blokov došlo v minulosti k zrúteniu jednej z dvoch murovaných veží, k vyklopeniu blokov travertínov aj s múrmi a miestnosťami vo východnej časti medzinádvorja.

Sanácia objektu, ktorý je založený na pohybujúcich sa blokoch bola a je mimoriadne komplikovaná. Nie je možné túto otázku riešiť bez podrobného inžinierskogeologického výskumu, zmapovania a dokumentácie všetkých trhlín, pozdĺž ktorých dochádza ku gravitačnému rozpadu podzákladia hradu.

V rámci uvedeného bolo nutné vykonať tieto prieskumné práce (Malgot a kol., 1991):

- jadrové vrty v areáli hradu a na jeho vonkajšom obvode slúžiace na overenie hrúbky travertínových blokov a na odber vzoriek,
- inžinierskogeologický výskum a hodnotenie skalných stien hradu pomocou priameho výskumu a s použitím metód pozemnej fotogrametrie,
- výskum zóny styku obvodových múrov so skalnou stenou,
- laboratórne práce – zisťovanie fyzikálno-mechanických vlastností skalných hornín a zemín,
- špeciálne terénne skúšky z mechaniky hornín,
- osadenie prístrojov na meranie aktivity svahových pohybov na diskontinuitách,

- vypracovanie fotodokumentácie,
- geotechnické analýzy, výpočty stability s ideovým návrhom technických stabilizačných prác.

Na základe podrobného zhodnotenia týchto materiálov sa navrhla celá škála stabilizačných opatrení (napr. očistenie skalných stien od zvetralín, vyblombovanie trhlín a kavern, injektáž, kotvenie a p.), ktoré sa postupne realizovali podľa vyčlenených úsekov (obr. 4). Prevažná časť hradu je sprístupnená verejnosti.



Obr. 4: Sanovaný hradný múr (foto F. Baliak).

4.3 Hrad Beckov

Beckovský hrad má bohatú históriu od pôvodne kráľovského pohraničného strážneho hradu, cez gotický hrad za čias Stiborovcov a renesančné panské sídlo Bányovcov. Po požiarí v r. 1929 sa už nepoužíval a postupne chátral (obr. 5).



Obr. 5: Hrad Beckov (severná časť), (foto F. Baliak).

V sedemdesiatych rokoch začali stavebné práce statického zabezpečenia a konzervácie hradného areálu. Sanovaný bol objekt Donjon, čiastočne rekonštruované boli západné objekty horného hradu a na niektorých objektoch boli vykonané konzervačné práce. Všetky zásahy boli uskutočnené bez inžinierskogeologického zhodnotenia hradného brala, čo bolo aj dôvodom, že bol hrad zaradený medzi historické objekty, na ktorých sa vykonala inžinierskogeologická pasportizácia (Baliak et al, 1994).

Na geologickej stavbe hradného brala sa z predkvartérnych členov podieľajú tatrické mezozoické jednotky a súvrstvia chočského príkrovu (obr.6).



Obr. 6: Účelová inžinierskogeologická mapa okolia hradu Beckov.

1-hlinito-kamenité navážky, 2-hlinito-kamenité sute – delúvium, 3-štrky, piesky, hliny – alúvium (1-3 kvartér), 4-masívne vápence s polohami dolomitov (vrch. trias), 5-hľúznaté reiflingské vápence s rohovcami (str. trias – ladin), 6-guttensteinské vápence (str. trias – anis), 4-6 chočský príkrov, 7-slienité bridlice s vložkami pieskovcov (alb-cenoman), 8-slienité bridlice a vápence (neokom), 9-pestré bridlice s vložkami dolomitov (kenper), 7-9 obalová jednotka, 10-násunová plocha chočského príkrovu (a-zistená, b-predpokladaná), 11- významné tektonické línie a diskontinuity s udaním sklonu (a-zistené, b-predpokladané), 12-smer a sklon vrstiev, 13-hranice hornín (a-zistené, b-predpokladané), 14-línia geologického profilu, 15-názvy objektov hradu (1-Severný palác, II-Kaplnka so sakristiou, III-Západný renesančný palác, IV-Delová bašta, V-technická pec, VI-Donjon, VII-Predhradia, VIII-Obranná veža, IX-nádvorie Dolného hradu, X-hradby

Hradný vrch je zo S, SZ, Z a JZ strany ohraničený skalnými stenami výšky 20 až 60 m s priemerným sklonom 70 - 80°. Miestami je sklon skalných stien až 90°, resp. Na niektorých miestach sú vytvorené previsy.

Masív hradnej skaly je na jeho JV strane ohraničený výraznou násunovou plochou medzi obalovou jednotkou na JV a chočským príkrovom na SZ. Smer násunovej plochy je teda JZ-SV, so smerom sklonu priemerne 128° a jej sklonom 82°.

Horninový masív hradnej skaly je intenzívne porušený systémom tektonických línii, puklín a trhlín s rozdielnym hĺbkovým a priestorovým dosahom.

Najvýznamnejší systém tektonických diskontinuit (I.) má orientáciu S-J s hodnotami smeru sklonu 270 - 290°, resp. 62° až 110° a sklonom 52° - 90° k Z resp. V. Uvedený systém sa v rozsahu hradnej skaly niekoľkokrát opakuje vo vzdialenosti 5 - 30 m. Na uvedený systém diskontinuit nadväzujú priečne systémy (II., III.). S priečnych systémov diskontinuit je výraznejší systém II., tento systém má orientáciu zhruba SZ-JV s hodnotami smeru sklonu 8° - 50°, resp. 195° - 245° a sklonom 55° - 90° k JZ resp. SV. Aj tento systém diskontinuit III., ktorý má orientáciu zhruba JZ-SV s hodnotami smeru sklonu 304° - 353°, resp. 130° - 170° a sklon 20° - 90° k SZ resp. JV.

Z predchádzajúceho hodnotenia horninového masívu vyplýva, že v priestore hradnej skaly Beckov sa vytvorili priaznivé podmienky pre vznik pomalých, podpovrchových svahových deformácií charakteru rozvoľňovania a odvalového rútenia. Mechanizmus vzniku týchto deformácií bol podmienený uvoľňovaním horizontálnych napätí po výzdvihu skalného brala a rejuvenizácií starších zlomových systémov, ako i spolupôsobením krasového procesu a procesov zvetrávania.

Uvedené procesy ohrozujú stabilitu objektov hradu hlavne v podzákladi Horného hradu od objektu Delovej bašty po obytný trakt Paláca. V ostatných častiach nie je bezprostredne ohrozená stabilita stien pod objektami hradu.

Z ďalších geodynamických procesov sa tu vyskytujú prejavy krasovatenia a zvetrávania. Krasovatenie zohráva svoju úlohu pri rozširovaní poruchových línii a krasové javy tak napomáhajú k celkovému oslabeniu horninového masívu hradnej skaly.

Zvetrávanie je rozšírenejšie na objektoch hradu ako vo vlastnom masíve. Karbonátové komplexy sú relatívne odolné proti procesom zvetrávania. Horniny sú vo väčšine navetrané, ojedinele zvetrané. Väčší rozsah zvetraných hornín je v priestoroch tektonicky podrvených zón. Vo väčšej miere sa procesy zvetrávania prejavujú na kontakte hradných múrov s podložíom.

Na základe podrobného inžinierskogeologického hodnotenia skalného brala hradu Beckov, s intenzívnym využitím fotogrametrických snímok bolo zrejmé značné porušenie skalného masívu. Následne boli ideovo navrhnuté sanačné, resp. stavebno-konzervačné práce, ktoré boli postupne vykonávané a hrad je v súčasnosti sprístupnený širokej verejnosti.

V blízkej dobe má započať celková rekonštrukcia vybraných častí hradu na základe podrobného inžinierskogeologického prieskumu.

4.4 Hrad Devín

Hrad Devín je postavený na impozantnom skalnom brale na sútoku riek Dunaj a Morava. Hradný skalný masív je tvorený hlavne karbonatickými horninami (vápence, dolomity, brekcie), kremencami a z časti fylitmi (Baliak a kol., 1997).

Pri výskume tohto skalného masívu sa okrem podrobného geologického mapovania, terénnych meraní plôch diskontinuit, ktoré porušujú skalný masív a pod. využili na celkové objasnenie štruktúrno-geologickej charakteristiky horninového masívu výsledky fotogrametrických metód.

Výsledkom výskumu bolo konštatovanie, že horninový komplex hradného skalného masívu silne porušujú strmé poruchy, ktoré sme podľa veľkosti a rozsahu rozdelili na pukliny I., II., a III. Rádu (Baliak et al., 1997). Najvýznamnejšie majú strmý úklon od 70° do 80°, šírku až do 1,5 m, hlavný smer SZ-JV a hĺbkový dosah desiatky metrov. Medzi týmito zlomami sa vyvinul systém paralelných zlomov smeru S-J až SSZ-JJV so strmým sklonom na Z. Sintrový nátek na stenách

zlomov a psamitická výplň, ktorá okrem iného obsahuje aj sintre z bádenu (stredný miocén), poukazujú na vznik zlomov pred bádénom a na stabilitu masívu v posledných 15 miliónov rokov.

Jestvujúce poruchy hradných múrov sú dôsledkom nekvalitného vykonania stavebných prác na niektorých miestach pri rekonštrukcii hradu. Stabilitu hradných objektov by mohla negatívne ovplyvniť rejuvenácia zlomov, ako aj geodynamické faktory.

Z uvedených dôvodov aj napriek sprístupnenia hradu verejnosti, stále prebiehajú výskumné a monitorovacie práce, ako aj ďalšie sanačné a rekonštrukčné práce.

V areáli hradu Devín bola samostatne vykonaná stabilizácia skalnej veže, na ktorej je postavený objekt Panenská veža (Mníška), (obr. 7).



Obr.7: Sanovaný objekt Panenskej veže (Mníška), (foto J.Malgot).

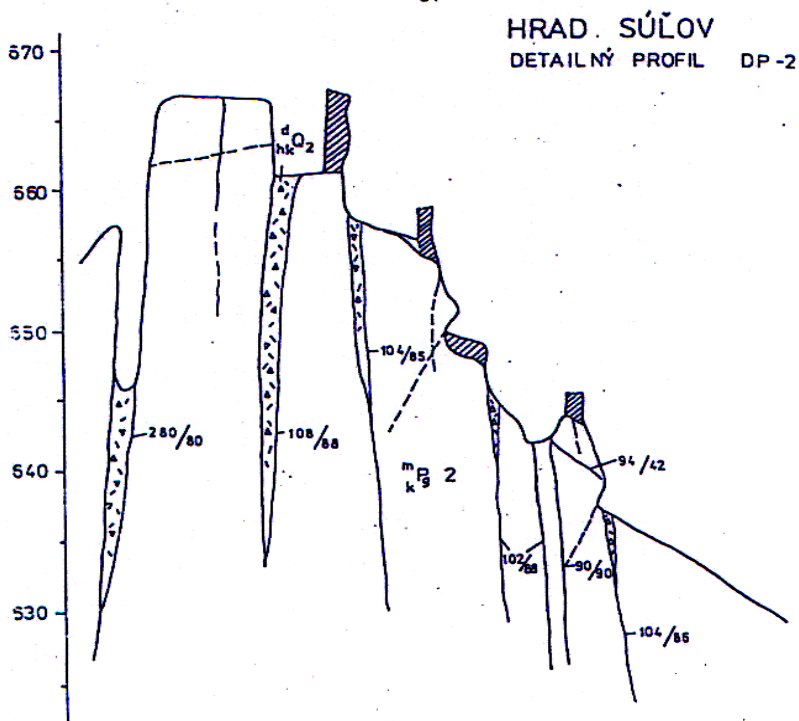
4.5 Hrad Súľov

Objekty hradu Súľov sa rozprestierajú na skalnom rozčlenenom hrebeni, ktorý má smer približne S-J a je tvorený paleogénnymi zlepenkami, ktoré ležia na kriedových flyšoidných súvrstviach (obr. 8). Na V a Z strane sú skalné steny výšky do 60 m so sklonom 70° - 80°, miestami až 90°. Intenzívne gravitačné porušenie masívu sme zobrazili v detailných priečnych profiloch v M = 1 : 250/250 s údajmi o smere sklonu a o sklone diskontinuit (obr. 9).

Celý komplex hradu je v stave ruín, ktorých akákoľvek rekonštrukcia je nereálna a preto bola navrhnutá len prípadnú konzerváciu ojedinelých zbytkov hradu.



Obr. 8: Hradná skala Súľovského hradu (foto F. Baliak).



Obr. 9: Detailný profil DP 2.

5 ZÁVER

Hlavnou úlohou inžinierskogeologického výskumu a prieskumu pre statické zabezpečenie objektov slovenských hradov je objasnenie základných podmienok, faktorov a príčin vzniku ich porušení. Táto úloha sa dá riešiť len v úzkej spolupráci s celým radom špecialistov, pretože príčiny ich porušení môžu byť vyvolané aj inými príčinami.

Pre jednoznačné špecifikovanie príčin vzniku porúch je spravidla nutné robiť okrem kompletného prieskumu základovej pôdy pomocou vŕtaných a kopaných sond i celý rad doplňujúcich prác. Vhodné sú práce mapovacie, geofyzikálne, geodetické, nivelačné pozorovania a metódy pozemnej fotogrametrie. Pomocou rôznych metód sa sleduje režim pohybov na trhlínach, sadanie blokov, dynamika svahových pohybov, prípadne i režimové pozorovanie hladiny podzemnej vody.

Praktickým výstupom inžinierskogeologického prieskumu má byť následne ideový návrh efektívnej sanácie. Sanačný zásah musí byť navrhnutý tak aby bol zameraný na eliminovanie príčin vzniku porúch a aby bola zabezpečená dostatočná stabilita.

LITERATURA

- [1] BALIAK, F., MALGOT, J., 1991: Inžinierskogeologické príčiny porušenia stavebných objektov. In *Zbor. Ref. ved. konf.: Inžinierska geológia – výskum a prax*, Bratislava SAIG, s. 148-152.
- [2] BALIAK, BARTÓK, SATINA, KOPECKÝ, MALGOT, 1994: *Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. Hrad Beckov*. Manuscript KGTE SvF STU Bratislava
- [3] BALIAK, F., MALGOT, J., PÍPÍK, R., BARTÓK, J., KOPECKÝ, M., SOLČIANSKY, R., 1997: Prieskum a sanácia skalného masívu hradu Devín. In *Zbor. Z 3 geotech. konf. „Interakcia stavieb a horninového prostredia“*, STU Bratislava, s. 277-282
- [4] MALGOT, J., BALIAK, F., BARTOŠ, P., MAHR, T., ONDRÁŠIK, R., SIKORA, J., ŠAJGALÍK, J., 1981: *Inžinierskogeologické posúdenie hradného masívu Strečno*. Manuscript, expertíza, archív GTE SvF STU, Bratislava
- [5] MALGOT, J., BALIAK, F., SIKORA, J., 1989: Inžinierskogeologické problémy sanácie hradov na Slovensku. In: *Geologický pruzkum 1/31*, s. 7-11, SNTL Praha,
- [6] MALGOT, J., BALIAK, F., BARTÓK, J., VLČKO, J., 1992: Inžinierskogeologický prieskum a geotechnické opatrenia Spišského hradu. In *Sbor. příp. medzinár. konf. Zakladání 92*, Brno s. 11-17
- [7] MALGOT, J., BALIAK, F., SOLČIANSKY, R., 2007: Zhodnotenie účinnosti zlepšenia vlastností podložia hradu Strečno. In: *Zbor. 8. Medz. geotechnickej konferencie „Zlepšovanie vlastností základových pôd“*. STU, SvF, KGTE Bratislava, s. 382-389, 2007
- [8] VLČKO, J., et al., 1998: INŽINIERSKOGEOLOGICKÁ PASPORTIZÁCIA VYBRANÝCH HISTORICKÝCH OBJEKTŮV. Záv. Správa MŽP SR, KIG PRIF UK, KGTE SvF STU Bratislava, s. 36
- [9] VLČKO, J., PETRO, L., BAŠKOVÁ, L., POLAŠČINOVÁ, E., 2002: *Stabilita horninových masívov pod historickými objektami*. Geol. Práce, správy 106, ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 89-96

V príspevku boli použité poznatky z riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0599/08

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Marian Marschalko, Ph.D., Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba.

Marian MARSCHALKO¹, Tomáš PEŇÁZ², Lucie FOJTOVÁ³

**THE IMPORTANCE OF IMPLEMENTING TRANSPARENT GEOLOGICAL STRUCTURE
INTO LAND-USE PLANNING DOCUMENTATION**

**DŮLEŽITOST IMPLEMENTACE PŘEHLEDNÉ GEOLOGICKÉ STAVBY PRO ÚZEMNĚ-
PLÁNOVACÍ DOKUMENTACI**

Abstract

Land-use planning is an activity that permits rational utilization of the landscape on the basis of certain natural connections. It is a system that develops in time and brings new information and experience gained from a number of fields. This better helps to reflect the needs of the landscape and at the same time to improve this sophisticated process. There is no doubt that it is the information on the geological environment that belongs among information which limits the utilization of landscape in terms of its exploitation. Talking of human activities, even more important are details on the engineering-geological environment focused on the research of such part of the environment that interacts with anthropogenic activities, engineering structures in particular. The geological structure is a very complex environment changing in space and thus the elementary need for its exploitation in land-use planning are simplified models with similar characteristics. Those needs are met by expansion of engineering-geological zones. In land-use planning there is a significant deficit in this issue not only in the Czech Republic but world-wide. An example of a possible solution is drawn in this paper applied in a researched part of the city of Ostrava with its exceptional anthropogenic changes in the geological environment in the city districts of Slezská Ostrava (Koblov, Antošovice) and outside Ostrava, in Šilheřovice, Vrbice and Pudlov, defined by a map sheet 15-41-25 in 1:10 000 scale.

Abstrakt

Územní plánování je lidskou činností, která umožňuje využívání krajiny na základě určitých zákonitostí. Je to systém, který se vyvíjí v čase a přináší nové informace a zkušenosti získávané z řady oborů. Umožňuje to více reflektovat potřeby krajiny a zároveň zkvalitnit tento sofistikovaný proces. Zcela jednoznačně do typu informací, které limitují možnosti krajiny z hlediska jeho využívání patří informace o geologickém prostředí. Ještě vyšší formou zaměřeno na lidskou činnost jsou údaje o inženýrskogeologickém prostředí zaměřené na zkoumání té části prostředí, která přichází do interakce s antropogenní činností, zejména však s inženýrskými díly. Geologická stavba je velice složitá a v prostoru se měnící systém, proto elementární potřebou jeho využívání v územním plánování jsou zjednodušené modely s podobnými charakteristikami. Tyto potřeby splňuje rozšíření inženýrskogeologických rajonů. V územním plánování ve vztahu k této problematice existuje v

¹ Doc. Ing. Marian Marschalko, Ph.D., Institut inženýrské geologie, Fakulta hornicko-geologická, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 323 505, e-mail: marian.marschalko@vsb.cz.

² Ing. Tomáš Peňáz, Ph.D. Institut geoinformatiky, Fakulta hornicko-geologická, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 325 478, e-mail: tomas.penaz@vsb.cz.

³ Ing. Lucie Fojtová, Institut inženýrské geologie, Fakulta hornicko-geologická, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 323 505, e-mail: lucie.fojtova@vsb.cz.

České republice, ale také ve světě značný deficit. Příklad možného řešení přináší publikace s aplikací ve výzkumném území města Ostravy s výjimečnými antropogenními změnami geologického prostředí v městských obvodech Slezská Ostrava (Koblov, Antošovice) a vně Ostravy zasahuje do Šilheřovic, Vrbice a Pudlova, vymezeném mapovým listem 15-41-25 v měřítku 1:10 000.

1 INTRODUCTION

The objective of the paper is to point out the necessary application of information sources on the geological structure within decision-making and information processes in land-use planning and procedures granting building permits at the building offices by means of geographic information system technologies. The geological structure is an environment in which constructions are founded, water is gained and simultaneously we prevent its effects on the constructions, we need it as a source of building materials, etc. It is a great drawback not to make use of the information within land-use planning. At the same time, however, we need certain generalization of geological structure in relation to future foundation engineering. This requirement is met by expansion of engineering-geological zones in the interest areas in relation to the landscape element, etc.

The studied area (model area 3, determined by a topographic map 15-41-25 in 1:10 000 scale) is located in Ostrava, the third largest city agglomeration, in the north-east of the Czech Republic (city districts of Slezská Ostrava - Koblov, Antošovice and outside Ostrava it reaches to Šilheřovice, Vrbice and Pudlov), which is however most affected by anthropogenic industrial and mining activities among Czech cities as well as in the European scale.

2 EVALUATION OF ENGINEERING-GEOLOGICAL ZONES

In terms of land-use planning, design of constructions and operation of engineering work as well as from the point of view of environmental protection it is necessary to study such components of the geological environment and geodynamic phenomena which are important from the point of view of protection from undesirable geological processes. These are called *components of engineering geological conditions* and they for example include rocks quality as foundation soils, depth and ground water aggressive action, relief gradient and division, slope deformation, internal erosion phenomena, etc.

We must not forget the evaluation of possible realization of a specific engineering plan, including consideration of expected interaction of the planned engineering work with the geological environment, which is dealt with within the study of *engineering geological conditions*.

A practical solution of this situation in terms of land-use planning is application of *engineering geological zoning* based on the evaluation of spreading the zones on the examined interest area. It is the case of singling out regions differing in character and degree of uniformity of the above stated engineering geological conditions and reference degree of suitability for certain ways of economic use. The degree of the expressed uniformity or suitability depends on taxonomic level of singling out a zoning unit selecting the evaluation according to the engineering geological zones.

On the basis of the study it was discovered that in the interest area the largest zone is the *lowland stream deposits zone*, which takes up 42.3 % (7.72 km² - Fig.1,2). In terms of the evaluation of development it is interesting that even if only 12.5 % of the built-up area is situated in the zone, this represents up to 63.9 % of the total built-up area (Fig. 3) to be found in the interest area. The percentage of the new development is also high, up to 72.7 %, which is apparent from the point of view of the evaluated period since 1946 (Fig. 4). The distribution of landscape elements in this zone (Fig. 5) shows that the most pronounced is fields and meadows (61.3 %), followed by forests (15.1 %), built-up area (12.5 %) and water areas (8.1 %). The zone is characteristic for inhomogeneous, low bearing and unevenly compressible foundation soils and soils of soft-firm consistency. The ground-water level in this zone is often as shallow as 2 m. In the zone in question there are the following foundation soils: badly graded gravel (G2), gravel with fine soil ingredients (G3) and dirty gravel (G4), next there is sand with fine soil ingredients (S3), loamy sand (S4) and clayey sand (S5).

Moreover, there is sandy loam (F3), sandy clay (F4) and clay with low to medium plasticity (F6). An example of the development in the zone is the new development in the municipalities of Vrbice, Pudlov, Antošovice, new highway D47, etc.

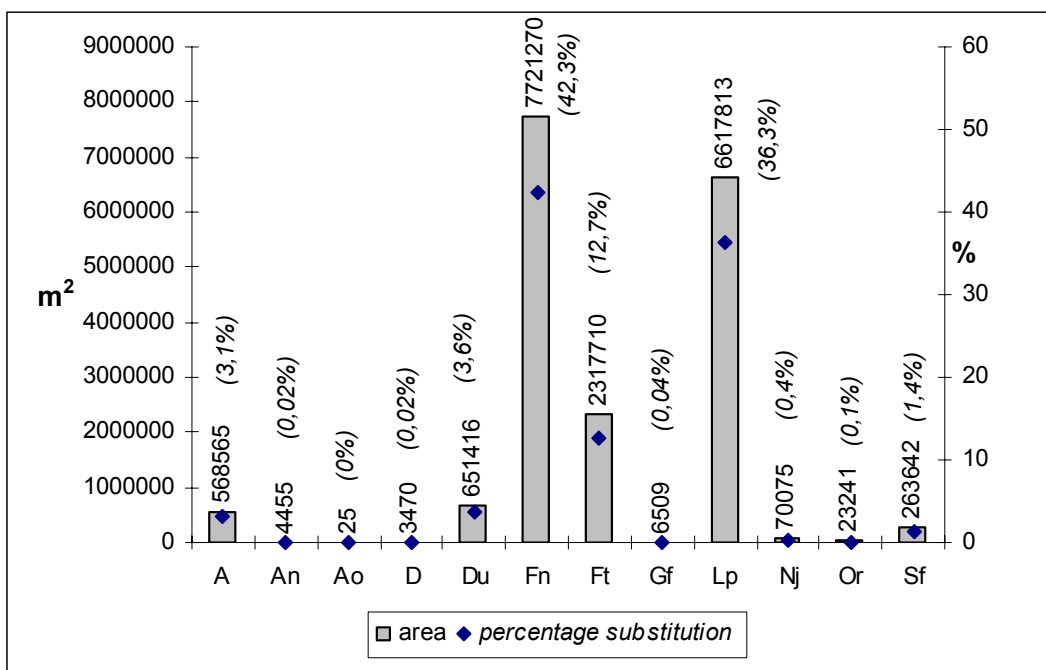


Figure 1: Areal and percentage representation of zones within the whole interest area.

Glossary:			
A	Zone of spoil banks and waste dumps	Ft	Zone of Pleistocene river terraces
An	Spoil banks, stock piles and dumps zone	Gf	Predominantly noncoherent glaciofluvial and glacial lake sediments zone
Ao	Zone of settling basins and waste dumps	Lp	Zone of polygenetic loess sediments
D	Deluvial sediments zone	Nj	Zone of Miocene sediments
Du	Deluvial-fluvial sediments zone	Or	Zone of organic soil
Fn	Lowland stream deposits zone	Sf	Undiscriminated flysch sediments zone

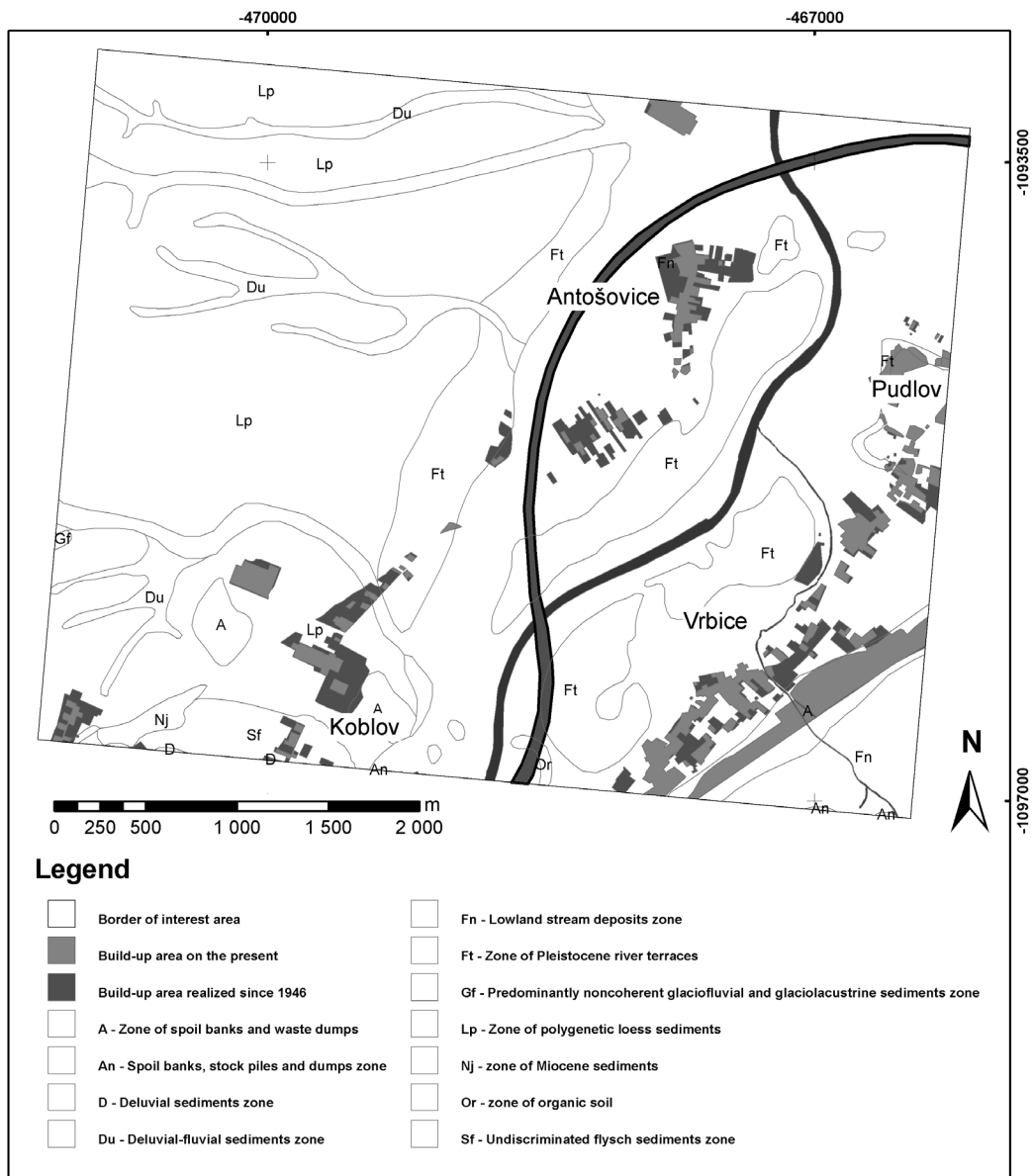


Figure 2: Engineering-geological zones in the built-up area.

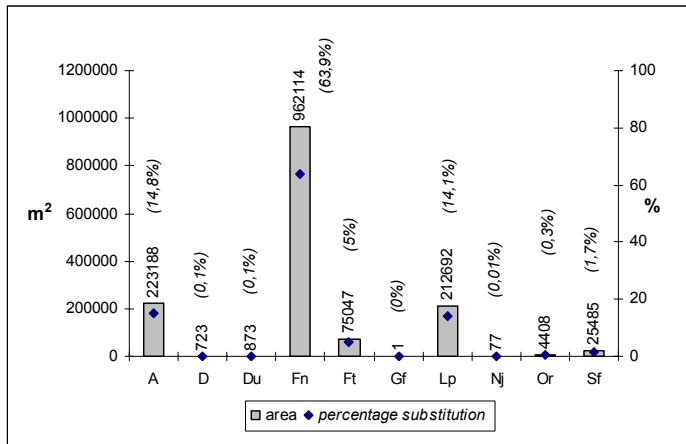


Figure 3: Areal and percentage representation of zones within the current built-up area (legend - fig.1).

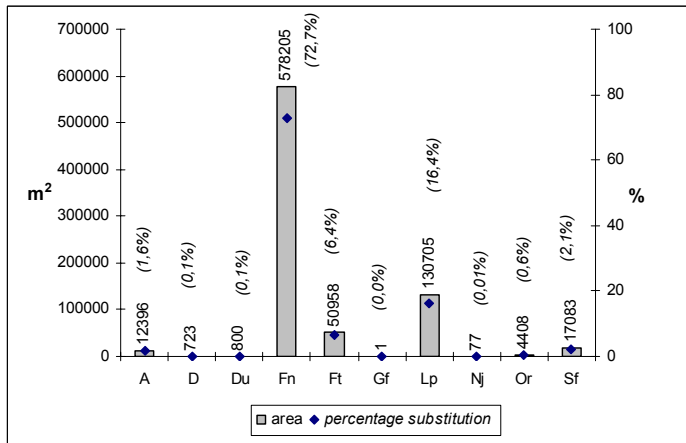


Figure 4: Areal and percentage representation of zones (legend - fig.1) within the newly built-up area (1946 – present).

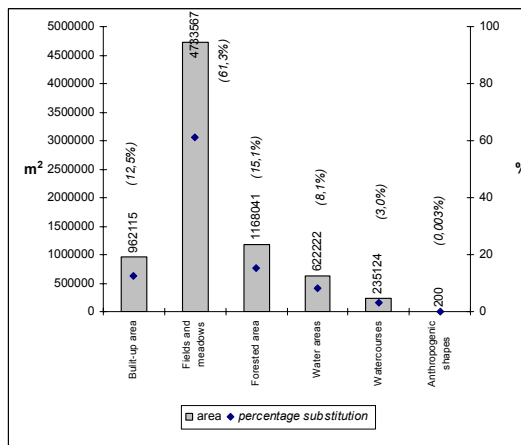


Figure 5: Areal and percentage representation of selected landscape elements at the present in the zone of alluviums lowland streams.

The second largest zone in the interest area is the *zone of polygenetic loess sediments* with 36.3 %. (Fig. 1, 2). Despite the fact only 3.2 % of the development is built there (Fig. 6), this makes up 14.1 % (Fig. 3) of the total built-up area and 16.4 % of the new development built after 1946 (Fig. 4). The reason for this distribution is, apart others, low development in the interest area. This is also the reason why the most spread landscape element in this zone is forests (68.5 %) and fields and meadows (28 % - Fig. 6). In other studies of the surroundings the built-up area was dominant in the zone of polygenetic loess sediments. It is characterized as a zone of intermediate bearing foundation soils, predominantly of firm consistency, of low to medium plasticity. They are medium permeable. This rock material is, for example, potentially usable in the brickware production and is also suitable as agricultural land. As foundation soils there are clays with low to medium plasticity.

An example of the implemented development belonging to this zone is the premises of the former Koblov Mine (south of the interest area) and part of the development on the periphery of Petřkovice (south-west of the interest area).

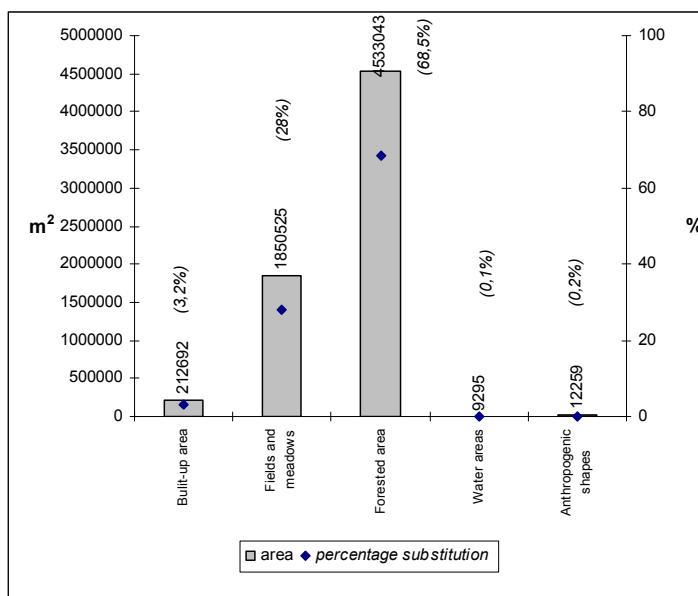


Figure 6: Areal and percentage representation of selected landscape elements at the present in the zone of polygenetic loess sediments.

As for the third largest *zone of Pleistocene river terraces* (12.7 %), the biggest landscape element (Fig. 7) is water areas (42.8 %), followed by forests (30.9 %) and fields and meadows (22.8 %). The built-up area takes up only 3.2 % of the zone area, while the development represents 5 % of the total built-up area. The soils of this zone are bearing, stable and little compressible foundation soils. They are predominantly compact, with the ground-water level under the foundation engineering level. The gravels and sands are well permeable and form an important ground water aquifer. With regard to the compactness and granularity, they are of medium to hard getting characteristic. As foundation soils there is sand with fine soil ingredient (S3) and loamy sand (S4), badly-graded gravel (G2), gravel with fine soil ingredient (G3) and dirty gravel (G4). As mentioned above, the majority of the zone is covered by water areas, it is mainly Lake Vrbické; the built-up area means houses in the east border of the Černý Forest.

The *deluvial-fluvial sediments zone* (3.6 % of the total area) is largely made up by forests (80.6 %), followed by fields and meadows (18.4 %). The built-up area (Fig. 8) there ranges in negligible areal values (0.1 %), and thus a further analysis of the built-up area is not required. The zone is characteristic for inhomogeneous, medium to low bearing foundation soils that fill shallow wash-depressions. For foundation engineering they are low suitable to unsuitable, of slight to medium getting characteristic. The foundation soils in this zone are sandy loam (F3), sandy clay (F4), soils

with low to medium plasticity (F5) and clays with low to medium plasticity (F6). In addition, there is loamy sand (S4) and clayey sand (S5).

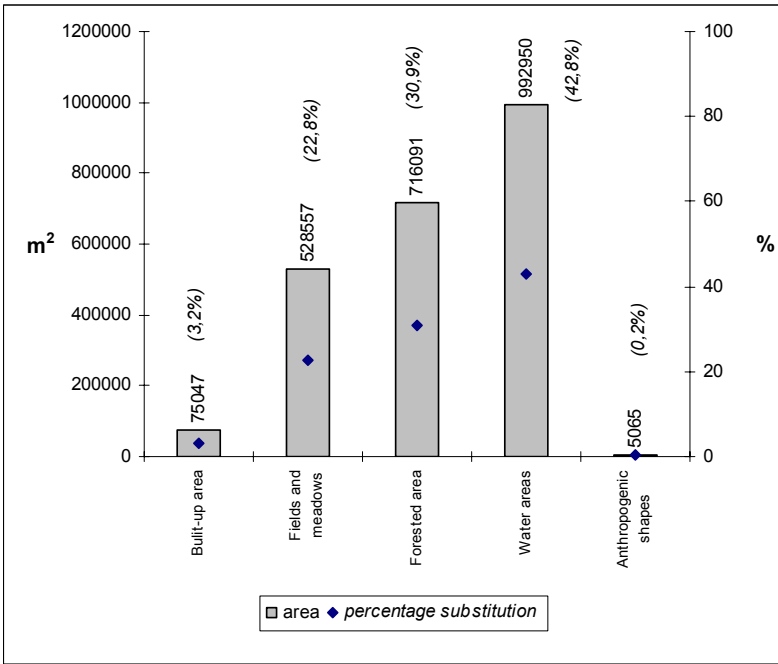


Figure 7: Areal and percentage representation of selected landscape elements in the zone of Pleistocene River terraces at the present.

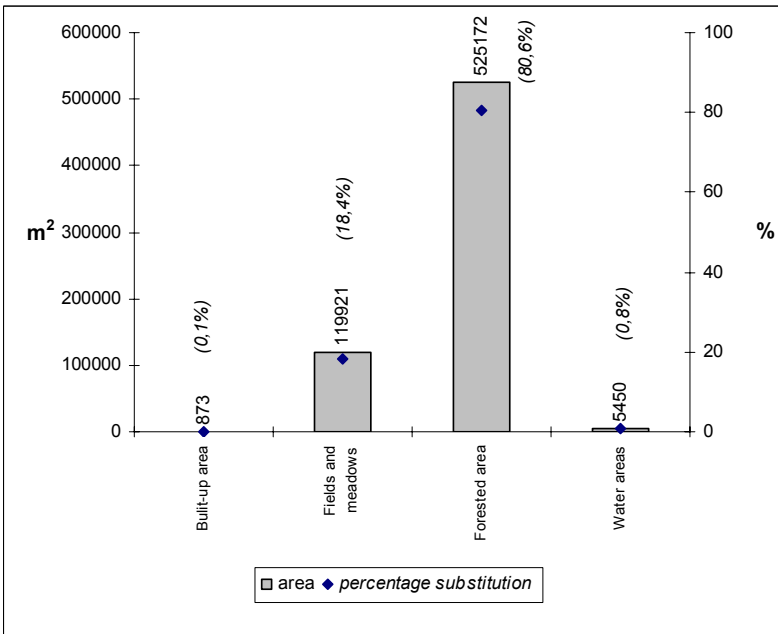


Figure 8: Areal and percentage representation of selected landscape elements in the zone of deluvial-fluvial sediments at the present.

From the engineering-geological point of view and future development it is necessary to be careful with anthropogenic zones – *the zone of spoil banks, dumps and waste* (3.1 % of the area) (Fig. 9) and the *spoil banks, stock piles and dumps zone* (0.2 %). There is also the *zone of settling basins and waste dumps*, but as it covers a very small area in the interest area (25 m²) its further evaluation is unnecessary. With the first zone the most spread landscape element is built-up area (39.3 %), fields and meadows (39.2 %), anthropogenic shapes (14.6 %) and forests (14.6 %). In this zone 14.8 % of the present built-up area is located, which places this zone on the second place, directly after the lowland stream deposits zone, while the majority of the mentioned development was built before 1946 (since 1946 only 1.6 % of the area has been built over). Without a detailed engineering-geological survey those zones are not suitable for development, while their local conditions and compaction of loose ground materials are important. Foundation soils are spoil banks (Y) and waste dumps (Z) there. The built-up area there comprises of a railway (Ostrava – Bohumin), on the periphery of the municipality Vrbice, in the south-east of the interest area.

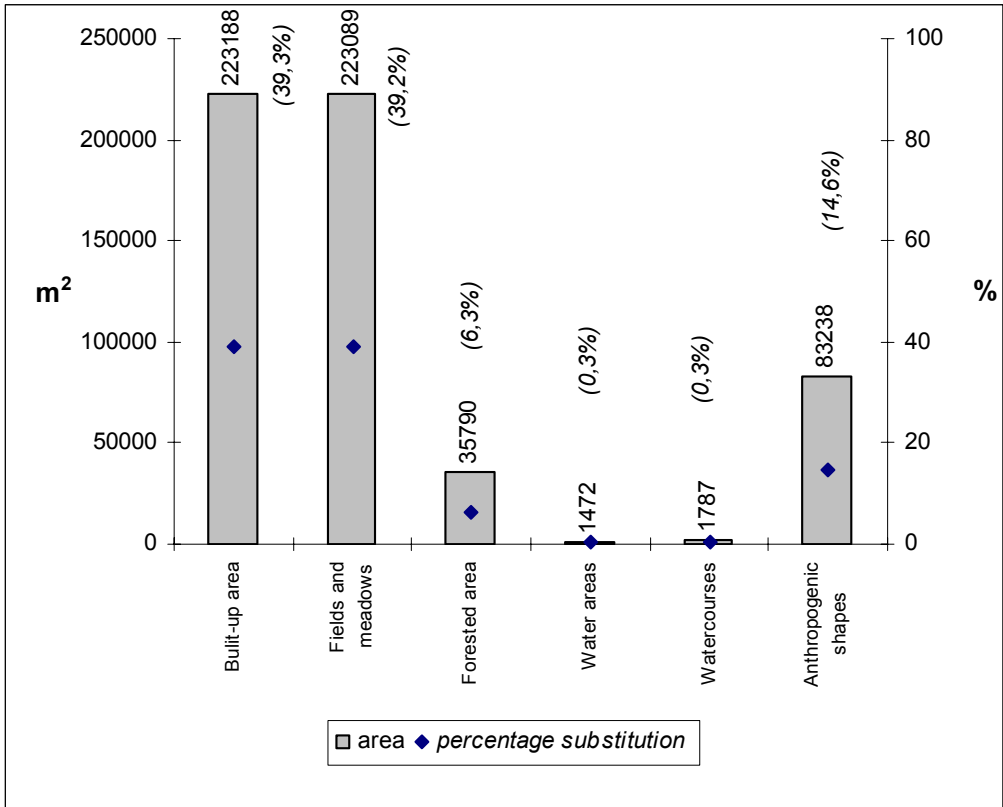


Figure 9: Areal and percentage representation of selected landscape elements in the zone of spoil banks and waste dumps at the present.

The indiscriminated flysch sediments zone takes up 1.4 % of the interest area (Fig. 1, 2), which is mainly formed by fields and meadows (85.9 %), followed by built-up area (9.7 %) and forests (4.4 %). For foundation engineering this zone is potentially less suitable for engineering-geological conditions and thus it is necessary to define it clearly in the map documentation for land-use planning. This zone interferes with the housing development in the northern part of Koblov (south of the interest area).

Other zones are very sparse in the interest area, below one per cent of the total area, thus they are only mentioned shortly.

The *zone of Miocene sediments* covers only 0.4 % of the interest area (Fig. 1, 2). It is predominantly afforested (69.9 %), the rest of the area is formed by fields and meadows (30 %). The sediments of this zone provide good, but relatively sensitive foundation soil (volume changes). The environment is susceptible to sliding at natural or artificial intervention. The ground water of low water yield is in more permeable positions and various depths, usually aggressive.

The remaining engineering-geological environment in the interest area is made up by the *zone of organogenous and organic soils* (0.1 % of the area - Fig. 1, 2), *predominantly noncoherent glaciofluvial and glacial lake sediments zone* (0.04 %) and *deluvial sediments zone* (0.02 %).

3 CONCLUSION

The study deals with a geometric representation of engineering-geological zones in the interest area. It also deals with their quantification in relation to landscape elements in order to identify the percentage of the given geological environment on its utilization and requirement in the interest area in question. The next studied criterion is the situation in time, which means that it focuses on the current state and next, on the state since 1946 to date in order to identify change trends. All this is related either to the overall interest area or to built-up area which is the most important subject of interest of land-use planning and engineering geology.

The carried out study identified the largest zone in the interest area being the lowland stream deposits zone (42.3 %), followed by the zone of polygenetic loess sediments (36.3 %) and the zone of Pleistocene river terraces (12.7 %). The remaining zones occur on relatively small areas in the interest area, while their localization during the area evaluation in relation to future foundation engineering is significant as they have different suitability from this point of view.

An important criterion for land-use planning is to learn about the future engineering-geological environment but also the character of landscape elements which are to be found there. This points several interesting facts, such as the typical geological structure for development in the studied area or for other use of the landscape. According to the rate of development it is possible to identify the free potential for future construction. Last but not least, when there is an identical landscape element and different geological environment we can choose the one with more suitable conditions as for the implementation of the future engineering structure, etc. The next studied criterion was changes in time which were assessed from the point of view of the present state and we also monitored the so-called realized built-up area since 1946 to date, based on aerial photos. Comparing both states, experience can be gained from this perspective and on its basis we can positively influence the future state by means of land-use planning.

In terms of areal quantification, the most pronounced landscape elements of the largest lowland stream deposits zone were fields and meadows (61.3 %), forests (15.1 %) and built-up area (12.5 %), which represents up to 63.9 % of the total built-up area found in the interest area. Simultaneously, this represents big potential for the future from the point of view of future development. With the zone of polygenetic loess sediments, forests dominated (68.5 %); the built-up area is minimum (3.2 %), which also indicates a similar trend in the future.

In terms of chronological changes it was discovered that since 1946 the most intense development has occurred on the lowland stream deposits zone (72.7 % of the newly built-up area), followed by the zone of polygenetic loess sediments (16.4 % of the area).

4 ACKNOWLEDGEMENT

The publication was supported by the grant project GAČR - 205/07/1313.

REFERENCES

- [1] Český ústav zeměměřický a katastrální: Základní mapa ČR, 15-41-25. *Katastrální úřad, Opava, 2001*
- [2] Čorej, P., Pinka, J., Sidorová, M.: Geological survey and exploration of baryta deposit UMM Gerad. In: *Wiertnictwo-Nafta-Gaz.*, vol. 25, no. 2, p. 227-234, 2008
- [3] ČSN 73 1001 - Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy, *Validity: 1.10.1988*
- [4] ČSN 72 1001 - Pomenovanie a opis hornín v inžinierskej geológii, *Validity: 1.8.1990*
Since 1.11.2004 replace:
ČSN EN ISO 14689-1 (721005) - Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování hornin - Část 1: *Pojmenování a popis*, *Validity: 1.11.2004*
ČSN EN ISO 14688-2 (721003) - Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemin - Část 2: *Zásady pro zařizování*, *Validity: 1.4.2005*
- [5] Dopita, M. a kol.: Geologie české části hornoslezské pánve. *Ministerstvo životního prostředí, Praha 1997*
- [6] Chlupáč, I. a kol.: Geologická minulost České republiky. 1. vydání *Praha: Academia, 2002. 436 s. ISBN 80-200-0914-0, 2002*
- [7] Macoun, J. et al.: Kvartér Ostravska a Moravské brány. *Ústřední ústav geologický. Praha, 1965, 420 s.*
- [8] Macoun, J., et al.: Geologická mapa ČSR. List 15-43 Ostrava, 1:50 000, *Ústřední ústav geologický, Kolín, 1989*
- [9] Matula, M., Letko, V.: Engineering geology in planning metropolitan region of Bratislava. *Bullet. IAEG, No. 22, pp.139-145, 1980*
- [10] Matula, M., Pašek, J.: Regionálna inžinierska geológia ČSSR, 295 str. Alfa, Bratislava, 1986
- [11] Matula, M.: Geológia v územnom plánovaní a výstavbe, *Priroda, Bratislava, 214 s., 1995*
- [12] Pinka, J., - Wittenberger, G. - Engel, J.: Borehole mining. 1. vyd. Košice: FBERG TU., 233 s., 2007
- [13] Řezníček, T., Pašek, J., Zeman, M.: Geologie v územním plánování. *Academia, Praha, 226 str., 1980*
- [14] Sloboda, J., et al.: Mapa inženýrskogologického ražonování ČR. List 15-43 Ostrava, 1:50 000, *Ústřední ústav geologický, Kolín, 1990*
- [15] United Nations: Urban Geology and the Impact on Our Lives. *Publisher United Nations Publications, 94 pp., ISBN 9211200946, 2003*
- [16] Vojenský topografický ústav: Letecký snímek, č. 548, č. 550, č. 552, č. 575, č. 577, č. 579, č. 580, č. 601, č. 603, č. 605, č. 606, č. 627, č. 629, č. 631, č. 632. *Dobruška, 1946*

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vratislav Bradáč, ALGOMAN, s.r.o., Hlavní 316, 747 81 Otice

Stanislav SEITL¹, Ladislav ŘOUTIL², Václav VESELÝ³

**NUMERICKÁ ANALÝZA VLIVU VLASTNÍ TÍHY VZORKU PRO KLÍNOVÉ ŠTÍPÁNÍ NA
ÚROVEŇ CONSTRAINTU U ČELA TRHLINY**

**NUMERICAL ANALYSIS OF INFLUENCE OF OWN WEIGHT OF WEDGE SPLITTING
SPECIMEN ON CONSTRAINT LEVEL AT CRACK TIP**

Abstrakt

Předmětem příspěvku je získání nových informací o lomově mechanickém chování stavebních materiálu na cementové bázi. K zjištění lomových parametrů se používají vzorky pro klínové štípání. Obsah příspěvku je pak zaměřen na kvantifikaci vlivu vlastní tíhy vzorku, která reprezentuje část reakce z podpory na dolním lici tělesa. K charakterizaci constraintu jsou použity nástroje dvouparametrové lomové mechaniky. Na závěr je vysloveno doporučení, kdy lze při stanovování lomově mechanických parametrů betonových kompozitů tíhovou sílu od vlastní hmotnosti vzorku na rozdíl od vertikální tlačné síly zanedbat.

Abstract

Subject of the contribution is to obtain new information about the fracture behavior of cementations building materials in the wedge splitting test (WST). Particularly, the paper investigates the influence of the own wedge splitting specimen weight, that represents a portion of the reaction of the bottom support of the specimen, on the fracture parameters via tools of the two-parameter fracture mechanics. In the end it is presented the suggestion when it is possible not to take the own weight of wedge splitting specimen into account.

1 ÚVOD

Test používající k šíření trhliny rozevírání vzorku pomocí klínu (anglicky wedge splitting test- WST- viz obr. 1a) byl představen v práci autorů Linsbauer a Tschegg (1986) a dále je ve své práci rozvinuli Brühwiler a Wittmann (1990). Autory Guinea a kol. (1996) byla následně prezentována parametrická studie vlivu okrajových podmínek na hodnotu součinitele intenzity napětí pro WST. Karihaloo a Xiao (2001) provedli za použití hybridního elementu výpočet nejenom součinitele intenzity napětí ale vyšších členů Willimasova (1957) rozvoje. Zdůrazněme, že se jedná o test se stabilním růstem trhliny a jeho nespornou výhodou je použití relativně malého množství materiálu na rozdíl od standardně užívaných testů jako jsou např. tříbodový nebo čtyřbodový ohyb trámce se zářezem (RILEM). Je to poměrně nedávno zavedená procedura pro měření základních lomově mechanických parametrů jako jsou např. lomová energie nebo charakteristiky tahového změkčení kvazikřehkých materiálů. Mezi tyto materiály se řadí např. stavební keramika, skalní horniny, a v neposlední řadě i cementové kompozity. Nespornou výhodou je uplatnění WST při stanovování lomově-mechanických parametrů na jádrových vývrtech odebraných ze stávajících stavebních konstrukcí.

¹ Ing. Stanislav Seitzl, Ph.D., Ústav fyziky materiálů, Akademie věd České republiky, Žitkova 22, 616 62 Brno, tel.: (+420) 532 290 348, e-mail: seitzl@ipm.cz.

² Ing. Ladislav Řoutil, Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel. (+420) 541 240 994, e-mail: routil.l@fce.vutbr.cz.

³ Ing. Václav Veselý, Ph.D., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel. (+420) 541 247 362, e-mail: vesely.vl@fce.vutbr.cz.

Přes již rozsáhlé použití WST (Xiaon a kol. 2004, Löfgren a kol. 2005, Walter a kol. 2005, Xu a kol. 2007) doposud nebyla provedena podrobná analýza vlivu okrajových podmínek WST zahrnující zatížení od vlastní tíhy tělesa. Cílem příspěvku je za použití metody konečných prvků (MKP) analyzovat vliv vlastní tíhy vzorku na hodnotu constraintu (charakterizovaného hodnotou T -napětí) v krychlovém vzorku pro klínové štípání (obr. 1b). Poznamenejme, že příspěvek uceluje analýzu šíření trhliny ve vzorcích pro WST, a tedy navazuje na předchozí práce autora. V práci Seitl a kol. (2009c) je představen přístup použitý v analýzách šíření trhlin v tělesech pro WST a provádí se zde srovnání WST s tvarově podobným tělesem pro zkoušku excentrickým tahem v rámci dvouparametrové lineární lomové mechaniky. Práce Seitl a kol. (2009a,b) pak vyšetřují vliv přitlačné síly na hodnotu constraintu a další související vlivy. Poznamenejme, že vliv constraintu na lomové chování materiálů a jeho důsledky pro navrhování a posuzování konstrukcí není v této práci diskutován, v tomto směru lze uvést např. přehledové práce Constraint effects in Fracture (1993 a 1995).

2 TEORETICKÉ POZADÍ

Dvouparametrová lineárně elastická lomová mechanika rozšiřuje klasickou lomovou mechaniku tím, že bere v úvahu nejenom první, singulární člen Williamsova rozvoje, ale i jeho druhý, konstantní člen. V případě, že trhlina je orientovaná podél osy x a (r, θ) jsou polární souřadnice s počátkem ve vrcholu trhliny, lze pro případ normálového namáhání působícího ve směru osy y (mód I) vyjádřit složky napětí v následující podobě:

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) + T \delta_{li} \delta_{lj}, \quad (1)$$

kde:

K_I – součinitel intenzity napětí [$\text{MPa m}^{1/2}$],

T – T -napětí [MPa],

δ_{kl} – Kroneckerovo delta [-],

f_{ij} – tvarová funkce polárního úhlu θ .

Poznamenejme, že T -napětí představuje složku napětí σ_{xx} působící rovnoběžně s povrchem trhliny, je nenulové pro normálové namáhání. Parametr T kvantifikuje velikost constraintu (záporná hodnota odpovídá malému constraintu a kladná hodnota T -napětí odpovídá vysokému constraintu). Význam termínu constraint lze zjednodušeně vyložit jako stísnění rozložení napětí (deformace) v okolí vrcholu trhliny vedoucí k omezení rozsahu zóny, v níž dochází k překročení meze lineárního chování materiálů.

Z praktických důvodů je výhodnější používat pro charakteristiku lomových parametrů bezrozměrné parametry. Pro součinitel intenzity napětí pro geometrii WST:

$$B_1 = \frac{K_I}{K_0}, \text{ přičemž } K_0 = \frac{P_{sp}}{t\sqrt{W}} \quad (2)$$

kde:

P_{sp} – síla rozevírající trhlínu (splitting force) [N],

t – tloušťka tělesa [mm],

W – charakteristický rozměr WST tělesa [mm].

Pro T -napětí zavedli Leever s Radonem (1983) bezrozměrný parametr

$$B_2 = \frac{T\sqrt{\pi a}}{K_I} \quad (3)$$

kde:

a – délka trhliny [mm] (měřeno od průmětu bodu vnášení zatěžující síly do roviny trhliny – viz obr. 1).

3 NUMERICKÁ ANALÝZA

$$P_v = P_{sp} k, \text{ přičemž } k = \frac{2 \tan \alpha_w + \mu_c}{1 - \mu_c \tan \alpha_w} \quad (4)$$

α_w – úhel rozevřajícího klínu [°],
 μ_c – koeficient tření v ložisku [-].

Pro numerickou analýzu byl zvolen základní rozměr tělesa $W=100$ mm používaný pro experimentální určování mechanických parametrů silikátových kompozitů. Další rozměry tělesa byly následující: $e=35$ mm, $f=30$ mm, $h=10$ mm, $d_n=20$ mm. Místo počátečního zářezu byla v MKP modelu užita přímo trhlina (šířka rovna nule).

$$\alpha = \frac{c + (d_n - h)}{W - h} \quad (5)$$

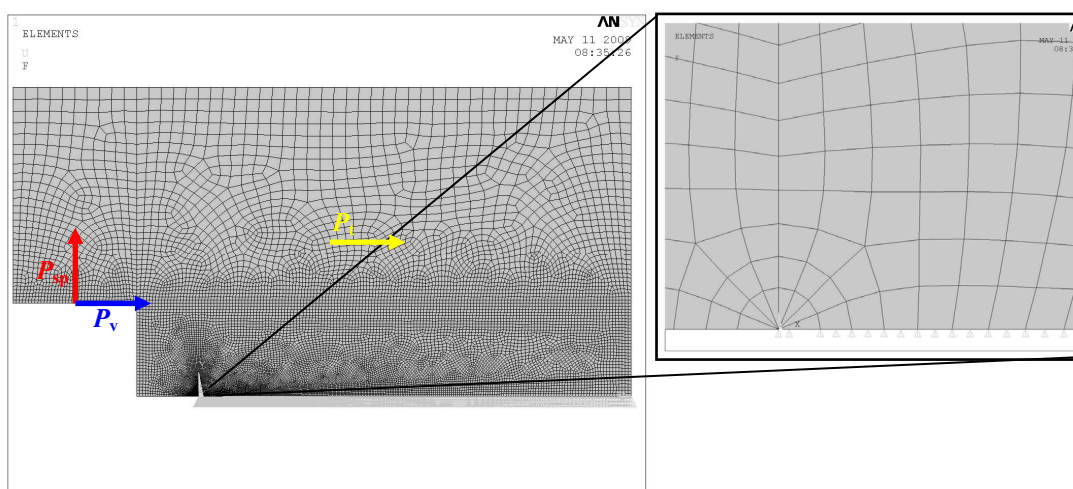
229

W, h, c, d_n – charakteristické rozměry WST tělesa [mm], viz obr. 1.

Numerický výpočet pak byl proveden pro parametr α v intervalu $\langle 0,2; 0,9 \rangle$, což pokrývá předpokládané spektrum běžně měřených délek trhlin.

Vstupní materiálová data pro výpočet byla převzata z dostupné literatury jako běžné hodnoty pro kompozity na bázi křemíku a byla následující: Youngův modul $E = 44000$ MPa a Poissonovo číslo $\nu = 0,2$, hodnota součinitele intenzity napětí (lomová houževnatost betonových kompozitů) $K_{IC} = 25$ MPa mm^{1/2} (odpovídá kritické hodnotě šíření trhliny v betonových kompozitech) a hodnota objemové hmotnosti pro výpočet vlastního tíhového zatížení byla zvolena jako dolní mez pro lehké betony $\rho_1 = 2,0 \times 10^{-6}$ kg/mm³ a horní mez pro betony těžké $\rho_2 = 4,5 \times 10^{-6}$ kg/mm³. Uvažovaná síla od vlastní hmotnosti tělesa je pak nahrazena silovou dvojicí umístěnou do těžišť polovin ploch viz obr. 1. c) a obr.2.

Úloha byla modelována programem ANSYS (Ansys 2005) jako rovinná za podmínek rovinné deformace (tloušťka tělesa je 100 mm) s použitím prvků PLANE 82. Nejmenší velikost elementu byla u kořene trhliny a nabývala hodnotu 1×10^{-5} mm. S využitím symetrie tělesa byla modelována polovina tělesa, typickou použitou MKP síť spolu s detailem okolí kořene trhliny lze vidět na obr. 2.



Obr. 2: MKP síť použitá v prováděných výpočtech – symetrická polovina krychlového WST vzorku s přiblížením oblasti u čela trhliny (použití trhlínového prvku s posunutým uzlovým bodem)

Výpočet hodnot součinitelů intenzity napětí byl proveden pomocí příkazu KCALC, který je implementován v použitém výpočtovém systému ANSYS. Pro kontrolu byly hodnoty součinitelů intenzity napětí pro normálový mód spočteny s použitím J -integrálu.

Hodnoty T -napětí byly získány použitím elementu s posunutým uzlem do jedné čtvrtiny velikosti elementu (Tan a Wang 2003), kde A-značí uzel ve vrcholu trhliny, B- posunutý uzel a C- na konci elementu.

$$T = -\frac{2E}{(1-\nu^2)l} [u_i^{(A)} - 4u_i^{(B)} + 2u_i^{(C)}] \quad (6)$$

kde:

E – Youngův modul [MPa],

ν – Poissonovo číslo [-],

l – délka elementu [mm],

$u_i^{(k)}$ – posuv uzlů na elementu [mm].

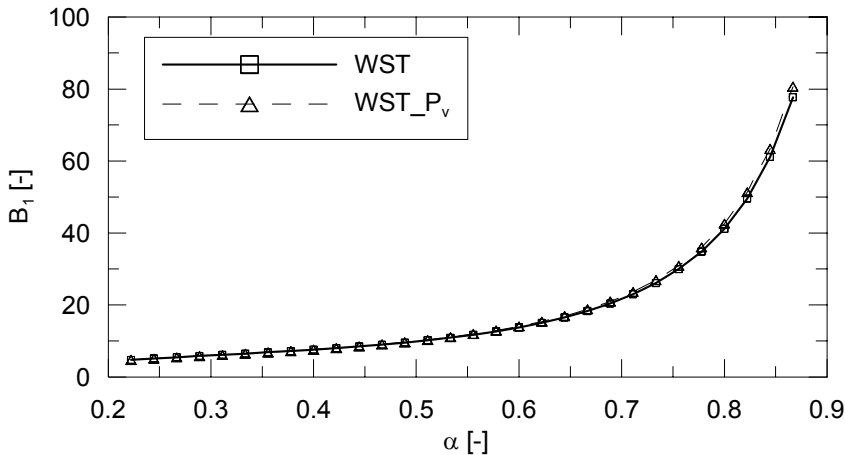
Byla použita také diferenční metoda (Yang a Ravi-Chandar 1999), která vychází ze vztahu:

$$T = \lim_{r \rightarrow 0} (\sigma_{xx} - \sigma_{yy}). \quad (7)$$

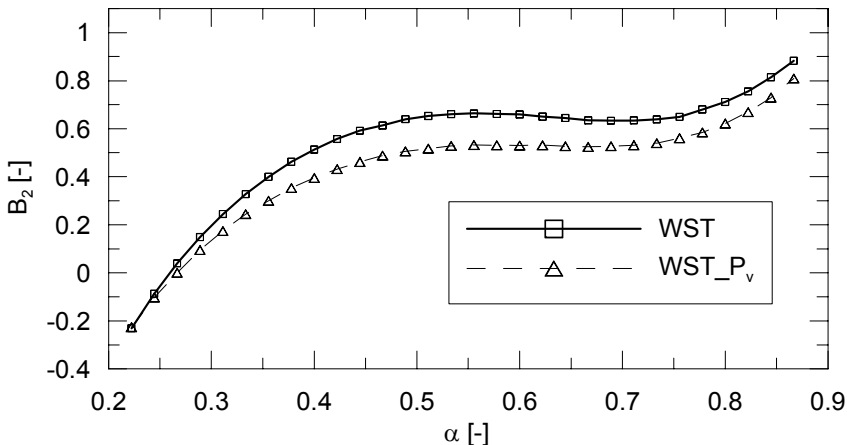
Složky napětí σ_{xx} a σ_{yy} jsou vypočteny pro $\theta = 0$). Hodnota T -napětí pak byla získána extrapolací lineární části závislosti pro $r \rightarrow 0$. Obě použité metody poskytují prakticky stejné výsledky – rozdíly v hodnotách jsou v řádu promile.

4 NUMERICKÉ VÝSLEDKY A DISKUSE

Pro ilustraci vlivu vertikální přitlačné síly P_v jsou na obr. 3 a 4 uvedeny vypočtené hodnoty součinitele intenzity napětí K a T -napětí, které jsou vyjádřeny pomocí bezrozměrných faktorů biaxiality – viz rovnice (2) a (3). Tyto závislosti byly již dříve uvedeny v práci autora (Seitl a kol. 2009a). Obr. 3 vyjadřuje pomocí parametru B_1 závislost hodnot součinitele intenzity napětí na délce trhliny. Z uvedeného grafu je patrné, že vliv síly P_v (křivka WST_ P_v) je nepatrný (pro krátké trhliny cca 1%, pro delší trhliny pak kolem 4%) ve srovnání s křivkou WST odpovídající výpočtu, kde je vertikální přitlačná síla P_v zanedbána.



Obr. 3. Závislost součinitele intenzity napětí, vyjádřeného pomocí B_1 , na relativní délce trhliny α



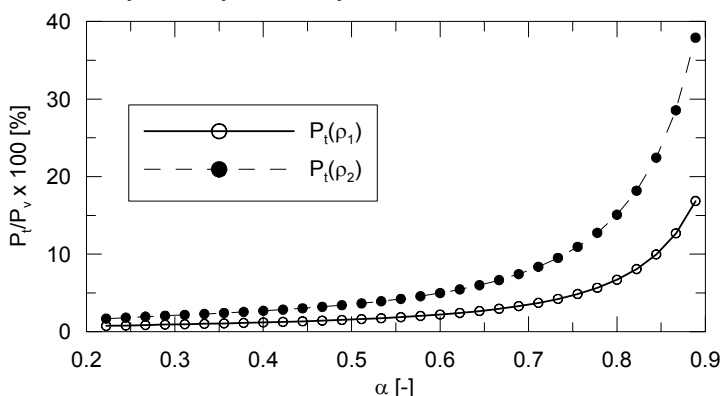
Obr. 4: Závislost T -napětí, vyjádřeného pomocí B_2 , na relativní délce trhliny α

Na obr. 4. je již vidět podstatně větší rozdíl ve vynesných hodnotách B_2 . Je tedy zřejmé, že vertikální tlačná síla má větší vliv na hodnotu druhého členu Williamsovy řady, viz rovnici (1).

Poznamenejme, předchozí presentované výsledky v obr. 3-4. jsou vyjádřeny bezrozměrné. V dalších analýzách jsou uvažovány pro dané objemové hmotnosti a konstantní hodnotu součinitele

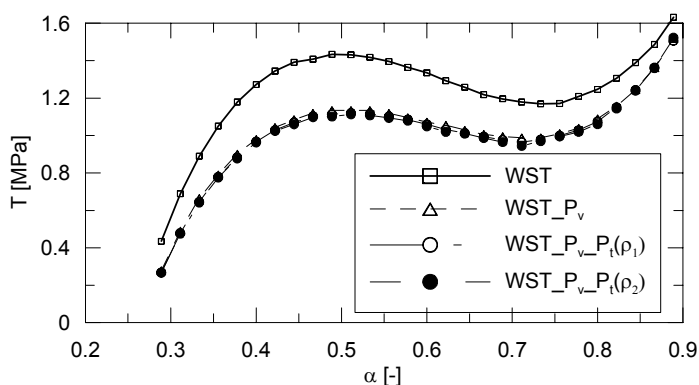
intenzity napětí $K = 25 \text{ MPa mm}^{1/2}$, a proto jsou výsledky uváděny v základních jednotkách zejména T-napětí v MPa.

Abychom mohli dobře kvantifikovat vliv vlastní tíhové síly, uvedeme zde poměr vertikální tlačné síly vnášené do tělesa zkušebními zařízeními k vlastní tíze vzorku. Tento poměr je pro jednotlivé uvažované objemové hmotnosti betonu uveden na obr. 5. Je vidět, že tento poměr těchto sil je u kratších trhlin zanedbatelný, řádově v procentech, zatímco s rostoucí relativní délkou trhliny α , kde se projeví pokles vertikální tlačné síly v důsledku snižujícího se zatížení, viz rovnice (4), hodnota vlastní tíhy dosahuje až na třetiny hodnoty tlačné síly.



Obr. 5: Závislost poměru sil od vlastní tíhy tělesa P_t (ρ_1 a ρ_2) ku vertikální síle P_v na relativní délce trhliny.

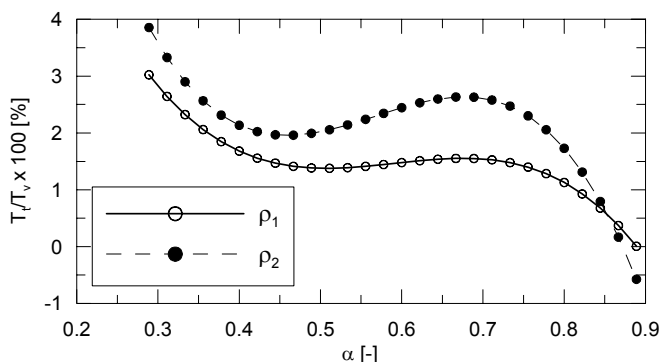
Vliv vlastní tíhy vzorku na úroveň constraintu je pak zachycen přes hodnotu T-napětí. Hodnoty B_2 uvedené v grafu na obr. 4 přepočteme použitím rovnice (3) a získáme srovnávací křivku T-napětí, kterou pak porovnáme s hodnotami T-napětí pro dvě uvažované objemové hmotnosti cementového kompozitu. Na obr. 6. je uveden průběh T-napětí pro případ, kdy i) není uvažována vertikální složka vnášeného zatížení P_v , ii) uvažuje se P_v a iii) je uvažována vlastní tíha vzorku P_t pro objemovou hmotnost ρ_1 a ρ_2 . Z grafu je patrné, že trend křivky se s uvážením/změnou vlastní tíhy nemění.



Obr. 6: Průběh hodnoty T-napětí podél trhliny pro konstantní hodnotu K_{IC} podél relativní délky trhliny α .

Relativní změna hodnoty T-napětí má s rostoucí objemovou hmotností materiálu klesající trend viz obr. 7. Pokles relativní hodnoty T-napětí se pohybuje v intervalu 0 až 4 procent, viz průběhy procentuálního podílu T-napětí vlastní tíhy tělesa ku T-napětí pouze od vertikální síly pro jednotlivé objemové hmotnosti materiálu.

Při experimentálních měření za použití WST se používá relativní délka zářezu α v intervalu 0,3 a 0,8, kde se změna constraintu se pohybuje do 2 % pro lehké betony a do 3 % pro betony těžké.



Obr. 7: Změna hodnoty T-napětí v důsledku uvažování vlastní tíhy tělesa P_t (ρ_1 a ρ_2) podél relativní délky trhliny α .

5 ZÁVĚR

V příspěvku je provedena numerická analýza WST vzorku používaná při experimentálním stanovování lomové mechanických parametrů zejména cementových kompozitů. Vyšetřoval se vliv vlastní tíhy tělesa na úroveň constraintu u vrcholu trhliny. Jako nástroj pro popis napjatosti v okolí vrcholu trhliny je použita dvouparametrová lomová mechanika. Ze studie plynou následující závěry:

- ✓ Vliv vlastní tíhy vzorku na hodnotu součinitele intenzity napětí je zcela zanedbatelný.
- ✓ Neuvážení vlastní tíhy vzorku při experimentálním zjišťování lomové mechanických veličin způsobí podcenění úrovně constraintu o max. 4 procenta u materiálů s velkou objemovou hmotností (velmi těžké betony), u běžných betonů půjde o podcenění okolo 2 procent.
- ✓ Tedy lze vyslovit doporučení, že při stanovování lomové mechanických parametrů betonových kompozitů lze tíhovou sílu od vlastní hmotnosti vzorku na rozdíl od vertikální tlačné síly zanedbat.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky – registrační číslo projektu 101/08/1623 – a Grantové agentury Akademie věd České republiky – registrační číslo projektu KJB200410901.

LITERATURA

- [1] ANSYS *Users manual version 10.0* Swanson Analysis System, Inc., Houston, 2005.
- [2] BRÜHWILER, E., WITTMANN, F.H. The wedge splitting test, a new method of performing stable fracture mechanics test, *Engineering Fracture Mechanics* 35 (1990) 117–125.
- [3] *Constraint effects in Fracture*, ASTM STP 1171, eds. E.M. Hackett et al. Philadelphia, ASTM 1993.
- [4] *Constraint effects in Fracture: Theory and Application* second volume, ASTM STP 1244, eds. M. Kirk and A. Bakker, 1995, ISBN 0-8031-2013-3.
- [5] GUINEA, G.V, ELICES, M., PLANAS, J. Stress intensity factors for wedge-splitting geometry, *International Journal of Fracture* 81 (1996), Pages 113–124.
- [6] KARIHALOO, B.L., XIAO, Q.Z. Higher order terms of the crack tip asymptotic field for a wedge-splitting specimen, *International Journal of Fracture* 112 (2001) 129–137.

- [7] KNĚSL, Z. AND BEDNÁŘ, K. *Two parameter fracture mechanics: calculation of parameters and their values*, IPM of AS of Czech Republic, 1997.
- [8] LEEVERS, P.S. AND RADON, J.C. Inherent stress biaxiality in various fracture specimen geometries, *International Journal of Fracture* 19 (1983) 311–325.
- [9] LINSBAUER, H.N., TSCHEGG, E.K. Fracture energy determination of concrete with cube-shaped specimens, *Zement und Beton* 31 (1986) 38–40.
- [10] LÖFGREN, I., STANG, H., OLESEN, J.F. Fracture properties of FRC determined through inverse analysis of wedge splitting and three-point bending tests, *Journal of Advanced Concrete Technology* 3, 423–434, 2005.
- [11] MURAKAMI, Y., et al. *Stress Intensity Factor Handbook* I, II, III, Pergamon Press, Oxford, 1987.
- [12] RILEM REPORT 5 *Fracture Mechanics Test Methods for Concrete*, Edited by S.P. Shah and A. Carpinteri and Hall, London, 1991.
- [13] SEITL, S., DYMÁČEK, P., KLUSÁK, J., ŘOUTIL, L., VESELÝ, V. Two-parameter fracture analysis of wedge splitting test specimen, *Proceedings of the 12th Int. Conf. on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, B.H.V. Topping, L.F. Costa Neves and R C. Barros (eds), Funchal, Civil-Comp Press, 2009a.
- [14] SEITL, S., KNĚSL, Z., VESELÝ, V., ŘOUTIL, L. A refined description of the crack tip stress field in wedge-splitting specimens – a two-parameter fracture mechanics approach, *Applied and Computational Mechanics* 3 (2009b) (in press).
- [15] SEITL, S. ŘOUTIL, L., VESELÝ, V. Numerical analysis of stress field for wedge splitting geometry, *Proceedings of Applied Mechanics 2009*, Smolenice 6.–9. 4. 2009, 270–278, 2009c.
- [16] SKOČEK, J. AND STANG, H. Inverse analysis of the wedge-splitting test, *Engineering Fracture Mechanics* 75 (2008) 3173–3188.
- [17] SLADEK J. AND SLADEK V. Evaluation of the elastic T-stress in three-dimensional crack problems using an integral formula, *International Journal of Fracture* 101 (2000), Pages L47–L52.
- [18] TADA H., PARIS P.C., IRWIN G.R. *The Stress Analysis of Cracks Handbook*, Third Edition, ASME, New York, 2000.
- [19] TAN, C. L., WANG, X. The use of quarter-point crack-tip elements for T-stress determination in boundary element method analysis. *Engineering Fracture Mechanics* 70 (2003) 2247–2252.
- [20] WALTER R., ØSTERGAARD, R., OLESEN, J.F., STANG, H. Wedge splitting test for a steel–concrete interface, *Engineering Fracture Mechanics* 72 (2005) 2565–2583.
- [21] WILLIAMS, M.L. On the stress distribution at the base of stationary crack, *ASME Journal of Applied Mechanics* 24 (1957) 109–114.
- [22] XIAON, J., SCHNEIDER, H., DONNECKE, C., KONIG, G. Wedge splitting test on fracture of ultra high strength concrete, *Construction and Building Materials* 18 (2004) 359–365.
- [23] XU, S., BU, D., GAO, H., YIN, S., LIU, Y. Direct measurement of double-*K* fracture parameters and fracture energy using wedge-splitting test on compact tension specimens with different size, *proceedings of Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures – New Trends in Fracture*, Catania, Italy, 271–278, 2007.
- [24] YANG, B., RAVI-CHANDAR, K. Evaluation of elastic T-stress by the stress difference method, *Engineering Fracture Mechanics* 64 (1999) 589–605.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Aleš Materna, Ph.D., Katedra materiálů FJFI ČVUT v Praze, Trojanova 13, 120 00 Praha 2

Josef ŠAMÁNEK¹

PROSTOR, ČAS A ČTYŘI DIMENZE ARCHITEKTURY

THE SPACE, TIME AND FOUR DIMENSIONS OF THE ARCHITECTURE

Abstrakt

Prostor a čas jsou podstatné fyzikální veličiny naší existence.. Prostor je také hlavním předmětem architektonické tvorby. Architektura se uvažuje jako staticky, pouze jako předmět, avšak užíváme i vnímáme ji v čase, tedy v prostoročase. Kromě její fyzické existence člověk vnímá a prožívá také řadu pocitů, zajímaví imaginární fyzikální i iracionální prostory, které je při architektonické i urbanistické tvorbě nutno brát všechny v úvahu Jsou součástí „světa“, který vytváří.

Abstract

The space and time are essential physical variables of our existence. Space is also the main subject of architectural work; time is not taken into consideration. Apart from physical space a man lives out also many fictional spaces and times. Primarily, architectural objects can not be considered only as objects but as a “world” of individual and social life of men. The study presents the fact that architecture and town planning is not perceived only statically, but as a space in more dimesions.

1 VSTUP DO TÉMATU A JEHO POJETÍ

Kromě toho, že architektonická tvorba se obecně kromě jiného výslovně i v podtextu považuje za tvorbu životního prostředí, dalším důležitým atributem architektury je tvorba prostorů. (viz Zevi), ať jde o interiéry budov nebo tzv. městské interiéry. Za naprosto samozřejmé se architektonická i stavební tvorba již od Vitruvia implicitně pokládá za tvorbu objektů umístěných v prostoru. V našich úvahách se stavební i architektonický objekt pokládá za prostor stavebními konstrukcemi vyjmutý z vesmírného prostoru, čímž se vyjadřuje kontinuita, která se praktikuje jako tzv. spojení interiéru s vnějškem. Dále se ve studii zdůrazňuje, že stavební nebo architektonický objekt prakticky nikdy nevnímáme staticky, ale vlastním pohybem jej vnímáme jako pásmo postupných obrazů, které se větví podle provozů a společenské důležitosti a v jeho trasách, kde se mají dramaturgicky stupňovat prostorové, estetické, funkční, psychické dojmy a zážitky v obrazech postupně se střádajících prostorů. V interiéru dokonce ve dvou postupných vrstvách. Místnost z jejího středu nikdy nemůžeme pozorovat vcelku, z pozice mimo ni. Její vymezení stěnami, podlahou a zejména zastropením pak pouze jednotlivě, a teprve dodatečně je ve sví myslí a duchu sestavíme do představy prostoru, a celý objekt potom ještě jako sled těchto představ. Sám objekt, nebo situaci souboru objektů a jejich tvorbu, např. urbanistickou, pak můžeme chápat jako tzv. situační tvorbu – jeden z moderních výtvarných způsobů.

Předmětem našich úvah je architektonický, event.. urbanistický nebo krajinný prostor. Architektonický prostor interiéru budovy s instalovanými předměty, prostor městského interiéru s architektonickým objektem, a prostor krajiny. Krajina je součástí obecného vesmírného prostoru, který však nemůžeme postihnout v celé jeho realitě. Celý náš životní prostor, vesmír, pojmáme jako dutinu, ve které jsou ve stavebních objektech vymezeny dílčí dutiny. Protože každý prostor zde chápeme jako vymezenou část vyššího prostoru, obracíme se nejprve k vnímání prostoru vůbec,

¹ Doc. Ing. arch. Josef Šamánek, CSc., Stadická 9, 70030 Ostrava, ingarschsamanek@volny.cz, tel.: (+420) 591 156 678.

vesmíru – a pak přes krajinu postupujeme k detailu. Konečným cílem našeho vnímání architektury, měst, krajiny apod. však není prostor pouze jako trojrozměrová dutina, ale prostor prožívaný v časových proměnách, přičemž veškerý obsah jakéhokoli, i fiktivního prostoru působí trvale multimediálně na veškeré naše smysly i schopnosti, a my je pak různými způsoby navzájem propojujeme do jediného souhrnného dojmu. Každé z těchto medií má svůj objem specifických jevů, takže prostřednictvím čtyřdimenzinálně vnímaného prostoru, včetně architektonického, vnímáme současně i mnoho dalších fiktivních fyzikálních, pocitových, citových, mentálních i duchovních prostorů, které pak v souhrnu vytvářejí každému člověku jeho celý „svět“, spíše individuální obraz „celého světa“. Člověk však není izolovaným jedincem, je součástí společenství s různými zájmy, a každý společenství má také svůj společný „svět“, své vidění nepoznaných a nepoznatelných realit. Přitom společenství se navzájem prolínají i vrstevnatě překrývají, takže odpovídají i jejich i obrazy světa. Na jedné straně jsou zcela individuální obrazy. Na druhém pólu pak obrazy společné i navzájem nepropojených společenství a v dějinném pohledu i obecně lidský společný – ale stále jen fiktivní – obraz.

2 PODSTATOU NAŠEHO SVĚTA JE DUTINA PROSTORU

Svět a vesmír jsou hlavním prostorem ve kterém žijeme, prostředím, které ovlivňuje nejen nás lidi a vše živé, ale i neživé. Organizuje život do dní a nocí, do ročních období, dává teplo nutné pro existenci života a spolu s mrazem a deštěm také pro rozpad hornin, vznik a pohyb moří, pro formování povrchu naší Země a dodává nám energie, z nichž řadu jsme ještě nepoznali, ani neznáme jejich vlivy na naše životy i náš citový a duševní život. Hmotné věci a předměty i nehmotné jevy nejrůznějšího druhu v tomto světě jsou přímo a zvláště nepřímou různě závislé na světě prezentovaném nám vesmírem. Nejsou v něm jeho podstatou, ale pouze jeho náplní, ať vznikly „přirozeně“, anebo jako díla člověka, ale vždy jsou jen dočasné. Ony i celý vesmír jsou v neustálém pohybu a v neustálé přeměně. Přeměna i pohyb jsou základními podmínkami nejen života, ale vůbec každé existence mezi počátkem a zánikem čehokoli, včetně zdánlivě neživého vesmíru.

3 SPECIFIKOU ČLOVĚKA JE PUD PŘETVÁŘENÍ

Člověk je v přírodě specifikou. Přesto, že přirozeností je průběžné přetváření, podstatnou vlastností člověka proti všem ostatním neživým soustavám i živým organismům je, že je pučen vůlí k vědomému přetváření nejen sama sebe, ale všeho hmotného i nehmotného v dosahu ke svému obrazu a hlavnímu prospěchu. Smysl tohoto přetváření podle získaných zkušeností spočívá v různých dílčích užitečnostech. Výsledky jsou přitom prakticky násilím proti přirozenosti pomalých, „rozvážných“ komplexně postupných změn, které se téměř vždy dříve nebo později projeví jako již neaktuální, anebo dokonce jako protismyslné a škodlivé. Hledisko dobra a škodlivosti je však nejen pouze lidské, ale také neustálené. Příroda je nezná. Dokladem je, že buď je nutné často provádět dodatečné přetvárné korekce lidských děl, názorů, záměrů apod., anebo bez trvalé péče člověka příroda vždy jeho díla nakonec zlikviduje.

4 POZNÁNÍ, POCHOPENÍ A TVORBA ARCHITEKTONICKÉ GEOMETRIE

Reálný prostor je určen délkami, vzdálenostmi bodů, které jej vymezují. Architektura jako princip jakékoli soustavy je součástí každého jevu, každé věci, předmětu v tomto vesmíru, bez ohledu na způsob jejich vzniku. Architektonickým objektem ve smyslu lidského díla je pak vše, co je uměle zhotoveno, nebo vše, co za architektonické chceme vnímat, i když nejde o dílo člověka. Architektoničnost není v záměrech vzniku přírodních předmětů nebo jevů, je pouze lidskou představou o nějaké struktuře. Člověk si ji do všech předmětů, jevů i projevů pouze promítá, v duchu si jejich různé vlastnosti organizuje vhodně podle svých potřeb, zájmů a představ do systémů, obecných forem, případně i do konkrétních tvarů, pouze jako pomůcku pro jejich pochopení.

Krajina s oblacemi a nebem, tj. se Sluncem, hvězdami, Měsícem, mraky, horami, řekami, silnicemi, domy, lidmi, osvětlením, hlukem bouřky, vůněmi květů, větrem a pohyby všeho druhu – je prostorem vymezeným právě těmito věcmi a jevy. Jeho architektoniku můžeme vnímat ve všem, co

jej vymezuje. Vše uvnitř krajiny, co v ní chceme vnímat architektonicky, je zčásti skutečně člověkem uspořádáno, anebo zčásti můžeme vnímat v nějakém fiktivním uspořádání.

Naproti tomu však architektonika je, anebo alespoň má být, podstatou duchovního vztahu a přístupu k dílu, které vytváříme jako dílo člověka.. Cílevědomá a rozmyslná architektonika je podstatným způsobem a prostředkem v tvůrčích ideových a realizačních procesech.

5 FYZICKÝ I METAFORICKÝ PROSTOR LZE POZNAT JEN JEHO VYMEZENÍM

V nejobecnějším významu jako prostor vnímáme to, co je zřetelně vymezeno. Plně uzavřený fyzický interiér je zpravidla vymezen stěnami na šesti stranách, tj. podlahou, stropem a stěnami, poloprostor, event. polointeriér, je vymezen pěti, nejméně však čtyřmi stěnami, obvykle tedy bez zastropení, jak je tomu u otevřených prostorů. Prostor vytčený třemi a méně stěnami nevnímáme již jako interiér, ale jako niku ostatního prostoru. Přesto však i pouhá jedna stěna poskytuje pocit zvýšeného bezpečí tím, že vytváří jakýsi neurčitý psychologický „prostor“, tím spíše, je-li stěna konkávně prohnutá horizontálně nebo vertikálně. Průchodným prostorem je např. pasáž s otevřenými dvěma protilehlými konci.

Kromě uvedeného fyzického prostoru metaforicky jako fiktivní, imaginární „prostor“ vnímáme každou mezeru, ve které chybí reálná nebo fiktivní očekávaná výplň, v daném místě je „prázdnost“. Imaginární prostor může vzniknout i v jakémkoli nehmotném jevu, včetně myšlenek, citů, myšlenek, duchovní náplně, smyslu, účelu, potenciálu apod. Prázdnost tam, kde je neočekáváme, působí tísnivými dojmy.

V jednorozměrových jevech může být mezera v nenaplněném čase, v jakékoli stupnici chybějící stupně nebo články v souvislé řadě (rozměrů, typů, kvality, výkonů, barevnosti, chutí, v souvislosti generací, rodů, témat, odborností apod.). V dvourozměrových (plošných) jevech jsou obsazené nebo volné prostory plošného charakteru (v podstatě u analogických příkladů), v trojrozměrových (kubických) i ve vícerozměrových, pak každým „rozměrem“ může být určitá žádaná vlastnost. U automobilu např. výkon, spotřeba pohonných hmot, rychlost, zrychlení, vzhled, barva, počet sedadel, počet dveří, velikost kufru, cena, dodací lhůta, servisní služby atd., tedy také to, co se očekává architektonického nebo urbanistického díla.

Na okraj našeho tématu připojujeme, že celkové ohodnocení musí pak mít pouze jediný souhrnný ukazatel, parametr, umístění v imaginárním „prostoru“ množiny jednak možností dodávek a uspokojení, jednak očekávání nebo přání zájemce, v architektuře tedy klienta, investora, uživatele.. Obvyklým sjednocovacím prostředkem celkového hodnocení je součet bodů váhové podle pořadí v prioritách ohodnocených vlastností.

6 REÁLNÉ A FIKTIVNÍ VYMEZENÍ PROSTORU

Na rozdíl od většiny fiktivních „prostorů“, skutečný fyzický prostor nemůžeme nijak jinak vlastními smysly poznat, vnímat a určit, než tím, že jej vymežíme vnímatelnými prostředky buď dokonale, neprůchodně, neprůhledně, neprůzvučně, neprůdyšně, teplotním nebo světelným rozhraním atd., alespoň v těch ohledech, které jsou kdy důležité – anebo náznakově – psychologicky, i když třeba průchodně, průzračně apod. Psychickými prostředky jsou v architektuře zejména sloupovádi, brána, výška místnosti, úroveň podlahy, zúžení nebo rozšíření místnosti, materiálové, barevné nebo světelné odlišení apod. jako samoregulace, na rozdíl od příkazovacích nebo zařazovacích nápisů nebo zábran, jakými jsou stavební objekty nebo jejich části, konstrukce (např. stěny uzavírající prostor apod.).

7 PROSTOR VNÍMANÝ FYZICKY, PSYCHICKY A MENTÁLNĚ NEBO VÍROU

Nekonečnost prostoru bez představy o jeho vymezení pouze předpokládáme, přijímáme ji jen mentálně, rozumem, vírou v poznatky soudobé vědy. Přesto, že ji nemůžeme poznat bezprostředně, bez vymezujícího začátku a konce, je v použitelné části příliš fyzický, takže je nutno hledat způsoby,

jak vysvětlit volný prostor. Umíme určit místo, kde začíná, ale neodpovídá vlastnostem každého tělesa, že někde končí, přestože ve vymezené části má všechny – třeba zdánlivé - začátky i konce. I tehdy, když u poloprostoru nejsou konce fyzické povahy, ale vnímáme je z jiných fyzických skutečností nebo náznaků citem nebo psychicky. Na konci ulice poznáme, že její prostor končí, i když se průběžně volně vlévá do nějakého dalšího prostoru (náměstí, parku aj.). a směrem vzhůru se rozlévá do volného prostoru, do domněle nekonečného vesmíru. Údajně „víme, že je konečný, že existuje jeho konec“ tam, kam se právě rozlétl za přibližně 11 miliard a 670 miliónů našich roků, od tzv. velkého třesku. V tom okamžiku začal prostor. Je pro nás nepředstavitelné, že za hranicemi našeho vesmíru není žádný prostor, ale přece se tam náš vesmír rozpíná a teprve jej vytváří. Jeho konec, který „vnímáme“, je fiktivní, neexistující obloha, k jejíž představě nám pomáhají mraky.

8 ČAS A ČASOPROSTOR

Již dříve zmíněný čas je druhem obecně chápaného prostoru. Není vymezen geometricky, ale pohybem, událostmi, začátkem a koncem děje, kterým došlo ke změnám pozice, tvaru, vlastností, náplně nebo povahy předmětu či jevu. Vnímáme jej také pouze nepřímo, především při pohybu těles prostřednictvím geometrie prostoru a jisté „geometrie“ vnímané tělesnými smysly, myšlenkami nebo duchovním smyslem a tím, co s nimi souvisí a odvozuje se od nich. Dokud (před velkým třeskem) nebyl prostor, nemohly být ani změny tvarů, polohy a pozic. Začátkem našeho prostoru je velký třesk, začátek a konec času neexistuje, i když začátkem určujeme onen třesk v nějakém „nečase“. Přesto, že čas poznáme pouze v souvislosti s prostorem, dovedeme si je představit ještě méně. Kdyby existoval konec prostoru vyznačený pohybem, čas by přestal běžet, všechny pohyby, změny tvarů, poloh i pozic by ustaly včetně naší mysli a našeho vnímání – a vše by tím způsobem „zaniklo“, neboť to, co nevnímáme, pro nás, ani pro naše ostatní živé souputníky v našem světě neexistuje. Jsme schopni existovat a náš svět vnímat jen pohybem v prostoru a čase.. Jsou možná jiné světy, jiné prostory, jiné „časy“, které však jsou mimo schopnosti našeho vnímání a chápání, i když matematici a filosofové připouštějí nejméně 10 různých typů prostorů a připouštějí neomezené množství a typů vesmírů (viz Google: Dittmar Chmelař: Hyperprostor: N-rozměrný prostor): Fikce nebo skutečnost?). Smyslem architektury není pouze sám prostor, ani jeho konstrukce, ale obojí žijící a naplněno životem, vnímané tedy časoprostorově. Pyramidy a egyptské nebo řecké chrámy nás neoslovují pouze tvary, modulovými poměry, velikostí, ornamenty, kompozicí, ale současně také svým svědectvím času.

9 VNÍMÁNÍ ČASU A ARCHITEKTURY V ČASE

Čas lze pozorovat nebo sledovat pouze nepřímo, jednak bodově prostřednictvím rozličenosti statických jevů - změn pozic a figur v prostoru, jednak dynamicky - kontinuálně v jeho aktuálním průběhu. Vždy však jen tím, že každý aktuální okamžik uplyne z přítomnosti do neexistence v minulosti. Budoucí čas nelze pozorovat vůbec do doby, než se stane aktuálním okamžikem. Jsme však na rozdíl od ostatních živočichů, s různou mírou pravděpodobnosti schopni si budoucnost nebo obdobnou nepřítomnost představit. Tato představivost zajisté je podstatou lidského vývoje, ale vždy více či méně odpoutaná od reality, může být škodlivá nejen člověku, ale všemu na něm závislému nebo s ním souvisejícímu. Významnou skutečností je, že zatímco statický prostor a tělesa (prostor vyplněného materií) v něm mohou být vnímány samy o sobě, čas lze vnímat pouze společně s prostorem. Odtud a z toho vyplývají naše schopnosti vnímat proměny nebo pohyb prostorů nebo těles a všeho v nich ve čtvrtém rozměru našeho vesmíru, v prostoročase. Praktický význam má prostoročas ve vnímání dějů na scénách (divadelních a podobných představení) a nadměrně velkých prostorových předmětů (horstva, řek, krajin, pyramid atd.), a souvisí s ním také architektura. Nelze je pozorovat a vnímat z jednoho stanoviště, ale pouze při posunu pozorovatele kolem nich nebo uvnitř prostorů (hal), zejména však jako sled řady prostorů (všech interiérů) v objektech. V průběhu tohoto pozorování lze pochopit jen dílčí části, etapy, avšak celek lze pochopit a učinit si o něm obraz pouze virtuální. Jeho emotivní nebo umělecké účinky se dostaví až dodatečně a pouze jako vzpomínka ve vlastní mysli pozorovatele.

Čas pro svou přímou nevnímatelnost tělesnými smysly často uniká z pozornosti a spolu s ním doba mezi jednotlivými okamžiky času. Některé doby máme nacvičeny, dokonce zapuštěny do dědičného podvědomí tím, že jsme se do nich již existujících vyvinuli jako rod a zrodili a vyvinuli jako jednotlivci a určují rytmus i způsoby všeho dění v našem pozemském světě: den a noc, poloha Slunce na obloze, úplňk, pravidelné klimatické události a pravidelné jevy v živé přírodě: kvetení rostlin, zrání plodin, opadávání listů, pravidelné deště a záplavy, mrazy a tání atd. Ve starověkém Egyptě, Číně i jinde, se čas měřil dynastiemi a osobnostmi panovníků, kteří vlastně byli božskými zjevy. I jiné epochy se měří od nadlidských událostí, jako je narození Krista, Kratší časové úseky mezi těmito mezníky nerozeznává nic v přírodě, ani člověk, dokud si je nerozdělí rozvrhem svého vlastního konání nebo je nemusí přizpůsobit rytmu v rámci širšího společenství. Takto narušená přirozenost z přílišné četnosti osobních časových limitů vyvolává psychické obtíže. Architektura, která umí svědčit a působit volně plynoucím časem a svobodou svého prostoru, je pak lékem obnovujícím duševní a psychickou rovnováhu. Tuto úlohu mají domov, objekty kulturní, duchovní a zábavní náplně, pokud vycházejí z přirozených individuálních, společenských nebo lidských potřeb a tužeb.

Složitost času vede k tomu, že jsou populace, ve kterých se čas vůbec nebere na vědomí, zvláště pak čas, který ještě neexistuje, tedy budoucnost. Přesto žijí a setrvávají staletí – a je otázka, zda také právě proto, že nevnímají čas, tedy ani povinnosti, osudy a smrt, nepřirodně vážně.

10 FYZIKÁLNÍ A PROŽÍVANÝ SVĚTOVÝ PROSTOR

Způsob, jakým běžně prostor a čas vnímáme a chápeme, a jak s oběma v praxi, zejména architektonické, pracujeme, je však jiný, než jak to činí teoretikové umění, filosofové a další specializovaní odborníci. Prostor i čas pojednávají pouze jako fyzikální případy nebo jako jejich fyzický stav. V praxi psychiku našeho vnímání ovlivňují ještě určité jevy, které s nimi na nás spolupůsobí, obohacují je – a které lze také výhodně využít i v architektuře. Žádný z těch prostorů, které vnímáme, není skutečně volný, nekonečný, každý je pouze různě vymezeným výsekem z většího, nebo z prostoru vyššího řádu. Tzv. otevřený prostor je vymezen dohlédnutím anebo možnostmi přemístění.

Světový prostor, dutinu, ve které žijeme, běžně nevnímáme v její nekonečnosti. Prostor, který v tomto směru bereme na vědomí, je vymezen mnoha vnímatelnými jevy vytvářejícími určitou imaginární hranici, která nás uklidňuje, chrání před psychózou ztracení v nekonečnosti, přesto však nebrání, abychom v nějaké přijatelné podobě nebo míře tuto nekonečnost vzali na vědomí. Prostor, do kterého jsme schopni v tomto směru dohlédnout, je sice vymezen imaginární oblohou, ale vnímáme ji spíše jen jako baldachýn, pokrývku, která nám naznačuje vymezení, ale nepovažujeme ji za takovou, která by nám vnucovala, že v ní náš prostor končí. Hranice, kterými jej v tomto směru vnímáme a chápeme, jsou zhmotněny viditelnými mraky, někdy mlhou, psychicky pak tím, kam si umístíme Slunce, Měsíc, hvězdy, Mléčnou dráhu. S otevřeným nekonečným prostorem v horizontálních směrech nejsou potíže, protože na všech stranách je obzor uzavřen něčím konkrétním. Konkrétně jsou také vymezeny ulice, náměstí, krajina apod.

11 JEvy VNÍMANÉ INSTINKTEM A INTUICÍ

Lidské schopnosti však nás nutí hledat a nalézat vysvětlení i pro to, co je mimo náš rozum, mimo racionalitu. Člověk má specifické schopnosti nejen racionálního logického a abstraktního myšlení, jedinečné právě u člověka rodu *homo sapiens*, ale také schopnosti iracionálního a abstraktního vnímání intuicí zděděného po svých předcích, a schopnosti instinktivních reakcí, specifické pro vše živé.

12 STŘED PROSTORU A ČASU

Významnou skutečností v tzv. volném vesmírném prostoru, i když jej vnímáme jen v omezeném výseku, je, že kterýkoli bod, stanoviště, ze kterého jej pozorujeme, je jeho středem. Ve všech případech dílčího vymezení geometrických prostorů, je můžeme pozorovat z libovolné pozice

v jeho vnitřku, avšak naše stanoviště je pouze středem perspektivy našeho vidění, nikoli středem geometrie každého prostoru

Vesmírný ani dějinný čas nevnímáme, o dějinném čase pouze víme. Vnímáme pouze každý právě přítomný časový okamžik, který se tím stává středem námi předpokládaného času. Vnímáme pouze svůj osobní čas. Žádný jiný okamžik neexistuje. Minulé okamžiky již zmizely, budoucí ještě nenastaly. Přesto jejich obsahy umíme sestavit do imaginární řady trvání v již minulém bývalém čase tím, že byly naplněny individuálně či kolektivně, anebo dokonce geneticky pamatovanými událostmi. Čas naplněný minulými událostmi poskytuje možnost představy o minulé existenci, zcela neurčité představy o budoucích náplních mohou dát extrapolací podklad pro představu o budoucí existenci. Trvání budoucího prázdného času si nelze představit, umíme si však představit jeho případné náplně buď extrapolací některých jevů, anebo jevy pocházejícími z naší tvůrčí vůle. Sloučení paměti minulých událostí s předpoklady o budoucích možných událostech může poskytnout důvěru, nikoli jistotu, vytrvalost existence věcí, jevů, stavů vztahů atd. Pro právě přítomný okamžik neexistuje možnost představy, existuje pouze možnost vnímání prožitku. Možnost analyzovat vjem nebo jeho příčiny a podněty teprve nastane, až jej přesuneme do minulosti nejen sám, ale se všemi jeho souvislostmi a vztahy. Takový stav nastane až po určité různě dlouhé době, ve které se vědomé i podvědomé – a případně i nevědomé vjemy a vědomosti shromáždí a uspořádají. Toto hromadění nás posouvá vzhůru, do nadhledu stále širšího a vytříbenějšího, kde podstatné nabývá důležitosti a nepodstatné se postupně ztrácí. Nadhled s dobou nabývá na kvalitě, která je podmínkou hodnocení všech dějů i děl, včetně architektonických a uměleckých. Přesto je každé hodnocení závislé na úhlu pohledu, kterým na věci nahlížíme jednotlivě i jako společenství. .

13 NEGEOMETRICKY, FYZIKÁLNĚ NEBO IMAGINATIVNĚ VYMEZENÉ PROSTORY

Kromě prostorů, které vnímáme v jejich fyzické podobě a tím, že jsou vymezeny fyzickými, tedy hmotnými prostředky, existují a vnímáme také imaginární, metaforicky pojímané prostory a jejich speciální vymezující reálné nebo pouze psychicky vnímané prostředky: fyzikální jevy a procesy, subjektivně vnímané myšlenky a pocity (intuice apod. (viz C. G. Jung: Obecný popis typů). Jiný než fyzicky objektivně a jednoznačně vymezený prostor vytváří různě vnímaná šířící se pára nebo plyn, slyšení zvuku a hluku nebo jeho příjemnost a nepříjemnost, pocíťované teplo nebo chlad, pocit dostatečnosti nebo nedostatečnosti osvětlení nebo vliv elektromagnetického záření, pachu, tlaku apod.

Jiným druhem psychického prostoru je prostor, který psychicky vytváří umělecké nebo architektonické dílo. Vyzařuje z něho určitá nálada, psychika, obsah, děj, estetický dojem, umělecký duch apod., do určité míry svým způsobem magický, odlišný od náplně ostatních vzdálenějších prostorů..

14 PSYCHICKY VYMEZENÉ PROSTORY ČLOVĚKA

Další prostory se vytvářejí a jsou vnímány psychikou. Každý člověk kromě svého vlastního těla nese kolem sebe ještě určitý svůj psychický obal, který chrání jeho svébytnost, pocity, nálady, myšlenky, duchovní rozpoložení. Obal je pružný, různě rozměrný, různý za různých stavů svého nositele, i za různých interakcí s jinými osobami. Nejen osobnosti se mohou v těchto prostorech přitahovat až prolínat, ale také odpuzovat a různě na sebe reagovat, anebo dochází k vzájemným reakcím i s jinými zdroji na biologické i na nebiologické vlivy: na různá zvířata (vedle alergií), rostliny, na formy, tvary, barvy, tóny, materiály, předměty, zdroje zvuků nebo pachů, na vzdálenosti, rozměry, stavy, pohyby, hustoty lidí atd.

Kromě malých, těsných a přeplněných prostorů mohou psychicky nepříjemnými pocity tzv. klaustrofobií působit také nadměrně velké prostory, zejména pusté, které vyvolávají pocity strachu, opuštěnosti, desorientace, bezradnosti apod.: poušť, hladina širého moře, mohutné horstvo, rozlehlost ledové pláně, složitost podzemí (spolu s klaustrofobií) apod. Před podobnými pocity z nekonečnosti

vesmírného prostoru a času nás chrání již zmíněné jevy oblohy a jevy uplývajících časových okamžiků, avšak přesto jejich neznalost a nedohlednost dala vznik všem druhům kultovních věr. .

V oblasti urbanismu takto (velmi často) působí megalomansky pojaté volné prostory náměstí, nezastavěných ploch dalekých vzdáleností od komunikace nebo jiných prostředků, které naznačují blízkost nebo dosažitelnost lidí. Také však prostory bez zřetelné a pochopitelné struktury rozvrhu a zástavby, nebo zástavba neúměrně hustá vůči výšce a mohutnosti, především jednotvárných stavebních objektů, budí v člověku pocity bezmocnosti a toho, že se na něj vše řítí.

Příjemné prostředí je podmíněno tím, že je vytvořena psychická rovnováha mezi člověkem a objektem nebo prostorem nebo jejich soustavou, že člověk není jejich bezmocnou hříčkou, ale je schopen čelit jejich psychickému vlivu a má nad nimi stále ještě nadvládu. „Prostředí, ve kterém není porušeno tzv. „lidské měřítko“, nespočívající v absolutních mírách, ani v rozměrových poměrech, ale v psychice. Psychické pocity vyvolávají nejen rozměry a objemy objektů a volných prostorů mezi nimi, ale také jejich strukturální členitost, estetičnost, přítomnost myšlenek, citlivosti a duchovní náplně vyjádřené uměleckými prostředky.

15 PSYCHICKÉ ÚČINKY STAVEBNÍCH PROSTORŮ

V genetické výbavě člověka jsou vzpomínky na vývoj všech předků v přírodě a ve volném prostoru. Přesto, že zasunutý do hlubokého bezvědomí, stále prostorem, světlem, tvary a jejich rozmanitostí působí na lidskou psychiku a na vnímání. Veškerý život a počátky civilizace a kultury člověka se vyvíjely pod širou a vysokou oblohou, za vysoké intenzity denního světla, v bohatství tvarů přírody a speciálně oblých tvarů spojených se sexualitou, v zeleni a v teplých pastelových barvách oblohy. Když člověk vstoupil do uzavřených prostorů kamenných jeskyní a pak téměř nebarevných vlastních staveb, padla na něj určitá tíseň z nedostatku prostoru nad jeho hlavou a kolem něho (viz též E.A.Poe: Strop). Naopak zase se projeví povznášející pocity z vysokých kleneb a kopulí v chrámech, které byl postaveny člověkem s duchovní náplní pocty Bohu nebo bohům. U moderních mrakodraů tyto pocity nahradil údiv nad vlastními schopnostmi člověka. Povznesení ducha je zde nahrazeno povznesením mysli. Tísňivě až děsivě působí šero a nedostatek osvětlení i chudoba tvarů a nedostatek zeleně – životně důležité barvy všech rostlin urychlují a zvyšují únavu. Na druhé straně však právě šero přenáší člověka do imaginárních nadpozemských oblastí. Podobné vlivy jsou známy z uvedené klaustrofobie, z tísně severských nocí a nocí vůbec, z tísně z tvarově chudých a holých stěn místností, např. průmyslových objektů nebo ško, úřadů, nemocnic i vězení. Experimentálně bylo ověřeno, že vyšší stropy místností již samou touto skutečností uvolňují citlivost k podnětům a fantazii, tvořivost, usnadňují řešení složitých úloh, mění chování, výkonnost, podporují navazování mezilidských styků apod. Podobné vlivy mají také světlo a barvy a kromě toho vyvolávají nálady. Oblé tvary kromě sexuálních reminiscencí zvyšují také pocit bezpečí. Může se zdát, že tyto činitele dodávají lidské psychice určitý druh energie závislé na množství a intenzitě těchto zdrojů

16 STRACH A DOJEM Z PROSTORŮ

V souvislosti s prostory je důležitý nepříjemný nebo příjemný pocit prázdnoty, z plnosti nebo přeplnění, klaustrofobie – úzkost nebo strach ze stísněnosti prostoru, z neznáma, z ohrožení, ze tmy atd. Na druhé straně pak z nadměrnosti prostoru, pedmětů, hor, z obnažení, z přesvětlení, z osamění apod. Převážně jde o stavy související s prostorami ve stavebních objektech, některé přicházejí v úvahu také v urbanismu a v krajině, případně na moři. Kritériem úměrnosti je tzv. lidské měřítko, které není dáno konkrétními parametry, ale přiměřeností k člověku v dané situaci, vnímanou subjektivně psychicky.

K přiměřenosti však náleží také tzv. impozantnost, monumentalita apod. jako psychičtí činitelé ve zvláštních případech. Obojí souvisí nejen s rozměrovými poměry k člověku, ale také se smyslem předmětu nebo jevu. Monumentální nebo impozantní přísluší jen věcem velkého významu, nikoli bezvýznamným věcem,

17 ARCHITEKTONICKÝ PROSTOR V ARCHITEKTONICKÉM OBJEKTU

Architektonický objekt, ale i jiná tělesa, jsou nebo mohou být dutá, skrývat v sobě vnitřní prostory i poloprostory, samy mohou být různě členité. Tvary dutin i těles vyvolávají různé pocity..

Smyslem architektonického nebo stavebního objektu (kromě některých inženýrských staveb a pomníků) je především jejich vnitřní, druhotný prostor, tzv. interiér, zatímco prvotní prostor otevřený do vesmíru, nazývaného exteriérem. Interiér jako druhotný prostor, je vytčen jakýmkoli prostředky z obecného prostoru. Vytčením vznikne rozhraní tvořené stěnami nebo jinými prostředky stavebního objektu. Toto rozhraní nemusí být vždy vytvořeno jen stavebními prostředky, může jít o jakékoli prostředky, které uživateli umožní pochopit a cítit se po přestupu tohoto rozhraní v jiném prostoru. Oba prostory, interiér i exteriér zůstávají pak spolu různě formálně a různě intenzivně propojeny.

Rozhraní může být masivní nebo lehké fyzické, ale také pouze fyzikální, anebo dokonce jen psychické, různě naznačené a respektované (např. tepelnou, vodní, clonou, záclonami, plachtami apod.), anebo jen náznaky (bránou, sloupovím, úpravou nebo úrovní podlahy, úpravou, druhem a výškou zastropení atd). Tyto skutečné, případně i jen pomyslné stěny vytvoří v obecném prostoru, . exteriéru, skutečné nebo pomyslné těleso, předmět, stavební nebo architektonický objekt, uvnitř pak prostor, vnímaný jako . interiér. Z venkovního pohledu jde o těleso bez ohledu na to, zda uvnitř je dutina, prostor, tedy stavební objekt, nebo zda jde o plné těleso (pomní apod.), anebo jen pouhý předmět jakéhokoli druhu a účelu.. Ve většině případů je toto rozlišení zřejmé.

Rozporným příkladem jsou mohyly, pyramidy, některé architektonické náhrobky i pomníky, kašny, bazény apod., kde poměr vnitřních prostorů je neobvykle malý proti hmotě, která vytváří vnější vzhled předmětu. Velký nepoměr je zcela zřejmě např. u skalních chrámů nebo podzemních staveb (i obytných nebo společenských), kde vnitřní prostory jsou nepatrné proti horskému nebo zemnímu masivu.

Každý přístupný prostor, interiér i exteriér, je součástí prostředí, ve kterém se člověk pohybuje mezi jinými předměty a neživými i živými objekty a žije všemi tělesnými, materiálními, pocitovými, citovými, mentálními i duchovními způsoby a prostředky. Člověk se na tomto prostředí podílí se všemi živými organismy živočišnými i rostlinnými jak pasivně, a aktivně

18 ARCHITEKTONICKÝ OBJEKT – PŘEDMĚT INSTALOVANÝ DO OBECNÉHO PROSTORU

Obecný prostor zpravidla neuvažujeme jako architektonický prostor, ale jako krajinu nebo město. Jednotlivé městské prostory však mohou mít kromě svých užitných vlastností také urbanisticko architektonické kvality. Krajina může být zčásti také upravena, zřídka je však zcela vytvořena s estetickými nebo dokonce uměleckými cíli. I když si do ní v duchu vkládáme určitou architektonickou prostorovou strukturu, je převážně dílem přírody, nikoli dílem člověka, její estetičnost tedy není umělecká, ale přírodní. Její skladbu považujeme v podstatě za náhodnou, stejně jako přirozeně vzniklý les a tvary jeho stromů, převážně náhodná je také rozmanitost jednotlivých stavebních i jiných objektů ve městě přesto, že jejich výstavba byla nějakým způsobem regulována. Některé městské prostory však mohou být koncipovány nebo vnímány jako koncipované interiéry. Koncipovanou krajinou jsou však parky přírodní, anglické, francouzské, japonské aj.:

Jednotlivé objekty jsou tedy převážně samostatnými individualitami, předměty v obecném prostoru města a krajiny.. Mají určité funkční i prostorové vazby a souvislosti, jsou jimi do celkového prostoru zabudovány, vestavěny, instalovány. Vnímáme je tedy stejně, jako umělecké dílo spočívající v tzv. „instalaci“ jednotlivých předmětů do určitého, zde obecného prostoru města a v našem podvědomí na ně vztahujeme též pravidla a kritéria jako v tomto žánru umělecké tvorby (tzv. instalace tedy „vznikla“ dříve, než takto nazvaný umělecký žánr, již tehdy, kdy třeba i pračlověk uvažoval o umístění jakéhokoli předmětu v určitém prostředí). Tato hmotná „instalace“ však mění i svůj prostor, své prostředí a lidé – její dynamická složka - i specifické jeho i své vlastní oduševnění.

Tento přístup k tvorbě hmoty a tvaru města (jehož řídicím institutem je podrobný územní plán, hlavní architekt a stavební úřad), je více tvůrčí povahy než pouhým začleňováním nových objektů do

stávajícího prostředí podle provozních a estetický harmonických vztahů. Zahrnuje do sebe také náplně objektů, vztahy mezi jejich obsahy a iracionální vztahy z oblasti vytváření pocitů, intelektuálních a duchovních hodnot a všech dalších složek, které jsou součástí a kořením života. Od doby, kdy i tyto aspekty byly řízeny orgány ovlivňovanými jednotnou vůlí a různou inteligencí i vypěstovaným vkusem a dlouhodobými výhledy feudálů, ke škodě životního prostředí stavební úřad nijak nezajímají, a novodobé obchodně zaměřené investorské organizace, tzv. „providery“ a „developery“ výstavba zajímá pouze jako obchodní akce a do doby ukončení zakázky.

19 ANI OBJEKT, ANI PROSTOR, ALE SVĚT ČLOVĚKA

Pokud duté prostory nejsou odměrkami objemů např. sypkých tekutých nebo plyných hmot, smysl prostorů pro pobyt, pohyb i konání člověka nespočívá v jejich objemech, ale v samotné prostornosti a v tom, že jsou předpokladem pro možnosti vytvořit „svět“. Stavební objekty (plné „prostory“ - tělesa) jsou z našeho hlediska jen užitnými předměty „instalovanými“ do obecného „externího“ prostoru.

Člověk v tomto prostoru žijící však nevnímá ani interiér, ani exteriér jako pouhý prostor, jeho vlastnosti jako fyzikální jev a objekty jen jako fyzické skutečnosti, ale vnímá je jako svět svého života, jako svět kterého je sám součástí a který je komplexní. Obsahuje všechny součásti, které mu umožňují žít plně, tj. jak v materiálních potřebách, tak v potřebách citových, mentálních i duchovních, racionálních i iracionálních – a to ve všech možných formách, podobách i způsobech, které mu umožní z nich čerpat, zasahovat do nich, měnit je – a tvořit do nich nové hodnoty.

Světlem je úplnost odpovídající existenčním fyzickým a fyzikálním zákonitostem, pro živé organismy hmotným a biologickým životním potřebám, i pudovým, tělesně smyslovým a pocitovým potřebám. Člověku pak ještě navíc (podle civilizačního a kulturního typu) citovým, mentálním a duchovním potřebám.

20 MEZE VNÍMÁNÍ PLOŠNÝCH PŘEDMĚTŮ

Jednorázově kompletně lze spatřit pouze plošná, případně reliéfní umělecká a jiná díla o rozměrech nepřesahujících prostorový úhel vidění při dané vzdálenosti. Pouhé vidění však není vnímáním. Tím spíše, že jednak kvalita vidění je různá pro jednotlivé části rozsahu viděného díla, jednak technika vidění vyžaduje, aby oko neustrnulo na jednom místě, ale aby těkalo. V ose vidění ve skutečnosti nevidíme vůbec nic, protože na ploše blízko středu oka je oční nerv, nikoli sítnice se světločivými a barvočivými tyčinkami a čípky. Vlivem oční čočky se k okrajům snižuje také ostrost vidění. Z principu perspektivy se k okrajům zorného úhlu tvary zkreslují, což však bereme na vědom jen u ubíhajících předmětů. Z uvedených i z dalších příčin musí naše pozornost těkat po viděné ploše (kromě těkání i mimo plochu), aby člověk skutečně viděl a vnímal. Nejen velké plochy, ale i malá plošná díla tedy vždy ve skutečnosti vnímáme tak, že se postupně zaměřujeme na určité body a dílčí plochy a dojem z díla získáme teprve dodatečně složením těchto dílčích vjemů.

K nejmenšímu zkreslení při pozorování velkých plocha dochází při kolmém pohledu z pozice proti středu obrazu nebo průčelí budovy. Zkušený pozorovatel však je nacvičen, aby i v perspektivě viděný předmět vnímal ortogonálním chápáním.

Zkresleně se často také jeví nástrovní malby ve velkých halových prostorách. U stropních kleneb se zkreslení mění s křivostí klenby, takže případné malby musí být deformovány tak, aby při pohledu vznikl dojem správných tvarů a poměrů velikostí. Takto upravené malby v klenbách je pak nutné pozorovat pouze z bodu, ke kterému malíř deformaci koncipoval, z jiných bodů dochází k deformovanému vidění. Malba na klenbách se provádí tak, že předloha se na klenbu promítne ze zvoleného bodu (zpravidla pod jejím středem). Umělci před vynálezem elektrického osvětlování si přitom vypomáhali svíčkami, avšak největší tíha na dovednost spadala na umělcovu intuici.

21 VNÍMÁNÍ OBJEMOVÝCH PŘEDMĚTŮ A STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

I dutý objekt vnímaný zvenku je předmětem, který sám vyplňuje určitý prostor jako těleso. Do stran sice vidíme jen uvnitř svého zorného úhlu, ale pohledem tékáme i mimo něj. V nejméně dvourozměrovém prostoru (na ploše), je tedy pozorovaný předmět pouhou součástí ve viděném prostoru, pouhým jevem v určité situaci v ostatním zbytku prostoru.

22 VNÍMÁNÍ VNITŘNÍCH PROSTORŮ A INTERIÉRŮ OBJEKTŮ

Ani uzavřený vnitřní prostor nelze pozorovat, vnímat a pochopit jednorázově, simultánně, jak tomu může být u menších plošných obrazů nebo obrazu krajiny pozorované z velké dálky. Nalézáme se totiž uvnitř pozorovaného prostoru a z jeho vnitřku lze pozorovat pouze postupně jen jeho jednotlivé stěny, zastopení a podlahu. Pozorovaným prostorem je tedy vždy jen kužel vymezený stanovištěm, zorným prostorovým úhlem a pozorovanou stěnou, stropem nebo podlahou. Těkáním pohledu však si do svého vidění zahrnujeme celou plochu stěny a navíc v rozích části sousedních ploch, které pak těmito návaznostmi umožní si v mysli jednotlivé stěny správně propojit. Oko téká poměrně rychle, případně s pozastavením na upoutávajících místech, z místa na místo, vnímá viděné v jednotlivých zorných kuželech a celkový obraz prostoru se sestavuje pouze v mysli pozorovatele. Takto musí pozorovatel absolvovat všechny plochy vymezující jeden konkrétní prostor, včetně podlahy a zejména zvláště účinného stropu, který je nejmocnějším činitelem pro spojení jednotlivých dílčích ploch do představy uzavřeného prostoru. Zpravidla teprve potom pozorovatel zaměří pozornost na předměty, které vytvoří obraz geometrie celého prostoru, o jeho ostatních součástech a vlastnostech. Člověk však vnímá také děje v pozorovaném prostoru a připojí je k němu. Teprve potom pochopí prostor a děje a jejich souhrnný obraz a smysl.

Objekt však téměř vždy obsahuje více jednotlivých místností, prostorů, Jejich soubor vcelku se postupně vnímá takto analyticky a architektonický objekt jako celek pak také včetně jeho vnějšího pozorování a vjemů..

Lidské vnímání neřízené předem danými speciálními účely a metodami však není takto přísně analytické. Člověk vnímá také globálně a synteticky, v jeho mysli se netvoří jen jakási „kartotéka“ vjemů k dodatečnému zpracování. Vjemy vytvářejí ihned postupně obraz plastický po všech stránkách pozorování a zájmů od geometrie přes architekturu, dojmy, pocitové nálady, estetické a umělecké dojmy v celé komplexnosti lidských smyslů, a různé přídavné dojmy, např. smysl věci, dojmy a hodnocení funkční, účelové, náboženské, filosofické, etické, předmětové atd., jak o předmětu samém, tak o jeho obousměrných vztazích k prostředí a včetně. všech jednotlivostí

23 PROSTOROVÉ A ČASOPROSTOROVÉ VNÍMÁNÍ TROJROZMĚROVÝCH PŘEDMĚTŮ

I prostorové předměty je možné pozorovat z jednoho stanoviště, avšak vjem neposkytuje informaci o jejich rozvržení a o podobě odvrácených nebo zkráceně viděných částech. Určitou jednopohledově omezenou představu je možné učinit si vizuálně jen prostřednictvím rozložení a intenzity stínů, ať při osvětlení skutečně plastického předmětu, anebo představou podle světla a stínů namalovaných. na plošném obraze. Z této příčiny důmyslné půdorysné tvary objektu ztrácejí smysl.

24 VNÍMÁNÍ V ČASE A ČASOPROSTOROVÝCH JEVŮ

Specifickým uměním vnímaném v čase je hudba. Časovým uměním založeným na významech slov je slovesná próza a básnické umění a spojeným s hudbou je píseň. I jednotlivé části prostou a objemů vnímáme v postupném čase spolu s ději, které v něm probíhají.

Nejhojnějšími časoprostorovými akcemi a uměním jsou: divadlo, různé podívané (show), cirkus, varieté, happeningy, filmová představení, ale také orchestrální koncerty s pohybovými variacemi dirigenta, všechny sporty, slavnosti, shromáždění atd.

Výtvarná umění jsou statická, pokud se nespojí s kinetikou. Architektura je považována za výtvarné umění, avšak podle způsobu, jakým ji lze vnímat a chápat, je žádoucí ji považovat a vtopit

jako časoprostorové umění. Vzhledem k tomu, že jejím nezbytným doprovodem je život v architektonických dílech, je žádoucí ji uvažovat jako scénické a dramaturgické umění a vše, co tvoří zážitky pak jako „svět“ daného okamžiku, který v budoucnosti ve spojení s ostatními zážitky vytvoří celý komplexní „svět“ určitého jedince. Z tohoto hlediska mají zvláštní význam chrámová architektura a všechny kultovní architektury i architektury pro scénické a dramaturgické akce, kde je působení i vnímání komplexně syntetické, kde působí architektonický prostor společně se všemi smysly (scénickým provedením, hudbou a jinými zvuky, světly, vůněmi, slovem i poesii a písněmi, vlastní pohybovou aktivitou, estetičností, duchovním povznesením atd.), tedy v časovém průběhu.

25 VNÍMÁNÍ PROSTORŮ A OBJEKTŮ MĚSTA

Časoprostorovým útvarem z hlediska vnímání je samo město, kde i jeho výtvarnou stránku vnímána v čase, a je spojena s aktivitami zaměřenými na všechny smysly i pocity a náladu. Vstup z krajiny do města je sledem scén dramatické povahy, který počínaje sledem obměn siluet, je vhodné na hlavních přístupových tepnách režírovat jako urbanistickou koncepci. Město již z dálky dá o sobě určitou informaci a upřesňuje ji detaily pozorovatelnými v přibližování. Spíše než o estetické hodnoty jde přitom o charakteristiky..povahy civilizační, ekonomické, kulturní, společenské, o nichž zprávu podává okolní zázemí města, uspořádání zón, ulic a jiných prostorů, typy a organizace provozu, druhy a kultura objektů a nakonec i samotní lidé na veřejných prostranstvích. Přesto velký vliv na zaujetí městem ještě před jeho podrobným poznáním má impozantnost vstupu vstupními trasami, které vyplývají z kompozice uspořádání tras a z architektonické kultury jednotlivých objektů na nich.

Tím není řečeno, že musí jít o chladnou a předstírající monumentalitu. Starověká římská města měla vybudovány monumentální vstupy z obvodu města do jeho středu především pro velkolepé vstupy vítězů vlekloucích poražené, pro zdůraznění hodností místodržitelů apod. Vstup do středověkých měst byl vyznačen bránami, které něco o městě vypovídaly. Stejnou výpovědní úlohu mají i typické vstupní brány do čínských zón evropských měst, bez navazujících opevnění, ale ihned za branou ukazující charakter této zóny. Čínské zóny i v Evropských městech jsou na vstupu vyznačeny typickými bránami a znamenají i změnu ducha. Město Curych se od příjezdového nádraží předvádí zcela pravdivě reprezentační, ale nijak výtvarně honosnou Bahnhofstrasse. My takové vstupy nepodtrhujeme, ale je žádoucí, aby každý návštěvník, ale také každý obyvatel města získal dobrý a příjemný pocit a obraz o městě, který mu však nemůže dát obvyklá neuspořádaná periférie.

Neplánovitě a náhodně rostlá průmyslová města se často na počátku své příjezdové trasy prezentují nepřehlednou a zpravidla ne příliš čistou předměstskou a tovární zástavbou. Na úplných okrajích měst se sotva podaří to, co antickým Římanům, středověkým městům a novověkým feudálům. Takové urbanistické kvality může ovlivnit jen osvícený a vzdělaný autor, nikoli úřad (stavební), obchodník (developer) nebo za zcela jinými účely sestavené shromáždění nejrozličnějších anonymních lidí v zastupitelských orgánech. „... *nynější průjem špatné, ryze komerční architektury si nehledá ani výmluvu. Ještě za první republiky lidé chápali město jako celek, ne jako shluk staveb,*“ (T Šimůnková). Nové okrajové části měst se prezentují bytovou výstavbou, případně průmyslovými nebo obchodními zónami. Postrádají však výtvarnou i duchovní kompozici.

26 ZÁVĚR

Architektonické a zejména urbanistické koncepce nespočívají pouze ve výtvarné estetice, případně v provozních kvalitách. Architektura i urbanismus vytvářejí především komplexní prostředí fyzické, fyzikální, civilizační, kulturní, které vyplývá z tělesných i psychologických a sociologických potřeb a přirozeností lidství a lidských společenství. V článku jsou poukazy právě na ně především pro tvůrce, architekty a příslušené rozhodující orgány. Ostatním pak poukazují na to, jak architekturu a urbanismus vnímat a chápat je.

LITERATURA

- [1] ARCHITECTURAL THEORY, from the Renaissance to the Present. TASCHEN GmbH Köln 2006, pp.576. ISBN 3-8228-5085-3.
- [2] ČEJKA, JAN: Tendence současné architektury. Nákl. vlastní, Münster, Německá spolková republika 1990. ISBN 80-01-00640-9.
- [3] GIEDION SIGRFRID: *Space, Time and Architecture. The Growth of new Tradition* (poprvé vydáno v r. 1941).
- [4] JUNG, CARL, GUSTAV: Archetypy i symbole, pisma vybrane.. Vybral, přeložil a vstup: Jerzy Prokopiuk. Vyd. Czytelnik, Warszawa 1976, vyd. 1..pp. 499.
- [5] KULKA, TOMÁŠ: Umění a kýč. Torst, Praha, Praha 2000, pp 292,. ISBN 80-8215-128-2.
- [6] LIBESKIND, DANIEL: *Základní kameny života a architektury*. Přel.: Kateřina Tlachová. VUTIUM Brno, Brno 2006,. pp 254,. ISBN 80-214-2927-5.
- [7] LOOS, ADOLF: *Řeči do prázdna*, uspořádal: Boh. Markalous, 2.vyd. Kutná Hora. Tichá Byzanc 2001, pp. 206, ISBN 80-86359-06-9.
- [8] LE CORBUSIER: *Vers une Architecture*. G. Gréts et C. Paris: 1924, pp. 243.
- [9] LE CORBUSIER – SAUGNIER: *Za novou architekturu*, Praha: překlad Pavel Halík, Nakladatelství Petr Rezek 2005.
- [10] PELT, ROBERT, JAN VAN a WESTFALL a CAROLL WILLIAM: *Architectural Principles in the Age of Historicism*. New Haven :Yale University Press. 1993. pp. 417, ISBN 0-300-04999-4.
- [11] MARCUS, VITRUVIUS, POLLIO: *Deset knih o architektuře*. Praha :Svoboda 197, pp. 430.
- [12] MATĚJČEK, ZDENĚK, LANGMEIER, JOSEF: *Počátky našeho duševního života*. Panorama, Praha, Praha 1986.
- [13] PATOČKA, JAN: *Umění a čas I*.Filosofia, Oikomenh Praha, Praha 2004. ISBN 80-7198-113-7, ISBN 80-7007-198-2. pp 543.
- [43] RUSÍN, TOMÁŠ: *Tajný život architektury. Vliv scénografického vnímání prostoru na interpretaci architektonického díla*. Zkrácená verze habilitační práce. VUTIUM, Brno. Brno 2005, pp 37, ISBN 80-214-3010-9, ISSN 1213-418X.
- [15] SCHULZ, NORBERG, CHRISTIAN *Genius loci: K fenomenologii architektury*, Praha: Odeon 1994.
- [16] ŠAMÁNEK, JOSEF: *Úvod do estetiky a sociologie architektury*. In. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské, TU Ostrava, řada stavební, rok 2004, č. 1, ročník IV. Ediční středisko VSB, TU Ostrava, pp 177-320.. ISBN 80-248-1143-X, ISSN 1213-1962.
- [17] ŠIMŮNKOVÁ, TEREZA: *Nasadíme jim psí hlavu*. Mladá fronta Dnes, 29.8.2009, str. D7.
- [18] ŠVÁCHA, ROSTISLAV: *Architekti zaspali. Prostor jako konstrukt historiků umění (1888-1914)*, Stavba 9, 2002, č. 6.
- [19] *UMĚNÍ je abstrakce, cesta virtuální kultury 60. let*, Primus, Zdeněk. Kant+ Arbor vitae aj. pp.328. ISBN 80-862.
- [20] ZEVI, BRUNO: *Jak se dívat na architekturu*. Čs. spisovatel, Praha 1966. Přel. Libuše Macková 1966 pp. 146.

Oponentní posudek vypracoval:

Mgr. Martin Strakoš, Ostravská univerzita, Filosofická fakulta, 70100 Ostrava, Reální 6.

Josef ŠAMÁNEK¹

SOUBĚŽNOST A ROZDÍLNOST TVORBY KONSTRUKCE A ARCHITEKTURY

**SIMULTANEITY AND THE DIVERSITY
OF THE STRUCTURE CREATION AND DESIGN OF ARCHITECTURE**

Abstrakt

Studie se zaměřuje na zorné úhly, pod kterými architektonické dílo vidí tři hlavní spoluvůrci - architekt, konstruktér nosného systému a konstruktér doplňujících konstrukcí. Týž objekt a tytéž jeho části vnímá každý ze svého hlediska, různě jako předmět své tvorby a jako své tvůrčí i pracovní prostředky. Dílo vytvářejí plošná a prostorová pole (prostory), vymezená lunárními a plošnými dělicími prostředky (konstrukcemi). Cílem studie je ukázat vzájemné spojitosti i při profesní dělbě práce, které umožní vzájemné porozumění a společné zacílení.

Abstract

The article defines unconventional composition of works inclusive architecture. Also noted the importance of terminology affecting different approaches architect and designer and see examples of the same understanding of both design specialists. Notes penury perceive phenomena rational (construction, climate, etc.) and irrational phenomena (matter of feelings, thoughts and spirit).

1 ÚVOD

Stavební díla se soustřeďují v sídlech a městech. Vytvářejí umělé nepřírozené prostředí, kde jen s některými výjimkami se odehrává celý náš život. Tvoří prostředí našeho života, které jej má podporovat a dodávat mu určité kvality. Tyto kvality spočívají v prostoru města a v technických, ale také v mentálních a ideových službách. Městské prostředí má podporovat náš citový, intelektuální, duševní a případně duchovní život. Jednou nutnou složkou toho, co má město lidem poskytovat, je také krása – a ve vyšším stupni umělecké požitky.

Z tohoto hlediska je město gigantickou uměleckou galerií – a jednotlivé stavby jsou největšími exponáty v této galerii. Jde o exponáty výtvarné, o plastiky zvláštní tím, že jednak vnímáme jejich objemy v otevřeném a rozlehlém prostoru, jednak tím, že kromě vnějších pohledů nám poskytují také své vnitřní prostory

Tyto objekty pro svou velikost a -rozložení v prostoru nutně sestávají z konstrukčních Z tohoto hlediska je město gigantickou uměleckou galerií – a jednotlivé stavby jsou největšími exponáty v této galerii. Jde o exponáty výtvarné, o plastiky zvláštní tím, že jednak vnímáme jejich objemy v otevřeném a rozlehlém prostoru, jednak tím, že kromě vnějších pohledů nám poskytují také své vnitřní prostory V našem příspěvku chceme v souběžných analogiích ukázat obě terminologie - a jimi navodit schopnost vnímání a přístup nejen technický, ale také architektonický.

2 ARCHITEKTURA A ARCHITEKTONICKÉ DÍLO

Architektura je v rámci výtvarných činností a umění specifickou dovedností i uměním, převážně užitným, případně s uměleckými ambicemi. Je založena na zaplňování všeobecného

¹ Doc. Ing. arch. Josef Šamánek, CSc., Stadická 9, 70030 Ostrava, ingarschsamanek@volny.cz, tel.: (+420) 591 156 678.

prostoru objekty a na tvorbě a využití dutého prostoru. Současně má však také funkce vizuálně estetické, někdy až umělecké. Spočívá ve fyzickém tvarování hmoty a tím také ve vytyčování prostoru - a je závislé na všech vlastnostech, které jsou specifické pro pevné hmoty všeho druhu a na vlastnostech lidmi vytvořených konstrukcí, které vůči přírodě jsou spíše abstraktní povahy. Architektura kromě toho musí plnit také funkce estetické a kulturní. Nemá však tvorbou ani uměním výstavním, neživým, pro muzea - je fenoménem důsledně sloučeným s životem lidí. Architektonické dílo je současně dílem, které má člověku, jiným živočichům i rostlinám a substrátům vytvořit podmínky pro jejich fyzickou existenci, tj. především klimaticky příznivé

3 ARCHITEKTURA SESTÁVÁ Z POLÍ A DĚLICÍCH PROSTŘEDKŮ

I tehdy, kdy se architektura nelíbí, ale má-li to, co ji dělá architekturou, je dobrá. Architekturou ji dělají pole a jejich dělicí prvky, linie nebo plochy.. Dělicí prvky jsou linie nebo plochy –celková nebo vnitřní, skutečná nebo imaginární konstrukce. Z hlediska statiky jde zpravidla současně o konstrukce zajišťující tavy a stabilitu architektonického díla. U uměleckých děl jde jen o kompoziční strukturu, u architektury o strukturu tvarů anebo také jen o strukturu imaginárně vymezující tvary polí

Pole i dělicí prvky jsou geometrickou abstrakcí. Nevyskytují se v přírodě, ale je možné je z ní vyabstrahovat. Pole mohou mít teoreticky nejrůznější tvary, jinou věcí je, že v užitných dílech, jsou vázána na určité nutnosti, např. vodorovnost podlah apod., anebo je neumíme nebo nechceme je realizovat. avšak v architektuře průmyslových výrobních objektů, ve stavbě „lodí“ všeho druhu (vodních, vesmírných atd. mohou mít nejrůznější tvary. Ve volných výtvarných uměních, kde však nejde o stavební, ale o kompoziční architekturu, se mohou realizovat snadno. V nevýtvarných uměních tyto pojmy pro tvary kompozičních částí děl mají jen obrazný význam. V jiných uměních se nazývají se také moduly, frázemi, segmenty, strofami, scénami, v architektuře provozními nebo výtvarnými či konstrukčními prostorami, soubory, částmi apod.

Teoreticky mohou mít tvary skutečných nebo imaginárních ploch úhelníkových, ploch vymezených křivkami 2., 3. a vyššího stupně, kombinace, anebo těles mnohoúhelníkových nebo oblých.vymezených plochami přímkovými nebo křivkami různých stupňů nebo různě kombinovanými. Pole jsou plochy nebo prostorová tělesa - v architektuře jsou racionální povahy (mimo architekturu jsou iracionální, vyvozené z uměleckých pocitů, citů, z myšlenkové nebo duchovní náplně). Kromě tvaru, jsou pole vymezena také jejich náplněmi. Mohou mít racionální (podle technických funkcí) nebo iracionální náplň (statické prvky - místnosti, prostory, dynamické prvky (toky provozu), klimatické prvky - světlo, vzduch, různé technické funkce, anebo prvky pocitové - nálady, pocity krásy, příjemnosti, vůně, barvy, pocity volnosti, stísněnosti a jiné. vizuální, také ostatní smyslové počítky - akustické, chuťové, hmatové, čichové a z dalších vlastností. Případně také zážitky z kinetiky- pohyblivosti, změny tvarů a vlastností apod., z hledisek mentálních, duchovních atd.

4 ARCHITEKTURA A KONSTRUKCE

Smyslem díla jsou architektonické prvky jako prostředí a prostředky života, konstrukce a konstrukční detaily jsou technickými prostředky k jejich vytvoření. Při tvorbě díla se každý specialista musí soustředit na to, aby chápal svou úlohu a roli na tvorbě, aby se tedy náležitě definovala rozdílnost chápání díla jako stavební konstrukce a jako díla architektonického a aby se rozlišily prostředky, které vytvářejí stavbu, a prostředky, které ze stavby činí dílo architektonické, estetické, případně ž umělecké. Jde o prvky, které jsou sice tytéž, ale ve svých odborných povahách a souvislostech je tvůrčí architekti a konstruktéři vnímají v jiných funkcích, což se odráží také v jejich pojmenování. Pojmenování je významným psychologickým činitelem ovlivňujícím zaměření mysli. Ačkoli v praxi deformované orientaci pouze na materialistická hlediska a popírající význam citových a duchovních, dokonce i intelektuálních hledisek, se stává právě to, že architekt „buduje prostory“ zdmi a sloupy, takže vznikají „jakési“ prostory, zatímco je má budovat právě jako prostory, přičemž zdi, sloupy, stropy jsou je nezbytnými prostředky k vymezení prostorů.

Je třeba rozlišit na jedné straně konstrukce a detailní prvky prostředky, na druhé straně pak architektonické estetické a estetizující prostředky:

4.1. Konstrukční a architektonické prvky a systémy:

- a) porovnání prvků, figur a systémů,
- b) porovnání dispozičně chápaných figur a konstrukčních figur,
- c) tvorba objektových systémů.

4.2 Architektonické, estetické a estetizující prostředky:

- a) slohové a stylové estetické a estetizující prostředky.
- b) výběr základních figur (tvarů, formátů),
- c) skupinové figury,
- d) figury v kompozic,
- e) prostředky tvorby a vnímání figur.

5 KONSTRUKČNÍ A ARCHITEKTONICKÉ PRVKY A SYSTÉMY

5.1 Porovnání prvků, figur a systémů

Postoj k povaze konkrétní činnosti

Architektura je v rámci výtvarných činností a umění specifickou dovedností i uměním, převážně užitným, případně s uměleckými ambicemi. Je založena na vytváření dílčích prostorů a zaplňování vnějšího – světového prostoru. Některé její prvky mohou být chápány různě: jednou jako konstrukce, jednou jako architektonický prvek. Kromě toho je můžeme chápat jednou jako plošný prvek, jednou jako prostorový prvek, i když ve skutečnosti jimi nejsou. Těž objekt zvenku vnímáme jako těleso, anebo zvnitřku jako dutinu nebo prostor. Tytéž reálné prvky objektu z hlediska konstrukcí jako zvláštní typ vůbec nevnímáme, z hlediska architektury jsou závažné. U jiných prvků tomu může být zcela opačně (některé prvky mohou vystupovat v různých vazbách, anebo také na obou porovnávaných stranách).

V celém díle mají jednotlivé prvky funkce obdobné, jako prvky mluvy: hlásky (písmena), slabiky, slova, fráze, věty, odstavce, kapitoly – a vyvrcholením je celek, dílo, avšak jednotlivé skupiny (figury) mají sice určitý vlastní smysl, vlastní sentenci, myšlenku). Každý prvek navazuje při vnímání určité vazby a spojením s jinými různý smysl, význam sám o sobě, ale také význam vůči celému dílu, objektu.. Smyslem prvku není ani jen on sám, ani jeho jednostranná funkce, smyslem je integrovaná funkce, která je sice někdy součtem různých dílčích funkcí, ale častěji dochází k jeho novému smyslu.

Porovnání bodových a lineárních prvků

Každý lineární prvek a prostředek může být přímý, zakřivený, křivý, předstupovat nebo ustupovat, být jednoduchý vícenásobný, otevřený, uzavřený, pronikat se s jiným, být rovnoběžný, sbíhavý, rozbíhavý (s jiným lineárním prvkem nebo s rovinou). Může být jednoznačně určitý, anebo neurčitý (rozmazaný), svislý, vodorovný, šikmý (k geomagnetickému směru nebo k čemukoli jinému) atd. (Tab. 1).

Porovnání plošných prvků

Každá plocha může být různě nakloněna, zakřivena ve vodorovném nebo svislém směru, prostorově podle různých křivek, perforována, omezená různými liniemi, neomezená..Může se s jinou plochou protínat, sečítat, odčítat, být umístěna uvnitř anebo vně jiné plochy. Může být hladká, drsná, mít povrchy různě strukturované. Může být různě vizuálně upravená: jednobarevná, vícebarevná, lesklá, odrazná, matná, průhledná, neprůhledná, průsvitná, neprůsvitná, s výstupky, s prohlubněmi, s otvory, perforovaná, pruhovaná, mřížovaná, různě členěná, malovaná, rytá, osvětlená, zastíněná, suchá mokrá, čistá, nečistá atd. Také jednoduchá, vrstvená, v sestavě (v různých vzájemných orientacích). (Tab. 2)

Tab.1: Porovnání konstrukčních prvků s architektonickými figurami.

Konstrukční prvek (architektonická „slova“)	Vnímaná architektonická figura
Bodové a malé lineární prvky	Bodové a malé arch. figury
0	Drobné jednotlivosti, výstupky, ústupky
Lineární, tyčové, prutové prvky a malé plošné prvky	Lineární arch. figury a malé plošné figury
Sloup	Vnímáme jako linii
Překlad	Vnímáme otvor , který zaklenuje
Rám	Vnímáme otvor, který lemuje
Konzola různě velká	vystupující bodový prvek, ornament, linie nebo plocha

Porovnání kubických konstrukčních a architektonických prvků

Každý kubický prvek může být v základní vodorovné nebo svislé poloze, nebo v jakékoli jiné poloze. Spočívat na základně, na nároží, na hraně, na hrotu, být na zemi, nad zemí, pod zemí, pod vodou apod. Může být osamělý, vícenásobný. Různé kubické prvky a prostředky se mohou navzájem nebo jiných předmětů dotýkat, nedotýkat atd. Může být různě deformován, pronikat se s jinými kubickými prvky, sečítat se s nimi, být k nim přičleněn nebo z nich vyčleněn, být umístěn uvnitř nebo vně (Tab. 3)

Tab.2: Porovnání plošných konstrukčních prvků s architektonickými figurami.

Konstrukční prvek	Vnímaná architektonická figura
Plošné prvky a malé prostorové prvky (slova)	Plošné architekt. figury a malé prostorové figury
Deska	Plocha
Zed'	Plocha, stěna, libovolně šikmá
Klenba nebo žebro	Plocha nebo linie
Rám	Vnímáme jako lem otvoru, bránu
Okno, dveře, brána, apod	Otvor, plocha
Pylony	dvojice ploch nebo těles s otvorem
Schodišťové rameno	Zazubená plocha
Střešní plocha	Plocha nebo soubor ploch
Převíslá deska	Římsa nebo linie
Balkon	Předstupující těleso
Rošt	Plocha (s otvory,

5.2 Dispozičně chápané architektonické figury a stavitelské figury

Pojetí objektu a konstrukce

Mezi pojetím objektu a jeho částí především jako nosné konstrukce, anebo jako výtvarného díla, je rozdíl chápání v různých oborech činnosti, které ke své práci potřebují různé tvůrčí prostředky a zabývají se různými medií, materiály), kterými tvoří své dílo. Prostředky konstruktérských oborů jsou konstrukce, mediem jsou síly, způsobem je racionalita. Architektura se tvoří interiéry a vnějším vzhledem.

Porovnání dispozičních figur a stavitelských (stavebně konstrukčních) figur

Rozdíly obdobné jako mezi chápáním konstrukčním a chápáním architektonickým jsou také mezi stavitelstvím a architekturou, přičemž architektura se realizuje stavitelstvím. Sám architekt musí tedy při své práci vidět dílo současně trojím způsobem: z hlediska provozu a prostorů a z hlediska stavebních konstrukcí (Tab. 4).

Porovnání dispozičních objemů s prostorovými s plošnými konstrukčními figurami

Kromě tvorby provozní dispozice je základem architektonické tvorby jednak tvorba těles v obecném prostoru, jednak vytváření vnitřních prostorů v tělesech. Z hlediska architektury se prostor vytváří vymezením části obecného prostoru stěnami (skutečnými nebo fiktivními), tedy konstrukcemi. Zda jde o konstrukce plošné nebo prostorové, je věcí technologie (zčásti také věcí konstruktérskou). Jde tedy opět o různé chápání částí objektů podle profesí.

V tomto případě ve zvláštním vztahu: tam, kde má být prostor, nemůže být konstrukce), tam kde je konstrukce, není prostor. Jde o doplňkový, ale vzájemně podmíněný vztah. Přesto jedna věc podmiňuje druhou, konstrukce dokonce sama obvykle vytváří svůj doplněk (nejde-li o samostatnou stěnu (Tab. 5).

5.3 Tvorba objektových systémů

Vznik objektů

Objekty jako celek vznikají různými reálnými i myšlenkovými pochody a mají různé výrazy. Z nich vyplývají rozdílné architektonické charakteristiky. Zpravidla pak také vyžadují různé konstrukce a systémy a jim odpovídající volby materiálů a technologické postupy realizace. Výtvarné názory pak ovlivňují různost architektonických výtvarných nebo uměleckých stylů, ale také slohů a krajových nebo i osobních variant. Některé z možných systémů nebo variant lze svobodně volit, některé vyplývají z obecného dobového nebo i lokálního myšlenkového názoru a vkusu. Některé jsou však nutně vyplývají z určitých vnějších podmínek a vlivů.

Řecká antika je např. těsně spjata s tektonickým principem („archi-tektrou“), který vyplynul ze stavitelství ze dřeva, a zřejmě také z filosofie společenství a doby. Táž filosofie pak ovlivnila renesanční architekturu. Naše soudobá architektura kromě jiného ale vyplývá z kamenné a cihelné (zděné z malých prvků) technologie a udržuje se i následnými stěnovými konstrukčními systémy a technologiemi, včetně panelových. Gotická architektura se stěnové technologii vymkla, přičemž určitou roli měly také iracionální myšlenky související se světlem. Moderní myšlení je racionální a zjednodušující – „pravdivé“.

6 ARCHITEKTONICKÉ. ESTETICKÉ A ESTETIZUJÍCÍ PROSTŘEDKY

Slohové a stylové estetické a estetizující prostředky

Každý architektonický prvek a prostředek může být ztvárněn. Udělený tvar může být popisný, figurativní, stylizovaný, geometrický, negeometrický, abstraktní, krystalický, symbolický, atd. Může být individuální nebo ustálený v rámci určité společnosti, významu, výrazu, symboliky, označení atd.. Ve všech případech nese stopy určitého slohu nebo stylu. uměleckého směru.

Tab.3: Porovnání kubických architektonických souborů a architektonických figur.

Konstrukční soubor (věta)	Vnímaná architektonická figura
Kubické soubory (věty)	Kubické architektonické figury
Blok	Těleso (hranol, koule, válec, jehlan, kužel atd.)
Klenba, skořepina	Plocha členěná a zakřivená
Podložka, hlavice sloupu 8), patka sloupu	deska, těleso
Rám prostorový	Vnímáme jako dutý prostor
Výklenek	Dutý prostor, dutina
Báň	Oblé těleso
Věž	těleso
Pylon	těleso
Sokl objektu	Podložené těleso
Střecha objektu	Završující těleso
Konzola, arkýř	těleso
Konzola, vysunutá konstrukce	balkon
Duté prostory	Duté prostory
0 nebo místnost	Místnost, prostor
0	Průhled, složitý prostor
0 nebo nika	Nika, dutina, výklenek
lodžie	Dutý prostor
Vysunutá konstrukce	Arkýř (zvenku), Výklenek (uvnitř)

Každé umění má své prostředky, kterými se nejen vyjadřuje, ale které také činí z díla dílo uměleckým. V literatuře, zvláště pak v poezii se souhrn těchto možností forem nazývá poetikou. Také architektura disponuje určitými ustálenými formálními prostředky, které můžeme nazvat „architektonickou“ poetikou. Tyto prostředky jsou zdrojem uměleckého vyjádření, estetiky, výrazu i kompozice.

Z těchto prostředků architektonické poetiky se dále zmíníme o ustálené tvarové a kompoziční typizaci, o tektonice, a výtvarných prostředcích analogických ve všech uměních.

7 USTÁLENÉ TVAROVÉ A KOMPOZIČNÍ TYPY OBJEKTŮ

7.1 Vznik typických tvarů objektů podle racionálních i iracionálních funkcí

V architektuře rozeznáváme funkce a náplně objektů podle ustálených vnějších tvarů a podle estetického vybavení: stavby bytové, občanské, průmyslové, zemědělské, podrobněji pak objekty bytové, administrativní, kulturní, výrobní, skladovací apod. Většina těchto charakteristik má velmi starou tradici, od které se odvíjejí i objekty pro potřeby, které vznikaly teprve v různých obdobích v následujících tisíciletí.

Tab.4: Porovnání dispozičně chápaných prvků se stavitelskými figurami.

Dispozičně chápané í prvky (dispoziční. figury)	Stavitelské konstrukce (stavitelská slova)
Lineární a malé plošné prvky	Lineární a malé plošné konstrukce
Komín, průduch	Komínové, průduchové těleso
Zábradlí	Konstrukce zábradlí
Plošné a malé objemové prvky	Plošné a malé prostorové konstrukce
Plocha místnosti	Nášlapný konstrukce
Strop místnosti, stropní podhled	Stropní konstrukce
Stěna místnosti	Nosná stěna nebo zeď
Stěna místnosti	Příčka
Průčelí, fasáda	Obvodový plášť
Schodiště	Schodišťové rameno nebo podesta
Plochá střecha, pochutná plocha	Stropní deska a střešní plášť
Terasa	stropní konstrukce a střešní plášť
Okno, dveře	otvor

Nové tvarové alternativy vznikaly jako „stavební obal“ již do praxe zavedeného způsobu shromažďování nebo činnosti: ze starověkých židovských chrámů se vyvinuly křesťanské kostely, tržnice, soudní budovy. Z individuálních chatrčí se vyvinuly nájemní domy, sídla vládců a kláštery. Z amfiteátru a pouličních představení vznikla divadla. Z křtů na břehu řeky se vyvinula baptistéria. Z obchodnických uliček pasáže, francouzské galerie a supermarket. Z přístřešků vznikly tovární objekty. Dá se říci, že převážně k těmto novým typům došlo citlivými reakcemi skutečných tvůrců na život.

7.2 Objektová tektonika monolitů

Významným kompozičním prostředkem v architektuře je architektonická tektonika (jihoevropský dům), jejím protikladem je uzavřený, na vnějšku nečleněný tvar (alpský a severský dům, krystalicky drúzovitých tvarů (expresionismus), architektura monolitních biologických zaoblených tvarů (Foster, Rogers aj.) a v nynější době téměř nedefinované tvary různě a plynule se vinoucích těles zdánlivě amorfních tvarů (Zaha Hadid, Jan Kaplický) Tektonika vzniká procesem adiční skladby, součtu prvků (dřevěných trámů nebo kamenných bloků a vyskytuje se v celých dějinách konstrukce a skeletové architektury od Egypta přes Řecko až po stavby ocelové a betonové.

Opačným procesem je členění předem daného objemu – divize. Nejmodernější netektonická architektura vzniká zdánlivě „nedefinovaným“ tvarováním hmoty (a prostorů) do negeometrických, zdánlivě amorfních tvarů.

7.3 Výtvarné impulzy a předlohy architektonických děl

Tvůrce architektonického díla zpravidla nejprve volí určitý výtvarný vztah nového díla k prostředí. Hledá a cílevědomě vytváří určitý výtvarný princip, výtvarný charakter díla. Nakonec pak estetický princip - slohovou i stylovou estetiku díla

Tab.5: Porovnání dispozičních objemů s prostorovými a plošnými konstrukčními figurami.

Dispoziční prostory a objemy	Konstrukční figury
Tělesa	Konstrukce
Budova, dům, objekt	Nosné a výplňové konstrukce
Střecha	Střešní konstrukce a plášť
0	Základy
Orámovaný otvor	Plošný rám
Prostory	Konstrukce
Podlaží)	Svislé a vodorovné konstrukce podlaží
Místnost, sál	Podlahové, stěnové a stropní konstrukce
Balkon	Balkonová konzola
Lodžie	0
Arkýř	Vyložená, předstupující konstrukce
Sklepy , garáže, kotelná apod. podlaží	Podzemní konstrukce
Podkrovní byt, místnost	Střešní (podstřešní) konstrukce
Schodiště, svislá komunikace	Schodišťová konstrukce

Z výtvarných principů, předloh, metafor, znaků nebo symbolů lze jmenovat především, tvarové principy abstraktně geometrické, principy volně geometrické, principy technokratické, principy organoplastické a tvary kombinované

Některé principy jsou použity zjevně, některé ve složitých tvarových strukturách, některé také v různých šifrách a kódech. Různé mystické, magické i astronomické šifry byly užívány zejména ve středověku, ještě i v renesanci - šifry bez mystického obsahu také v moderní architektuře (např. zlatý řez).

Je však nutno poznamenat, že tvary podle inspiračních předloh a vzorů nevytvoří estetické, architektonické, tím méně umělecké dílo. Právě naopak – mohou být příčinou kýče. Inspirace vzorem je vždy vhodnou pomůckou, avšak hodnotné dílo jakéhokoli umění i architektury vyžaduje také uměleckou inspiraci.

7.4 Architektonicko-umělecké prostředky tvaroslovné a kompoziční

V architektuře jde vždy o účinek především vizuálně estetický, někdy ale také o umělecký výraz. Estetický účinek může mít několik stupňů: objekt, který esteticky „hladí“, uklidňuje, objekt, který esteticky neuráží, objekt který esteticky upoutává, objekt esteticky vzrušující, a také objekt, který vyvolává i jiné, než jen estetické city.

K uměleckým účinkům kromě estetických přistupují ještě účinky alespoň intelektuální, u hodnotnějších děl také účinky duchovní – dílo má a vyjadřuje určitý duchovní smysl.

K estetickým a uměleckým účinkům slouží – jako v poezii - hudbě apod. – jednak vhodné lokální věcné v jednom místě, průběžné umělecké prostředky, jednak kompoziční prostředky, které smelují dílo v jeden celek a dávají mu ucelený souhrnný konečného smyslu.

Příklady těchto prostředků mohou být:

- Figury (tvary a útvary) těles, prostorů, ploch a linií samy o sobě.

- Figury a útvary - vyvolávající estetické pocity (emoce): abstraktní geometrické tvary i jiné ucelené tvary.
- Kompoziční prostředky: vnímané jako skladba vzájemných vztahů mezi prvky prostorovými, plošnými i lineárními (M.van der Rohe: pavilon Barceloně).

8 VÝBĚR ZÁKLADNÍCH VÝTVARNÝCH FIGUR (TVARŮ, FORMÁTŮ)

8.1 Figury (tvary, formáty) tvorby a vnímání obrazců

U výtvarného díla liniového, plošného nebo prostorového se podvědomě pociťuje vzájemný vztah mezi jeho jednotlivými prvky jako jistá „váha“.(červená barva je účinnější než zelená).

V dalším uvádíme některé možné figury (architektonické) poetiky.

- Rovnováha : vyváženost stabilizovaná (ke středu) nebo mírně excentrická (ve zlatém řezu)
- Tvar: abstraktní, zobrazující, symbolický,asociační.
- Forma: tradiční, nová.
- Růst: proměny figur.
- Prostor: těleso, dutina.
- Světlo: formuje tělesa, zviditelňuje.předměty.
- Barva: vytváří nálady.
- Pohyb: : vytváří prostor a život.
- Dynamika probíhá v čase a naznačuje život.
- Gesto: sděluje.myšlenku.
- Výraz: dává smysl gestu (zdůrazňuje,potlačuje).

8.2 Figury vytvářející vztahy

- Harmonie: vytváří nebo zdůrazňuje klid, pohodu soulad
- Disharmonie: vytváří neklid, nebo zdůrazňuje napětí
- Rovnováha: vytváří nebo zdůrazňuje klid, stejnosti
- Kontrast: vytváří nebo zdůrazňuje maximální rozdílnost, interval
- Kontrapunkt: vytváří nebo zdůrazňuje mnohovýznamnost
- Kánón: vytváří nebo zdůrazňuje tok
- Variace: vytváří nebo zdůrazňuje různost ve stejnosti
- Alternativa: ukazuje možnosti, vymezuje pole možností
- Imitace: ukazuje nestejnost hodnot

8.3 Figury skupinové

- Řazení: součtem těles, prostorů a ploch.
- Násobení: v řadě opakovaná tělesa, prostory, plochy.

8.4 Figury v kompozici

Jednotlivé prvky nebo figury jsou dílčími formálními, ^{obsahovými} i smyslovými útvary díla. Uvádíme některé možnosti úloh figur v celkové kompozici.

- Soubor, věta: spojuje do smyslu.
- Sečítání: vytváří vyšší celek.
- Dělení: odděluje úseky.
- Dominanta: vytváří nebo zdůrazňuje centrum smyslu,ovlivňuje.

8.5 Prostředky tvorby a vnímání figur

Vzájemné vztahy figur vytvářejí estetické hodnoty, které umožňují působit na mysl a pocity pozorovatelů a vytvářejí estetické emoce. Součástí estetiky díla je kromě rozvrhu faktických prvků také kompozice emocionálních prvků v ploše, v prostoru, anebo v čase. Celkový účinek je pak specifickou „mluvou“ estetického díla, v našem případě architektonického díla. Tato mluva může být pouze sdělovací nebo symbolická apod., a kromě toho také více či méně emocionální,

až umělecká. Vytváří estetickou nebo až uměleckou hodnotu díla. Figury mají estetické nebo umělecké účinky, z nichž některé dále naznačujeme: Proporce: vztahy velikostí, vytváří dojmy významu.

- Harmonie: soulad proporcí, pohoda.
- Rytmus: dává řád a asociuje život.
- Eurytmie: soulad figur s celkem, jejich patřičnost k celku.
- Kontrast: kontrast zesiluje intenzitu.
- Symetrie: nastavuje zrcadlo, zdůrazňuje stejnost, ale nudí.
- Akcent: zvyšuje význam prvku v celku.
- Barva: ožívuje, spojuje nebo odděluje figury.
- Linie: vede zrak.
- Divergence : zdánlivě zvětšuje rozměry se vzdáleností v neperspektivním obraze.
- Konvergence: zdánlivě zmenšuje rozměry se vzdáleností.
- Figura: významově i formálně ucelený prvek..
- Metafora: připodobnění ke známějšímu předmětu.nebo jevu.
- Dekorace: Dodatečné estetizující přídavek.
- Symbolika: Zastoupení předmětu nebo jevu znakem.
- Typ: ustálený a opakovaně používaný formát, vzor.
- Genius loci: specifický duch místa.
- Gesamtkunstwerk: termín pro syntetické umělecké dílo působící esteticky a umělecky vyváženě na všechny smysly.

LITERATURA

- [1] ARCHITECTURAL THEORY, *from the Renaissance to the Present*. TASCHEN GmbH Köln 2006, 576 s ISBN 3-8228-5085-3.
- [2] BUKOVSKÝ JAN A KOLEKTIV: *Dějiny stavitelství*. Akademické nakladatelství CERM – Vys. učení techn. v Brně, VUTIUM 2001, 240 s. ISBN 80-7204 215-7.
- [3] DEMPSEYOVÁ, AMY: *Umělecké styly, školy a hnutí*. Slovart Bratislava, Bratislava 2002, 303 s. ISBN 80-7209-402-5.
- [4] CHVATÍK, KVĚTOSLAV: *Strukturální estetika*. Host, Brno, Brno 2001, 208 s, ISBN 80-7294-027-9.
- [5] KIDDERSMITH, G. E.: *The New Architecture of Europe*. Peliocanbooks,, 10/6, 1962. Penguin Books Ltd, Harmondsworth, Middlesex. Str. 349.
- [6] SOURIAN, ETIENNE: *Encyklopedie estetiky*. Přel. Hrbata, Zd. a kol. Victoria Publishing Praha, Praha 1994,. 939 s. ISBN 80-85605-18-X
- [7] ŠAMÁNEK, JOSEF: *Člověk, architektura a biologické pra-prameny vnímání a estetiky*. Rukopis 2007. ISBN 80-239.6677-4.
- [8] ŠAMÁNEK JOSEF: *Úvod do estetiky a sociologie architektury*. In. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské, TU Ostrava, řada stavební, rok 2004, č. 1, ročník IV. Ediční středisko VSB, TU Ostrava, str.. 177-320. ISBN 80-248-1143-X, ISSN 1213-1962.
- [9] ZEVI, BRUNO: *Jak se dívat na architekturu*. Čs. spisovatel, Praha 1966,. Přel. Libuše Macková 66.

Oponentní posudek vypracoval:

PhDr. Alena Hrazdilová, Moravskoslezská vědecká knihovna v Ostravě.

**Sborník vědeckých prací
Vysoké školy báňské – Technické univerzity
Ostrava**

řada stavební

číslo 1, rok 2009, ročník IX

Redakční rada:

Předseda: Ing. Martin Krejsa, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Doc. RNDr. Hrubešová Eva, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Doc. Ing. Janas Petr, CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Doc. 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

Prof. Dr.hab. inž. Jaroslav Rajczyk, děkan Fakulty stavební, Polytechnika Czestochowa, Polsko

Doc. Ing. Vlastislav Salajka, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc., Ústav geoniky AV ČR

Publikované články jsou recenzovány

Adresa redakce:

Ludvíka Podéště 1875/17

708 33 Ostrava - Poruba

Česká republika

Náklad: 150 ks

Grafické zpracování: Radim Pientka

Tisk: DEVELOP centrum s.r.o., Hlučín

Vazba: Ediční středisko VŠB-TU Ostrava

© Vydala Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2105-4

ISSN 1213-1962

