



UDRŽITELNÁ VÝSTAVBA 2

UDRŽITELNÁ VÝSTAVBA 2

kolektiv autorů

editoři:

Prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.

Ing. Svatoslav Chamra, CSc.

Ing. Marek Ženka

Praha 2006

Návrh obálky: Marek Ženka

Zdroj fotografie: <http://www.slunakov.cz>

Poznámka editorů

Publikace vznikla v rámci řešení výzkumného záměru Ministerstva školství MSM 6840770005 „UDRŽITELNÁ VÝSTAVBA“. V publikaci jsou zahrnuty také příspěvky prezentované na odborném workshopu o výzkumném záměru VZ 04 „UDRŽITELNÁ VÝSTAVBA“ pořádaného dne 14.12.2006 v budově Fakulty stavební ČVUT v Praze. Kniha obsahuje 31 příspěvků, které jsou členěny do tematických oddílů WP1 (Výstavba na brownfieldech), WP2 (Udržitelná výstavba budov), WP3 (Využití odpadních hmot, recyklátů ve stavebnictví) a WP4 (Přírodní katastrofy (nehody, požáry) – optimalizace ochrany, interakce s konstrukcemi).

Editoři: Tywoniak, Chamra, Ženka

Praha, prosinec 2006.

Tisk: Ediční středisko ČVUT Praha. Počet stran: 260. Náklad: 200 ks.

Neprodejný výtisk.

Publikace neprošla jazykovou úpravou. Příspěvky byly otištěny z předloh dodanými autory.

Kontaktní adresa: Fakulta stavební ČVUT v Praze

Prof. Ing. I. Vaníček, DrSc. – tel. (+420) 224354540, vaniceki@fsv.cvut.cz

Prof. Ing. J. Tywoniak, CSc. – tel. (+420) 224354575, tywoniak@fsv.cvut.cz

Ing. Marek Ženka – tel. (+420) 224355325, marek.zenka@fsv.cvut.cz

© ČVUT v Praze, Fakulta stavební

OBSAH

Úvod

Předmluva (<i>P. Hájek</i>)	7
Udržitelná výstavba – prvek současnosti i budoucnosti (<i>I. Vaniček</i>)	9

WP 1 Výstavba na brownfieldech

Současný stav ochrany půdy a znovuvyužití brownfields (<i>V. Kuráž</i>)	15
Hlavní zásady pro revitalizaci brownfieldů (<i>Z. Kramářová, A. Mansfeldová</i>)	21
Průzkum a modelování proudění podzemní vody v Karlíně (<i>M. Havlice, D. Jirásko, J. Vacek, I. Vaniček</i>)	27
Veřejný prostor – Veřejný život (?) (<i>P. Žerebáková</i>)	37

WP 2 Udržitelná výstavba budov

Solární energie a obvodové konstrukce nízkoenergetických domů (<i>J. Tywoniak</i>)	45
BIPV systémy na bázi c-Si (<i>K. Staněk</i>)	53
Výpočtové hodnocení dvouplášťových střech – od normových postupů k CFD modelování (<i>Z. Svoboda</i>)	63
Tepelně vlhkostní analýza povrchového souvrství kontaktně zateplovacího systému (<i>J. Ficenec</i>)	73
Vyhodnocení vlivu nuceného odvětrání podloží na teplotní pole pod domem prostřednictvím ročního monitoringu (<i>M. Jiránek</i>)	83

Poruchy při provozu vzduchotechnických zařízení (<i>K. Papež</i>)	93
Akumulace energie (<i>M. Kabrhel</i>)	97
Kvalita vnitřního vzduchu v obytných stavbách (<i>H. Doležilková</i>)	105
Využití solárního komína pro přirozené větrání a pasivní chlazení (<i>R. Galko, K. Papež</i>)	117
Únosnost a prostorová tuhost střešních konstrukcí s kovovými deskami s prolisovanými trny (<i>P. Kuklík, M. Volodan</i>)	127

WP 3 Využití odpadních hmot, recyklátů ve stavebnictví

Konstrukční vláknobeton s recyklovaným plnivem (<i>J. Výborný, J. Vodička, H. Hanzlová</i>)	137
Dílčí výsledky sledování konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu v konstrukci pražcového podloží (<i>M. Lidmila</i>)	145

WP 4 Přírodní katastrofy (nehody, požáry) – optimalizace ochrany, interakce s konstrukcemi

Ekonomické rizikové faktory trvale udržitelné výstavby (<i>J. Klvaňa</i>)	153
Metodika hodnocení efektivnosti protipovodňových opatření (<i>P. Fošumpaur</i>)	161
Únosnost přípoje krátkou čelní deskou při požáru (<i>F. Wald, J. Chlouba, P. Kallerová</i>)	171
Terénní průzkum v Karlíně (<i>M. Císlarová et al.</i>)	177
Odhadování kritických odstupů na neřízených křižovatkách metodou maximální věrohodnosti	

<i>(M. Hála)</i>	187
Kapacity křižovatky jako riziko dopravní sítě	
<i>(P. Slabý)</i>	197
Technologie recyklace za studena v silničním stavitelství	
<i>(P. Mondschein)</i>	207
Významné výsledky sledování nestabilní oblasti Rabenov	
<i>(J. Záleský, P. Hánek)</i>	213
Pyrotechnický průzkum a očista staveniště dálnice D47	
<i>(T. Pokorný)</i>	219
Geodetické práce pro udržitelnou výstavbu	
<i>(J. Pospíšil et al.)</i>	229
Vliv a odhad chyb měřených veličin při vyrovnání sítí	
<i>(J. Ratiborský, M. Seidl)</i>	239
Strategy of Location, Planning and Design of Green Bridges	
<i>(J. Římal, M. Foglar, V. Křístek)</i>	245
The Non-linear Analysis Of Reinforced Concrete Frame Structures And Assignment Its Response To Seismic Load	
<i>(K. Pohl)</i>	253

ÚVODEM

„Jestliže jsme dominantním druhem z hlediska počtu a vzali jsme na sebe vůdčí roli, potom máme povinnost ke všem existujícím formám života udržovat harmonii a rovnováhu ekosystému na Zemi.“ (Její Císařské Veličenstvo, princezna Takamodo, uvítací řeč na konferenci Sustainable Building SB2005 Tokyo, Japonsko, 2005).

„Toto je nejzávažnější zpráva týkající se budoucnosti publikovaná současnou vládou. Někteří budou i nadále pochybovat o vlivech jako jsou tyto, dílem protože jejich důsledky jsou tak děsivé. Ale o čem nelze pochybovat je, že současné vědecké důkazy týkající se globálního oteplování způsobeného emisemi skleníkových plynů jsou zdrcující. Je nepochybné, že jestliže vědci mají pravdu, důsledky pro naši planetu jsou doslova katastrofické. A k této katastrofě nedojde v nějaké sci-fi budoucnosti za mnoho let, ale za našeho života.“

(Oficiální reakce britského premiéra Tony Blaira po prostudování 700-stránkové zprávy Sira Nicholase Sterna, ekonomického poradce Britské vlády s názvem: „Stern Review on the Economics of Climate Change“, která byla zveřejněna dne 30.10.2006)

Diskuse o důsledcích nekontrolovaného čerpání přírodních zdrojů a znečišťování životního prostředí se přesunula z pracoven vědců a schůzí aktivistů do úvah vrcholných světových politiků a dalších významných osobností veřejného života. Jistě stále ještě budou existovat i názory zpochybňující význam vlivu lidské činnosti na měnící se stav klimatu. Vlastní změny klimatu však již nelze zpochybnit. Můžeme je monitorovat a hledat řešení jakým způsobem tento proces zastavit nebo alespoň zpomalit. Vzhledem k tomu, že budovy (jejich výstavba a provoz) se podílejí na celkové spotřebě energie, množství produkovaných emisí CO₂ a na množství odpadů z 30 – 40 %, je šance na ovlivnění současného stavu prostředí prostřednictvím optimalizace konstruování budov velmi významná. Požadovaného pozitivního efektu však lze dosáhnout pouze v případě synergie různých optimalizačních přístupů týkajících se nejenom energetické náročnosti budov a spotřeby neobnovitelných materiálů, ale i dalších souvisejících aspektů ekonomických a socio-kulturních.

Každá vědecká práce zabývající se některým z aspektů tohoto multikriteriálního a multiparametrického problému může sice sama o sobě přispět k řešení globálních problémů nevýrazně, ale v synergii s dalšími novými řešeními a opatřeními již může jít o významný příspěvek. V oblasti stavebnictví je proces hledání nových efektivních řešení cílených ke snižování negativních dopadů a zvyšování užitných vlastností obsažen v tématu udržitelná výstavba.

Udržitelná výstavba – prvek současnosti i budoucnosti

Ivan Vaníček

Úvodem pracovního semináře ke konci druhého roku řešení Výzkumného záměru „Udržitelná výstavba“ – je možno s jistotou prohlásit, že zvolené téma je prvkem nejen současnosti, ale bude aktuální i v budoucnosti, neb jde o akceptaci základního principu udržitelného rozvoje společnosti schválenému na celosvětové úrovni.

V oblasti stavebnictví je otázka udržitelného rozvoje velmi citlivá, neb spotřeba energie a surovin je zde obzvlášť vysoká, často se hovoří o 30 % celkové spotřeby. Stačí podívat se do přehledu zahraničního odborného stavebního tisku a většina problémů zde uváděných má úzký vztah k udržitelnému rozvoji. Stejně tomu je i v případě přípravy nejbližších prioritních okruhů, které by se měly na Evropské úrovni řešit v nejbližším období. Princip udržitelné výstavby je však zahrnut i do vize 2030 – předpokladu směřování stavebnictví v dlouhodobém výhledu.

Řešení výzkumného záměru je zaměřeno na 4 základní okruhy, které v oblasti udržitelné výstavby zauímají přední místo:

- udržitelná výstavba budov – okruh, který bude v letošním roce tvořit jádro našeho pracovního semináře,
- výstavba na brownfields – okruh, který vévodil našemu loňskému setkání,
- výzkum využití odpadů a druhotných materiálů ve stavebnictví,
- ochrana před přírodními katastrofami, nehodami.

Je pozitivní, že úkoly nejsou řešeny individuálně, ale dochází k významnému propojení výzkumné kapacity celého spektra Fakulty stavební. Pracovníci, kteří o sobě dosud příliš nevěděli spolu komunikují, řeší společně problémy, přičemž do řešení každý individuálně vnáší svůj pohled vidění. Tento prvek pokládám za jeden z nejvýznamnějších, neboť umožňuje řešit problémy z širšího pohledu, což právě problematika udržitelné výstavby vyžaduje. Proto dnes spolu komunikují matematici s ekonomy, silničáři i vodohospodáři, nebo naopak architekti se sociology, geotechniky a pedology a více případů by bylo možno dále specifikovat.

V neposlední řadě však dochází k výraznější mezinárodní spolupráci a jádro řešitelského týmu zde získává již velmi významné postavení. Osvědčil se model zapojení doktorandů do spolupráce, kteří tak přímo spolupracují v širším kolektivu a částečně jsou do řešení zapojováni i studenti v rámci diplomových

prací. Je prospěšné, že řešitelský tým se věnuje i propagaci myšlenky udržitelné výstavby a to i v rámci probíhajícího průzkumu mezi studenty FSV ČVUT.

Stručná charakteristika jednotlivých pracovních okruhů:

1) **Udržitelná výstavba** – zaměření na energetickou náročnost z pohledu celého cyklu životnosti stavby, zlepšení prostředí uvnitř objektu, kde lidé stráví většinu svého času. Cesty k řešení – ověřování na reálných modelech v měřítku 1: 1 umožňuje bezprostředně vyhodnotit výstupy z řešení – způsoby izolace a to jak tepelné, zvukové i propustnost pro vzduch – sledování výměny vzduchu s rekuperací tepla, využívající predehřátí či naopak ochlazení přiváděného čerstvého vzduchu za využití málo proměnné teploty půdního prostředí. Za pozitivní vidím orientaci na dřevěné stavební prvky i celé konstrukce, neb dřevo je základní stavební materiál. Bohužel však je u nás stále méně využíván v porovnání se státy v Evropě. Přitom jde o surovinu obnovitelnou, po skončení životnosti konstrukce stavby snadno využitelnou. Spolupráce s architekty umožňuje koordinaci snížení energetické náročnosti i za využití zeleně.

2) **Výstavba na brownfields** – otázka velmi citlivá, spojená s restrukturalizací průmyslu, změnou postavení armády, nového přístupu k zemědělské výrobě. Rozsah opuštěných, podhodnocených budov a pozemků roste a je třeba výstavbu přednostně směřovat na tyto pozemky, označované jako brownfields, před běžnou novou výstavbou na zelené louce. Nejde jen o rozsáhlé průmyslové lokality Ostravu, Plzeň, Prahu ..., ale i o menší lokality až téměř o každou menší vesnici, když i zde nalezneme opuštěné zemědělské objekty a kontaminované pozemky.

Řešitelský tým se zaměřil na jednotlivé fáze opětového využití brownfields, o výstupy umožňující pomocí relativně jednoduchých metod vyhodnotit jednotlivé případy a dát tak užitečný podkladový materiál pro rozhodování na úrovni městských a obecních zastupitelstev. Architektonický přístup vstupuje do přípravy dvojím způsobem, definuje starší objekty, které by zasloužily budoucí ochranu na straně jedné a dále v rámci přípravy územních plánů pomáhá začlenit stávající brownfields do nové struktury měst a obcí.

Současně však výstupy řeší i složitější případy území kontaminovaných pomocí modelů šíření kontaminace v horninovém prostředí v čase a prostoru, způsoby sanace kontaminovaných území. Orientace na aplikaci pro oblast Karlína – Manin by mohla definovat omezení potenciálního rizika vyplývajícího z využití těchto komplikovaných a přitom atraktivních

území v Praze. Jde o zvláštní kombinaci brownfields se záplavovým územím.

3) Aplikace odpadů a druhotných materiálů ve stavebnictví – úkolem stavebnictví je omezit spotřebu nových surovin a současně omezit množství produkovaných odpadů, ve větší míře využívat nejen odpady, které produkuje samotné stavebnictví, ale i odpady, které jsou produkovány mimo oblast stavebnictví, například v energetice, hutnictví, úpravě uhlí, rud i nerud. Proto je náš zájem zaměřen na využití cihelného odpadu ve formě cihlo-betonu vyztuženého umělými vlákny, na využití stabilizovaného popela po jeho vyztužení do podkladních vrstev vozovek, podlah velkých hal, využití popela v zemním tělese železničních staveb, na recyklaci asfaltu ze starých vozovek apod. Přitom se též sleduje environmentální hledisko, nakolik potenciální využití odpadů může mít negativní dopad na své okolí. Děje se tak simulací šíření výluhů z uložených materiálů. Dopravní stavitelství je schopno novým přístupem k návrhu zemních konstrukcí preferovat násypy před zářezy a tak zajišťovat prostor pro spotřebu velkoobjemových odpadů. Aby využití těchto odpadních materiálů mělo rozvíjející se tendenci, jsou podnikány kroky ke vzniku komoditní burzy odpadních materiálů pro jejich snadnější využití.

4) Přírodní katastrofy, nehody – v první řadě je problematika řešena z obecného pohledu rizika s těmito jevy spojenými – jaká opatření jsou optimální. Teoretický přístup umožňuje definovat požadovanou míru ochrany před povodněmi, proti dopravním nehodám i proti účinku seismického zatížení.

V praktické poloze je řešení zaměřeno na dopravní stavby, na eliminaci dopravních nehod, snižování střetu s živočichy návrhem a výstavbou ekoduktů. Velká pozornost se věnuje výzkumu nebezpečí propagace sesuvů na územích dotčených v posledním období lidskou činností, nakolik jsou postupující rekultivace výsypek nadložních jílů ovlivněny zaplavováním zbytkových jam po těžbě hnědého uhlí, neb zde dochází k postupnému ustalování hydrogeologického režimu. V podstatě jde o zajištění těchto území pro novou formu využití. V neposlední řadě je výzkum zaměřen na velmi citlivou otázku požární odolnosti stavebních konstrukcí, a to i výzkum v měřítku 1:1 na reálných modelech.

Není mým úkolem popsat do detailu jednotlivé aktivity jednotlivých řešitelů a týmů VZ. O jejich činnosti a to v podstatně podrobnější formě nás budou dnes informovat osobně a osvětlí výše naznačené aspekty řešené problematiky.

WP 1 Výstavba na brownfieldech

Současný stav ochrany půdy a znovuvyužití brownfields

Václav Kuráž

Abstract.

The present stage of a remediation and reusing of brownfields in the Czech Republic is not acceptable. The national strategy has not been developed and the investments on the green fields are still preferably used. Also a brownfields database is still missing. The proposals for solving the mentioned problems and ensuring the sustainable use of agricultural lands are discussed in the paper based on the EU directive for soil protection. As the first step, the database including all types of brownfields should be developed.

1. Úvod

V letošním roce byla Evropskou komisí dokončena příprava konečného znění klíčového dokumentu, který by měl přispět k větší ochraně půdy, snížení jejího záboru a současně k zajištění inventarizace kontaminovaných ploch a jejich následné dekontaminaci. Jedná se o „Směrnici Evropského parlamentu o ochraně půdy“. Tato směrnice byla očekávána s velkými nadějemi, jak plyne také z tisíců připomínek, které komise k jejímu znění obdržela. Hlavní problém z celoevropského hlediska je dlouhodobě neudržitelný stav, kdy dochází stále k poměrně velkým záborům zemědělské půdy pro investiční akce, půda je často kontaminována, nebo neplní řádně všechny funkce, hlavně ekologické a vodohospodářské.

Bohužel se stále velmi často setkáváme s tím, že jsou připravovány a z veřejných zdrojů podporovány nové „průmyslové zóny“, pro které jsou investičními pobídkami lákáni investoři. Bohužel většina těchto zón je připravována na orné půdě, často velmi kvalitní. Argument, že se sníží nezaměstnanost v dané oblasti neobstojí. Jako příklad je možno uvést investici společnosti Nemark v severních Čechách, kde byla vykoupena kvalitní zemědělská půda, která byla pro tuto investici vyjmuta ze zemědělského půdního fondu. Přitom v této oblasti jsou obrovské plochy nevyužitých výsypek. Společnost Nemark sice uvádí, že zvolená lokalita Joseph u Havrouně je jedinou, která splňuje všechny požadavky. Zarážející ovšem je, že tato lokalita, která je na posledním zbytku kvalitní zemědělské půdy v oblasti, byla již předem v územním plánu vybrána jako možná budoucí průmyslová zóna. Takovýto příklad není bohužel ojedinělý, podle mého názoru u nás stále ještě není v povědomí ani kompetentních institucí, ani veřejnosti, že by pro takovéto

Václav Kuráž, Doc. Ing., CSc

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Thákurova 7, 166 29 Praha 6- Dejvice

Tel.: 224354741, FAX:22435čřáč, e-mail:kuraz@fsv.cvut.cz.

průmyslové zóny měly být přednostně vybírány nevyužité plochy a pouze v případech, kde není jiné řešení, uvažovat o záboru zemědělské půdy. Pokud nedojde k zásadním zvrátům v této politice, nemůžeme mluvit o udržitelném využívání zemědělské půdy. Současný trend, kdy je u nás pro investiční akce vyjímáno ze zemědělské půdy cca 1.000 ha ročně sice na první pohled vypadá vcelku příznivě, z dlouhodobého pohledu je však neakceptovatelný. Dalším problémem je, že se pro tyto účely z půdního fondu vyjímají hlavně ty nejúrodnější půdy a žádné ani legislativní, ani ekonomické nástroje, které by tento trend zvrátily, u nás bohužel neexistují.

2. Komentář ke Směrnici EU o ochraně půdy

Směrnice o ochraně půdy byla připravována několik let, 22.9. t.r. bylo publikováno její konečné znění. Hlavním cílem Směrnice je dosáhnout stavu, který by zajišťoval trvale udržitelné využívání půdy. V současné době je půda v celém Společenství pod rostoucím environmentálním tlakem, který je způsoben, či zhoršován lidskou činností, jako je nevhodná zemědělská a lesnická praxe, průmyslové činnosti, cestovní ruch nebo rozvoj měst. Tyto činnosti výrazně omezují řadu funkcí půdy. Ačkoliv je půda většinou v soukromém vlastnictví, je zdrojem společného zájmu společenství a její nedostatečná ochrana ohrozí udržitelnost a dlouhodobou konkurenceschopnost v Evropě. Degradace půdy má navíc zásadní vliv na další oblasti společného zájmu, jako je ochrana vody, lidského zdraví, změna klimatu, ochrana přírody a biologické diversity a bezpečnost potravin. Z připomínek, které došly komisi je jistě zajímavý požadavek na restrikcii v rozvoji měst a cestovního ruchu. Takovéto názory, které by jistě i pro nás byly prospěšné, bohužel nemohly být akceptovány, protože Společenství má v oblasti zákazů využívání půdy omezené pravomoci. Komise zvolila jako nástroj pro dosažení požadovaných cílů vytvoření rámcové směrnice. Normativnější nástroj, jako je nařízení by neumožnil vzít v úvahu rozmanitost půdy a nebyl by dostatečně pružný z hlediska místních podmínek. Nezávazný nástroj by na druhé straně nezajistil udržitelné využívání společného přírodního zdroje v celé Evropě a nezabránil by případnému narušení hospodářské soutěže vzhledem k odlišným vnitrostátním režimům.

Při zpracování připomínek se dospělo k jednoznačné shodě, že půdě by se měla zajistit stejná úroveň ochrany jako jiným mediím, jako ovzduší, nebo vodě. Použitý stupeň ochrany je flexibilní, aby umožnil zohlednit místní specifika půdy a jejího využívání, Směrnice tedy vytváří rámec, který stanoví společné cíle a zásady a přijetí podrobných opatření na vhodné správní a geografické úrovni ponechává na členských státech.

Hlavní body navržené směrnice jsou následující:

- Zřídit společný rámec na ochranu půdy s cílem zachování funkcí půdy, prevence degradace půdy, rekultivace degradované půdy.
- Určit, popsat a posoudit vliv některých zásahů na degradaci půdy z hlediska ochrany funkcí půdy.
- Požadavek, aby vlastníci a uživatelé půdy učinili preventivní opatření, jestliže je možné očekávat, že způsob jejich využívání půdy může významně ovlivnit funkce půdy.
- Racionálnější využívání půdy z hlediska jejího záboru pro investiční účely s cílem zachovat co nejvíce funkcí půdy.
- Určení oblastí ohrožených erozí, úbytkem organické hmoty, utužováním, sesuvy apod. a zřízení vnitrostátních programů opatření. K zajištění srovnatelného přístupu je potřeba hodnotit uvedená rizika podle jednotných metodik.
- Opatření omezující kontaminaci půdy, která by omezila funkce půdy a způsobila riziko pro lidské zdraví a životní prostředí.
- Inventarizace kontaminovaných lokalit, programy pro financování sanace těchto lokalit, vypracování zpráv o stavu půdy a vnitrostátní sanační strategie. Zavádí se definice kontaminovaných lokalit a seznam činností potenciálně znečišťujících půdu. Tento krok představuje základ pro vytváření seznamu skutečně kontaminovaných lokalit. Opatření by mělo být doplnění povinnosti pro prodejce nebo budoucího kupce poskytnout zprávu o stavu půdy při všech transakcích s půdou, na níž probíhaly nebo probíhají potenciálně znečišťující činnosti.

3. Současný stav v ČR, srovnání se Směrnicí EU

Směrnice EU o ochraně půdy spolu s dalšími dokumenty EU vytváří rámec jak pro ochranu půdy, tak pro znovuvyužití brownfieldů. Současným stavem v ČR se podrobně zabývá mimo jiné Ministerstvo pro místní rozvoj, v rámci řešení projektu MMR byla zpracována právní analýza současného stavu a návrhy řešení (Havel&Holásek 2006). Autoři navrhuji řešení současného stavu novým zákonem o brownfieldech, případně další novelizací stávajících zákonů. Je potřeba uznat, že ve velkých městech i bez těchto právních dokumentů průběžně dochází k revitalizaci a novému využití brownfieldů, neboli tyto plochy si své developery, případně investory „najdou sami“ vzhledem k atraktivitě jejich polohy. Mnohem větší problémy jsou ovšem v malých městech a na vesnicích, kde ani brownfield, který je umístěn v centru a není kontaminován není atraktivní a vyžaduje jiné, systémové řešení. Za největší problém v ČR považují

to, že doposud nemáme ucelenou koncepci a národní strategii revitalizace těchto ploch. Bohužel se v této problematice za poslední rok nic nezměnilo.

Jak bylo uvedeno např. (Kuráž, 2006), zásady ochrany zemědělského půdního fondu jsou stanoveny v zákoně č. 334/1992 Sb, respektive v jeho příloze, kde jsou uvedeny odvody za vynětí ze zemědělského půdního fondu. Cíle ochrany půdního fondu jsou mimo jiné:

- Snížení úbytku zemědělské půdy na nezbytné minimum
- Vytvoření předpokladů pro návratnost dočasně odňatých nebo dočasně nevyužívaných zemědělských pozemků
- Předcházení znečišťování půdy a případné odstranění kontaminace.

Za velmi důležitou změnu uváděnou ve Směrnici je možno považovat nový pohled na ochranu půd, kdy nejsou chráněny půdy jako takové, ale důležité je zachování příslušných funkcí půdy. Jako příklad je možno uvést případ, kdy je sice ze zemědělské půdy vyjmuta určitá plocha, ale pouze její část bude zastavěna a u zbylé plochy bude zajištěno, aby dále plnila mimoprodukční funkce (infiltrační, retenční apod.). Dosáhne se toho např. tím, že namísto asfaltových parkovacích a jiných ploch se použijí různé rohože, dlaždice apod.

Důležitým protřzním opatřením, které by vedlo ke snížení záborů zemědělské půdy, by bylo zvýšení odvodů za odnětí půdy. Odvody za vynětí ze zemědělského půdního fondu jsou založeny na principu, že ten, v jehož zájmu se zemědělská půda odnímá, je za to povinen zaplatit určitou finanční kompensaci. Výši odvodu stanovuje orgán ochrany zemědělského půdního fondu podle kritérií uvedených v příloze uvedeného zákona, přičemž je ze 40% příjmem obce a ze 60% příjmem Státního fondu životního prostředí ČR. Finanční prostředky takto získané slouží potřebám ochrany životního prostředí. Zvýšení odvodů by tedy přineslo celkově vyšší finanční částky, přičemž částka získaná navíc by mohla být účelově vázána na podporu revitalizace brownfieldů. Výsledkem zvýšení těchto odvodů by bylo ekonomické znevýhodnění výstavby na zemědělské půdy, což by mohlo vést i k rozhodnutí investora využít brownfieldy.

Další cestou, jak směřovat investory k využití brownfieldů je omezit nebo úplně zrušit investiční pobídky při výstavbě na zemědělských půdách. V současné době platí zákon č. 72/2000 o investičních pobídkách, které dále rozvírají nůžky mezi náklady při výstavbě na zelených loukách a brownfieldech. Z pohledu využití brownfieldů je proto důležité, aby veřejné prostředky byly směřovány pouze na investice na brownfieldech, tedy vyloučit využívání veřejných

prostředků na opatření, která prohlubují nevýhody využívání brownfieldů oproti využívání zemědělských půd.

Základním předpokladem pro řešení uvedeného problému je centrální evidence brownfieldů. Ve výše citované Směrnici se zavádí povinnost evidence kontaminovaných ploch. To ovšem pro naše účely není dostatečné, brownfieldy nemusí být vždy kontaminované. Naším největším problémem je právě skutečnost, že stále pracujeme pouze s odhady celkového počtu a celkové plochy brownfieldů. Požadovaná databáze by měla obsahovat údaje o počtu a velikosti brownfieldů v ČR, jednotlivých krajích a obcích. Další údaje by měly sloužit k stanovení koncepce revitalizace brownfieldů a nastavení kritérií pro dotace. V rámci projektu Phare byla již Czechinvestem vytvořena databáze pro Ústecký a Moravskoslezský kraj, která může být základem pro uvedenou celostátní databázi. V současné době vzniká na podkladě projektu MMR další obdobná databáze pro Středočeský a Západočeský kraj. Základním problémem uvedených databází je ovšem skutečnost, že se jedná pouze o tzv. pilotní projekty, kdy se v každém kraji v 1. etapě řešení vytipuje 200 brownfieldů. Další metodika, která spočívá v kategorizaci brownfieldů je již akceptovatelná. Požadovaná databáze musí ale samozřejmě obsahovat evidenci všech brownfieldů, nesmí být omezena jejich počtem v konkrétním kraji. Z tohoto pohledu je možno akceptovat snahu o zvláštní zákon o brownfieldech, s ohledem na příslušné kompetence bude zřejmě nutno provést příslušné změny i v zákonech o obcích a krajích.

4. Závěr

Jakkoliv u nás skutečně dochází k revitalizaci a novému využití brownfieldů, jedná se hlavně o větší města a atraktivní lokality. Bohužel nedošlo k žádnému pozitivnímu posunu na celostátní úrovni, stále postrádáme základní dokument, kterým by měla být národní strategie revitalizace brownfieldů spolu s dalšími opatřeními, hlavně se jedná o kompletní databázi brownfieldů. Další řešení musí vycházet z vyhodnocení databáze, založeném na kategorizaci brownfieldů. Pokud nedojde v co nejbližší době k takovému zásadnímu řešení na celostátní úrovni, nemůžeme očekávat ani změnu v přístupu k záboru zemědělské půdy, protože zatím je stále pro investory mnohem výhodnější a finančně atraktivnější stavět na zelené louce. Pokud srovnáme přístup k řešení tohoto problému v zemích západní Evropy a u nás, většina zemí západní Evropy je na podstatně vyšší úrovni. Jako příklad je možno uvést Velkou Británii, kde se každoročně zvyšuje podíl investic na brownfieldech a úměrně k tomu klesají investice na zelených loukách. U nás bohužel doposud nedošlo ani k prvnímu kroku, kterým je vytvoření národní strategie revitalizace.

Poděkování: Příspěvek byl zpracován v rámci řešení VZ 04 CEZ MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

5. Použitá literatura:

KURÁŽ, V.: Ochrana půdy a znovuvyužití brownfields v ČR. Vodní hospodářství 8/2006, str. 263-264.

Návrh Směrnice Evropského parlamentu a rady o zřízení rámce pro ochranu půdy. Brussels, 2006.

Revitalizace deprimujících zón pro veřejnou správu, projekt MMR ČR 41/04. Pracovní dokumenty.

Hlavní zásady pro revitalizaci brownfieldů v malých sídlech

Zuzana Kramářová, Alena Mansfeldová

V posledních třech letech probíhal v rámci zpracovávání doktorské disertační práce průzkum stavu a možností revitalizací brownfieldů v pěti vybraných městech Královéhradeckého kraje (Úpice, Broumov, Nové Město nad Metují, Dvůr Králové nad Labem, Nová Paka) a dále plošný průzkum tohoto stavu jakožto součást celonárodně prováděné identifikační studie brownfields v části Královéhradeckého kraje (na území ORP Broumov, ORP Dvůr Králové nad Labem, ORP Náchod, ORP Nová Paka, ORP Trutnov, ORP Vrchlabí).

Na základě výsledků prakticky prováděných „Urbanistických studií brownfields města ...“ a části „Identifikační studie pro lokalizaci brownfields na území Královéhradeckého kraje“ byla stanovena obecná ekologická, funkční, urbanistická a architektonická pravidla, která je nutno respektovat při revitalizování lokalit typu brownfield.

Last tree years during the compiling of the doctoral theses was held the research in five towns of Královéhradecký region (Úpice, Broumov, Nové Město nad Metují, Dvůr Králové nad Labem, Nová Paka) and land survey of Královéhradecký region (on areas ORP Broumov, ORP Dvůr Králové nad Labem, ORP Náchod, ORP Nová Paka, ORP Trutnov, ORP Vrchlabí) about condition and possibility of brownfield revitalization.

On the base of the results of „Brownfield's urban study of the town ...“ and „Identification study for brownfields localization on the area of Královéhradecký region“ were established ecological, functional, urban and architectural rules, which have to be kept during revitalizations of the brownfield sites.

Před započítím všech návrhů na revitalizaci jednotlivých lokalit je třeba vyhodnotit situaci území z hlediska možných rizik a střetů s ochranou přírody a krajiny, možných střetů s požadavky památkové péče, komplikací spojených s omezením funkčního využití území a dalších existujících regulativů či omezení.

Z výše uvedených urbanistických studií je možno formulovat následující závěrečná doporučení.

1. Doporučení z oblasti ekologie

Průzkumy a rozborů řešené lokality brownfieldu vybraného k revitalizaci by měly započít zkoumáním stavu ekologických rizik. Mezi ně se řadí zejména možná existence ekologických zátěží a rovněž další omezení a limity vyplývající ze Zákona č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny.

Průzkum ekologických zátěží je třeba pečlivě zvážit, protože dodatečné čištění v průběhu konverze bývá mnohem komplikovanější a finančně náročnější než nutné čištění ještě nerevitalizované lokality. Průzkum existence ekologické zátěže by měl probíhat v tomto pořadí:

- **Zjišťování předchozího funkčního využití** do doby vzniku prvního nepřirodního využití území nebo minimálně 100 let nazpět. Předchozí funkce lze nalézt v již neplatných územně plánovacích dokumentacích, rozhovory s místními starousedlíky, současnými a bývalými zaměstnanci z místa brownfieldu, z historických podkladů.
Z původního funkčního využití lze často a poměrně velmi přesně určit možnou kontaminaci, její druh a přibližně ji lokalizovat. Toto je velmi důležité pro další fázi, kterou je skutečný průzkum ekologických zátěží.
- **Průzkum ekologických zátěží, odběr vzorků z lokality a jejich vyhodnocení s určením druhu a koncentrace kontaminace** je další navazující fází. V případě, že bylo v lokalitě zjištěno potenciální znečištění, je třeba provést odběr vzorků a jejich vyhodnocení. Tato procedura je finančně velmi nákladná, neboť zkoušení jednotlivých druhů znečištění jsou v zásadě odlišná a neshodují se pro všechny typy vzorků (spodní voda, půdní vzduch, ...), proto je předchozí průzkum a zjištění předpokládaného druhu kontaminace velmi důležité a ekonomicky úsporné.
- **Čištění kontaminace** je v dnešní době takřka vždy povinné, při tom v některých případech by jej bylo možné omezit, případně i zcela vyloučit. Dnešní legislativa požaduje čištění ekologických zátěží na hodnoty blízké přírodnímu prostředí. Toto opatření má zamezit „přehrávání“ původu ekologické zátěže na pozdější majitele (má za úkol zcela jasně určit aktuálního původce zátěže). Toto rozhodnutí je však příliš přísné, jestliže se jedná o kontaminaci izolovanou bez možnosti šíření (dalšího zamoření např. spodních vod) a s koncentrací, která budoucí funkční využití neomezuje a neohrožuje ani zdraví osob, které by zde mohly potenciálně pracovat. Například požadavky na čištění znečištěné půdy ropnými látkami bez rizika průsaku do spodních vod po předchozím využití plochy

k odstavnému parkování jsou velmi přísné, jestliže budoucí využití předpokládá v místě kontaminace opět zpevněnou plochu určenou k parkování nebo k průmyslovému využití. Pochopitelně to neznámá, že by měli být původci znečištění oproštěni od povinnosti čistit a evidovat ekologické zátěže. Naopak je třeba zdůraznit povinnost majitele evidovat a informovat o stavu ekologického zatížení území zejména místní samosprávu a budoucí potenciální kupce či nájemce. V případě, že původcem znečištění je nájemce, informovat o vzniklé zátěži majitele a místní samosprávu.

Zjišťování omezení vycházejících ze Zákona č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny je nejvhodnější provádět z dostupné územně plánovací dokumentace (tedy příslušného územního plánu obce a z územního plánu vyššího správního celku). Dalším zdrojem informací mohou být podklady a dokumentace zhotovené pro odbory životního prostředí na úradech pověřených obcí či obcí s rozšířenou působností, případně na krajských úradech.

Zde je třeba sledovat informace týkající se všech kategorií územních systémů ekologické stability (lokální, regionální a nadregionální) i jejich současného stavu (funkční, nefunkční, navrhovaný) a všech kategorií zvláště chráněných území včetně dosahu jejich ochranných pásem (národní parky, chráněné krajinné oblasti, národní přírodní rezervace, přírodní rezervace, národní přírodní památky).

Dále je nutné řídit se omezeními vycházejícími z legislativy Zákona č. 254/2001 Sb. o vodách (vodní zákon) a Zákona č. 289/1995 Sb. o lesích (lesní zákon).

Ve fázi návrhu je důležité respektovat požadavky a nařízení plynoucí ze Zákona č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí, čímž se investor vyhne nežádoucím průtahům při vlastním procesu územního a stavebního řízení.

2. Doporučení z oblasti funkčního využití území a urbanistické struktury

Při nových návrzích revitalizace brownfieldu by neměli projektant, architekt a investor opomíjet současnou i plánovanou strukturu funkčního využití sídla. V případě, že je sídlo koncipováno do zónované struktury – jsou od sebe principiálně odděleny funkce sloužící jednotlivým složkám sídla (bydlení, rekreace, práce, doprava) – by tato struktura měla zůstat zachována.

Jestliže je v návrhu revitalizace plánována změna funkčního využití, měla by potřeba nové funkce vycházet z potenciálu území, z požadavků nabídky a poptávky v území (nikoli z aktuálních krátkodobých „módních“ trendů) a být

podložena reálnou ekonomickou rozvahou. Nová funkce musí rovněž doplňovat a dotvářet své nejbližší i širší okolí, čímž bude docíleno nového kvalitního včlenění území do struktury okolí.

Důraz by měl být kladen na doplňování chybějících funkcí v rámci sídla, na harmonizaci nové funkce s mnohdy postupně změněným okolním prostředím, kdy původní funkce je v dané lokalitě již neslučitelná se svým okolím.

Takovým případem je například bývalý měšťanský pivovar poblíž historického centra Broumova. V dnešní době je z hlediska hygienicko-provozních norem a požadavků nemožné v lokalitě obnovit výrobu piva, rovněž dopravně-technické požadavky pro dnešní poměry odpovídají jen velmi těžko. Jde ale v zásadě o architektonicky cenný komplex objektů, který je svým charakterem již dlouhou dobu jedním z určujících součástí místního genia loci. Komplex je však nutno transformovat pro jiné využití, které vyhoví změněným podmínkám okolního prostředí (památková ochrana Benediktinského opatství sv. Václava, městská památková zóna, ochrana památného stromu v sousedící klášterní zahradě, přítomnost Schrollova parku a městského úřadu, ...).

Rovněž nezanedbatelným aspektem je správné kapacitní nadimenzování nové funkce. Předimenzovanost vede k nevytížení funkce a tím její postupné degradaci vlivem nedostatku finančních prostředků potřebných na údržbu a opravy. Naopak poddimenzování užívanou nemovitost přetěžuje a rychleji opotřebovává, takže se značně snižuje její předpokládanou životnost a zvyšuje požadavky na nutné opravy.

Důležité je také neopomíjení doplňujících funkcí, které novou funkci doprovázejí a jsou pro její bezproblémový provoz nezbytné. Mezi tyto doprovodné funkce patří například parkování nebo doplňující zeleň. Doprava v klidu je dnes jedním z největších problémů sídel České republiky, obzvláště těch menších. Úzký profil uličního prostoru, na nějž jsou kladeny čím dál vyšší prostorové požadavky není schopen pojmout a uspokojit vzrůstající požadavky na plochy pro parkování, bezpečný pohyb pěších a prostor pro zeleň. Proto je důležité dostatečně kapacitně dimenzovat plochy pro parkování vozidel všech kategorií, u nichž lze předpokládat, že budou k dané funkci zajíždět (např. k supermarketu parkování pro osobní automobily, zastávka veřejné hromadné dopravy, zajíždění nákladních aut z zásobovacím rampám a prostor pro jejich otáčení).

Při návrhu revitalizace je důležité počítat i s napojením na stávající technickou infrastrukturu. Ta v mnoha případech nemusí kapacitně a někdy i polohou odpovídat požadavkům návrhu. Proto je nutné brát v úvahu potřeby rozšíření

kapacity přicházejících větví či jejich zdvojení. Tyto zásahy do struktury sítě jsou nejen velmi finančně a časově nákladné, ale jsou náročné i na dočasný zábor veřejného prostoru, který nebývá veřejností příliš kladně hodnocen.

Plochy pro doplňující zeleň nejsou vždy nutnou podmínkou návrhu, nicméně jejich naprostá ignorace vede vždy k obtížnějšímu přijetí lokality veřejností. Je to dáno přirozeností lidské populace, které nedostatek přírodního prostředí zejména ve městech schází, a proto lépe přijímá stavby zelení doplněné – kde je přírodní složka alespoň minimálně zastoupena. Příkladem je snaha dnešních architektů začleňovat zeleň nejen do exteriérů, ale i interiérů objektů – zejména v prodejních a administrativních objektech.

3. Doporučení z oblasti architektonického ztvárnění

Výsledek revitalizace lokality bývá veřejností hodnocen zejména podle architektonického ztvárnění. Hmotové pojetí a architektonické ztvárnění jsou vnímány veřejností nejdříve a zanechávají většinou určující vztah. K revitalizaci je proto z hlediska architektonických zásahů důležité přistupovat citlivě a uváženě. Každý zásah do současného tvaru a objemu je okolím vnímán a hodnocen zejména v menších sídlech povětšinou velmi kriticky. To platí i v případech revitalizace průmyslových lokalit, zvláště jedná-li se o architekturu industriálu přelomu 19. a 20. století, která nebývá začleněna do památkové ochrany.

Architektonické ztvárnění je jedním z nejvýznamnějších nástrojů, kterými lze podtrhnout nebo zcela popřít *genia loci* daného prostoru. Ten je obyvateli sídla, ač nepojmenován, velmi citlivě vnímán. Je to pravděpodobně dáno mnohem konzervativnějším přístupem obyvatel menších sídel ke svému okolí i k životu jako celku. *Genius loci* jako charakteristická součást místa by rozhodně neměl být popírán, spíše zdůrazněn či lehce transformován. To platí nejen u objektů a území historicky cenných a architektonicky významných, ale i u zemědělských a průmyslových lokalit. Zde je přiznání původní funkce mnohdy zajímavým prvkem, který novou funkci ztraktivní a udělá ji výjimečnou.

Při architektonicko-hmotové koncepci lokality je třeba dbát nejen na regulativy vyplývající z platné územně plánovací dokumentace (územní plán, regulační plán), ale i objemy, tvary a jejich strukturu tvořit v souladu s okolní výstavbou. To znamená vycházet z kompozic a hlavních prvků revitalizovaných objektů a případně je doplňovat o prvky harmonizující s výstavbou v nejbližším okolí. Dále by nemělo být ignorováno měřítko. Jeho vhodnou volbou lze konverzi lépe přiblížit uživatelům, zpříjemnit prostředí nebo případně některé prvky zdůraznit. Obzvláště důležité je užití vhodného měřítka u vstupních prostor a v jejich

těsném sousedství.

Dalším neopominutelným aspektem jsou užití materiály. Jejich začlenění by mělo vycházet především ze struktury stávajících stavebních součástí. Zde více než kde jinde platí: „méně je více“.

Posledním kritériem, podle nichž jsou území a stavby obyvateli vnímány, je „přátelskost prostředí“, v angličtině nazývané „user-friendly“. Tento pojem je často zmiňován a zdůrazňován v případě prostředí počítačových programů užívaných širokou veřejností. Naprosto stejně však tato veřejnost vyžaduje příjemné prostředí v objektech a území, které užívá mimo virtuální svět. Zde je možné tvrdit, že je toto kritérium ještě důležitější, protože virtuální svět lze na rozdíl od toho hmotného opustit či jej zaměnit za jiný. Je v zásadě o schopnost projektanta či architekta empatie s uživatelem. Pokud je empatie na dostatečně vysoké úrovni, lze předpokládat, že i uživatel bude revitalizaci vnímat pozitivně a nebude ji izolovat od okolí.

Na základě provedených urbanistických studií brownfields byly zevšeobecněny zásady a postupy metodiky identifikace a katalogizaci brownfieldů v malých městech.

5. Literatura

KRAMÁŘOVÁ, Z.: Urbanistická studie brownfields města Broumov. Významnější projekt; Zadavatel Město Broumov; Broumov; 2004.

KRAMÁŘOVÁ, Z.: Urbanistická studie brownfields města Úpice. Významnější projekt; Zadavatel Město Úpice; Úpice; 2004

KRAMÁŘOVÁ, Z.: Urbanistická studie brownfields města Nové Město nad Metují. Významnější projekt; Zadavatel Město Nové Město n. M.; Nové Město n. M.; 2005.

KRAMÁŘOVÁ, Z.: Urbanistická studie brownfields města Dvůr Králové nad Labem. Významnější projekt; Zadavatel Město Dvůr Králové n. L.; Dvůr Králové n. L.; 2005.

KRAMÁŘOVÁ, Z.: Urbanistická studie brownfields města Nová Paka. Významnější projekt; Zadavatel Město Nová Paka; Nová Paka; 2006.

KRAMÁŘOVÁ, Z., JETEL, V., ZÁRUBA, A. POSPÍŠIL, F., BERÁNEK, K., BOHÁČOVÁ, M.: Vyhledávací studie pro lokalizaci brownfields na území Královéhradeckého kraje – krok 1. Významnější projekt; Zadavatel Krajský úřad Královéhradeckého kraje; Hradec Králové; 2006.

Průzkum a modelování proudění podzemní vody v Karlíně

Martin Havlice, Daniel Jirásko, Jiří Vacek, Ivan Vaníček

Abstract:

This article deals with risks emerging from rising levels of groundwater while extreme hydrological situations. During heavy floods in 2002, Karlín was one of the most damaged town quarters of Prague. Today, many new buildings in this area must be protected not only from the flood itself, but from rising groundwater as well, because of water soaking into construction parts of the buildings. The first to be observed is the groundwater flow in its stationary or transient state, while looking at issues specific for Karlín area.

1. Úvod

Cílem naší práce je vytvořit simulační model pro posouzení rizika vzestupu hladiny podzemní vody při extrémních hydrologických situacích. Při povodni v srpnu 2002 byla jednou z nejvíce postižených pražských částí právě oblast Karlína. V současnosti zde probíhá výstavba nových objektů, které musí být ochráněny nejen před samotnou povodní, ale také před vzestupem hladiny podzemní vody, kdy dochází k zvýšení vztláčení vody do stavebních konstrukcí. Při návrhu ochranných opatření proti povodním je žádoucí se řídit podle nových evropských norem, kde je doporučeno tento druh staveb posoudit i na porušení vyvolaná vodou (hydraulické porušení EC 7 kap. 10). Jde o čtyři základní případy hydraulického porušení (viz dále), především vztlak a sufóze, které mohou negativně ovlivnit stabilitu konstrukce.

Při povodni dochází v okolí řeky k vzestupu hladiny podzemní vody, proto je třeba zjistit nejprve režim proudění podzemní vody při uvažování ustáleného i neustáleného stavu. Jelikož řešení tohoto problému přesahuje rozsah tohoto příspěvku, zaměříme se na současný stav území, jeho průzkum a modelování ustáleného proudění podzemní vody v Karlíně.



Obr. 1 Vizualizace území Karlína – bíle je vyznačená plocha plánované výstavby



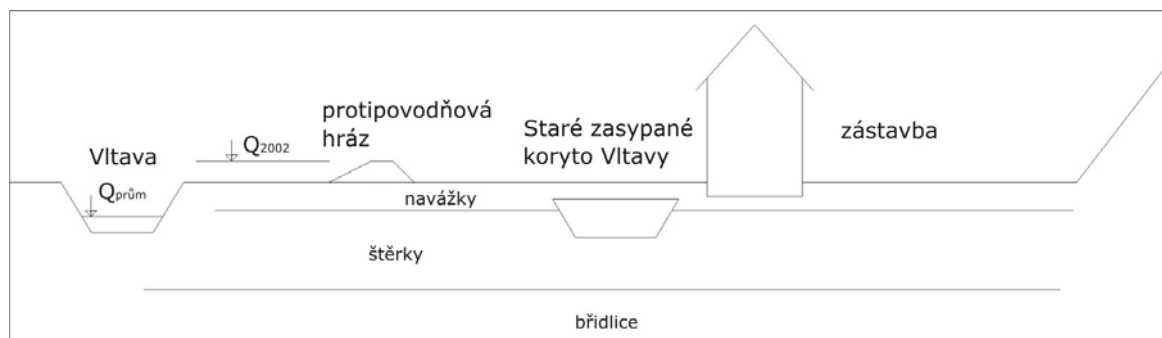
Obr. 2. Ortofotomapa zájmového území Prahy 8 (Karlín)

2. Geologie a morfologie zájmového území

Převážná část Prahy a tedy i Karlín se nachází na Pražské plošině. Morfologii tzv. Pražské plošiny rozhodujícím způsobem utvářel tok Vltavy a její přítoky. Řeka vytvářela mohutné terasy říčních nánosů na bázi zvětralých břidlic – štěrky, písky apod. Tyto říční terasy jsou z hlediska geologického období označovány jako kvartér, který se v Karlíně projevuje nejvýrazněji (mocnosti až 15m). Tvoří je písky a štěrky, které jsou pokryty holocénními povodňovými hlínami a svahovými splachy z vrchu Vítkov. Území je však hodně ovlivněno nejen přirozenou geologickou skladbou, ale také četnými antropogenními navážkami, které vytvářejí souvislou vrstvu po celém zájmovém území [KOVANDA, 2001].

Karlín leží na pravém břehu Vltavy. Jejím tokem je ohraničen ze severu, na jihu se zvedá výrazná pražská dominanta – vrch Vítkov. Lokalita je výrazně protáhlá ve směru východ – západ. Terén je rovinný, mírně zvlněný. Nadmořské výšky terénu se nejčastěji pohybují v rozmezí od 184 až 190 m n. m.

Uložení úrodných teras obvykle poskytují dobré základové podmínky, protože se často jedná o dostatečně homogenní, dostatečně únosné a málo stlačitelné základové půdy. Podmínky v oblasti Karlína jsou ale komplikovány mocnou vrstvou heterogenních navážek a povodňových náplav. Nejnížší terasy bývají zvodnělé téměř v celé mocnosti, proto je potřeba při základových a výkopových pracích počítat s velkými přítoky do výkopů, s vyplavováním jemnozrnných částic a s možným agresivním působením podzemní vody. Navíc při povodňových průtocích jsou základové konstrukce vystaveny značnému vztlaku, což je nutno brát v úvahu při návrhu základů zamýšlené výstavby.



Obr. 3 Schematický řez územím Karlína

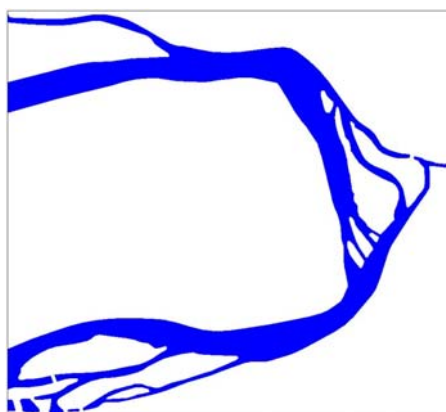
3. Hydrogeologie

Holocénní náplavy a údolní terasy Vltavy a jejích přítoků tvoří jeden

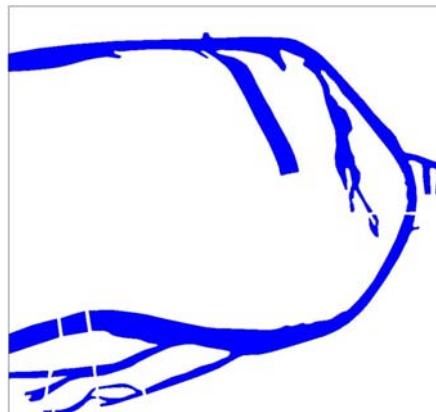
hydrogeologický celek. Hladina podzemní vody je přímo ovlivňována hladinou povrchového toku. Ovlivňuje jí postavení Trojského jezu, který způsobuje vzduť hladin povrchového toku i podzemní vody. Při postaveném jezu je hladina vody v řece na kótě 180,5 m n. m., při sklopeném jezu 178,5 m n. m. [ŘÍHA, 2003]. Podzemní voda je navíc dotována i vodami stékajícími ze svahů, které patří zvodním vyšších terasových stupňů. Hladina podzemní vody téměř bez omezení volně proudí a vytváří souvislý horizont vysoké vydatnosti, která bývá v údolních holocenních náplavech velmi vysoká a kolísá dle vzdálenosti od řeky v l/s až desítkách l/s [KOVANDA, 2001]. Na větší části zájmového území se hladina podzemní vody nachází v hloubce 4,5 – 7 m pod úrovní terénu.

4. Historie území

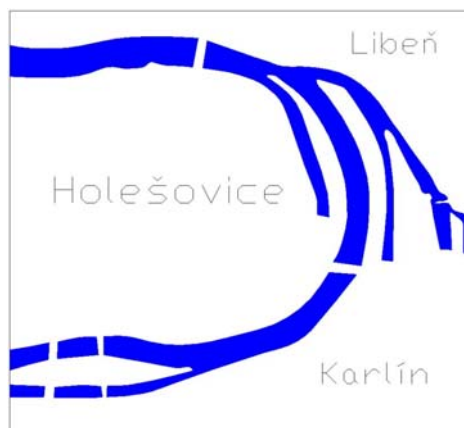
Na území dnešního Karlína se nacházely na úrodné půdě mezi řekou a Vítkovem do počátku 19. století jen ojedinělé zemědělské usedlosti a mlýny při Vltavě. Růst, význam a bohatství Karlína souvisel s velkým rozvojem průmyslu, zpočátku textilního a po 50. letech 19. stol. převážně strojírenského. K jeho rozvoji přispěl rozvoj železniční a lodní dopravy (dvě nádraží a přístav). Rozvoj Prahy po celé 19. a 20. století měl za následek využívání dalších území v břehových částech Vltavy, včetně území získávaných zasypáním bočních a slepých ramen Vltavy právě v Karlíně a dále v Libni a Holešovicích. Přes rizika častých záplav při vyšších stavech vody ve Vltavě byla tato území využívána k výstavbě. Jsou stavěny nábrežní zdi, popřípadě železniční a silniční stavby, jejichž tělesa slouží zároveň jako protipovodňové hráze, ale současně zmenšují průtočný profil koryta řeky. Toto, spolu s mnoha stavbami v kontaktu s řekou ve svém důsledku zvyšuje hladinu a rychlosti průtoku velkých vod. Jejich destruktivní síla je pak pochopitelně větší [Historie Karlína, 6/2006][Útvar rozvoje hl. m. Prahy, 2002].



a) Koryto Vltavy – poč. 19. stol.



b) Koryto Vltavy – poč. 20. stol.



c) Koryto Vltavy – 1923-1928

Obr. 4 Změna umístění koryta Vltavy během 19. a 20. století [Malý, 1999]

5. Plánovaný postup řešení

Karlín je území se složitými morfologickými, geologickými i hydrogeologickými poměry, proto je třeba pojmenovat a vyřešit jednotlivé dílčí problémy a dále následně vyhodnotit výsledky. Způsob řešení lze rozdělit na několik dílčích cílů:

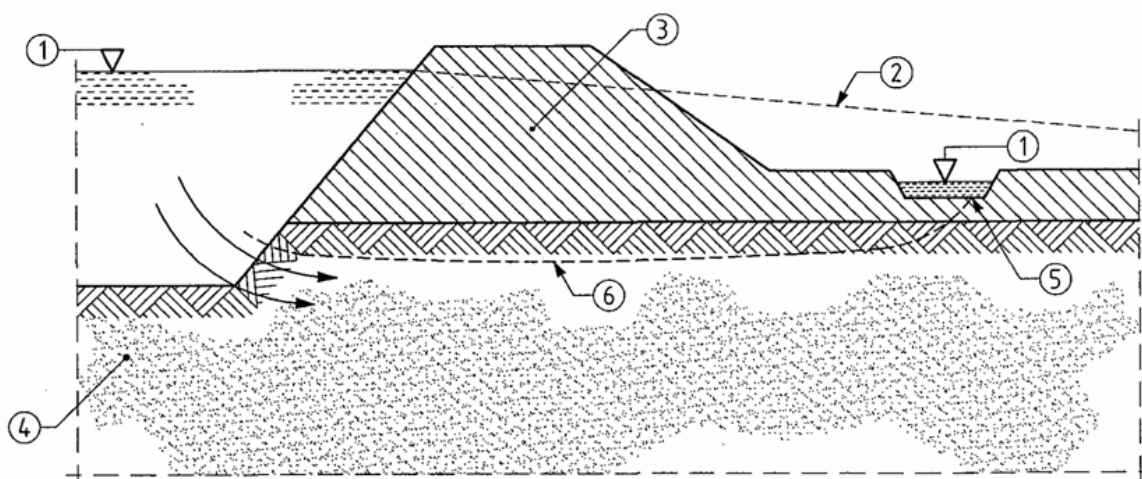
- 1) Sběr dostupných a naměřených dat a vyhodnocení těchto údajů (Geofond, měření v terénu)
- 2) Vytvoření modelu ustáleného proudění podzemní vody
- 3) Kalibrování vytvořeného modelu a porovnání s naměřenými údaji z terénu
- 4) Stanovení míry nejistoty vytvořeného modelu (přesnost modelu)
- 5) Simulování ustáleného proudění podzemní vody při povodni (konstantní hladina vody ve Vltavě)
- 6) Simulování neustáleného proudění podzemní vody při povodni (změna stavu hladiny ve Vltavě v závislosti na čase)
- 7) Závěr – vyhodnocení vlivu hladiny podzemní vody na stávající a nově vznikající výstavbu.

6. Možná rizika při návrhu ochranných konstrukcí proti povodním

Nová evropská stavební norma Eurocode 7 v kapitole 10 věnované Hydraulickému porušení, rozlišuje čtyři základní případy takového porušení vyvolaná vodou [VANÍČEK, 3/2006]:

- **Porušení vztlakem** nastává, pokud pórový tlak vody pod konstrukcí nebo pod vrstvou základové půdy s nízkou propustností je větší než průměrný tlak nadloží.

- **Porušení vnitřní erozí** je vyvoláno transportem zemních částic uvnitř zemního tělesa na styku zemních vrstev nebo na styku mezi zeminou a konstrukcí.
- **Porušení zdvihem dna** (heave – nadzvednutím / ztekucením dna) nastává, pokud průsakové síly působí vzhůru proti tíze zeminy a snižují svislé efektivní napětí až na nulu. Zemní částice jsou tudíž nadzdvihovány svislým prouděním vody a nastává porušení.
- **Porušení sufózí** (piping) je zvláštní forma porušení vnitřní erozí např. u zemní hráze, kdy eroze začíná u vzdušného líce a pokračuje, až se vytvoří tunel v masivu zeminy nebo mezi zeminou a základem nebo na styku jemnozrnných a hrubozrnných zemních vrstev. Porušení nastává, jakmile erozní tunel dosáhne dna nádrže.



- 1 - hladina volné vody
- 2 - piezometrická hladina v propustném podzákladí
- 3 - zemina s nízkou propustností
- 4 - propustná zemina
- 5 - případná studna; začínající místo sufoze
- 6 - možná sufoze

Obr. 5 Příklad porušení sufózí u zemní hráze [VANÍČEK, 3/2006]

7. Vstupní data

Při tvorbě nového modelu je třeba vhodně zvolit rozsah řešené oblasti a rozdělit ji na soubor buněk, které jsou součástí výpočetní sítě. Pro každou buňku je třeba definovat vlastnosti, které charakterizují skutečný stav s ohledem na sledovanou veličinu. Charakteristika geologického prostředí je v našem případě vyjádřena hydraulickou vodivostí (koeficient propustnosti).

Kromě charakteristiky tvaru a struktury řešené oblasti je důležité zadání okrajových a počátečních podmínek, které určují vliv okolního prostředí na proudění vody v řešené oblasti po celou dobu simulace. Pro ustálené proudění (stacionární) mají smysl pouze podmínky okrajové, zadané po celé hranici, které se po celou dobu simulace nemění. Naopak u neustáleného proudění (nestacionárního) je nutné použít okrajové i počáteční typy podmínek, protože zde hraje roli časový faktor.

8. Numerický model

Výpočty byly provedeny pomocí modelu Modflow od firmy Waterloo Hydrogeologic. Model Modflow je součástí programu Visual Modflow, který nabízí třírozměrné grafické prostředí pro modelování proudění vody a transportu rozpuštěných látek [Waterloo Hydrogeologie Inc., 2004]. Hydraulickými parametry prostředí vstupující do modelu jsou m.j. horizontální a vertikální hydraulické vodivosti, storativita nebo pórovitost. Model simuluje jak ustálené (stacionární), tak i neustálené (transientní) proudění podzemní vody. Konkrétní hodnoty jsou získávány z údajů z terénních průzkumů a z laboratoře. Výstupem z programu Modflow jsou hodnoty hydraulických výšek, které mohou být doplněny o výpočet bilance množství vody za časový úsek [Waterloo Hydrogeologie Inc., 2004].

9. Diskretizace oblasti a okrajové podmínky

Pro stanovení vlivu hladiny Vltavy na proudění podzemní vody byl vytvořen model s řešenou oblastí o velikosti cca 2,3 km². Pro numerický model byla zvolena výpočetní síť s buňkami o půdorysu 10 x 10 m. Při této operaci dochází k diskretizaci tohoto plánu, z čehož plyne určitá forma zjednodušení, která je závislá na hustotě výpočetní sítě. Model se skládá ze tří vrstev, které odpovídají od povrchu terénu antropogenním navážkám, pískům a štěrkopískům.

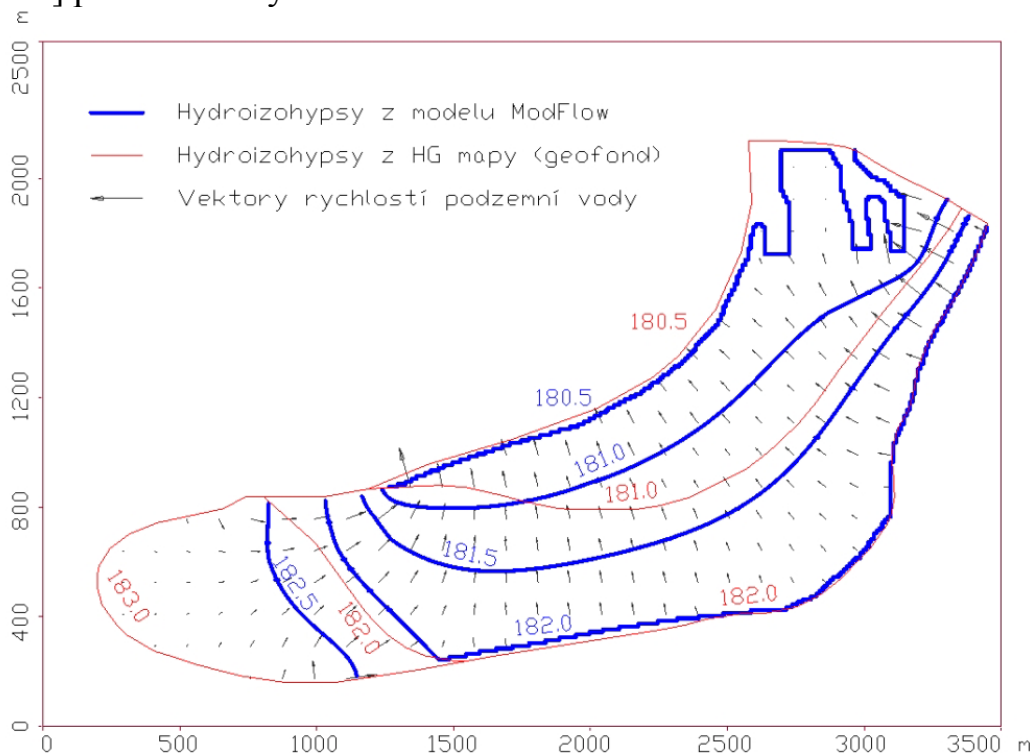
Okrajové podmínky odpovídají hodnotám nadmořských výšek hladiny

podzemní vody po obvodu zájmového území viz obr. 6. Pouze na severním okraji řešeného území tvoří tuto hranici koryto Vltavy. Zde je určující výška hladiny ve Vltavě. Ta je ovlivňována postavením Trojského jezu, který vzdouvá hladinu vody v řece na kótu 180,5 m n. m. [ŘÍHA, 2003].

10. Ustálené proudění

V první fázi bylo modelováno nejprve ustálené proudění podzemní vody v oblasti. Dílčím cílem při modelování bylo vytvořit takový model ustáleného proudění, který bude nejlépe odpovídat zjištěným hodnotám hladiny podzemní vody v zájmovém území. Tento proces kalibrace je klíčový pro přesnost a použitelnost pozdějších výstupů.

Nejvýznamnějším vstupním parametrem z hlediska proudění podzemní vody v nasyceném porézním prostředí je hodnota nasycené hydraulické vodivosti. Tento parametr má značnou prostorovou variabilitu. Aby bylo dosaženo dobré shody modelu s naměřenými výškami hladiny podzemní vody, bylo třeba měnit hodnoty a rozložení hydraulických vodivostí. Byla použita jiná hodnota pro každou vrstvu, i pro výplň starého koryta. Konkrétní hodnoty se pohybovaly v širokých mezích od $0,01 \text{ m.s}^{-1}$ pro štěrky do $0,00005 \text{ m.s}^{-1}$ [SG Geotechnika a.s., 2003] pod zastavěným územím.



Obr. 6 Model ustáleného proudění podzemní vody

Je třeba dodat, že právě zde je třeba co nejvíce zpřesňovat vstupní údaje, čemuž poslouží i naplánované průzkumné práce formou vrtů i geofyzikálních metod. Průzkumy budou zaměřeny především na oblast mezi dnešním korytem Vltavy a starým zasypaným, protože zde téměř chybějí jakékoliv použitelné informace o podloží.

11. Závěr

Karlín je území spjaté s průmyslovou revolucí, která ovlivnila tvář tohoto místa na několik desítek let. V dnešní době zde probíhá výstavba nových objektů, které musí být ochráněny nejen před samotnou povodní, ale také před vzestupem hladiny podzemní vody. Proudění podzemní vody v tomto území je významně ovlivněno složitými geologickými poměry, především nehomogenními vrstvami navážek. Autoři prozatím vytvořili model ustáleného proudění, který se bude zpřesňovat v závislosti na množství získaných informací.

Je však třeba vyřešit několik dílčích problémů specifických pro tuto oblast, které vnášejí do práce určité nepřesnosti a nejistoty. Jako příklad poslouží existence starého zasypaného koryta řeky, které prochází středem této oblasti. Je zde možnost, že podzemní voda zde proudí jinak, než v okolí. Navíc v území existuje riziko ohrožení stability konstrukcí (např. protipovodňových zemních hrází) vlivem hydraulického porušení – především vztlakem a sufózí [VANÍČEK, 3/2006].

Toto území je třeba komplexně posoudit a vybrat nejvhodnější způsob jeho ochrany. Jelikož řešení tohoto problému přesahuje rozsah tohoto příspěvku, zaměřili se autoři příspěvku prozatím na modelování ustáleného proudění podzemní vody v Karlíně.

Poděkování

Autoři příspěvku děkují svému kolegovi Ing. Martinu Landovi z katedry Geodézie a kartografie FSv ČVUT za pomoc při zpracování vizualizací území, které byly provedeny ve volně šiřitelném programu GRASS.

Tento příspěvek vznikl v rámci „Výzkumného záměru – Udržitelná výstavba MSM 6840770005“.

Použitá literatura :

Historie Karlína, 6/2006: <http://www.farnost-karlin.org>

KOVANDA, J. a spol., 2001: Neživá příroda Prahy a jejího okolí, Academia, Praha

MALÝ, F., 1999: Jak ovlivňovali povodně na Vltavě rozvoj města v pražské kotlině, Povodí Vltavy a.s., Praha

ŘÍHA, J., 2003: Protipovodňová opatření na ochranu hl. m. Prahy, Etapa 0003 – Karlín a Libeň (studie vypracována na objednávku firmy Aquatis Brno a.s.), Brno

SG Geotechnika a. s., 2003: Zpráva o doprůzkumu a geotechnických výpočtech (Praha 8 – River City), Praha

Útvar rozvoje hl. m. Prahy, 2002: 2002 pětisetletá – srpnová povodeň v Praze, Praha

VANÍČEK, I., 3/2006: Porušení vyvolané vodou, násypy dopravních staveb a nízké sypané přehrad. In: Seminář ČGtS ČSSI, Praha, Brno, s 1 – 21

Waterloo Hydrogeologic Inc., 2004: Visual Modflow v. 4.0 User's Manual for Professional Applications in three – dimensional Groundwater Flow and Contaminant Transport Modeling

Ortofotomapy a vrstevnice z oblasti Karlína byly získány ze Střediska pro datovou podporu GIS při správě a distribuci vrstev Souboru Digitálních Map Prahy, které byly ČVUT - Fakultě architektury svěřeny Institutem Městské Informatiky hlavního města Prahy (IMIP)

IG a HG mapové podklady byly získány z Geofondu

Veřejný prostor – Veřejný život (?)

Petra Žerebáková

Resumé

Problematika veřejného prostoru je velice aktuální téma. Tento příspěvek shrnuje poznatky z kongresu [1], pořádaného Centrem pro výzkum veřejného prostoru [5] v Kodani, v září 2006. Byly zde prezentovány a názorně představeny zkušenosti z praxe předních architektů a specialistů pracujících s veřejným prostorem, jako s obyvatelným prostorem.

The issue of a public space is one of the very current themes. In the contribution are summarized experiences from an international congress [1] held by the Centre for Public Space Research [5] in Copenhagen, on September 2006. There were presented experiences of prime architects and other specialists working with the public space as with a habitable urban space.

1. Veřejný prostor a jeho utváření

1.1 Místo setkání

Jan Gehl [5] především chápe veřejný prostor jako místo setkání, místo obchodu a místo kontaktů - interakce. Peter Butenschøn (KHIO - Oslo National Academy of the Arts, Norsko) zdůrazňuje funkci veřejného prostoru jako místo setkávání různých kultur a jako místo, kde se nejen vyměňují ale i vyjadřují názory, místo iniciace politických změn.

1.2 Způsoby

Na příkladu „akčního plánu“ města Kodaň představil Jon Pape (Úřad pro městské prostory, Hl.město Kodaň [7]) způsob, jakým se chce město rozvíjet. Je zde kladen velký důraz na tvorbu veřejných prostranství, jako obyvatelných prostorů.

1.3 Mít vizi

Mít vizi znamená mít představu o cíli, ke kterému se směřují veškeré aktivity a rozhodnutí. Kodaň, například, má vizi atraktivní evropské metropole a obyvatelného města. Ta by se měla naplňovat spoluprací politiků, úředníků a obyvatelů města, neboli ředitelů, vykonavatelů a jeho uživatelů (Jon Pape).

1.4 Mít strategii

Plánovaný nástin rozvoje města v jeho komplexnosti je definován v jeho strategickém plánu. Na příkladu města Kodaně, může být tzv. „Akční plán pro městské prostory“ strategií pro zlepšování kvality života obyvatel města. Viz Obr.1.

Podle Freda Kenta [6] má každé sídlo své areály potenciálního rozvoje a deset hlavních prostorů, které mohou být centry. Jejich vzájemné propojení, skrze „akupunkturní“ či styčné body (např. malá náměstí, nábrežní promenády, parky, zahrady..) lze dosáhnout celistvě atraktivního a obyvatelného sídla.

Aktivita místa oživují, čím jsou různorodější, tím lépe odrážejí různorodost života. (Např. kombinací veřejných a soukromých aktivit, spontánních a plánovaných, pro lokální i širší publikum.)

Krátkodobé experimenty udržují místo flexibilní a jako zpětná vazba poskytují informace o potenciálu lokality. Dlouhodobé vize mohou určovat vývoj prostoru, zároveň také mohou být obohacovány a korigovány zkušenostmi z krátkodobých experimentů.

1.5 Být v procesu

Při tvorbě veřejného prostoru je důležitá centrální koordinace jednotlivých profesí, korekce externími konzultanty, srozumitelná a otevřená prezentace myšlenek veřejnosti (Fred Kent).

1.6 Tvořit kvalitu

Cílem každého zásahu do veřejného prostranství by vždy mělo být navýšení kvality. Pokud je to možné, tak rychle a jednoduše. V případě složitějších projektů zachovávat jednotnost a souvislost s celkem (Fred Kent).

Navýšení kvality se může týkat nejen používaných materiálů, ale i služeb, možností využití prostoru či samotné jeho organizaci. Rychlost a jednoduchost často vede k využití místních zdrojů, místního potenciálu, čímž se také získá trvalejší zájem o danou lokalitu ze strany rezidentů. Jednotnost se drží základní myšlenky cesty a vývoje onoho prostoru.



Obr.1 Kodaň, „Akční plán“: Příklady z akčního plánu - detailní zpracování a vizualizace pro vybrané areály rozvoje

2. Zkušenosti z praxe

Veřejný prostor má několik tváří a úrovní. Ze zkušeností prezentovaných na konferenci [1] jsou v následujících tématech shrnuty základní atributy dobře fungujícího veřejného prostoru.

2.1 Místo pro lidi

Veřejné prostory jsou velmi často podřízené potřebám soukromé dopravy. Takové prostory se stávají neobyvatelné (pro chodce, hrající se děti, staré lidi atd). Ztrácejí tím možnost být prostorem lidmi využívaným. Jedním z řešení je výrazně omezit či zcela odklonit tuto dopravu a nahradit ji sítí veřejné dopravy, cyklostezek a zlepšením podmínek pro pěší využití. Tyto zásahy jsou velmi náročné na organizaci celé sídelní struktury, od úrovně urbanistické až po úroveň legislativní.

Příkladem mohou být reorganizace veřejného prostoru v Kodani (přeměny ulic, od počátku 60.let 20.st., na pěší zóny, malá náměstí, komerční ulice, nábřeží a promenády, záchytná parkoviště, vysoké daně pro držitele aut či podpora rezidentů v užívání lokality, zlepšování bezpečnosti a legislativních práv cyklistů.), v Londýně (poplatky při vjezdu do centra), letní provoz dopravy v Paříži (vyčlenění jízdního pruhu pro cyklisty a bruslaře), cyklostezky nebo tzv. greenways ve městech (Kodaň, Helsinky, Melbourne, Bogota, časté také v holandských a německých městech)

2.2 Místo pro život

Vytvořením veřejných prostorů bez možnosti jejich využití pro každodenní život získá sídlo možná pěkný a reprezentativní avšak mrtvý a časem problematický prostor.

Aktivity místa oživují. Jsou-li různorodé dávají mu jedinečnost a atraktivitu. Vytvoření podmínek pro aktivity přitahují další aktivity (např. různorodost prostorů, neformální posezení, oživující prvky (vodní, umělecké, mobilní.), možnost uskutečňovat spontánní akce (pouliční umělci) stejně tak jako akce plánované (krátkodobé výstavy, festivaly, sportovní soutěže).

Lucy Musgrave (General Public Agency, Londýn) zdůrazňuje potřebu kontaktu veřejného prostoru se soukromým, podpory lokálních i nadramcových služeb, potřebu míst velkolepých i intimních a tvorbu veřejného prostoru jako místa pro život - „urban pleasure gardens“.

2.3 Místo pro každého

Veřejný prostor je místo pro setkávání různých kultur a lidí různého společenského postavení. Diskriminace vybraných skupin ve veřejných prostorách jen přitahuje konflikty zasahující do širší postojů společnosti.

2.4 Místo je flexibilní a různorodé

Místa, která jsou dokončená a uzavřená pro změny či další vývoj se stávají časem problematické. V lepším případě jsou zakonzervované jako historická památka. Současným trendem je vytvářet polyfunkční a flexibilní prostory, reagující na podněty jeho uživatelů a vývoj společnosti.

2.5 Místo s identitou a vlastní komunitou

Místa, kam se lidé rádi vracejí, jsou něčím specifická. Onu identitu tvoří nejen fyzická jeho podoba, ale i jeho náplň či aktivity společnosti (komunity), která jej užívá. Vzájemná podpora těchto složek vede k jedinečnosti a atraktivnosti a zároveň udržitelnosti veřejného prostoru.

2.6. Místo tvořené interakcí

S cílem možného rozvoje veřejného prostoru je tvorba místa („placemaking“) zaměřena na práci se stávajícími komunitami. Oproti navrhování „od stolu“ se prostor stává dlouhodobě ekonomicky a sociálně zdravým od samého začátku své existence.

2.7 Místo, jako udržitelný celek

Veřejný prostor se stává udržitelným v okamžiku, kdy vklady vyrovnají přínosy, kdy pozitiva eliminují negativa, kdy je místem zdravým pro jeho obyvatele a nezatěžuje širší životní prostředí. V procesu plánování veřejného prostoru lze tyto aspekty začlenit tak, že jeho tvůrci (architekti, stavitelé, veřejná správa) a aktéři (návštěvníci, obyvatelé, podnikatelé) slučují zájmy lokální s globálními. Také vzájemná komunikace a dlouhodobá péče o lokalitu je předpokladem k její udržitelnosti a atraktivnosti.

3. Situace v České republice

V České republice je ještě ve velké míře tvorba veřejného prostoru v rukou urbanistů, architektů a státní správy v zažitých zvyklostech. Pomalu však přibývají projekty s aktivní spoluprací s místními obyvateli, iniciativami či společnostmi. Přibývá tlak na omezení automobilové dopravy a tvorbu lepších podmínek pro chodce a cyklisty ve městech. Městské správy a veřejné organizace stále častěji provádí ankety pro zjištění názorů uživatelů veřejných prostranství. O kvalitu prostředí a aktivní účast na jejím ovlivnění i ze strany obyvatelů a uživatelů zájem vzrůstá, zatím však v porovnání se západní Evropou je tato účast brána jako přítěž nikoliv zájem společnosti.

3.1 Vlastní praxe nad teoriemi

Osobní zkušenost s touto tvorbou veřejného prostoru je nenahraditelná. Aplikace teoretických znalostí a zkušeností do praxe a zapojení do výzkumných a vzdělávacích systémů lze demonstrovat na modelovém projektu.

Program „Život mezi budovami“



Program byl iniciován autorkou, studentkou PhD a vytvořen ve spolupráci s radnicí MČ Praha 5. Výslednou realizací myšlenek je dílčí projekt „Zobytnění a ozelenění pěší zóny Anděl“, Praha 5 – Smíchov. Je řízen a zpracováván multidisciplinárním týmem (PhD studenti a profesori ČVUT Praha, UK Praha, experti na komunitní plánování a externisti – studenti Gymnázia Špitálská, Praha 9 a VŠMVV o.p.s. Praha 5), v úzké spolupráci s Městkou částí Praha 5.

Důraz je kladen na aktivní participaci místních občanských sdružení, firem a podnikatelů, návštěvníků a uživatelů prostoru a na sociologické průzkumy, které velmi přesně definují přednosti, negativa a potenciál místa.

Na základě průzkumů a rozborů a veřejných setkání budou doporučeny městské části dílčí opatření ve vybrané oblasti. Doporučení se budou týkat změn v oblasti fyzického vzhledu prostoru, změn v oblasti politických (ve smyslu taktických) vztahů, bezpečnostních nařízení a předpisů, oblasti údržby. Doporučení budou také zahrnovat obecné informace o prioritách, návaznostech, rámcových nákladech, úkolovém a časovém rozvrhu. V plánu je samozřejmě realizace návrhů a následně zjištění zpětné vazby ze stran uživatelů a provozovatelů.

Odkazy, zdroje:

- [1] PUBLIC SPACES – PUBLIC LIFE: Copenhagen 2006, International conference and study tour: 28 – 30.9. 2006, at the Royal Danish Academy of Fine Arts, Copenhagen.
<http://www.karch.dk/english/research/centre/cpsr/conferences.html>
- [2] GEHL, JAN; GEMZØE, LARS; KIRKNÆS, SIA; SØNDERGAARD STENHAGEN BRITT: New City Life, 2006, ISBN 87-7407-365-6
- [3] GEHL, JAN; GEMZØE, LARS: Public space public life, 2003, ISBN 87 7407 305 2
- [4] GEHL, JAN: Život mezi budovami, Nadace Partnerství, Brno, 2000
- [5] CPSR: Centre for Public Space Research
<http://www.karch.dk/english/research/centre/cpsr/frame.html>
- [6] PPS: Project for Public Spaces, New York, <http://www.pps.org>
- [7] CITY OF COPENHAGEN, OFFICE FOR URBAN SPACES: Copenhagen Urban Space Action Plan, The technical and Environmental Administration 2006, www.vejpark.kk.dk

WP 2 Udržitelná výstavba budov

Solární energie a obvodové konstrukce nízkoenergetických domů

Jan Tywoniak

Paper brings a short overview of possibilities of solar energy use related to building envelopes. A special attention is given to the integration of solar-thermal (FT) and solar-photovoltaic systems (PV, FV) used in connection with low-energy or passive buildings.

Základní charakteristiky

Cílené využívání solární energie v souvislosti s budovami je možné několika známými principy, které jsou připomenuty v *Tab. 1*. Příspěvek se zabývá jen dvěma z nich – fototermickými a fotovoltaiickými systémy [1, 2]. V nejjednodušším rozlišení se každý aktivní systém skládá z prvků, které slouží k pro získávání energie a z prvků pro akumulaci energie – viz *Tab.2*.

Tab.1 Přehled systémů k využití solární energie dopadající na povrch obvodové konstrukce

	Typ	Charakteristika systému
A	Transparentní prvek (prosklená stěna, okna)	Teplo užito přímo v místnosti za systémem. Relativně nízké investiční náklady, s minimální regulací. Omezení využití na chladnou část roku. Závislost na aktuální energetické bilanci místnosti za systémem. Malá tepelně izolační schopnost v době bez slunečního svitu.
B	Transparentní vnější plášť oddělený vzduchovou dutinou od vnitřního souvrství	Teplo přenáшено vzduchem z dutiny. Nutnost vytvoření okruhu pro cirkulaci vzduchu (ventilátory, klapky, řízení systému). Omezení dané možností akumulace energie podle zvoleného akumulčního systému a jeho kapacity.
C	Transparentní povrchová vrstva na netransparentním podkladu (absorbéru)	Teplo užito přímo v místnosti za systémem. Závislost na aktuální (s malým zpožděním) energetické bilanci místnosti za systémem. Riziko přehřívání prostorů v létě.

Jan Tywoniak, prof., Ing., CSc.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb

Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice

tel.: 224 354 574, e-mail: tywoniak@fsv.cvut.cz

D	Fototermické systémy (solární kolektory, FT-systémy)	Přeměna na odváděné teplo. Odváděn pomocí kapalného media nebo vzduchu do akumulátoru. Zpravidla omezení poptávkou v budově.
E	Fotovoltaické systémy (FV-systémy)	Přímá přeměna na elektrickou energii. Elektrická energie se užívá kdekoli v elektrické síti, případně v nezávislém (ostrovním) provozu.
F	Semitransparentní FV-systémy	Představují kombinaci A a E. Teplo se užívá přímo v místnosti za systémem, elektřina se užívá kdekoli v elektrické síti, případně v nezávislém (ostrovním) provozu.

Tab.2 Principiální porovnání FV a FT-systémů na svislých plochách

	Sběrná plocha	medium pro přenos energie	akumulátor	přibližná účinnost v ročním hodnocení	roční produkce z 1 m ² ve svislé poloze (fasády)
FT	kolektor	kapalná nemrznoucí směs, méně často: vzduch	nejčastěji vodní zásobník	~ 50 % z celkového množství dopadající solární energie	~ 400 - 500 kWh tepla, podle druhu kolektoru a akumulátoru (poptávky)
FV	FV-panel	elektrický rozvod	veřejná elektrická síť (nezávislý provoz zde neuvažován)	~ 10 %	~ 60 kWh elektrické energie
	Ceny instalace				
	typická aktuální cena vztažená na 1 m ² sběrné plochy		typické rozdělení ceny sběrné plochy a ostatních částí, včetně podpůrné stavební konstrukce		tendence vývoje cen obou těchto složek
FT	20.000 Kč		50% / 50%		stálé / stálé
FV	30.000 – 40.000 Kč		70-80 % / 30-20 %		klesající / mírně klesající
	Energetická návratnost (<i>Energy pay-back time</i>). Doba, za kterou se provozem systému ušetří takové množství primární energie, které bylo pro vznik systému potřebné.				

FT	typicky 0,5 – 1,5 roku	tendence: mírně klesající v souvislosti s vývojem, trh dramaticky roste (až 30% ročně) a není dosud stabilizován
FV	typicky 5 – 6 let	tendence: klesající v souvislosti s vývojem systémů, volbě podkladních ploch a integrací s konstrukcemi budov

Ke způsobům integrace

Fotovoltaické systémy, které jsou jednoznačnou součástí obvodové konstrukce, bývají označovány jako integrované systémy (*building integrated photovoltaic systems, BIPV-systems*). FV panely tvoří vnější souvrství obvodové, v lepším případě větrané konstrukce. Důvody k vytváření větraných systémů jsou dva: Dobře větraný FV-systém pak neztrácí nic na svém elektrickém výkonu v důsledku vyšších teplot na zadní straně panelů (v řádu 10 %). Souvislý FV-systém se chová jako vnější, pro vodní páry prakticky (kromě styků prvků) nepropustná vrstva. Tu je tedy vhodné odvětrávat pro omezení rizika kondenzace vodní páry.

U fototermických systémů (FT-systémů) je možná jak integrovaná instalace, kdy je systém součástí stavební konstrukce, tak jeho nezávislé předvěšení před rovinu stavební konstrukce. Problém rizika kondenzace je shodný jako u FV-systémů, problém energetického výkonu je odlišný: Pokud není solární kolektor dostatečně tepelně izolován, zvyšují se jeho tepelné ztráty, a tím jeho celková účinnost.

Kombinace produkce elektrické energie pomocí FV-systému na vnějším plášti a využití tepla odváděného ze vzduchové dutiny je na první pohled atraktivní. Skutečné využití je možné jen tehdy, je-li v energetickém systému budovy po teple odváděnému z dutiny skutečná poptávka - s uvažováním jeho množství, teplotní úrovně a doby produkce.

Perspektivním způsobem řešení integrace solárních systémů je zřejmě jejich společná (kombinovaná) integrace, kdy krycí sklo FT systému je nahrazeno semitransparentním FV sklem. Tím se synergicky pomáhají omezovat výše popsaná omezení obou principů. Tento přístup je předmětem intenzivního výzkumu [3] a bude poprvé použit v ČR v roce 2007.

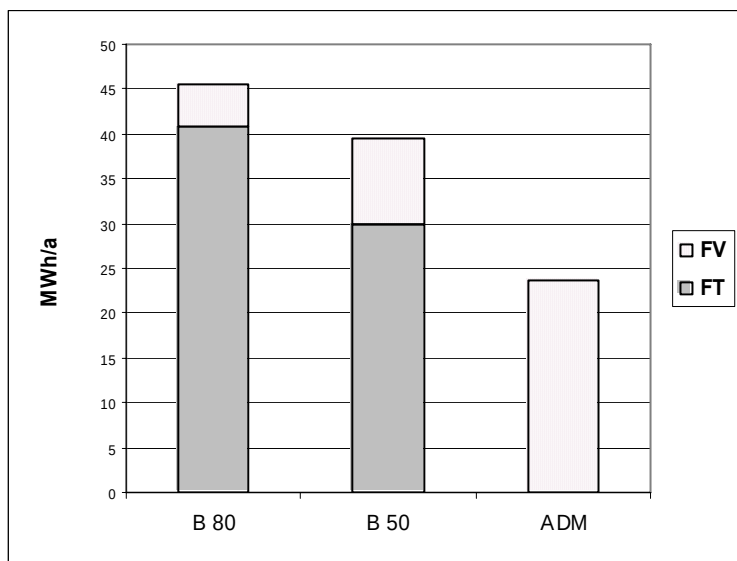
K využití FV a FT-systémů na budovách

Známou komplikací při navrhování aktivních solárních systémů je skutečnost, že nabídka je v průběhu roku proměnlivá. Ve středoevropských podmínkách

navíc významně kolísá i podle aktuální oblačnosti, což obojí vyžaduje při využití solární energie pro ohřev teplé vody existenci doplňkového zdroje tepla a akumulací prvek vhodné velikosti. Plochu, která bývá teoreticky k dispozici, není možné ve většině případů zcela využít, protože by nebyl pro obvyklé systémy s místní akumulací zajištěn místní odběr tepla (určeno počtem zásobovaných obyvatel v budově). V případě FV-systémů je situace odlišná: Pro systém je možné využít libovolně velkou osluněnou plochu, bez omezení aktuální poptávkou v budově. Celkový efekt je pochopitelně ovlivněn orientací této plochy ke Slunci. Jako akumulátor jednoduše slouží veřejná elektrická síť, do které je FV-systém připojen. Zejména pro budovy s minimální potřebou teplé vody, jako jsou například administrativní budovy, kde tedy nepřipadá použití FT-systémů v úvahu, je využití FV-systémů zvláště zajímavé. Instalace FV-systému je jistě dosud relativně velmi nákladná, trend je však mírně klesající.

Často zmiňovaným omezením rychlejšího rozvoje FV-instalací jsou vysoké investiční náklady. Na tento problém je možné se dívat i opačně: Cena obvodového pláště např. dvojitého proskleného systému nebo pláště s kamenným obkladem apod., tedy obvodových stěn budov s důrazem na reprezentativní vzhled je řádově srovnatelná s FV-systémem, pokud bude umístěn na efektivní podpůrné konstrukci. Přitom zmíněná dosud obvyklá řešení zpravidla žádný aktivní přínos k energetické bilanci budovy neznamenají. FV-systém může znamenat stejnou nebo vyšší estetickou hodnotu i být atraktivní z hlediska image investora. Garantované výkupní ceny elektrické energie pocházející z obnovitelných zdrojů mohou objem FV-instalací urychlit.

Na *obr.1* je shrnut výsledek parametrické studie výpočtu osazení FT a FV-systému. Ve výpočtu se předpokládá, že je k dispozici štítová jižní stěna osmipodlažního domu o celkové ploše stěny 300 m². Celková plocha oken tvoří 25 %. Spodní 1/3 výšky je významně stíněná okolní zástavbou, a tedy nepoužitelná pro FV a FT-systémy. Výsledky jsou uvedeny ve variantách pro bytový dům s 80 a 50 ekvivalentními obyvateli a pro administrativní budovu. Pro bytový dům je v obou případech použit fasádní FT-systém na ploše potřebné k přibližně 60 % pokrytí roční potřeby teplé vody, což se obvykle považuje za ekonomicky nejvýhodnější [2]. Zbylá plocha po odečtení plochy oken je pokryta fasádním FV-systémem. Osluněná část jižní stěny administrativní budovy je pokryta FV-systémem celá (kromě oken). Výsledky jsou uvedeny v hodnotách ušetřené primární energie (zemní plyn pro jinak obvyklý ohřev teplé vody, konvenční elektrina v elektrické síti).



Obr.1 Výsledek ilustračního výpočtu: roční hodnoty ušetřené primární energie díky produkci tepla a elektřiny fasádním systémem. Bytový dům s 80 obyvateli (B 80), 50 obyvateli (B 50) a administrativní budovu (ADM). Obdobné vyjádření je možné zpracovat i pro ušetřenou produkci CO₂

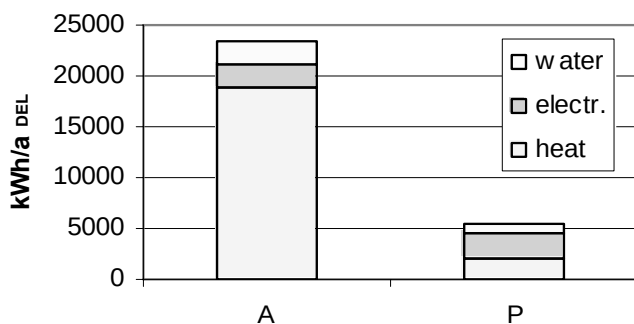
Zahrnutí do celkové provozní energetické bilance

Studie rodinného domu (obr.2 a 3) obvyklé velikosti porovnává rozhodující složky provozní energetické bilance pro dům na obvyklé úrovni stavebně-energetického řešení a dům na úrovni pasivního domu. Obvyklý dům má potřebu tepla na vytápění 75 kWh/(m²a), pasivní dům pak obvyklých 15 kWh/(m²a) [4,5]. Množství teplé vody je stanoveno shodně s tím, že u pasivního domu se předpokládá, že 60% energie je kryto fototermickým systémem. Elektřina pro provoz domácnosti je uvažována v obou případech shodně. Je zřejmé, že bez započtení solárního systému je potřeba energie na vytápění, ohřev teplé vody i provoz domácích spotřebičů je u pasivního domu téměř rovnoměrně rozložena. Pokud je u pasivního domu využito konvenční elektrické energie k vytápění a 40% ohřevu teplé vody, není přednost pasivního domu tak výrazná, je-li energetická bilance vyjádřena v primární energii. Výrazně příznivější bude výsledná hodnota primární energie, pokud se použije některého obnovitelného paliva nebo elektrické energie pocházející z obnovitelných zdrojů od věrohodné distribuční společnosti.

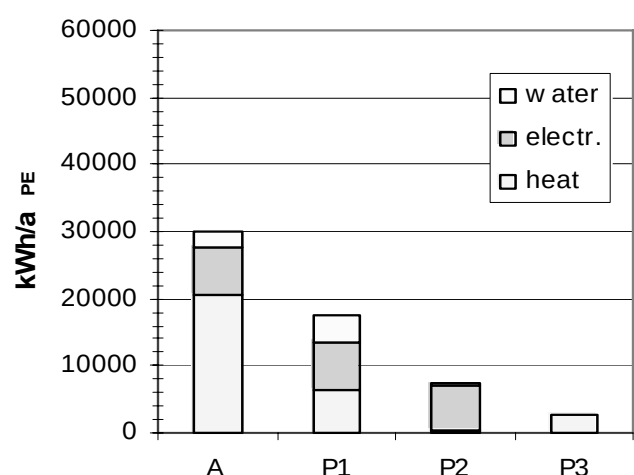
Cesty k energeticky nulovému domu

Se vzrůstajícími cenami energie na straně jedné a rozvojem nízkoenergetických technologií a technologií obnovitelných energetických zdrojů na straně druhé se možná přibližuje reálná dostupnost výstavby domů blízkých nulovým, pokud dům vybavíme velkým fotovoltaickým systémem napojeným do veřejné sítě. Dům z pohledu celkové roční bilance vyprodukuje takové množství energie, jaké přibližně sám na provoz spotřebuje. Takové řešení by bylo u energeticky optimalizovaného rodinného domu dosažitelné např. za těchto podmínek:

- potřeba tepla na vytápění na úrovni pasivního domu,
- potřeba energie na strojní chlazení rovna nule,
- fototermický systém na ohřev teplé vody alespoň ze 60%,
- fotovoltaický systém o ploše cca. 60 – 70 m².



Obr.2 Provozní energie (konečná) pro rodinný dům obvyklého řešení (A) a pro pasivní dům (P) – se zahrnutím vytápění, ohřevu teplé vody i elektřiny na domácí spotřebiče.



Obr.3 Primární provozní energie pro obvyklý a pasivní dům (viz obr.2). A dům vytápěný plynem, P1 pasivní dům s FT systémem a elektrickým vytápěním, P2 pasivní dům s FT systémem a vytápěním s využitím obnovitelných paliv (např. dřevěné pelety nebo bio-líh), P3 odpovídá energeticky nulovému domu

Konkrétní aplikace fotovoltaických systémů

Po dlouhém přípravném období se podařilo na konci roku 2005 dokončit a v lednu 2006 zprovoznit rozsáhlý fotovoltaický systém na Fakultě stavební ČVUT s instalovaným špičkovým výkonem 40,9 kWp. Původní varianta vytvoření dvou výrazných vertikálních pruhů po obou stranách lehkého obvodového pláště schodiště na štítové stěně výškové budovy A (*obr.4*) se neprosadila u vedení ČVUT a muselo být hledáno řešení nové. Potvrdilo se, že prosazování nových technologií, zejména takových, které znamenají výraznější vizuální změnu původního stavu, je obtížné.

Instalace sestává celkem z 386 fotovoltaických panelů vyrobených z monokrystalických křemíkových článků. Z části je umístěna na jihozápadní štítové stěně budovy B (směrem k arcibiskupskému semináři, celkem 176 panelů – viz *obr.5*, 210 panelů je pak umístěno na střeše téže budovy. Celkově je instalováno 7 skupin fotovoltaických panelů, s odlišným sklonem (svislé a šikmé se sklonem 45°) a odlišnou orientací (jihozápad a jihovýchod). Skupiny

jsou připojeny k DC/AC střídačům. Systém od 20.ledna do 27.listopadu vyprodukoval 28,4 MWh elektrické energie, která se přímo využívá v elektrické síti fakulty. Stručná aktuální informace o stavu systému je umístěna na informačním panelu u vstupu do budovy – viz též příspěvek Kamila Staňka v tomto sborníku.



Obr.4 Vizualizace původního řešení: Dva vertikální pruhy fotovoltaických panelů na štítové stěně budovy A (po obou stranách schodiště) vytvářely výrazný a přitom klidný prvek při průhledu Technickou ulicí.



Obr.5 Fotovoltaická stěna na jihozápadní fasádě budovy B

Energeticky nulový dům v souladu s výše uvedeným textem je v současné době ve stavbě v souboru pasivních domů v Koberovech (okres Turnov). Budova ve standardu pasivního domu, která bude sloužit jako informační a školicí středisko pokročilých stavebních technologií a principů udržitelné výstavby [6], bude doplněna mj. o fotovoltaický systém integrovaný do šikmé střechy (obr.7). Montáž systému je plánována na počátek prosince 2006, dokončení budovy v jarních měsících roku 2007. Součástí této akce je dlouhodobé monitorování energetického chování budovy.



Obr.6 Výstavba dřevěného skeletu pro pasivní dům v Koberovech (autor řešení P.Morávek)



Obr.7 Vizualizace energeticky nulového domu (K.Staněk)

Literatura

- [1] Tywoniak, J.: Některé stavebně-energetické a environmentální souvislosti navrhování obvodových konstrukcí budov. Sborník konference Izolace 2006. AWAL Praha
- [2] Ladener, H.- Späte, F.: Solární zařízení. GRADA 2003
- [3] <http://www.pv-t.org>
- [4] ČSN 73 0540:2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky. ČNI 2005
- [5] Tywoniak, J.: Nízkoenergetické domy. Principy a příklady. GRADA 2005
- [6] Tywoniak, J. – Morávek, P.: Pasivní domy, energeticky nulové domy a primární energie. Sborník mezinárodní konference Pasivní domy 2006, Centrum pasivního domu, Brno, 2006

BIPV systémy na bázi c-Si

Kamil Staněk

The presented research is aimed at Building Integrated Photovoltaic (BIPV) systems. The main objective is to study in detail the performance of a BIPV system under the real operating conditions and to quantify its effective efficiency with respect to geometry, structural layout and given location. The research comprises both experimental part (a full-scale PV installation) and theoretical part (numerical modeling).

Tento výzkum je zaměřen na problematiku fotovoltaických (FV) systémů integrovaných do obvodových plášťů pozemních staveb. Hlavním cílem je provést podrobný rozbor chování těchto systémů za skutečných provozních podmínek a stanovit jejich efektivní účinnost s ohledem na geometrii, konstrukční uspořádání a danou lokalitu. Výzkum zahrnuje jak experimentální, tak teoretickou část.

1. Úvod

Vzhledem k tomu, že zásoby tradičních fosilních paliv se rychle a nevyhnutelně zmenšují, je vyvíjeno velké úsilí na hledání alternativních zdrojů energie. Jedním z nich je fotovoltaika (FV), technologie umožňující přímou přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Celková výrobní kapacita FV systémů dnes celosvětově překročila 5 MW_p, z čehož 93 % podíl tvoří systémy na bázi krystalického křemíku (c-Si) [1]. Důvod pro úspěch krystalického křemíku ve FV aplikacích je zřejmý – jedná se o prověřenou technologii, která je v polovodičovém průmyslu rozvíjena již od 40. let 20. století. Možnosti použití FV systémů na bázi c-Si ve vystavěném prostředí jsou také předmětem výzkumu na Fakultě stavební ČVUT. Nicméně existují další FV koncepty, které lze rozdělit do dvou skupin – tenkovrstvá fotovoltaika (a-Si, CdTe, CIS, CIGS) se 7 % podílem na trhu a nové technologie ve vývoji (organická a elektrochemická fotovoltaika).

Budovy, a vystavěné prostředí obecně, jsou pro použití FV prvků vhodným místem, protože výrobou elektrické energie v místě spotřeby jsou eliminovány ztráty v přenosových soustavách a může být dosažena částečná – v extrémních případech i úplná – energetická soběstačnost objektu. Koncepty decentralizované výroby energie pro budovy a sídla jsou dnes, v době nejistého globálního energetického trhu, vnímány jako vhodná cesta k jejich energetickému zabezpečení. V tomto ohledu je spojení fotovoltaika – budova

Kamil Staněk, Ing.

*Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6
tel.: (+420) 22435 4473 fax: (+420) 23333 9987 e-mail: kamil.stanek@fsv.cvut.cz*

zajímavé, protože provoz FV systému je bezhlučný a s nulovou produkcí škodlivin, nedochází tedy k ohrožení uživatelského komfortu ani ke zhoršení mikroklimatu v budově a jejím okolí.

2. Fotovoltaika pro budovy na bázi c-Si

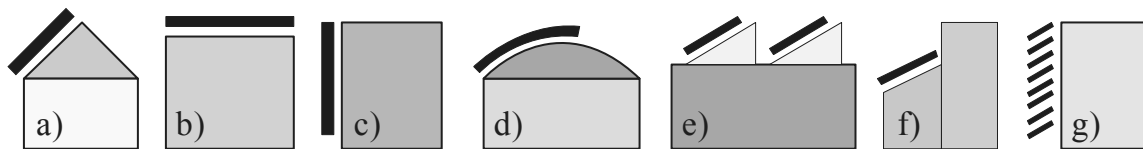
Fotovoltaický systém se skládá z několika základních, vzájemně propojených komponent. Částí s největšími prostorovými nároky jsou FV panely, jejichž soubor je označován jako FV pole. Jádrem FV panelů jsou tzv. solární články. Jedná se o tenké c-Si polovodičové řezy se zabudovaným prostorovým elektrickým polem, na kterých po dopadu fotonů s dostatečně velkou energií vznikají páry volných nosičů náboje (páry elektron-díra). Konverzní účinnost komerčně vyráběných solárních článků je 14 – 17 %. FV panel je vytvořen elektrickým sério-paralelním pospojováním solárních článků, které jsou zalaminovány do ochranných vrstev a z přední strany opatřeny tvrzeným krycím sklem. Většinou jsou FV panely osazeny do ztužujícího hliníkového rámu, který umožňuje jejich kotvení k podpůrné konstrukci. FV panely produkují stejnosměrný (DC) proud, jehož velikost závisí na ploše článků, způsobu jejich pospojování, na množství dopadajícího slunečního záření a jeho spektru a na provozní teplotě článků. Produkované napětí je určeno velikostí zabudovaného prostorového pole na článcích a opět na způsobu jejich pospojování. Účinnost u běžně komerčně dostupných FV panelů je 12 – 15 % a jejich životnost cca 30 let.

FV panely a pole jsou na obvodovou konstrukci budovy upevněny pomocí podpůrné konstrukce. Převážně se jedná o systém hliníkových a/nebo ocelových profilů, lze však použít i dřevěný rámový systém. Většina FV systémů je instalována jako provětrávané konstrukce s průběžnou otevřenou dutinou mezi FV panely a vnějším lícem obvodové konstrukce objektu.

Další nezbytné elektroinstalační prvky systému mají minimální prostorové nároky. Jedná se o DC/AC střídače, které konvertují produkovaný stejnosměrný proud na běžně využitelný střídavý proud (AC). Součástí kompletního FV systému je dále rozvaděč, ochranné el. prvky a samozřejmě kabeláž. Podle vztahu k veřejné rozvodné síti lze FV systémy dělit na tzv. on-grid systémy připojené na veřejnou síť a off-grid systémy s autonomním provozem. V případě off-grid systémů s požadavkem na zálohování vyráběné energie musí být do systému vřazeny akumulátory s potřebnou kapacitou kontrolované regulátorem dobíjení.

Při integraci FV systému do budovy je třeba brát v potaz energetické, technologické, konstrukční i estetické souvislosti. Souhrnně jsou FV systémy

provedené jako integrální součást obvodového pláště budovy označovány anglickým „*Building Integrated Photovoltaics*“, zkráceně BIPV. Typicky vhodným místem pro instalaci FV systémů jsou nezastíněné střechy a fasády budov s příznivou orientací. Základní rozdělení FV systémů dle jejich umístění na budově je znázorněno na následujícím obrázku.

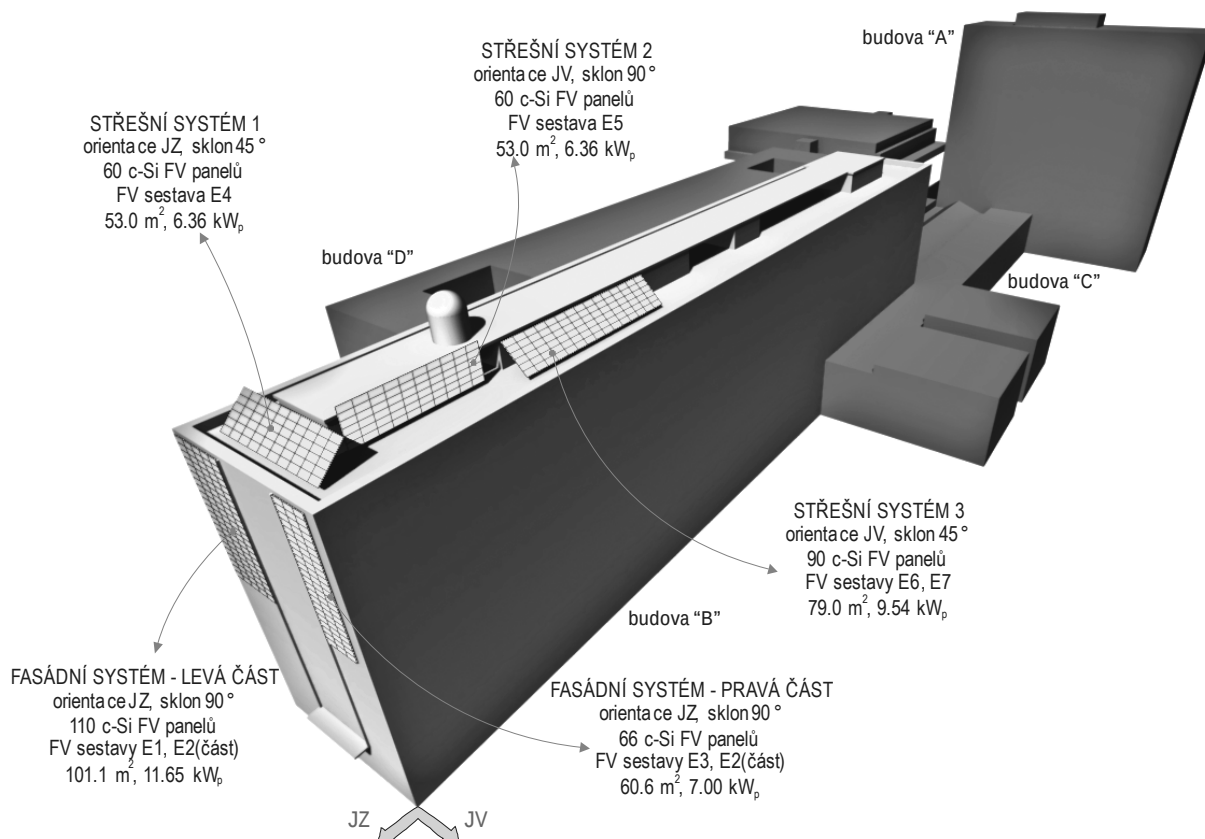


Obr. 1 Možnosti umístění FV systému na budovu: a) šikmá střecha, b) plochá střecha, c) fasáda, d) velkoplošná tenkovrstvá fotovoltaika, e) průmyslové stavby, f) semitrparentní FV pro atria a výplně otvorů, g) stínící systémy.

3. Experimentální fasádní FV systém

Fotovoltaická technologie pro pozemní aplikace je poměrně mladá, s počátky v 90. letech 20. století a současný výzkum probíhá v několika základních oblastech – na úrovni solárních článků (zjednodušení výroby, zvyšování účinnosti, nové materiály), na úrovni střídačů (účinnost, sledování provozu, vyloučení chyb) a na úrovni celých FV systémů (chování v reálných podmínkách). Právě posledně jmenovaná oblast je předmětem aplikovaného výzkumu na Fakultě stavební ČVUT, jehož hlavní motivací je dlouhodobá analýza chování c-Si BIPV systému v reálných podmínkách.

V současné době je velice dobře zmapováno chování jednotlivých komponent FV systémů v laboratorních podmínkách, avšak výsledný energetický zisk systému závisí na jejich propojení i na způsobu montáže a osazení na budovu v podmínkách konkrétní lokality. Jedná se o téma, kterým se zabývá řada výzkumných pracovišť, jejichž společným cílem je určení tzv. efektivní účinnosti (effective efficiency, η_{eff}) a součinitele výkonu (performance ratio, PR) kompletních FV systémů. Znalost těchto ukazatelů je nezbytná pro kvalifikovanou předpověď energetické výtěžnosti FV systému v dané lokalitě a souvisejících ekonomických analýz. Až dosud se totiž při výpočtech výkonů FV systémů vychází z nominálních hodnot udávaných výrobcem. Ty jsou laboratorně změřeny při tzv. standardních testovacích podmínkách (STC) a dobře slouží k vzájemnému porovnání jednotlivých výrobků, avšak dostatečně přesně nepostihují skutečné a dlouhodobé chování systému jako celku. FV instalace na Fakultě stavební je v tomto ohledu významná rozsahem a podrobností prováděného měření při dané velikosti systému.



Obr. 2 Model Fakulty stavební ČVUT v Praze se zakreslením jednotlivých FV sestav s jejich základními charakteristikami.

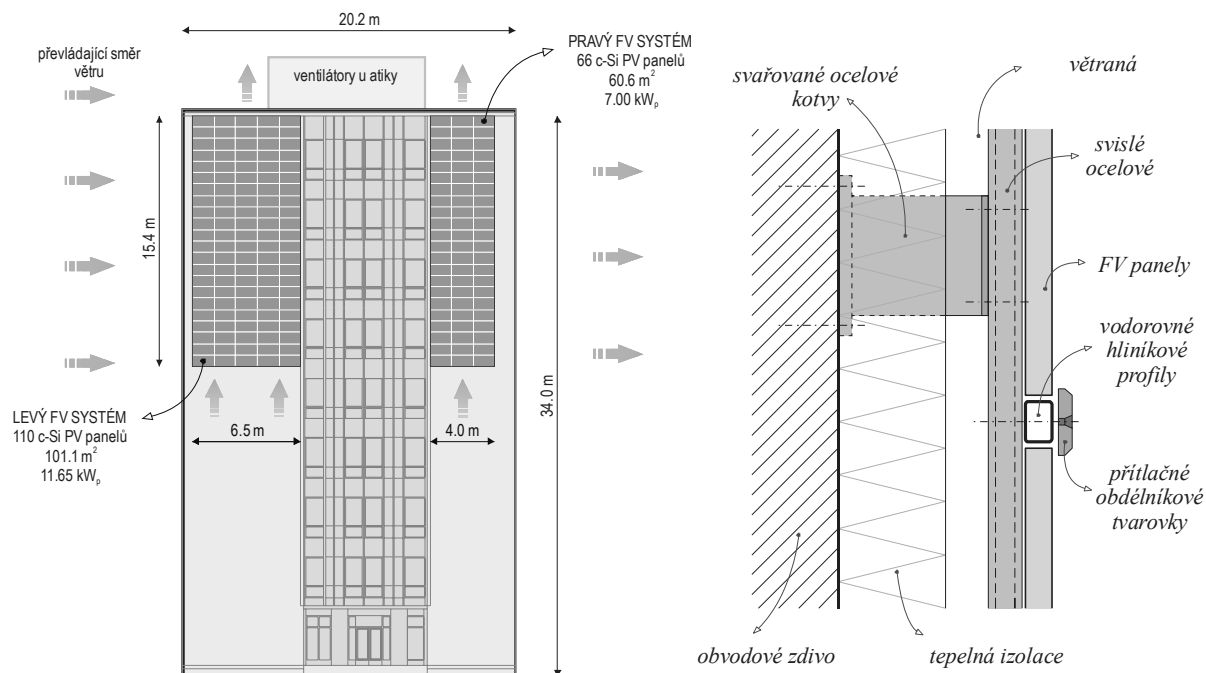
Experimentální FV systém je umístěn na budově „B“ Fakulty stavební a do provozu byl uveden v lednu 2006. Celkový instalovaný výkon systému je 40 kW_p. Instalace je rozdělena do sedmi nezávislých FV sestav rozdílných sklonů a orientací a každá sestava je vybavena samostatným síťovým DC/AC střídačem. Celý systém je náfázován na elektrickou síť fakulty, kde je produkováná elektrická energie spotřebována. Z experimentálního hlediska je nejdůležitější jihozápadně orientovaná fasádní část (FV sestavy E1 až E3) rozdělená do dvou sekcí podél proskleného schodišťového traktu.

Tab. 1 Základní charakteristiky fasádní FV instalace.

počet panelů	176
typ panelů	mono c-Si Solartec 72-106/24
počet FV polí	3
celková plocha	161,7 m ²
sklon a orientace	90° jihozápad
instalovaný výkon (DC strana)	18,65 kW _p
nominální výstupní výkon (AC strana)	13,8 kW

Tab. 2 Výstupní elektrický výkon fasádních FV sestav.

parametr	FV sestava		
	E1	E2	E3
instalovaný výkon (DC strana) (W)	5936	6360	6360
nominální výstupní výkon (AC strana) (W)	4600	4600	4600

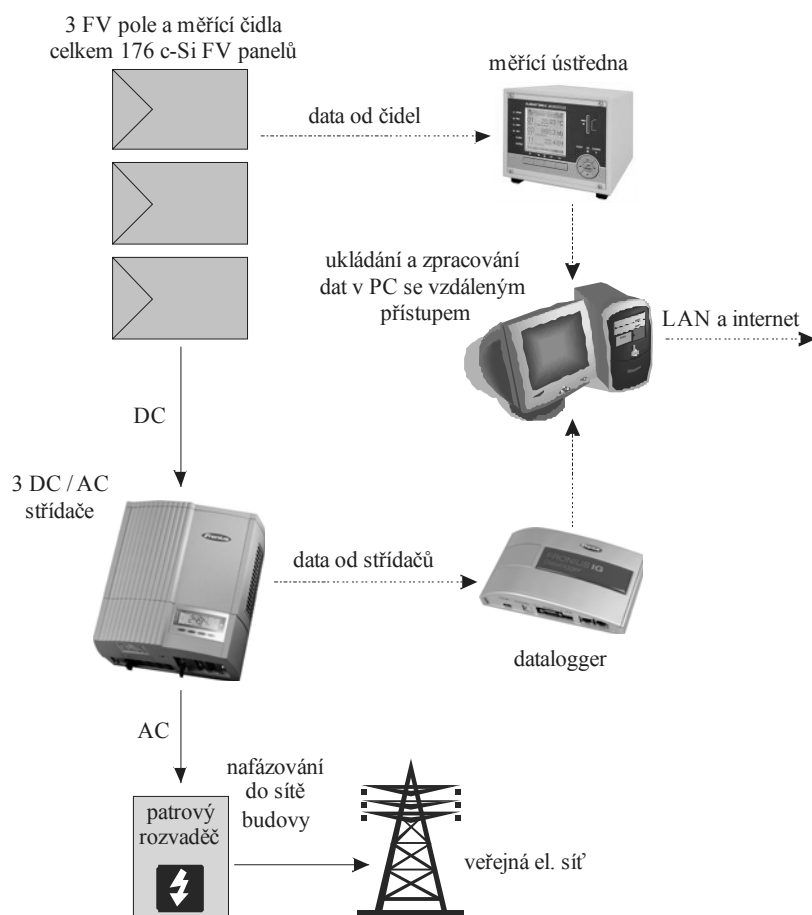


Obr. 3 Geometrie fasádní FV instalace na budově „B“ Fakulty stavební (vlevo) a řez konstrukcí (vpravo).

Nosnou konstrukci fasádních FV sestav tvoří ocelo-hliníková rámová konstrukce kotvená do obvodové stěny budovy pomocí bodových svařovaných ocelových kotev. Obvodová stěna byla během provádění dodatečně zateplena na celkovou tloušťku tepelné izolace 160 mm. Průběžná otevřená provětrávaná dutina mezi FV panely a tepelnou izolací má šířku 10 cm, na vstupu je opatřena ochrannou mřížkou a sítkou proti hmyzu. Výstup z dutiny tvoří 3 (levá část) a 2 (pravá část) kruhové otvory DN 200 připravené pro osazení ventilátorů nebo VZT potrubí pro budoucí systém mechanického větrání. Zatím je dutina těmito otvory odvětrávána přirozeně (a nedostatečně).

Na fasádních FV sestavách probíhá rozsáhlé měření elektrických i neelektrických veličin. Ve třech polohách – na zadní straně FV panelů, ve větrané dutině a na vnějším líci tepelné izolace – je umístěno celkem 50 čidel teploty s odporovým snímačem Pt1000. Ve dvou místech jsou umístěny termoanemometry pro měření rychlosti proudění vzduchu v provětrávané dutině

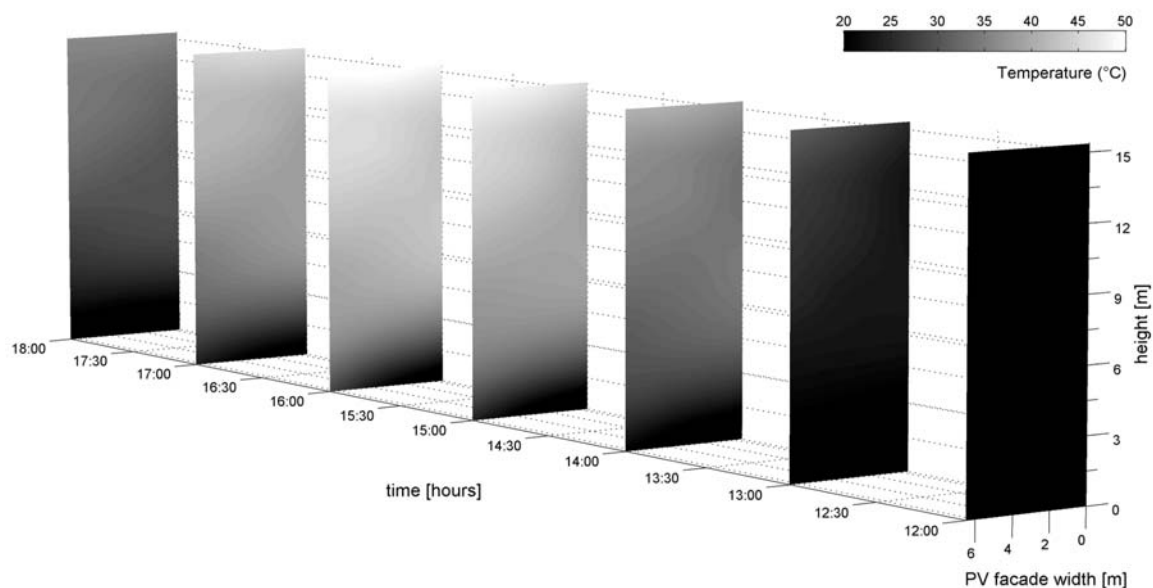
a dále dvě křemíková čidla osvitů na horním a dolním okraji instalace. Měření je doplněno záznamem referenční teploty vnějšího vzduchu a pyranometrem pro měření intenzity globálního záření na horizontální rovinu. Data ze senzorů měřících neelektrické veličiny jsou zaznamenávána v časovém kroku 5 minut a ukládána ústřednou Ahlborn ALMEMO. Elektrické veličiny, tedy napětí, proud a výkon na DC i AC straně, jsou ve stejném časovém kroku zaznamenávány na úrovni střídačů a ukládána do dataloggeru Fronius. Veškerá měřená data jsou následně zálohována v PC se zřízeným vzdáleným přístupem, kde probíhá jejich základní automatické zpracování.



Obr. 4 Schéma systému měření a sběru dat na fasádní části FV instalace na Fakultě stavební.

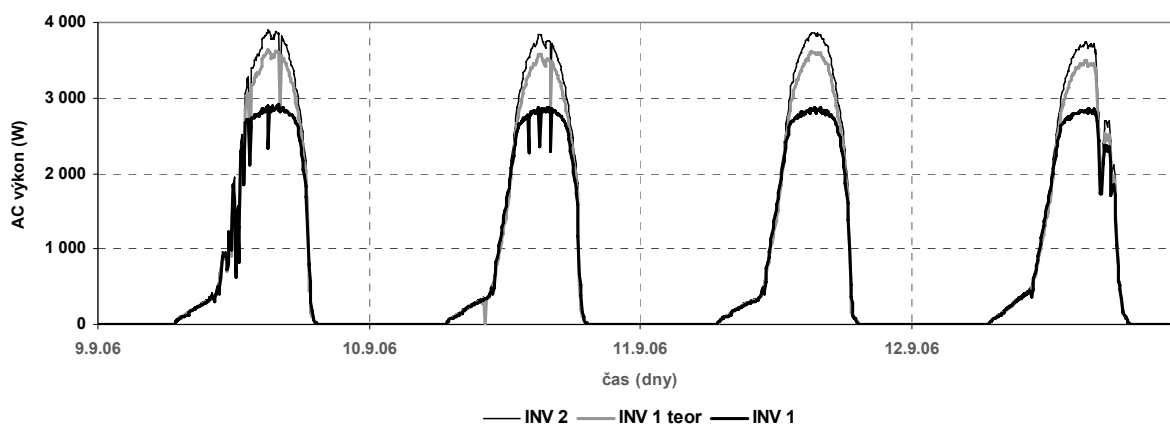
Důvodem takto podrobného měření je přesné určení vlivu teploty na výkon FV panelů. Základním rysem FV prvků na bázi c-Si solárních článků je totiž teplotní závislost jejich konverzní účinnosti – s rostoucí teplotou účinnost klesá ($-0,4$ až $-0,5 \text{ \% / } 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Příklad měřených teplot na zadní straně fasádních FV panelů je na následujícím obrázku. Za jasného dne dosahují teploty na panelech až $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, což znamená pokles výkonu o $15 \text{ \%}$ oproti jmenovitému výkonu při STC. Nepříznivý vliv nárůstu teploty je nutné omezit vhodným geometrickým a konstrukčním uspořádáním větrané dutiny, která efektivně odvede nadbytečné

teplo.



Obr. 5 Měřené teploty na zadní straně FV panelů, levá část fasádní instalace, 8. dubna 2006.

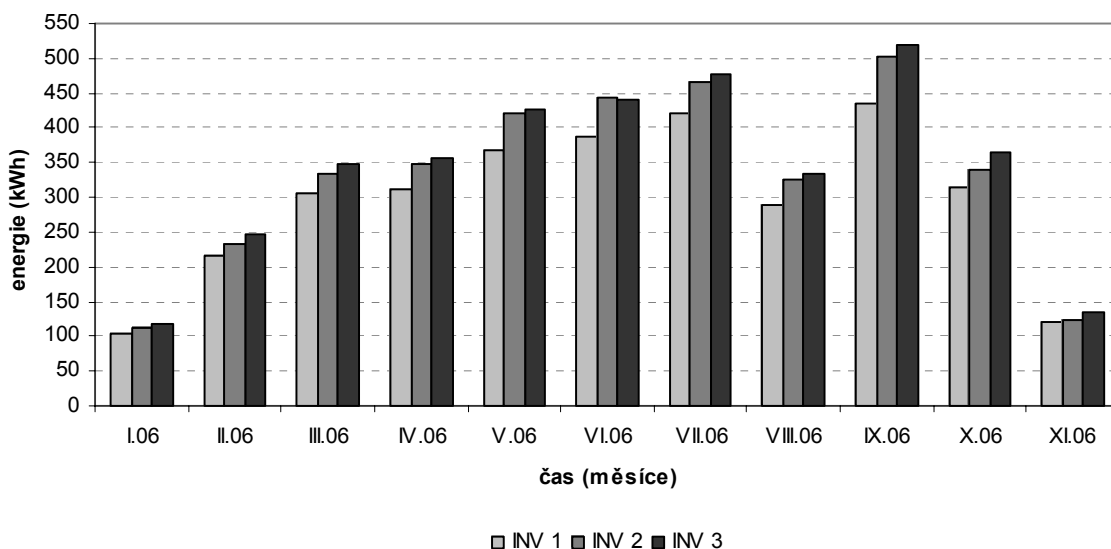
Kromě optimálního konstrukčního řešení je podmínkou pro maximalizaci dlouhodobé energetické výtěžnosti systému jeho průběžný monitoring a včasné odhalení poruch. Platí to zejména u on-grid systémů, které jsou napojeny na veřejnou elektrickou síť – v případě poruchy FV systému je potřebná energie automaticky odebírána ze sítě, což nemusí být pro běžného uživatele na první pohled patrné a provozní výpadek zůstává neřešen. Náchylné na poruchy jsou zejména střídače. Následující graf zobrazuje srovnání střídačů INV 1 a INV 2 připojených k fasádním sestavám na budově „B“ během několika zářijových dnů. Oba střídače mají shodnou orientaci a téměř stejný počet připojených FV panelů, nicméně střídač INV 1 dodával ve špičkách daném období pouze 80 % očekávaného množství energie. Příčinou byla porucha druhého stupně střídače INV 1.



Obr. 6 Výkon střídačů INV 1 a INV 2 fasádních FV sestav 1 a 2 s patrnou

poruchou střídače INV 1.

Další graf ukazuje celkové množství elektrické energie vyrobené fasádními FV sestavami. Vysvětlení rozdílů mezi jednotlivými sestavami (které nebyly předpokládány v takovém rozsahu) vyžaduje podrobnou analýzu. Nicméně již je jasné, že na výkon sestavy 1 měla vliv porucha střídače a dlouhodobě vyšší teplota panelů vzhledem k jejich umístění v horní části fasády.



Obr. 7 Celková energie vyrobená na střídačích fasádních FV sestav v období 20. leden až 26. listopad 2006.

Výše naznačené problematiky je nutné dál studovat a přetvořit do výsledné hodnoty efektivní účinnosti η_{eff} (%) větraného fasádního FV systému, která odrazí jeho reálné dlouhodobé chování.

4. Matematický model

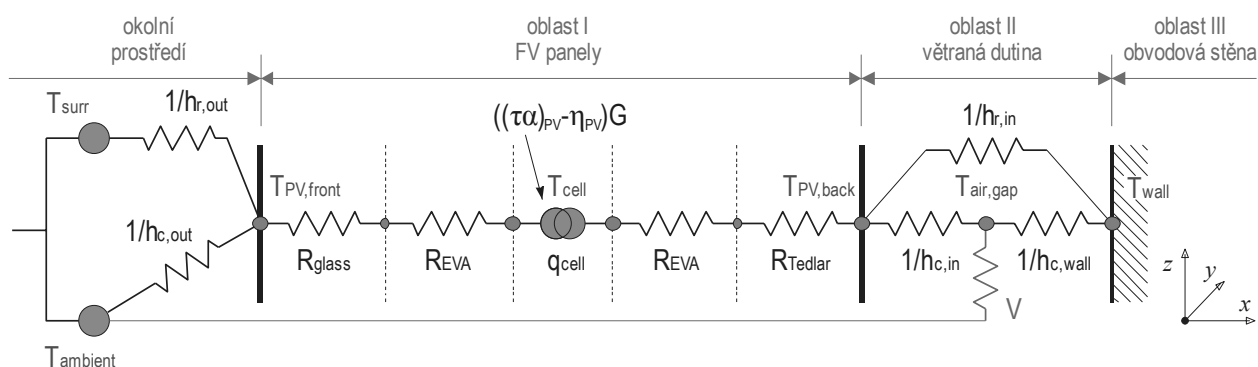
Současně a v souladu s experimentem je vytvářen matematický model pro výpočet výkonu větraných FV systémů v závislosti na jejich poloze, geometrickém uspořádání a klimatických podmínkách příslušné lokality. Výstupy z modelu jsou průběžně validovány pomocí experimentálních dat.

Model je rozčleněn do dvou vzájemně provázaných sub-modelů:

1. sub-model přenosu tepla a proudění
2. elektrický sub-model.

Pro modelování přenosu tepla a proudění v systému je východiskem práce, kterou publikoval Brinkworth a Sandberg (např. [2]) v případě přirozeného odvětrávání vzduchové dutiny, resp. práce Mei et al. (např. [3]) v případě nuceného odtahu vzduchu. Model je řešen jako jednorozměrný (ve směru x) a

víceúsekový (ve směru z).



Obr. 8 Schéma ekvivalentního tepelného obvodu systému větrané FV fasády s vyznačením uzlových teplot a tepelných odporů.

Pro modelování elektrických parametrů systému je použit model Sandia [4], který obsahuje rozsáhlou databázi FV panelů a umožňuje vysokou variabilitu.

Cílem práce na matematickém modelu je vytvořit nástroj, který rychle poskytne klíčové informace potřebné při rozhodování o podobě FV systému určeného k integraci do obvodového pláště budovy. Důležitým výstupem bude reálná předpověď produkce elektrické (a popř. i tepelné) energie s ohledem na specifické podmínky konkrétní lokality.

Literatura

- [1] Solarbuzz™. *Marketbuzz™ 2006 – Annual World Solar PV Industry Report* [online]. Solarbuzz LCC, March 2006. 200 pp. [cited 2006-11-05]. < <http://www.solarbuzz.com/Marketbuzz2006-intro.htm> >
- [2] BRINKWORTH, B. J. – SANDBERG, M. Design procedure for cooling ducts to minimise efficiency loss due to temperature rise in PV arrays. *Solar Energy*, 2006, Volume 80, Issue 1, s. 89-103.
- [3] MEI, L. – INFELD, D. – EICKER, U. – FUX, V. Thermal modelling of a building with an integrated ventilated PV façade, *Energy and Buildings*, 2003, Volume 35, Issue 6, s. 605-617.
- [4] KING, D. L. – BOYSON, W. E. – KRATOCHVIL, J. A.: *Photovoltaic Array Performance Model*. Albuquerque: Sandia National Laboratories, 2004.

Výpočtové hodnocení dvouplášťových střech – od normových postupů k CFD modelování

Zbyněk Svoboda

1. Úvodem

Dvouplášťové střešní konstrukce jsou v českých normách tradičně doporučovány jako ideální střechy do vlhkých provozů. Vzduchová vrstva mezi spodním, tepelně izolujícím pláštěm a horním, ochranným pláštěm je větraná venkovním vzduchem, který má bezpečně odvést do vnějšího prostředí vodní páru difundující přes spodní plášť z interiéru. Je-li dvouplášťová střecha dobře navržená a zrealizovaná, nedochází pak v její skladbě v žádném místě ke kondenzaci vodní páry.

Kvalitní návrh dvouplášťové střechy však není vůbec jednoduchým projekčním úkolem. V posledních letech se u nových dvouplášťových střech velmi často objevují závažné vlhkostní poruchy, které se v dřívějších letech prakticky nevyskytovaly. Příčinou je kontinuální zvyšování požadavků na tepelnou ochranu budov, kvůli kterému se v posledních letech výrazně zvýšil tepelný odpor spodních plášťů střech. Do větraných vzduchových dutin nově projektovaných střech tak proniká podstatně méně tepla, než tomu bývalo u střech starších. Vzduch ve větraných vrstvách je tudíž podstatně studenější a mnohem snadněji dosáhne stavu nasycení. Moderní dvouplášťové střechy musí být proto navrženy velmi zodpovědně a s větší mírou pečlivosti než v minulosti tak, aby bylo zajištěno dokonalé větrání vzduchové vrstvy.

Pro výpočtové posouzení návrhů dvouplášťových střech se v ČR tradičně používá metodika ČSN 730540-4, která je sice poměrně jednoduchá a snadno aplikovatelná, ale na druhou stranu má řadu omezení.

2. Základní normový postup

Výpočtové posouzení tepelně vlhkostního chování dvouplášťových střech podle ČSN 730540-4 se provádí v několika navazujících krocích. Nejprve je třeba vytvořit 2D model větrané vzduchové vrstvy. V tomto modelu může vzduch proudit jak svisle, tak vodorovně, ale stále jen v jedné rovině. Pro většinu střešních konstrukcí to postačí, ale objevují se i komplikovanější střešní pláště, které je pak nutné pro výpočet často radikálně (a někdy i ne zcela vhodně) zjednodušit. V dalším kroku se stanovuje z tlakové rovnováhy rychlost proudění

vzduchu v jednotlivých úsecích větrané vrstvy. Při výpočtu rychlosti proudění se zjednodušeně zohledňují jak tlakové ztráty třením a vřazenými odpory, tak tlakové rozdíly způsobené větrem a výškovým rozdílem mezi vstupním a výstupním otvorem (počítá se tedy s vlivem přirozeného i nuceného proudění vzduchu). Výsledná rychlost proudění vzduchu je samozřejmě jen určitou průměrnou hodnotou v jednotlivých úsecích - nijak se nezohledňuje proměnné rozložení rychlosti proudění v průřezu větrané vrstvy. Po stanovení rychlosti proudění vzduchu následuje výpočet rozložení teplot vzduchu v dílčích úsecích ve směru jeho proudění. Používaný vztah byl odvozen z jednoduché tepelné rovnováhy větrané vrstvy (zisky prostupem z interiéru přes spodní plášť, ztráty prostupem do exteriéru přes horní plášť a teplo odváděné proudícím vzduchem). Výsledná teplota ve větrané vrstvě má více či méně výrazný exponenciální průběh v závislosti na tepelných odporech obou plášťů a na rychlosti proudění vzduchu. Posledním krokem normové metodiky je stanovení relativní vlhkosti vzduchu ve větrané vrstvě. I zde se vychází z rovnováhy difuzních toků mířících do větrané vrstvy a ven z ní, včetně zohlednění vlivu proudícího vzduchu.

Cílem výše popsaného výpočtu je ověřit, zda relativní vlhkost ve větrané vrstvě nepřesahuje limit 90 % (požadavek ČSN 730540-2).

Jak je z popisu metodiky zřejmé, jedná se o nepřiliš náročný postup, který byl původně vytvořen i pro použití při ručním výpočtu. Jeho hlavní nevýhodou jsou jen velmi omezené možnosti přesnějšího modelování vřazených odporů, složitějších tvarů střech či vlivu různých moderních ventilačních prvků (např. turbíny typu Lomanco). Zohlednit samozřejmě nelze ani všechny klimatické vlivy, např. není možné hodnotit působení slunečního záření, noční výměnu tepla sáláním s oblohou nebo vliv větru vanoucího proti převažujícímu směru přirozeného proudění.

3. CFD modelování

Pro výpočtové hodnocení důsledků podobných komplikovanějších okrajových podmínek a pro hodnocení složitějších střech lze použít pokročilejší programy zaměřené na CFD modelování. Možnosti modelování jsou u těchto nástrojů velmi široké a projektanta tak omezuje spíše náročnější práce s příslušným softwarem a podstatně delší doba potřebná k získání výsledků. Modely střešních konstrukcí totiž nelze obvykle natolik zjednodušit, aby se v nich mohla vyskytovat jen pravoúhlá geometrie. Velmi často je bohužel nutné zadat do výpočtu různé šikmé vrstvy (především horní plášť), což obecně vede k velkému počtu neznámých a k velmi pomalému postupu iteračního výpočtu.

Další komplikací je to, že CFD programy obvykle nepočítají s difuzí vodní páry přes stavební konstrukce. Je-li cílem výpočtu stanovení pole relativních vlhkostí,

musí se proto difuzní tok vodní páry přes spodní plášť modelovat ve výpočtu jako plošný vlhkostní zdroj. Tento zdroj je třeba umístit na vnější povrch spodního pláště a jeho výkon stanovit výpočtem. To nemusí být právě snadné, protože hustota toku vodní páry spodním pláštěm závisí mimo jiné i na neznámých hodnotách teploty a vlhkosti vzduchu ve větrané vrstvě. Ne všechny CFD programy si s tímto problémem dovedou uspokojivě poradit. Spokojíme-li se nicméně s výpočtem na straně bezpečnosti, lze použít jednoduchý vztah

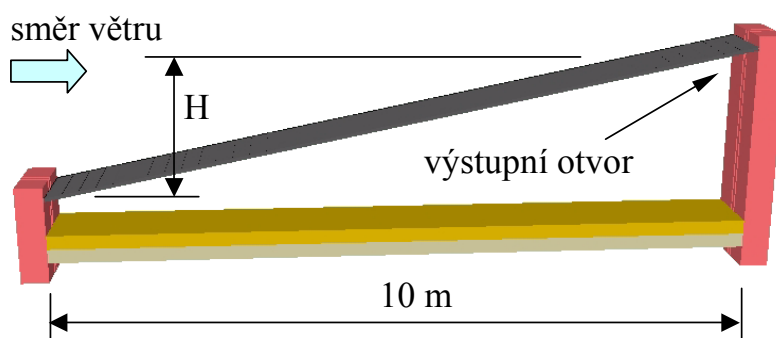
$$g_d = \frac{p_i - p_a}{Z_{pl}}, \quad (1)$$

a za parametry vzduchu ve větrané vrstvě dosadit parametry venkovního prostředí. Zbývá dodat, že vztah (1) platí za předpokladu, že ve spodním plášti nedochází ke kondenzaci voní páry, což lze prakticky bez výjimek snadno splnit.

Hustotu toku vodní páry z větrané vrstvy přes horní plášť do exteriéru lze obvykle zanedbat vzhledem k většinou velmi vysokému difuznímu odporu horního pláště (toto zanedbání je navíc samozřejmě na straně bezpečnosti výpočtu). Přes výše zmíněné nevýhody se mohou CFD výpočty výhledově stát neocenitelným pomocníkem při projektování náročnějších střech. V této souvislosti je samozřejmě velmi zajímavé, jaké lze očekávat rozdíly ve výsledcích dosažených CFD výpočtem a standardní normovou metodikou.

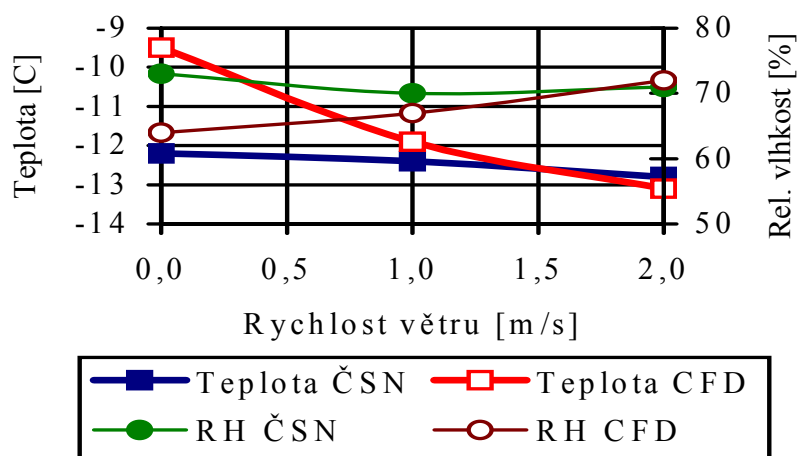
4. Porovnání výsledků metodik

Velmi názorně lze shody a rozdíly obou postupů ukázat na základním nejjednodušším typu dvouplášťové střechy – na pultové střeše s výškově posunutými větracími otvory (obr. 1). Tepelně vlhkostní chování této střechy závisí především na tepelném odporu spodního pláště, na převýšení větracích otvorů a na rychlosti větru.



Obr. 1 – Modelová pultová střecha

V provedené parametrické studii byla uvažována pro všechny varianty jednotná geometrie větrané vrstvy i jednotná velikost větracích otvorů (100x100 mm v osové vzdálenosti 1 m). Shodné byly i okrajové podmínky (vnitřní vzduch 21 °C a 50 %, vnější vzduch –15 °C a 84 %). Proměnný byl tepelný odpor spodního pláště a převýšení větracích otvorů. Ty byly předpokládány zcela volné, aby se předešlo rozdílům způsobeným odlišným modelováním vřazených otvorů (sítky, mřížky). Sledována byla teplota a relativní vlhkost vzduchu před výstupním otvorem. Z výsledků srovnávací analýzy vyplynulo, že ve většině případů poskytuje normová metodika výsledky na straně bezpečnosti výpočtu (obr. 2). Zvláště to pak platí o případech bezvětrí, pro které dává metodika ČSN 730540 výsledky opravdu výrazně nepříznivější. Na druhou stranu lze naopak očekávat, že pro vyšší rychlosti proudění větru (od 2 m/s) budou výsledky normové metodiky mírně příznivější než výsledky CFD analýzy. Nejlepší shoda mezi výsledky obou metodik panuje v případě rychlostí větru kolem 1 m/s.

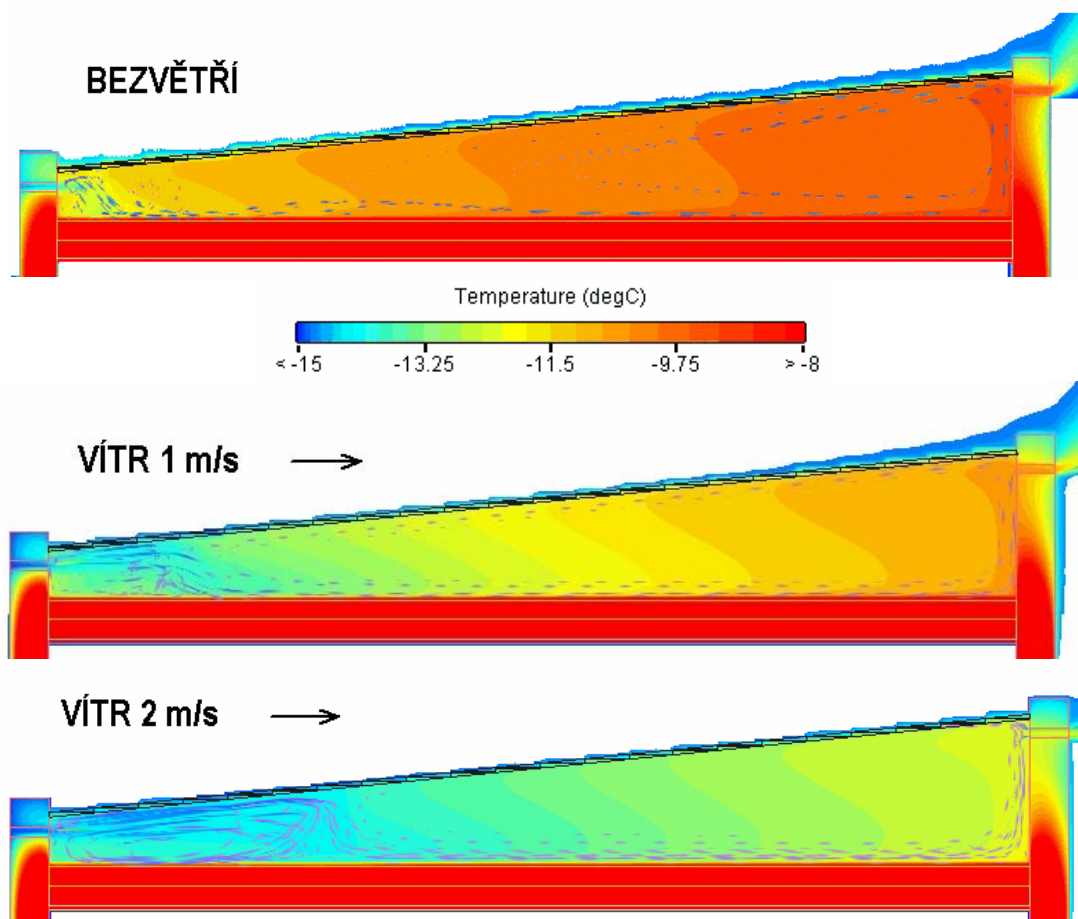


Obr. 2 – Teplota a rel. vlhkost u výstupu z pultové střechy s převýšením otvorů 1 m a součinitelem prostupu tepla spodního pláště 0,2 W/(m².K)

Příčiny velkých rozdílů ve výsledcích pro případy bezvětrí jsou pravděpodobně způsobeny tím, že normový postup nijak nezohledňuje vedení tepla svislými stěnami, které se projevuje nejvíce u slabého proudění vzduchu dutinou. Svou roli samozřejmě sehrává i to, že v ČSN 730540-4 je zanedbán skutečný komplexní charakter proudění vzduchu ve větrané vrstvě, který je velmi dobře vidět na obr. 3.

Za drobnou poznámku stojí i prostorové rozložení měrných vlhkostí vzduchu ve větrané vrstvě modelové pultové střechy (obr. 4), které je zřetelně závislé na rychlosti větru (podobně jako rozložení teplot na obr. 3). Z měřítka grafického výstupu na obr. 4 je nicméně zřejmé, že reálné rozdíly mezi měrnými vlhkostmi v různých místech větrané vrstvy jsou minimální. Dokladem toho, že návrh

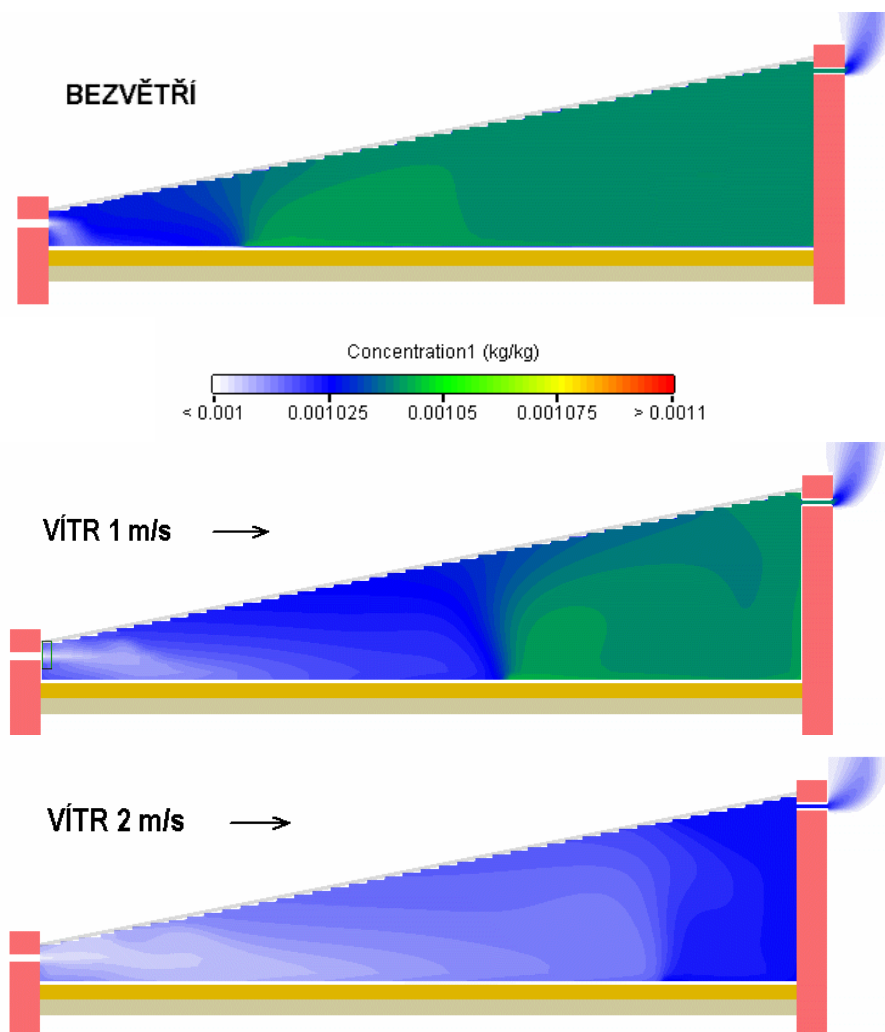
modelové střechy je funkční, je pak skutečnost, že měrná vlhkost ve větrané vrstvě se v rámci celého jejího průřezu pohybuje jen těsně nad 1 g/kg (měrná vlhkost venkovního vzduchu). Pokud by vnitřní plášť střechy byl méně těsný či vzduchová vrstva hůře větraná, přesahovala by měrná vlhkost vzduchu ve větrané vrstvě měrnou vlhkost venkovního vzduchu daleko výrazněji.



Obr. 3 – Rozložení teplot a orientací proudění vzduchu ve větrané vrstvě pultové střechy s převýšením otvorů 1 m a součinitelem prostupu tepla spodního pláště $0,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

Výše popsané shody a rozdíly mezi CFD výpočtem a metodikou ČSN 730540 lze vysledovat i u dalšího základního typu dvouplášťové střechy – u střechy s průběžným středovým dýmníkem (obr. 5), a to přesto, že pro výpočet normovou metodikou je třeba hodnotit jen ideální polovinu střechy. U tohoto typu střechy je zajímavý vliv větru. Z CFD výpočtu totiž vychází poměrně uspokojivé větrání vzduchové vrstvy i pro větší rychlosti větru, což vyvrací občasné obavy praktiků z chování tohoto typu střechy za větrného počasí. Poměrně snadnou úpravou dýmníku – přidáním bočním šikmých krycích desek

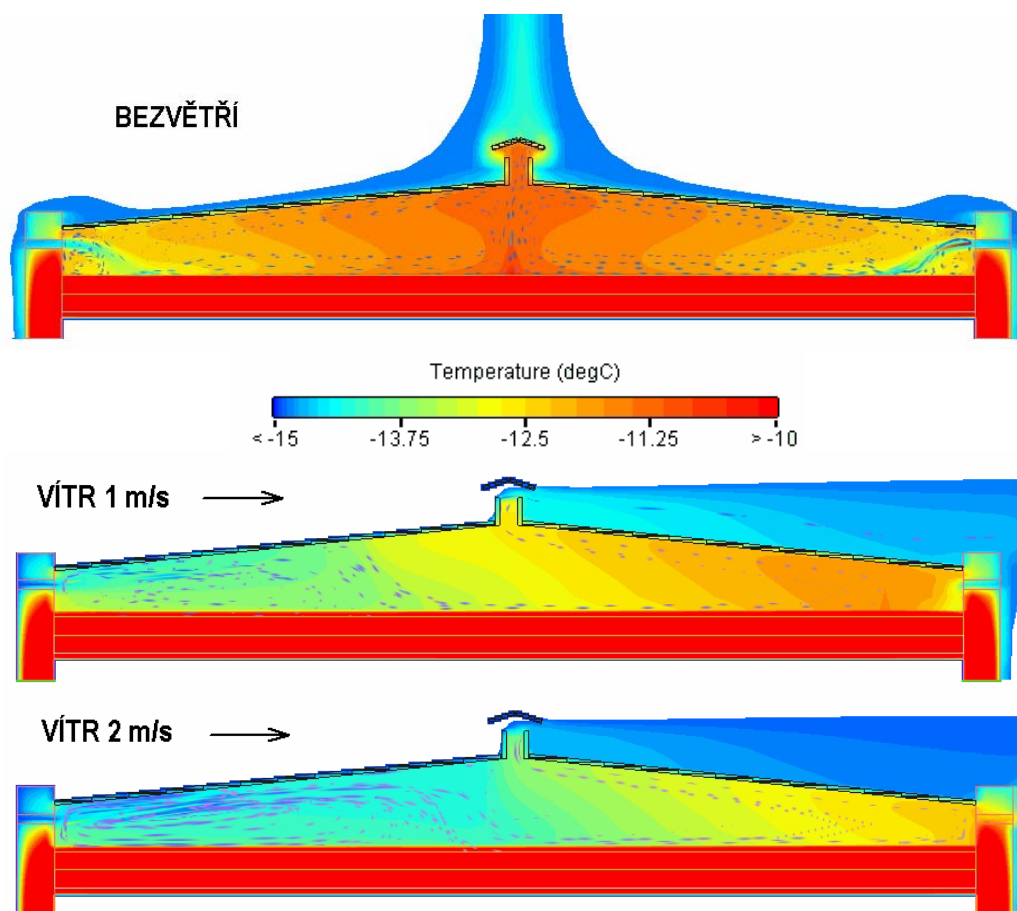
– lze ovšem obraz proudění i při větru změnit tak, aby vzduch stále odcházel převážně dýmníkem (obr. 6).



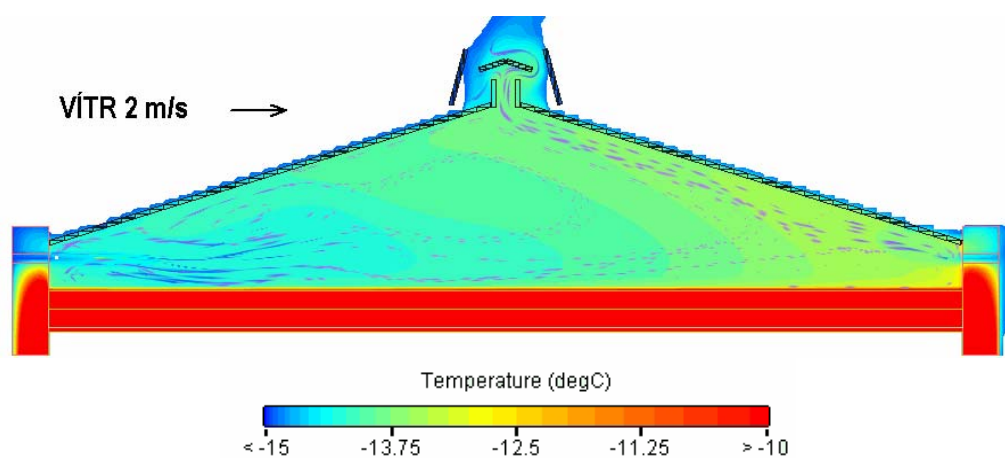
Obr. 4 – Rozložení měrných vlhkostí vzduchu v pultové střeše s převýšením otvorů 2 m a součinitelem prostupu tepla spodního pláště 0,2 W/(m².K)

Podívejme se ještě závěrem srovnávací studie na poslední častější typ dvouplášťové střechy. Jedná se o tzv. motýlkovou střechu, která patří z hlediska větrání mezi dosti problematická řešení a většinou odborníků není doporučována. Z obr. 7 je jasně patrné, proč je tomu tak. Za bezvětrí se totiž tato střecha chová v podstatě jako jednoplášťová – vzduch prakticky jen cirkuluje v rámci vzduchové vrstvy a výměna do exteriéru je minimální. Důsledkem je pak nasycení vzduchu vodní párou a následná kondenzace na vnějším plášti. Chování střechy se samozřejmě radikálně zlepší, jakmile začne na střechu působit vítr, což potvrzují obě srovnávané metodiky (shody a rozdíly metodik jsou i pro tuto střechu obdobné). Projektanti se obvykle u tohoto typu střechy snaží zajistit větrání i při bezvětrí tím, že od sebe mírně vertikálně posunou

protilehlé větrací otvory. Toto posunutí nemůže být obvykle příliš velké, nicméně výsledky CFD analýzy ukazují, že i to může pomoci (obr. 8).

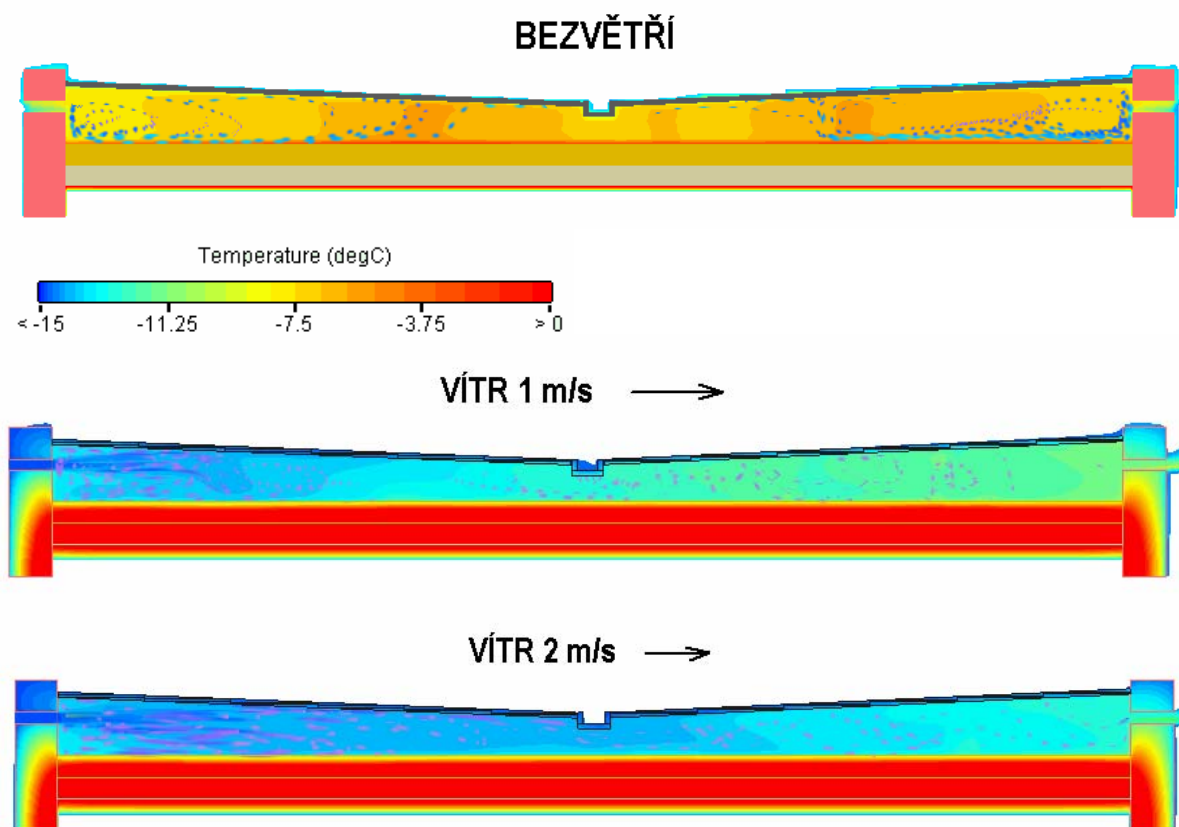


Obr. 5 – Rozložení teplot a orientací proudění vzduchu ve větrané vrstvě střechy s dýmníkem, s převýšením otvorů 1 m a součinitelem prostupu tepla spodního pláště 0,2 W/(m².K)



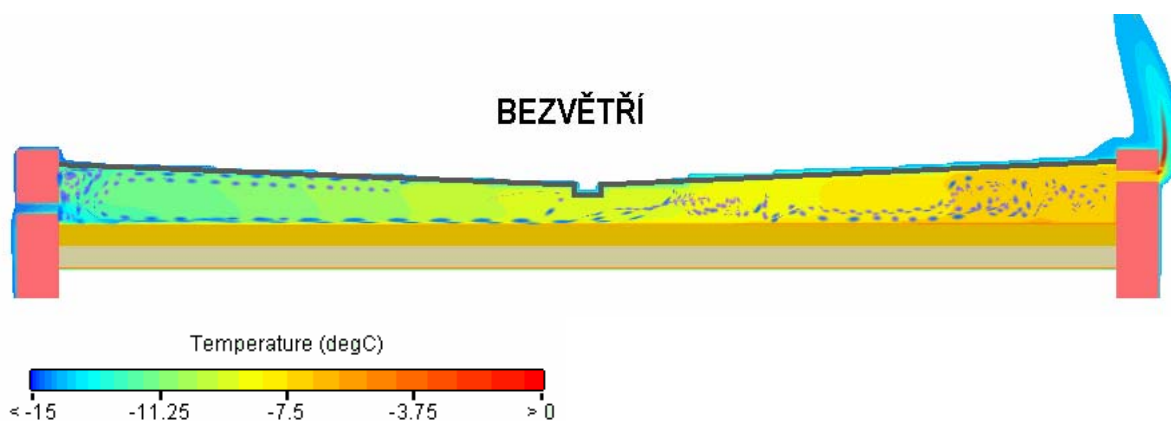
Obr. 6 – Rozložení teplot a orientací proudění vzduchu ve větrané vrstvě střechy s dýmníkem opatřeným bočními krycími deskami (převýšení otvorů 2 m, souč. prostupu tepla $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

Vždy samozřejmě záleží na konkrétní situaci, protože velmi významnou roli hraje skladba střechy, vzdálenost mezi větracími otvory a parametry mikroklimatu pod střechou. Zde uvedené výsledky je proto pochopitelně nutné vnímat jako ilustrativní a pouze ukazující určité tendence. Každá specifická střecha by měla být samozřejmě konkrétně posouzena.



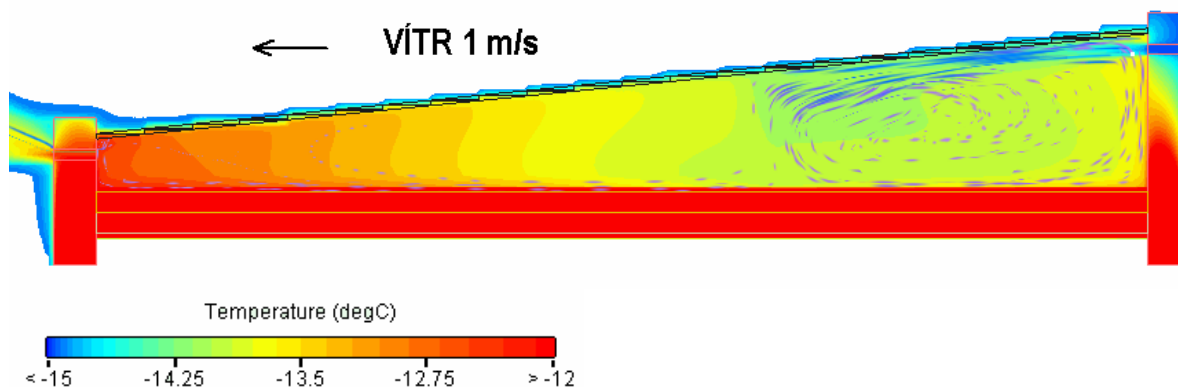
Obr. 7 – Rozložení teplot a orientací proudění vzduchu ve větrané vrstvě motýlkové střechy se souč. prostupu tepla spodního pláště $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Závěry srovnávací studie tří základních typů dvouplášťových střech vyznívají pro jednoduchou metodiku ČSN 730540-4 velmi pozitivně. Její výsledky mají u všech hodnocených střech pro normou požadovaný případ bezvětrí spolehlivou bezpečnostní rezervu a mohou tak sloužit k bezproblémovému ověření návrhu podobných jednodušších střešních konstrukcí.



Obr. 8 – Rozložení teplot a orientací proudění vzduchu ve větrané vrstvě motýlkové střechy se souč. prostupu tepla spodního pláště $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ a s větracími otvory posunutými o 300 mm

Normová metodika ovšem není zcela universální, jak již bylo zmíněno v úvodu příspěvku. Kromě toho, že nezohledňuje vliv slunečního záření či působení výměny sáláním s oblohou, nelze s její pomocí modelovat ani situaci, kdy je vítr orientován proti směru přirozenému proudění vzduchu ve větrané vrstvě. V podobných případech je CFD modelování neocenitelným pomocníkem. Jen s použitím CFD programů lze například ověřit, jaký z faktorů působících na proudění vzduchu ve větrané vrstvě bude rozhodující (obr. 9).



Obr. 9 – Rozložení teplot a orientací proudění vzduchu v pultové střeše s převýšením otvorů 1 m a souč. prostupu tepla spodního pláště $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ při opačné orientaci větru

5. Závěrem

Příspěvek ukázal možnosti využití podrobnějších CFD výpočtů pro ověření návrhů dvouplášťových střeš. Přes drobné komplikace lze stávající CFD programy k tomuto účelu s výhodou použít a rozšířit tak záběr výpočtového

hodnocení i na střechy, které jednoduchá metodika ČSN 730540-4 nemůže postihnout.

6. Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen výzkumným záměrem MSM 6840770005.

7. Použitá literatura

ČSN 730549, 1977: Tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov – Výpočtové metody. ÚNM Praha.
ČSN 730540-4, 2005: Tepelná ochrana budov – Výpočtové metody. ČNI Praha.
FLOMERICS Ltd., 2005: CFD Software Flovent 6.1.

8. Přehled označení

g_d hustota difuzního toku vodní páry [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
 p_i část. tlak vodní páry ve vnitřním vzduchu [Pa]
 p_a část. tlak vodní páry ve větrané vrstvě [Pa]
 Z_{pl} difuzní odpor vnitřního pláště [m/s]

Tepelně vlhkostní analýza povrchového souvrství kontaktně zateplovacího systému

Jan Ficenec

Abstract

I terms of research project has been analyzed the hygrothermal behaviour of the rendering system of External Thermal Insulation Composite Systems with rendering (ETICS). This problem has been discussed in context of algae attack of external surface in recent years. A number of expert's and research's works have pointed to condensation on external surface. This has been induced by cooling of rendering system owing to long wave radiation. The intensive moisture load on the external surface can influence simultaneously the moisture content in the construction.

This question is demonstrated via experimental measurement outputs and numerical simulations results.

1. Úvod

V rámci výzkumného záměru je řešena tepelně vlhkostní bilance povrchové úpravy kontaktně zateplovacího systému (dále bude užívána zkratka ETICS z anglického External insulation composite systems). V zahraničí byla v posledních letech této problematice věnována pozornost zejména v souvislosti s výskytem řas na vnějších površích těchto konstrukcí (příklad je patrný z obr. 1). Celá řada odborných a výzkumných prací poukazuje mimo jiné na kondenzaci na exteriérovém povrchu, která je způsobena prochlazováním vnější povrchové úpravy vlivem dlouhovlnného vyzařování (viz. obr. 2). Intenzivní vlhkostní zatížení na vnějším povrchu však zároveň může přispívat ke zvýšení celkového obsahu vlhkosti uvnitř konstrukce.

Jan Ficenec, Ing.

*ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra Konstrukcí pozemních staveb,
Thákurova 7, 166 29 Praha*

tel: +420 224 355 451, email: jan.ficenec@fsv.cvut.cz



Obr. 1 Příklad lokálního výskytu řas na ETICS



Obr. 2 Příklad kondenzace na vnějším povrchu ETICS vlivem dlouhovlnné radiace. V místě kotev (tepelné mosty s vyšší povrchovou teplotou) ke kondenzaci nedochází

Ve stavební praxi se pro posouzení bilance vlhkosti užívá normových postupů založených na Glaserově kondenzačním modelu (např. ČSN EN ISO 13788). Prováděné analýzy poukazují na to, že pro konstrukce s ETICS není tento postup zcela nejvhodnější a to zejména z těchto důvodů:

1. zanedbání působení deště či tajícího sněhu;
2. zanedbání hygroskopických a sorpčních vlastností;
3. zanedbání transportu vlhkosti v kapalně fázi;
4. zanedbání vlivu radiace.

Výsledky a závěry shrnuté v tomto příspěvku jsou zaměřeny zejména na body 2 až 4.

2. Experimentální sledování

Jak již bylo uvedeno, tepelně vlhkostní režim na vnějším povrchu ETICS je výrazně determinován nočním prochlazováním vlivem dlouhovlnného sálání. Dlouhovlnná radiace se projevuje sáláním mezi vnějším povrchem stavební konstrukce, okolím a oblohou. K nejvýraznějšímu tepelnému toku ve formě dlouhovlnné radiace dochází mezi povrchem konstrukce a oblohou a to zejména za jasných nocí. Sálání mezi konstrukcí a okolím je v běžných případech zanedbatelné.

Z tohoto důvodu bylo na konci srpna 2005 zahájeno sledování vnějších povrchových teplot u stavebních konstrukcí v podmínkách vnějšího mikroklimatu. Na stěnách výtahové šachty na střeše objektu B fakulty jsou

připevněny různé vzorky ETICS. Není účelné přesně popisovat celé uspořádání experimentu. Uvedme pouze, že 4 vzorky jsou s tepelnou izolací z EPS v tloušťce 130 mm a 4 vzorky jsou bez tepelné izolace. Tyto vzorky jsou umístěny na severozápadní stěně výtahové šachty. Jeden vzorek s tepelnou izolací je umístěn na jihozápadní stěně pod přesahující horizontální konstrukcí, čímž je odstíněn proti noční obloze a to následně umožňuje sledovat právě vliv dlouhovlnné radiace mezi konstrukcí a oblohou. Vedle povrchových teplot je měřena teplota vnitřního a vnějšího vzduchu.

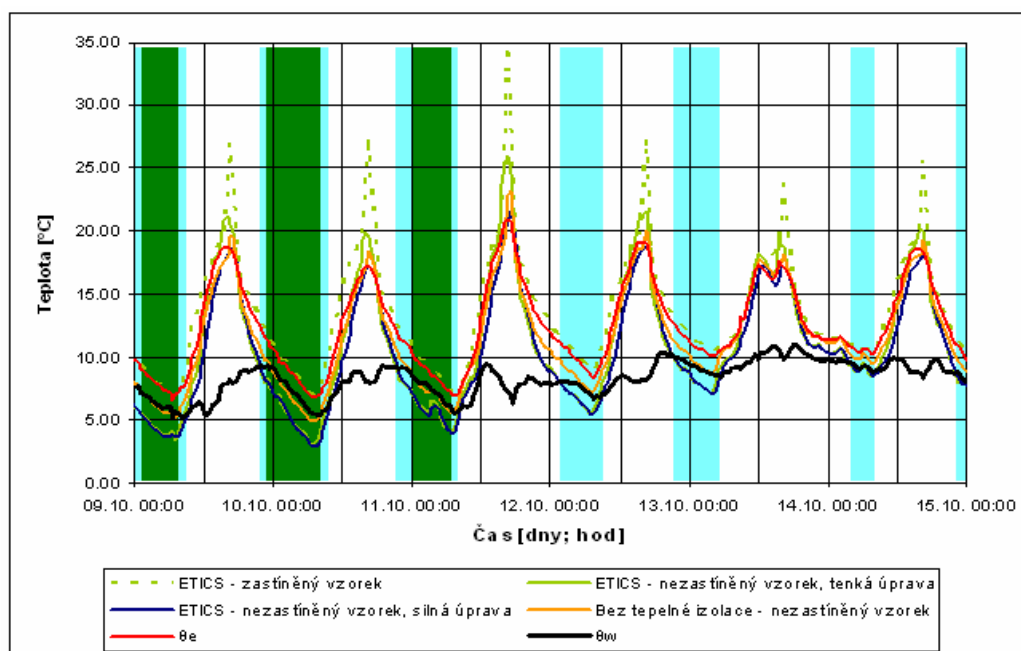
V září tohoto roku se přistoupilo k rozšíření experimentu o sledování vlhkostních parametrů. Je měřena relativní vlhkost vnějšího a vnitřního vzduchu. Pro ověření předpokladu, že vlhkostní bilance v ETICS (zejména v povrchové úpravě a těsně pod ní) je výrazně ovlivňována vnějšími okrajovými podmínkami, bylo osazeno měření vlhkosti pod povrchovou úpravou. Toto měření probíhá nepřímo na základě sledování relativní vlhkosti. Schématické a fotografické znázornění je parné z obr. 3. Na základě těchto měření není možno přímo určit výsledný obsah vlhkosti. Spíše lze pomocí takto dosažených výsledků stanovit trendy vlhkostního chování a závislost na vnějších okrajových podmínkách.

Z důvodu sledování vlivu tloušťky povrchové úpravy byla na jeden ze vzorků provedena běžná vápennocementová omítka v tloušťce 10 mm s následnou tenkovrstvou stěrkovou omítkou.



Obr. 3 Znázornění měření vlhkosti v ETICS

V první řadě se zaměříme na povrchové teploty. V grafu na obr. 4 jsou prezentovány výsledky měření za období od 9. 10. do 15. 10. 2006. Jsou zvýrazněny časové úseky při nichž může na povrchu konstrukcí docházet k povrchové kondenzaci.



Obr. 4 Příklad měření vnějších povrchových teplot v podmínkách vnějšího mikroklimatu. Tmavým pruhem zvýrazněny časové úseky s možností kondenzace na vzorku bez tepelné izolace; světlým pruhem na vzorku s tepelnou izolací.

Byl vybrán typický průběh, na němž lze dokumentovat některé zásadní aspekty působení dlouhovlnné radiace:

- U kontaktního zateplovacího systému může být v noci pokles povrchových teplot větší než 3,5 °C oproti teplotě vnějšího vzduchu. Pokud není vnější povrch vystaven sálavému toku k obloze, k nočnímu prochlazování nedochází a povrchová teplota se pohybuje prakticky stále nad teplotou okolního vzduchu.
- U zdiva (tedy u vzorku bez tepelné izolace) dochází rovněž k poklesu, ale ten není tak výrazný.
- Je patrné, že u zateplovacího systému docházelo ve sledovaném období k poklesu relativní vlhkosti pod teplotu rosného bodu. V případě zdiva je rovněž patrná možnost vzniku kondenzátu, ale četnost je oproti konstrukci s ETICS nižší.
- Vliv tloušťky povrchové úpravy na povrchové teploty se během noci prakticky neprojevuje. Rozdíl je patrný pouze ve dne, kdy v případě, že je fasáda osluněna, není vzestup povrchové teploty u silnější povrchové úpravy natolik výrazný.

Z dosavadních výsledků měření (nejsou v tomto příspěvku graficky uveřejněny) rovněž vyplývají dvě následující skutečnosti:

- V zimním období povrchová teplota vzorků v kontaktu s oblohou prakticky nepřesahuje teplotu okolního vzduchu. Právě toto je výrazným

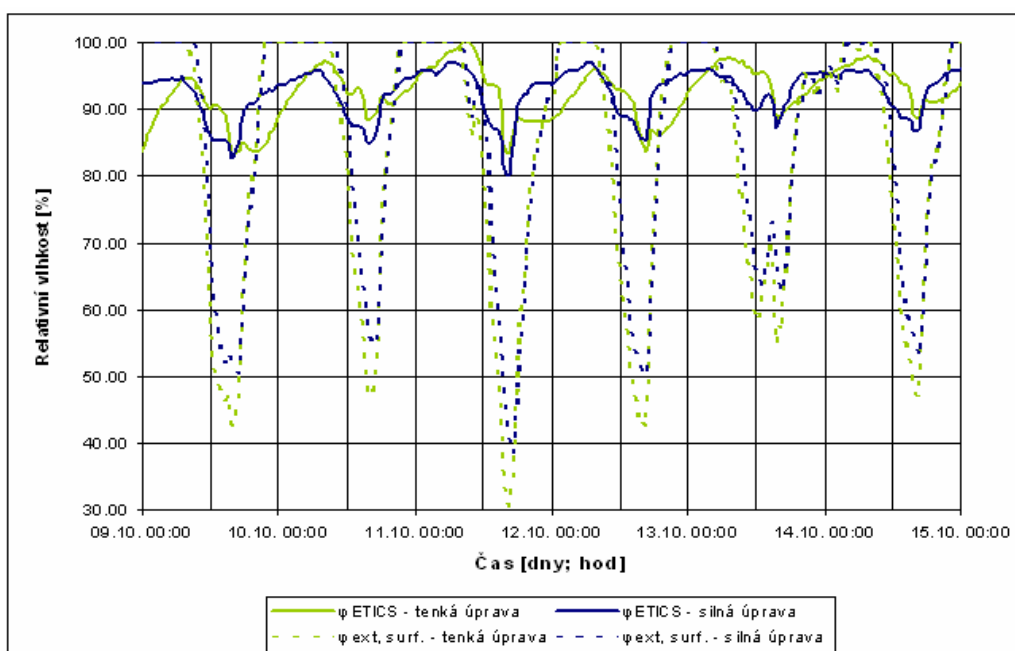
problémem u konstrukcí orientovaných k SV, S a SZ. Během podzimních a zimních měsíců je totiž vlivem nízké teploty výrazně omezen výpar kondenzátu či dešťových srážek z těchto konstrukcí, který není vyvažován slunečním zářením.

- Ukazuje se, že rozdíly mezi teplotou vnějšího povrchu zateplovacího systému a teplotou vzduchu se během roku zásadně nemění. Z toho jednoznačně vyplývá, že působení dlouhovlnné radiace na prochlazování povrchového souvrství zateplovacího systému přesahuje vliv teplotního rozdílu mezi teplotami interiéru a exteriéru během zimního období.

V grafu na obr. 5 jsou pak uvedeny pro stejné období výsledky měření vlhkosti. Relativní vlhkost na vnějším povrchu byla stanovena výpočtem na základě měření povrchových teplot a relativní vlhkosti vzduchu.

Je patrné, že v případě obou typů povrchových úprav dochází ke kolísání relativních vlhkostí v konstrukci během dne. Průběh tohoto kolísání kopíruje relativní vlhkost na vnějším povrchu. Z dosavadních měření vyplývá, že vyšších relativních vlhkostí v konstrukci je většinou dosahováno u vzorku s tenkou povrchovou úpravou a zejména v těch případech, kdy relativní vlhkost na vnějším povrchu dosahuje 100%.

Výsledky sledování vlhkostního chování jsou prozatím k dispozici za krátké časové období. Není proto na jejich základě možno vyslovovat relevantní závěry. Rozhodující v tomto případě bude zimní období.



Obr. 4 Příklad měření vlhkosti v zateplovacím systému a na vnějším povrchu. Plné křivky určují relativní vlhkost v konstrukci, přerušované na vnějším povrchu.

3. Numerická analýza

Vedle experimentálního sledování probíhá rovněž numerická analýza různých variant řešení konstrukcí se zateplovacími systémy. Výsledky těchto rozborů byly uvedeny v odborném časopise Tepelná ochrana budov a na několika konferencích.

Pro prezentaci v tomto příspěvku byla zvolena varianta s tepelnou izolací z EPS a vnějším povrchovým souvrstvím na bázi akrylátové pryskyřice. Tato aplikace patří v současné stavební praxi mezi nejrozšířenější. Skladba konstrukce je uvedena v tabulce 1.

Výpočtově byly hodnoceny dva případy:

1. Pouze působení teploty a relativní vlhkosti (v souladu se standardním postupem dle ČSN EN ISO 13788)
2. Působení teploty, relativní vlhkosti, krátkovlnné a dlouhovlnné radiace

Pro numerickou analýzu byl zvolen softwarový nástroj WUFI určený pro pokročilé výpočetní hodnocení sdruženého tepelně vlhkostního transportu u vícevrstvých stavebních konstrukcí. Tento výpočetní model umožňuje řešení šíření vlhkosti difuzí a rovněž v kapalném stavu.

Pro podkladní konstrukci nebyl uvažován žádný konkrétní materiál. Použité parametry součinitele prostupu tepla a faktoru difuzního odporu však odpovídají běžnému tepelně izolačnímu zdivu z keramických tvarovek. Toto zjednodušení však dosažené výsledky zásadně neovlivní, jak bylo prokázáno vstupní parametrickou studií (např. pro železobetonu stěnu jsou výsledky výpočtů obdobné).

Ke kapilárnímu vedení nedochází u všech stavebních materiálů. Konkrétně u komponent ETICS umožňují v zásadě kapilární transport materiály pro povrchová souvrství (výztužná vrstva a omítka), ve stavebních izolacích (EPS či minerálních vláknech) dochází pouze k šíření vlhkosti difuzí.

Při výpočtu pomocí výpočetního modelu WUFI se rozlišují v zásadě dva případy transportu vlhkosti v kapalně fázi – volné sání a redistribuce. K volnému sání dochází pouze v případě, že se materiál nachází v přímém kontaktu s vodou, tedy například pokud na povrch konstrukce působí déšť nebo dochází k povrchové kondenzaci. Pro ostatní případy, kdy je materiál vlhký nebo je v kontaktu s jiným vlhkým materiálem, se uplatňuje redistribuce.

Z hlediska četnosti lze uvést, že převažujícím jevem je redistribuce.

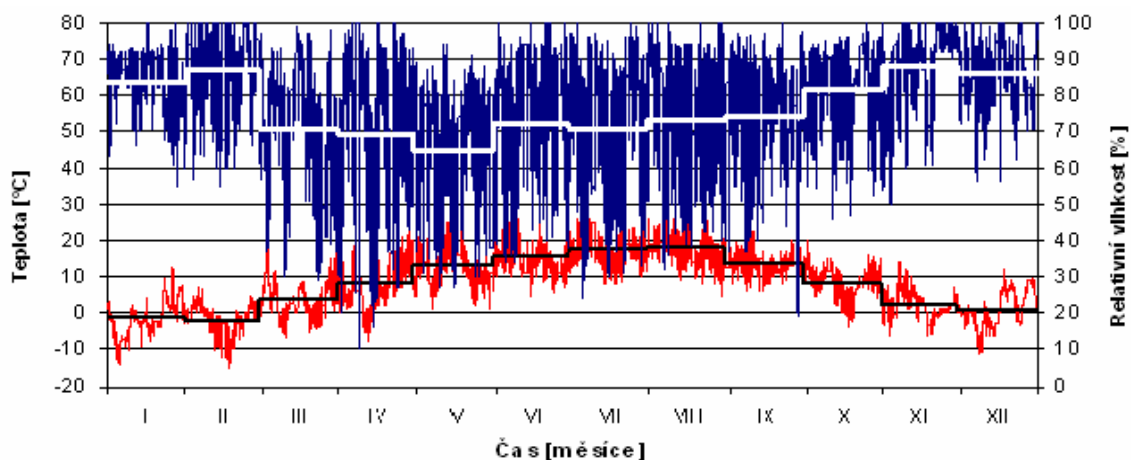
Tab. 1 Skladby modelových konstrukcí

Skladba konstrukce (od interiéru)		Podkladní konstrukce	Tepelná izolace	Povrchové souvrství	
Tloušťka	[mm]	300	120	5	
Materiál		obecný materiál	EPS	akrylátová báze	
Objemová hmotnost ρ	[kg/m³]	×	1800	30	
Tepelná kapacita c	[kJ/(kg.K)]	×	850	1420	
Tepelná vodivost λ ^{*)}	[W/(m.K)]	0,2	0,7	0,04 – 0,60	
Porosita	[obj. %]	×	0,12	0,97	
Faktor difuzního odporu μ	[-]	8	130	50	
Obsah vlhkosti při	praktické vlhkosti w ₈₀	[kg/m³]	×	1,1	10
	volném nasycení w _f	[kg/m³]	×	950	100
Součinitel transportu v kapalně fázi pro volné sání	praktické vlhkosti w ₈₀	[m²/s]	×		6,6×10 ⁻¹¹
	volném nasycení w _f	[m²/s]	×		4,5×10 ⁻¹⁰
Součinitel transportu v kapalně fázi pro redistribuci	praktické vlhkosti w ₈₀	[m²/s]	×		5,1×10 ⁻¹¹
	volném nasycení w _f	[m²/s]	×		1,5×10 ⁻¹⁰

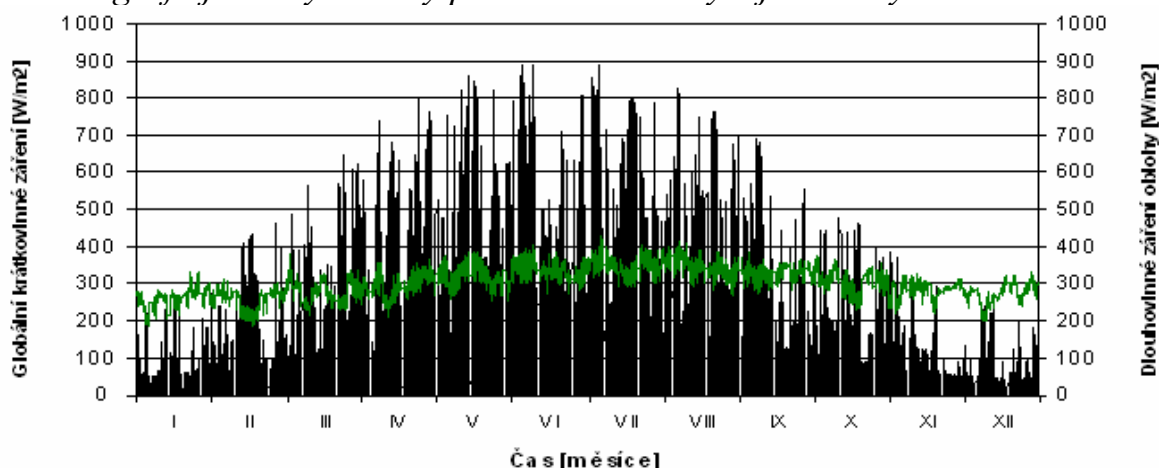
*) V tabulce je uveden rozsah hodnot součinitele tepelné vodivosti λ , který je vlhkostně závislý

Pro numerickou analýzu byla zvolena klimatická data pro Prahu, vypracována v rámci výzkumného projektu ASHRAE. Tento soubor dat byl vytvořen na

základě měření za období let 1984 – 1998 a obsahuje hodinová data. Přehled je uveden v grafech na obr. 5 a obr. 6.



Obr. 5 Průběhy teplot a relativních vlhkostí vnějšího vzduchu dle ASHRAE. V grafu jsou zvýrazněny průměrné hodnoty v jednotlivých měsících.

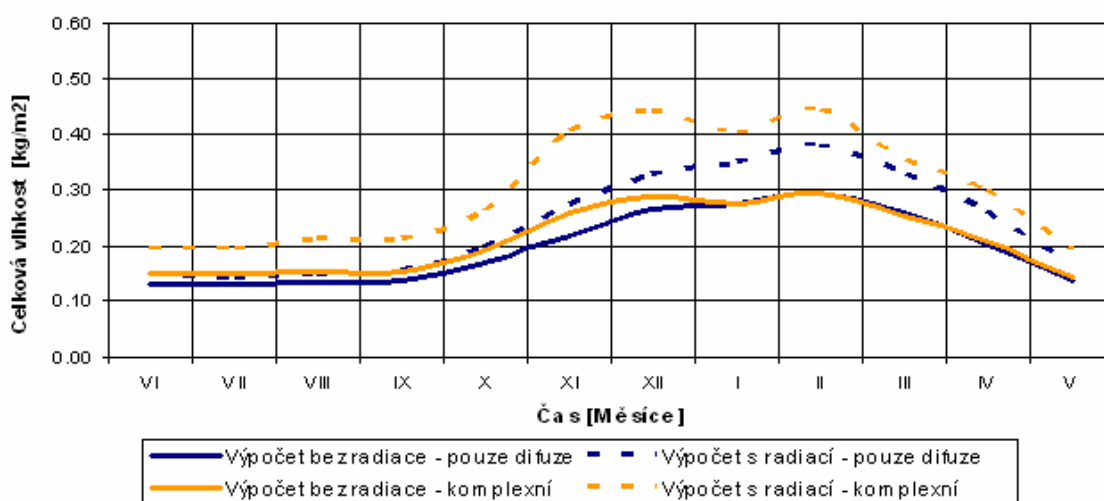


Obr. 6 Průběhy dopadajícího globálního krátkovlnného záření na horizontální ploše (černě) a dlouhovlnného tepelného záření oblohy (zeleně) dle ASHRAE. Orientace konstrukce byla uvažována k severu a odstín povrchové úpravy světlý. Vliv dešťových srážek nebyl uvažován, což umožňuje popis vlivu dlouhovlnné radiace. Pro vnitřní prostředí byla uvažována konstantní návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai}=21^{\circ}\text{C}$ a konstantní návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\phi_{ai}=50\%$.

Jak již bylo uvedeno, použitý výpočetní model umožňuje zahrnutí vlivu kapilárního transportu vlhkosti. Výpočet byl však rovněž proveden pro případ, kdy je uvažováno šíření vlhkosti pouze difuzí, což odpovídá standardnímu postupu dle ČS EN ISO 13788. Ve stavební praxi může tento případ nastávat u hydrofobizovaných povrchových úprav, ve kterých nedochází k redistribuci vlhkosti vlivem kapilárních sil.

Průběh akumulace vlhkosti v ETICS je znázorněn v grafu na obr. 7. I přes to, že výpočet byl proveden s hodinovým krokem, jsou výsledky pro přehlednost uvedeny v měsíčních průměrech. Z výsledků jednoznačně vyplývá výrazný vliv dlouhovlnné radiace na zvýšení celkového obsahu vlhkosti v ETICS (v grafu znázorněno přerušovanými čarami). K nárůstu obsahu vlhkosti dochází v povrchové úpravě a vnější vrstvě tepelné izolace. Toto je způsobeno zejména sorpčními vlastnostmi a nasákavostí povrchové úpravy. Zároveň z výsledků vyplývá, že v případě zahrnutí kapilárního transportu je množství akumulované vlhkosti vyšší, než pokud je uvažován pouze vliv difuze. Což je způsobeno absorpcí vzniklého kondenzátu na povrchu do povrchové úpravy.

Z provedených analýz rovněž vyplývá, že povrchová úprava na zateplovacím systému reaguje výrazněji na vnější podmínky než omítky na běžném jednovrstvém zdivu. Zvýšená vlhkost v povrchové úpravě totiž může být mimo jiné vlivem kapilárních sil transportována do konstrukce. U ETICS je tato možnost výrazně omezena, neboť, jak bylo uvedeno, tepelné izolace kapilární transport neumožňují. Lze proto uvést, že silnější povrchová úprava umístěná na konstrukci z kapilárně aktivních materiálů má vyšší „vlhkostní setrvačnost“ než tenká povrchová úprava u zateplovacího systému.



Obr. 7 Průběh akumulace vlhkosti v ETICS během ročního cyklu (měsíční průměry).

4. Závěr a výhled v dalším výzkumu

V tomto příspěvku byla diskutována problematika působení dlouhovlnné radiace na tepelně vlhkostní režim stavebních konstrukcí s kontaktně zateplovacími systémy. Na základě experimentálního sledování bylo dokumentováno, že vlivem dlouhovlnné radiace dochází k prochlazování vnějšího povrchu a tím k možnosti kondenzace. Zároveň je však z experimentálních měření i

z prováděných numerických analýz patrné, že tento vliv rovněž výrazně ovlivňuje vlhkostní bilanci uvnitř konstrukce.

Za zásadní cíle dalšího výzkumu lze stanovit:

1. Pokračování experimentálního sledování vlhkostního chování kontaktního zateplovacího systému v podmínkách vnějšího mikroklimatu a následně provedení detailního rozboru těchto výsledků.
2. Numerická analýza různých variant řešení ETICS. Za tímto účelem probíhá v současné době ve spolupráci s Zentrum für Bauphysik und Bauakustik, TU Wien měření materiálových parametrů povrchových úprav nutných pro numerické simulační výpočty.
3. Zahrnutí dešťových srážek do simulačních výpočtů. Tento vliv je výrazný zejména u srážkami výrazně namáhaných povrchů.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován za podpory výzkumného záměru MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“ a interního grantu CTU0600511.

Literatura

- ČSN EN ISO 13788: Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody; ČNI; Praha; 2002
- KÜNZEL, H.M. KRUS, M.; SEDLBAUER, K.: Algen auf Außenwänden - Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung!, Vorträge 3. Dahlberg-Kolloquium, Berlin: Verlag für Bauwesen, 2001, (Schriftenreihe Altbauinstandsetzung 3), s. 75-84,
- ASHRAE. 2001. International Weather for Energy Calculations (IWECA Weather Files) Users Manual and CD-ROM, Atlanta: ASHRAE; 2001
- KÜNZEL, H.M.; Dissertation: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten; Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Konstruktive Bauphysik; Stuttgart; 1994
- KÜNZEL, H.M.: WUFI 4.0 Pro. IBP; PC-Programme zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen; Holzkirchen; 2005
- FICENEC, J.: Tepelně vlhkostní chování povrchového úpravy kontaktně zateplovacího systému; , 13. mezinárodní konference Tepelná ochrana budov 2006, Praha, duben 2006
- FICENEC, J.: Pokročilé nástroje k posuzování tepelně vlhkostního chování obvodových konstrukcí – část I., časopis Tepelná ochrana budov, č 05/06

Vyhodnocení vlivu nuceného odvětrání podloží na teplotní pole pod domem prostřednictvím ročního monitoringu

Martin Jiránek

1. Úvod

Nucené odvětrání podloží bývá považováno za jedno z nejúčinnějších protiradonových opatření, které je založeno na odvodu půdního vzduchu nejčastěji z perforovaného drenážního potrubí vloženého do šterkové vrstvy pod domem. Zvýšené proudění půdního vzduchu však může vyvolat výskyt některých negativních jevů, jako je pokles teplot v podloží pod domem, vysušování podloží atd. Závažnost těchto jevů závisí v první řadě na propustnosti podloží, těsnosti podlah a přítomnosti tepelné izolace v podlaze [JIRÁNEK, M., 2002]. Čím je propustnost podloží a intenzita odvětrání větší, tím větší může být i pokles teploty pod domem.

Cílem úkolu bylo vyhodnotit v reálných podmínkách velikost poklesu teploty pod domem prostřednictvím dlouhodobého, ročního monitoringu teplot. Pro sledování byl vybrán dům s dvěma rizikovými faktory – vysoce propustné podloží a extrémně vysoká interiérová koncentrace radonu, k jejímuž snížení je potřeba vyšší intenzita odvětrání podloží.

2. Popis objektu

Monitorovaný objekt je částečně podsklepený rodinný dům s obytným podkrovím, který byl postaven před cca 100 lety. V přízemí se nachází čtyři obytné místnosti - pokoj, kuchyně, obývací pokoj s kuchyňským koutem a ložnice (obr. 1) a v podkroví tři obytné místnosti. Malý sklípek je situován jen pod koupelnou a ložnicí (obr. 2). Nosné stěny přízemí jsou ze smíšeného zdiva v tloušťce od 300 mm do 450 mm, sokl je kamenný, příčky cihelné. Původní podlahy byly v pokoji a kuchyni prkenné na škvárovém podsypu a ve vstupní chodbě a ložnici z prostého betonu bez hydroizolace. V koupelně, chodbě před koupelnou a v obývacím pokoji s kuchyňským koutem byly před 5 lety položeny nové podlahy v následující skladbě: keramzit, podkladní beton, IPA a vrchní beton. Vytápění domu je ústřední s kotlem na tuhá paliva ve sklepě. Podél převážné části východní stěny (na straně do svahu) je k domu připojena jednopodlažní kůlna.

Před návrhem protiradonových opatření byla v objektu provedena firmami Radon v.o.s. a SÚRO Praha rozsáhlá diagnostická měření, která jako hlavní zdroj radonu určila podloží. Koncentrace radonu se v trhlínách vyskytujících se

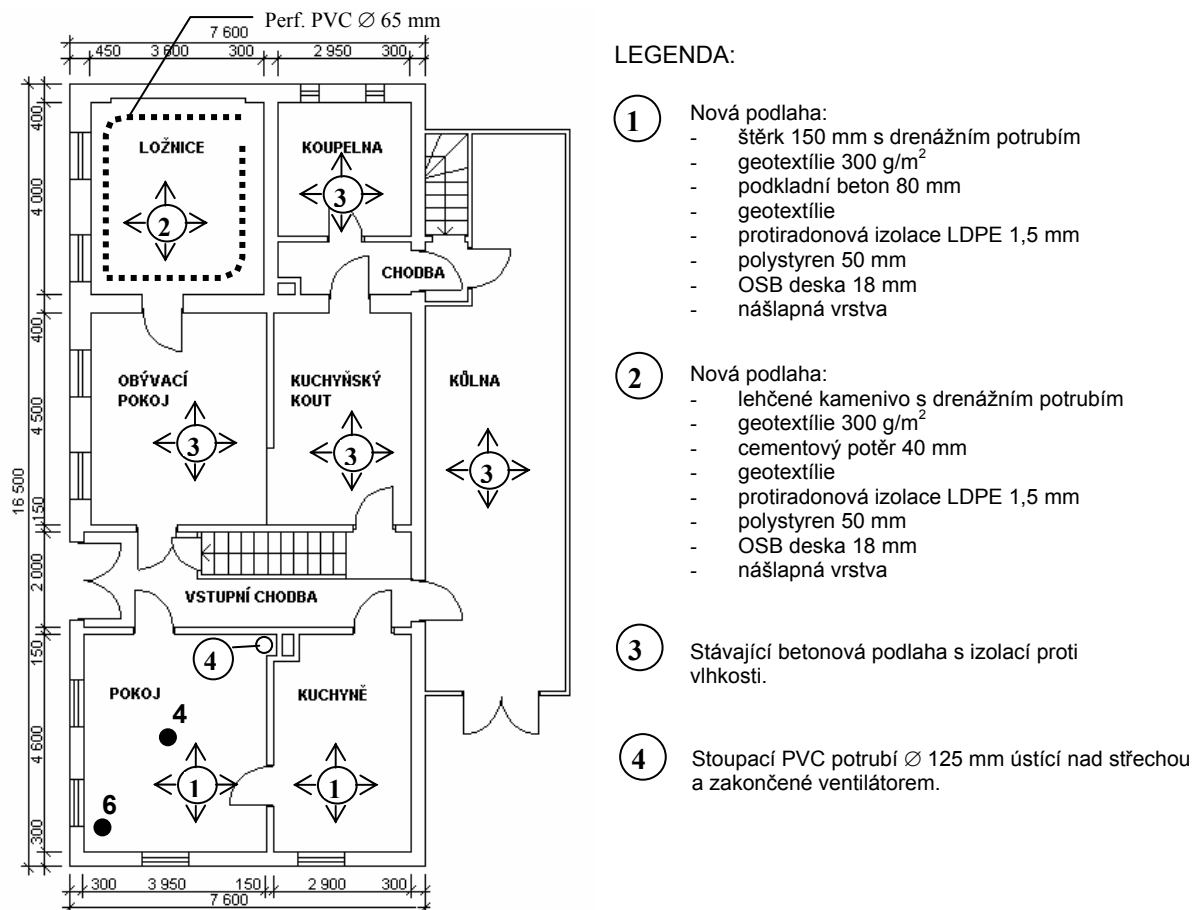
Martin Jiránek, doc., ing., CSc.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

tel.: 224354806, fax.: 233339987, e-mail: jiranek@fsv.cvut.cz

v podlaze obývacího pokoje pohybovala v rozmezí 20 kBq/m^3 až 380 kBq/m^3 a v podsypu stávajících podlah dosahovala dokonce až 600 kBq/m^3 . Důsledkem takto vysokých hodnot jsou extrémně vysoké okamžité interiérové koncentrace radonu – ve sklepě okolo 100 kBq/m^3 a v obytných místnostech přízemí okolo 60 kBq/m^3 . Průměrná roční koncentrace radonu v obytných místnostech přízemí stanovená stopovými detektory byla před ozdravením $14\,069 \text{ Bq/m}^3$.



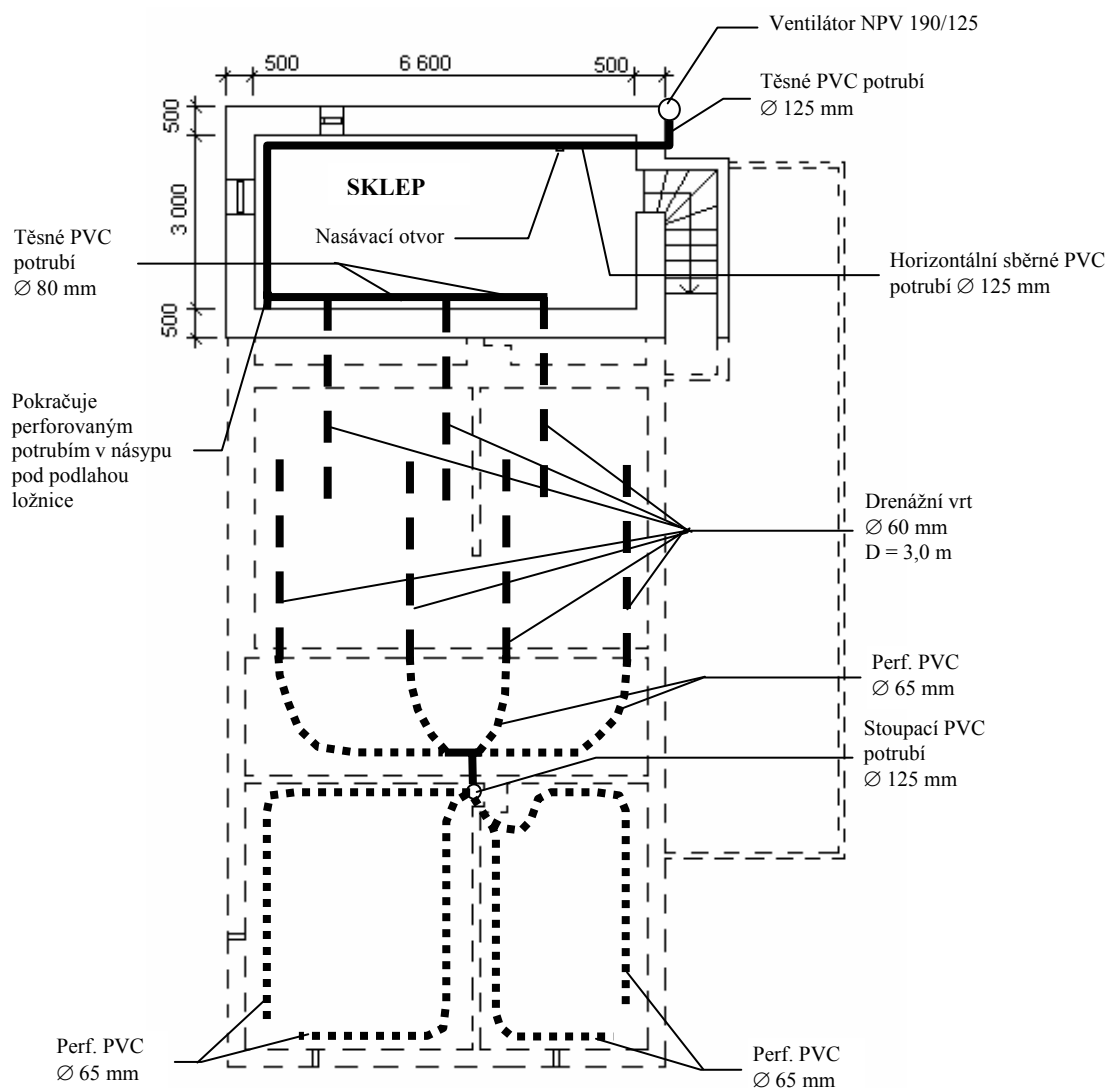
Obr. 1. Půdorys 1.NP domu v Potůčkách s vyznačením měřících míst

3. Popis odvětrávacího systému podloží

Odvětrávací systém sestává ze dvou samostatně odvětraných sekcí. První sekce odvětrává podloží pod pokojem, kuchyní, vstupní chodbou, obývacím pokojem a kuchyňským koutem. V pokoji, kuchyni a vstupní chodbě byly odstraněny původní podlahy. Půdní vzduch je zde odváděn pomocí perforovaných PVC hadic o průměru 65 mm vložených do štěrkového podsypu o tl. 150 mm vytvořeného pod novými podlahami (obr. 2). Součástí těchto podlah je i protiradonová izolace z LDPE fólie PENEFOIL 750 o tloušťce 1,5 mm plynotěsně připojená ke stávajícím stěnám prostřednictvím pásu z modifikovaného asfaltového pásu s výztužnou polyesterovou vložkou o rozvinuté šířce 10 cm. Celková skladba podlahy je uvedena na obr. 1. Podloží

pod obývacím pokojem a kuchyňským koutem bylo odvětráno pomocí čtyř drenážních vrtů o průměru 60 mm a délce 3,0 m. Půdní vzduch je z první sekce odváděn pomocí těsného stoupacího PVC potrubí o průměru 125 mm, které prochází podél komínového tělesa v pokoji až nad střechu, kde je zakončeno ventilátorem NPV 190/125.

Druhá sekce odvádí vzduch ze stropního násypu pod ložnicí, z podloží pod obývacím pokojem a kuchyňským koutem a z prostoru sklepa. Podloží pod obývacím pokojem a kuchyňským koutem je odvětráno pomocí tří drenážních vrtů o průměru 60 mm a délce 3,0 m vedených z prostoru sklepa skrz suterénní zeď (obr. 2). Půdní vzduch je z druhé sekce odváděn pomocí těsného horizontálního sběrného PVC potrubí o průměru 125 mm vedeného pod stropem sklepa a zakončeného vně domu ventilátorem NPV 190/125. Intenzita výměny vzduchu ve sklepě byla zvýšena zřízením přísávacího průduchu na sběrném potrubí.

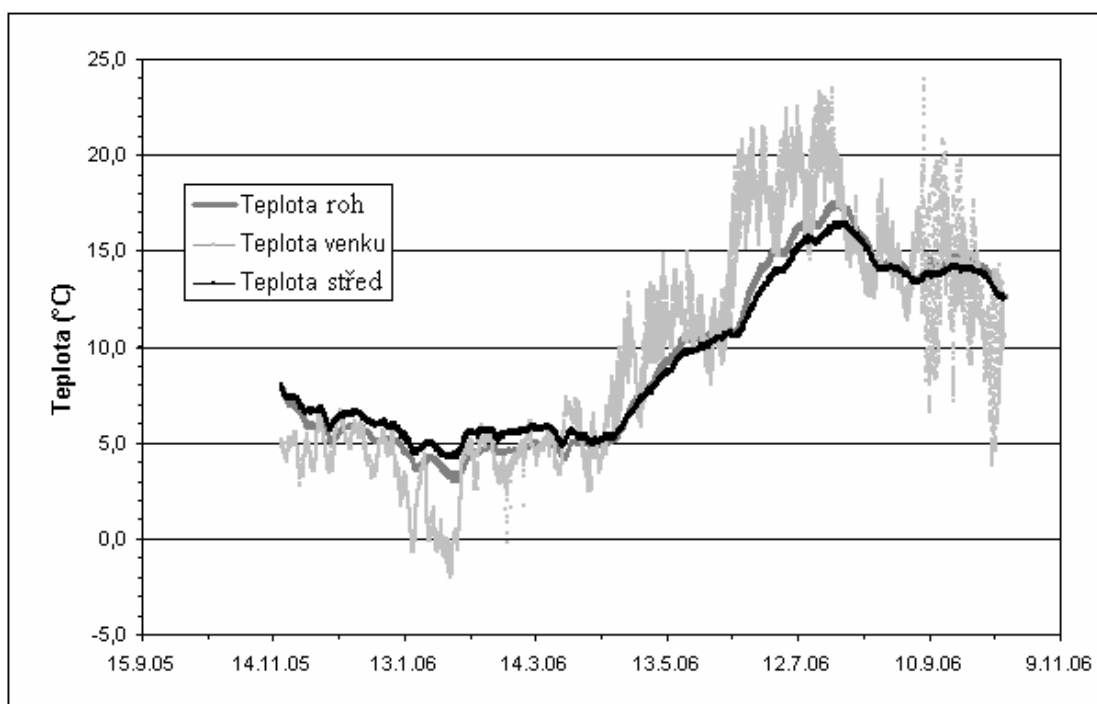


*Obr. 2. Geometrie odvětrání podloží***4. Účinnost protiradonových opatření**

Účinnost byla podrobně vyhodnocována v závislosti na pracovních režimech obou ventilátorů a jejich výkonu. Detailní výsledky jsou uvedeny v [JIRÁNEK, M., NEZNAL, M., 2006]. Zde budiž jen konstatováno, že počáteční průměrná koncentrace radonu v obytných místnostech přízemí $14\,069\text{ Bq/m}^3$ se při současném provozu obou ventilátorů na plný výkon snížila na 198 Bq/m^3 , což odpovídá účinnosti 98 %.

5. Monitoring teplotního pole pod domem

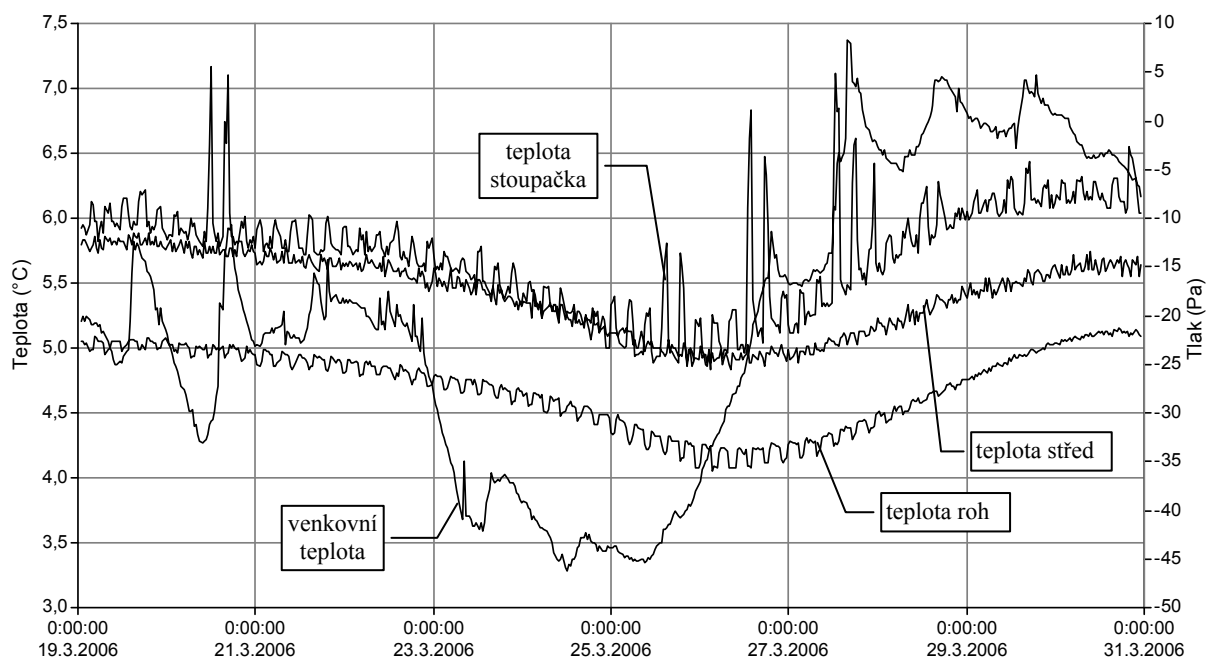
Vliv odvětrání podloží na výskyt některých negativních jevů, jako je pokles teplot pod domem v zimním období, byl sledován prostřednictvím monitoringu teplot v různých místech podloží pod domem. Teploty byly mimo jiné zaznamenávány ve štěrkové vrstvě pod podlahou pokoje a to ve středu pokoje (na obr. 1 bod 4) a v blízkosti jihozápadního rohu (na obr. 1 bod 6). Teplota odváděného vzduchu z podloží byla měřena na dně stoupacího potrubí, teplota v interiéru v komoře pod schody a v exteriéru v průvzdušné dřevěné kůlně na severní straně. Takto zaznamenaná interiérová teplota podhodnocuje skutečný stav v obytných místnostech. Obdobně je tomu i u záznamu exteriérové teploty, který vzhledem k chráněné expozici čidla poskytuje redukované záporné teploty v zimním období a redukováná maxima v letním období. Jiné umístění čidel však vzhledem k délce měření nebylo možné. Všechny teploty byly měřeny v patnáctiminutových intervalech pomocí snímačů Pt1000TG8.



Obr. 3. Průběh venkovní teploty a teploty vzduchu ve štěrku pod středem a v rohu obývacího pokoje v průběhu roku

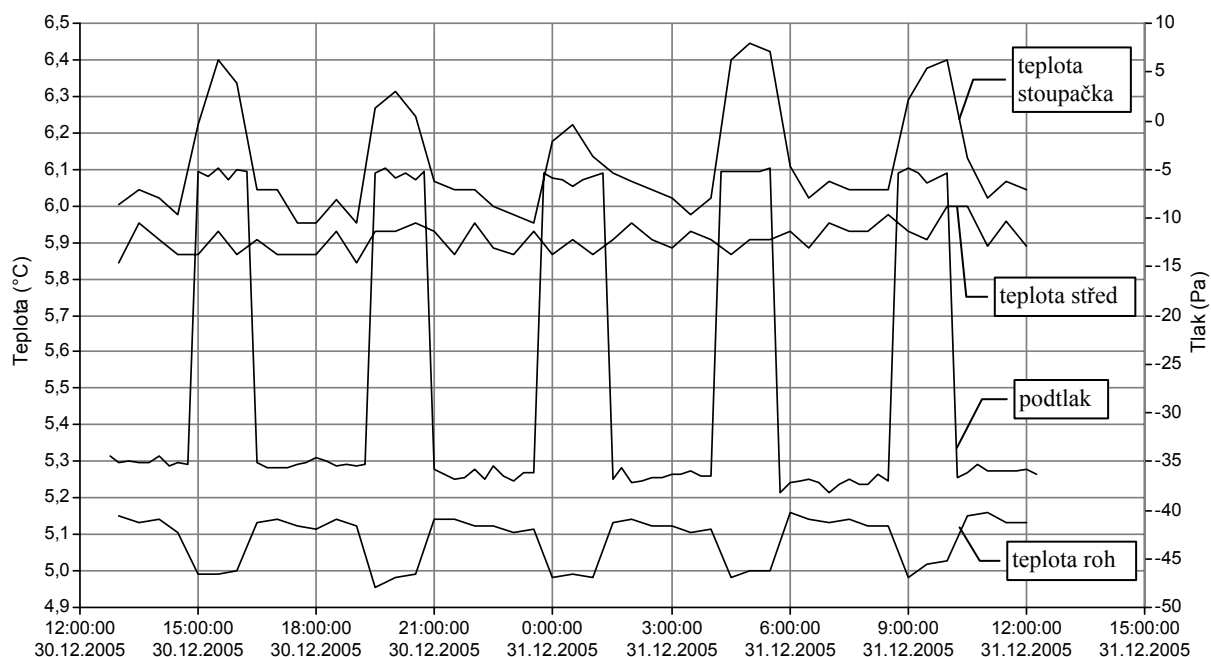
Provozní režim ventilátoru byl sledován prostřednictvím záznamu podtlaku ve štěrkové vrstvě ve středu pokoje (na obr. 1 bod 4) vzhledem k interiéru prostřednictvím piezoresistivního senzoru GMUD. Všechna data byla v období od 17.11.2005 do 15.10.2006 ukládána do paměti měřicí ústředny Comet MS4+. Po celou dobu byly oba ventilátory provozovány v cyklickém režimu (pouze od 29.5. do 8.6. byly ventilátory vypnuty). V zimním období byla délka pracovní periody 2,75 hod a klidové periody 1,5 hod, v letním období trvaly obě periody 2 hod. Ventilátor v první sekci byl nastaven na 2. výkonový stupeň, při němž bylo odváděno cca 150 m³ vzduchu za hodinu. Odvětrání druhé sekce nemělo žádný vliv na pohyb vzduchu v blízkosti měřících míst.

Teploty vzduchu ve štěrkové vrstvě pod podlahou pokoje a to jak ve středu místnosti, tak v rohu kopírují v průběhu roku venkovní teplotu (obr. 3). V zimním období je teplota vzduchu ve štěrku v rohu pokoje nižší než pod středem pokoje. Dne 20.4 se obě teploty vyrovnávají na hodnotě 5,5 °C a v dalším období je už pod rohem pokoje tepleji než pod středem této místnosti. Dne 10.10 se obě teploty opět setkávají na hodnotě 12,5 °C. Rozdíl mezi zimními minimálními hodnotami je 1,2 °C a letními maximy 1,1 °C. Z obr 4 je zřejmé, že časová prodleva mezi změnou teploty venkovního vzduchu a teplotou ve štěrkovém podsypu je cca 1 den.



Obr. 4. Detail závislosti teploty ve štěrkovém podsypu a na dně stoupacího potrubí na venkovní teplotě

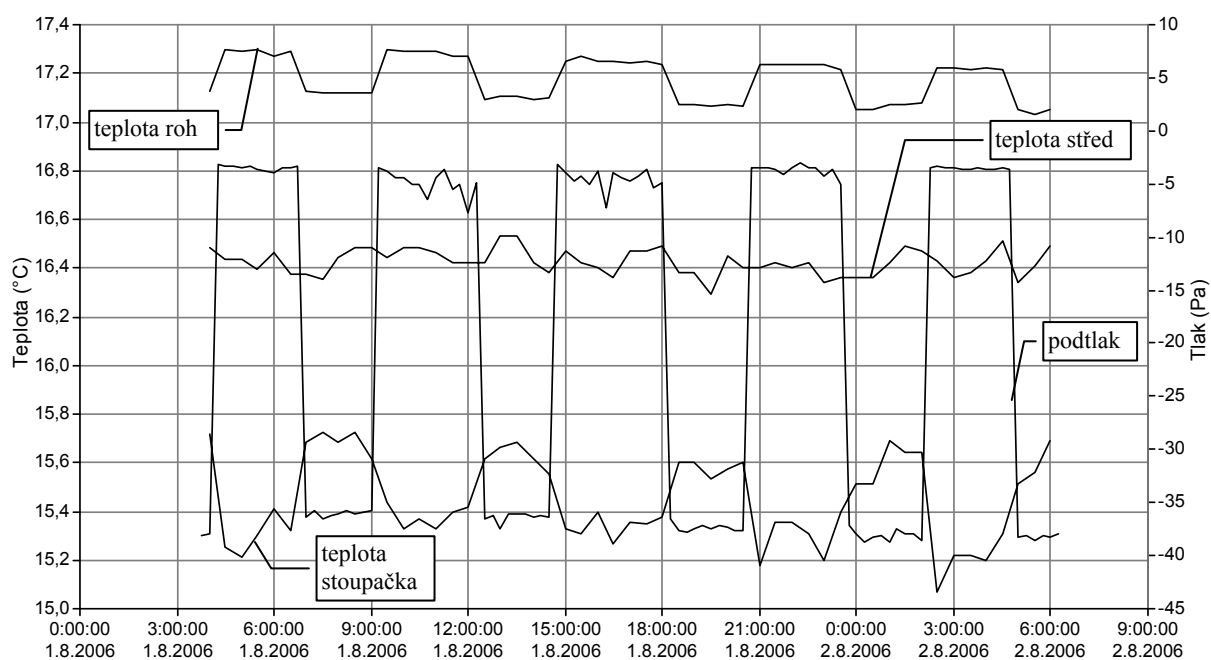
Pro teplotu pod středem místnosti je charakteristický minimální denní rozkmit o maximální hodnotě do $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a prakticky žádná závislost na činnosti ventilátoru. K poklesu na minimální hodnotu $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ došlo 3. – 6. února 2006 a nejvyšší hodnoty $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bylo dosaženo mezi 30.7. až 3.8. 2006.



Obr. 5. Průběh teplot na dně stoupacího potrubí a ve štěrku pod pokojem v závislosti na činnosti ventilátoru v zimě 2005

Pro teplotu v rohu pokoje jsou typické větší denní výkyvy až o $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, jejichž frekvence odpovídá frekvenci spínání ventilátoru. V době činnosti ventilátoru se tato teplota v období od počátku listopadu 2005 do konce března 2006 zvyšuje (obr. 5) a od konce dubna 2006 do konce září 2006 snižuje (obr. 6). Z tohoto pozorování lze odvodit, že v době, kdy je nucené odvětrání podloží v provozu, je do štěrkové vrstvy podél stěn přisáván vzduch z interiéru. V zimě, kdy je jeho teplota vyšší než teplota podloží, stěn a venkovního vzduchu, zvyšuje teplotu vzduchu ve štěrku a naopak v létě, kdy je jeho teplota nižší než teplota vzduchu v exteriéru, snižuje teplotu vzduchu ve štěrku. Jedná se totiž o jihozápadní roh, který je v letním období intenzivně zahříván dopadajícím slunečním zářením. V průběhu celého roku zde bylo nejnižší teploty $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosaženo 3. – 6. února 2006 a naopak na nejvyšší hodnotě $17,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ se zde teplota držela 28.7. až 30.7.2006.

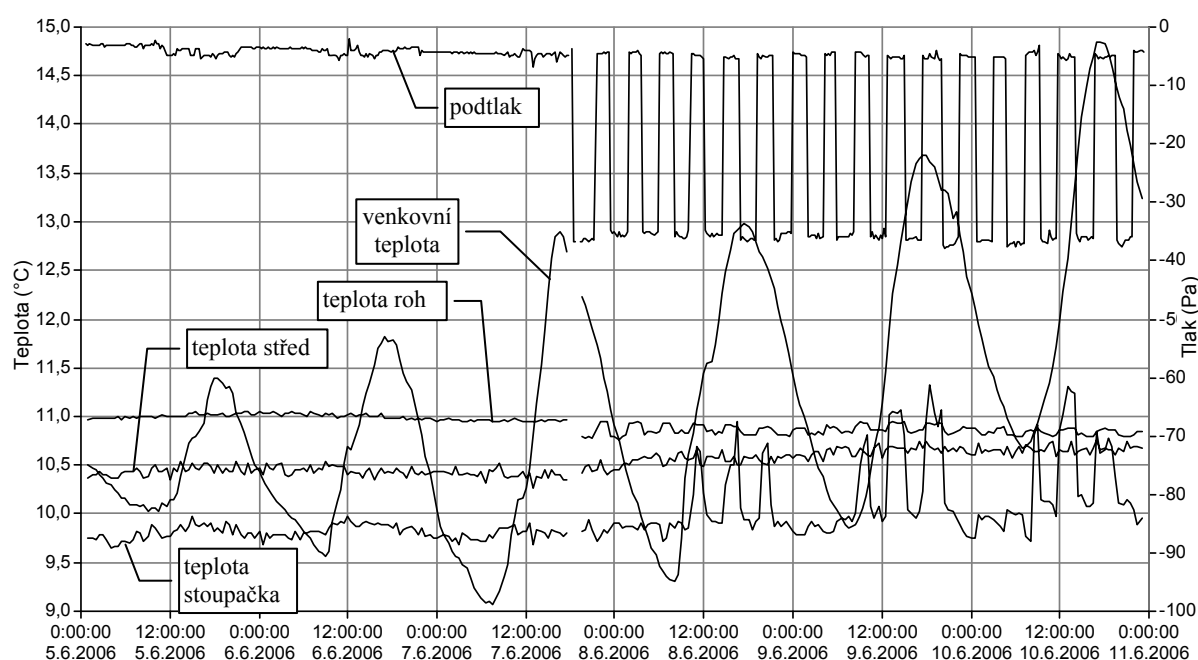
Nejvyšším denním výkyvům podléhá teplota vzduchu na dně stoupacího potrubí odvádějícího půdní vzduch z podloží pod domem nad střechu. Frekvence rozkmitů je dána frekvencí spínání ventilátoru, avšak velikost výkyvů je ovlivněna nejen ventilátorem, ale i teplotou venkovního vzduchu. Nejmenší denní výkyvy do cca 0,5 °C byly zaznamenány v období od listopadu 2005 do cca 20. března 2006. Ve zbývajícím, převážně letním období, byly pozorovány i rozkmity kolem 3,5 °C odpovídající rychlému nárůstu venkovních teplot. V době činnosti ventilátoru se teplota na dně stoupacího potrubí v období od počátku listopadu 2005 do konce dubna 2006 snižuje (obr. 5) a od poloviny května 2006 do konce září 2006 většinou zvyšuje (obr. 6). Teplota zde tedy odpovídá teplotě venkovního vzduchu. Z tohoto pozorování lze odvodit, že stoupacím potrubím je převážně odváděn vzduch, který pochází z vnějšího prostředí. I přes tuto skutečnost je teplota vzduchu na dně stoupacího potrubí přes celé zimní období, tj. od listopadu 2005 až do konce dubna 2006, vyšší než teplota pod středem nebo rohem pokoje. Svědčí to o velké tepelné akumulaci podložních vrstev. Kolem nejnižší hodnoty 4,2 °C zde teplota oscilovala 3. – 4.2.2006 a naopak nejvyšší rozkmity od 15 °C do 18 °C byly zaznamenány v období od 25.7. do 1.8.2006.



Obr. 6. Průběh teplot na dně stoupacího potrubí a ve šterku pod pokojem v závislosti na činnosti ventilátoru v létě 2006

Vliv cyklického odvětrání podloží na průběh teplot ve šterkové vrstvě a na dně stoupacího potrubí je patrný z obr. 7, který přináší porovnání s teplotními křivkami v době bez odvětrání podloží. V důsledku nuceného odvětrání se mírně

zvýšily výkyvy teploty v rohu pokoje a u teploty na dně stoupacího potrubí se objevily výrazné rozkmity v době růstu venkovní teploty. Zajímavé je, že ve stoupačce byl zaznamenán nárůst teploty v klidové periodě, zatímco v pracovní periodě docházelo k poklesu teploty. Vzhledem k větší vzdálenosti stoupacího potrubí od obvodových stěn je možné tento jev vysvětlit tak, že při zapnutí ventilátoru je nejprve ze šterkové vrstvy odveden chladný vzduch, který je současně nahrazen teplejším venkovním vzduchem. Oteplení na dně stoupacího potrubí se projeví až v následné klidové periodě. Toto zpoždění není možné pozorovat v těch dnech, kdy se nemění výrazně rozdíl teplot mezi dnem a nocí, tj. zejména v zimním období.



Obr. 7. Porovnání průběhu teplot ve šterkovém podsypu a na dně stoupacího potrubí v době bez odvětrání podloží a při cyklickém odvětrání (skutečné venkovní teploty jsou o cca 10 °C vyšší)

6. Závěr

Po instalaci nuceného odvětrání podloží klesla koncentrace radonu ve všech obytných místnostech domu pod směrnou hodnotu 400 Bq/m³, tj. 52 krát. Prokázalo se, že tento typ protiradonového opatření může být úspěšně použit i v domech s extrémně vysokou koncentrací radonu.

Při provozování odvětrávacího systému v cyklickém režimu nebylo v zimním období u sledovaného domu zaznamenáno negativní ovlivnění teplot ve šterkové vrstvě pod podlahou. Naopak, ve šterkové vrstvě poblíž obvodové stěny v důsledku přísávání vzduchu z interiéru teplota nepatrně vzrůstá (o maximálně

0,4 °C). Tepelné ztráty jsou ale minimální, neboť převážná část odváděného půdního vzduchu je nahrazována vzduchem z vnějšího prostředí. Venkovní vzduch je k odvětrávacímu systému přisouván až pod základy domu, tj. ve větší hloubce. Pravděpodobnost, že by tak docházelo ke snížení povrchových teplot konstrukcí v místě styku obvodových stěn s podlahou, je nízká. Správně navržené odvětrání podloží, tzn. bez přísávacích průduchů v obvodových stěnách, neovlivňuje významně tepelné technické vlastnosti stavby.

Poděkování

Publikované poznatky o teplotním poli byly získány za podpory výzkumného záměru MSM 6840770005.

Literatura

- JIRÁNEK, M., 2002: Efficiency and Side Effects of Sub-slab Depressurization Systems. In: Radon Investigations in the Czech Republic IX, pp. 87-94, Praha 2002
- JIRÁNEK, M., NEZNAL, M., 2006: Mitigation of houses with extremely high indoor radon concentrations. In.: CD proceedings of the Second European IRPA Congress on Radiation Protection, 15.-19.5.2006, Paris
- JIRÁNEK, M., SVOBODA, Z., 2003: Teplotní pole pod objekty s ventilačním systémem podloží. In: Stavební obzor 2/2003, pp. 37 – 41

Poruchy při provozu vzduchotechnických zařízení

Karel Papež

V předkládaném příspěvku jsou uvedeny možné a existující poruchy v jenom za systému Technických zařízení budov – v systémech vzduchotechniky. Je známo, že v budovách v minulé a v poslední době je osazena řada velmi různorodých vzduchotechnických soustav, které lépe či hůře plní svoje poslání. To je zajišťují spolu s otopnými a dalšími soustavami požadované parametry vnitřního prostředí v budovách. Zde jsou uvedeny případné poruchy i s odkazem kým tyto byly zaviněny a se stručným návodem jak je odstranit.

1. Úvod

Vyprojektované a realizované vzduchotechnické zařízení slouží k zajištění požadovaných parametrů vnitřního mikroklimatu v různých budovách. Toto mikroklima je systémy Technických zařízení budov vytvářeno jedna pro lidský subjekt a jednak pro různé provozní technologie, při kterých je třeba dodržovat předepsanou vnitřní teplotu, relativní vlhkost apod. U technologických procesů je splnění těchto požadavků velmi nutné, protože výstupem je kvalitní výrobek a na druhé straně pak u občanských a bytových objektů je výstupem spokojený člověk – uživatel. Kromě toho v některých provozech – budovách jsou i požadavky na vytvoření správného mikroklimatu pro udržení a zachování různých předmětů, písemností a relikvií pro budoucnost. Vzduchotechnika i zde hraje svojí úlohu. Pro splnění uvedených požadavků je nutno vzduchotechnické soustavy navrhovat podle odpovídajících vstupních podmínek. Mimo to je samozřejmě nutné, aby systémy byly provozovány naprosto cílevědomě a odborně. Bohužel v praktickém životě jsme svědky situací, kdy vzduchotechnické soustavy vykazují při provozu řadu závad, které samozřejmě pak vedou k nesplnění požadovaných předpokladů. Profese vzduchotechniky je bohužel taková, že její osazení do stavby vyvolává poměrně značné nároky na kontakt se stavbou a se značnými stavebními úpravami. Je nutno připomenout, že jakýsi povrchní pohled na uvedenou disciplínu a to již ve fázi projektování se může později a to hlavně při provozu budovy značně vymstít.

2. Související okolnosti

Při prohlídkách závad a při různých místních šetřeních se setkáváme s tím, že vzduchotechnika není provozovaná odborně – pokud v některých případech je provozovaná vůbec. Není věnovaná ani dostatečně odborná péče sledování technického stavu prvků vzduchotechniky, neprovádí se pravidelné prohlídky,

kteřé jsou velmi nutné. O nich je nutno provádět i pravidelné zápisy. Tato skutečnost je zaviněna totální absencí tak zvaných *provozních řádů*. V současné a budoucí době budou tyto provozní řády součástí předávacích dokumentů pro uživatele. V nich budou podrobně uvedeny povinnosti obsluhy zařízení včetně plánu údržby zařízení a plánu oprav. Řada závad v provozu vzduchotechnických soustav je zaviněna i závadami v projektu a nakonec i nesprávnou instalací zařízení do stavby. Pro dokreslení celé situace uvedeme několik markantních skutečností, které celou situaci přiblíží. Je nutno dále připomenout, že problematika poruch a závad je velmi široká a samozřejmě, pokud k nim dochází mívají vždy velmi nepříjemnou dohru a to jednak u kontrolních orgánů a jednak při řešení soudních sporů mezi projektantem a dodavatelem a projektantem a investorem. S tím samozřejmě souvisí velmi nejednoduchá legislativa, která upřesňuje povinnosti každého subjektu z výše třech uvedených. Není opomenuta ani legislativa smluvních partnerů, která se pak velmi podrobně posuzuje a dělají se závěry, které mají nakonec i finanční dopady. Kromě toho jsou uvedena i rozhodnutí ohledně odstranění závad.

V praxi se setkáváme s objekty novějšího data výstavby i s objekty staršími, či starými, případně s objekty památkově chráněnými. Ve všech případech je ale nutné, aby vnitřní prostředí splňovalo požadavky vyhlášek, pravidel, případně hygienických předpisů.

V poslední době se vyskytují ve výstavbě i takové situace, kdy dochází již v době výstavby objektů k řadě změn a nebo již při vlastním užívání objektů ke změnám účelu místností, či ke změnám provozu. V těchto případech bude pak velmi důležité zvažovat, jaká část vzduchotechnického systému bude pro další a třeba jiný provoz zachována, či jaké změny bude nutné provést. Toto jsou otázky velmi složité a jejich nesprávné řešení může dále vyvolávat i trvalé poruchy. Tady bychom více ne kde jinde měli hledat a dbát na správné řešení v projektových pracích.

3. Příklady poruch ve vzduchotechnice

V tomto odstavci uvedeme některé typické poruchy se kterými se setkáváme a které prostředí znehodnocují. Je patrné, že tyto závady jsou zbytečné a nedocházelo by k nim, kdyby se včas posoudily všechny návaznosti se stavbou a s vlastním provozem.

Pozn.: Je pravdou, že již při vstupních jednáních o budoucí stavbě by mě být přítomen i projektant vzduchotechniky, kdyby v tomto okamžiku investora alespoň rámcově informoval a souvislostech. Na druhé straně zase je pravdou, že investor se bude snažit přesvědčit projektanta, aby vlastní návrh stavby, profesí – tudíž i vzduchotechniky byl pro něho finančně co nejschůdnější.

V tomto případě je úloha projektanta velmi důležitá, neboť musí spokojit investora a splnit navíc požadavky vyhlášek, norem či předpisů.

Obytné budovy

I když tato výstavba má u nás svoji tradici, vyskytují se různé závady ve funkci „malých vzduchotechnických soustav“ u těchto budov a to jak u budov staršího data výstavby a budov novějších či nových.

U budov starších se počítalo pouze s větráním přirozeným a to především za přítomnosti a provozu domovních světlíků. Zde se pachy odváděné světlíkovou šachtou šířily po celé budově. U novějších budov – zvláště pak panelových u systémů s přirozeným větráním dochází k velké nerovnoměrnosti odvodu vzduchu z větraných prostor situovaných nad sebou v jedné sekci. Další a velkou závadou je pronikání pachů přes netěsný prostup v instalační šachtě bytu. U starších panelových objektů pak jako závada se jeví ze současného pohledu skutečnost, že jedním svislým společným odváděcím průduchem se odvádí znehodnocený vzduch z hygienického zázemí bytu a z prostoru kuchyně. Tím dochází k šíření pachů po cizích bytových jednotkách. V době pozdější /cca od roku 1962/ se prosazuje větrání nucené, kdy aktivním elementem pro odvod vzduchu je ventilátor. Tento je pak situován buď na střeše a nebo v každém větraném prostoru. V první případě se setkáváme s velmi nepříjemným hlukem v bytech pod plochou střechou. V obou případech pak s možnou nerovnoměrností odvodu vzduchu ze stejných prostor, ale v různých podlažích pakliže nedojde k vyregulování soustavy. Dalším nešvarem jsou osazované digestoře /nutné podle ČSN“Obytné budovy“/nad sporákem a digestoře s tak zvanou recirkulací. V tomto případě není z uvedených prostor a z kuchyně dostatečně odváděna vlhkost. U obytných budov je jedna společná problematika, ke které dochází v poslední době – toto je situace, ke které dochází při osazení oken s malou či až nulovou infiltrací, kdy v prostorech bytu je nedostatek vzduchu, který pak vede v kombinaci s dalšími tepelně technickými okolnostmi k výskytu plísní v bytové jednotce. V některých panelových objektech není kuchyň větraná vůbec. Závěrem k problematice větrání obytných budov je nutno jen připomenout jeho důležitost, uvědomíme-li si že v bytové jednotce na příklad 3+1 se 4 osobami se vlastním provozem za 24 hodin uvolní 12,4kg vody, která musí být odvedena a to většinou větracím systémem. Podotýkáme, že „hermetizace bytů“ není to nejlepší.

Kdo v budovách zavinil tyto problémy? Vina je na projektantovi a také na uživateli, který větrá velmi nahodile či nevětrá vůbec. Do určité míry se na některých poruchách podepíše i firma, která větrací soustavu do obytné budovy osazuje. Možná zcela jistě konstatovat, že správnému a bezporuchovému chodu větracích soustav v obytných budovách je věnována velká pozornost.

Administrativní budovy

Jako jeden z příkladů můžeme uvést budovu Českého statistického úřadu ve Strašnicích. U této budov pan architekt nad 10. nadzemní podlažím navrhl 3,5m vysokou železobetonovou atiku /jakousi vanu/. Důvodem bylo, že na střechu do této vany situuje strojovnu vzduchotechniky včetně několika jednotek, které v jedno směru do prostoru této vany vyfukují odváděný vzduch a z opačné strany /opět stejný prostor/ nasávají čerstvý vzduch. Tento vzduch ale je v podstatě směsí vzduchu čerstvého a znehodnoceného. Uvedená závada svědčí o špatné koordinaci spolupráce specialisty – vzduchotechnika s architektem. Možné odstranění této závady je provést nově nasávání čerstvého vzduchu z čisté strany nad hranou atiky.

Kulturní zařízení

Další nedostatečné větrání sejevilo v prostorách Casina v Paláci kultury, kde pro přívod i odvod vzduchu ze jmenovaných prostor jsou nad stropním podhledem přívodní a odváděcí horizontální potrubí s vířivými anemostaty jako koncovými prvky. Podhled s těmito prvky je cca 3m na podlahou. Díky vysoké návrhové rychlosti v koncových prvcích /anemostatech/ přiváděný vzduch z přívodní větve byl hned odváděn odváděcí větví aniž by nedostal k uživateli. Závada tkví v projektu. Její odstranění je možné buď snížením rychlostí při navrhování anemostatů a nebo použitím jiných druhů anemostatů, od niž se proud vzduchu dostane do zóny pohybu a pobytu osob.

Sportovní zařízení

Dalším příkladem je plavecký bazén v Roudnici nad Labem, kde není výtek k jeho vnitřnímu prostředí. Závažnou ale skutečností je místo vzústění vzduchotechniky nad střechou bazénové haly – respektive hluk, který obtěžuje okolí. Tímto hlukem trpí okolní rodinné domy, které v době výstavby plavecké haly ještě neexistovaly. Celá situace musí být napravena zásahem do stávajícího systému vzduchotechniky plavecké haly a to jednak osazením dalších tlumičů hluku, změnou otáček ventilátorů apod.

Historické stavby

Jako příklad může sloužit budova chrámu sv. Jakuba v Levoči, kde cca před 20 lety začaly chátrat polychromie na dřevěných sochách od Maestra Pavla. podle torza dokumentace byly zjištěny v té době zcela neprůchodné svislé větrací průduchy v obvodových stěnách. Po jejich zprůchodnění velmi rychle poklesla relativní vlhkost v prostorách uvedeného chrámu. Jako další příklady bychom mohli uvést pro depozitáře Národní knihovny Klementinum v Praze, nebo Kaple svatého kříže na státním hradě Karlštejn a další.

Akumulace energie

Michal Kabrhel

1. Úvod

Akumulace energie je z pohledu odběratele komfortním řešením. Energie je uskladněno více než je v dané chvíli potřeba a proto je k dispozici při všech neobvyklých situacích jako jsou přerušování dodávky vstupní energie nebo její velký odběr v určitém časovém úseku.

Podívejme se například na jeden z nejběžnějších způsobů lokální přípravy teplé vody (TV) v zásobníku s elektrickou topnou vložkou, který ilustruje vlastnosti akumulčních systémů. Voda je ohřívána v době, kdy je elektřina nejlevnější díky, většinou v nočních hodinách a s využitím sazby, která je pro odběratele mnohem výhodnější než je nutný nízký elektrický příkon. Toto řešení je výhodné i pro dodavatele elektřiny, neboť mu umožňuje lépe provozovat zdroje energie. Následně je nejčastěji ráno a večer odebírána. Odběratel je na tom finančně lépe neboť ušetřil díky nižší sazbě elektřiny, na druhou stranu musel investovat do zařízení zásobníku. Dále také může odběratel využít nižší sazby i pro jiné účely než je příprava TV. Část energie je ale ztracena díky tepelným ztrátám zásobníku. Ty mohou být využitelnými tepelnými zisky v zimním období, a tak částečně zlepšit bilanci provozu. Dále pak při akumulčním způsobu nepravidelné chování odběratele může zhoršit výhodnost akumulčních systémů. Neobvykle velký odběr vody nebo její neodebírání bez vypnutí systému provoz ekonomicky zhoršuje.

Co je tedy pro správný návrh akumulčního systému potřeba?

Časový průběh dodávky zvoleného druhu energie.

Časový průběh odběru tepla nebo chladu s případnými odchylkami.

Prostorové, technické, ekonomické požadavky a možnosti investora.

2. Akumulace tepla

Z hlediska budovy jako celku dochází k procesu akumulace dvěma hlavními způsoby. Prvním je akumulace přirozená, ke které dochází interakcí budovy, technických zařízení a vnějšího prostředí. Druhým způsobem akumulace tepla je akumulace pomocí technický zařízení budov.

Michal Kabrhel, Ing, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov

Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice

tel.: 224 354 430, e-mail: michal.kabrhel@fsv.cvut.cz

Přírozená akumulace

Tato akumulace je technicky ovlivnitelná na straně vstupů. Dle termodynamické věty (nulý zákon termodynamiky) si tělesa vyměňují teplo tak dlouho až dospějí do rovnovážného stavu. A proto že vnější podmínky jsou proměnlivé, jedná se o trvalý proces. Budova dle své tepelné kapacity, akumulací schopnosti přijímá nebo ztrácí energii a my tyto přebytky nebo nedostatky částečně musíme kompenzovat pomocí technických zařízení. Příkladem je působení sluníčka na budovu s velkou prosklenou plochou orientovanou na jižní stranu. V zimním období je energie zpravidla dobře využita, v letním období je však nutné tyto tepelné zisky snižovat nebo úplně odstraňovat.

Technická akumulace

Při tomto způsobu akumulace je energie nejčastěji akumulována v zásobníku. Dále pak pomocí technických systémů můžeme ovlivňovat tepelné parametry konstrukce budovy a využívat jejich akumulacích schopností. Tato technologie je známa pod pojmem aktivace betonového jádra.

Ideální akumulátor je zařízení s vysokou kapacitou při malých rozměrech a nízkých ztrátách, které dokáže rychle uvolnit nebo přijmout potřebnou energii.

3. Zásobníky tepla

Vodní zásobníky jsou v současné době nejběžnějšími zásobníky. Výzkum však pokračuje i v oblasti zásobníků pracujících s latentním teplem.



Obr. 1) Akumulační zásobníky

Zásobníky dělíme do kategorií podle způsobu jejich řešení.

Podle množství vstupujících energií:

Monovalentní (jeden vstup) Tento typ zásobníků obvykle používáme pokud máme pouze jeden zdroj energie a jeho dodávka je přerušovaná nebo její přerušování je pro nás výhodné.

Bivalentní (dva vstupy)

Trivalentní (tři vstupy)

Vícevalentní (4 a více vstupů)

Podle rozdělení teplot:

Promíchávané zásobníky, ve kterých je médium přiváděno do stejného místa v zásobníku bez rozlišení jeho teploty.

Zásobníky promíchávané jsou uvnitř opatřeny pouze topnými vložkami a k vnitřnímu objemu média přistupujeme jako k celku charakterizovaném průměrnou vnitřní teplotou. Tyto zásobníky využíváme především při přerušovaných dodávkách energie z jednoho zdroje o vyšších teplotách.

Stratifikované zásobníky, využívají teplotního rozvrstvení.

Stratifikované zásobníky pracují s teplotním rozvrstvením, kterého je docíleno pomocí vnitřní vložky, nejčastěji tvořené plastovými trubkami s vývody nebo perforovaným plechem. Je nutno ale poznamenat, že k teplotnímu rozvrstvení dochází zcela přirozeně i u běžných zásobníků v klidovém stavu. Záleží na způsobu řešení přívodu a odvodu vody a na objemu zásobníku.

Množství vývodů a konstrukce u speciálních zásobníků je různé. Minimálně se ale používají vývody tři. Umístění vnitřní vložky bývá uprostřed zásobníku.

V zásobníku se tak vytvářejí tepelné vrstvy vody a díky tomu můžeme v horní části odebírat teplou vodu o daných parametrech, zatímco nově doplněná voda je teprve nahřívána. Rozložení teplot nám také určuje výškové umístění jednotlivých zdrojů energie.

Konstrukce zásobníků

Většina zásobníků je vyrobena z oceli. Nádoba může být provozována jako beztlaková, ale samotná konstrukce nádoby musí být přesto schopná snášet nezanedbatelný hydrostatický tlak. Velikost zásobníku je udávána v litrech vnitřního objemu a pohybuje se v řadě 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 2000, 5000 litrů. Vyrobit lze však i jiný nestandardní typ. Předností těchto zásobníků je jejich vyzkoušená dlouhá životnost i možnost pozdějších úprav.

Plastové zásobníky, nejčastěji z lineárního polyetylenu, jsou bezesporu výhodné z důvodu jejich nízké hmotnosti a v určitých případech i chemické odolnosti. Horší to však bývá s tlakovou a teplotní odolností, životností a snadností oprav. Objemy zásobníků 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000 litrů, hmotnost 1000 litrového zásobníku je pro ilustraci 34 kg, teplotní použitelnost -50 až +60°C.

Zásobníky pro akumulaci mohou být provedeny z betonu. Případně betonová konstrukce je nosná a uvnitř je samotné tělo zásobníku z oceli nebo plastu. Tyto zásobníky se používají především tam, kde je třeba skutečně velký akumulací objektu nebo pokud je akumulací nádoba součástí stavební konstrukce.

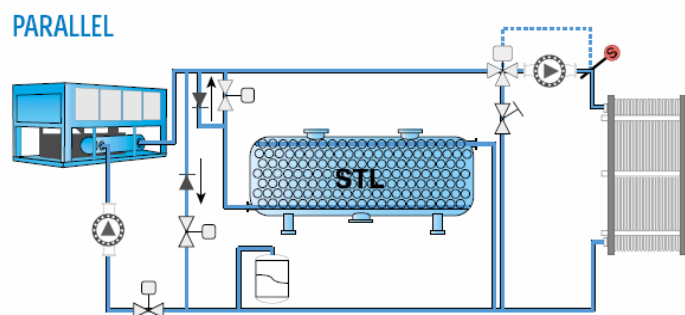
Flexibilní zásobníky jsou výhodné pro možnost jejich umístění v závislosti na místních podmínkách pro různé druhy tekutin. Využívány jsou v průmyslu i ve stavebnictví. Objem zásobníku může být celkem libovolný, může dosahovat až 400 m³. Nevýhodou je jejich cena a určitá zvýšená možnost poškození při venkovním umístění.

Podzemní zásobníky

Pro akumulaci energie velkých budov je možné využívat podzemní vodní zásobníky. Ty mohou být provedeny jako podzemní prostory vytvořené činností člověka nebo přirozeně případně jako vodní volné zásobníky-aquifery. Při tomto druhu akumulátorů je využívána podzemní voda, kterou ohříváme nebo ochlazujeme dle potřeby. Oblast, na kterou má energetický systém budovy vliv, může být ohraničena, nebo může být i volná.

Zásobníky s látkou měnící fázi

Pod tímto pojmem rozumíme zásobníky, ve kterých je umístěna chemická látka, schopná přijmout nebo odevzdat teplo při změně skupenství, kdy změna nastává v příhodných tepelných a tlakových poměrech. Tento druh zásobníků je již poměrně rozšířen pro akumulaci chladu, pro akumulaci tepla je nutná chemická látka měnící skupenství při teplotách kolem 50°C. Konstrukčně se jedná o běžné zásobníky naplněné kapslemi, které obsahují příslušnou chemickou látku a médium v prostoru mezi nimi. Při jiné konstrukci naopak je médium v registru a látka měnící fázi vyplňuje zásobník.



Obr. 2) Zapojení zásobníku s kapslemi s látkou měnící fázi (PCM) do systému chlazení

Solární systémy

Solární energie je obnovitelnou energií, kterou nejčastěji můžeme využívat. Kolektory mohou být umístěny horizontálně i vertikálně a zvláště pak u vysokých budov se nabízí využít část fasády pro jejich umístění. Barva kolektorů nemusí být pouze černá, použití jiné sice snižuje účinnost zařízení, ale na druhou stranu neomezuje vzhled budovy. Použitelná je tak například barva modrá, červenohnědá a další.

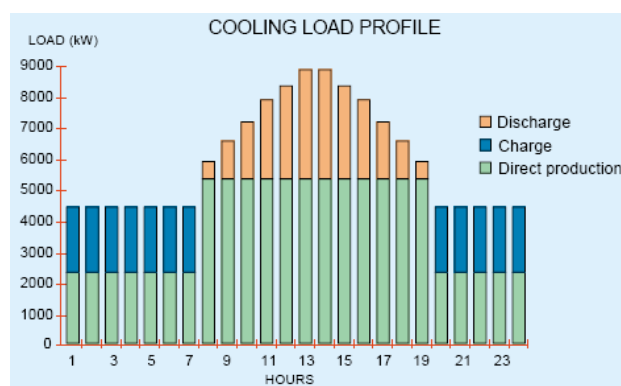
Problémem použitelnosti těchto zařízení ve srovnání se solárními systémy u soukromých domů je zdroj investic. Zatímco u malých domů solární systém financuje uživatel, který chce tento systém využívat, u vysokých budov je to investor objektu, který má zaplatit investičně více při následně nižších nákladech provozních.

4. Akumulace chladu

Výhody systémů s akumulací chladu jsou dány vyšší cenou chladu ve srovnání s teplem. Chlad můžeme uchovávat jako chlazenou vodu s teplotou kolem 0°C. Použití však vyžaduje velké vodní objemy, neboť pracujeme s teplotním rozdílem 2–10°C. Výhodnější je tedy využívání ledu, kdy můžeme ještě navíc využít skupenské teplo tání. Variant systémů je více.

Nejběžnější je použití tepelně izolovaného ocelového zásobníku s vnitřními výparníky, ve kterých se vypařuje chladivo a odebírá tak ze zásobníku teplo.

Při tzv. pozitivním prostupu se na výparnících vytvoří ledová vrstva, kolem které proudí nuceně voda a ochlazuje se. Při tzv. střídavém vnitřním prostupu pro akumulaci chladu slouží i samotný objem vody v zásobníku a trubky uvnitř zásobníku při nabíjení přivádějí chlad a při vybíjení ho naopak odvádějí. Konečně pak třetí způsob, střídavý vnější prostup znamená, že v zásobníku jsou umístěny tělíska s vodou, která tuhnou nebo tají podle toho, jaké má parametry chladivou proudící v zásobníku. Nejjednodušším způsobem výroby chladu je použití kondenzátoru chlazeného vzduchem.



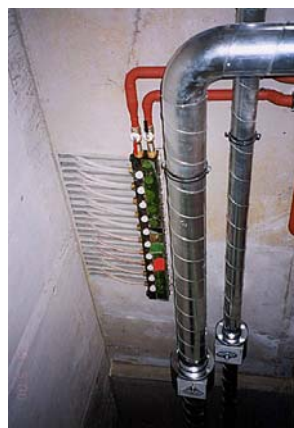
Obr. 3) Potřeba chladu a využití zásobníku

5. Aktivace betonového jádra

Aktivace betonového jádra je technologie, která je založena na využívání masivních konstrukcí pro vytápění nebo chlazení budovy. Díky tomu odpadá nutnost umisťovat do interiéru otopné nebo chladicí prvky.

Vhodná je především pro budovy s velkými vnitřními prostory, kanceláře, výstavní prostory, nemocnice, které však nemají příliš velké tepelné ztráty ani zisky.

Principem je umístění trubních rozvodů do betonové konstrukce stropu a její nahřívání či ochlazování na požadovanou teplotu. Tato technologie umožňuje využití nízkopotencionálního tepla, uplatňuje se autoregulační schopnost plochy, jejíž teplota je blízká teplotě v místnosti. Zvláště vhodná je pak pro chlazení, kdy díky akumulacní schopnosti konstrukce je možné využít noční předchlazování a tím snížit potřebný maximální příkon zařízení. Jsme ale omezeni maximálním výkonem pro chlazení $40\text{--}60\text{W/m}^2$. Při využití pro vytápění je při vyšších ztrátách nutné doplnit systém o další otopné plochy.



Obr. 4) Aktivace betonového jádra stropu

6. Závěr

Použití akumulacních zařízení u systémů tepelných vede při správném návrhu ke snížení spotřeby primární energie o 20-30%. Použití akumulacních chladících systémů může snížit spotřebu o 60-80% a také snížit špičkové odběry elektřiny až o 80%.

Literatura

KABRHEL, M. : *Akumulace tepla ve vytápění*: Topenářství a instalace č. 6, roč. 2003, s. 30-34.

KABRHEL, M. : *Akumulace tepla ve vytápěcích systémech*. Sborník přednášek 12. medzinarodna konferenci Vykurovanie 2004. Tatranské Matliare 1.-5.

března 2004. Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia ZSVTS Bratislava. s. 295-298. ISBN 80-969030-3-9. EAN 9788096903030.

DANIELS, K.: *Technika budov*: Jaga Group s.r.o., 2004, 520s. ISBN 80-88905-63-X

Firemní materiály firmy Uponor, online [www.uponor.cz]

Firemní materiály firmy Baltimoreaircoil, online [www.baltimoreaircoil.com]

Firemní materiály firmy Cristopia energy systémy

Kvalita vnitřního vzduchu v obytných stavbách

Hana Doležilková

1. Úvod

Vnitřní prostředí, neboli mikroklima, je omezená část životního prostředí, jehož stav formují agencie představující energetické a hmotnostní toky mezi dvěma prostředími. Dle působících agencií lze interní mikroklima budov dělit na: tepelné, světelné, akustické a na kvalitu vnitřního vzduchu (tj. mikroklima vlhkostní, odérové, aerosolové, toxické, mikrobiální). Tvorba interního mikroklimatu představuje vytvoření požadovaného stavu vnitřního prostředí budov. Z hlediska zdraví je nejdůležitějším faktorem v prostředí interiérů, soudě podle současných znalostí, kvalita vzduchu. Při absenci účinného větrání se vlhkost vzniklá lidskou aktivitou zvyšuje, kvalita vzduchu se rychle zhoršuje, roste koncentrace CO_2 a množství nepříjemných pachů. Snaha o snížení tepelných ztrát vedla k omezení přirozeného větrání okny. Utěsněná okna mají nedostatečnou infiltraci, jsou z hygienického hlediska naprosto nevyhovující. Je nezbytné zajistit dostatečné větrání v době, kdy se místnosti používají. Požadavek na výměnu vzduchu byl u starších konstrukcí oken splněn, špatně těsnící okna zajistila postačující výměnu vzduchu, přestože se větralo minimálně, ale docházelo k vyšším tepelným ztrátám.

Nejvýznamnější škodlivinou v obytných místnostech je oxid uhličitý, v koupelně je to zejména vlhkost a v kuchyni závisí na volbě sporáku, v případě elektrického či plynového na zemní plyn je rozhodující vlhkost, v případě plynového na propan-butan je to oxid uhličitý. Další škodliviny jsou: CO , NO_x , SO_x , formaldehyd, VOC, azbest, domácí prach, O_3 , uhlovodíky, oděry, radon, roztoči a mikro-organismy. Mikroorganismy mají schopnost se za jistých vnitřních podmínek rozmnožovat a znásobit svůj negativní vliv na zdraví uživatelů. Hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb jsou stanoveny ve vyhlášce č. 6/2003 Sb.

Chemické látky, zvláště organické povahy, představují zvláštní skupinu, protože si je do interiérů dodáváme sami. Neopominutelným zdrojem škodlivin je kouření cigaret, respektive spalování čehokoliv v interiérech, zvláště těch špatně větraných. Většinu těchto kontaminujících látek můžeme odstranit, nebo snížit jejich koncentraci, větráním.

Hana Doležilková, Ing.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov

Tháškova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice

tel.: 224 354 437, e-mail: hana.dolezilкова@fsv.cvut.cz

2. Teorie– možnosti stanovení množství větracího vzduchu

Vzduch přiváděný do interiéru může buď pouze venkovní, nebo může být směsí venkovního vzduchu a cirkulačního vzduchu. Cirkulační vzduch můžeme použít v případě, že v interiéru nedochází k produkci toxických škodlivin či nadměrné produkci škodlivin.

Výpočet množství *venkovního* vzduchu V_e je možný: podle počtu osob, půdorysné plochy, doporučené intenzity výměny větrání nebo pomocí počítačového modelování a simulace.

Výpočet množství *přiváděného* vzduchu V_p je možný: podle produkce škodlivin, doporučené intenzity výměny vzduchu nebo opět pomocí počítačového modelování a simulace. [2]

Výpočet množství vzduchu podle počtu osob

Výpočet množství větracího vzduchu podle počtu osob, resp. podle dávky čerstvého vzduchu na osobu:

$$V_e = p \cdot V_{pos} \quad (1)$$

V současné době neexistuje v ČR žádný závazný předpis pro obytné prostředí, který by stanovil množství přivedeného vzduchu na osobu. Pro pracovní prostředí se nařízením vlády č. 178/2001 Sb. a č. 523/2002 Sb. stanovuje minimální množství větracího vzduchu: $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu pro práci převážně v sedě; $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu pro práci převážně vestoje a v chůzi; $90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu při těžké fyzické práci. V místnostech, kde je kouření povoleno, se množství vzduchu zvyšuje o $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu.

Výpočet podle půdorysné plochy

Výpočet je založen na velikosti půdorysné plochy větraného prostoru a množství vzduchu na 1 m^2 .

$$V_e = S \cdot V_s \quad (2)$$

Výpočet dle doporučené intenzity výměny větrání

Není-li znám údaj o produkci škodliviny, lze průtok venkovního vzduchu orientačně stanovit podle doporučených hodnot intenzity větrání. Intenzita větrání je definována jako poměr průtoku čerstvého venkovního vzduchu k vnitřnímu objemu místnosti.

$$V_e = n_e \cdot V_o \quad (3)$$

Výpočet podle produkce škodlivin

Škodliviny, které vznikají v interiéru, nesmí překročit maximální přípustné koncentrace.

$$V_p = \frac{M}{C_{\max, hm} - C_{p, hm}} \quad (4)$$

Výpočet podle doporučené intenzity výměny vzduchu

Není-li znám údaj o toku škodliviny, lze průtok venkovního vzduchu orientačně stanovit podle intenzity výměny vzduchu. Intenzita výměny vzduchu je

definována jako poměr průtoku přiváděného vzduchu k vnitřnímu objemu místnosti.

$$V_p = n_p \cdot V_o \quad (5)$$

Od intenzity větrání n_e je třeba odlišit intenzitu výměny vzduchu n_p , která je definována obdobně jako intenzita větrání, ale průtok vzduchu V_p je celkový průtok vzduchu přiváděného do místnosti; zahrnuje tedy kromě průtoku venkovního vzduchu V_e i případný průtok vzduchu cirkulačního.

Výpočet počítačovým modelováním a simulací

Potřebné množství větracího vzduchu se stanoví na základě znalosti provozu objektu a množství vznikajících škodlivin, kvality venkovního vzduchu a požadované kvality vzduchu v interiéru. Počítačové modely umožňují na základě znalosti kvality přiváděného vzduchu a množství přiváděného vzduchu analyzovat kvalitu vnitřního vzduchu či stanovit koncentrace škodlivin v čase při různých provozních podmínkách. Příklady programů pro simulaci vnitřního prostředí budov: Contam, LoopDA, IDA Indoor Climate and Energy, IAQ-Tools, Comis a BSim2002.

3. Použitá metoda

Fyzikální popis modelu v programu Contam

Contam 2.4 je určen k multizónové analýze kvality vnitřního vzduchu a větrání. Pomáhá stanovit: vzdušné proudy – infiltraci, exfiltraci, proudění mezi jednotlivými místnostmi při nuceném větrání, tlaku větru na vnější plášť budovy, s ohledem na rozdílné teploty ve venkovním prostředí a v místnostech zahrnuje i vliv vztaku vzduchu.

Hodnota koncentrace škodliviny pro časový okamžik τ_i a τ_{i+1} je stanovena z rovnice:

$$C_i = \frac{1}{\rho} \cdot \left[C_e + \frac{M_i}{V_{pi}} - \left(C_e - C_{i-1} + \frac{M_i}{V_{pi}} \right) \cdot \exp\left(\frac{-V_{pi}}{V_o} \tau_i\right) \right] \quad (6)$$

$$C_{i+1} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[C_e + \frac{M_{i+1}}{V_{pi+1}} - \left(C_e - C_i + \frac{M_{i+1}}{V_{pi+1}} \right) \cdot \exp\left(\frac{-V_{pi+1}}{V_o} \tau_{i+1}\right) \right] \quad (7)$$

V případě, že v časovém kroku není zóna větrána (tj. není ani přívod ani odvod vzduchu), platí tyto vzorce:

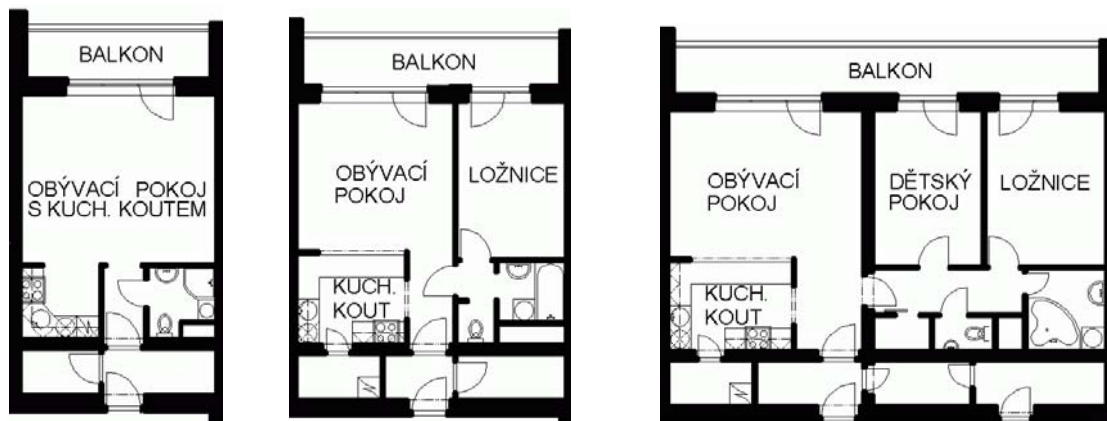
$$C_i = \frac{1}{\rho} \cdot \left(C_{i-1} + \frac{M_i}{V_o} \tau_i \right) \quad (8)$$

$$C_{i+1} = \frac{1}{\rho} \cdot \left(C_i + \frac{M_{i+1}}{V_o} \tau_{i+1} \right) \quad (9)$$

Rovnice vychází jsou odvozeny z fyzikálního modelu pro nárůst pokles koncentrace škodlivin v čase [6].

Hodnocení variant větrání bytů

V této části je uvedeno hodnocení různých variant větrání tří bytů podle množství větracího vzduchu – 1+KK, 2+KK a 3+KK. Jejich dispoziční uspořádání je na obr. 1 a 2. Obsazení bytů je voleno 1+KK dvěma osobami, 2+KK dvěma osobami a 3+KK třemi osobami.



Obr. 1 – Půdorysy bytů (zleva 1+KK, 2+KK, 3+KK)

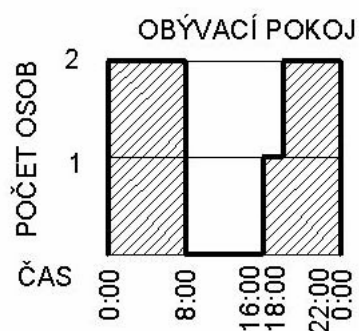
Parametry jednotlivých místností v bytech jsou uvedeny v tab. 1.

Sledovanou škodlivinou vznikající v interiéru je oxid uhličitý. Pro výpočet byla uvažována koncentrace oxidu uhličitého ve venkovním vzduchu 350 ppm [1], [4], [5] a produkce CO₂ dýcháním byla pro práci v klidu 20 l.h⁻¹ na osobu [1].

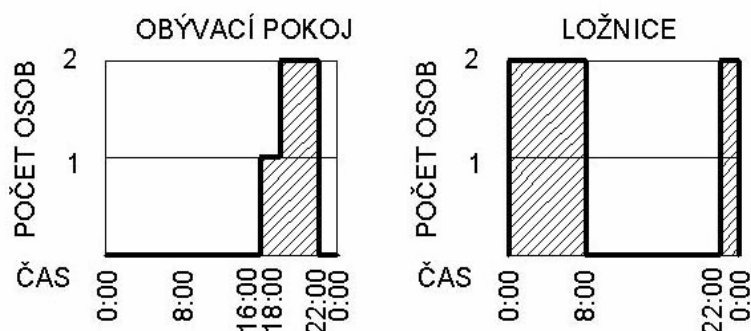
	Název zóny	T _i	Objem místnosti
1+KK	Obývací pokoj	20 °C	68,85 m ³
2+KK	Obývací pokoj	20 °C	67,475 m ³
	Ložnice	20 °C	30,45 m ³
3+KK	Obývací pokoj	20 °C	83,725 m ³
	Dětský pokoj	20 °C	30,45 m ³
	Ložnice	20 °C	33,6 m ³

Tab. 1 – Parametry zón

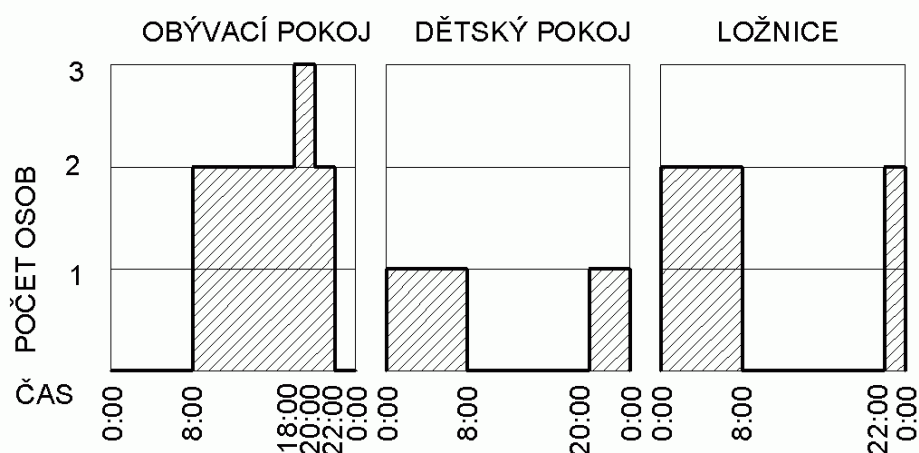
Obsazení bytů představuje ve všech variantách všední den, kdy se v bytě 1+KK se nachází dvě osoby v noci, ráno a večer. Stejně obsazení dvěma osobami je voleno pro byt 2+KK. V bytě 3+KK je např. matka s dítětem celý den doma a otec je přes den v práci. Sledované místnosti byly vždy: obývací pokoj, dětský pokoj a ložnice, tj. obytné místnosti, kde obyvatelé tráví nejvíce času. Ostatní místnosti jako WC, koupelny, šatny a chodby není potřeba sledovat, neboť v nich obyvatelé natravní tak dlouhou dobu, aby koncentrace oxidu uhličitého výrazně vzrostla, resp. pobyt při vyšší koncentraci oxidu uhličitého by byl tak krátký, že by nepůsobil obyvatelům potíže.



Obr. 3 – Obsazení místnosti bytu 1+KK



Obr. 4 – Obsazení místností bytu 2+KK



Obr. 5 – Obsazení místností bytu 3+KK

Obsazení všech bytů v jednotlivých obytných místnostech je patrné z obr. 3, 4, 5.

Množství větracího vzduchu

Pro hodnocení různých způsobů větrání bytu bylo zvoleno následujících šest variant:

Varianta č. 1 – větrání podle ČSN 73 0540, tj. množství větracího vzduchu je dáno intenzitou výměny vzduchu v místnosti $0,3 - 0,6 \text{ h}^{-1}$ (tato varianta je rozčleněna na dva okrajové případy 1a znamená $0,3 \text{ h}^{-1}$ a 1b znamená $0,6 \text{ h}^{-1}$) +

odsávání sociálních zařízení

Varianta č. 2 – větrání podle množství vzduchu na osobu, vychází z Pettenkoferova normativu $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu

Varianta č. 3 – teplovzdušné vytápění a větrání bez užití cirkulace (množství větracího vzduchu pro každou místnost je takové, aby pokrylo tepelnou ztrátu místnosti)

Varianta č. 4 – teplovzdušné vytápění a větrání s užitím cirkulace 75 %

Varianta č. 5 – odsávání sociálních zařízení podle českých norem v kombinaci s infiltrací – souč. spárové průvzdušnosti $i_L = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-0,67}$ (dle ČSN 73 0540), char. číslo místnosti $M = 0,7$ a charakteristické číslo budovy $B = 4 \text{ Pa}^{0,67}$.

Varianta č. 6 – odsávání sociálních zařízení podle DIN 1946-6 s $0,17 \text{ h}^{-1}$ výměnou vzduchu dle DIN 1946-6.

Popis modelu

V programu Contam 2.4 byly nejprve zadány zóny a otvory (okna a dveře). Dále byla charakterizována škodlivina – oxid uhličitý a časový plán, kdy, jaké množství a v kterých zónách je produkována. O trochu složitější bylo zadávání množství větracího vzduchu v případě teplovzdušného vytápění a větrání s cirkulací. „Jednoduché“ větrání se zadávalo pouze pomocí přívodu a odvodu vzduchu, v případě odsávání sociálních zařízení byly zadány i časové plány. Cirkulace tímto jednoduchým způsobem zadat nelze, protože v přírodním vzduchu, který je směsí venkovního a odváděného vzduchu, je proměnlivá koncentrace CO_2 v závislosti na produkci v jednotlivých zónách. Varianta č. 4 tedy nemohla být zadána pouze pomocí jednoduchých přívodů vzduchu a odvodů vzduchu, kde v přírodním vzduchu je koncentrace CO_2 stejná jako venkovní koncentrace. Proto tato varianta byla zadána pomocí sítě celého vzduchotechnického potrubí s cirkulací.

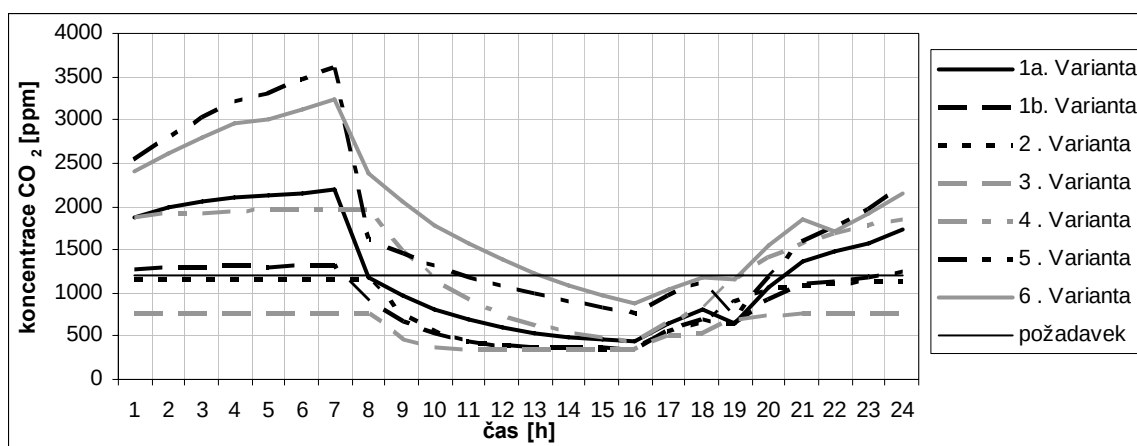
4. Výsledky

Průběhy koncentrací CO_2 jsou na obr. 6 – 11. Výsledky ukazují, že průběh koncentrace oxidu uhličitého odpovídá obsazení interiéru (produkci škodlivin), objemu zón a množství větracího vzduchu. Čas, kdy se koncentrace ustálí na určité hodnotě, a čas, kdy klesne na hodnotu venkovního vzduchu (resp. přírodního vzduchu), závisí na objemu místnosti, produkci škodliviny a množství větracího vzduchu.

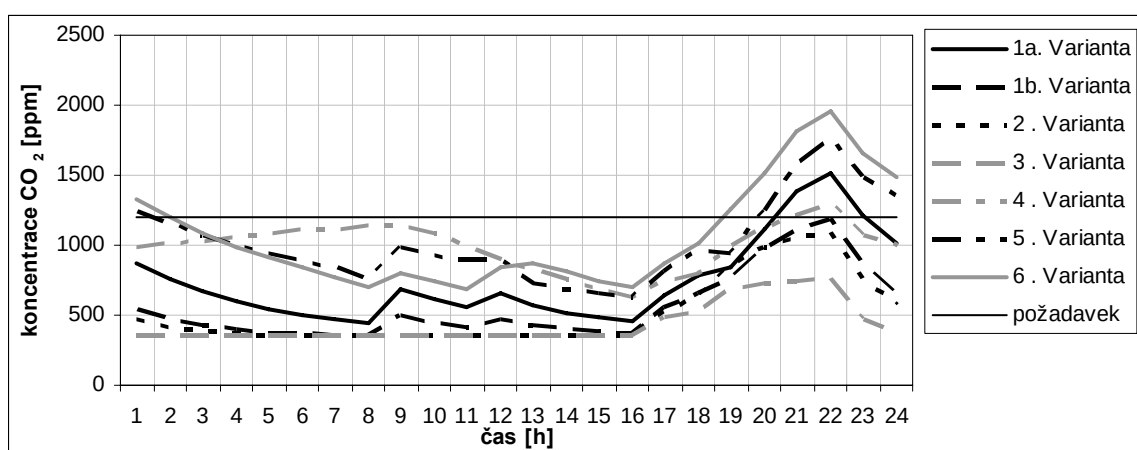
Pro hodnocení kvality vnitřního vzduchu z hlediska koncentrace oxidu uhličitého v České republice neexistuje žádný závazný předpis, maximální koncentrace v interiéru dle EN CR 1752 CEN pro třídu „C“ je 1200 ppm, podle ASHRAE Standardu je to 1000 ppm. Pro hodnocení koncentrace oxidu uhličitého byla uvažována maximální koncentrace v rozpětí 1000 – 1200 ppm.

Varianty 5 a 6 vycházejí z hlediska kvality vnitřního vzduchu nejhůř, obdobně

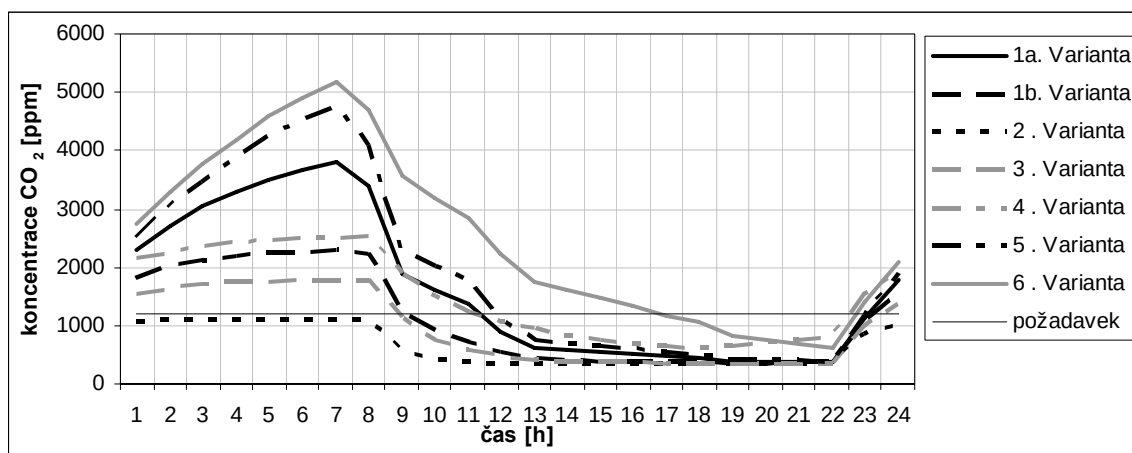
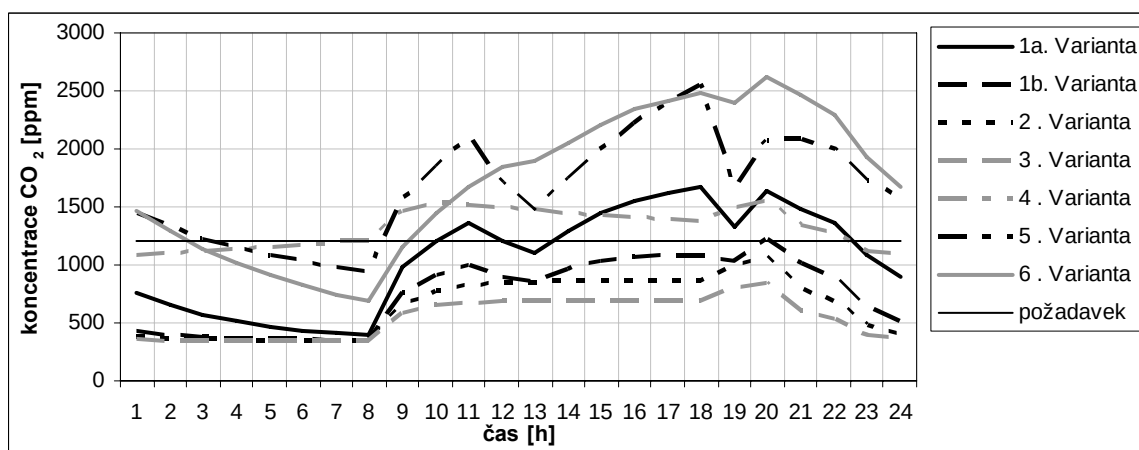
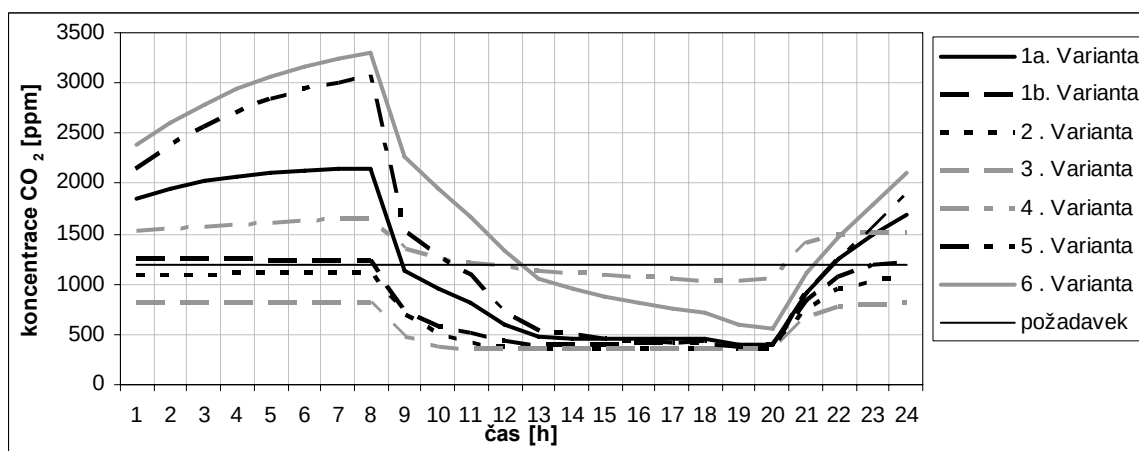
vychází i varianta č. 1a. V těchto variantách je po více jak 90 % doby, kdy jsou přítomni lidé, překročena koncentrace oxidu uhličitého vyšší než 1200 ppm. Varianta č. 2 vychází nejlépe ze všech, je to varianta, která představuje větrání podle Pettenkoferova normativu $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu. V případě varianty 1b vychází poměrně dobře koncentrace CO_2 v bytě 1+KK, v bytě 2+KK v obývacím pokoji a v bytě 3+KK v obývacím pokoji a dětském pokoji. V ostatních případech vychází jako nedostatečná. Z varianty s teplovzdušným vytápěním a větráním (varianty č. 3 a 4) vychází lépe varianta, která je bez cirkulace, neboť je přiváděno větší množství venkovního vzduchu.

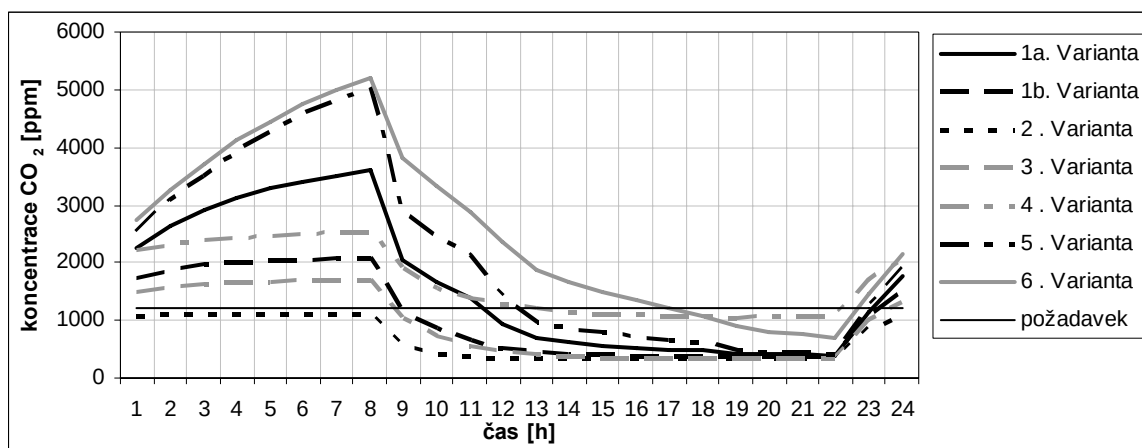


Obr. 6 – Průběh koncentrace CO_2 v bytě 1+KK v obývacím pokoji



Obr. 7 – Průběh koncentrace CO_2 v bytě 2+KK v obývacím pokoji

Obr. 8 – Průběh koncentrace CO₂ v bytě 2+KK v ložniciObr. 9 – Průběh koncentrace CO₂ v bytě 3+KK v obývacím pokojiObr. 10 – Průběh koncentrace CO₂ v bytě 3+KK v dětském pokoji



Obr. 11 – Průběh koncentrace CO_2 v bytě 3+KK v ložnici

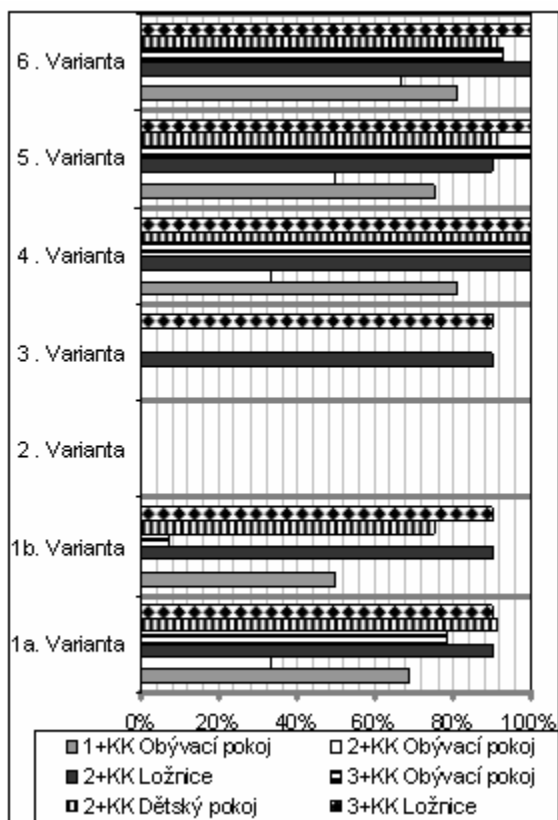
Varianta č. 3 postačí pro udržení maximální koncentrace CO_2 v bytě 1+KK, v bytě 2+KK pouze v obývacím pokoji a v bytě 3+KK v obývacím pokoji a dětském pokoji. V ložnicích bytů 2+KK a 3+KK je koncentrace oxidu uhličitého 90 % z doby, kdy jsou lidé v ložnici, vyšší než 1200 ppm, maximum je cca 1800 ppm.

Ve variantě č. 4 v bytě 1+KK dosahuje koncentrace CO_2 až 2000 ppm, v bytě 2+KK je v pořádku obývací pokoj, ale v ložnici je koncentrace CO_2 až 1800 ppm. V bytě 3+KK je nejvíce problematická ložnice, kde se koncentrace CO_2 dostává až na 2500 ppm, v ostatních obytných místnostech se dostává na hodnotu max. 1700 ppm.

Na obr. 12 je hodnocení jednotlivých variant – kolik procent doby, kdy lidí místnost užívají, je koncentrace oxidu uhličitého vyšší než 1200 ppm.

5. Diskuse

Nabízí se otázka, zda by krátkodobé překročení koncentrace CO_2 (např. obr. 12, byt 3+KK, obývací pokoj) mělo mít vliv na návrh větrání, resp. množství větracího vzduchu. V případě konstantního přívodu vzduchu a přítomnosti osob může v interiéru docházet ke hromadění škodlivin a naopak při nepřítomnosti osob je interiéru zbytečně větrán, tím dochází k nemalým energetickým ztrátám. Z hlediska energetických úspor není vhodné snižovat množství čerstvého vzduchu na osobu, ale regulovat množství vzduchu podle počtu osob v místnosti, např. dle aktuální koncentrace oxidu uhličitého, jsou-li jediným zdrojem oděrů lidí.



Obr. 12 – Hodnocení jednotlivých variant

6. Závěr

Simulace v programu CONTAM 2.4 ukázala, že doba, za kterou se koncentrace CO_2 ve vzduchu při pobytu osob ustálí na určité hodnotě, a doba, za kterou se koncentrace CO_2 ve vzduchu sníží na hodnotu venkovního vzduchu, závisí na objemu místnosti a intenzitě výměny vzduchu. Čím je intenzita výměny vzduchu vyšší, tím rychleji se koncentrace CO_2 ustálí na určité hodnotě. Výsledky dále ukazují, že průběh koncentrace CO_2 koresponduje s obsazením interiéru a množstvím větracího vzduchu v průběhu dne. Výměna vzduchu $0,3 \text{ h}^{-1}$ je nedostatečná, také odsávání sanitárních zařízení v kombinaci s infiltrací či výměnou vzduchu $0,17 \text{ h}^{-1}$ je nedostatečné. Množství větracího vzduchu podle tepelných ztrát, ve variantách s teplovzdušným vytápěním, vychází lépe bez cirkulačního vzduchu než s cirkulačním vzduchem, kdy je pouze 25 % vzduchu venkovního. Simulací byla i potvrzena platnost Pettenkoferova normativu $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu.

7. Přehled označení

C	koncentrace škodliviny	[ppm, mg m ⁻³]
C_e	koncentrace škodliviny v atmosférickém vzduchu	[ppm, mg m ⁻³]
$C_{(\tau=0)}$	koncentrace škodliviny v interiéru v start. čase $\tau = 0$	[ppm, mg m ⁻³]
$C_{\max, hm}$	maximální koncentrace škodlivin v interiéru	[ppm, mg m ⁻³]
$C_{p, hm}$	koncentrace škodlivin v přiváděném vzduchu do místnosti	[ppm, mg m ⁻³]
M	množství vznikající škodliviny	[g.h ⁻¹]
n_e	doporučená intenzita výměny větrání	[h ⁻¹]
n_p	doporučená intenzita výměny vzduchu	[h ⁻¹]
p	počet osob	[-]
ρ	měrná hmotnost škodliviny	[kg m ⁻³]
S	půdorysná plocha	[m ²]
τ	čas	[s]
V_e	množství venkovního vzduchu	[m ³ .h ⁻¹]
V_o	objem místnosti (větraného prostoru)	[m ³]
V_p	množství přivedeného vzduchu	[m ³ .h ⁻¹]
V_{pos}	množství přiváděného vzduchu na osobu	[m ³ .h ⁻¹ na os.]
V_s	množství přiváděného vzduchu na m ² podlahové plochy	[m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²]

8. Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru CEZ MSM 6840770005.

9. Literatura

- JOKL, M. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. 1. vyd. Praha: Academia, 2002. 261 s. ISBN 80-200-0928-0.
- CENTNEROVÁ, L., Papež, K. *Technická zařízení budov 30 – Vzduchotechnika*. Cvičení. Skripta ČVUT, Praha, 2000. ISBN 80-01-02251-X
- DOLEŽÍLKOVÁ, H. *Vybrané složky vnitřního prostředí budov*. Sborník přednášek 3. Letní školy TZB 2005. Společnost pro techniku prostředí, Praha, 11-18 s., 2005. ISBN 80-02-01748-X.
- MORÁVEK, P. *Nový systém teplovzdušného vytápění s řízeným větráním obytných budov a jeho výpočtový model*. Výměna vzduchu v našich a mezinárodních předpisech. STP, Praha, 2003.
- DOLEŽÍLKOVÁ, H. *Vnitřní prostředí budov*. Teze k disertační práci. ČVUT Fakulta stavební. Praha, červen 2006.

Uživatelský	manuál	k programu	Contam	2.4.
http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis/docs/NISTIR_7251.pdf				

Využití solárního komína pro přirozené větrání a pasivní chlazení

Radim Galko, Karel Papež

Resume:

The aim of this entry is to give closer look at the solar chimney ventilation. Compared to mechanically ventilated buildings, naturally ventilated buildings use much less energy because of the reduced electricity needed for fans. Thermal conditions in a naturally ventilated building can be controlled to a certain extent by using natural ventilation in combination night cooling. This can save considerable energy by reducing chiller and boiler usage. Recently, due to the increasing need for utilizing renewable energy, a number of investigations in solar chimneys have been carried out.

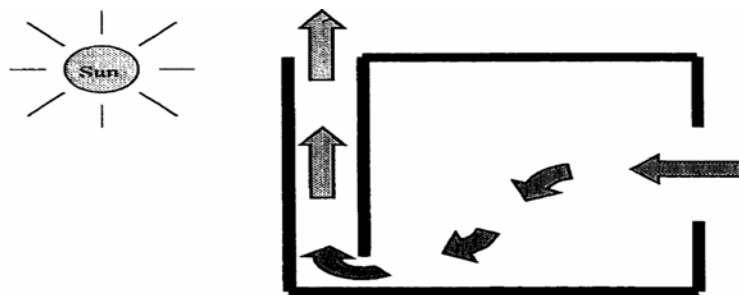
1. Úvod

Ve stavebnictví je tento pojem trvale udržitelného rozvoje spojován především s budovami s minimální spotřebou energie a co nejjednodušším systémem technických zařízení. Dochází k neustálému zlepšování tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí. Vznikají nízkoenergetické domy, kterými rozumíme budovy pro běžné účely se zvláště nízkou spotřebou energie. Jako nízká je přitom označována měrná spotřeba energie na vytápění mezi 5 a 50 kWh/ m²a. Díky zlepšení tepelně technických vlastností konstrukcí, které tvoří obálku budovy, dochází k velmi malým tepelným ztrátám prostupem. Otázkou zůstává problematika snižování energetické náročnosti větrání, která je především u nízkoenergetických a pasivních domů často rozhodující položkou spotřeby energie objektu. Je snaha vyvíjet stále nové, energeticky úsporné větrací systémy. Pravděpodobně nejrozšířenějším způsobem větrání je přirozené větrání, které využívá tlakových rozdílů, způsobených rozdílem hustot (přesněji tíh) vnitřního a venkovního vzduchu a dynamického účinku větru na obtékanou budovu. Vztlak je především v zimě dostatečný, v létě fungují systémy přirozeného větrání jen při vyšší teplotě vnitřního vzduchu než je venkovní a proto se užívají celoročně tam, kde je vývin škodlivin doprovázen vznikem tepla. Přirozené větrání samo o sobě však zpravidla není schopno zajistit požadovanou kvalitu vzduchu a tepelnou pohodu prostředí. Proto je často nezbytné navrhnout větrání mechanické nebo větrání kombinované. Další možností, jak zajistit lepší fungování přirozeného větrání, je využít solárního

komínu, který zajistí provětrání budovy venkovním vzduchem s využitím solární energie, která patří mezi obnovitelné zdroje.

2. Princip solárního komína

Solární komín je vysoká větrací šachta obvykle orientovaná na osluněnou stranu budovy (obr. 1), která umožňuje přeměňovat solární energii na kinetickou energii proudění vzduchu. Jeho použitím můžeme zlepšit činnost přirozeného šachtového větrání za teplých a slunečných dnů, kdy je malý rozdíl mezi teplotou vzduchu uvnitř a vně budovy a je tedy malá vztlaková (hnací) síla způsobující proudění vzduchu větrací šachtou. Solární komín je tvořen jednoduchým vzduchovým kolektorem, který má na jedné straně nejčastěji prosklenou vrstvu a na druhá straně vzduchové dutiny má absorpční plochu. Vzduch proudící vzduchovou mezerou se účinkem solárního záření ohřívá. Zvýšení teploty vzduchu má za následek snížení její hustoty. Dochází tedy ke zvýšení vztlakových sil a tedy i ke zvýšení průtoku vzduchu komínem. Systém větrání solárním komínem je díky uvedenému principu schopno zajistit účinné větrání i při nižší teplotě vzduchu v místnosti vůči teplotě venkovní. Při tomto stavu by bylo klasické šachtové větrání nepoužitelné.

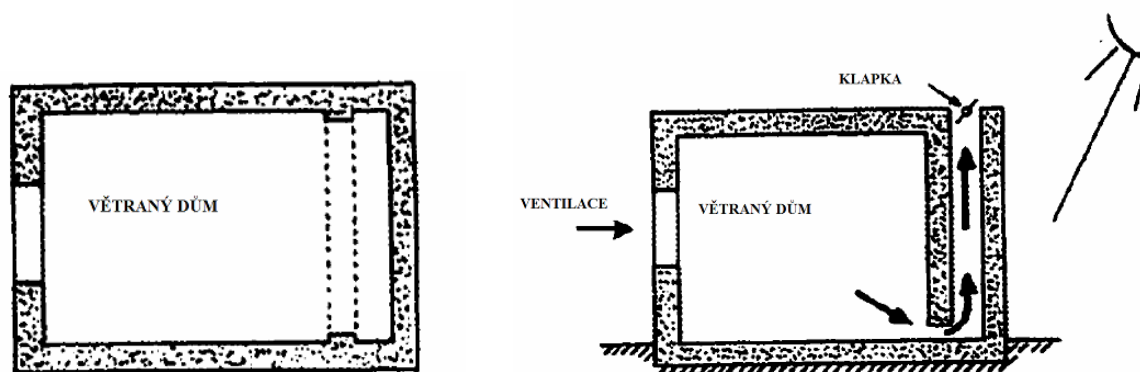


Obr. 1 Princip solárního komína

3. Historie solárního komína

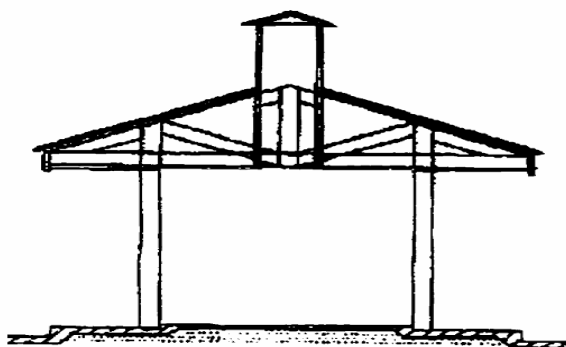
Solární komín není nový systém. Můžeme ho objevit v historických budovách, například sicilská vila Ambleri - Naselli, která se datuje do šestnáctého století. Zde byly spolu se solárním komínem využity pro pasivní chlazení i podzemní registry. Kuželová struktura tohoto objektu fungovala jako solární komín, který zvyšoval teplotu vnitřního vzduchu, následkem toho se vytvářel komínový tah. Existuje velké množství variant ventilačních systémů založených na principu solárního komína. Solární komín použitý v horkých suchých klimatech může být podobný tomu, který je naznačen na obr. 2. U tohoto solárního komínu jsou zdi udělány z materiálu s vysokou tepelnou absorpcí, proto umožňují noční

větrání (pasivní noční chlazení) interiéru budovy. Během dne je regulace na vstupu a výstupu komína uzavřena, to dovoluje akumulaci tepla do komínových zdí. V noci, kdy je venkovní vzduch chladný, jsou regulační klapky otevřeny a akumulované teplo ve zdech je předáno vzduchu v komínové šachtě. Vytváří se tak teplotní rozdíl mezi teplotou vzduchu v komíně a teplotou venkovního vzduchu. Tímto systémem je zajištěn průtok chladného venkovního vzduchu budovou.



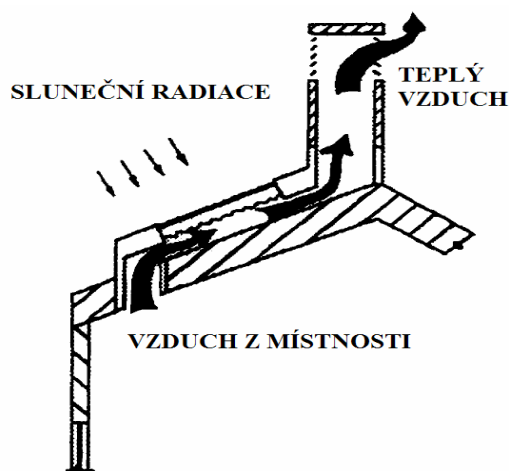
Obr. 2 Solární komín s vysokou tepelnou kapacitou použitý pro noční chlazení v horkých suchých klimatech

Na obr. 3 je solární komín, který je začleněn do střechy budovy. Odvod vzduchu z objektu je otvorem na boční ploše solárního komína. V tomto příkladě je solární komín zhotovený z vlnitého plechu, který má nízkou tepelnou kapacitu. Tato lehká konstrukce umožňuje rychlé spuštění ventilace po ohřátí plechu sluncem. Tento systém je proto nejlepší pro denní větrání, pro noční větrání je nevhodný.



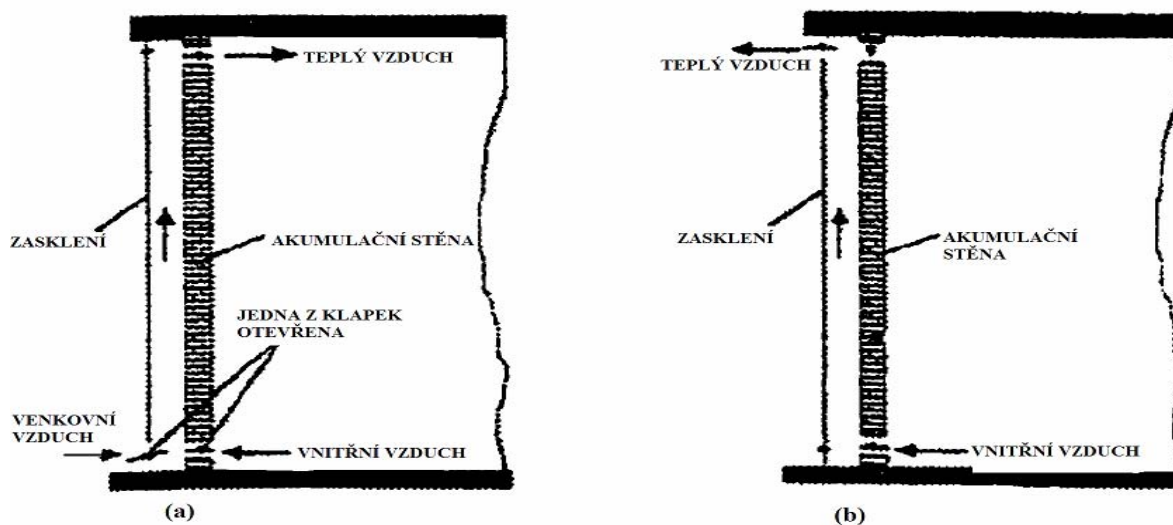
Obr. 3 Solární komín začleněný do střechy budovy pro denní větrání

Další příklad solárního komína začleněného do střechy budovy je naznačen na obr. 4. Zasklený solární kolektor, umístěný na šikmé střeše, ohřívá vzduch vstupující do komína. Výhodou tohoto systému je, že solární kolektor pomáhá zvýšit solární tepelné zisky a sklon střechy může být navržený tak, aby byly tyto zisky maximální.



Obr. 4 Solární komín s nakloněným slunečním kolektorem

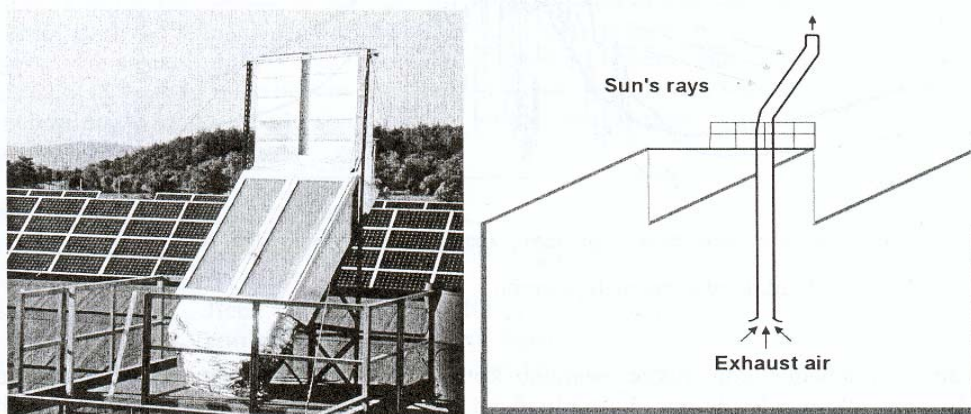
Systém podobný solárnímu komínu je i Trombeho stěna (obr. 5). Trombeho stěna je zvláštní forma vzduchového kolektoru orientovaného na osluněnou stranu budovy. Skladba Trombeho stěny je velmi jednoduchá. Před samostatně stojící nebo nosnou stěnou z materiálu s velkou akumulací schopností (vodní stěna, stěna z betonu nebo vápenopiskových cihel, s černým povrchem) je ve vzdálenosti 5 až 10 cm zavěšeno izolační dvojsklo. Teplo naakumulované masivní stěnou proudí s časovým posunem do místnosti za stěnou. Pro rychlejší tepelný zisk bývá akumulací stěna doplněna o větrací otvory ve spodní a horní části stěny. Na rozdíl od solárního komínu jsou tedy u Trombeho stěny ve vnitřní a vnější stěně umístěny otvory s regulačními klapkami, které zajišťují regulaci průtoku vzduchu. Klapky zajišťují dva režimy, režim vytápění a chlazení. Trombeho stěna může také fungovat jako solární komín a zajišťovat větrání otevřením spodního ventilačního otvoru vnitřní stěny a ventilačního otvoru v horní části vnější stěny, tak jak je uvedeno na obr. 5 (b). Solární komín je ovšem pro větrání mnohem vhodnější než Trombeho stěna, protože tlakové ztráty v Trombeho stěně (kvůli regulačním klapkám) omezují průtok vzduchu systémem. Rozšíření Trombeho stěny je však mizivé, důvodem je vysoká náročnost na obsluhu a čištění. Velké naděje se vkládají do využití transparentní tepelné izolace.



Obr. 5 Schéma Trombeho stěny pro (a) zimní vytápění a (b) letní chlazení

4. Experimentální studie solárního komína

Cílem následujícího experimentu (obr. 6) bylo zhodnocení výhodnosti použití sol. komína pro přirozené větrání a pasivní chlazení (VUT Brno). Byla použita lehká a těžká konstrukce sol. komína. Lehká konstrukce byla tvořena plechem natřeným matnou černou barvou. Těžká konstrukce obsahovala betonovou vrstvu pro akumulaci tepla. Jako prosklení bylo použito dvojité izolační sklo. Prosklená část komína byla skloněna pod úhlem 60° . Sklon 60° až 90° je doporučován u solárních kolektorů pro zimní období. Naopak pro letní období by bylo výhodnější použít sklon 45° , při kterém je množství sluneční energie dopadající na jižně orientovanou plochu vyšší než u sklonu 60° (platí pro období březen až září). Využití solárních komínů je nejvýhodnější právě pro letní období, v zimním období je totiž teplotní rozdíl (vztlak) dostatečný, aby zajistil požadovanou funkci sol. komína, který se pak chová jako „klasická“ větrací šachta. Pro porovnání solárního komínu s „klasickým“ šachtovým větráním bylo při pokusech sklo komínu s betonovou vrstvou zakryto polystyrenem. Nad prosklenou částí komína byla ještě umístěna plechová šachta. Zespodu byly k solárním komínům napojeny dvě vertikální kruhová potrubí, ve kterých se měřil průtok. Dalšími sledovanými parametry byla teplota vzduchu na vstupu a výstupu solárního komína, teplota absorpčních povrchů, venkovní teplota a intenzita slunečního záření.



Obr. 6 Experimentální solární komíny

Sledovaly se teploty povrchu absorpční plochy pro lehkou a těžkou konstrukci solárního komína při uzavřených vzduchovodech. Podle předpokladu sledovala teplota absorpčního povrchu, u lehké konstrukce sol. komína, intenzitu slunečního záření. U těžké konstrukce je patrná setrvačnost, nejvyšší povrchová teplota nastala s časovým zpožděním za nejvyšší intenzitou slunečního záření. Dalším poznatkem bylo porovnání průtoku solárním komínem (lehká konstrukce) a „klasickou“ větrací šachtou (těžká konstrukce se zakrytým sklem).

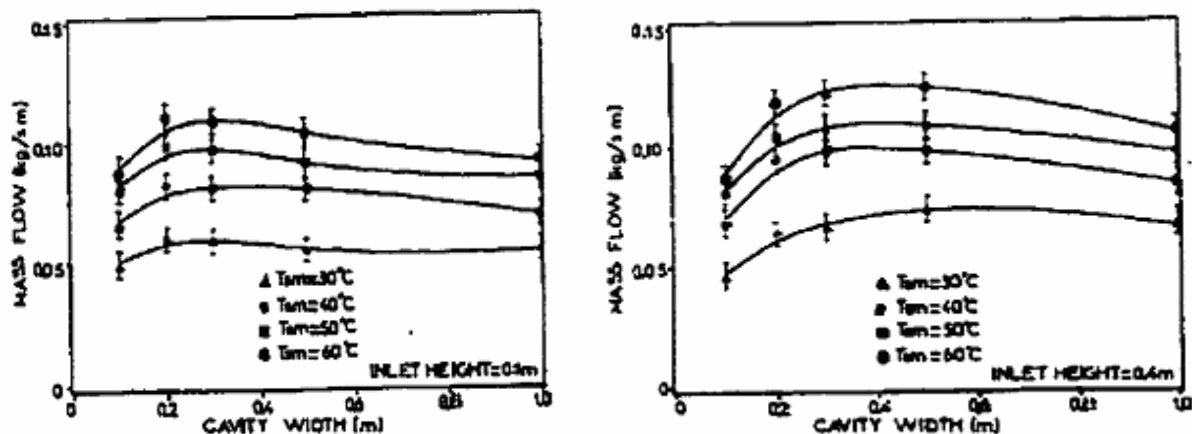
5. Závěr experimentální studie

Bylo potvrzeno, že průtok solárním komínem neklesne na nulu ani v případě, že je venkovní teplota vyšší než teplota vnitřní. Dále byl potvrzen vliv akumulární vrstvy těžké konstrukce solárního komína na posun maxima povrchové teploty absorpční vrstvy oproti maximální intenzitě solárního záření. Tuto vlastnost těžkého komína by bylo možné využít při intenzivním nočním větráním (pasivním chlazením).

6. Pasivní chlazení

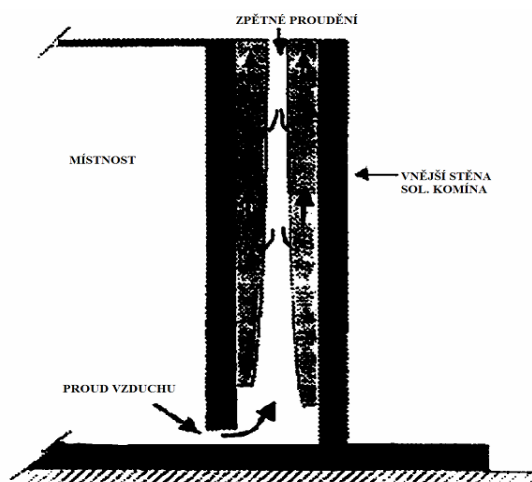
Další experimentální výzkum větrání (pasivního chlazení) solárním komínem je naznačen na obr. 2. Komín měl pevně danou výšku 2 m, obě stěny měly shodnou teplotu. Zkoumán byl vliv šířky komína, výšky vstupního otvoru do komína (plochy otvoru) a povrchové teploty komínových stěn. Obr. 7 zobrazuje vliv šířky komína na hmotnostní průtok pro vstupní otvor výšky 0,1 m a 0,4 m s povrchovou teplotou stěny komína v rozsahu od 30 do 60°C. Venkovní teplota vzduchu byla udržována konstantně 20°C. Bylo shledáno, že v komíně s rozsahem šířky od 0,1 m - 1,0 m je optimální šířka komína mezi 0,2 a 0,3 m, kdy byla pozorována maximální intenzita větrání. Bylo objeveno, že tato

optimální šířka větrací šachty je nezávislá na povrchové teplotě komínových stěn. Optimální šířka větrací šachty byla mírně větší, pokud se výška vstupního otvoru do komína zvyšovala od 0,1 m do 0,4 m.



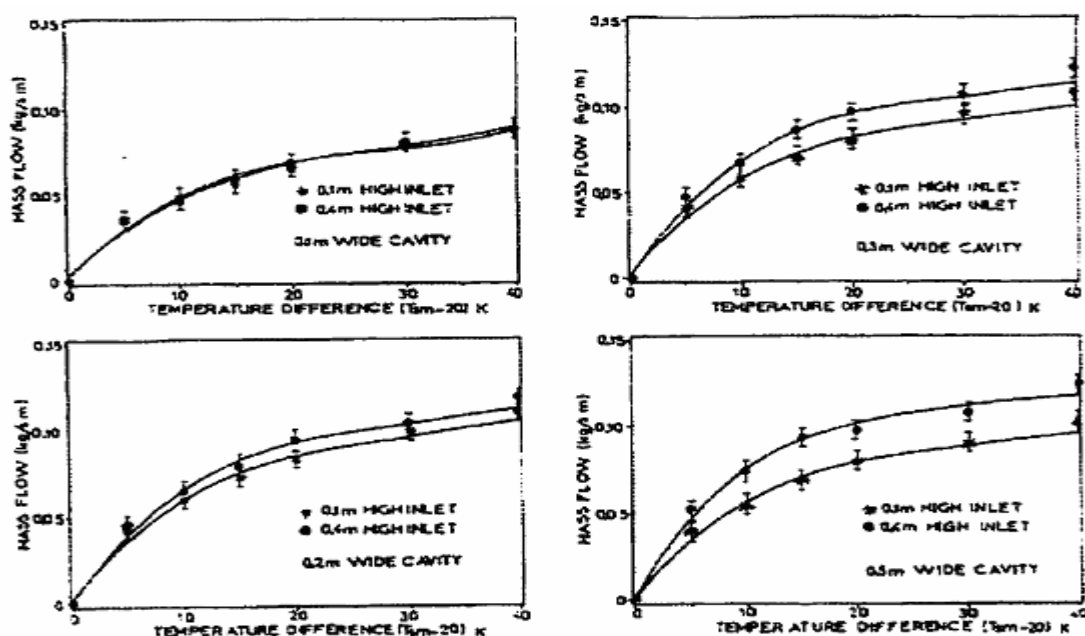
Obr. 7 Vliv šířky komína a výšky vstupního otvoru komína na průtok

V komíně šířky 0,5 m byl naměřen hmotnostní průtok na výstupu z komína vyšší než průtok oknem a vstupním otvorem do komína. Kouřová vizualizace ukázala, že u výstupu z komína proudil kouř zcela vzhůru při šířkách komína od 0,1 m do 0,3 m. V komíně šířky 0,5 m byl ve střední části komína pozorován opačný tok směrem dolů. Stoupající proud vzduchu v blízkosti stěny byl částečně tvořen vzduchem z místnosti a ve střední části komína se přidával proud vzduchu, který směřoval dolů z výstupního otvoru komína (obr. 8). Tento jev vysvětluje zvýšený průtok naměřený na výstupu a také vysvětluje, proč se hmotnostní průtok systémem snižoval. Šířka komína byla větší než je optimální hodnota šířky.



Obr. 8 Možný obraz zpětného proudění v širokém komíně

Obr. 9 ukazuje závislost výšky vstupního otvoru (0,1 m a 0,2 m) na hmotnostním průtoku při proměnné šířce komína. Komín měl šířku v rozsahu 0,1 m až 0,5 m. Při šířce komína 0,1 m byl hmotnostní průtok u obou výšek vstupního otvoru komína podobný. Výška vstupu do komína při této šířce komína měla velmi malý vliv na průtok komínem a v komíně dominovaly ztráty třením. Se zvyšováním šířky komína se tlaková ztráta třením v komíně snižovala a vliv výšky vstupního otvoru do komína nabýval na významu. U větších šířek komína se stávala určující tlaková ztráta třením ve vstupním otvoru, ta určovala hmotnostní průtok celým systémem. Z výsledků experimentu byla přibližně stanovena optimální šířka komínové šachty jako jedna desetina výšky komína.



Obr. 9 Vliv výšky vstupního otvoru na průtok při různých šířkách komína

7. Závěr

Stále se hovoří o snižování energetické náročnosti objektů a problematice trvale udržitelného rozvoje. Je nutné se zabývat úspornými systémy technických zařízení budov. Jedním z možných systémů, který může vést ke snížení energetické náročnosti ventilace objektů, je solární komín. Díky rostoucím snahám o využití obnovitelných energií, bylo v poslední době provedeno několik výzkumů solárního komína. Jeden z experimentů měl zhodnotit použitelnost sol. komínu při přirozeném větrání a pasivním chlazení. Při měření obě zkoušené konstrukční varianty sol. komína zajišťovaly lepší výkon větrání, než by byla schopna poskytnout běžná ventilační šachta. Pro noční větrání (pasivní chlazení) byla výhodnější těžká konstrukce sol. komína, která mohla

zajistit vyšší intenzitu výměny vzduchu. Další popisovaný experiment se snažil objasnit závislost šířky komína na hmotnostním průtoku vzduchu komínem. Přibližná optimální šířka komína byla stanovena jako 1/10 výšky komína. Zajímavé bylo zjištění, že se optimální šířka komína téměř nelišila při různých vnitřních povrchových teplotách komínových stěn. Byla však objevena závislost optimální šířky komínové šachty na výšce vstupního komínového otvoru, kdy optimální šířka rostla se zvětšující se výškou vstupního otvoru. Dále byla určena závislost hmotnostního průtoku na výšce vstupního otvoru komína a šířce komínové šachty.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru CEZ MSM 6840770005.

Literatura

- HUMM, O.: Nízkoenergetické domy. Přel. Jan Tywoniak. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1999. 356 s. Přel. z: Niedrig Energie Hauser. ISBN 80-7169-657-9.
- CIHELKA, J.: Solární tepelná technika. 1. vyd. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1994. 208 s. ISBN 80-900759-5-9.
- CHARVÁT, P., JÍCHA, M., ŠTĚTINA, J.: Solární komín pro větrání a pasivní chlazení. Sborník Klimatizace a větrání 2004. 1. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí Praha, 2004, s. 153-157. ISBN 80-02-01598-3.
- CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.: Větrání a klimatizace. 3. vyd. Brno: Bolit – B press, 1993. 560 s. ISBN 80-901574-0-8.
- SPENCER, S.: An Experimental Investigation of a Solar Chimney Natural Ventilation System. [Master Thesis]. Montreal 2001. 123 s., Concordia University.
- BOUCHAIR, A.: Solar Chimney for Promoting Cooling Ventilation in Southern Algeria. Building Serv. Eng. Res. Technol., 1994, 15(2), 81-93.

Únosnost a prostorová tuhost střešních konstrukcí s kovovými deskami s prolisovanými trny

Petr Kuklík, Miloš Vodolan

Cílem tohoto projektu je popsat chování lehkých střešních konstrukcí provedených pomocí kovových desek s prolisovanými trny při běžné teplotě a za požáru. Jedním z dílčích cílů projektu je zkouškami a modelováním styčníků těchto konstrukcí zpřesnit postupy pro jejich navrhování.

1. Úvod

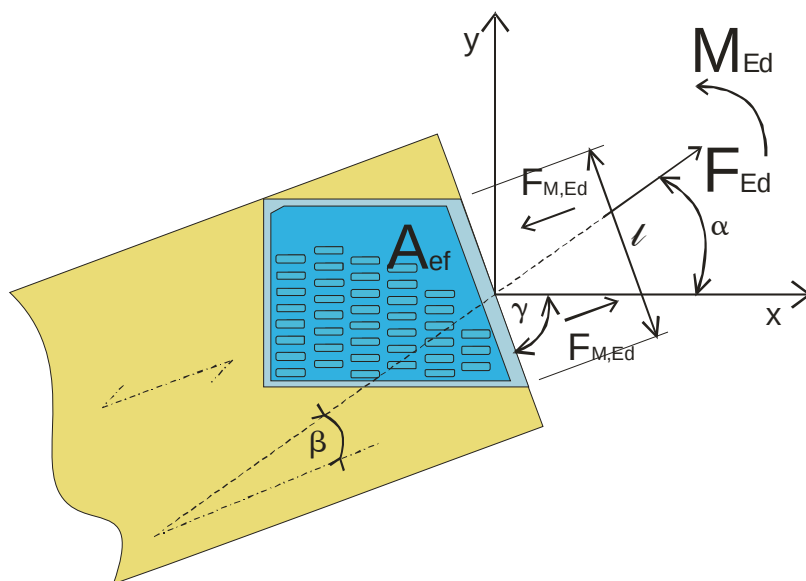
V roce 2005 bylo touto technologií v ČR a SR zastřešeno přibližně 900 000 m² střech. Řešení spolehlivosti lehkých střešních konstrukcí spojovaných kovovými deskami s prolisovanými trny je komplexní problematika složená z několika různých oblastí. V tomto příspěvku se budeme zabývat dvěma oblastmi této problematiky: únosností spojů a zajištěním prostorové stability.

2. Únosnost přípoje kovové desky s prolisovanými trny

Jedním z hlavních faktorů ovlivňujícím únosnost spoje provedeného pomocí kovových desek s prolisovanými trny je připojení samotné desky ke dřevěným prvkům pomocí trnů. Ve starších předpisech pro navrhování dřevěných konstrukcí (ČSN 73 1701) se nepředpokládal přenos ohybových momentů od vnějšího zatížení a momentů vzniklých excentrickým připojením prvků. Vliv excentrického připojení byl zohledněn pomocí redukčního koeficientu pouze u některých typů spojů.

V normě ČSN P ENV 1995-1-1 (1996) byl použit výpočetní postup, který již aplikoval momentovou únosnost připojení. V ČSN EN 1995-1-1 (2004) je pak převzat výpočetní model využívající plastických rezerv momentové únosnosti připojení v souladu s pracemi [3].

Postupy pro řešení jednoho připojení kovové desky s prolisovanými trny jsou zobrazeny na obr.1 a obr.2.



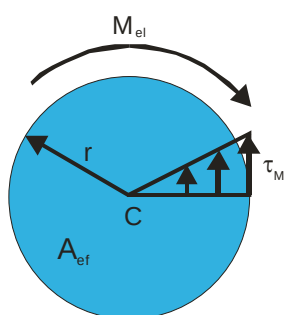
Obr.1 Statické působení připojení kovové desky s prolisovanými trny

ČSN P ENV 1995-1-1

$$\tau_{M,d} = \frac{M_{A,Ed} \cdot r_{\max}}{I_p}$$

$$I_p = \int_{A_{ef}} r^2 dA$$

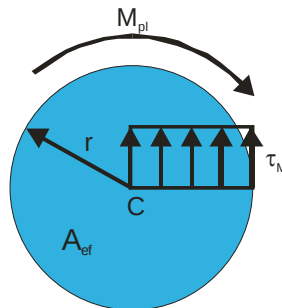
$$I_p = I_x + I_y$$



ČSN EN 1995-1-1

$$\tau_{M,d} = \frac{M_{A,Ed}}{W_{pl}}$$

$$W_{pl} = \int_{A_{ef}} r dA$$



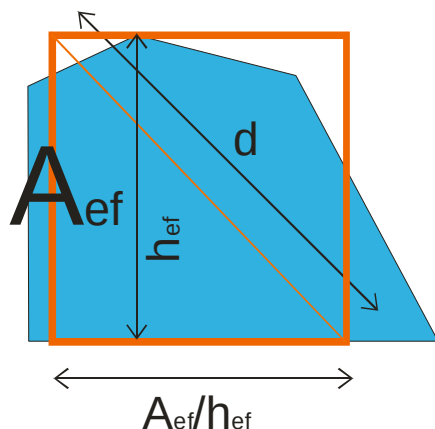
Obr.2 Zavedení momentové únosnosti do připojení trnů

Vztahy podle ČSN EN 1995-1-1 jsou obtížně řešitelné, protože integrál pro výpočet W_{pl} nemá pro obecné tvary efektivních ploch připojení kovových desek s prolisovanými trny analytické řešení. Pro praktické výpočty je možno podle ČSN EN 1995-1-1 použít zjednodušený výpočet (viz obr.3), který ovšem pro některé tvary efektivních ploch dává nepřesná řešení.

Ve spolupráci s renomovaným výrobcem kovových desek s prolisovanými trny jsou proto prováděny rozsáhlé série zkoušek, jejichž výstupem budou základní pevnostní parametry pro výpočty těchto desek. Výsledky těchto zkoušek budou k dispozici odborné veřejnosti pro řešení této problematiky. Některé předpoklady budou ověřeny i menší ověřovací sérií zkoušek, zaměřenou přímo na momentové namáhání spoje.

Modelování momentového působení spoje s deskami s prolisovanými trny je

stěžejním problémem pro bezpečný návrh spojů a modelování statického působení celého vazníku. Teoretická plastická rezerva pro plochu připojení A_{ef} tvarem blízkou kruhu činí přibližně 12%.



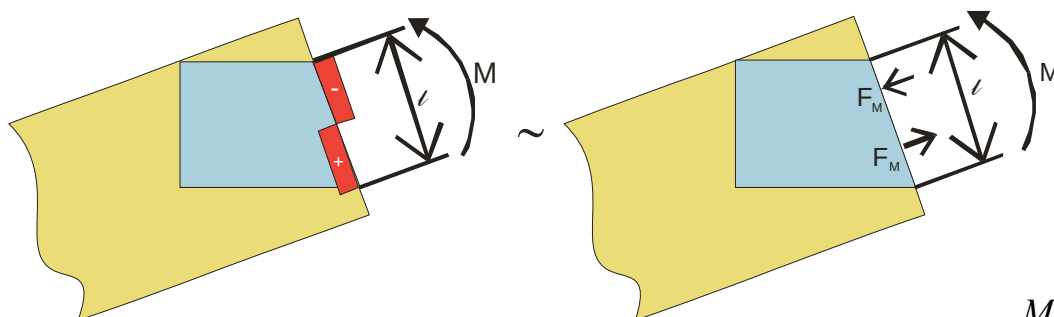
$$d = \sqrt{\left(\frac{A_{ef}}{h_{ef}}\right)^2 + h_{ef}^2}$$

$$W_{pl} = \frac{1}{4} A_{ef} d$$

Obr. 3 Přibližné řešení plastického modulu plochy připojení desky

3. Únosnost materiálu kovové desky s prolisovanými trny

Při výpočtu podle ČSN EN 1995-1-1 se vychází z předpokladu, že se deska chová plasticky, viz obr.4.



$$M_{Ed} = \frac{l}{2} F_{M, Ed}$$

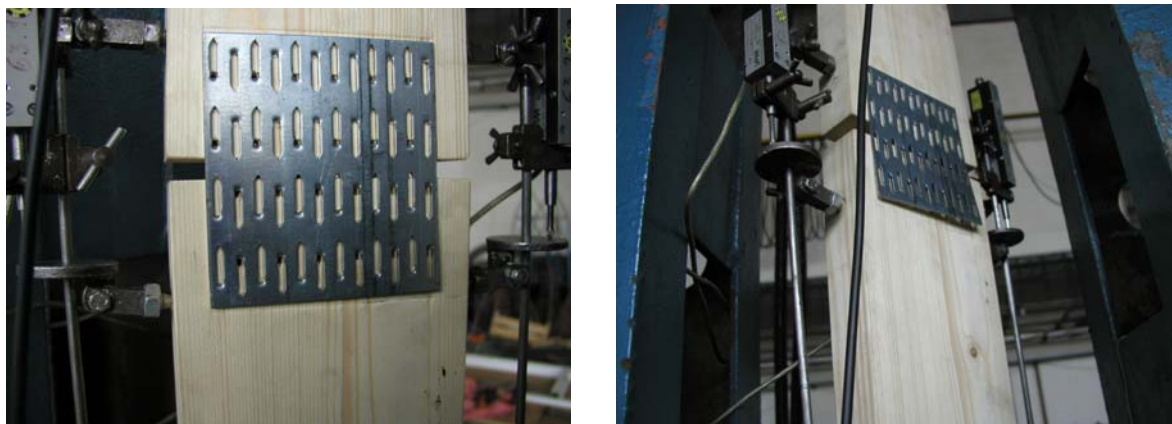
$$F_{x, Ed} = F_{Ed} \cos \alpha \pm 2F_{M, Ed} \sin \gamma$$

$$F_{y, Ed} = F_{Ed} \sin \alpha \pm 2F_{M, Ed} \cos \gamma$$

Obr.4 Plastické chování kovové desky s prolisovanými trny

Náhradní síla od momentového namáhání se určí podle vztahu $F_{M, Ed} = 2M_{Ed} / l$

Moment M_{ed} se nahrazuje dvojicí sil působících ve čtvrtině spáry. Síly $F_{x, Ed}$ a $F_{y, Ed}$ nejsou skutečně působící síly, protože jsou vypočteny za předpokladu, že obě síly F_M působí buď ke spáře spoje nebo od ní.



Obr. 5 Tahová zkouška desky od výrobce BOVA v TZÚS Praha s.p.

4. Prostorová stabilita a ztužení lehkých střešních konstrukcí s kovovými deskami s prolisovanými trny

Konstrukce spojované pomocí kovových desek s prolisovanými trny jsou sice velice tuhé v rovině konstrukce, kde vazníky působí jako tuhá deska. Ve směru z roviny konstrukce jsou tyto vazníky poměrně měkké a proto je důležitý správný postup při montáži a celkově správně zvolený a navržený systém zavětrovacích prvků celé střešní konstrukce. Prostorové ztužení lehkých střešních konstrukcí je stěžejním prvkem spolehlivosti konstrukce.

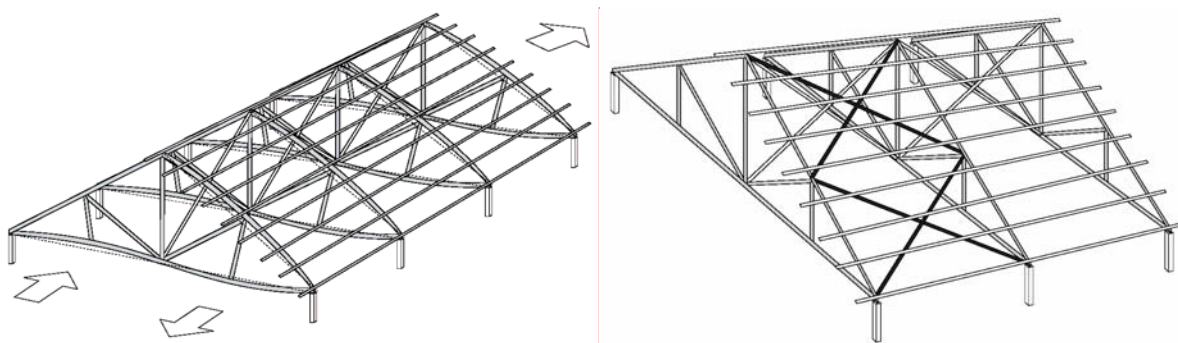
Montážní ztužení má především zabezpečit kolmost prvků při montáži a bezpečnost montáže. Stálé ztužení konstrukce musí teoreticky přenášet veškeré síly, které v konstrukci nepůsobí v rovině jednotlivých vazníků. Musí také zamezit bočnímu vybočení jednotlivých (tlačených) prvků vazníků z roviny vazníků (například tlačené diagonály, horní pásy vazníků). Další funkcí prostorového ztužení konstrukce je samozřejmě přenos sil od příčného namáhání větrem.

Působení a velikost sil, na které je nutno prvky prostorového ztužení dimenzovat, určují jednotlivé normy pro navrhování dřevěných konstrukcí poměrně jednoduchým způsobem. Normy neurčují většinou přesný způsob provedení ztužidel, zde je dost prostoru ponecháno pro projektanta-statika. Pro konstrukce, kde není možno výpočet prostorové stability převést na zjednodušující postupy uvedené v normách, je vhodné provést prostorový výpočet konstrukce programem pro prostorové řešení konstrukcí pro zlepšení představy skutečného působení ztužidel.

Programy pro výpočty dřevěných konstrukcí spojovaných deskami s prolisovanými trny, které řeší statiku vazníků v rovině, většinou provádějí

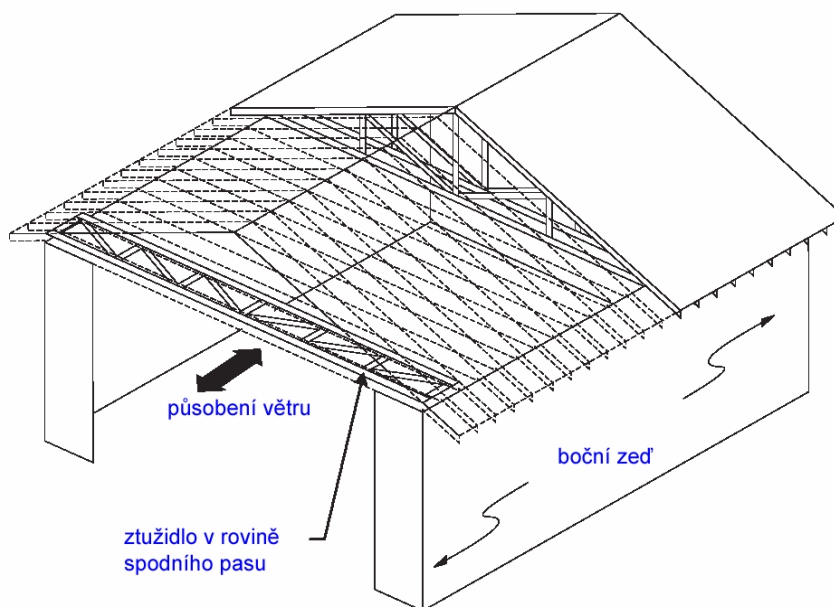
automatický návrh výztuh pro zabezpečení vybočení tlačných diagonál z roviny vazníku. Zabezpečení proti vybočení obvodových pásů určuje statik.

Při konstrukci zavětrovacích prvků se především zapomíná na funkci zavětrování v rovině střechy (obr.6). Zde přežívá chybný názor, že roznesení sil v rovině střechy (boční ohybovou tuhost konstrukce) zabezpečí záklop nebo laťování střechy. Pro správné řešení tohoto problému je nezbytné použití zavětrovacích vazníků probíhajících od okapu až po hřeben střechy, spojených v hřebeni střechy k sobě a ocelových zavětrovacích pásů v rovině střechy.



Obr. 6 Funkce ztužidel v rovině střechy

Pro zabezpečení působení sil působících kolmo na rovinu vazníků (příčný vítr) je vhodné doplnit pole ztužené v rovině střechy ztužidlem (nejlépe opět příhradovým vazníkem) vloženým mezi spodní pásy vazníků, viz obr.7.



Obr.7 Ztužení střešní konstrukce proti příčnému působení větru

Z norem pro výrobu a navrhování dřevěných konstrukcí plyne také nutnost

řádného zabezpečení spojů v místě nastavení tlačných pásů proti vybočení.

Veškeré ztužení v konstrukci musí být provedeno tak, aby ve směru svého působení bylo dostatečně tuhé, proto je nutno například ztužení tlačných diagonál doplnit o diagonální prvky zabezpečující tuhost ztužidel.

Při výpočtu statického působení jednotlivých vazníků i celé konstrukce střechy včetně prostorového ztužení je možno používat lineární výpočty, nelineární výpočty podle teorie druhého řádu (geometrická nelinearita) a výpočet lineární stability pro zjištění vztahu mezi daným a kritickým zatížením konstrukce (i jako prostorové řešení rovinného vazníku) jako doplňku k lineárnímu návrhu konstrukce.

Ve výpočetních programech pro návrh a posouzení je často umožněno automatické generování podepření konstrukce z roviny vazníku v místech výztuh pásů a diagonál pro výpočet lineární stability a možnost uživatelského zadání podepření z roviny vazníku například v místech Ondřejských křížů.

Stabilitní výpočty by měly být nedílnou součástí návrhu štíhlých prutových konstrukcí, protože podávají z inženýrského hlediska řadu důležitých informací o možném chování navrhované konstrukce. Vztah mezi zatížením, které v daném okamžiku na konstrukci působí a zatížením kritickým, vedoucím ke ztrátě stability, je jedním z výstupů stabilitního výpočtu. Vlastní tvar vybočení potom dává jednak velmi dobrou představu o možném mechanismu porušení konstrukce ztrátou stability a zároveň umožňuje odhadnout charakter geometrických imperfekcí, které jsou pro uvažovanou konstrukci nebezpečné.

Na rozdíl od běžného výpočtu lineární statiky neplatí v lineární stabilitě princip superpozice. Výpočet se proto provádí pro jednotlivé kombinace zatížení. Ve výsledcích je potom každá kombinace charakterizována kritickým násobkem zatížení λ_{krit} a vlastním tvarem vybočení. Přitom pro každou kombinaci charakterizovanou skutečným zatížením by měla být hodnota součinitele λ_{krit} větší než 4. V opačném případě by se měl projektant zamyslet nad statickým návrhem konstrukce a statický model buď přeformulovat anebo uvažovat o možných konstrukčních úpravách.

Projektant by si měl být vědom skutečnosti, že rovinná konstrukce v rovině zatížená má tendenci vybočit z roviny konstrukce. Pokud je vybočení z roviny konstrukce zabráněno, je kritický násobek zatížení λ_{krit} výrazně vyšší.

Částečně s problematikou prostorového zabezpečení konstrukce souvisí také volba vhodného detailu uložení v podporách konstrukce (kotvení) a následná vazba na výpočetní model. Hlavní zásadou je zabezpečení předpokládaného působení podpory ve statickém modelu a také ve skutečném podepření vazníku. Nejčastějším modelem je prosté uložení v podporách. Výrobci kovových spojovacích prostředků pro dřevěné konstrukce dodávají v současnosti několik typů kluzných kotev splňujících požadavky na kvalitní provedení posuvných podpor.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován za podpory projektu výzkumu a vývoje ČVUT v Praze MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Literatura

- [1] Blass, H.J., Ehlbeck, J., Kurzweil, L.: Berücksichtigung der Momentübertragung von Nagelplattenverbindungen bei der Bemessung, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH), BRD 1997
- [2] Ellegaard, P.: Analysis of Timber Joints with Punched Metal Plate Fasteners, Aalborg University, Denmark 2001
- [3] Kevarinmäki, A.: Solution of Plastic Moment Anchorage Stress in Nail Plates, CIB-W18A, 26-14-4, Athens, USA 1993
- [4] O'Regan, Philip J. : Combined Tension and Bending Loading in Bottom Chord Splice Joints of Metal-Plate-Connected Wood Trusses, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, USA 1997
- [5] Richardson Underwood, C.: Permanent Bracing Design for MPC Wood Roof Truss Webs and Chords, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, USA 2000

WP 3 Využití odpadních hmot, recyklátů ve stavebnictví

Konstrukční vláknobeton s recyklovaným plnivem

Jaroslav Výborný, Jan Vodička, Hana Hanzlová

V příspěvku jsou prezentovány výsledky porovnávacích zkoušek objemové hmotnosti, pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku, pevnosti v příčném tahu, mrazuvzdornosti a vodotěsnosti odpovídajících normových těles jemnozrnných betonů a cihlobetonů nevyztužených i vyztužených polypropylenovými vlákny s různými dávkami záměsové vody a různým množstvím cementu. Experimentální měření a analýza výsledků ukazují, že recyklace stavební suť přináší zajímavé možnosti pro udržitelnou výstavbu zejména v silničních a vodních konstrukcích.

1. Úvod

Mezi perspektivní konstrukční betony lze řadit i betony s plnivem z recyklovaných materiálů, které umožní úsporu přírodních zdrojů kameniva. Přidanými rozptýlenými syntetickými vlákny se zpevní struktura betonu a z křehkého materiálu se stane materiál kvazihouževnatý, který vykazuje jak tahovou pevnost, tak duktilitu. Pro výrobu cihlobetonů byla použita čistá cihelná drť z pálené svisle děrované cihly typu Therm, pevnostní značky P10 a nečistá cihelná drť, tzn. stavební suť obsahující kusy cihel plných i děrovaných, pórobetonových tvárnic, keramických obkládaček a dlaždic, podkladních betonů, zásypů apod., rozdrčená v recyklačním středisku KARE Praha, s.r.o. na frakci 8/32.

2. Experimentální práce

Cílem experimentů bylo stanovit receptury cihlobetonů, které by zajišťovaly jejich vyšší pevnosti a trvanlivosti a porovnat jejich základní charakteristiky. Nečistá (smíšená) cihelná drť byla rozdrčena v laboratorní drtičce na frakci 0/8. protože se prokázala dobrá shoda v zrnitosti cihelné drtě a těžného kameniva frakce 0/4 s přidáním drčené frakce kameniva 4/8 v množství rovném zbytku cihelné drtě na síť 4 (obr. 1), bylo rozhodnuto, že budou sledovány vlastnosti obyčejného jemnozrnného betonu s přírodním kamenivem a vlastnosti cihlobetonu, kde inertní složkou bude pouze cihelná drť [1].

Jaroslav Výborný, Doc., Ing. CSc.

ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra stavebních hmot

Tháškova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice

Tel. : 224 354 447, fax : 224 354 446, e-mail : vyborny@fsv.cvut.cz

Jan Vodička, Doc., Ing., CSc., Hana Hanzlová, Ing., CSc.

ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra betonových a zděných konstrukcí

Tel. : 224 354 622, fax : 233 335 797, e-mail : jan.vodicka@fsv.cvut.cz

Tel. : 224 354 634, fax : 233 335 797, e-mail : hana.hanzlova@fsv.cvut.cz

Charakteristiky jednotlivých vstupních složek :

a) čistá cihelná drť (pálená svisle děrovaná cihla P10)

- prosévací zkouška → viz. čára zrnitosti obr. 1
- sypná hmotnost v setřeseném stavu $\rho_{t,k} = 1275 \text{ kg/m}^3$
- objemová hmotnost $\rho_{v,k} = 1770 \text{ kg/m}^3$
- nasákavost 35%

b) písek frakce 0/4 (Ostrožská Nová ves) a přírodní drť 4/8 (Zbraslav)

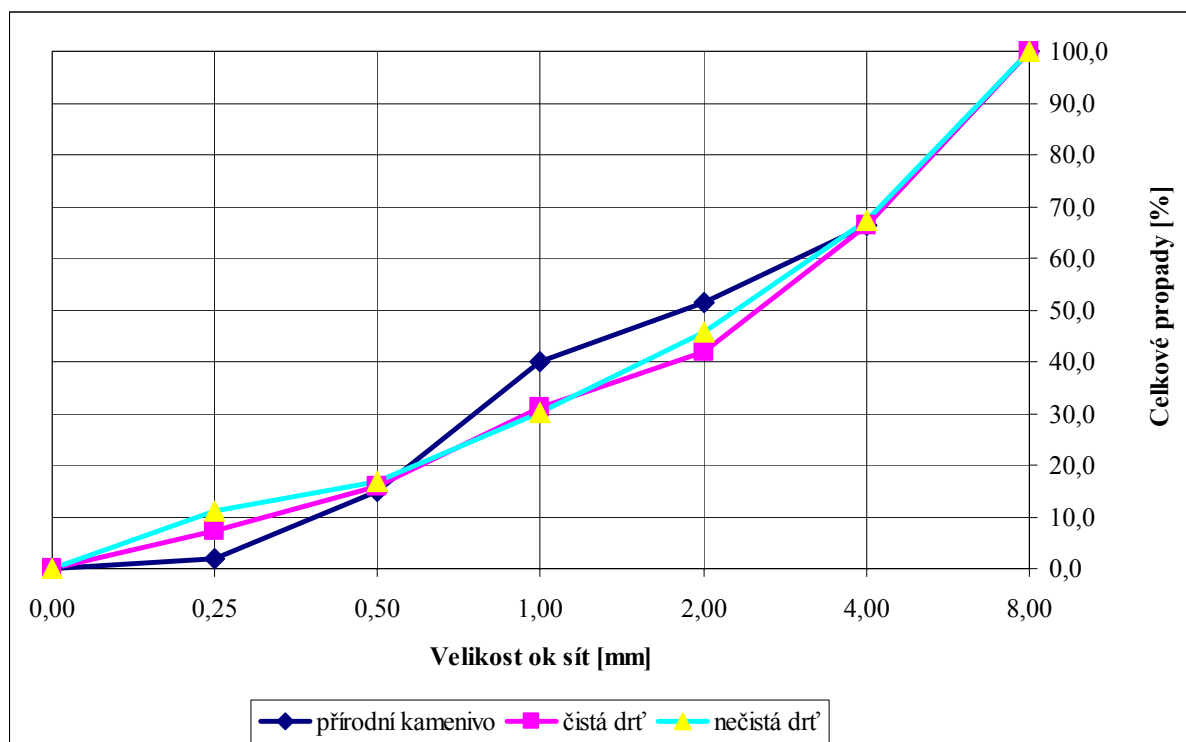
- prosévací zkouška → viz. čára zrnitosti obr. 1
- sypná hmotnost v setřeseném stavu $\rho_{t,k} = 1885 \text{ kg/m}^3$
- objemová hmotnost $\rho_{v,k} = 2568 \text{ kg/m}^3$

c) nečistá (smíšená) cihelná drť

- prosévací zkouška → viz. čára zrnitosti na obr. 1
- sypná hmotnost v setřeseném stavu $\rho_{t,k} = 1511 \text{ kg/m}^3$
- objemová hmotnost $\rho_{v,k} = 1695 \text{ kg/m}^3$

d) portlandský popílkový cement CEM II/B – V 32,5R

e) polypropylenová vlákna FORTA FERRO – 1% objemu



Obr. 1 Čáry zrnitosti čisté a nečisté drtě ze stavební suti a přírodního kameniva

V recepturách se měnila dávka záměsové vody a návrhové množství cementu na minimální hodnotu danou v ČSN EN 206-1. Rozumná dávka polypropylenových vláken FORTA FERRO z důvodu objasnění vlivu vláken byla $9,1 \text{ kg/m}^3$, což odpovídá 1% objemového vyztužení. Série mechanicko-

fyzikálních experimentů byla provedena na trácích normových velikostí 100 x 100 x 400mm po 28 dnech od jejich výroby. Pevnost v tlaku a pevnost v příčném tahu byla vždy odzkoušena na zlomcích tráců zbylých po čtyřbodové zkoušce pevnosti v tahu za ohybu, pro srovnání i na normových zkušebních krychlech.

3. Výsledky experimentů

Výsledky testování základních mechanicko-fyzikálních vlastností obyčejného betonu a cihlobetonu bez vláken a s vlákny jsou uvedeny v tab. 2a a 2b.

Tab. 2a Hodnoty základních mechanicko-fyzikálních vlastností zkoumaných betonů na normových tělesech 100x100x400 mm ve stáří 28 dní (jako průměr ze tří měření)

Vzorek	Vlastnost				
	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]		Pevnost v tlaku na zlomcích [MPa]	Pevnost v příčném tahu na zlomcích [MPa]
		1 břem.	2 břem.		
B OT beton bez vláken	2279	4,64	neměřeno	40,2	4,60
B 1T beton s vlákny	2299	4,83	6,36	46,0	4,62
B 2H beton s vlákny	2269	neměřeno	3,70	17,83	2,55
C OT cihlobeton bez vláken	1940	3,59	neměřeno	27,6	3,20
C 1T cihlobeton s vlákny	2035	4,13	4,77	29,3	4,06
C 2H cihlobeton s vlákny	1979	neměřeno	3,38	16,96	2,62
C 3T cihlobeton s vlákny	2062	neměřeno	4,53	26,27	3,51
C 4H cihlobeton s vlákny	2028	neměřeno	3,11	14,20	2,11

Tab. 2b Hodnoty základních charakteristik zkoumaných cihlobetonů orientačně zjištěných na krychlech 150x150x150mm ve stáří 28 dní a 3

měsíce (po zkoušce vodotěsnosti uvedené v závorce)			
Vzorek	Vlastnost		
	Objemová hmotnost [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v příčném tahu [MPa]
C 3T cihlobeton s vlákny	2092 (1988)	26,7 (neměřeno)	2,83 (2,62)
C 4H cihlobeton s vlákny	1988 (1923)	12,0 (neměřeno)	1,65 (1,68)

Rozdíly naměřených pevností cihlobetonů s užitím čisté a nečisté drti jsou závislé především na množství cementu a činí :

a) pro cihlobetony s vyšším množstvím cementu (označené CT)

- pevnost v tahu za ohybu 5,24 %
- pevnost v tlaku 10,24 %
- pevnost v příčném tahu 13,50 %

b) pro cihlobetony s nižším množstvím cementu (označené CH)

- pevnost v tahu za ohybu 7,98 %
- pevnost v tlaku 16,27 %
- pevnost v příčném tahu 19,47 %

Zkouška mrazuvzdornosti se prováděla po 50, 75 a 90 zmrazovacích cyklech podle ČSN 73 1322 : 1969 Stanovení mrazuvzdornosti betonu v laboratořích ČVUT v Praze, Kloknerově ústavu. Trámce vyztužené vlákny staré 3 měsíce byly po plném nasycení vodou zmrazovány na uvedené cykly a před mechanickým zkoušením byly změřeny, zváženy a byla stanovena jejich objemová hmotnost. Hodnoty pevností po uvedených cyklech jsou uvedeny v tab. 3, součinitelé mrazuvzdornosti jsou v tab. 4.

Tab. 3 Pevnosti pro jemnozrnný beton a cihlobeton s vlákny zjištěné na jednotlivých trámcích 100x100x400mm a jejich zlomcích ve stáří 3 měsíce

vzorek	Objemová hmotnost [kg/m ³]				Pevnost v tahu za ohybu [MPa]				Pevnost v tlaku na zlomcích [MPa]				Pevnost v příčném tahu [MPa]			
	bez zmrazování	50 c.	75 c.	90 c.	bez zmrazování	50 c.	75 c.	90 c.	bez zmrazování	50 c.	75 c.	90 c.	bez zmrazování	50 c.	75 c.	90 c.
B 1T s vlákny	2880	2292	2285	2308	6,29	6,22	4,92	4,38	54,7	52,8	51,3	50,8	4,95	5,5	4,5	2,7
B 2H s vlákny	2246	2270	2260	2257	3,68	3,38	3,56	3,47	23,4	22,8	22,3	23,4	2,7	2,6	2,5	2,5
C 1T s vlákny	1997	1977	1979	2004	5,04	4,47	4,47	4,57	71,7	64,7	59,5	63,2	4,4	3,7	3,5	3,4
C 2H s vlákny	1996	2004	1998	1997	3,95	2,96	3,19	3,31	25,4	21,7	20,9	23,1	2,75	2,2	2,3	2,7

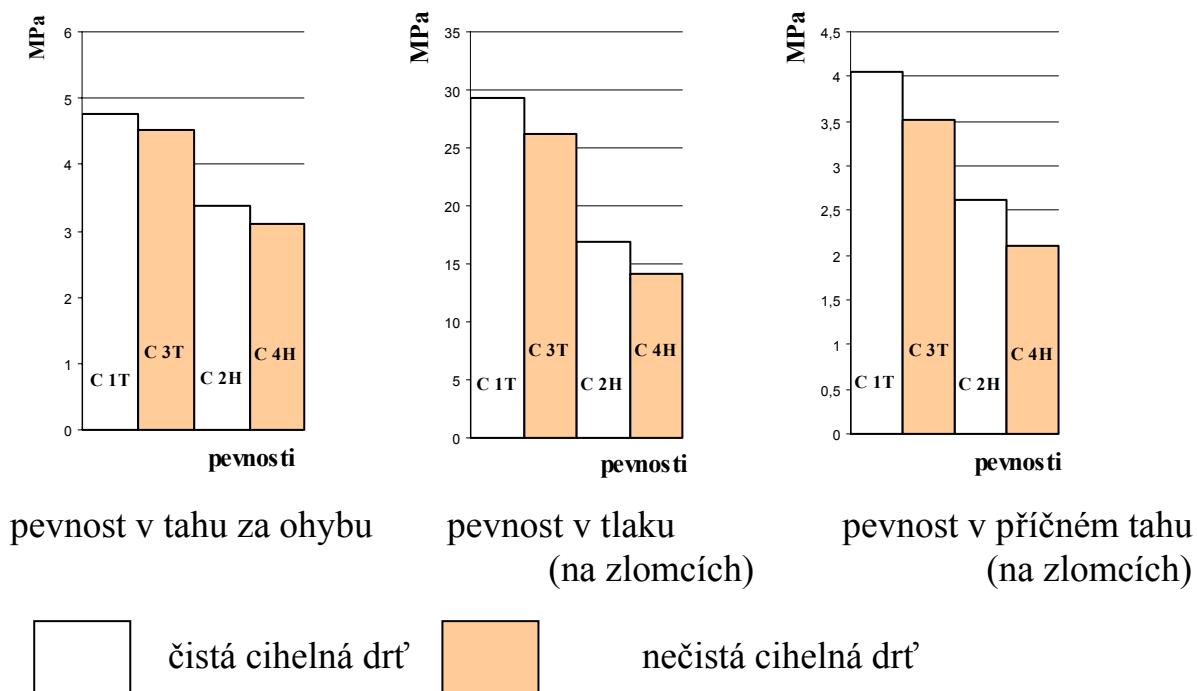
Tab. 4 Součinitelé mrazuvzdornosti zkoumaných betonů

Vzorek	Součinitelé mrazuvzdornosti								
	Pro tah za ohybu			Pro tlak			Pro příčný tah		
	50	75	90	50	75	90	50	75	90

B1T	0,99	0,78	0,70	0,97	0,94	0,93	1,11	0,91	0,55
B2H	0,92	0,97	0,94	0,97	0,95	1,00	0,96	0,93	0,93
C1T	0,89	0,89	0,91	0,90	0,83	0,88	0,84	0,80	0,77
C2H	0,75	0,81	0,84	0,85	0,82	0,91	0,80	0,84	0,98

4. Diskuze k výsledkům

Z analýzy vyplývá příznivý vliv vláken na tahovou pevnost tří zkoušených druhů betonu. Vliv jakosti cihelné drti je patrný z obr. 2.



Obr. 2 Porovnání základních charakteristik cihlobetonů s vlákny

Pevnost cihlobetonu byla nižší než v případě jemnozrnného betonu, což je dáno charakterem inertní složky, tj. cihelné drtě. Avšak pevnost cihlobetonu je dostatečná pro jeho využití v nenáročných konstrukcích. Dodržením technologického postupu výroby lze získat homogenní strukturu i u cihlobetonu jak bez vláken, tak s vlákny. Vláknová výztuž rozptýlená ve struktuře cihlobetonu mění charakter klasického porušení zkušebních těles. Vlákná mění (opačně) i hodnoty pevnosti v tahu za ohybu při zatěžování jedním nebo dvěma břemeny. V neposlední řadě lze cihlobeton vyrábět i bez drahých přísad. Podle ČSN 73 1322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu je beton mrazuvzdorný na ten počet cyklů, při kterém součinitel mrazuvzdornosti není menší než 0,75. Z výsledků je patrný výrazně vyšší součinitel mrazuvzdornosti pro tah za ohybu pro cihlobeton s vlákny s vyšší dávkou cementu v porovnání s obyčejným jemnozrnným betonem. Znamenalo by to jeho vyšší odolnost vůči účinkům střídavého zmrazování a rozmrazování díky příznivého vlivu vláken na tahovou pevnost. Snížení dávky cementu však tuto přednost potlačuje. Mrazuvzdornost

obyčejného jemnozrnného betonu z hlediska tlaku (a příčného tahu) se v našem případě ukazuje jako vyšší v porovnání s cihlobetonem. Uvedené výsledky je nutno vzít jako orientační, neboť byly zjištěny na malém počtu vzorků. Přesto jsou v tab. 4 uvedeny z důvodu přípravy budoucích experimentů. Pro zkoušku vodotěsnosti betonu podle ČSN 73 1321 : 1998 Stanovení vodotěsnosti betonu byly vybrány vzorky cihlobetonu s vlákny C 3T a C 4H z nečisté cihelné drti ve stáří 3 měsíce. Tři krychle o hrabě 150mm byly zatěžovány ve vodotlačné stolici 24 h vodním tlakem 0,1 MPa a dalších 24 h tlakem 0,2 MPa. Průsaky krychlemi dosáhly téměř k hornímu okraji a plocha každé příčným tahem rozlomené krychle byla z více jak 90% mokrá. S ohledem na výsledky zkoušek nelze hovořit o vodotěsnosti cihlobetonu s vlákny.

5. Závěr

Výsledky ukazují na malý rozdíl ve sledovaných pevnostech při použití čisté nebo nečisté cihelné drti. Absolutní hodnoty naměřených tahových pevností, které jsou předmětem zájmu vlastností kompozitu pro jeho aplikace, jsou poměrně vysoké při použití syntetických vláken. Je tudíž vysoce pravděpodobné, že tato kompozita budou vhodná i z ekologického hlediska pro nově budované silniční a vodohospodářské zemní objekty. Dosavadní výsledky zkoušek betonů s využitím drcené cihelné sutě ukazují, že výroba cihlobetonu s vlákny je v praxi reálná, a to i bez použití plastifikátoru a dalších přísad [2]. Aplikace cihlobetonu, především potom aplikace betonů, u nichž inertní složka bude složena z přírodního kameniva a cihelné sutě umožní regulovat charakteristiky betonů volbou hmotnostních poměrů těchto složek. To zvýší atraktivnost tohoto kompozita, neboť regulace jeho vlastností nebude záviset na změně hmotnostní dávky cementu, který je energeticky nejnáročnější složkou při výrobě betonu.

6. Fotodokumentace



Obr. 3 Nečistá cihelná drť frakce 8/32 rozdrobená v recyklačním středisku



Obr. 4 Nečistá cihelná drť předrcená v laboratorní drtičce na frakci 0/8



Obr. 8 Homogenita zkušebních těles
z cihlobetonu (C 3T)



Obr. 4 Homogenita zkušebních těles
z cihlobetonu (C 4H)

7. Acknowledgement

Příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného záměru 04 Udržitelná výstavba MSM 684 077 0005.

Literatura

- [1] VÝBORNÝ, J. – VODIČKA, J. – HANZLOVÁ, H. – KOLÁŘ, K. : Porovnání základních mechanicko-fyzikálních vlastností obyčejného betonu a cihlobetonu bez vláken a s vlákny. In : Sborník příspěvků 3. konference „Speciální betony“, Malenovice, září 2005, ČVUT v Praze a Sekurkon Ostrava, ISBN 80-86604-22-5, str. 98-105.
- [2] VÝBORNÝ, J. – VODIČKA, J. – HANZLOVÁ, H. : Využití cihelného recyklátu k výrobě vláknobetonu. In: Sborník příspěvků workshopu o VZ 04 „Udržitelná výstavba“, 29.11.2005, FSv ČVUT v Praze, Ediční středisko ČVUT Praha, ISBN 80-01-03395-3, str. 39-47

Dílčí výsledky sledování konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu v konstrukci pražcového podloží

Martin Lidmila

This article describes the basic information and the results of using of the fly ash stabilizers from the power plant Chvaletice in rail bed structure layers. In the text there are also mentioned the results of geotechnical tests on the fly ash stabilizers layer after 19 month of operation.

1. Úvod

V dubnu 2005 se Katedra železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze podílela v rámci stavby „Opravné práce v žst. Smiřice“ na realizaci zkušebního úseku ve staniční koleji č. 3 – Lidmila, Petrásek (2006). Cílem realizace zkušebního úseku je provozní ověření použití konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu v pražcovém podloží. V článku jsou uvedeny vybrané výsledky laboratorních a polních zkoušek provedených v intervalu duben 2005 až listopad 2006.

2. Popílkový stabilizát

Obecně lze popílkový stabilizát charakterizovat jako směs popílku (nebo popela) s pojivem (např. vápno, cement) a vodou. Popílkový stabilizát se zhutňuje jako zemní materiál a v čase dochází k nárůstu jeho pevnosti.

Na základě rozsáhlého laboratorního výzkumu (Lidmila 2005) byl pro zkušební úsek vybrán popílkový stabilizát z Elektrárny Chvaletice ve složení 3 % CaO, 52 % popílku, 25 % energosádrovce a 20 % vody. Podrobné informace o laboratorních vlastnostech popílkového stabilizátu z Elektrárny Chvaletice publikoval Lidmila (2006).

3. Plánovaný postup sledování zkušebního úseku

Pro dlouhodobé sledování konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu byl vypracován na dobu pěti let zkušební plán. Hlavní sledované vlastnosti konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu byly zvoleny:

- statické zatěžovací zkoušky na povrchu šterkodrtě,
- statické zatěžovací zkoušky na popílkovém stabilizátu,

Martin Lidmila, Ing., Ph.D.

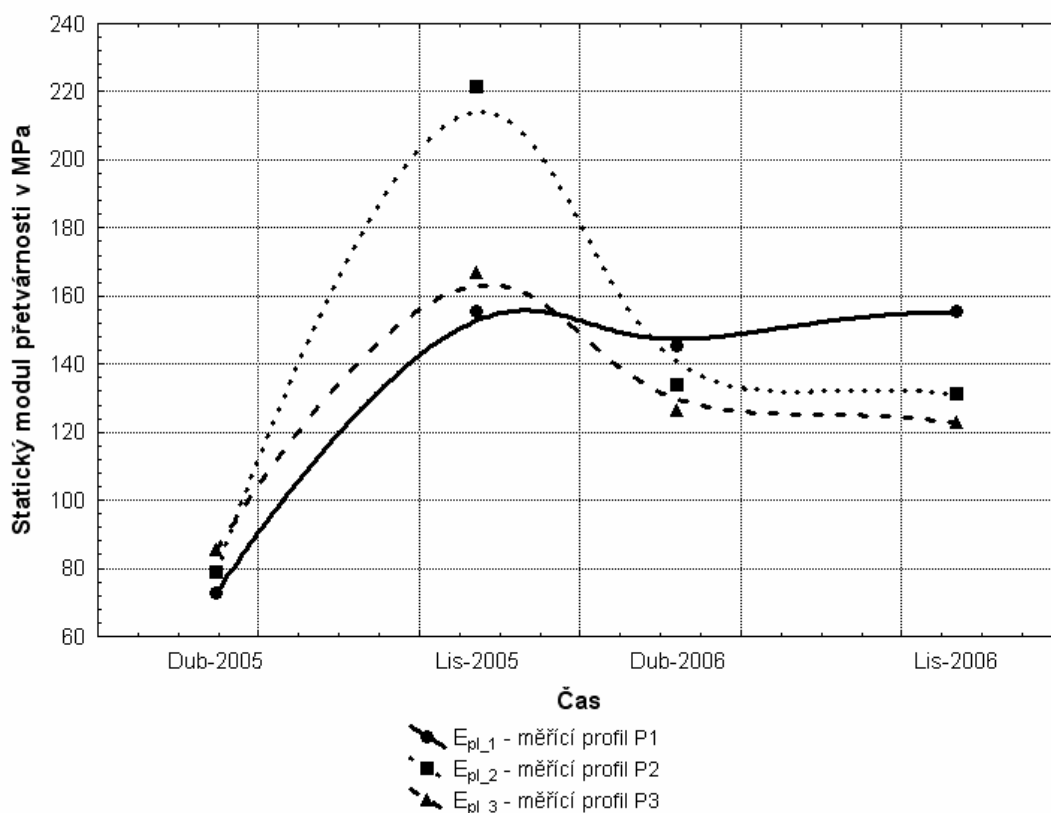
*ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra železničních staveb
Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice
tel.: 224 354 754, fax.: 224 354 755, e-mail: lidmila@fsv.cvut.cz*

- odběry popílkového stabilizátu pomocí technologie vývrtů,
- pevnost v prostém tlaku na zkušebních tělesech z vývrtů,
- propustnost na zkušebních tělesech z vývrtů,
- měření GPK měřicím vozíkem KRAB.

Navrhované zkoušky jsou prováděny vždy na jaře a na podzim každého roku. Do současné doby byly provedeny zkoušky v listopadu 2005, dubnu 2006 a listopadu 2006. Pro dlouhodobé sledování chování konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu byly na zkušebním úseku zvoleny tři měřicí profily označené jako P1 (km 32,978 000), P2 (km 33,108 000) a P3 (km 33,249 000).

4. Výsledky statických zatěžovacích zkoušek na povrchu šterkodrtě

V každém měřicím profilu tj. P1, P2 a P3 byly provedeny statické zatěžovací zkoušky v úrovni pláně tělesa železničního spodku E_{pl} - povrch šterkodrti. Zkoušky byly prováděny v sondách umístěných v mezipražcových prostorech tzv. oknech. Celkem bylo do dnešního dne provedeno 12 statických zatěžovacích zkoušek v období od dubna 2005 do listopadu 2006. Výsledky zkoušek jsou uvedeny na obr. 1.



Obr. 1 Výsledky statických zatěžovacích zkoušek na povrchu šterkodrti

Z obr. 2 vyplývají tyto závěry:

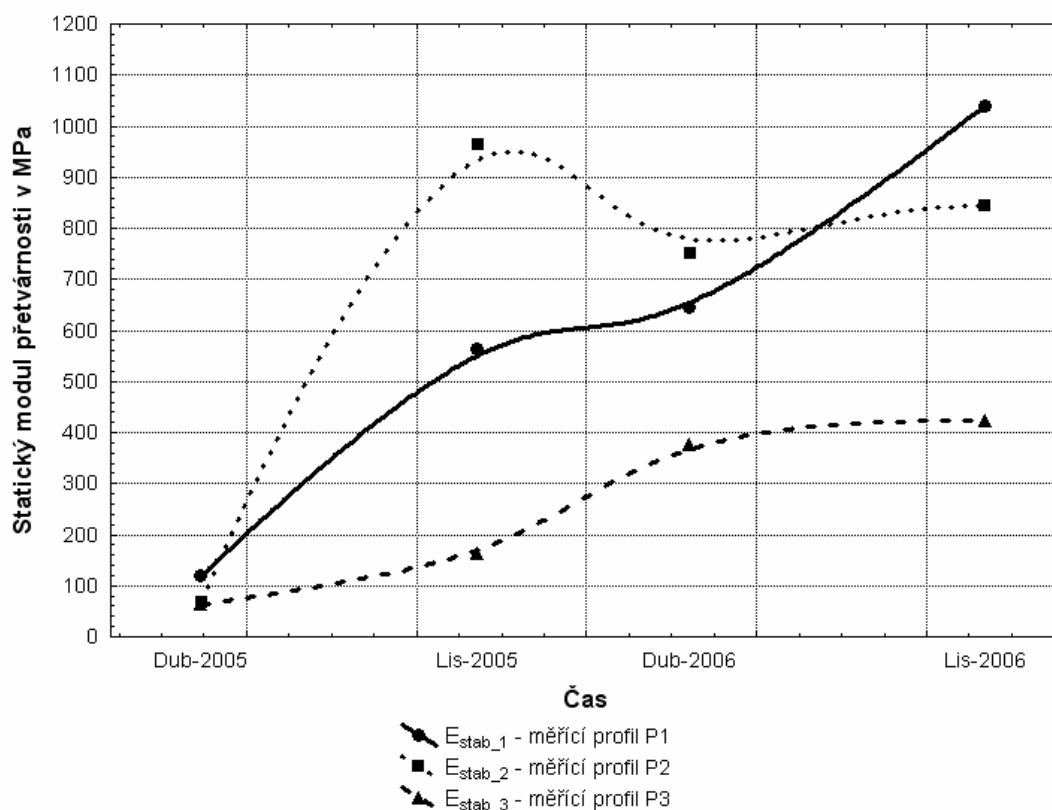
- během prvních cca 6 měsíců konstrukční vrstva ze šterkodrti vlivem provozu konsolidovala a statický modul přetvárnosti vzrostl průměrně o cca 130 %,
- vlivem zimního období doprovázeného nárůstem vlhkosti konstrukční vrstvy došlo na jaře 2006 k poklesu statických modulů přetvárnosti v průměru o 46,0 MPa na průměrnou hodnotu 135,0 MPa,
- průměrná hodnota modulu přetvárnosti v listopadu 2006 dosáhla hodnoty 136,0 MPa,
- po 19 měsících provozu již nedošlo u konstrukční vrstvy ze šterkodrti k nárůstům modulů přetvárnosti.

5. Výsledky statických zatěžovacích zkoušek na povrchu popílkového stabilizátu

V každém měřicím profilu tj. P1, P2 a P3 byla sonda po provedení statické zatěžovací zkoušky v úrovni pláne tělesa železničního spodku prohloubena na úroveň povrchu konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu. Na povrchu konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu byly provedeny statické zatěžovací zkoušky E_{stab} - povrch popílkového stabilizátu. Celkem bylo do dnešního dne provedeno 12 statických zatěžovacích zkoušek v období od dubna 2005 do listopadu 2006. Výsledky zkoušek jsou uvedeny na obr. 2.

Z obr. 2 vyplývají tyto závěry:

- ve všech měřicích profilech došlo po 19 měsících od realizace konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu k nárůstu modulu přetvárnosti,
- v měřicích profilech P2 a P3 lze dále předpokládat pouze minimální růst nebo stagnaci modulu přetvárnosti,
- v měřicím profilu P1 byla naměřena extrémně vysoká hodnota modulu přetvárnosti 1038,5 MPa.

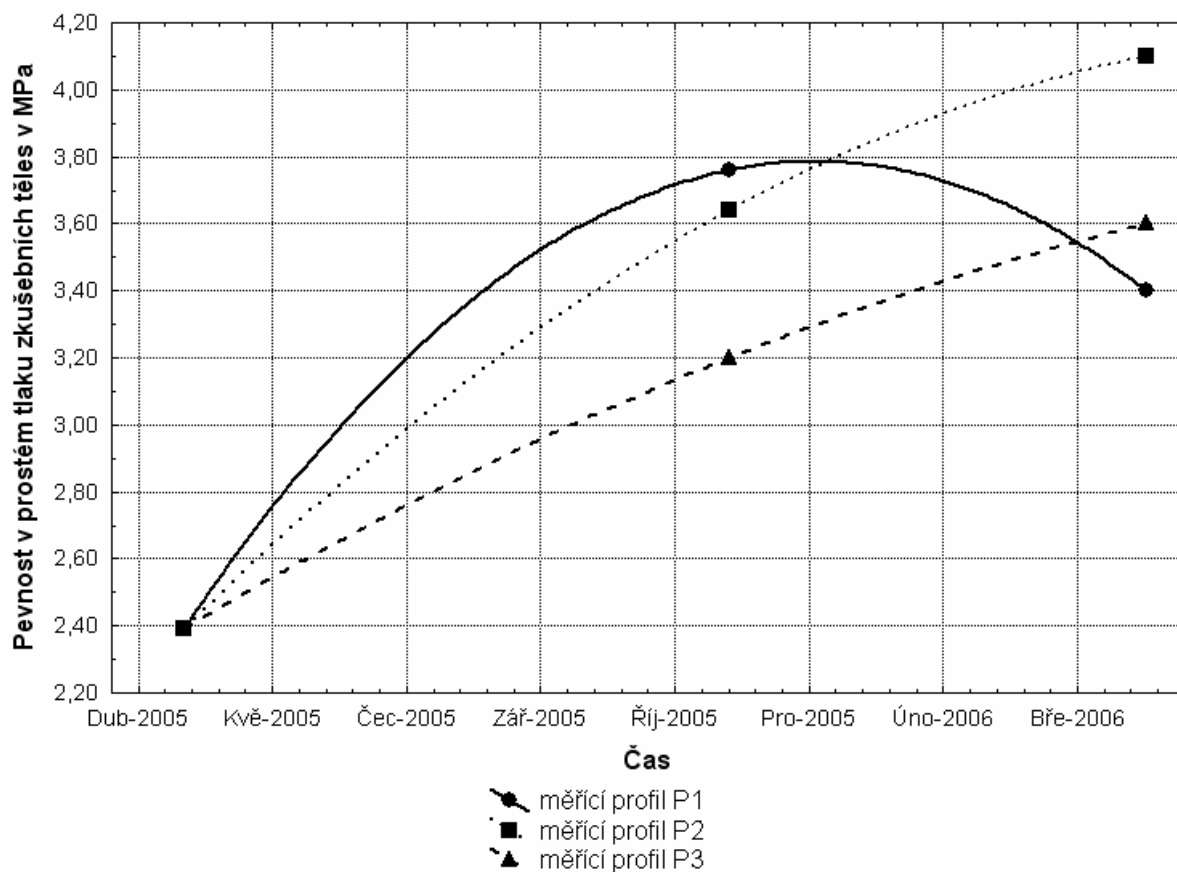


Obr. 2 Výsledky statických zatěžovacích zkoušek na povrchu popílkového stabilizátu

6. Výsledky měření pevností v prostém tlaku

Po provedení statických zatěžovacích zkoušek na povrchu popílkového stabilizátu byly provedeny odběry zkušebních vzorků. Zkušební vzorky popílkového stabilizátu byly odebrány pomocí speciální mobilní vrtací soupravy za použití vodního výplachu. Celkem byla v každé sondě odvrtána čtyři zkušební tělesa o průměru 100 mm a min. délce 200 mm. Vždy na třech tělesech byly provedeny laboratorní zkoušky pevnosti v prostém tlaku bez sycení vodou.

Celkem bylo do dnešního dne odzkoušeno 27 zkušebních těles. Zkušební tělesa odebraná v listopadu 2006 nebyla do zpracování textu odzkoušena. Průměrné hodnoty pevnosti v prostém tlaku jsou uvedeny na obr. 3.



Obr. 3 Výsledky průměrných pevností v prostém tlaku zkušebních těles z popílkového stabilizátu

Z obr. 3 vyplývají tyto závěry:

- v měřicích profilech P2 a P3 došlo i po zimním období 05/06 k mírnému nárůstu pevnosti v prostém tlaku na průměrnou hodnotu 3,60 MPa resp. 4,10 MPa,
- ve všech měřicích profilech lze dále předpokládat pouze minimální růst nebo stagnaci pevnosti v prostém tlaku,
- měřicí profil P1 nelze v současné době korektně hodnotit.

7. Výsledky měření propustnosti

V každém měřicím profilu bylo odebráno jedno zkušební těleso z popílkového stabilizátu na provedení zkoušky propustnosti. Technologie odběru zkušebních těles byla shodná jako u zkoušky pevnosti v prostém tlaku. Výsledky měření propustnosti jsou shrnuty v tab. 1.

Tab. 1 Výsledky měření propustnosti zkušebních těles z popílkového stabilizátu

Datum	Koeficient propustnosti v m.s ⁻¹			Průměrný koeficient propustnosti v m.s ⁻¹
	Měřicí profil P1	Měřicí profil P2	Měřicí profil P3	
14.11.2005	1,8 .10 ⁻⁷	1,0.10 ⁻⁸	9,8.10 ⁻⁸	9,6.10 ⁻⁸
19.4.2006	2,7.10 ⁻⁷	6,8.10 ⁻⁹	1,8.10 ⁻⁷	1,42.10 ⁻⁷

Uvedené výsledky koeficientu propustnosti v intervalu $1,42 \cdot 10^{-7}$ až $9,6 \cdot 10^{-8}$ potvrzují, že provedenou konstrukční vrstvu z popílkového stabilizátu lze charakterizovat jako málo propustnou až nepropustnou pro vodu.

8. Závěr

Uvedené výsledky laboratorních a polních zkoušek prokázaly, že konstrukční vrstva z popílkového po 19 měsících provozu (včetně jednoho zimního období) je stabilní a její mechanicko-fyzikální vlastnosti se nezhoršují.

Pro komplexní zhodnocení konstrukční vrstvy z popílkového stabilizátu v pražcovém podloží budou i v dalších letech prováděna uvedená měření.

Článek vznikl v rámci „Výzkumného záměru – Udržitelná výstavba MSM 6840770005“.

Použitá literatura:

- LIDMILA, M., PETRÁSEK, A, 2006: Aplikace popílkového stabilizátu při sanaci pražcového podloží, NŽT 1/2006, ISSN 1210, str. 19-25.
- LIDMILA, M., 2005: Disertační práce. Ekologické využití vedlejších energetických produktů v konstrukci pražcového podloží, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 143 s.
- LIDMILA, M., 2006: Použití popílků v konstrukci tělesa železničního spodku, Seminář „Železniční dopravní cesta 2006“ – Sborník přednášek, Ostrava, 2006, ISBN 80-85104-85, str. 64-72.
- TP 93 – Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů (účinnost od 1.5.2003).

**WP 4 Přírodní katastrofy (nehody, požáry) – optimalizace
ochrany, interakce s konstrukcemi**

Ekonomické rizikové faktory trvale udržitelné výstavby

Jaroslav Klvaňa

1. Proč je výstavba na brownfields z ekonomického hlediska rizikovější než na greenfields

- Fáze zrodu investičního projektu výstavby na brownfields – investování: Nejistá je již sama počáteční hodnota investice (na rozdíl od investování do výstavby na greenfields a tím spíše na rozdíl od investice do finančních aktiv), navíc bývá zpravidla rozložena v čase.
- Fáze života investičního projektu výstavby na brownfields – realizace hotovostních toků: Příjmy i výdaje v budoucnosti jsou nejistější než u výstavby na greenfields.
- Fáze likvidace (úmrtí) investičního projektu – obvykle prodej: Ze stejných důvodů, jako hotovostní toky ve fázi života, je příjem z likvidace investičního projektu výstavby na brownfields obvykle také nejistější než u likvidace investičního projektu výstavby na greenfields.

Existuje více možností hodnocení vhodnosti (efektivnosti) investičního projektu ze strany investora. Jednou z nich je klasická metoda čisté současné hodnoty soustavy hotovostních toků (Net Present Value - NPV).

2. Sestavení deterministického matematického modelu výpočtu NPV

V deterministickém matematickém modelu vystupují pouze **deterministické** veličiny a parametry. V deterministickém modelu výpočtu *čisté současné hodnoty* (*Net Present Value - NPV*) systému hotovostních toků spjatých s investičním projektem (záměrem) je hodnota *NPV* dána známým vztahem

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t}$$

kde CF_t je (předpokládaný) *hotovostní tok (cash flow)* v období (periodě) t -tém, a k je (předpokládaný) *alternativní náklad (cena) kapitálu* resp. (předpokládaná) *úroková míra*.

Z výše uvedeného vztahu pro *NPV* je zřejmé, že dosazujeme – li do něj deterministické veličiny CF_t resp. k , tedy **čísla**, je i *NPV* deterministickou veličinou, tedy **číslem**. Jedná se tedy skutečně o deterministický model, a to

navzdory faktu, že do odhadu veličin CF_t resp. do odhadu k již bývá různým způsobem riziko zakalkulováno.

Protože však se naše úvahy týkají budoucnosti, je situace komplikovanější, neboť budoucnost je vždy nejistá: Jak CF_t , tak i k již v tom případě nejsou veličinami deterministickými, nýbrž **veličinami náhodnými**, neboli – v terminologii *analýzy rizika* – **rizikovými faktory**. V důsledku toho je ovšem také výsledná čistá současná hodnota NPV **náhodnou veličinou**.

Cílem v případě tohoto *stochastického modelu* je

- Nalezení rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny NPV .
- Analýza tohoto rozdělení za účelem lepší predikce efektivnosti investice, aby bylo možno včas rozpoznat hrozbu eventuální záporné NPV a realizovat eventuální řídicí zásahy ze strany investora.

K řešení této stochastické úlohy lze s výhodou použít metodu *Monte Carlo*.

3. Sestavení stochastického matematického modelu

Deterministický model je uspokojivý pouze tehdy, lze-li ohodnotit (ocenit) všechny parametry, v něm se vyskytující, skutečně bez závažných nepřesností **deterministicky**, tj. ohodnotit a chápat je jako veličiny *deterministické*, nikoliv *náhodné*.

Při sestavování **stochastického modelu** se však některé, (případně všechny) parametry matematického modelu, které se v předchozím bodě považovaly za deterministické, nahrazují parametry **stochastickými**. Jinými slovy – každý *stochastický parametr* (tj. v terminologii teorie pravděpodobnosti *náhodná veličina*, v terminologii *analýzy rizika* *rizikový faktor*) musí být dokonale charakterizován z hlediska teorie pravděpodobnosti, tj. v každém případě musí být charakterizován alespoň svým rozdělením pravděpodobnosti, ale popřípadě také dalšími charakteristikami (například korelací mezi jednotlivými faktory případně korelací v rámci jednoho faktoru z hlediska časové dimenze a podobně).

Pro praktické potřeby exaktní analýzy rizika je nezbytné umět zkonstruovat (vypočít) rozdělení náhodné veličiny Y , jež je funkcí jiných náhodných veličin X_i :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Pro speciální případy funkce f (například pro součet, součin a podíl nezávislých náhodných veličin jsou tyto výsledky známy – viz například [Rényi, A. 1972]. V případě složitějších funkcí resp. pro případ stochastické závislosti (korelace) náhodných veličin tyto výsledky obvykle chybějí.

Jako prakticky jedině realizovatelný postup se tudíž jeví provést simulační výpočet metodou Monte Carlo na počítači - podrobněji viz níže.

4. Výpočty s využitím simulace metodou Monte Carlo

Z hlediska uživatelů každého modelu je důležité, aby model byl uživatelsky přátelský (*user friendly*), a to jak na vstupu - tedy co se týče zadávaných vstupních dat do modelu, tak i na výstupu - tedy co se týče snadné čitelnosti a interpretovatelnosti výsledků.

Vstupní rizikové faktory

Z hlediska zadávání vstupních dat bylo při návrhu a tvorbě simulačního modelu nutno nejdříve uvážit, jaké zadávání vstupních dat by bylo pro uživatele jednoduché a pokud možno přirozené. Nejjednoduššími a nejpřirozenějšími byly shledány dvě možnosti (princiálně je ovšem možno zadávat rizikové veličiny i jiným způsobem):

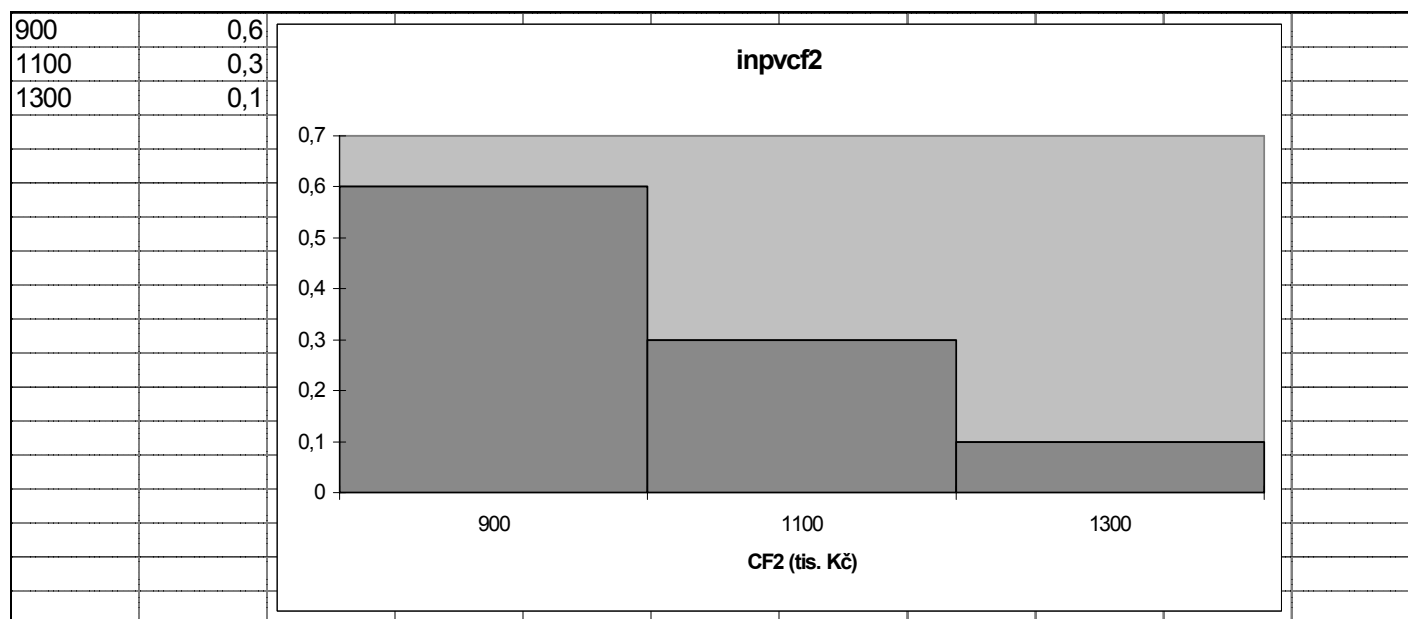
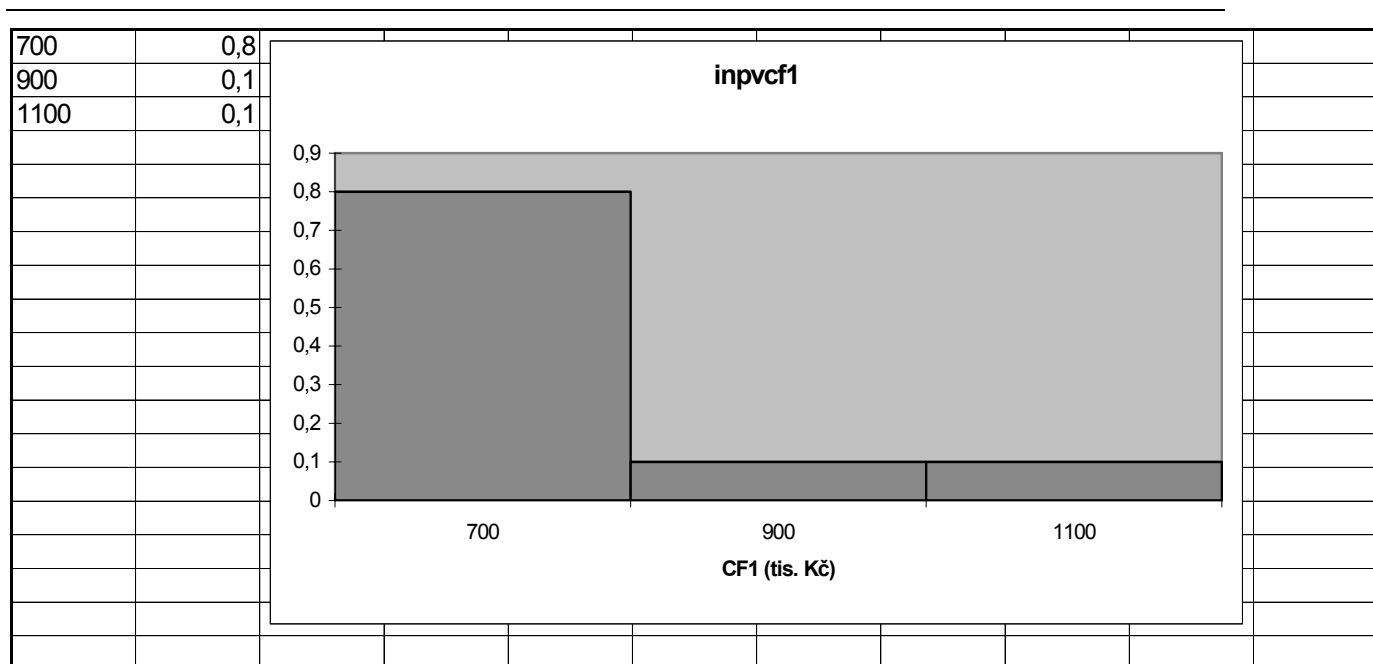
- Zadání náhodných veličin (rizikových faktorů) pomocí histogramů.
- Zadání náhodných veličin (rizikových faktorů) normálním (Gaussovým) rozdělením.

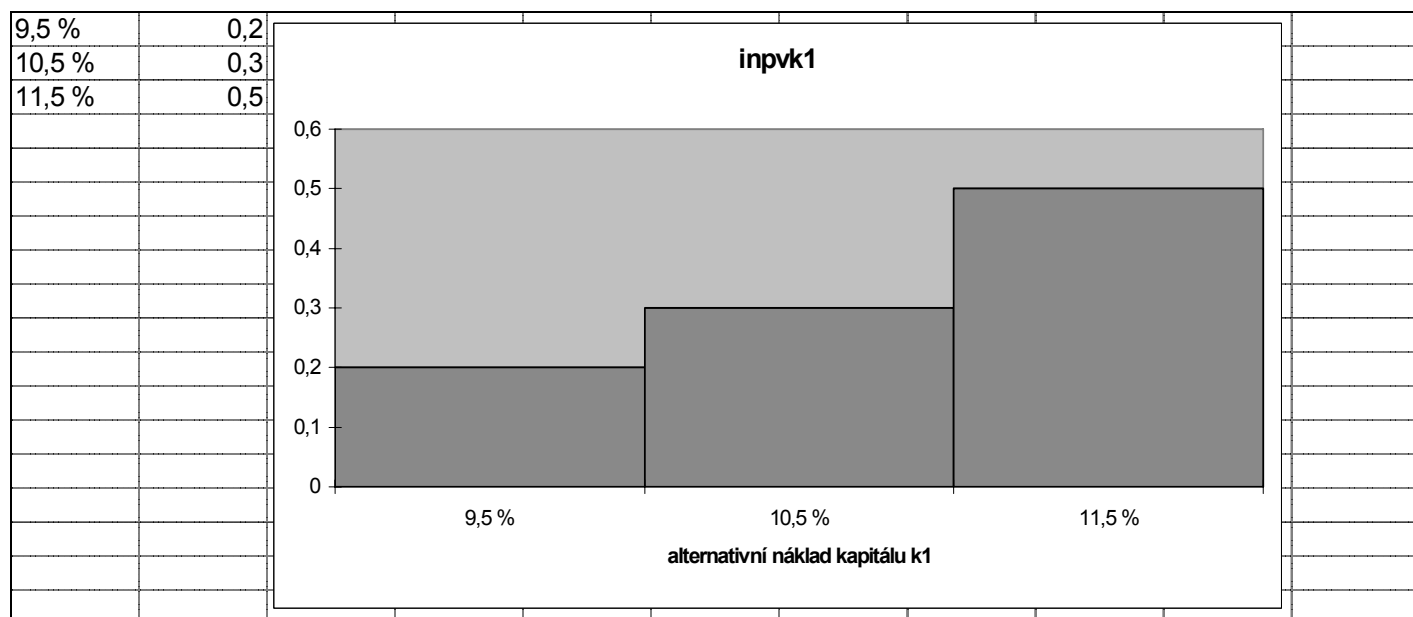
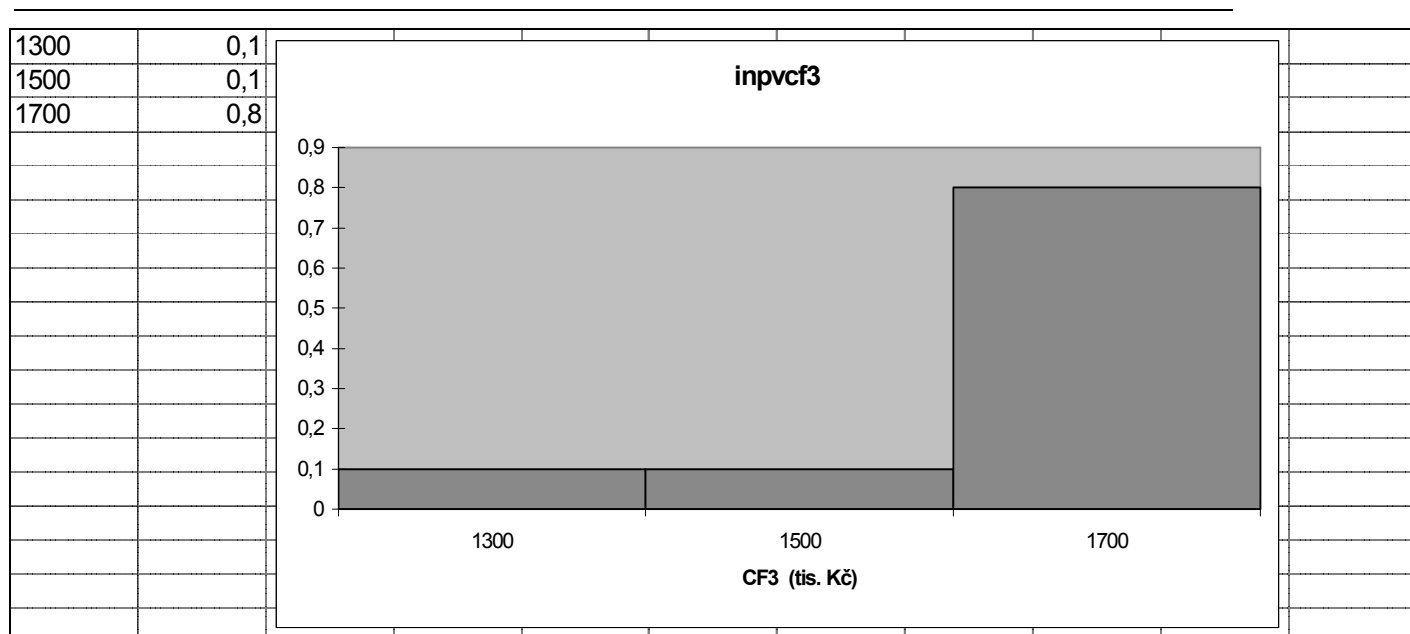
V dalším si všimneme pouze první možnosti.

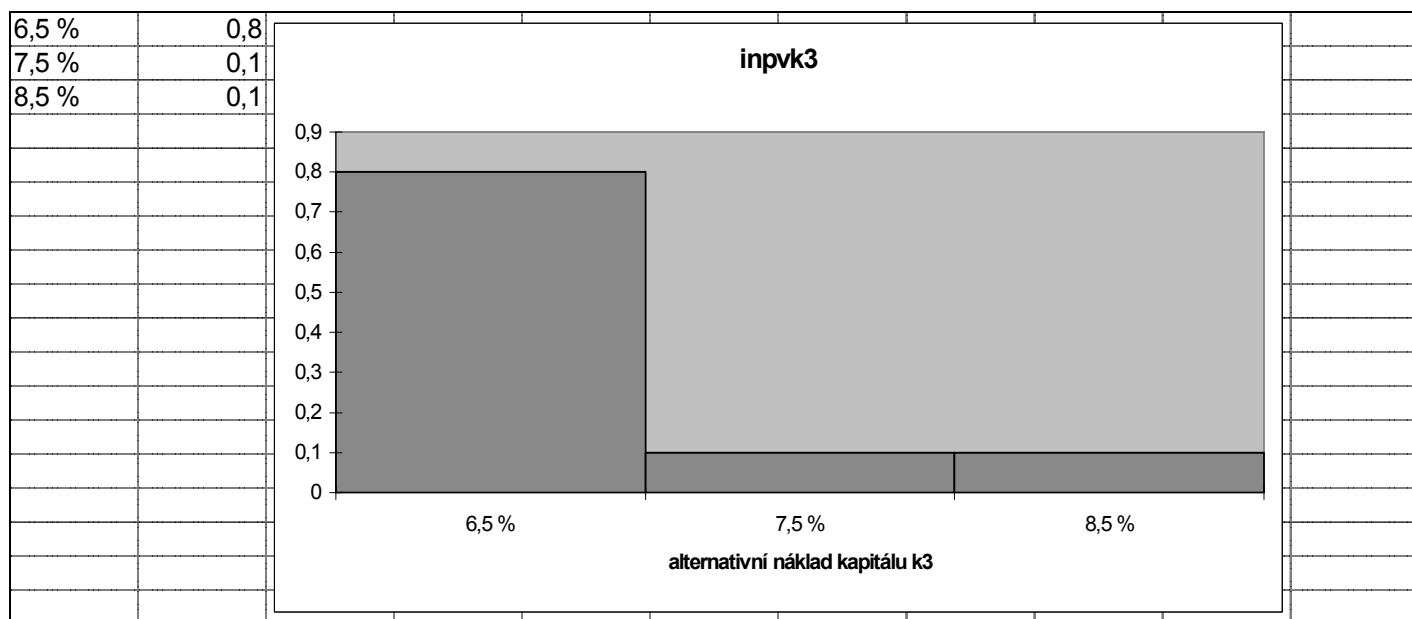
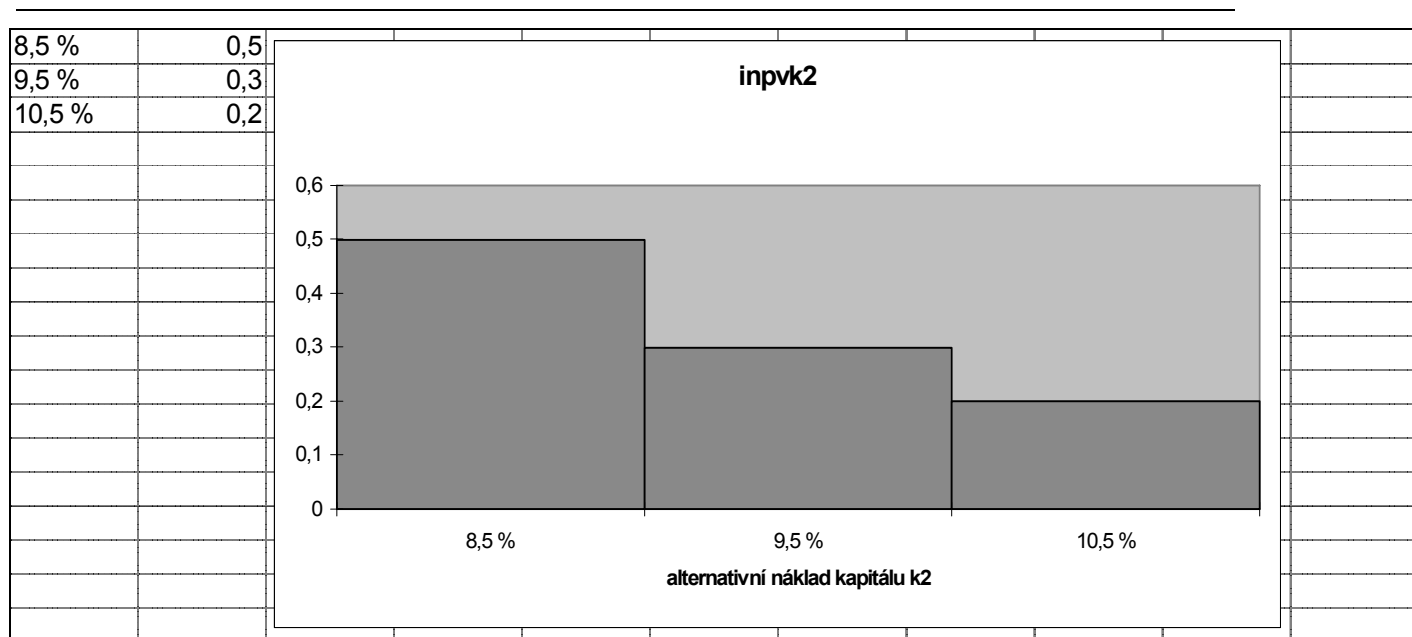
Hustoty rozdělení obou náhodných veličin (rizikových faktorů) *Cash Flow (CF)* i alternativního nákladu kapitálu (k) ve vztahu pro výpočet *NPV* (odst. 2) jsou zadávány jako **po částech konstantní** (neboli hustotou je vždy *histogram*).

Takovýto způsob zadávání plně vyhovuje zejména pro svou jednoduchost a uživatelskou přátelskost. Níže uvedeme příklad histogramů náhodné veličiny *cash flow (CF)* a *alternativního nákladu (ceny) kapitálu k* pro počet období (let) $n = 3$.

Níže uvedené histogramy reprezentující vstupní náhodné veličiny (rizikové faktory) do modelu jsou samovysvětlující.

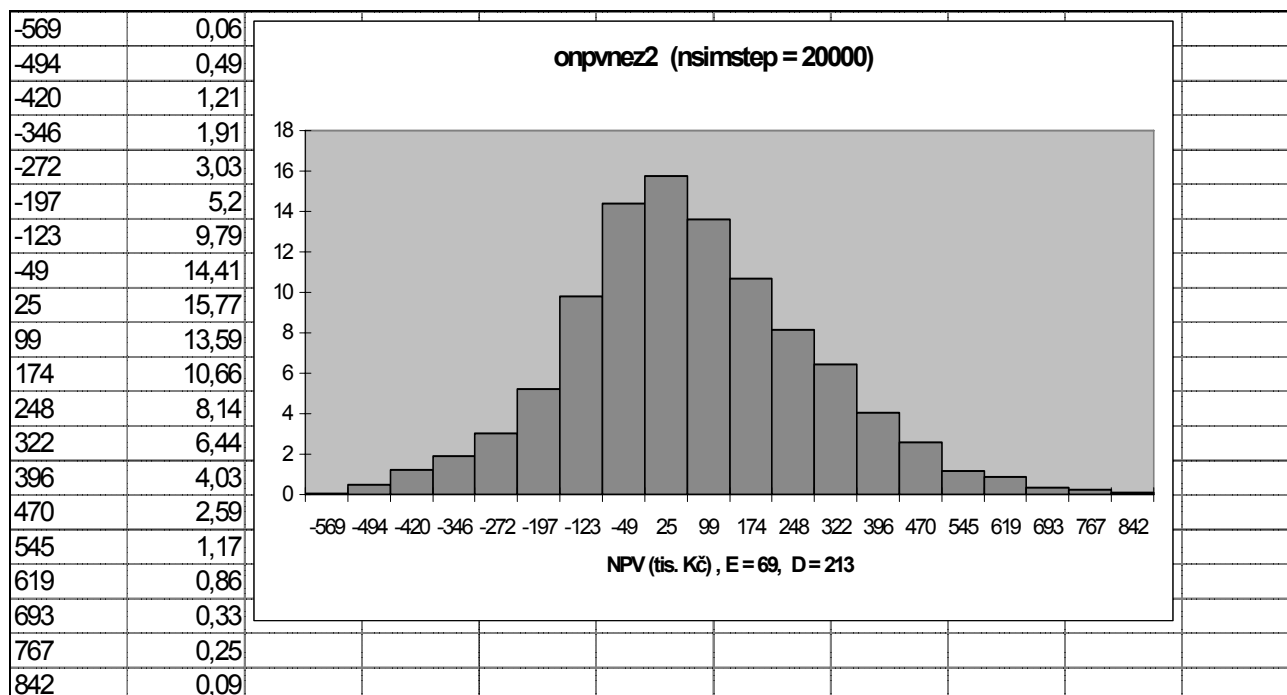






Dosažené výsledky

Grafickým znázorněním dosažených výsledků je níže uvedený histogram (tedy empirická hustota) **onpvnez2.xls** náhodné veličiny NPV pro počet simulačních kroků **nsimstep** = 20000.



Podrobnou analýzou tohoto histogramu lze zodpovědět řadu praktických dotazů, například:

- Jaká je pravděpodobnost dosažení kladné čisté současné hodnoty NPV?
- Jaké jsou eventuální následky dosažení záporné NPV?
- Kde jsou kritická místa faktu, že hodnoty sledované náhodné veličiny NPV by mohly být záporné?
- Jakými opatřeními lze zvýšit pravděpodobnost jevu, že hodnoty sledované náhodné veličiny NPV budou kladné?

Použitá literatura:

- [Flanagan, R., Norman, G., 1993]: Risk Management and Construction. Blackwell Science, 1993.
- [Fotr, J. 1992]: Jak hodnotit a snižovat podnikatelské riziko. Management Press, Praha 1992.
- [Klvaňa, J. 1997]: Analýza rizika. In: Systémový model soutěže v technickém rozvoji. ES ČVUT, Praha 1997.
- [Rényi, A. 1972]: Teorie pravděpodobnosti. Academia, Praha 1972.

Metodika hodnocení efektivity protipovodňových opatření

Pavel Fošumpaur

This contribution describes a new approach of the flood protection evaluation which is based on the risk analysis and it allows an objective assessment of the flood protection efficiency in the given locality. The method is based on costs-benefits analysis when costs are given by overall investment of flood protection measure and for evaluating of benefits the risk analysis is used.

1. Úvod

Příspěvek ve stručnosti seznamuje s vývojem, filozofií a zkušenostmi s využitím metodiky hodnocení ekonomické efektivity protipovodňových opatření (PPO), která byla vyvinuta na katedře hydrotechniky, ČVUT v Praze. Metodika původně vznikla na podnět MZe ČR pro účely hodnocení PPO zařazených do II. etapy programu Prevence před povodněmi. Princip metody je založen na analýze nákladů a užitků, kdy náklady jsou dány celkovou hodnotou investice posuzovaného opatření, popř. jeho variant a pro vyčíslení užitků je použita metoda rizikové analýzy. Výpočet povodňového rizika spočívá ve vyčíslení povodňových škod za současného uvážení pravděpodobnosti jejich výskytu.

Aplikace metody nákladů a užitků umožňuje objektivní zhodnocení individuálních podmínek jednotlivých lokalit, které vyplývají zejména z plošné distribuce majetku v záplavových územích o různé pravděpodobnosti zaplavení. Efektivnost protipovodňových opatření pak spočívá především v zodpovězení otázky zda má realizace navrženého protipovodňového opatření smysl. Tedy zda náklady na realizaci PPO nejsou nepřiměřené v porovnání s hodnotou chráněného majetku. Případně za existence několika variant PPO v dané lokalitě jde o otázku, která varianta je ekonomicky optimální.

2. Vývoj metodiky

Základním kamenem hodnocení ekonomické efektivity PPO je dostatečně spolehlivý odhad potenciálních povodňových škod z zájmových lokalitách. Výzkum v této oblasti má na katedře hydrotechniky dlouholetou tradici a jeho počátky sahají do roku 1996. V rámci výzkumu byla rozvíjena metoda ztrátových křivek, jejichž průběh byl odvozen podrobným místním šetřením v řadě pilotních lokalit pro různé typy bytových a průmyslových objektů. V posledních letech byla pozornost zaměřena rovněž na vývoj softwarového rozhraní na bázi GIS, které umožnilo plošné nasazení metodiky.

Druhou podstatnou součástí metodiky je hodnocení ekonomické efektivity metodou nákladů a užitků. Impulsem pro vývoj byla potřeba objektivního ekonomicky orientovaného hodnocení rozsáhlého počtu stavebních akcí v rámci II. etapy programu Prevence před povodněmi. MZe ČR na podnět Evropské investiční banky (EIB) rozhodlo o potřebě takového hodnocení navržených PPO koncem roku 2004. Tento nový systém hodnocení představuje podstatné zobjektivnění a zprůhlednění procesu posuzování navržených PPO oproti hodnocení akcí zařazených do I. etapy programu.

První verze metodiky byla vypracována v lednu 2005 a obsahovala již i návrh hodnocení ostatních neekonomických ukazatelů navržených PPO, zejména úrovně technického řešení a environmentálních dopadů. Tato první verze byla podstoupena širší odborné diskusi se správci významných a drobných vodních toků, kterou koordinovalo MZe ČR (Odbor programového financování ve vodním hospodářství). Konečná verze metodiky byla schválena MZe ČR v létě 2005 a byla využita pro hodnocení PPO zařazených do II. etapy programu Prevence před povodněmi.

Metodika je přílohou usnesení vlády č.496/2006 ze dne 10. května 2006, ve kterém vláda schvaluje financování protipovodňových opatření zajišťovaných MZe ČR a rovněž je přílohou materiálu „Dokumentace programu Prevence před povodněmi – II. etapa“, který byl schválen usnesením vlády ČR dne 15. listopadu 2006 č. 1304.

V září 2006 byla metodika prezentována v sídle Evropské investiční banky (EIB) v Lucembursku. Jednání proběhlo za účasti vedoucího divize úvěrových operací pro Českou a Slovenskou republiku pana Cingolaniho a dalších zástupců EIB. Na setkání byly představeny základní principy metodiky, včetně několika případových studií a způsob konstrukce pořadí navržených PPO. Lze konstatovat, že metodika byla úspěšně obhájena a na podnět EIB bude doporučena dalším zemím.

3. Základní princip metodiky

Princip metody je založen na analýze nákladů a užitků, kdy náklady vycházejí ze zpracovaného rozpočtu a měly by obsahovat nejen stavební náklady, ale také další výdaje (projektová dokumentace, územní řízení, výkupy pozemků, ad.). Užitky z protipovodňového opatření (PPO) jsou hodnoceny vyčíslením povodňového rizika. Metoda rizikové analýzy umožňuje objektivně vyhodnotit povodňové škody způsobené povodněmi s různou pravděpodobností výskytu. Hodnotu průměrného ročního rizika lze řešit buď numerickou integrací nebo stochastickou simulací Monte-Carlo.

Pro odhad povodňových škod jsou klíčovým podkladem stanovená záplavová území podle Vyhlášky 236/2002 Sb. Rozsah škod se určí hydraulickou analýzou pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} (popř. i pro jiné), a to pro současný stav a pro stav po realizaci navrženého PPO. Stanovení potenciálních povodňových škod je provedeno na základě údajů z GIS, založených na datech o území z mapového podkladu ZABAGED, která umožní rozlišení jednotlivých objektů podle kategorií klíčových pro jejich ocenění. Pro posouzení počtu ohrožených obyvatel jsou data doplněna o podklady z Registru sčítacích obvodů a pro vyhodnocení průmyslových škod je využita databáze Registru ekonomických subjektů. Pro spolehlivější určení rozsahu povodňových škod je zpravidla důležité místní šetření v zájmové lokalitě, které umožní zohlednění skutečného stavu objektů, charakter průmyslové výroby a další aspekty.

Škody pak ovlivňuje zejména hloubka vody, dále pak rychlost proudění, popř. doba trvání povodně. Následně je určen rozsah škod v jednotlivých kategoriích, tedy např. na různých typech objektů (obytná zástavba, průmyslová zástavba, atd.), infrastruktura a zemědělsky využívaných plochách v záplavovém území. Postup zpravidla vychází z vyčíslení tzv. faktoru poškození, který určuje poměrnou škodu na objektu a nabývá hodnot z intervalu (0,1). Škoda je pak dána součinem faktoru poškození a hodnoty tzv. maximálního poškození, které vyjadřuje část celkové hodnoty objektu, která je povodní zničena a musí být nahrazena nebo rekonstruována. Hodnota faktoru poškození je zpravidla odečítána z tzv. ztrátových křivek, které vyjadřují závislost faktoru poškození na hloubce zatopení objektu z dané kategorie.

Pro výpočet současné hodnoty rizika (kapitalizované riziko) je použit diskontní přístup. Výpočet kapitalizovaného rizika je ovlivněn velikostí diskontní sazby. Na základě vývoje diskontní sazby v ČR podle informací ČNB a vzhledem k dalšímu předpokládanému vývoji je uvažována jednotná hodnota diskontní sazby ve výši 3%. Současná hodnota rizika (kapitalizované riziko) vychází ze vztahu pro výpočet věčné renty:

$$R_s = \frac{R}{DS} \quad (2)$$

kde	R_s ... současná hodnota rizika,	[Kč]
	R ... průměrné povodňové riziko na rok,	[Kč]
	DS ... roční diskontní sazba v desetinném tvaru.	[-]

Pro posouzení navržených PPO pomocí metody nákladů a užitků je použit následující systém ukazatelů, který vychází ze standardních postupů vyčíslení ekonomické efektivity investic.

a) Poměrový ukazatel efektivity PPO.

$$PU = \frac{R_s(\text{bez PPO}) - R_s(\text{po realizaci PPO})}{I} \quad [-] \quad (3)$$

kde $R_s(\text{bez PPO})$ současná hodnota rizika před realizací PPO, [Kč]
 $R_s(\text{po realizaci PPO})$... hodnota kapitalizovaného rizika po realizaci PPO, [Kč]
 I ... celkové náklady na realizaci PPO. [Kč]

Ukazatel PU vyjadřuje poměrnou ekonomickou efektivity opatření pomocí bezrozměrné veličiny, která udává o kolik bude sníženo současné riziko jednou korunou investice. V případě, že PU nabývá hodnot větších než 1, jde z dlouhodobého hlediska o rentabilní investici a naopak.

b) Absolutní ukazatel efektivity PPO.

$$AU = R_s(\text{bez PPO}) - \{I + R_s(\text{po realizaci PPO})\} \quad [\text{Kč}] \quad (4)$$

Ukazatel popisuje finanční efekt navrženého PPO z dlouhodobého hlediska ve finančních jednotkách. Kladné hodnoty ukazatele svědčí o ekonomické rentabilitě opatření, záporné hodnoty naopak svědčí o ekonomické nevýhodnosti realizace takového opatření.

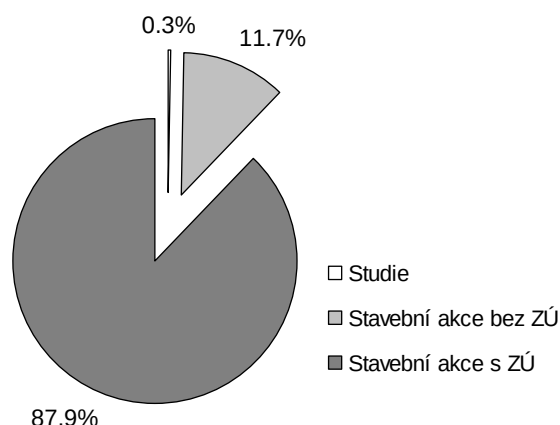
c) Doba návratnosti.

$$DN = \frac{I}{R(\text{bez PPO}) - R(\text{po realizaci PPO})} \quad [\text{roky}] \quad (5)$$

Tento ukazatel slouží pro orientační vyčíslení ekonomické efektivity PPO pomocí doby návratnosti. Porovnání doby návratnosti jednotlivých PPO s mezními únosnými hodnotami podle tuzemských a zahraničních zkušeností poskytne další nástroj pro objektivní posouzení akcí v mezinárodním kontextu. Ve vztahu jsou použity hodnoty průměrného ročního rizika.

4. Aplikace metodiky

První aplikací metodiky pro hodnocení ekonomické efektivity PPO bylo posuzování souboru akcí v rámci **II. etapy programu Prevence před povodněmi**. Za tímto účelem byl ustaven institut tzv. strategického experta, který zahrnuje dva týmy. Tým katedry hydrotechniky ČVUT Praha, který je zodpovědný za posuzování akcí státních podniků Povodí Labe, Povodí Vltavy a Povodí Ohře a českých poboček ZVHS a podniku Lesy ČR. Druhým týmem je Ústav vodních staveb VUT Brno, který je zodpovědný za posuzování akcí státních podniků Povodí Odry, Povodí Moravy a moravských poboček ZVHS a podniku Lesy ČR. Z celkového počtu 348 akcí byla ekonomická efektivnost hodnocena u 82 akcí stavebního charakteru se stanovenými záplavovými čarami, jejichž znalost je podmínkou pro výpočet povodňového rizika. Dále bylo hodnoceno 166 stavebních akcí správců drobných vodních toků, u kterých zpravidla nebyla záplavová území stanovena. Do souboru opatření dále patří 100 akcí studijního charakteru. Na následujícím obr.1 je znázorněn procentuální podíl posuzovaných typů PPO podle objemu nákladů. Z grafu vyplývá, že téměř 88% z veškerých požadovaných finančních prostředků (z cca 12 mld.) se týká akcí, u kterých byla provedena analýza nákladů a užitků.



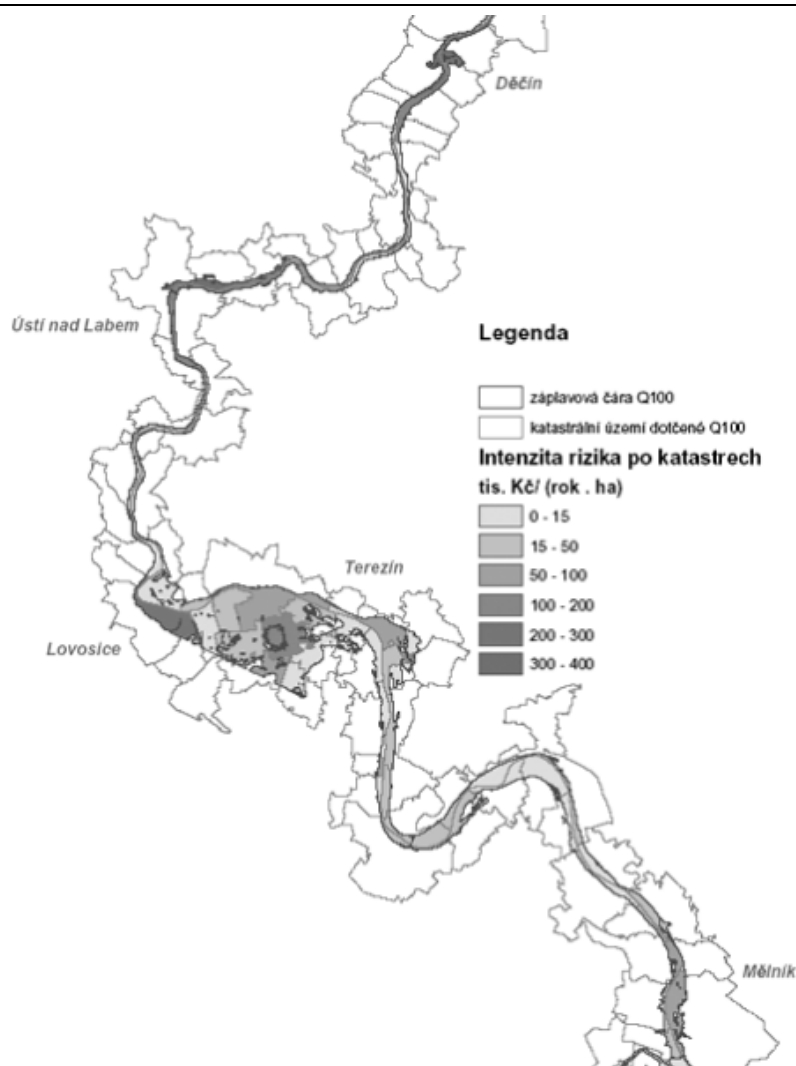
Obr.1 Podíl základních typů PPO podle objemu nákladů.

Další aplikací metodiky je studie v rámci projektu **ELLA** (ELBE-LABE, 2006), jehož cílem je preventivní protipovodňová ochrana prostřednictvím nadnárodních opatření územního plánování. Projekt ELLA probíhá v rámci iniciativy „PROGRAM INTERREG IIIB CADSES, Projekt 013 – Účast MMR a Středočeského kraje na projektu ELLA“.

Územní působnost studie je v České republice na toku Labe od Mělníku po státní hranici se SRN. Záměrem studie je zhotovení koncepčního materiálu, který bude sloužit jako podpůrný nástroj strategického plánování

protipovodňových opatření (PPO) v zájmovém úseku řeky Labe. Cílem je proto posouzení vhodnosti a opodstatněnosti zadaných PPO v předmětném úseku pomocí vyčíslení ukazatelů ekonomické efektivity, které je založeno na analýze nákladů a užitků. Pro potřeby spolehlivější kvantifikace povodňových rizik byla stanovená záplavová území Q_5 , Q_{20} a Q_{100} doplněna o rozsah záplavového území Q_{50} pomocí hydraulické analýzy. Na obr.2 je znázorněna intenzita povodňového rizika [$\text{tis.Kč.rok}^{-1}.\text{ha}^{-1}$] v jednotlivých ohrožených katastrálních územích. Tento výstup názorně demonstruje aktuálnost protipovodňové ochrany v zájmovém úseku Labe. V rámci studie ELLA byla provedena optimalizace návrhové míry ochrany před povodněmi pro celkem 17 lokalit.

Ve vybraných lokalitách Ústeckého kraje byla pro účely zpracování dokumentace pro územní řízení vyhodnocena ekonomická efektivnost navržených variant PPO na základě podrobné analýzy povodňových škod. Jedná se o lokality: Děčín - levý břeh, Děčín - pravý břeh, Hřensko, Ústí nad Labem - levý břeh, Lovosicko, Roudnice nad Labem. Zpracováním projektové dokumentace je pověřena firma Hydroprojekt CZ, a.s. a pro akce Ústí nad Labem a Lovosicko firma AZ Consult, a.s. Riziková analýza zde vychází z podrobného místního šetření se zahrnutím všech dostupných datových zdrojů včetně kvantifikace rozsahu povodňových škod v roce 2002 v zasažených významných průmyslových podnicích.



Obr.2 Intenzita povodňového rizika v ohrožených katastrálních územích.

Metodika byla rovněž využita v rámci projektu **ODERREGIO** (2006), který probíhá v rámci iniciativy „PROGRAM INTERREG IIIB CADSES, Projekt 012 – Česká účast na projektu ODERREGIO“. Územní působnost studie je v České republice na toku Odry od soutoku s řekou Opavou po státní hranici s Polskou republikou. Součástí studie bylo zpřesnění záplavových území v úseku Koblův po železnici Bohumín-Chalupki pomocí 2D matematického modelu (Havlík, Salaj). Analýza nákladů a užitků byla zpracována pro lokality: Starý Bohumín, Šuných, Vrbice, Pudlov, Antošovice a Koblův.

Problematika vyhodnocování povodňových škod a kvantifikace povodňového rizika podle uvedené metodiky je součástí mezinárodního projektu **FLAMIS** (Floods Analysis and Mitigation on the Lužnice River in South Bohemia, 2003-2006). V rámci tohoto projektu byly vyhodnoceny povodňové škody a rizika na podkladu 1D modelu po ohrožených katastrofách a podrobně pomocí výstupů 2D modelu ve městech Veselí na Lužnici, Soběslav, Planá, Sezimovo Ústí a Tábor.

Povodňové škody a rizika byly hodnoceny pro různé varianty navržených PPO. Součástí projektu je vyhodnocení záplavového území zvláště pod hrází rybníku Rožmberk včetně stanovení povodňových škod a rizika.

5. Aplikace metodiky

Pro vyhodnocení efektivnosti navržených opatření pomocí uvedené metodiky je podmínkou znalost záplavových území v zájmové lokalitě před a po realizaci PPO. U opatření v podobě ochranných hrází, lze předpokládat, že po překročení návrhového průtoku bude rozsah povodňových škod stejný, popř. vyšší oproti stavu bez realizace opatření. Tato okolnost neplatí u zkapacitňování koryt vodních toků, kdy je při překročení návrhového průtoku rozsah záplavy a škod zpravidla menší než bez realizace PPO. Tuto skutečnost je však nutné doložit zpracovanou studií odtokových poměrů nebo studií proveditelnosti, která kvantifikuje rozsah záplavových území po realizaci PPO.

U PPO s retencí (retenční nádrže a poldry) lze zpravidla rozsah povodňového rizika po realizaci opatření odvodit na základě zpracovaných transformací povodňových vln s různými dobami opakování. Ve všech případech je nezbytným údajem hodnota neškodného průtoku před a po realizaci PPO.

Uvedená metodika byla využita pro sestavení pořadí akcí zařazených do II. etapy programu Prevence před povodněmi, kdy ekonomický ukazatel představuje klíčový parametr v systému hodnocení jednotlivých akcí. Druhým příkladem aplikace metodiky je optimalizace protipovodňové ochrany v jednotlivých lokalitách, kdy je cílem výběr takové varianty PPO, pro kterou dosahují ukazatele ekonomické efektivnosti optimálních hodnot. Výsledkem je optimální návrhová míra ochrany před povodněmi, která je ekonomicky opodstatněná.

Zásadním výstupem rizikové analýzy je hodnota průměrné roční škody, která v podstatě představuje roční úložku do povodňového fondu obce, ze kterého bude z dlouhodobého hlediska možno krýt povodňové škody. Hodnotu úložky je samozřejmě nutno upravovat o míru inflace materiálu a prací nutných na sanaci povodňových škod a úroku z aktuální výše úložky. Výše této povodňové úložky je pak logicky vyšší před realizací PPO než po jeho realizaci. Nikdy však nebude po realizaci PPO nulová, neboť zpravidla neexistuje absolutní ochrana před povodněmi.

Metodika byla využita rovněž pro posuzování ekonomické efektivnosti akcí s cílem zvyšování bezpečnosti vodních děl při povodních. Rozsah škod při těchto opatřeních vychází ze záplavových území zvláště pod hrází. Tomuto jevu byly přisouzeny pravděpodobnosti výskytu podle normy TNV

752935, které se řídí zařazením daného díla do příslušné kategorie podle TBD a potenciálního ohrožení lidských životů. Analýza byla provedena pro celkem pět vodních děl (Bystřička, Janov, Římov, Zászkalská a Dráteník).

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory výzkumného záměru Ministerstva vzdělání, mládeže a sportu ČR, reg.č.: MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Literatura

ČIHÁK, F., SATRAPA, L., FOŠUMPAUR, P., 2005: Kritéria pro posuzování akcí k zařazení do II. etapy programu „Prevence před povodněmi“ (r. 2006-2010), Fakulta stavební, ČVUT v Praze.

Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území a její ověření v povodí Labe, 2005, projekt: VaV/650/502, VÚV, (Metody stanovování potenciálních škod - ČVUT).

Usnesení vlády České republiky ze dne 10. května 2006 č.496 k financování protipovodňových opatření zajišťovaných Ministerstvem zemědělství.

Únosnost přípoje krátkou čelní deskou při požáru

František Wald, Jiří Chlouba, Petra Kallerová

Cílem projektu je popsat chování materiálu a konstrukce za extrémních teplot. Dílčím cílem je zkouškami a modelováním za vysokých teplot upřesnit znalosti o současně vyráběném materiálu, připravit věrnější model prvků a zkouškami na objektech a vyhodnocením chování při požárech zdokonalit předpověď tuhosti, únosnosti a deformační kapacity konstrukce při mimořádných situacích.

1. Úvod

V práci je řešena přesnost návrhu přípoje krátkou čelní deskou porovnáním únosnosti komponent styčnicků, která byla stanovena z předpověděné a ze změřené teploty při experimentu v Mittal Steel Ostrava 15. a 16. 5. 2006. Zjednodušený návrh konstrukce za požáru vychází z návrhu za běžné teploty a z posouzení prvků při zvýšené teplotě. Při pokročilem návrhu se počítá konstrukce namáhaná teplotou podle teplotní křivky a styčnický se posuzují na vypočítané síly od prodlužování prvků při jejich ohřívání a zkracování při chladnutí (Buchanan, 2000). Poznání je omezeno na několik zkoušek na skutečných konstrukcích, např. v laboratoři v Cardingtonu (Moore, 1997). Za požární situace se průběh teploty ve styčnicku liší od průběhu teploty v připojovaných prvcích. Teplota ve styčnicích roste pomaleji než teplota připojovaných částí a ve fázi chladnutí je ale jejich teplota vyšší. Nejvyšší teplota dosažená ve spoji je nižší než nejvyšší teplota dosažená v připojovaných nosnících a sloupech, což je způsobeno koncentrací hmoty ve styčnicích, viz (Wald a kol., 2005). Návrh spoje za požáru vychází ze znalosti rozložení teplot ve styčnicku a z únosnosti komponent styčnicku, plechu, šroubů a svaru, za zvýšených teplot. Norma pro požární spolehlivost ocelových konstrukcí EN 1993-1-2: 2005 doporučuje styčnický chránit jako připojované prvky, nebo v příloze D umožňuje předpovědět rozdělení teploty v přípojích, určit únosnost spojovacích prostředků a posoudit řešení metodou komponent (Spyrou a kol., 2002).

2. Teplota konstrukce

Teplota plynu v požárním úseku se počítá dynamickou analýzou plynů, zónovými modely, parametrickými modely pro prostorový a lokální požár nebo se předpokládá podle nominální normové křivky. Na přestup tepla do konstrukce se využívá MKP nebo přírůstkové metody, kdy povrchem prvku

František Wald, Prof. Ing., CSc.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

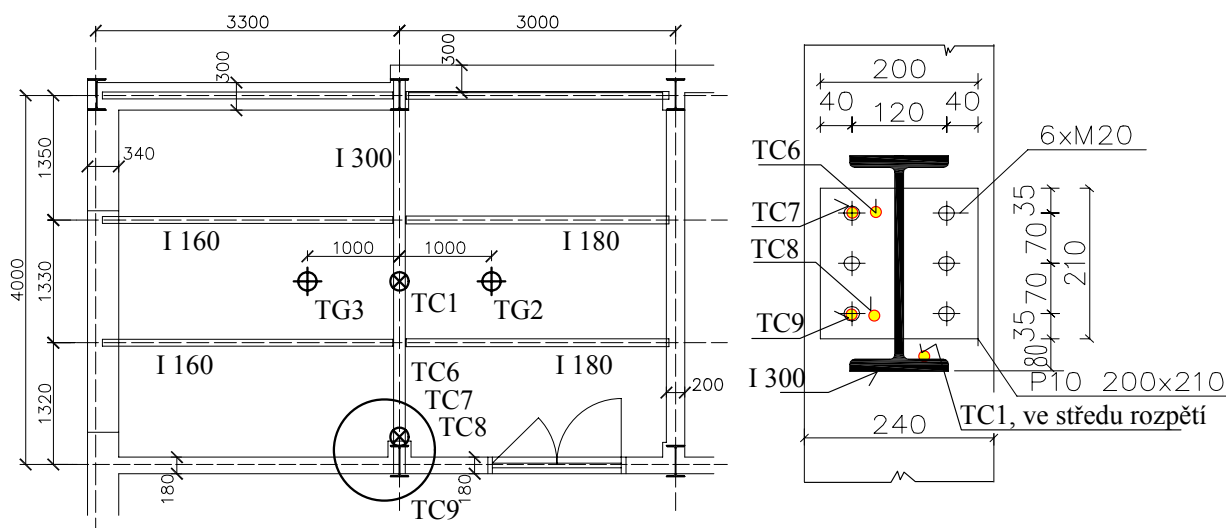
Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice

tel.: 224 354 757, fax.: 233 334 766, e-mail: wald@fsv.cvut.cz

přiváděné/odváděné teplo ohřívá/chladí objem prvku. Geometrickou charakteristikou přestupu je proto součinitel průřezu A_m/V prvků tvořících styčník v místě spoje. Součinitel průřezu vyjadřuje v tomto případě závislost mezi plochou povrchu styčníku A_m na jednotku délky, která je vystaven účinkům tepla, a objemem styčníku V na jednotku délky, který se ohřívá. Přírůstek teploty nechráněné ocelové konstrukce se získá podle vztahu

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t \quad (1)$$

kde A_m/V je součinitel průřezu v m^{-1} , c_a měrné teplo oceli závislé na teplotě v $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, ρ_a hustota oceli v kg m^{-3} , $\dot{h}_{net}$ návrhová hodnota tepelné vodivosti na jednotku plochy v W m^{-2} , Δt časový interval v s, o délce nejvýše 5 s, a k_{sh} opravný součinitel zastínění, který se projeví při zahřívání podle nominální teplotní křivky.



Obr. 1 Styčník krátkou čelní deskou s termočláanky

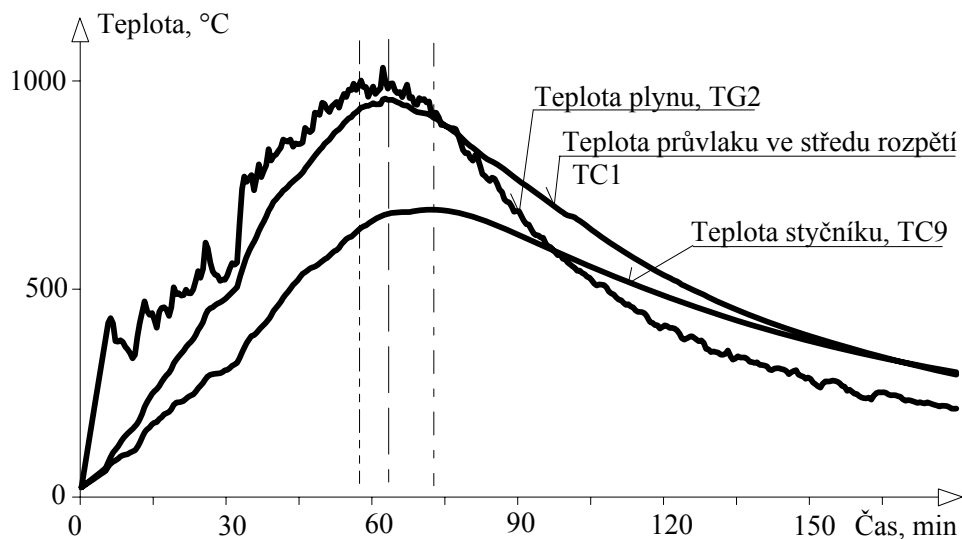
3. Teplota styčníku

Pro průběh teploty ve styčníku se používá dvou analytických modelů, viz (Wald a kol., 2005). Při výpočtu lze teplotu stanovit pomocí místní hodnoty A_m/V částí tvořící styčník. Zjednodušeně lze uvažovat s rovnoměrným rozložením teploty ve styčníku a počítat s nejvyšší hodnotou poměrů A_m/V ocelových prvků připojovaných do styčníku. Teplotu přípoje nosníku na sloup nebo nosníku na nosník, který je pod betonovou stropní konstrukcí, lze stanovit z teploty dolní pásnice ve středu rozpětí. Předpokládá se, že teplota jednotlivých částí styčníku závisí pouze na vzdálenosti od spodní hrany připojovaného nosníku. Výpočet se liší podle výšky připojovaného nosníku. Hranicí mezi výpočetními postupy je výška nosníku 400 mm. Pokud je výška nosníku menší nebo rovna 400 mm ($h_k \leq 400$ mm), platí vztah

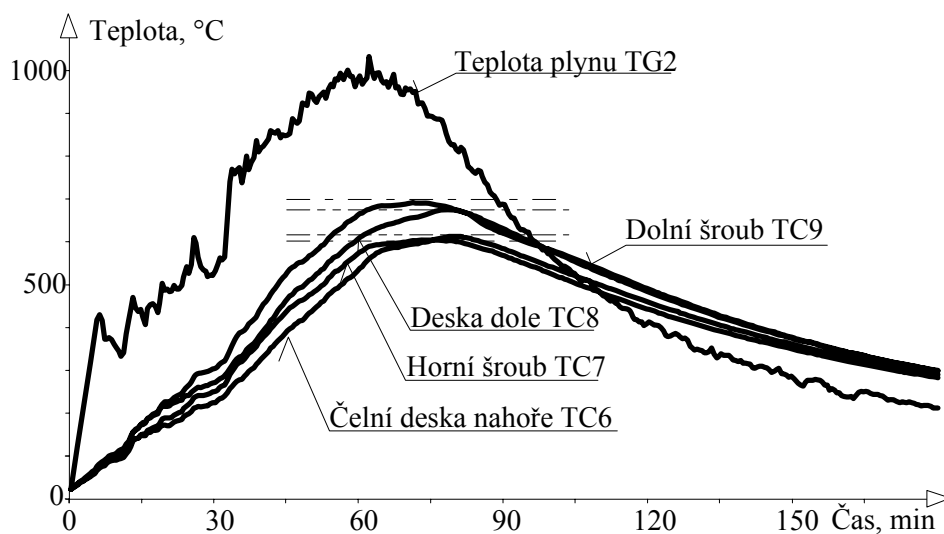
$$\theta_h = 0,88 \theta_0 [1 - 0,3 (h_k / h)] \quad (2)$$

kde θ_h je teplota ve výšce h_k ocelového nosníku, θ_0 teplota spodní pásnice nosníku ve středu rozpětí a h výška ocelového nosníku.

Ověření předpovědi teploty ve styčnicích a její zpřesnění v průběhu chladnutí byl jeden z hlavních cílů experimentu v Mittal Steel Ostrava 15. a 16. 5. 2006. Experiment se uskutečnil v požárním úseku o ploše asi 24 m².



Obr. 2 Teplota plynu, průvlaku a styčníku při experimentu

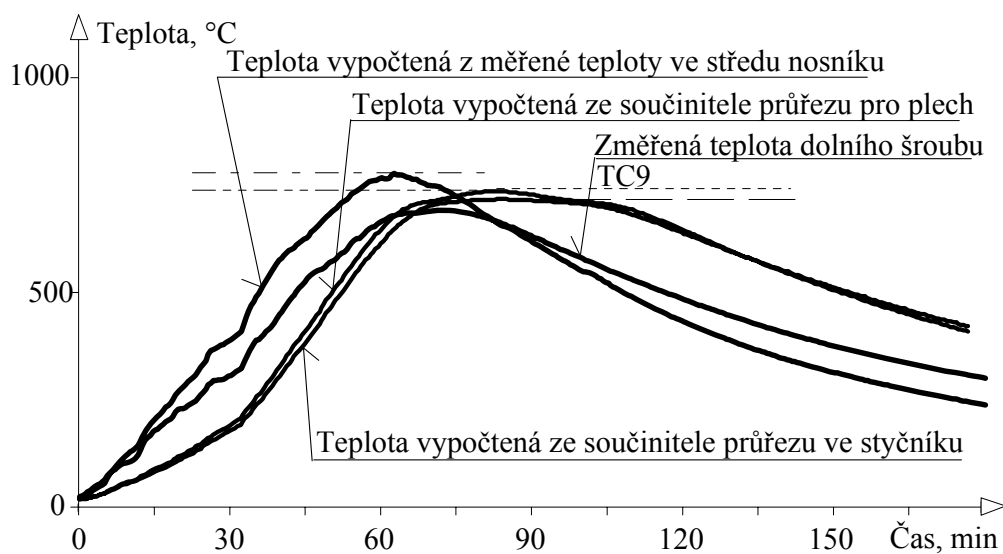


Obr. 3 Změřené rozdíly v teplotách po výšce styčníku

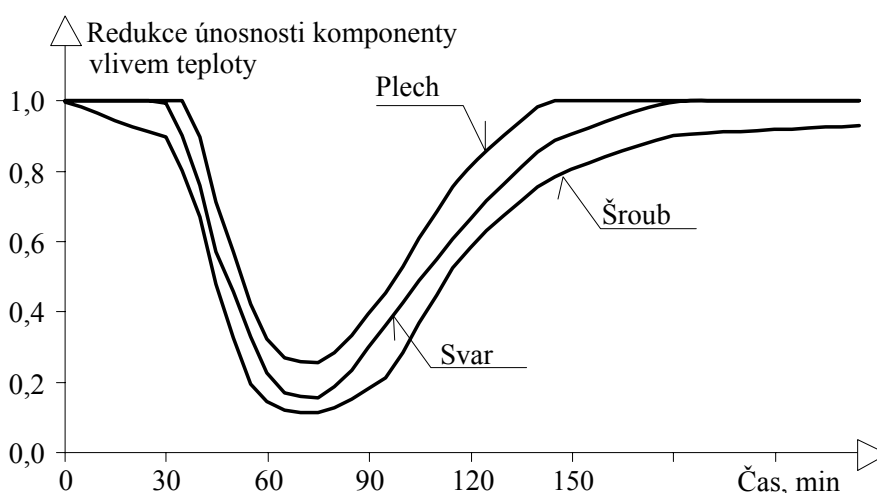
Teplota ve šroubech a v čelní desce, viz obr. 1, byla měřena na přípoji průvlaku se sloupem krátkou čelní deskou. Graf na obr. 2 ukazuje hodnoty změřené při experimentu v plynu v požárním úseku poblíž styčníku, ve středu rozpětí průvlaku v jeho spodní pásnici a v dolním šroubu. Je patrné zpoždění průběhu teplot v nosníku i ve styčníku, cca 15 min, vůči teplotě plynu.

Na obr. 4 jsou porovnány předpovědi teplot s hodnotami změřenými při

zkoušce. Ze změřené teploty spodní pásnice nosníku v polovině jeho rozpětí byla počítána teplota ve styčnicku, viz (2). Při určení nejvyšší teploty se tato metoda ukazuje konzervativní, ve fázi chladnutí předpovězená teplota nedosahuje hodnot naměřených ve skutečnosti. Při výpočtu pomocí součinitele průřezu se uvažovala největší hodnota součinitelů průřezu prvků připojovaných do tohoto styčnicku 138 m^{-1} . Výsledky jsou konzervativní při určování nejvyšší teploty a ve fázi chladnutí byla předpovězená teplota vyšší než naměřená při experimentu. Při uvažování součinitele průřezu pouze pro plech, jehož hodnota je 105 m^{-1} , je výsledek velmi podobný jako při uvažování součinitele průřezu jako v předchozím případě, jen konzervativnější. Rozdíl nejvyšších teplot dosahuje přibližně 20°C .



Obr. 4 Porovnání vypočtených a změřených teplot styčnicku

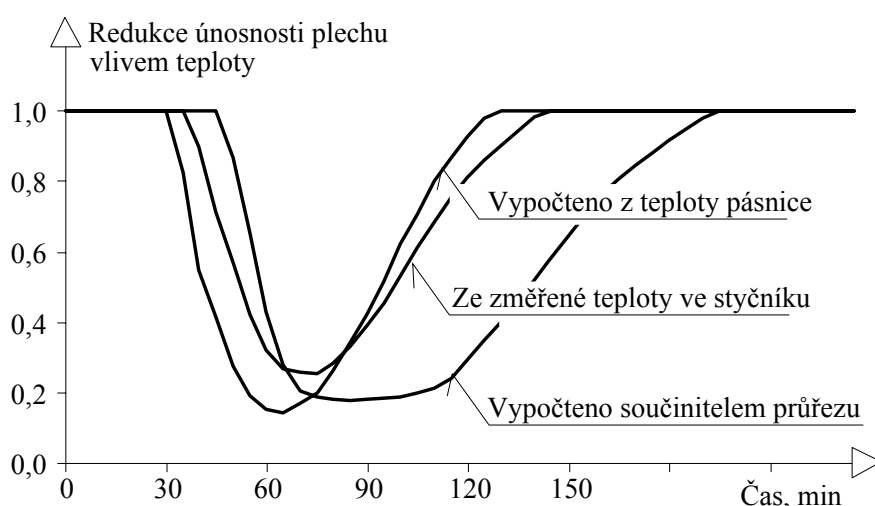


Obr. 5 Redukce únosnosti komponent stanovená ze změřených teplot styčnicku

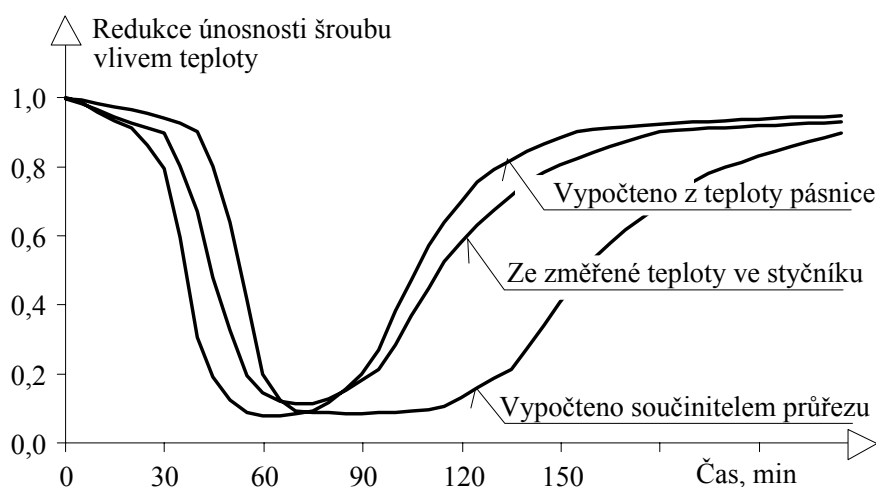
4. Únosnost styčnicku

Při zvýšené teplotě při požáru se redukují materiálové vlastnosti. Redukce se

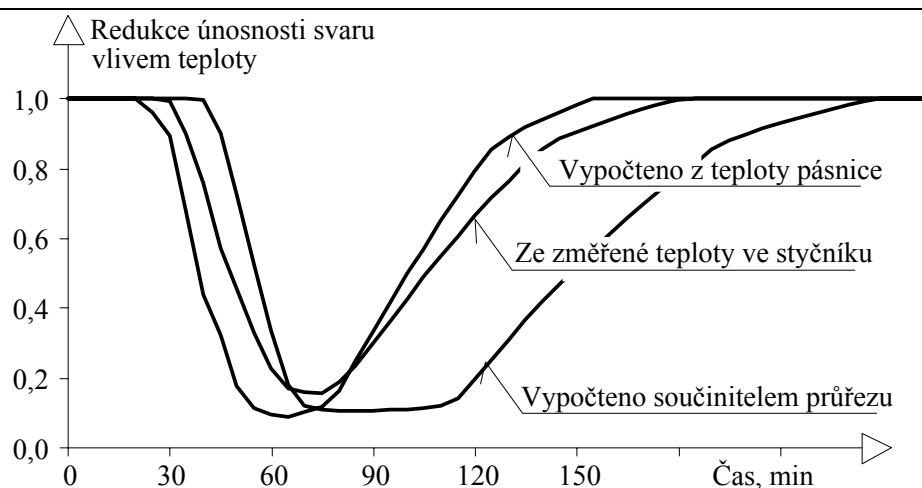
zavádí pomocí součinitelů, které vyjadřují poměr hodnoty při dané teplotě ku hodnotě při běžné teplotě, při 20 °C, viz Tab. 1. Za předpokladu plného využití komponent styčníku při mimořádné návrhové situaci, lze tedy z teploty určit redukci únosnosti jednotlivých komponent. Pro změřené teploty je redukce únosnosti zobrazena na obr. 5. Je vidět, že ve spoji nejvíce poklesne únosnost šroubu (pro šrouby na 11,3 %, svary na 15,7 % a plech na 25,6 %). Redukcí únosnosti lze ověřit kvalitu předpovědi teploty styčníku. Na obr. 6 je porovnána redukce únosnosti plechu z teploty stanovené součinitelem průřezu připojovaného prvku z teploty plynu u styčníku a vypočítané ze změřené teploty dolní pásnice s únosností, která byla stanovena ze změřené teploty při zkoušce (redukce na 18,0 %; 14,5 % a 25,6 %). Obdobně je na obr. 7 porovnána redukce únosnosti šroubu z předpověděných a ze změřených teplot (výpočet 7,7 % a 8,6 %, experiment 11,3 %). Hodnoty pro svary jsou dokumentovány na obr. 8 (výpočet 9,0 % a 10,7 %, experiment 15,7 %).



Obr. 6 Redukce únosnosti plechu stanovená ze změřených a vypočtených teplot



Obr. 7 Redukce únosnosti šroubů stanovená ze změřených a vypočtených teplot



Obr. 8 Redukce únosnosti svarů stanovená ze změřených a vypočtených teplot

Tab. 1 Redukční součinitele únosnosti komponent styčnicku při zvýšené teplotě, viz (Wald a kol, 2005)

Teplota	° C	20	100	200	300	400	500	600	700	800
Plech	$k_{y\theta}$	1	1	1	1	1	0,780	0,470	0,230	0,110
Šroub	$k_{b\theta}$	1	0,968	0,935	0,930	0,775	0,550	0,22	0,100	0,067
Svar	$k_{w\theta}$	1	1	1	0,875	0,627	0,378	0,13	0,074	0,018

5. Shrnutí

Modelování průběhu teplot styčnicků lze ověřit pouze při požáru ve skutečném objektu. Předložená práce dokládá, jak jsou redukce únosnosti stanovené z vypočítaných teplot větší, konzervativnější, než redukce únosnosti stanovené ze změřených teplot. Popis teploty styčnicků při chladnutí, kdy nejčastěji dochází k jejich porušení, by bylo vhodné ještě zpřesnit.

Literatura

- BUCHANAN A. H., 2000: Structural design for fire safety, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-89060-X.
- MOORE D.B., LENNON T., 1997: Fire engineering design of steel structures, Progress in Structural Engineering and Materials, 1 (1), s. 4-9.
- SPYROU S., DAVISON B., BURGESS I., PLANK R., 2002: Component-based studies on the behaviour of steel joints at elevated temperatures, v Proceedings of Eurosteel 2002 – 3rd European Conference on Steel Structures, edited by Lamas A., Simões da Silva L., s. 1469-1478, Coimbra, ISBN 972-98376-3-5.
- WALD F. a kol., 2005: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha, 336 s., ISBN 80-0103157-8.

Terénní průzkum v Karlíně

Milena Císlerová, Martin Šanda, David Zumr, Vladimíra Jelínková,
Martin Havlice a Jiří Vacek

Abstract

To obtain information for the groundwater movement simulation in the region of Karlín a field survey was carried out in 2006. Beside the surface infiltration ponded experiments to evaluate the range of possible hydraulic conductivity values of the profile, a serie of electrical resistivity tomography (ERT) profiles using the ARES system (GF Instruments) was performed to map the expected heterogeneity of antropogenic soil layers. Wenner - Schlumberger method (four electrod method) was employed. The resistivity distribution profiles were reconstructed using RES3DINVsoftware (Geotomo Software). The results imply a certain pattern of the heterogeneity of the soil profile in dependence on the origin of the material. The detailed analysis of the data is still in progress.

1. Úvod

Tento příspěvek se týká průzkumu provedeného v pravobřežní oblasti Karlína v prostoru nad Libeňským mostem, v oblasti dřívějších slepých ramen řeky Vltavy. Zjištěné údaje budou využity při modelování podzemní vody v Karlíně (viz. Havlice et al, 2006). Celý prostor, o jehož historii se ve svém příspěvku Havlice et al. (2006) zmiňují, je v současné době zavezen antropogenními navážkami a je upraven. Počítá se zde s výstavbou především luxusních obytných domů. Z původních objektů zde byl rámci pozemkových úprav zachován nízký násep bývalé železniční tratě, která byla proměněna na cyklistickou stezku s asfaltovým povrchem. Násep pokračuje až do komplexu průmyslových prostor Metrostavu, ten však má být v nejbližší době uzavřen a přesunut na jiné místo. V oblasti mezi bývalým slepým ramenem Vltavy a mezi současným korytem Vltavy je nově vybudované golfové hřiště, navazující na starší sportovní hřiště využívaná převážně Metrostavem.

Z hlediska modelování proudění podzemní vody v této oblasti a vyhodnocení závislosti hloubky hladiny podzemní vody na vodních stavech ve Vltavě, je kritickým faktorem realistické popsání hydraulických vlastností půdních a zeminových materiálů v zájmové oblasti. Vzhledem k charakteru a historii tohoto území lze očekávat extrémní heterogenitu celého půdního/zeminového

prostoru, danou spolupůsobením mnoha faktorů v závislosti na historické době, kdy hrály roli

- zemědělské obdělávání
- drobný průmysl a manufaktury
- těžba písku a štěrku
- dopravní infrastruktura (železniční tratě a nádraží)

Ke skokovým změnám docházelo během náhodných přírodních událostí (náplavené vrstvy štěrku až jílu při povodních, nestabilní koryto řeky, které se dle historických záznamů stěhovalo i při menších povodňových událostech (Malý, 1999, Havlice et al., 2006)).

Za podstatný zásah je ale nutno považovat rovněž změny související se zavezením celého území navážkami v posledních letech. Vlastnosti naváženého materiálu jsou velice proměnlivé a jejich fyzikální ani hydraulické vlastnosti nelze spolehlivě odhadnout např. analogií s podobným půdním typem. Navíc lze předpokládat, že může dále pokračovat konsolidace těchto vrstev a se změnou struktury v čase tak může docházet k dalším změnám zejména hydraulické vodivosti. Dalším neznámým rizikovým faktorem zůstává soudržnost těchto vrstev při vztakovém podmáčení.

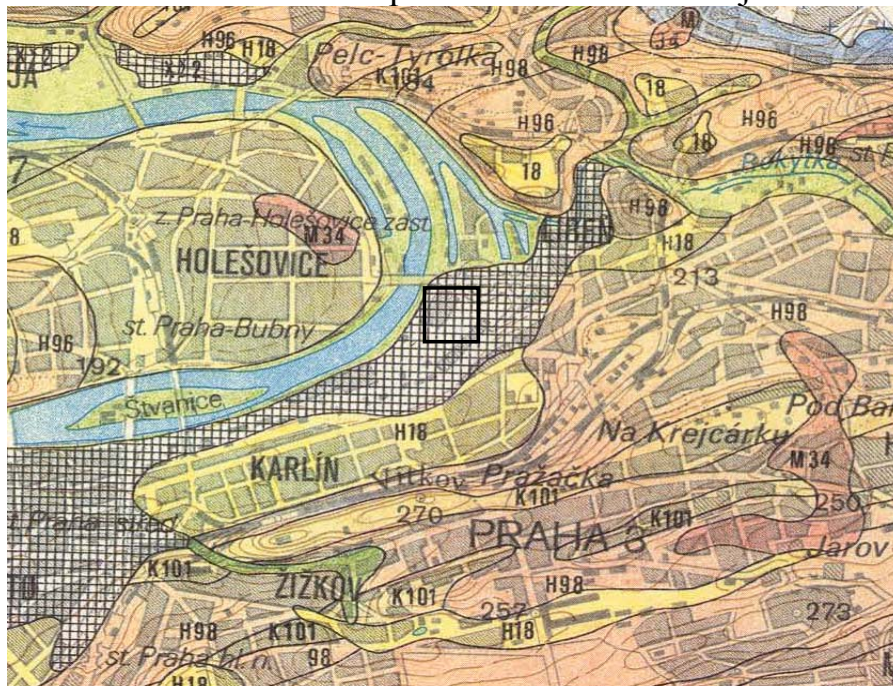
Terénní průzkum v tomto roce byl zaměřen na zjištění infiltračních vlastností zavezeného území a na geofyzikální mapování vybraných profilů v zájmovém území. Terénní výtopové infiltrace se měřily v září 2006 spolu s odběrem vzorků na zrnitostní rozbor. První geofyzikální měření metodou elektrické odporové tomografie (ERT) bylo provedeno v červenci 2006, další v říjnu 2006.

2. Rekognoskace území

Z pedologické mapy na obr. 1 je zřejmé, že celá příbřežní oblast je pokryta zavážkovou antropogenní půdou (čtverečky vyšrafovaná oblast). Střídání nivních usazenin s antropogenními vrstvami je zřejmé z fotografií na obr. 2 a 3.

Na obr. 2 je vidět střídání vrstev v úrovni nad hladinou Vltavy v odkrytém profilu v objektu Metrostavu. Evidentně se zde střídají tenké antropogenní navážky s tenkými naplavenými vrstvami. Na obr. 3 jsou vidět svrchní navezené vrstvy nad vrstvami popela a starých odpadků. Oba snímky svědčí o značné heterogenitě profilu. Půdní povrch v celém území je holý, řídce porostlý rumištní květenou. V rovinných plochách je na půdním povrchu vytvořena málo propustná kůra. Navezený materiál je místy nesoudržný, mnohdy i zcela sypký, v jiných lokalitách je naopak velmi uhuštěný a slepený a jen obtížně lze narušit. Všude obsahuje značný podíl hrubozrných příměsí a valounů. Na obr. 4 je zachycena rýhová eroze, ke které dochází na svazích navážek v jihozápadní části zájmového území. V částech, kde se nalézají zavezená slepá ramena Vltavy zůstává místy půdní profil vlhký až bažinatý, s mokřadním porostem. Zůstaly

zde rovněž původní staré stromy a na pařezích pokácených stromů dorůstají křoviny. Geofyzikální měření bylo možné realizovat podél stávající cyklostezky, zcela vyloučeno z průzkumu zůstalo golfové hřiště. První ERT měření mělo být realizováno koncem července 2006, to znamená v období déletrvajícího sucha s vysokými letními teplotami. V této akci byl zaměřen dlouhý profil v prostoru Metrostavu (v příspěvku není zahrnut). Měření v lokalitě u golfového hřiště a cyklistické stezky ukázalo, že povrchová vrstva je tak vyschlá, že se stala pro elektrické impulsy nevodivou. Ze 195 m profilu se 40 elektrodami jich pouze 5 reagovalo. K druhému ERT měření proto došlo začátkem října 2006.



Obr. 1 Půdní mapa oblasti Karlína. Čtverečkové šrafování označuje antropogenní půdy zavážkové. Obdélník vyznačuje oblast, kde byly provedeny výtopové infiltrace a změřeny geofyzikální ERT profily (viz detailní náčrtek)



Obr.2 Střídání vrstev v odkrytém profilu na břehu Vltavy



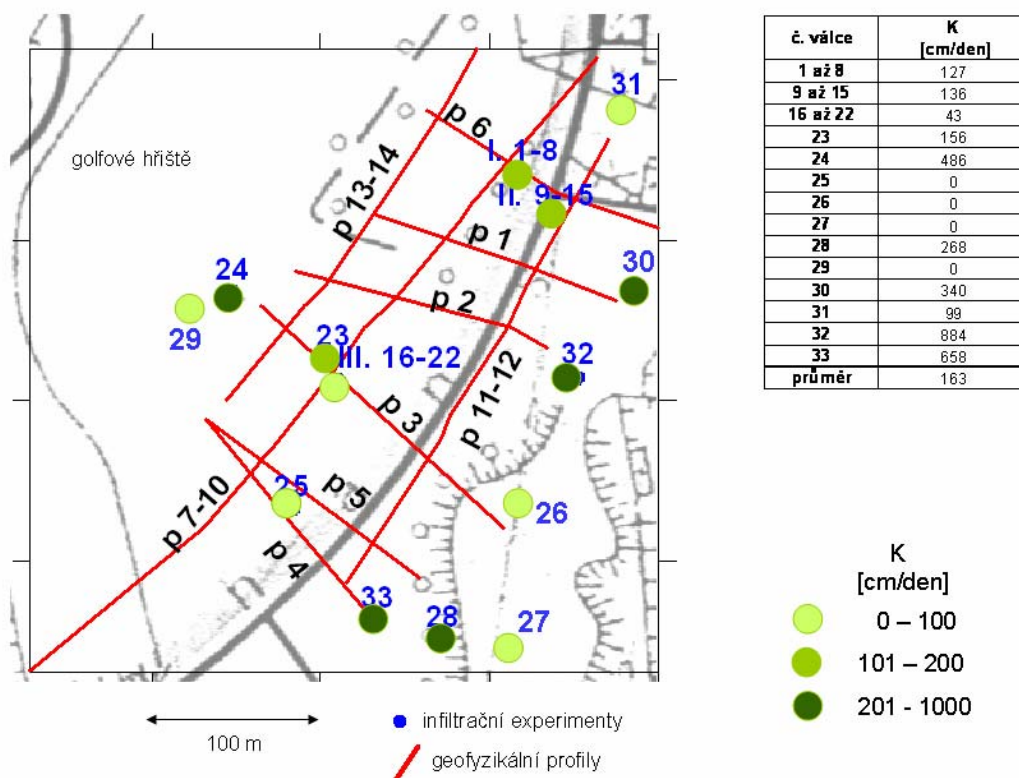
Obr. 3 Navážka nad vstvami popela



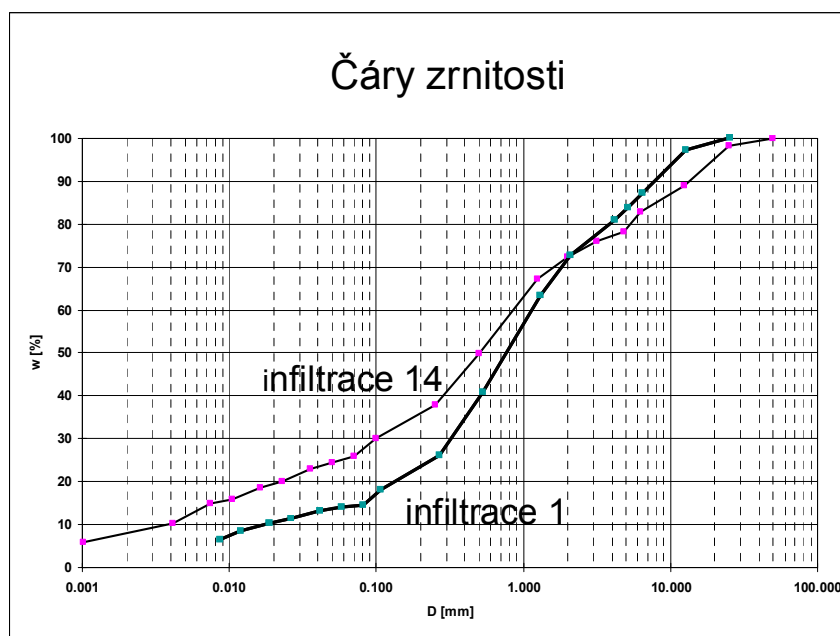
Obr. 4 Rýhová eroze na svahu navážek

3. Měření terénních výtopových infiltrací

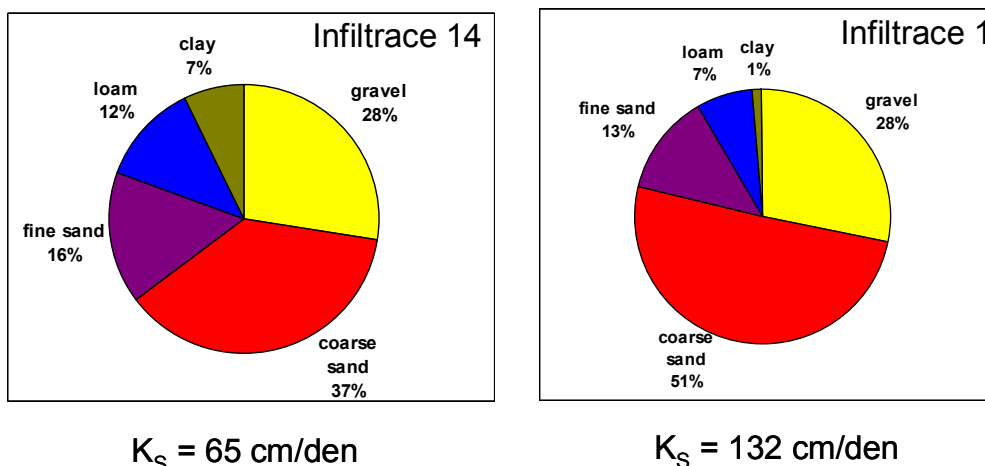
Infiltrační schopnost povrchových vrstev půdy se měřila v terénu pomocí výtopové infiltrace jednoválcovou metodou. Vzhledem k tomu, že kvůli velkému množství kamenů a ztvrdlému povrchu šlo jen velmi obtížně zarazit infiltrační válec a neporušit přitom okolní půdu, byly použity malé ocelové válce o průměru 10 cm. Před výtopou byla vždy odstraněna povrchová krusta, která byla ve všech případech téměř nepropustná. Přestože byl povrch v době měření velmi vyschlý, nebyly pozorovány žádné znaky nesmáčivosti. Celkem bylo provedeno 33 výtopových infiltrací, situační schéma je na obr. 5. Prvních 22 infiltrací bylo soustředěno ve 3 vybraných hnízdech po 8, 7 a 7 měřeních, vzájemně se tato hnízda lišila kvalitou povrchu a zrnitostním složením. Vzhledem k tomu, že infiltrace v každém z hnízd si byly vzájemně velmi podobné, bylo zbývajících 11 infiltrací rozmístěno na odlišně pohledově působících místech v zájmové oblasti ve snaze nalézt rozsah změřených ustálených rychlostí. Výsledky jsou shrnuty v tab. 1. Výrazná prostorová variabilita výsledných hodnot je zobrazena na obr.5 rozdělením výsledků do tří kategorií. V obou případech se zde uvádí hodnoty ustálených infiltračních rychlostí, které je možné považovat za odhad nasycené hydraulické vodivosti (K_s) povrchových vrstev půdního profilu. Na první pohled výsledky dokumentují výraznou heterogenitu půdních materiálů upraveného území již v měřítku metrů. Rozdíly v zrnitostních křivkách infiltrací 1 a 14 (K_s rovné 132 a 65 cm/den) to potvrzují (viz obr. 6 a 7). Vyšetřená pórovitost se pohybuje v rozmezí 0.298 až 0.379.

Tab. 1 Odhad K_s 

Obr. 5 Schéma rozmístění infiltrací a ERT profilů



Obr. 6 Výsledky zrnitostního rozboru infiltrací 1 a 14



Obr. 7 Diagramy podílu frakcí infiltrací 1 a 14

4. Terénní geofyzikální měření

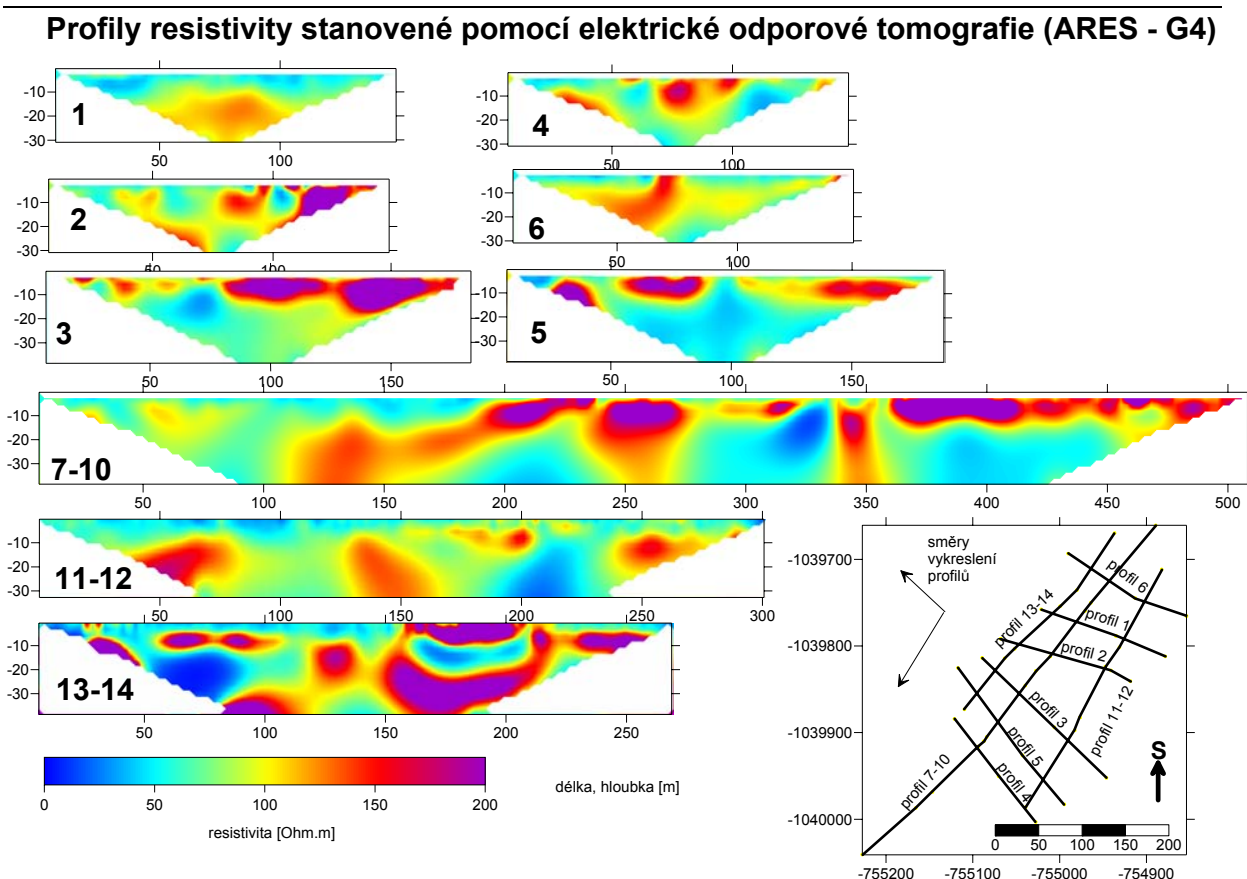
Elektrická odporová (resistivní) tomografie (ERT) byla prováděna přístrojem ARES, pronajatém od firmy GF Instruments, v kombinaci s tzv. inteligentními elektrodami. Cílem bylo popsat podpovrchové struktury v zájmové oblasti pomocí stanovení měrného odporu horninového prostředí. Jelikož měrný odpor je v přímém vztahu s parametry jako je typ zeminového materiálu, pórovitost, stupeň nasycení vodou, lze na základě změřených hodnot usuzovat o vrstevnatosti a struktuře a jejich případném zvodnění. Metoda však má jenom zpřesňující a doplňkový charakter a výsledky lze interpretovat pouze v kombinaci s dalšími geologickými a pedologickými informacemi.

ERT se provádí na principu klasického vertikálního elektrického sondování se dvěmi proudovými elektrodami a dvěmi snímacími elektrodami, zajišťujícími zachycení odezvy formou elektrického napětí. Tento princip je opakován na tzv. multikabelu v různých kombinacích rozponu a umístění elektrod v jedné ose na terénu. Kombinace zapojení elektrod zajišťuje centrální řídicí jednotka. Pomocí přístroje ARES bylo metodou s uspořádáním elektrod Wenner-Schlumberger N6 (pulse 0,5 s, potential 5 mV) s průměrováním přes 4 měření proměřováno vertikální dvourozměrné pole elektrické resistivity. Celkem bylo v zájmové ploše sondováno 9 transektů, (obr. 5). Změřené rozložení zdánlivých odporů bylo zpracováno programem RES3DINV (Loke, 2000). Výsledkem je rozložení měrných elektrických odporů ve skoseném vertikálním profilu pod jednotlivými transekty. Profily se skládaly z více sestav, které byly měřeny v částečných překryvech (naq obr. 5 a 8 jsou označeny čísly 1 až 14). Jedna sestava multikabelu, proměřovaná současně, zahrnovala 40 elektrod instalovaných do půdního pokryvu v rozponu 5 m. Celková délka takové sestavy byla 195 m. Následující sestava s identickým nastavením měřicí metody a relativním rozmístěním elektrod je posunuta vůči předchozí ve vzdálenosti počátků o 120

m. Jednotlivé sestavy tak získají překryv 75 m. Částečně se tak eliminuje omezení metody vertikálního elektrického sondování pomocí multikabelu metodou Wenner-Schlumberger, kde s narůstající hloubkou lze stanovit menší množství hodnot zdánlivé elektrické resistivity.

K vyhodnocení geofyzikálního měření bylo použito metody inverzního matematického modelování programem RES3DINV (Loke, 2000). Inverzní model hledá minimální shodu zdánlivých měřených resistivit s modelovými vypočtenými hodnotami. Vzhledem k povaze měření a jeho vyhodnocení existuje široké spektrum hodnot, které vyhoví minimu odchylky měřených a modelových hodnot stejně. Program proto používá iterativní metodu s podmínkou plynulosti změny sousedících hodnot, která významně redukuje toto spektrum a činí výpočet stabilní.

Na obr. 8 jsou znázorněny výsledky odporové tomografie v jednotlivých transektech. Jednotlivé snímky zachycují rozložení měrného elektrického odporu ve vertikálních řezech půdním profilem pod jednotlivými liniemi měření, definovanými na obr. 5. Ve výsledcích měření lze nižší hodnoty měrného elektrického odporu pokládat za místa s vyšší vlhkostí. Výsledné hodnoty elektrické resistivity stanovené pomocí RS3DINV se pro profily v zájmové oblasti pohybují v rozmezí 0 – 200 Ohm.m. Měřením byly především zjištěny oblasti s významně sníženou elektrickou resistivitou, o kterých lze předpokládat, že jsou zvodnělé. Při geofyzikálním měření dochází k výraznému zprůměrování informace. Plocha, přes kterou se průměruje je určena rezolucí měření, to znamená vzdáleností elektrod. Podrobná analýza snímků zatím nebyla dokončena a dále se zpracovává.



Obr. 8 Distribuce měrného elektrického odporu (jednotka Ωm) ve vertikálních řezech půdním profilem. Čísla 1-14 označují jednotlivé linie měření definované na obr. 5 a schematicky ve výřezu v pravém spodním rohu na tomto obrázku (8).

5. Závěr

Výsledky terénních měření poskytly první informace o heterogenitě podpovrchových půdních a zeminových vrstev v zájmové oblasti. Podrobná analýza se dosud zpracovává. Jako další krok v tomto výzkumu by bylo vhodné realizovat serii vrtů v lokalitách vybraných na základě změřených ERT profilů, aby bylo možné získat konkrétní údaje pro kalibraci parametrů potřebných k upřesnění vstupů do simulačního modelu.

Poděkování

Autoři děkují svým kolegům Martině Sobotkové a Michalovi Sněhotovi za pomoc při měření a manipulaci se vzorky, dále děkují studentům Renatě Němcové, Martinu Ponikarovi a skupině studentů programu Erasmus za pomoc při terénních měřeních.

Práce byly realizovány v rámci výzkumného záměru Udržitelná výstavba MSM 6840770005.

Použitá literatura

- HAVLICE M., D. JIRÁSKO, J. VACEK a I. VANÍČEK, 2006: Průzkum a modelování proudění podzemní vody v Karlíně, tento sborník
- LOKE, M.H., 2000: Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys. GEOTOMO software guide
- MALÝ, F., 1999: Jak ovlivňovaly povodně na Vltavě rozvoj města v pražské kotlině, Povodí Vltavy a.s., Praha

Odhadování kritických odstupů na neřízených křižovatkách metodou maximální věrohodnosti

Martin Hála

***Abstract:** Reliable estimates of critical gaps form an essential basis for the calculation of capacity of unsignalized intersections. Various statistical methods and tools were used in the past. The most present-day method is based on the maximum-likelihood approach. It was applied on the data from 40 unsignalized intersections in Czech Republic. The method was slightly modified so as it could have been used in cases with few or untypical data, too. Similar but not exactly the same results were obtained as in Germany, 2001. The analysis of effects of various factors is in process now and it shows interesting and helpful results.*

1. Úvod

Nedílnou součástí výzkumného záměru „Udržitelná výstavba“ je posuzování dopravní obslužnosti, kapacity komunikací a analýza rizikových procesů s danou problematikou spojených. Základním vstupem pro výpočet kapacity neřízené či okružní křižovatky jsou tzv. kritické odstupy. V dopravní praxi se kritickým odstupem rozumí časový interval mezi dvěma po sobě jedoucími vozidly po hlavní komunikaci, který 50% řidičů na vedlejší komunikaci přijme k uskutečnění svého manévru (zařazení, či překřížení hlavní komunikace) a zbylých 50% řidičů tento časový odstup odmítne a manévr odloží.

Základním úkolem v první fázi bylo pro danou křižovatku a daný manévr na základě statistických dat tyto kritické odstupy věrohodně odhadovat. Metodika výpočtů vycházela z publikovaných prací německých a australských statistiků. V některých detailech však bylo potřeba metodu dopracovat, aby bylo možno pracovat i s menšími, popř. netypickými soubory dat.

V další fázi jsme se pak zaměřili na získání odhadů „globálních“ hodnot kritických odstupů pro křižovatky určitých typů na našem území. Tyto práce spolu s analýzou vlivů různých faktorů na kritické odstupy v současné době probíhají. Výsledky získané pro neřízené křižovatky v České republice jsou obdobné, ne však zcela stejné, jako výsledky odvozené obdobnou metodikou v Německu před cca 5 lety. Při analýze vlivů jsou odvozovány některé zajímavé a užitečné výstupy.

2. Teoretická východiska pro aplikaci metody maximální věrohodnosti při odhadování kritických odstupů

V první řadě je vhodné uvést, co se přesně při používání sofistikovanějších statistických metod kritickým odstupem rozumí. Jak již bylo uvedeno, v inženýrském pojetí je kritickým odstupem takový časový odstup mezi vozidly hlavního proudu, který 50% řidičů čekajících v podřadném proudu odmítne pro realizaci svého zamýšleného manévru a 50% řidičů jej přijme. Z hlediska aplikací teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky je však tento přístup příliš zjednodušený.

Z hlediska těchto sofistikovaných přístupů je kritický odstup t_g roven minimálnímu časovému odstupu mezi vozidly hlavního proudu, který je daný řidič vozidla ve vedlejším proudu ochoten přijmout pro realizaci svého manévru, viz např. BRILON, KOENIG, TROUTBECK, (1997). Takto chápaný kritický odstup závisí nejen na dané křižovatce a jejím uspořádání, na zamýšleném manévru a většinou i na dalších faktorech, ale především se v principu liší pro různé řidiče. Z hlediska teorie pravděpodobnosti jej proto považujeme za náhodnou veličinu a snažíme se na základě statistických dat na dané křižovatce pro daný manévr odhadovat důležité parametry jejího pravděpodobnostního rozdělení – zejména střední hodnotu, medián, směrodatnou odchylku, apod. Pro praxi je nejdůležitější umět odhadnout střední hodnotu kritického odstup (střední hodnotu náhodné veličiny t_g), tj. průměrnou hodnotu kritického odstup pro hypotetickou populaci všech řidičů ve vedlejším proudu (na dané křižovatce při daném manévru). Medián náhodné veličiny t_g pak přesně odpovídá inženýrskému pojetí kritického odstup uvedenému výše.

Při odhadování parametrů pravděpodobnostního rozdělení kritického odstup na dané křižovatce při daném manévru se obvykle předpokládá, že každý řidič ve vedlejším proudu se chová konzistentně, tj. má sice svůj vlastní kritický odstup (někdo je opatrný, jiný riskuje), tento však vždy přesně dodržuje. Čili je-li takovému řidiči nabídnut v hlavním proudu odstup větší než je jeho vlastní kritický odstup, vždy jej přijme a naopak.

V teorii neřízených křižovatek byla vyvinuta celá řada metod pro odhadování kritických odstupů (přesněji řečeno pro odhadování parametrů kritických odstupů). O rozdělení kritických odstupů se obecně předpokládá, že je charakterizováno:

- minimální hodnotou (nezáporné číslo, v praxi se však tento parametr zpravidla neodhaduje),

- střední hodnotou (označovanou μ , toto číslo se často nepřesně samo o sobě nazývá kritickým odstupem)
- směrodatnou odchylkou σ ,
- koeficientem šikmosti (předpokládá se kladný).

Hlavním problémem je, že kritický odstup nemůžeme přímo pozorovat, základem k jeho odhadování jsou proto pozorované přijaté a odmítnuté odstupy jednotlivých řidičů v podřadném proudu. Na metody sloužící k odhadům parametrů kritického odstupu jsou kladeny některé důležité nároky, jmenovitě:

- Proces odhadování by měl být konzistentní, tj. známe-li na dané křižovatce skutečné rozdělení kritických odstupů pro hypotetickou populaci všech řidičů, měly by výsledky odhadů co nejvěrněji odpovídat tomuto skutečnému rozdělení. V praxi se spokojujeme s požadavkem, aby alespoň odhad střední hodnoty kritického odstupu byl co nejpřesnější.
- Rozdělení kritických odstupů by nemělo na dané křižovatce a pro daný manévř záviset na dalších vlivech, zejména na intenzitách dopravy.

Různé metody pro odhadování kritických odstupů byly v BRILON, KOENIG, TROUTBECK, (1997) testovány pomocí simulačních metod. Zjednodušeně řečeno se simulovaly nezávislé proudy vozidel v hlavním a vedlejším směru (pro různé kombinace průměrných hodinových intenzit v těchto směrech), dále pak se každému řidiči v podřadném proudu nasimuloval kritický odstup (z Erlangova rozdělení při pevně zvolené střední hodnotě), podle kterého se tento řidič konzistentním způsobem na křižovatce choval. Výstupem ze simulací byly pak ke každému řidiči v podřadném proudu jeho odmítnuté odstupy a jeho přijatý odstup; tato čísla pak sloužila k odhadování střední hodnoty kritického odstupu testovanými metodami. Z hlediska výše uvedených nároků na kvalitu procesů odhadování se jako nejnadějnější ukázala metoda maximální věrohodnosti. Nejenom že velmi přesně odhadovala původně zvolenou střední hodnotu kritického odstupu, ale odhady měly velmi malý rozptyl a též nebyly závislé na intenzitě hlavního proudu.

Metoda maximální věrohodnosti spočívá v maximalizaci věrohodnostní funkce, což je logaritmus sdružené hustoty teoretického rozdělení náhodného vektoru dat. V naší situaci tento přímý postup ovšem není možný, neboť nemáme k dispozici přímá pozorování kritických odstupů. Proto Troutbeck metodu maximální věrohodnosti poněkud upravil. Nejpodrobnější popis jeho metody je možno nalézt v pracovním materiálu TROUTBECK, BRILON (2006), tento dokument je ke stažení na uvedené internetové adrese. Troutbeck především

předpokládá, že pravděpodobnostní rozdělení kritických odstupů je logaritmicko-normální. (Z teoretického hlediska je tento předpoklad ekvivalentní předpokladu, že logaritmus kritického odstupe je normálně rozdělená náhodná veličina.) Předpokládá se, že k dispozici jsou pro náhodný soubor řidičů v podřadném proudu pozorování jejich maximálních odmítnutých odstupů R_i a jejich přijatých odstupů A_i ($i = 1, \dots, n$). Vzhledem k předpokladu konzistentního chování řidičů by mělo vždy platit $R_i < A_i$, není-li tomu tak, danou dvojici je třeba z datového souboru vyloučit. Zavede se označení:

- $a_i = \ln A_i$ (resp. $a_i = \infty$, nepřijal-li daný řidič během měření žádný odstup);
- $r_i = \ln R_i$ (resp. $r_i = -\infty$, neodmítl-li daný řidič žádný odstup).

Místo maximalizace sdružené hustoty se maximalizuje sdružená „apriorní“ pravděpodobnost, že všichni řidiči ve výběru mají kritický odstup ve „svých“ naměřených intervalech (R_i, A_i) . Označíme-li symboly $F(x)$ distribuční funkci a $f(x)$ hustotu pravděpodobnosti normálního rozdělení, pak lze za předpokladu nezávislosti rozhodování mezi řidiči tuto pravděpodobnost na základě výše uvedených předpokladů vyčíslit jako součin:

$$[F(a_1) - F(r_1)] \cdot [F(a_2) - F(r_2)] \cdots [F(a_n) - F(r_n)].$$

Výše uvedený součin se chápe jako věrohodnostní funkce, po zlogaritmování dostaneme výraz

$$L = \sum_{j=1}^n \ln[F(a_j) - F(r_j)].$$

Distribuční funkce normálního rozdělení závisí na parametrech μ a σ^2 . Chápeme-li hodnoty a_i a r_i jako konstanty (pozorovaná data), pak je výraz L funkcí parametrů μ a σ^2 a můžeme hledat maximum tohoto výrazu přes všechny možné hodnoty těchto parametrů. Zderivujeme proto parciálně podle těchto dvou parametrů funkci L a dostaneme soustavu rovnic:

$$\begin{aligned} -\sum_{j=1}^n \frac{f(r_j) - f(a_j)}{F(a_j) - F(r_j)} &= 0, \\ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^n \frac{(r_j - \mu)f(r_j) - (a_j - \mu)f(a_j)}{F(a_j) - F(r_j)} &= 0. \end{aligned}$$

(f je hustota normálního rozdělení s parametry μ a σ^2 .) Vzhledem ke složitosti soustavy a k faktu, že distribuční funkci normálního rozdělení nelze explicitně

vyjádřit, je nutno tuto soustavu řešit numerickými metodami. Výsledkem řešení je dvojice maximálně věrohodných parametrů μ a σ^2 . Z jejich hodnot se pak vyčíslí hledaný odhad střední hodnoty kritického odstupu pomocí známého vztahu pro logaritmicko-normální rozdělení jako

$$\exp(\mu + \sigma^2 / 2).$$

3. Aplikace Troutbeckovy metody na data ze souboru neřízených křižovatek v České republice

Jak již bylo uvedeno, v první fázi nám šlo o získání odhadů střední hodnoty kritických odstupů výše uvedenou metodou pro dané křižovatky a dané manévry. K dispozici byla data z videozáznamů na 40 neřízených křižovatkách, pořízená v tomto a minulém roce. Šlo o křižovatky v intravilánu i extravilánu, tří i čtyřramenné, s různou úpravou přednosti v jízdě (na některých vedlejších vjezdech byla umístěna značka „Stůj, dej přednost v jízdě“). Na standardní čtyřramenné křižovatce, která vzniká přímým překřížením hlavní a vedlejší komunikace, se zavádí následující číslování dopravních proudů. Ve schématu se předpokládá, že hlavní komunikace probíhá ze západu na východ a vedlejší komunikace z jihu na sever. Dopravní proudy jsou pak číslovány proti směru hodinových ručiček takto:

- Proud 1: řidič přijíždějící ze západu odbočuje z hlavní komunikace doleva,
- Proud 2: řidič přijíždějící ze západu pokračuje po hlavní komunikaci přímo,
- Proud 3: řidič přijíždějící ze západu odbočuje z hlavní komunikace doprava,
- Proud 4: řidič přijíždějící ze jihu odbočuje z vedlejší komunikace doleva na hlavní,
- Proud 5: řidič přijíždějící ze jihu překřizuje hlavní komunikaci přímo,
- Proud 6: řidič přijíždějící ze jihu odbočuje z vedlejší komunikace doprava na hlavní,
- Proud 7: řidič přijíždějící z východu odbočuje z hlavní komunikace doleva,
- Proud 8: řidič přijíždějící z východu pokračuje po hlavní komunikaci přímo,
- Proud 9: řidič přijíždějící z východu odbočuje z hlavní komunikace doprava,
- Proud 10: řidič přijíždějící ze severu odbočuje z vedlejší komunikace doleva na hlavní,
- Proud 11: řidič přijíždějící ze severu překřizuje hlavní komunikaci přímo,

- Proud 12: řidič přijíždějící ze severu odbočuje z vedlejší komunikace doprava na hlavní.

Přednost v jízdě musí dávat řidiči jedoucí v proudech 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12. Manévry 1 a 7, resp. 4 a 10, resp. 5 a 11, resp. 6 a 12 jsou přitom zrcadlově symetrické, je možno je přehledně popsat takto:

- 1+7: řidič odbočuje z hlavní doleva,
- 4+10: řidič z vedlejší se zařazuje doleva na hlavní,
- 5+11: řidič jedoucí po vedlejší překřičuje hlavní,
- 6+12: řidič z vedlejší se zařazuje doprava na hlavní.

Na každé křižovatce byla z videozáznamů pro každý výše uvedený vedlejší dopravní proud pořízena data - maximální odmítnuté odstupy R_i a přijaté odstupy A_i všech řidičů v tomto proudu. Samozřejmě na některých křižovatkách nebyla pro některé proudy pořízena data žádná (příslušný manévr nebyl možný nebo za daný časový interval nebylo k dispozici žádné pozorování), popř. dat bylo tak málo, že nebyly použitelné k dalšímu zpracování.

Ve shodě s WEINERT (2001) jsme do dat zařazovali jen řidiče, kteří na vedlejším vjezdu opravdu čekali, tj. byl u nich zjištěn alespoň jeden odmítnutý odstup. Extrémně velké hodnoty přijatých odstupů (způsobené tím, že po jednom, či několika odmítnutých odstupech po hlavní delší dobu žádné vozidlo nejelo), byly též ve shodě s WEINERT ořezávány shora. I další technické problémy s daty byly řešeny obdobně jako v uvedené práci. Uveďme ještě, že odhad kritického odstupu je možno pořídit na základě dat pro všechny nebo zvlášť pro jednotlivé druhy vozidel – opět ve shodě s WEINERT jsme přednostně hledali odhady kritických odstupů pro sloučené kategorie osobních automobilů a dodávek.

Filtrování a další úpravy vstupních dat podle výše uvedených poznámek jsme realizovali v excelu. Soustavu rovnic uvedenou v kapitole 2 jsme řešili pomocí excelovského řešitele. Základními výstupy na dané křižovatce a pro daný dopravní proud pak byly odhady parametrů μ a σ^2 . Odhadem střední hodnoty kritického odstupu pak je, jak již bylo uvedeno, hodnota $\exp(\mu + \sigma^2 / 2)$. Při realizaci tohoto postupu jsme však narazili na některé problémy, o kterých bych se chtěl následující části příspěvku zmínit.

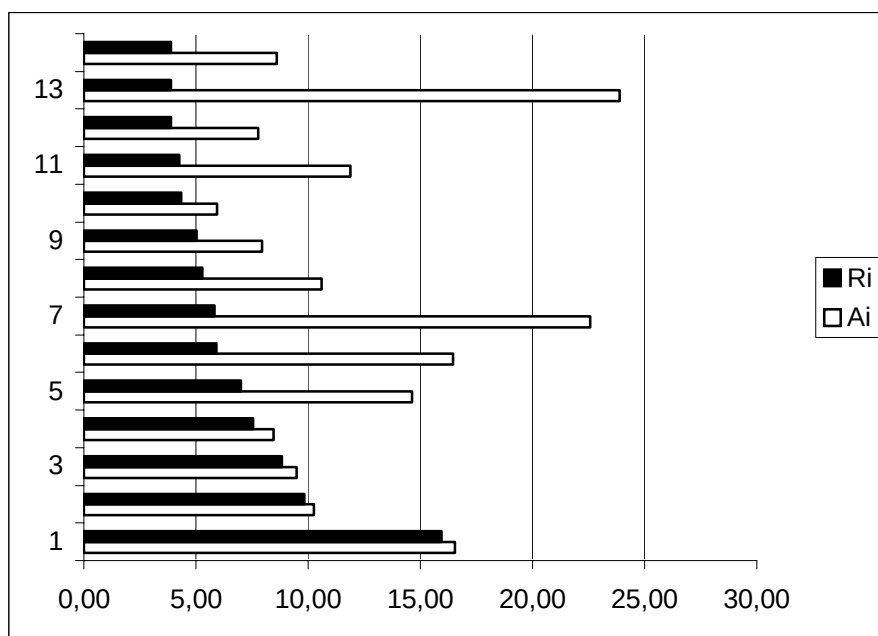
- a. Excelovský řešitel v některých případech selhává (tj. neumí vypočítat odhady parametrů μ a σ^2 při různě zadávaných počátečních podmínkách). V jiných případech řešení nalezne, ale jeho věrohodnost je sporná (řešení nabídnuté excelelem závisí na počátečních podmínkách, navíc odhad směrodatné odchylky kritického odstupu je velmi blízký k nule).
- b. V jiných případech, i když řešitel nalezne jednoznačné řešení, lze při bližším pohledu na data zjistit, že s největší pravděpodobností je vypočtená střední hodnota kritického odstupu příliš velká (resp. malá) díky jednomu velmi pomalému (rychlému) vozidlu a že by zřejmě významně klesla (stoupla), kdyby toto vozidlo v datech nebylo.

Problém **b.** je obecnější, souvisí s oceňováním kvality pořízeného odhadu střední hodnoty kritického odstupu. Teoreticky ideálním přístupem by bylo tuto kvalitu oceňovat pomocí odhadu směrodatné odchylky tohoto odhadu. Bohužel však teoretické řešení tohoto problému nám není známo. Proto jsme zvolili jednodušší a jasněji interpretovatelný postup. Kromě vlastního odhadu střední hodnoty kritického odstupu jsme vždy hledali též „věrohodný interval“ pro tento odhad. Meze tohoto intervalu jsme získali opakovaným výpočtem při současném vynechání „nejriskantnějšího řidiče“ resp. „nejrozhodnějšího řidiče“ ze souboru. Těmito řidiči jsou zpravidla ti, kteří mají v daném souboru nejmenší přijatý, resp. největší odmítnutý odstup. Přesněji řečeno jde o řidiče, jejichž vynechání z dat vychýlí odhad směrodatné odchylky kritického odstupu maximálním způsobem nahoru, resp. dolů.

Příklad 1.

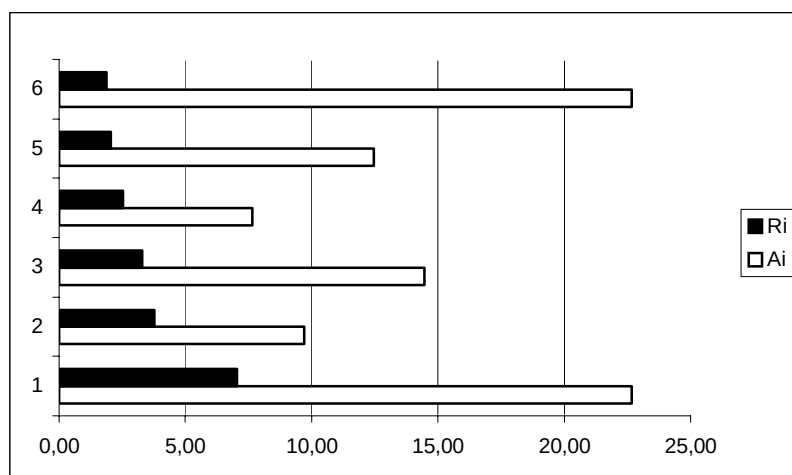
Uvažujme data z křižovatky Písek, dopravní proud 5 - viz Obr. 1. Uvedme pro vysvětlení, že řidiči, z jejichž odstupů se při výpočtu vychází, nejsou seřazeni chronologicky podle pořadí, v jakém do křižovatky vjížděli, ale podle odmítnutých odstupů. Jejich skutečné (chronologické) pořadí při výpočtu odstupů samozřejmě nehraje žádnou roli. Excelovským řešitelem byla ze všech dat odhadnuta střední hodnota kritického odstupu číslem 8.601 s. Vidíme však, že řidič číslo 1 (číslování dat jde odspodu) je výrazně nejpomalejší v rozhodování a zřejmě podstatně posouvá odhad střední hodnoty směrem nahoru. Pokud ho z dat vynecháme a provedeme-li nový výpočet, dostaneme novou střední hodnotu kritického odstupu 7.749 s. Je možno se přesvědčit, že vynecháme-li kteréhokoliv jiného řidiče z dat, pod toto číslo se již nedostaneme. Pokud hledáme řidiče, jehož vynecháním můžeme původní hodnotu 8,601 s maximálně zvýšit, zjistíme, že jde o řidiče číslo 10 (tj. o pátého řidiče počítáno v Obr. 1 odshora). Při jeho vynechání dostaneme

po novém výpočtu 9.008 s. Na dané křižovatce je tedy na základě dat střední hodnota kritického odstupu odhadnuta číslem 8,601 sekundy s pravděpodobnou odchylkou 0.852 s dolů a 0.407 s nahoru. Můžeme též říci, že se střední hodnota kritického odstupu pravděpodobně pohybuje v intervalu od 7.749 do 9.008 sekundy.



Obr. 1 Maximální odmítnuté a přijaté odstupy, křižovatka Písek, proud 5

Vrátíme se nyní k problému **a**. Při zkoumání dat bylo jednoznačně zjištěno, že výše uvedený problém se objevuje právě v situaci, kdy je pro výchozí data maximální z maximálních odmítnutých odstupů menší než minimální přijatý odstup. Matematicky zapsáno: je-li $\max R_i < \min A_i$ - viz následující příklad, ilustrovaný obrázkem č. 2.



Obr. 2 Maximální odmítnuté a přijaté odstupy, křižovatka Březová, proud 6

Příklad 2.

Uvažujme data z křižovatky Březová pro dopravní proud 6. Zde je maximální z maximálních odmítnutých odstupů roven 7.03 sekundy a nejmenší z přijatých odstupů je 7.66 sekund. Zamyslíme-li se intuitivně nad řešením problému nalezení střední hodnoty kritického odstupu v této a podobných situacích, je zřejmé, že k určení nejpravděpodobnější (nejvěrohodnější) hodnoty nemáme dost informací. Pokud bychom předpokládali, že hledaný kritický odstup je nějaká neznámá konstanta, pak touto konstantou může obecně být jakékoliv číslo mezi $\max R_i$ a $\min A_i$. Troutbeckova metoda však nehledá t_g v podobě konstanty, ale (jak jsem již popisoval v předchozím textu) předpokládá, že kritický odstup je obecně náhodná veličina mající logaritmicko-normální rozdělení s neznámými parametry μ a σ . Dá se ukázat, že pokud je $\max R_i < \min A_i$, pak přísně matematicky vzato žádné řešení problému neexistuje. Přitom ovšem můžeme při vhodné volbě počátečních podmínek pomocí excelovského řešitele získat jakékoliv numerické „řešení“, pro které bude střední hodnota kritického odstupu kdekoliv mezi $\max R_i$ a $\min A_i$ a směrodatná odchylka bude velmi malá. Při jen trochu nevhodné volbě počátečních podmínek pak excelovský řešitel selhává. V našem příkladě můžeme tudíž tvrdit, že střední hodnota kritického odstupu, zjišťovaná ze všech dat, může být jakékoliv číslo mezi 7.03 a 7.66 s. Použijeme-li ovšem myšlenku oceňování kvality pořízeného odhadu střední hodnoty kritického odstupu pomocí vynechání extrémních řidičů ze souboru dat, tento interval se nám podstatně rozšíří: vynecháním 1. řidiče (v Obr. 2 odspodu) se dolní mez posune na 3.77 s a naopak vynecháním 4. řidiče se získáme horní mez 9.69 s. Věrohodný interval, ve kterém se neznámá střední hodnota kritického odstupu může pohybovat, je na základě dat odhadnut jako interval od 3.77 do 9.69 sekundy, což je samozřejmě pro praxi nepoužitelné.

4. Závěry, analýza vlivů faktorů, další směr výzkumu

Výše popsaným způsobem byly vypočteny odhady středních hodnot kritických odstupů pro data ze 40 neřízených křižovatek. Výpočty byly prováděny zvlášť pro jednotlivé dopravní proudy, vzhledem k nedostatku a nekvalitě dat v určitých proudech bylo nakonec získáno celkem 111 bodových odhadů střední hodnoty kritického odstupu. Ke každému byl dopočten věrohodný interval, ve

kterém se tato střední hodnota může pohybovat. V současné době probíhá zkoumání vlivů různých faktorů na vypočtené odhady kritických odstupů. Vyhodnocujeme mimo jiné vliv umístění křižovatky (intravilán či extravilán), druhu křižovatky (styková či čtyřramenná), průměrné rychlosti na hlavní komunikaci, atd. Tyto analýzy ještě probíhají, ale již nyní lze říci, že poskytnou zajímavé výsledky, ne vždy shodné s obdobnými analýzami prováděnými v Německu před cca 4-5 lety.

V příštím roce plánujeme dokončení analýzy vlivů a realizaci výpočtů kritických odstupů pro okružní křižovatky. Odbornou veřejnost budeme informovat o výsledcích v některém odborném časopise a rozhodně též v dalším sborníku Udržitelné výstavby.

Poděkování: Tento příspěvek je podporován výzkumným záměrem Udržitelná výstavba MSM 684070005.

Použitá literatura

BRILON, W., KOENIG, R., TROUTBECK, R.J., 1997: Useful Estimation Procedures for Critical Gaps. Sborník konference “The Third International Symposium on Intersections without Traffic Signals”, Portland, Oregon, U.S.A., 1997, pp.71-87.

TROUTBECK, R.J., BRILON, W., 2006: Unsignalized Intersection Theory, http://www.fpp.edu/~milanb/tpmeh/tpt/traffic_flow_monography/chap8.pdf.

WEINERT, A., 2001: Grenz- und Folgezeitlücken an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen. Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, Heft 23, 2001, ISSN 1437-8299

Kapacity křižovatky jako riziko dopravní sítě

Petr Slabý

Stav dopravní infrastruktury je důležitým předpokladem pro racionální využití investičního záměru v území. Dopravní infrastruktura tj. dopravní síť má však pro území, určené k výstavbě, určité omezující-limitní podmínky. Limity automobilové dopravy lze sledovat a dále specifikovat v oblastech :

- bezpečnost silničního provozu, krizové situace,
- kapacita dopravní sítě a jejích elementů, především křižovatek,
- vlivy dopravního zatížení na životní prostředí.

Capacity of non-signalized intersection is limited for permeability of road network. Intersection's capacity depends at intensity of traffic streams. The capacity was compared for six types intersections in connection with quality of traffic load (grade A-F).

1. Oblast dopravního inženýrství

Rizikové faktory , nejen komunikační sítě ale i dopravního provozu na ní, lze sledovat a analyzovat z několika hledisek vzájemně propojených :

- a) hledisko bezpečnosti provozu (o té jsme hlavně referovali v minulém roce),
- b) hledisko kapacity komunikační sítě a jejích elementů, především křižovatek,
- c) hledisko vlivu dopravy i sítě na životní prostředí,

přičemž odděleně vymezujeme další- **druhou oblast**, zabývající se technologií a konstrukcí vozovek, jejich limitami i možnostmi minimalizování negativních vlivů na životní prostředí formou šetrné a ohleduplné výroby a stavby.

Stěžejní problematikou jsou především rizikové faktory ad a) a b). V loňské zprávě jsme informovali především o přístupu k řešení a dílčích výsledcích v bezpečnosti- nehodovosti provozu, v letošní zprávě uvedeme naopak získané poznatky z hlediska kapacity. Souběžně probíhá i další sledování bezpečnosti provozu formou dopravních průzkumů, profilová měření pomocí měřicí soupravy analyzátoru dopravy typu SR-4 event.MARKSMAN 400. V letošním roce byly jednak realizovány průzkumy na městských komunikacích, zaměřených na hodnocení vlivu uklidňovacích opatření a dále bude využito k podrobným analýzám i rozsáhlé databáze profilových sledování radarem, prováděných ve spolupráci s Centrem dopravního výzkumu Brno. Na těchto měřeních v rámci projektu MD ČR jsme se přímo zúčastnili a jejich výsledky

budeme analyzovat navíc v parametru bezpečnosti tj. bezpečné vzdálenosti, jako rozhodujícího ukazatele.

2. Kapacita křižovatek

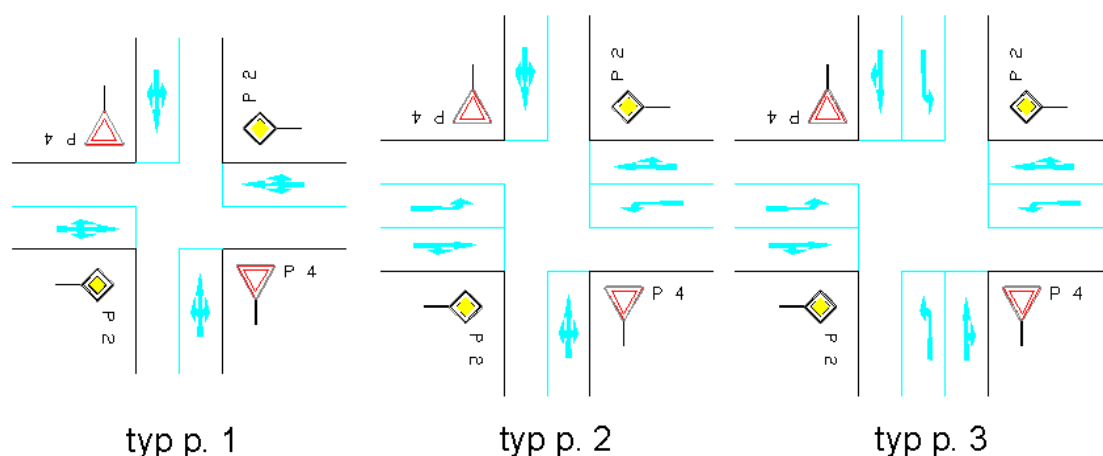
Problematika kapacity je v současné době velmi aktuální, probíhá revize křižovatkové normy ČSN 736102 a projekty na MDČR, zabývající se inovací výpočetních metod kapacity křižovatek (na kterých jsme v úvodních fázích spolupracovali).

Naší hlavní zásadou je, že *kapacitu je nutné vždy definovat ve vztahu na kvalitu dopravního provozu*. Zjednodušeně se dá říci, že při nižších nárocích na kvalitu dosáhneme vyšší kapacity.

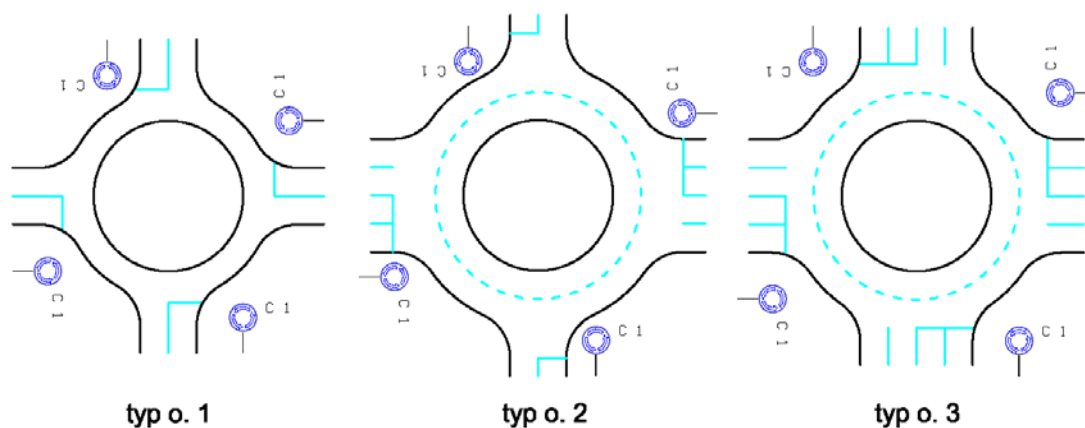
Ukažme si tedy tuto souvislost na konkrétních příkladech :

- různých dispozic ÚK včetně malých okružních křižovatek (OK),
- různých kombinací zatížení dopravních proudů.

Za tímto účelem si zvolme v praxi nejčastější typy průsečných a dnes oblíbených okružních křižovatek dle následného obrázku :



Obr. 1 Dispoziční uspořádání typů průsečných křižovatek



Obr. 2 Dispoziční uspořádání typů okružních křižovatek

Tyto základní typy křižovatek budeme zatěžovat proudy, kvantifikované poměrem zátěží.

Kombinace zatížení jednotlivých dopravních proudů, uvedené v následující tabulce používá označení H=hlavní proudy, V=vedlejší proudy, indexy 1,2 jsou označení dvou protisměrných ramen, každý vjezd má tři směry:levý-přímý-pravý:

Tab. 1 Rozložení zatížení

Rozložení zatížení na průsečné (okružní) křižovatce				
Hlavní proud 1 : Vedlejšímu proudu 1 : Hlavnímu proudu 2 : Vedlejšímu proudu 2				
H1:V1:H2:V2	H1:V1:H2:V2	H1:V1:H2:V2	H1:V1:H2:V2	H1:V1:H2:V2
1:1:1:1	2:1:2:1	3:1:3:1	1:2:1:2	4:2:3:1
Levé odbočení : Přímému směru : Pravému odbočení				
1:2:1	1:2:1	1:2:1	1:2:1	2:3:1

Následné výpočty byly provedeny pro konstantní podmínky křižovatky ve městě, s podílem nákladní dopravy 10% a s dopravním rozlišením vedlejších vjezdů značkou P4 „Dej přednost v jízdě“. Výpočetní metodou byla německá metodika HBS 2001.

Kvalitativní stupně ÚKD (**úroveň kvality dopravy**) jsou určeny dle hodnoty ztrátových časů dle následující tabulky :

Tab. 2 Kvalitativní stupně UKD

ÚKD	průměrný ztrátový čas w [s]
A	10
B	20
C	30
D	45*
E	w = x (s) pro R _i = 0 (jed.voz/hod)
F	Přesycení

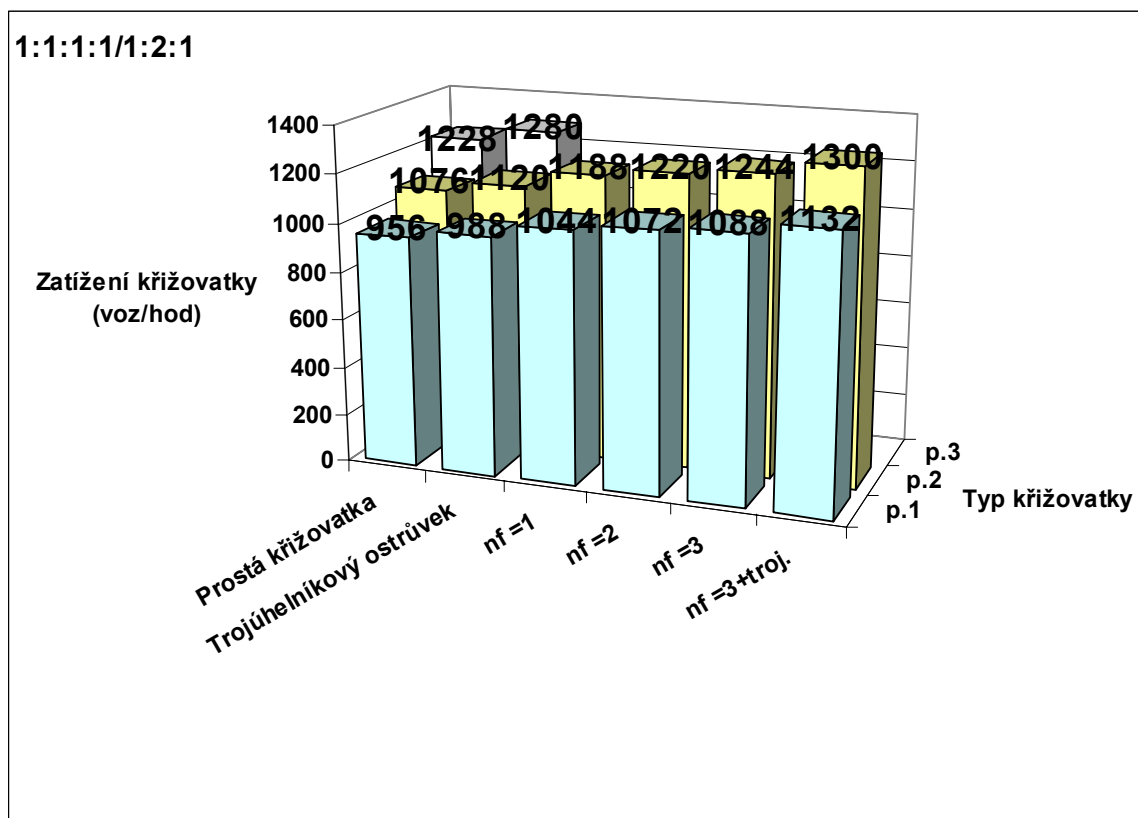
Pozn: V revidované ČSN 73 6102 bude upraven ÚKD stupeň D na hodnotu 55s.

Rozsah prověřovaných zatěžovacích stavů je omezen podmínkou dosažení stupně kvality „E“ pro nejpodřízenější dopravní proud (levé odbočení z vedlejší) tj.když je rezerva kapacity nulová. Samozřejmě, že tohoto stupně dosáhne každý typ křižovatky za jiných podmínek zatížení.

Výsledky opět budeme prezentovat pokud možno především graficky, pro lepší přehlednost i srovnání.

3. Vliv různých dispozic křižovatky

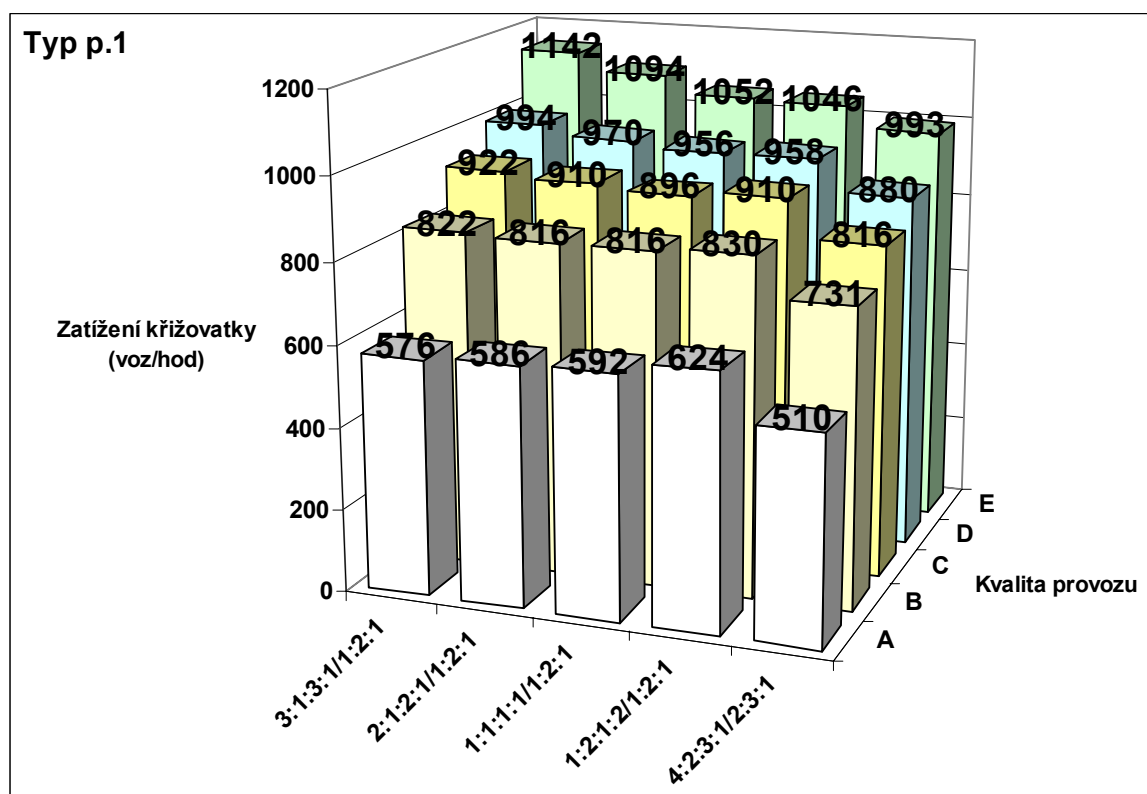
Na následném sloupcovém grafu jsou znázorněny kapacity pro jednotlivé typy křižovatek průsečných p1, p2 a p3. Pro jednoduchý případ symetricky zatížené křižovatky všech vjezdů je vidět efekt těchto zlepšených dispozic. Např. pro typ p1 činí toto navýšení z 956 na 1132 voz/hod.



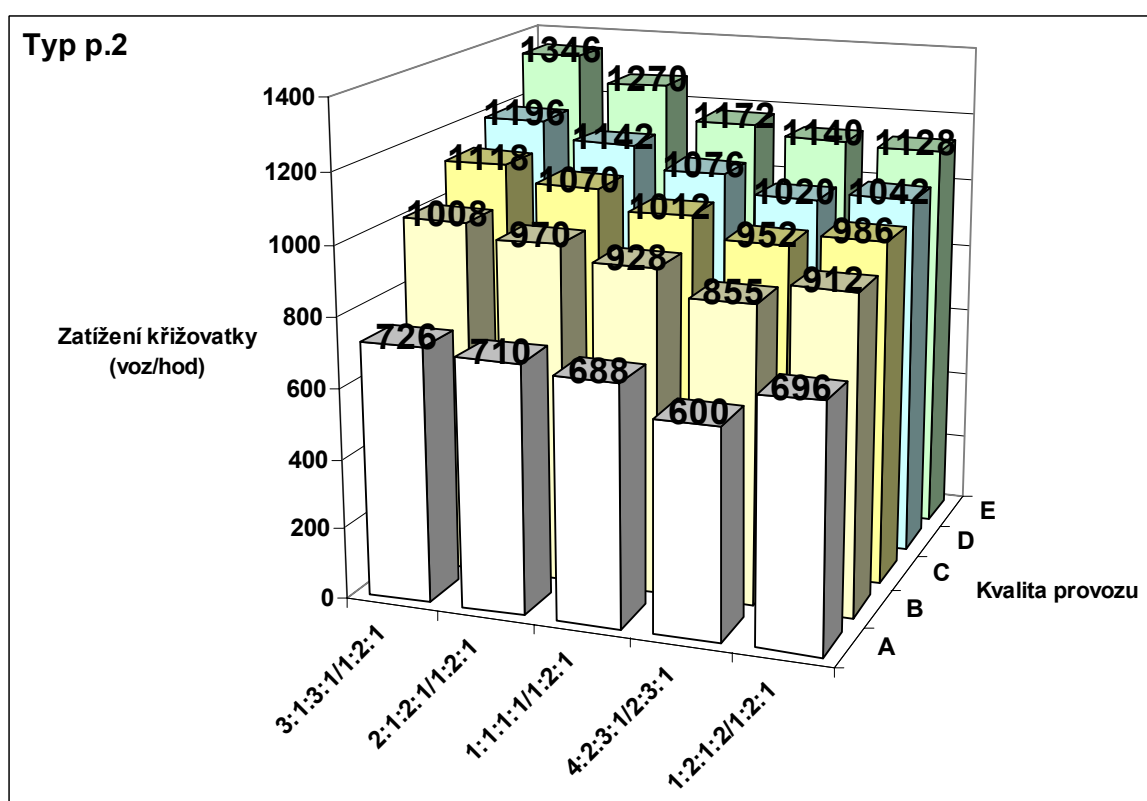
Obr. 3 Kapacita křižovatek v závislosti na dispozici, při vyrovnaných zátěžích všech vjezdů (1:1:1:1)

4. Vztah : kapacita - dispozice – poměry zatížení –kvalita

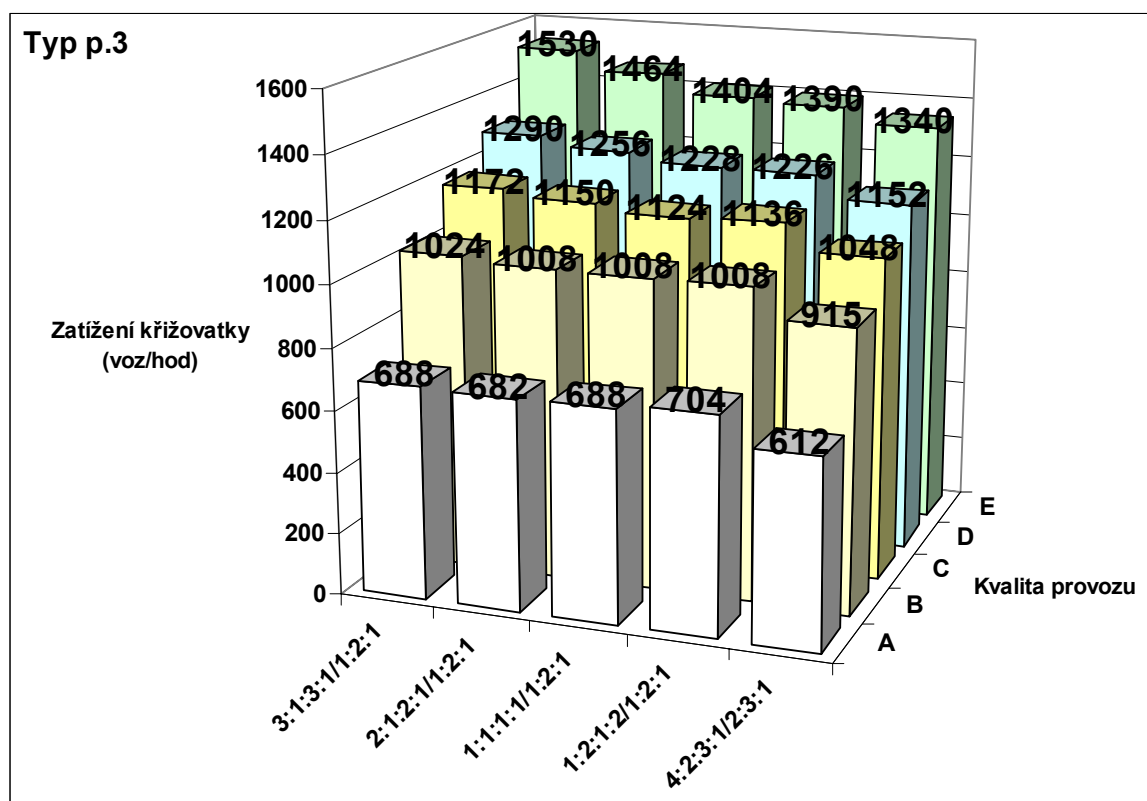
Srovnáme-li objektivně kapacity křižovatek jednotlivých typů, pak z následných grafů je zřetelný celkový numerický rozdíl v kapacitách v závislosti i na kvalitě provozu i poměrech zatížení křižovatek.



Obr. 4 Kapacita křižovatky p.1 v závislosti na typu zatížení



Obr. 5 Kapacita křižovatky p.2 v závislosti na typu zatížení



Obr. 6 Kapacita křižovatky p.3 v závislosti na typu zatížení

Z výsledků ve grafech lze učinit tyto závěry :

- kolísání kapacity uvnitř určitého stupně provozní kvality (UKD=A,B,C,D,E) není pro variace dopravního zatížení výrazné, činí řádově 100-150 voz/hod, nejmenší rozdíly jsou u nejvyšší kvality tj.stupně A (612 až 704 voz/hod),
- rozdíl v kapacitách jednotlivých typů křižovatek (pro určité rozložení zatížení) je daleko výraznější, činí až 400 voz/hod,
- numericky nejvyšší hodnoty 1530 voz/hod bylo dosaženo pro „nejlepší“dispozici p3, největší rozdíl mezi zatížením hlavní a vedlejší zátěží a pro nejnížší úroveň kvality „E“. Tuto hodnotu je obecně nutno chápat jako ne konečnou, neboť logicky by bylo dosaženo vyšší kapacity křižovatky pro nejvyšší rozdíly mezi hlavními a vedlejšími proudy (např. 5:1:5:1). Ad absurdum, nejvyšší kapacita by byla dosažena tehdy, kdy intenzity na hlavní by byly maximální – ale pak už by to nebyla křižovatka. V tomto smyslu se zdá potřebné definovat kapacitu nejen s ohledem na požadovanou kvalitu, ale i s vymezením jakési minimální intenzity na vedlejších,

5. Vztah : druh křižovatky - kapacita – kvalita

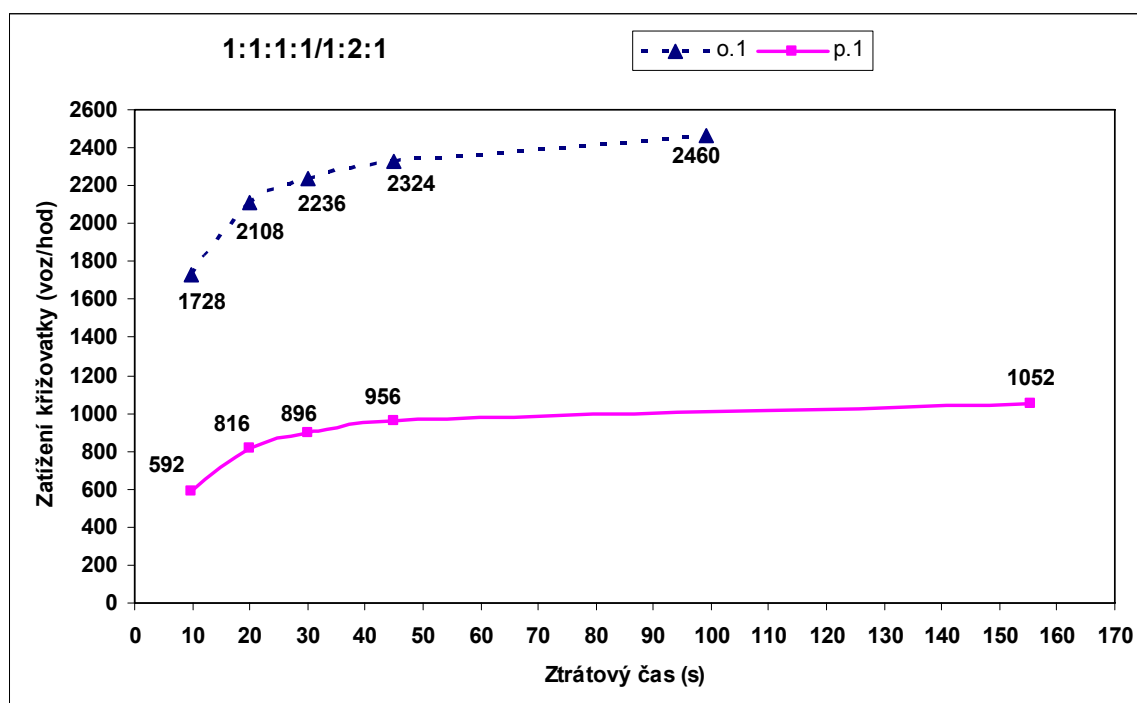
V této části si budeme demonstrovat vliv podstatnějších rozdílů mezi

křižovatkami a to:

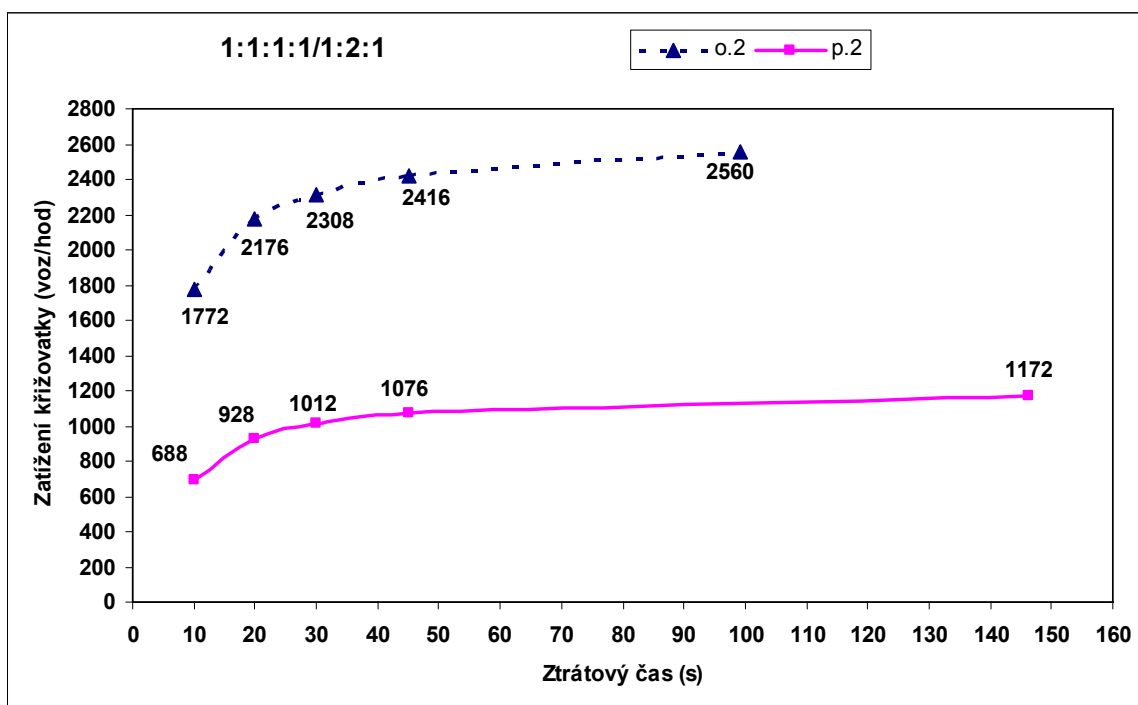
- úrovnňových, průsečných křižovatek a
- malých okružních křižovatek se srovnatelnými dispozičními nároky v počtech pruhů.

Rovněž ukazatel kvality tj. stupně A až E nahradíme přesnějším údajem „ztrátových časů“ a to především z toho důvodu, že je zřetelnější závislost kapacity s kvalitou a navíc se jednoznačně projeví problematika určení striktních hranic stupňů A až E pomocí ztrátového času.

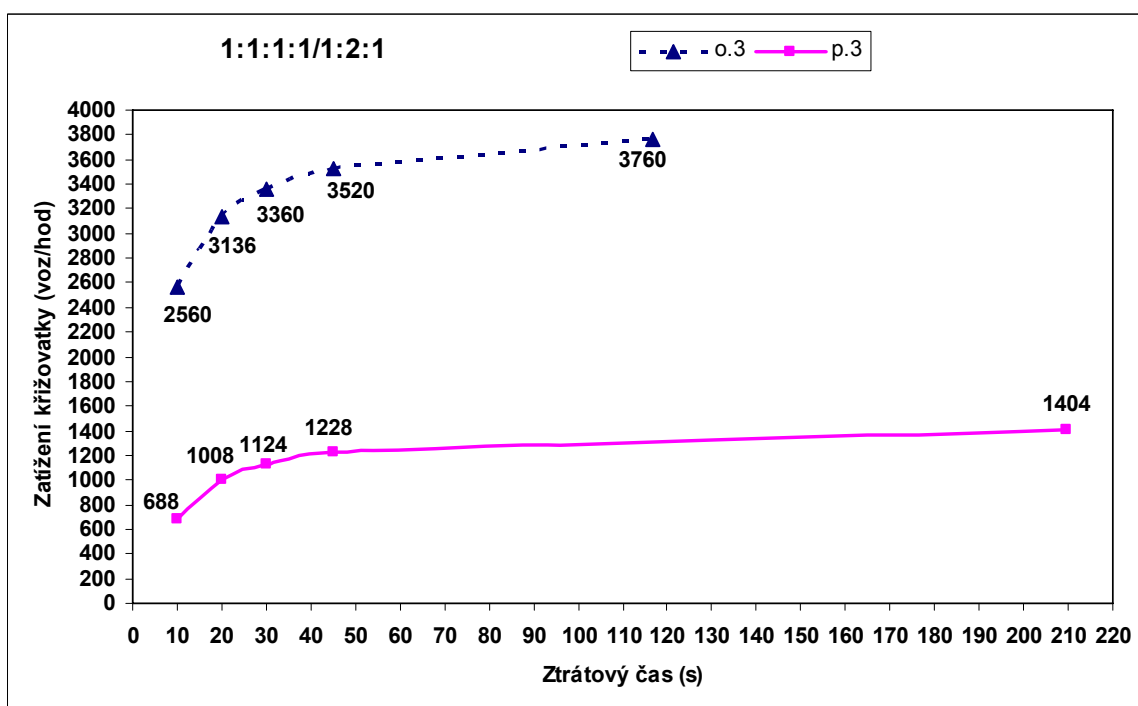
Uvedeme grafy v kterých budeme porovnávat průsečné křižovatky se srovnatelnými okružními v systému kapacita-kvalita. Vynesené křivky jsou ukončeny v bodě, kdy je rezerva kapacity nulová (nejpodřízenějšího dopravního proudu). **X-ové souřadnice odpovídají ÚKD.**



Obr. 7 Porovnání celkového zatížení křižovatek v závislosti na ztrátovém čase



Obr. 8 Porovnání celkového zatížení křižovatek v závislosti na ztrátovém čase



Obr. 9 Porovnání celkového zatížení křižovatek v závislosti na ztrátovém čase

Poznatzky :

- z grafů je jasné vidět, že průsečné křižovatky dosáhnou kapacity až při daleko nižší kvalitě provozu. Ztrátový čas činí 140-210s oproti okružním se 100-120 sekundami,
- okružní křižovatky mají cca 2-3x větší kapacitu,

- prověřovaný zátěžový stav souměrného zatížení je optimální pro okružní křižovatky.

6. Závěry, doporučení

Uvedená stručná ukázka měla dokumentovat především numerické hodnoty kapacity, vyjadřující vliv daných podmínek (zátěží) v souvislosti s navrhovanými podmínkami (typ a dispozice křižovatky). Tato znalost je velmi užitečná pro projekční praxi. V praxi se často usiluje o zlepšení řádově v desítkách voz/hod., přičemž největší handicap – nevyrovnané zátěže – je zanedbán.

Bude-li okružní křižovatka navrhována i z kapacitních důvodů, pak vyrovnanost zátěží je kardinální podmínkou efektivnosti provozu.

Literatura

- PROJEKT MDČR, 2004-06: Aktualizace výpočtových modelů pro stanovení kapacity neřízených okružních křižovatek, EDIP s.r.o,
- SLABÝ P., 2000: Kapacita malých okružních křižovatek v souvislostech. Silniční obzor 7-8/2000
- SLABÝ P., 2003: Souvislost mezi kapacitou a kvalitou. Silniční obzor 4/2003
- KOUKOL M., 2005: Analýza metod výpočtu kapacity úrovnových křižovatek, diplomová práce, FD ČVUT Praha

Technologie recyklace za studena v silničním stavitelství

Petr Mondschein

Současné trendy v oblasti technologií silničního stavitelství se v mnohem větší míře zaměřují na udržitelná řešení zdůrazňující potřebu hospodárného nakládání s přírodními zdroji, využíváním recyklovatelných a druhotných surovin, jakož i snahou snižovat energetickou náročnost a znečišťování ovzduší. Velká pozornost je dnes věnována studeným technologiím.

Actually trends in technology of road building are centred on recycling and using secondary raw materials. Gear down of energy is next way for safe environment. Cold asphalt mixes encourage attention at this time.

1. Úvod

Cílem recyklace je znovu použití materiálu po jeho úpravě ve stejně náročných podmínkách, kde byl původní materiál zabudován. Snahou je prodloužit „život“ materiálu (suroviny), který je na konci životnosti konstrukce odstraněn a přes svoje „zbytkové“ užitné parametry nepoužíván.

Nutnost recyklace je podložena následujícími požadavky: minimalizace odpadů ukládaných na skládkách, snižování spotřeby neobnovitelných přírodních zdrojů a maximálně využití druhotných surovin, možnost dalšího využití vytěžených hornin vyznačujících se méně vhodnými technickými parametry při budování zemního tělesa, rozvoj technologií s nízkou energetickou náročností. Trendy v oblasti technologií recyklace je nutné hledat ve zvyšování podílu R-materiálu ve směsích pro konstrukční vrstvy vozovek, v šetrném znovupoužití materiálu ze směsí obsahujících jako pojivo dehet (je zaříděn jako rakovinotvorný), v prosazování recyklace prováděné za studena, pěnoasfaltových technologií a teplých asfaltových technologií.

2. Technické podmínky

Technické podmínky MD jsou součástí rezortních předpisů. Technické podmínky (TP) by se daly srovnat s dřívějšími oborovými normami. Výhodou TP je detailnější a ucelenější zpracování pro potřeby oboru pozemních komunikací. Slouží jako doplněk k ČSN.

Z ucelené řady TP obsahuje následující výčet těch, které plně nebo z části svým

zaměřením jsou spojeny s pojmem recyklace nebo využití druhotných materiálů:

- TP52 Recyklace na místě za tepla u vysprávek – Oprava podélných spar a trhlin remixerem 30 FRP fy Wirgen, 1991, IMOS, (1),
- TP 61 Recyklace na místě za tepla u vysprávek – Vysprávky povrchů s malým recyklérem, 1994, IMOS, (2),
- TP 93 Návrh a provádění staveb PK s využitím popílků a popelů, 2003, SG-Geotechnika, (3),
- TP 111 Přímé zpracování recyklovatelného asfaltového materiálu do vozovek, 1998, IMOS, (4),
- TP 112 Studené pěnoasfaltové vrstvy, 1998, revize 2005, IMOS, (5),
- TP 126 Použití R – materiálu smícháním s kamenivem a asfaltovou pěnou pro PK, 1999, revize 2005 IMOS, (6),
- TP 134 Údržba a opravy vozovek s použitím R-materiálu obalovaného za studena na asfaltovou emulzi a cementem, 2000, aktualizace 2005, IMOS, (7),
- TP 138 Užití struskového kameniva do PK, 2001, VUT Brno, (8),
- TP 148 Hutněné asfaltové vrstvy s přídavkem drcené gumy z pneumatik, 2001, VUT Brno, (9),
- TP 162 Recyklace konstrukčních netuhých vrstev netuhých vozovek za studena na místě s použitím asfaltových pojiv a cementu, 2003, IMOS, aktualizace 2005, (10).

3. Recyklace za studena

Recyklaci za studena lze používat pro všechny druhy konstrukcí pozemních komunikací (tuhé, netuhé i kompozitní). Mezi složky směsi používané nejčastěji při recyklaci za studena patří:

- R-materiál (asfaltový nebo betonový recyklát) nebo RSLA – materiál získaný frézováním či předrcením dříve provedených vrstev vozovek. Doporučený podíl fillerových částic by se měl pohybovat v rozmezí 0-10% a propad na síť 2 mm by měl být minimálně 20%.
- Asfaltová emulze – stabilní pomaluštěpná, obvykle kationaktivní asfaltová emulze s obsahem asfaltu v rozmezí 58-70% hmotnosti a vysokou stabilitou vůči cementu, která je určena pro obalování kameniva, R-materiálu, RSLA a jejich směsí různé zrnitosti za studena. Je možné použít též vhodnou anionaktivní asfaltovou emulzi. Emulze se přidává v množství 2-5% hmotnosti základní směsi.
- Kamenivo – přidává se pro zlepšení kvality výsledné směsi ke staré asfaltové směsi a musí splňovat technické požadavky na kamenivo pro vrstvy OKII, OKVH nebo OKM.

- Cement – používá se portlandský struskový nebo vysokopecní. Cement se přidává v množství 1-5% hmotnosti základní směsi.
- Voda – použitelná je každá voda vhodná pro výrobu betonu. Její množství závisí na složení základní směsi a klimatických podmínkách a nemělo by klesnout pod 5,0-7,0% hmotnosti základní směsi.
- Asfalt – při použití asfaltové pěny. Přidává se v takovém množství, aby zbytkové množství asfaltu činilo 1,3-3,9% hmotnosti základní směsi.
- Přísady – možnost použití různých změkčovadel, příměsí zpomalujících tuhnutí cementu nebo prodlužujících dobu zpracovatelnosti apod.

Směs se vyrábí v míchacím zařízení s možností hmotnostního, případně i objemového dávkování jednotlivých složek směsi a jejich dokonalého promíchání. Lze využít i obalovny asfaltových směsí nebo betonárky, které se vybaví přídatným zařízením. Pro dávkování jednotlivých složek při míchání se doporučuje zachovat následující pořadí: R-materiál, RSLA nebo jejich směs + kamenivo, cement, voda, asfaltová emulze.

Přidáním asfaltové emulze se v důsledku plastifikace odstraňuje nebezpečí tvorby smršťovacích trhlin. Další výhodou užití asfaltové emulze u recyklace za studena je její lepší rovnoměrné promíchání s cementovou stabilizací v porovnání s pěnoasfalty. Rozhodující předností v porovnání s recyklací za horka prováděnou přímo na místě je výrazně jednodušší stavebně-technická manipulace s asfaltovými emulzemi, neboť horký asfalt v praxi jen zřídka vykazuje dostatečnou teplotu, což má zpravidla za následek nehomogenní rozložení (promíchání).

Asfaltové emulze jsou schopné trvale obalit asfaltový granulát kontaminovaný dehtem, čímž je možné i tento materiál znovu použít. Díky spotřebě jen relativně malých množství asfaltové emulze lze ušetřit náklady spojené s odstraňováním odpadu – odvoz a skladování kontaminovaných starých vybouraných asfaltových vrstev. Stav, který v mnoha případech zohospodární celkovou sanaci úseků silnic a dálnic.

Směs se pokládá na zavlhlý povrch. Minimální teplota vzduchu při rozprostírání směsi nesmí být nižší než +5°C a za posledních 24 hodin nesmí klesnout pod +3°C. Směs nesmí být ukládána na zmrzlý povrch. Rozprostírá se finišery, pouze výjimečně gradery. Minimální tloušťka vrstvy z R-materiálu obalovaného za studena je 40 mm. Maximální tloušťka 100-150 mm podle kvalitativní třídy dané fyzikálně mechanickými vlastnostmi. V případě směsí recyklovaných obalením za studena na místě (SROSM) je nejmenší tloušťka jedné vrstvy po zhutnění závislá na kusové zrnitosti materiálu a činí 120-150 mm. Obrusná

vrstva vozovky zhotovená z R-materiálu obalovaného za studena musí být vždy opatřena vhodným, nejlépe emulzím nátěrem nebo emulzní kalovou vrstvou. V případě jiné vrstvy, která však po určitou dobu je pojížděna technologickou dopravou je vhodné provést jednovrstvý ochranný nátěr asfaltovou emulzí.

4. Pěnoasfaltové směsi

Výraznou technologií pro využití druhotných a recyklovaných materiálů, kterou se zabývají TP MD je výroba pěnoasfaltových směsí (5,6). Technologie pěnoasfaltů řízeným vstřikováním jemného proudu vody do asfaltového pojiva využívá velmi nebezpečný efekt pěnění. Vytvářená pěna zvětšuje svou povrchovou energii a celkově vede ke snížení viskozity pojiva a tedy i k lepší zpracovatelnosti. Smísením zpěněného pojiva s nepředehříváním kamenivem či R-materiálem získáme směs, kterou lze pokládat za studena nebo při teplotách pod 100°C. V porovnání s klasickými technologiemi asfaltových směsí vyráběných za horka dochází až ke 40% snížení energetické spotřeby.

Pěnoasfaltovou směs s R-materiálem označujeme PASRM. Do takové směsi je možno zpětně zabudovat až 75% R-materiálu. Pro pěnoasfalty je možné použít i druhotné suroviny např. odpadní materiál vznikající při drcení a třídění kameniva, odprašky či popílky. Použitelnost a množství R-materiálu nebo druhotných materiálů musí být ověřena průkazní zkouškou.

Při výrobě asfaltové pěny se dnes používá výhradně nízkotlaký systém vstřikování vzduchu a atomizované vody. Relativně novým a inovativním trendem však je využití tohoto výrobního procesu při výrobě pěnoasfaltových směsí stmelených za studena, včetně využití R-materiálu. V ČR jsou přitom technologie studené recykláže relativně mladou oblastí, pro kterou se teprve postupně zpřesňují technické podmínky a dochází k ověření reologických vlastností, které by v dostatečné míře popsaly dlouhodobé užité chování těchto směsí. Stejně jako v devadesátých letech v Norsku či v Nizozemí se nejčastější technologií využívající asfaltové pěny stala recyklace na místě.

5. Přehled laboratorních zkoušek

V rámci sledování využití studených směsí v konstrukci vozovky bylo na těchto směsích provedeno množství laboratorních testů.

Pro měření modulů tuhosti používáme přístroj NAT. V NATu lze sledovat v širokém teplotním intervalu (-10°- 40°C) na Marshallových tělesech nebo jádrových vývrtech odebraných rovnou z vozovky tyto materiálové a deformační charakteristiky. Měření modulu tuhosti je jednoduchá nedestruktivní

zkouška prováděná na Marshallovém tělese. Tento vzorek je při určité teplotě namáhán zatížením, které vyvolá námi předem předepsanou horizontální deformaci (nedojde k porušení vzorku). Po přípravných pulzech je zkušební vzorek zatížen v pěti cyklech. Modul tuhosti se spočítá podle rovnice:

$$S(T) = \frac{P[\mu(T) + 0,273]}{\Delta \cdot h},$$

kde $S(T)$ je modul tuhosti směsi v MPa při zkušební teplotě T , P maximální vertikální zatěžovací síla v N, D maximální horizontální deformace vyvolaná zatěžovacím pulsem v mm, h průměrná tloušťka vzorku v mm a $m(T)$ Poissonovo číslo pro asfaltovou směs v závislosti na teplotě.

Nízkoteplotní vlastnosti směsí experimentálně zjišťují dvě zkoušky, jedná se o pevnost v tahu za ohybu a relaxační zkoušku. Oba experimenty využívají stejnou sestavu zkušebních zařízení a využívají i stejný typ vzorku. Zkouška probíhá ve speciální klimatizované vaně při teplotě $0 \pm 1^\circ\text{C}$. Při měření pevnosti v tahu za ohybu namáháme vzorek až do jeho porušení při rychlosti posunu lisu 1,25 mm/min., kdy zaznamenáme maximální dosaženou sílu (napětí) a příslušnou deformaci. Důležitým faktorem, který silně ovlivňuje hodnotu napětí je rychlost zatěžování. Dále u této zkoušky můžeme vyhodnotit modul tuhosti v tahu za ohybu E (MPa) a relativní přetvoření ε_s .

Rozšířená Marshallova zkouška je předepsána normou ČSN 73 6160 Zkoušení živých směsí. Z této zkoušky se stanovuje: stabilita podle Marshalla, přetvoření podle Marshalla, tuhost podle Marshalla, mezerovitost. Tato zkouška se provádí na válcových tělesech o průměru 101,5 mm (Marshallova tělesa).

5. Výsledky zkoušek

Na základě dosud provedených zkoušek bylo možno prokázat očekávaný pozitivní působení použití hydraulických pojiv při optimalizaci vlastností pěnoasfaltových směsí. Při použití 3%-hm. cementu nebo 1,5%-hm. CaO lze dosáhnout až dvojnásobného zvýšení stability. Dosažené hodnoty přitom plně odpovídají minimálním požadavkům Technických podmínek TP112. Výsledky reologických vlastností vykázaly nárůst modulů i pevností v závislosti na množství asfaltové emulze, kdy byl rozdíl obsahu mezi směsmi označenými CEA a CEB 1,3%. Výsledky modulů vykázaly velmi slušné hodnoty i ve srovnání s horkými asfaltovými směsmi. Pevnosti v tahu za ohybu nedosahují vysokých pevností.

Tab. 1: Výsledky zkoušek pěnoasfaltových směsí.

Vlastnost	Jednotka	Směs PA	Směs PB	Směs PC
Mezerovitost (M)	%	10,7	8,0	12,7
<i>Marshallova zkouška</i>				
Stabilita (SM _{60°C})	kN	1,1	3,9	-
Stabilita (SM _{22°C})	kN	9,3	20,3	16,6
Stabilita (SM _{22°C, nasákavost})	kN	7,6	19,8	15,4
Pokles stability (K _{SM})	-	0,817	0,975	0,928
Přetvoření (PM _{60°C})	mm	5,4	2,6	-
Přetvoření (PM _{22°C})	mm	8,0	2,9	5,1
Přetvoření (PM _{22°C, nasákavost})	mm	9,9	3,1	6,6

Tab. 2: Výsledky zkoušek směsí studených recyklací (cement + emulze)

Vlastnost	Jednotka	Směs CEA	Směs CEB
Mezerovitost (M)	%		
<i>Modul tuhosti</i>			
při 5°C	MPa	7 430	9 050
při 15°C	MPa	6 140	6 890
při 27°C	MPa	4 030	5 050
<i>Nízkoteplotní vlastnosti</i>			
pevnost v tahu za ohybu	MPa	0,44	0,56
modul tuhosti v tahu za ohybu	MPa	310	390

LITERATURA

TICHÝ, L., 2005: Resortní předpisy MD ČR pro pozemní komunikace, Projektování pozemních komunikací, Pragoprojekt, s. 147-157,

VALENTIN, J. - MONDSCHNEIN, P., 2006: Pěnoasfalty při recyklaci za studena - stávající zahraniční zkušenosti, Znovupoužití materiálů na stavebné účely. Košice: Dom techniky ZSVTS.

Významné výsledky sledování nestabilní oblasti Rabenov

Jan Záleský a Pavel Hánek

Výzkum aktivizace sesuvů vyžaduje dlouhodobé sledování pro hodnocení jak nahodilých tak dlouhodobých vlivů klimatu a prostředí na stabilitu území.

1. Úvod

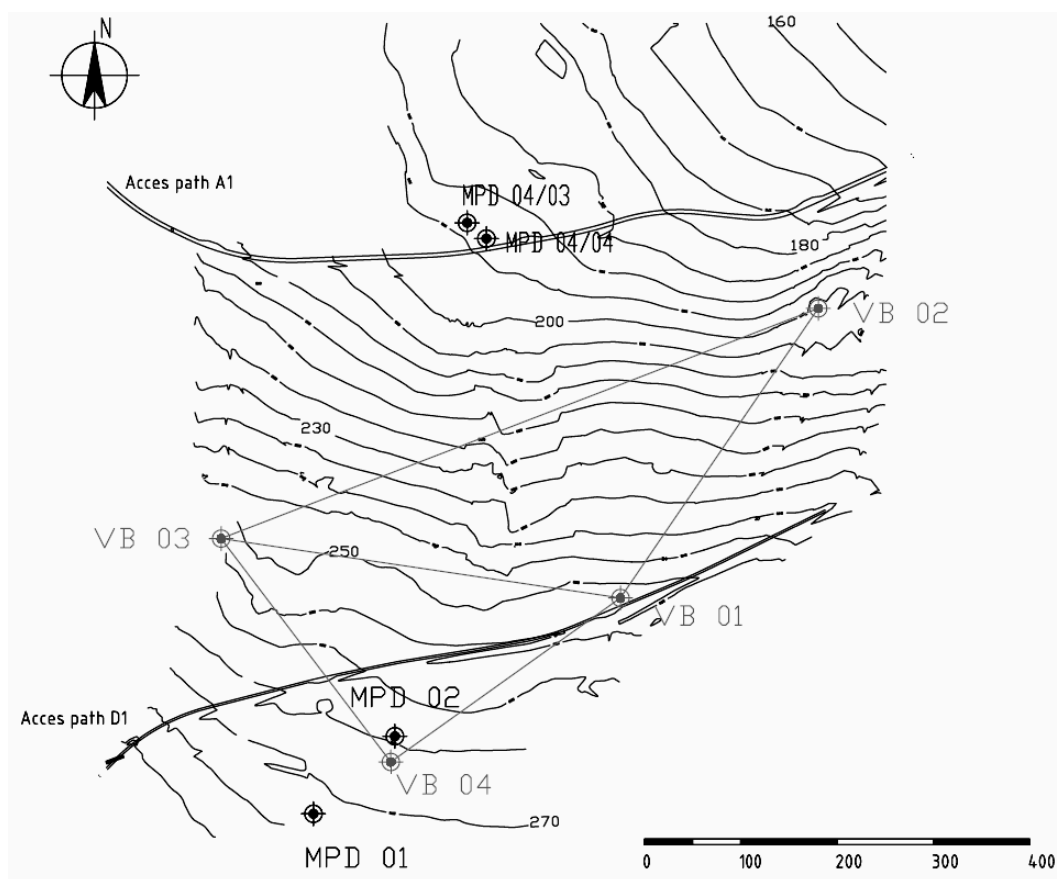
Pro výzkum je užíváno nestabilní území v lomu Chabařovice v severních Čechách. Jde o území intenzivně ovlivněné povrchovou těžbou hnědého uhlí. Svrchní část, tzv. horní stavba, nebyla skrývkovými pracemi přímo dotčena, ale stabilita byla snížena díky odlehčení a odebrání paty svahu. Nižší část, spodní stavba, je tvořena nestabilní výsypkou. V letošním roce byla zahájena sanační opatření, na jejichž návrzích a posuzování se pracovníci katedry geotechniky podíleli. Pro vypracování variant návrhů sanace území o rozloze cca 30 ha byly využívány výsledky dlouhodobého sledování a tyto návrhy včetně doplňujících průzkumných prací byly zpracovány na základě rizikové analýzy území, (Záleský, J. et al, 2005).

2. Geodetická sledování

Pro geodetické sledování je užívána lokální geodetická síť se vztažnými body zajištěnými geotechnickými instrumentacemi s vysokou přesností, (Záleský, J. et al, 2006). Jde o body označení VB 01 až 03, bod VB 04 je pomocný, obr. 1. Základní stanovení polohy bodů VB 01 až 03 bylo geodetické. Vzhledem k provedení bodů jde o body jejichž poloha se v čase do jisté míry mění vlivem prostředí, ale vektory změn polohy zhlaví výstroje (Δx , Δy a Δz) jsou s vysokou přesností stanoveny geotechnickými metodami.

Lokální síť s body VB 01, 03 a 04 umožňuje etapová zaměřování podrobných bodů v horní stavbě území, které je méně svažitě. Spodní část území je zajištěna pomocí bodů VB 01 až 03. Vybrané výsledky budou diskutovány na Workshopu.

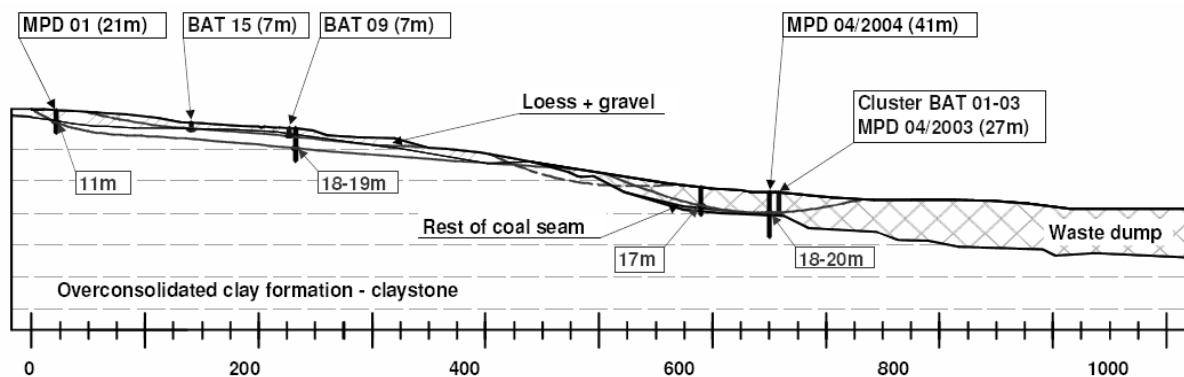
Měření jsou prováděna pozemními metodami se stanicemi Leica TC 1700 a 1800 a metodami GPS (Global Positioning Station) s vybavením Trimble 5700 (metoda RTK a Trimble GeoExplorer XT, který vyhovuje přesnosti GIS za předpokladu post-procesu DGPS. Cílem bylo kromě sledování vývoje přetváření povrchu území testování přesnosti a využitelnosti GPS metod pro zajištění geodetických sledování.



Obr. 1 Situace místní geodetické sítě a vybraných instrumentací

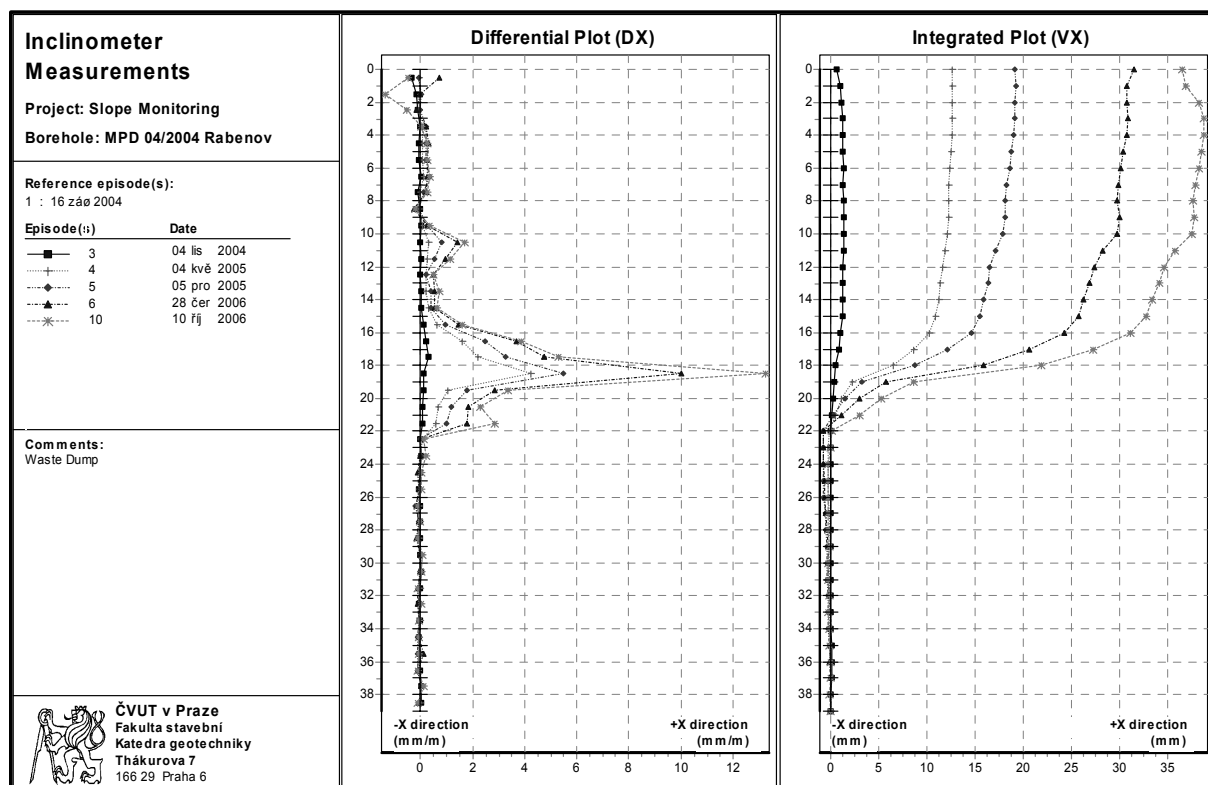
3. Geotechnická sledování

V obr. 2 jsou uvedeny vybrané geotechnické instrumentace, z nichž jsou v dalším textu zmiňovány instrumentovaný vrt MPD 04/2004 a svazek snímačů pórového napětí BAT 01-03. Vystrojený vrt MPD 04 je využíván k sledování 3-D přetvoření masivu výsypky a svazek snímačů BAT 01-03 pro vývoj pórového napětí ve třech úrovních ve výsypce.



Obr. 2 Charakteristický řez územím s polohami geotechnických instrumentací

Ve vrtu se souřadnicí $x = 650$ m jsou dlouhodobě sledována přetvoření výsypky, která má v tomto místě mocnost 30 m. Vývoj přetvoření ve spádu svahu je uveden v obr. 3. Tato vodorovná přetvoření jsou provázána kontraktantním chováním při smykání, jak je pro výsypky charakteristické.



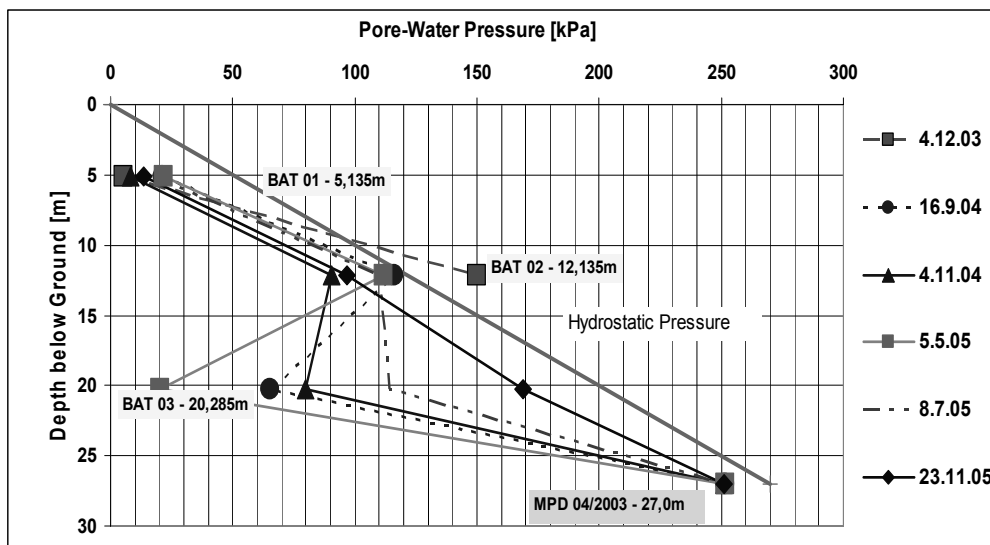
Obr.3 Vývoj vodorovných přetvoření masivu výsypky

Svislá osa v obr. 3 představuje měřicí značky po 1 m hloubky s tím, že 1. značka je cca 1 m pod úrovní terénu. Z uvedeného vyplývá, že oblast významných smykových přetvoření leží v hloubce 18-20 m. Další, méně významná přetvoření jsou v hloubce cca 12 m. Tyto výsledky byly užívány při zpětných analýzách stability výsypky a pro návrh stabilizačního násypu na výsypce.

Průběhy pórových napětí ve výsypce potvrzují předpoklad o výskytu oddělených hydraulických horizontů a o vývoji hodnot pórových napětí v závislosti na infiltraci a pohybu vody v masivu a omezených drenážních vlastnostech výsypky. To může vést i k vývoji napjaté podzemní vody, přestože materiál výsypky má proměnlivý stupeň nasycení, obr. 4. Zajímavým výsledkem je průběh pórového napětí ze dne 23/11/2005, který odpovídá průběhu hydrostatického tlaku vody s hladinou 2-3 m pod úrovní terénu.

O tom, že zvýšená pórová napětí mohou vést k iniciaci svahových pohybů

svědčí i vývoj pórových napětí v hloubce cca 12 m a ne příliš významný rozvoj smykových přetvoření ve srovnatelné hloubce, obr. 3 a 4.



Obr.4 Vývoj pórových napětí ve výsypce

Provádění sanačního násypu vyžaduje postupné prodlužování měřicí výstroje, aby bylo možné sledovat vliv přetížení na předpokládaný útlum svahových deformací. Prvá část již byla provedena. Způsob instrumentace a vyhodnocování měření byl vyvinut a ověřen při sledování vysokých gabionových konstrukcí v okolí portálů tunelu Valík, (Záleský, M. et al, 2006). Kolektiv katedry geotechniky se podílel na sledování gabionových konstrukcí při výstavbě a zpracoval prováděcí projekty trvalého zajištění svahů hlubokých příportálových zářezů.

4. Závěry

Proces sledování svahových pohybů vyústil ve vytvoření geotechnického modelu území, který byl dál zpřesňován pro účely návrhů sanačních opatření. Sledování účinnosti stabilizujících opatření bude probíhat v následujícím období. V současnosti je připravováno vystrojení pilot v kotvené pilotové stěně zajišťující nestabilní masiv v horní stavbě území. Toto je v ČR prvou aplikací vysoce přesného 3-D liniového sledování pro účely ověření sanace a zpětné analýzy vycházející z ohybových křivek pilot v kotvené stěně.

Geodetická sledování a vývoj vyhodnocování bude zaměřen na lokální síť se vztažnými body s přesně definovanými 3-D posuny, které budou dále využívány pro rozsáhlá území, ať zajištěná geotechnickými vztažnými body nebo systémy

GPS s přijatelnou přesností.

5. Poděkování

Autoři děkují za podporu MŠMT výzkumnému záměru MSM 6840770005, dále Palivovému kombinátu Ústí, s.p., za podporu při provádění sledování území a úpravách vystrojení vybraných prvků sledování.

Citovaná literatura:

- ZÁLESKÝ, J. et al, 2005: Pravděpodobnostní analýza svahových pohybů výsypek metodou LHS In: 33. konference se zahraniční účastí Zakládání staveb Brno 2005. Sborník příspěvků.. Brno: Česká geotechnická společnost Českého svazu stavebních inženýrů, 2005, s. 93-98. ISBN 80-7204-413-3.
- ZÁLESKÝ, J et al, 2006: Coupled application of geotechnical and geodetical slope movement monitoring. Proceedings of 3rd IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurement. CD ROM, edit. H. Kahmen and A. Chrzanowski. May 22-24, 2006 – Baden, Austria.
- ZÁLESKÝ, M., BOHADLOVÁ, M., ZÁLESKÝ, J., 2006: Měření prostorových deformací v tělese vysoké gabionové konstrukce. Sb. přednášek: 26. mezin.semináře Polní geotechnické metody 2006, září 2006, AZ Consult, spol. s r.o. Ústí n.L., ISSN 1213-1237, str. 159-164

Pyrotechnický průzkum a očista stavenišť dálnice D47

Tomáš Pokorný

More than 60 years after World War II we have very specific and serious problem – the U.X.O. (Unexploded Ordnance) contamination of some both industrial and agricultural fields. This article describes the explosive ordnance disposal process during the build-up preparation of the highway D47.

1. Úvod

Významnou – a dosud bohužel stále trochu podceňovanou ekologickou zátěž tvoří nevybuchlá munice. Nejen na části území, která se dnes řadí do kategorie „brownfield“ (např. bývalé vojenské výcvikové prostory či objekty těžkého průmyslu bombardované za II. světové války), ale i tam, kde za války stála fronta a probíhaly dlouhodobé boje prakticky na jednom místě. Typickým reprezentantem takto postiženého kraje je severní Morava a Slezsko, osvobozené tzv. ostravskou operací v březnu a dubnu 1945.

Ostravský prostor bránily hlavní síly německé 1. tankové armády ze skupiny armád Střed, již velel maršál Schörner. Celkem bylo na přístupech k Moravské Ostravě soustředěno 22 divizí s 2100 děly a minomety, více než 300 tanky a 280 bojovými letadly. Proti této síle stála vojska 4. ukrajinského frontu – celkem 240000 lidí, 2900 děl a minometů, 148 tanků a samohybných děl a 410 bojových letounů. Ostravská operace jedna z největších na území Československa. „Vedlejším produktem“ zmiňované vojenské operace je i velké množství nevybuchlé munice, stále se nacházející v zemi.

Pyrotechnici PČR Správy Severomoravského kraje prakticky každý týden vyjíždějí k nálezům granátů nebo minometné miny – a nejen při zemních pracích, ale i při orbě. Proto bylo rozhodnuto provést pyrotechnický průzkum a očistu v celé ploše trasy budované dálnice D47 v rámci předvýrobní přípravy. Úkolem pyrotechnického průzkumu a pyrotechnické očisty území je provést vyhledání, odkrytí, identifikaci, zajištění a předání nevybuchlé munice pyrotechnikovi Policie ČR.

2. Požadavek na pyrotechnický průzkum a dohled

Nutnost provedení pyrotechnického průzkumu vychází z písemných dokumentů o vojenské činnosti armád bojujících ve druhé světové válce a z četných nálezů

Tomáš Pokorný, Ing., Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb

Thákurova 7, 166 29 Praha 6-Dejvice

tel.: 224 353 981, fax.: 224 354 592, e-mail: pokorny@fsv.cvut.cz

nevybuchlé munice na plochách uvažovaných stavebních úseků v uplynulých letech.

Před zahájením vlastního pyrotechnického průzkumu byla provedena rekognoskace plochy se zaměřením zejména na:

- zjevný výskyt nebezpečné munice na povrchu terénu nebo jeho náznaky;
- výskyt skládek, které mohou obsahovat zahrnutou munici;
- terénní tvary umělého nebo nejasného původu;
- vstupy do podzemí, zavezené, zavalené nebo jinak znepřístupněné podzemní objekty;
- vodní nádrže, rybníky, zatopené jámy, požární nádrže, septiky, kanalizace;
- přístupové cesty nebo cesty nejasně končící;
- možnosti pro spojení integrovaným záchranným systémem, vyhledání plochy pro event. přistání vrtulníku letecké záchranné služby, nejbližší lékařskou pomoc, nejbližší požární sbor.

O provedené rekognoskaci byl proveden zápis do stavebního deníku. Spojení s IZS (integrovaný záchranný systém) se pak obnovovalo při každé změně lokality.

Pyrotechnický dohled se navrhuje při hloubení stavebních jam – pro základy mostních objektů, patky stožárů vedení vysokého napětí a přeložky inženýrských sítí, v hloubce větší než 350 cm od povrchu terénu, se zaměřením na případný nález nevybuchlé letecké bomby.

K získání poznatků o terénu se využilo podkladů z muzeí a kronik, literatury faktu s válečnou tematikou a sdělení pyrotechniků PČR, OKTE Správy Severomoravského kraje (Odbor kriminalistické techniky a expertíz).

3. Místo a plocha provedení pyrotechnického průzkumu

Ve druhém pololetí roku 2006 probíhá pyrotechnický průzkum na stavbě dálnice D47 v etapách: stavba D4705 Bělotín – Hladké Životice, v km dle staničení 160,530 – 124,250; stavba D4706 Hladké Životice – Bílovec, v km dle staničení 124,250 – 135,931; stavba D47092 Bohumín – státní hranice ČR/PR, v km dle staničení 163,800 – 169,912. Trasy jsou podrobně zpracovány v přehledných situacích M 1 : 10 000, které jsou součástí zadávací dokumentace.

Reliéf zájmového území stavby 4705 je mírně zvlněný a stavba je situována převážně na pozemcích, které jsou intenzivně zemědělsky obdělávány. Převažu-

jící činností v tomto prostoru je zemědělská výroba. Trasa stavby D4705 je vedena mimo obytná místa a prochází postupně od začátku úpravy k.ú. Bělotín, Hynčice u Vražného, Vražné u Oder, Odry, Mankovice, Pohoř, Suchdol nad Odrou, Kletné, Stachovice, Hladké Životice.

Délka stavby je 18 km, šířkově je dálnice navržena v kategorii D27,5/120 se dvěma mimoúrovňovými křižovatkami v Mankovicích a Hladkých Životicích, oboustrannou dálniční odpočívkou Vražné a Střediskem správy a údržby dálnice Mankovice s dálničním oddělením Policie ČR. Součástí jsou i přeložky silnic I. a III. třídy, 16 dálničních a 6 ostatních mostů, protihlukové stěny, odvodnění dálnice a přeložky dotčených inženýrských sítí.

V katastru obce Hladké Životice se dálnice mimoúrovňově kříží se silnicí I/57, vybudovaná přeložka (obchvat obce) bude sloužit jako přivaděč ze směrů Nový Jičín a Opava. Část dálnice procházející obcí je vedena na mostní estakádě délky 854 m s výškou nivelety nad úrovní stávajícího terénu cca 13 m.

Území stavby 4706 je pahorkovité s příčnými údolími vodních toků, které jsou většinou součástí biokoridorů, stavba je situována na intenzivně obdělávaných zemědělských pozemcích. V katastrálních územích Bílov a Butovice je přes re-kultivovanou skládku vedena přeložka komunikace II/464 spojující mimoúrovňovou křižovatkou Butovice dálnici se silnicí I/47 a Studénkou. Trasa stavby D4706 je vedena mimo obytná místa a prochází postupně od začátku úpravy k.ú. Kujavy, Pustějov, Bílov, Butovice, Velké Albrechtice, Bravantice.

V katastru obce Kujavy prochází dálnice okrajem zastavěné části obce a je zde vedena na mostní estakádě délky 200 m s výškou nivelety nad úrovní stávajícího terénu cca 10,5 m.

Délka stavby je 11,6 km, šířkově je dálnice navržena v kategorii D27,5/120 s mimoúrovňovou křižovatkou v Butovicích. Součástí jsou i přeložky silnic II. a III. třídy, přeložka železniční tratě Studénka–Bílovec, 10 dálničních a 8 ostatních mostů, protihlukové stěny, odvodnění dálnice a přeložky dotčených inženýrských sítí.

Stavba 47092 začíná na katastrálním území Starý Bohumín za křížením tratě ČD Bohumín–Chalupki a končí na katastrálním území Věřňovice na státní hranici navázáním na projektovanou polskou dálnici A1. Do km 166 částečně zasahuje okraje obcí Starý Bohumín, Bohumín, Šunychl a Skřečoň, dále ke státní hranici již vede mimo obytná místa a prochází postupně od začátku úpravy k.ú. Pudlov, Starý Bohumín, Bohumín, Dolní Lutyně, Věřňovice.

V rovinatém území Bohumína budou dálnice, souběžné přeložky silnic I/67, III/46813 a okružní křižovatky vedeny těsně nad terénem nad úrovní hladiny stoleté vody. Křižující silnice III. třídy – ulice Slezská a Šunychelská budou vedeny nadjezdem nad dálnicí, napojeny do I/67 a dále přes křižovatkové rampy MÚK Bohumín na D 47. Přes dálnici bude mimoúrovňově převeden i pěší a cyklistický provoz. Podél souběhu D 47 a silnic bude v délce cca 3 km dálnice opatřena protihlukovými stěnami na zemním valu, které budou hojně osázeny vegetací.

Na území Dolní Lutyně bude dálnice pokračovat na násypu výšky 2–6 m, překoná řeku Olši mostem délky 180 m a skončí na státní hranici na násypu cca 11 m.

4. Použitá detekční technika a pomůcky

Souprava detektoru kovů Discoverer TM-91 s cívkami TM 03, TM 04, TM 05, TM 06 a příslušenstvím, výrobce Geoinstruments Praha, ČR; souprava detektoru kovů Explorer TM-93 s cívkami TM 03, TM 04, TM 05, TM 06 a příslušenstvím, výrobce Geoinstruments Praha, ČR; souprava detektoru kovů Explorer TM-D s cívkami TM 03, TM 04, TM 05, TM 06 a příslušenstvím, výrobce Geoinstruments Praha, ČR; souprava detektoru kovů Eagle Spektrum XLT s příslušenstvím, výrobce Whites Electronics, Inverness, GB; souprava diferenčního magnetometru Ferex 2000 SL s příslušenstvím, výrobce Institut Dr. Foerster, Reutlingen, D; datalogger DLM-98 s příslušenstvím, výrobce Sensys, Neu Golm, D; vyhodnocovací software Magneto, výrobce Sensys, Neu Golm, D; notebook Toshiba Satellite s redukcí PCMCIA/COM pro připojení dataloggeru; evidenční kniha nálezů nevybuchlé munice a výbušnin; vytyčovací pásy; výtyčky, kolíky, praporky; měřičské pásmo; reflexní barva; ženíjní nářadí (rýče, lopaty, krumpáče, polní lopatky); prostředky malé mechanizace (křovinořezy, motorové řetězové pily); mobilní telefony; lékárničky.

5. Způsob provedení pyrotechnického průzkumu a dohledu

Polní práce probíhají vždy na jedné lokalitě. Ta je rozměřena na základní čtverce 50 x 50 metrů (je součástí geodetického zaměřování stavby) tak, aby bylo snazší umisťování jednotlivých anomálií v terénu. Anomálie se zaměřují detektorem kovů s cívkou 1 x 1 m a poloha upřesňuje cívkami o průměru 50 a 13 cm. Následně je anomálie označena praporkem a páskami. Tyto práce mohou provádět poučení zkušeni pracovníci bez oprávnění skupiny F (pyrotechnik).

Vlastní zviditelňování, identifikaci a zajištění nálezů mohou provádět pouze pyrotechnici, držitelé zbrojního průkazu skupiny F. Ti rozliší, zda jde o muniční či nemuniční nález. Muniční nález ihned zapíší do evidenční knihy nálezů munice a výbušnin a o nálezu okamžitě informují Polici ČR prostřednictvím vedoucího pyrotechnických prací. Do příjezdu policejního pyrotechnika zajistí munici před zneužitím nebo zcizením. Střepiny munice a předměty, které nebyly identifikovány jako munice, se soustředí na jednom místě a všechny nálezy se objeví v příloze závěrečné zprávy ve fotodokumentaci.

Vedoucí pyrotechnických prací vede denní záznamy o rozsahu provedené práce a případných nálezech ve stavebním deníku. Práce jsou zakázány při snížené viditelnosti (tma, mlha), nebo značně ztížených povětrnostních podmínkách. Před zahájením terénních prací provede pyrotechnik prohlídku pozemku se zaměřením na případnou munici, ležící na povrchu terénu. Při nálezu munice se postupuje podle dalších pokynů. V případě, že žádná munice nebo nebezpečné předměty na povrchu terénu nejsou, dovolí zahájení dalších prací. Při provádění pyrotechnického průzkumu je zakázáno kouřit během práce a v blízkosti nebezpečné munice.

6. Postup při nálezu munice

Pyrotechnik v případě, že se jedná o nevybuchlou municí nebo výbušninu a uzná, že je ji nutno zničit na místě nálezu, nechá vyklidit prostor a nález označí. Neprodleně ohlásí nález útvaru Policii ČR, prostřednictvím linky 158. Nález zaznamená do evidenční knihy nálezů. V případě nálezu střely vetknuté do kmene stromu nebo pařezu pyrotechnik municí neuvolňuje, nález označí reflexní barvou a další postup určí přivolaný pyrotechnik Policie ČR.

Při zviditelňování munice je zakázáno používat násilí, pyrotechnik musí pracovat klidně, ostražitě, nesmí spěchat a rozptylovat se. V případě, že uzná za vhodné zviditelněný a identifikovaný nález z výkopu vyjmout a:

nejedná se o municí – vyzvedne nález a odloží ho na místo, kde nebude překážet;

jedná se o municí – zabezpečí tento nález do příjezdu pyrotechnika Policie ČR a předání munice si nechá potvrdit v evidenční knize nálezů. Potom dovolí pokračovat v další práci.

7. Ochrana okolního životního prostředí

Po ukončení případného výkopu je nutno uvést plochy do původního stavu. V případě zviditelnění nálezů historického charakteru bude o dalším postupu rozhodovat archeologický dozor, pracovník archeologického centra Olomouc.

Pokud při zviditelnění a identifikaci nálezu vznikne podezření na neznámou chemickou, biologickou nebo radioaktivní látku, zastaví pyrotechnik okamžitě práci, nález ohlásí pyrotechnikovi PČR a hasičskému záchrannému sboru. V další práci mohou pokračovat jen pracovníci vybavení ochrannou maskou, protichemickým oděvem, ochrannými rukavicemi a přezůvkami. Po práci musí být provedena desinfekce a odmoření. Místo musí být označeno viditelně tabulí s nápisem ZAMOŘENO a uzavře se před vstupem nepovolaných osob.

Každá nehoda, která může způsobit nebo způsobuje znečištění životního prostředí se neprodleně hlásí odboru životního prostředí a podle možností se všichni podílejí na jejím odstranění, popř. odstranění následků.

8. Ukončení pyrotechnického průzkumu a dohledu

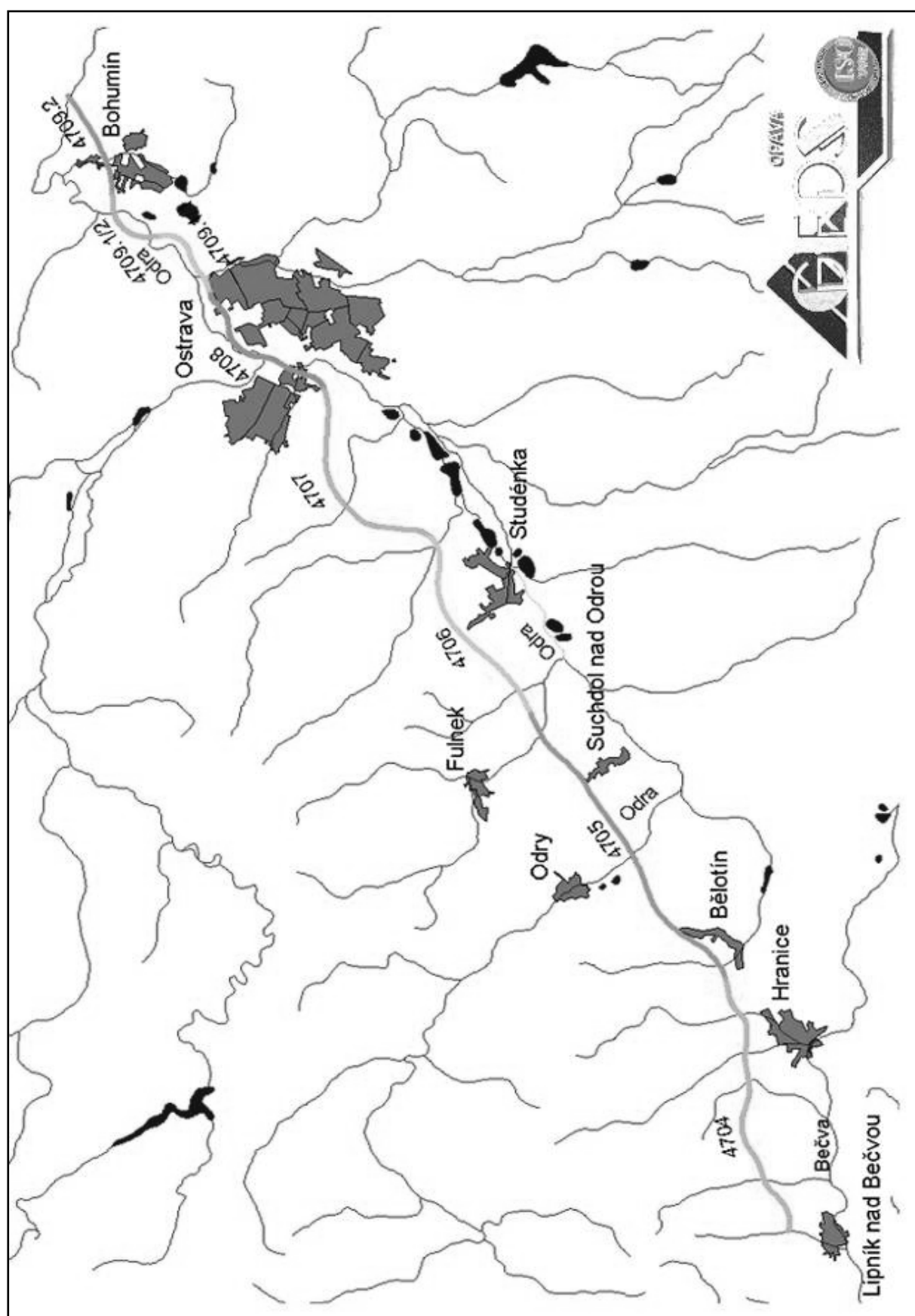
Po skončení prací na dané lokalitě provede vedoucí pyrotechnických prací ještě před vlastním předáním staveniště objednateli supervizi na jedné desetině náhodně vybrané plochy.

Po ukončení pyrotechnického průzkumu a dohledu vypracuje vedoucí pyrotechnik protokol o výsledku práce s uvedením zahájení a ukončení činnosti, nalezené munice, fotodokumentací nálezů a dalších skutečnostech. V protokolu také uvede doložku záruky kvality provedených prací.

9. Závěr

Požadavek na provedení pyrotechnického průzkumu, očisty a dozoru na stavbě dálnice D47 v části trasy procházející územím zasaženým tzv. ostravskou operací je plně opodstatněný. Svědčí o tom i početné nálezy munice – ke konci října bylo na úseku stavby 4706 nalezeno: tři dělostřelecké granáty funkční, jeden dělostřelecký granát s uraženým zapalovačem, jedna minometná mina funkční a fragmenty dalších zhruba pěti minometných min. Na sousedních úsecích se našly i nevybuchlé letecké bomby.

Tento příspěvek vznikl za podpory Výzkumného záměru MSM 6840770005 Udržitelná výstavba



Obr. 1 – Přehledná situace stavebních úseků D 47



Obr. 2 – Nalezená, zviditelněná a identifikovaná minometná mina



Obr. 3 – Nalezený, zviditelněný a identifikovaný dělostřelecký granát



Obr. 4 – Nalezený, zviditelněný a identifikovaný dělostřelecký granát



Obr. 5 – Nalezený, zviditelněný a identifikovaný dělostřelecký granát

Geodetické práce pro udržitelnou výstavbu

Jiří Pospíšil, Martin Štroner, Bronislav Koska, Tomáš Křemen, Martin Raška

Abstract

The laser scanning systems are being currently more and more used in a wide spectrum of applications, which require a high quality of the measured data. The measuring and space information processing procedure with a scanner is a black box to a common user so it is necessary to perform the analysis of the data measured in different conditions and to assess their quality. In our experiments we concentrated on observing physical qualities of the laser beam during reflection off the measured surfaces and assessed accuracy on different types of materials under different incidence angles and in different distances. In our next experiment we presumed that distance measurement accuracy determination of the scanners is easy but angle measurement accuracy determination is much more complicated. Therefore we concentrated on composition of a new procedure of angle accuracy direct determination from the single points located in a point cloud with using photogrammetric technology. Next part contains brief overview of geodetic monitoring of landslide caused by mining industry. Measurements have been performed by two total stations and sliding areas have been determined through coordinate changes of monitoring points. Two practical issues have been described, localized near kaolin-quarries “Osmosa” and “Nepomyšl”.

1. Úvod

Významnou součástí výzkumného záměru „Udržitelná výstavba“ jsou geodetické práce pro monitorování časových změn terénů. Svahové sesuvy jsou často způsobeny stavební nebo jinou činností člověka. Jedná se dost často o případy, kdy sesuv přímo ohrožuje blízkou zástavbu nebo jinak „cennou“ lokalitu a hrozí tak škody na majetku či dokonce na zdraví nebo životech. Vzhledem k těmto nebezpečím je kladen velký důraz na pečlivý monitoring rizikových svahů, z jehož výsledků se vyvozují závěry vedoucí např. k sanaci svahu. Z výše uvedených důvodů je, obzvláště v poslední době, věnována velká pozornost problematice (geodetických) měření sesuvů. Při sledování deformací a posunů v současné době nacházejí uplatnění laserové skenovací systémy. Tato aplikace vyžaduje vysokou kvalitu naměřených dat. Aby bylo možné kvalitu dat zajistit, je potřeba znát vlastnosti naměřených dat za různých podmínek.

V provedených experimentech jsme se zaměřili na určení přesnosti měření různých druhů materiálů pod různými úhly dopadu a v různých vzdálenostech a dále na nový postup přímého určení úhlové přesnosti jednotlivých bodů zaměřených v mračnu s využitím fotogrammetrické techniky. Výsledky těchto experimentů jsou uvedeny ve druhé kapitole. Ve třetí kapitole je popsán postup praktického měření sesuvů v blízkosti kaolinových lomů s využitím totálních stanic (POSPÍŠIL, 2006).

2. Testování laserového skenovacího systému

Skenovací systémy slouží k bezkontaktnímu sběru prostorových dat, modelování a vizualizaci. Zaměřovaný objekt je pokryt velkým množstvím podrobných bodů zaměřovaných v pravidelném úhlovém rozestupu nazývaném mračno bodů. Jednotlivá měření mohou obsahovat desítky až miliony podrobných bodů. Tato práce se zaměřila na ověřování kvality měřených dat skenovacími systémy, které používají prostorovou polární metodu. V provedených experimentech byl jako zástupce uvedených skenovacích systémů použit skenovací systém Leica HDS 3000. Vzdálenosti jsou měřeny pulsním laserovým dálkoměrem o vlnové délce 532 nm. Zorné pole skeneru je 360° v horizontálním směru a 270° ve vertikálním směru. Optimální rozsah měření je uváděn od 1 m do 100 m. Uváděné hodnoty přesnosti měření jsou 6 mm v poloze jednoho bodu, v přesnosti měření délek 4 mm a pro úhlovou přesnost v obou směrech 60 microradiánů. Tyto hodnoty jsou výrobcem garantovány do vzdálenosti 50 m. Rychlost skenování je až 1800 bodů za sekundu. Ve skeneru je zabudována digitální kamera. K ovládání skeneru a zpracování naměřených dat je použit software Cyclone.

Přesnost měření skenovacího systému je ovlivněna přesností měření jednotlivých složek potřebných k určení polohy jednoho bodu, tedy přesností měření délky a vertikálního a horizontálního směru a dále systematické chyby skeneru (KŘEMEN, 2006a). Přesnost registrace a transformace jednotlivých měření je ovlivněna přesností použitých identických bodů nebo hustotou a tvarem mračen bodů, pokud identické body nejsou používány. Vlivy geometrické konfigurace a fyzikálních vlastností zaměřovaného povrchu se zabývá (KŘEMEN, 2006b). V prvním experimentu byla testována schopnost skenovacího systému HDS 3000 měřit povrchy různých typů materiálů pod různými úhly dopadu ve dvou vzdálenostech. Byl sledován vliv na kvalitu a přesnost zaměřovaných bodů.

Byly testovány lesklé barvy, matné barvy, smirkové papíry, kovy, kameny a cihly. Jednotlivé typy povrchů o rozměrech 200 mm x 200 mm byly umístěny do roviny na několika deskách vyrobených z dřevotřísky a potažených bílým

laminem. Barvy byly na desky nanесeny, kovové plechy a smirkové papíry byly na desky nalepeny a kamenné dlaždice a cihly byly zapuštěny do otvorů, které byly do desek vyříznuty. Povrchy byly zaměřeny pod těmito úhly dopadu: 0; 30; 50; 55; 75; 90 gon ve vzdálenostech 15 m a 25 m od skeneru. Pro každý úhel dopadu a vzdálenost byly pořízeny tři mračna bodů v hustotě 5 mm x 5 mm.

Při vyhodnocení byl určen počet bodů, které dopadly na měřený povrch, a teoretický počet bodů, který měl být na povrchu zaměřen. Dále byla každým měřeným povrchem proložena rovina a určeny směrodatná odchylka s_N , střední hodnota absolutní chyby M.A.D. a maximální absolutní chyba $E_{\max}$ programem Cyclone:

$$s_N = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \underline{x})^2}$$

$$M.A.D. = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i |x_i - \underline{x}|$$

$$E_{\max} = \max_i |x_i|$$

kde $\underline{x}$ is průměrná chyba, N je celkový počet bodů, x_i je chyba i -tého bodu, i číslo podrobného bodu a f_i je četnost.

Vzhledem k tomu, že bylo testováno celkem 46 různých povrchů, byla vybrána série černých materiálů jako ukázka získaných výsledků. Jedná se o černou lesklou barvu BALAKRYL Uni Lesk 1999, černou matnou barvu BALAKRYL Uni Mat 0199, leštěné gabro Impala a čtyři smirkové papíry o zrnitosti 80, 100, 180 a 400. Ukázka výsledků z experimentálního měření je v tabulce 1. Je zajímavé, že u všech smirkových papírů došlo se vzrůstajícím úhlem dopadu k poklesu velikosti určovaných chyb, což bylo potvrzeno závěry následujícího experimentu.

Z výsledků provedeného experimentu bylo potvrzeno, že nejvhodnější povrchy pro skenování jsou světlé povrchy s difuzním odrazem dopadajícího záření. U povrchů se zrcadlovým odrazem dopadajícího záření docházelo při strmějších úhlech dopadu k vícenásobnému odrazu dálkoměrného signálu. Byla zaměřena delší vzdálenost mezi bodem a skenerem, než byla ve skutečnosti, a tím došlo k chybnému určení polohy bodu. S tímto jevem mohou v praxi nastat výrazné potíže například při skenování vysoce lesklých kovů. U povrchů se zrcadlovým odrazem a vysokou pohltivostí dopadajícího signálu byla velikost signálu odraženého zpět do senzoru skeneru v mnoha případech tak malá, že nedošlo ke změření délky. Především u černé lesklé barvy nabyl tento jev tak velkého vlivu, že od úhlu dopadu 50 gon a víc, nebyly zaměřeny skoro žádné podrobné body.

Tab. 1 výsledky tmavých povrchů skenovaných ze vzdálenosti 25 m

Povrch	Úhel dopadu [gon]	Počet bodů	%	S _N [m]	M.A.D. [m]	E _{MAX} [m]	Poznámka
Černá barva lesklá	0	4658	100	0.0019	0.0015	0.0069	
	30	2726	68	0.0032	0.0025	0.0214	
	50	238	8	0.0025	0.0020	0.0116	
	55	84	3	0.0031	0.0021	0.0104	
	75	1	0				37
	90	24	3	0.0007	0.0006	0.0020	648
Černá barva matná	0	4692	100	0.0016	0.0013	0.0054	
	30	4090	100	0.0026	0.002	0.0099	
	50	2159	70	0.0027	0.0021	0.0174	
	55	1360	50	0.0029	0.0023	0.0161	
	75	8	0				
	90	0	0				6
Gabro Impala	0	4903	100	0.0021	0.0017	0.0069	
	30	4299	100	0.0020	0.0016	0.0090	
	50	3364	100	0.0017	0.0013	0.0065	
	55	3231	100	0.0016	0.0013	0.0073	
	75	1774	100	0.0011	0.0008	0.0043	
	90	158	22	0.0012	0.0008	0.0077	467
Smirkový papír 80	0	4231	100	0.0019	0.0015	0.0082	
	30	3884	100	0.0022	0.0017	0.0088	
	50	3025	100	0.0018	0.0014	0.0069	
	55	2725	100	0.0017	0.0013	0.0066	
	75	1620	100	0.0012	0.0009	0.0038	
	90	765	100	0.0007	0.0006	0.0023	
Smirkový papír 100	0	4193	100	0.0019	0.0015	0.0066	
	30	3778	100	0.0023	0.0019	0.0092	
	50	2946	100	0.0020	0.0016	0.0075	
	55	2704	100	0.0018	0.0015	0.0069	
	75	1620	100	0.0013	0.0010	0.0042	
	90	713	100	0.0009	0.0007	0.0025	
Smirkový papír 180	0	4153	100	0.0019	0.0015	0.0073	
	30	3672	100	0.0022	0.0017	0.0083	
	50	2902	100	0.0019	0.0015	0.0070	
	55	2607	100	0.0018	0.0014	0.0066	
	75	1575	100	0.0012	0.0010	0.0040	
	90	702	100	0.0008	0.0007	0.0027	
Smirkový papír 400	0	4211	100	0.0019	0.0015	0.0068	
	30	3774	100	0.0017	0.0014	0.0066	
	50	2935	100	0.0014	0.0012	0.0053	
	55	2638	100	0.0014	0.0012	0.0048	
	75	1569	100	0.0010	0.0008	0.0040	
	90	700	100	0.0006	0.0005	0.0020	

V dalším experimentu byla navržena nová metoda přímého určení směrodatných odchylek horizontálních směrů a zenitových úhlů laserových skenerů. Metoda je z důvodu použité digitální komory použitelná pouze pro skenovací systémy s dálkoměrem o vlnové délce ve viditelné oblasti elektromagnetického záření. Metoda posuzuje pouze vnitřní přesnost skenovacího systému v rámci malého zorného pole (1x1 gon) a výsledky tedy nejsou ovlivněna systematickými

chybami přístroje jako kolimační chybou, úklonnou chybou, indexovou chybou a dalšími. Na druhou stranu ukazuje reálnou přesnost měření pro modelování menších objektů.

Metoda je založena na modifikované fotogrammetrické metodě direktní lineární transformace (DLT) ve 2D. Je vytvořeno rovinného kalibračního pole, které je umístěno kolmo na směr měření. Pole je fotogrammetricky zaměřeno. Po vypnutí osvětlení je rovina s kalibračním polem zaměřena skenovacím systémem, při čemž je fotogrammetricky zaměřována. Na základě fotogrammetrické metody je možné určit rovinnou polohu skenerem zaměřovaných bodů s přesností přibližně 0.1 mm každé souřadnici.

Měření ze skeneru je transformováno do rovinného systému kalibračního pole (osa x svislá, osa y vodorovná a osa z je kolmá k rovině pole). Jsou posuzovány skutečné chyby skeneru jako rozdíly souřadnicových rozdílů obou metod (fotogrammetrické metody a skenování).

Měření bylo prováděno ze třech pozic (50 metrů, 50 metrů po novém natočení skeneru a 32 metrů). Z každé pozice bylo měření opakováno pětkrát se stejným nastavením. Měřená matice obsahovala 10x8 bodů. Počet dvojic pro výpočet délek byl pro jednotlivé pozice po vyloučení nevhodných bodů 38, 37 a 39. Přesnost fotogrammetrické metody v souřadnici bodu je podle výše uvedených údajů uvažována jako 0.1 mm (0.07 mm směrodatná odchylka v souřadnici modifikované metody inverzní 2D DLT transformace na základě testu a 0.07 mm směrodatná odchylka v souřadnici v odečtení laserové stopy). To představuje na vzdálenost 50 metrů směrodatnou odchylku ve směru 0.13 mgonu. Výrobcem udávaná úhlová směrodatná odchylka skeneru HDS 3000 (i skeneru HDS 2500) je 60 micro-radiánů, tedy 3.8 mgonu. Směrodatná odchylka ve směru by teda měla být 2.7 mgonu. Fotogrammetrická metoda je považována za přesnou, protože je více než desetkrát přesnější než očekávaná přesnost skeneru HDS 3000. Dosažené výsledky lze považovat za velmi překvapivé. Pokud budeme uvažovat první a druhou pozici (50 metrů) a zprůměrnujeme výsledné hodnoty, získáme pro horizontální směr směrodatnou odchylku 0.25 mgonu a směrodatnou odchylku zenitového úhlu 0.24 mgonu. To jsou hodnoty, které se blíží přesnosti referenční fotogrammetrické metody. Proto je nelze přímo považovat za charakteristiky skeneru HDS 3000. Ty lze dopočítat jednoduchou úvahou na základě znalosti výsledné směrodatné odchylky a směrodatné odchylky ve směru takto:

$$\sigma_{\varphi, final}^2 = \sigma_{\varphi, HDS 3000}^2 + \sigma_{\varphi, photogrammetry}^2$$

$$\sigma_{\varphi, HDS 3000} = \sqrt{\sigma_{\varphi, final}^2 - \sigma_{\varphi, photogrammetry}^2}$$

Z uvedeného vyplývá, že pro skener HDS 3000 platí směrodatné odchylky v horizontálním směru 0.21 mgonu a pro zenitový úhel 0.2 mgonu. V případě

pozice na 32 metrech je očekávaná směrodatná odchylka ve směru z fotogrammetrické metody 0.2 mgonu. Výsledné odchylky v horizontálním směru jsou 0.37 mgonu a v zenitovém úhlu 0.35 mgonu. Pro skener HDS 3000 tedy platí směrodatné odchylka v horizontálním směru 0.31 mgonu a pro zenitový úhel 0.29 mgonu.

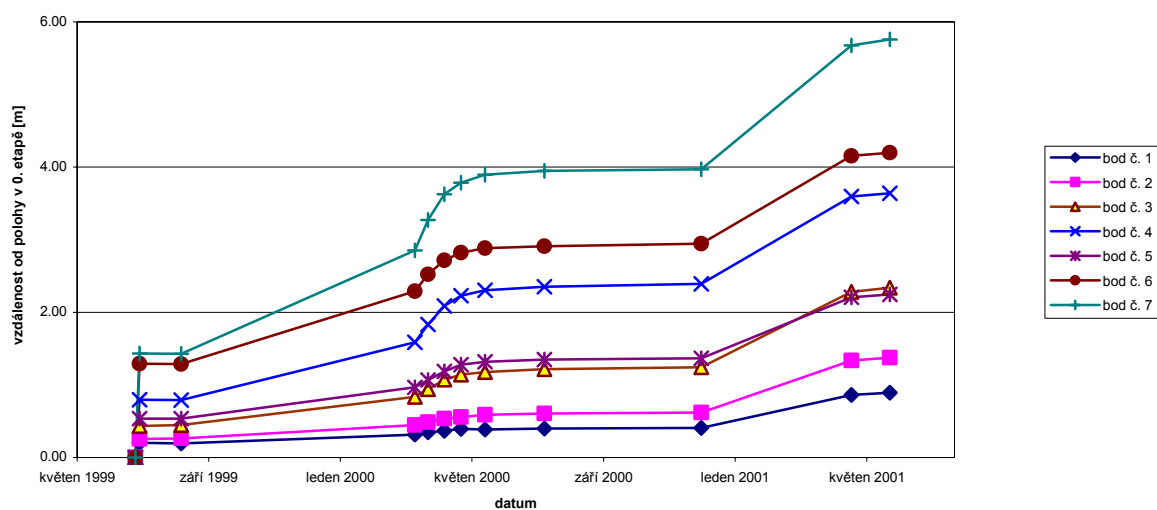
Rozdíly ve výsledných směrodatných odchylkách z různých pozic jsou překvapivé a mohou být ovlivněny jejich závislostí na době měření nebo na pozici natočení skeneru. Významnější je ale vliv nekolmého natočení kalibrační desky na směr skenování. V prvních rozborech přesnosti nebyl z důvodu očekávaných směrových odchylek skeneru tento vliv uvažován (může způsobovat ovlivnění směrodatné odchylky v souřadnicích v řádu desetin milimetru).

3. Sledování sesuvů svahů kaolinových dolů

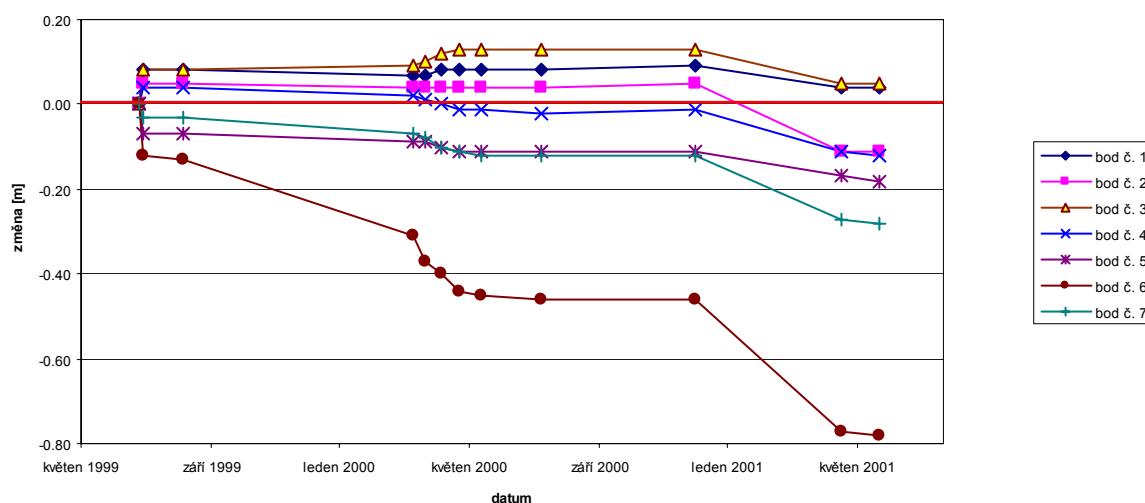
Povrchový lom „Osmosa“ je umístěn v územní působnosti obce Božičany, okres Karlovy Vary. Těženým nerostem je keramický kaolin. Během těžby nerostu došlo na okraji lomu k náhlému pohybu hmot zeminy. V součinnosti s oddělením důlní projekce byl zahájeno geodetické měření skluzu pod pracovním názvem: „Havarijní skluz ‚Němec‘“. Během sledování sesuvu bylo v období od července 1999 do května 2001 naměřeno 11 etap měření (plus základní, 0. etapa). Časové intervaly mezi etapami byly nestejně velikosti, vždy podle zadání oddělení důlní projekce. Probíhající důlní činností byly postupem času zlikvidovány jak monitorovací body, tak i příčina a následky sesuvu. Měření bylo prováděno přístrojem Geodimeter 610A, s deklarovanou přesností měření úhlů $\sigma = 0,3$ mgon (podle DIN 18723) a přesností měření délek $\sigma = 2\text{mm} + 2\text{ppm}$.

Z grafů 1 a 2 jsou patrné velikosti posunů jednotlivých bodů ve vztahu k základní etapě měření.

Graf 1 Změny horizontální polohy bodů vzhledem k základní etapě



Graf 2 Změny vertikální polohy bodů vzhledem k základní etapě



Z výsledků je dobře patrné „zvedání“ zeminy (způsobené akumulací zeminy) u paty svahu. Z obrázku lze také vyvodit vliv jarního tání sněhu (jaro 2000) na stabilitu svahu až po jaro 2001, kdy došlo k „odtržení“ a poměrně rychlému sesuvu monitorovaného území.

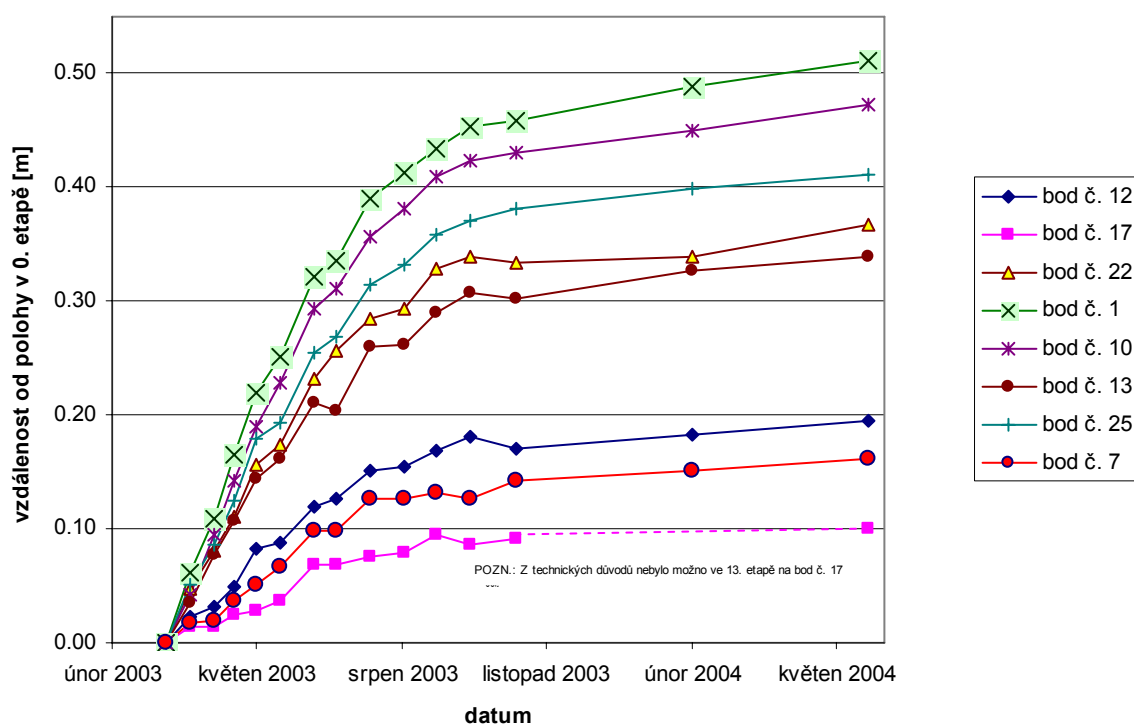
Další z kaolinových lomů, postižených náhlým sesuvem svahu v důsledku důlní činnosti je povrchový důl „Nepomyšl“. Nachází se nedaleko obce Nepomyšl, okres Louny. I zde se svah nad lomem dal do pohybu po jarním tání sněhu a jarních deštích. Hned po vizuálním zpozorování geomorfologických změn bylo zahájeno měření základní (nulté) etapy. Celkem bylo změřeno 14 etap (plus základní nultá), v období březen 2003 až červen 2004. Monitorování mělo být

tento rok ukončeno, nicméně v současné době probíhá zpracování a analýza 15. etapy měření, jejíž výsledky rozhodnou o ukončení nebo pokračování etapového měření. Jako zjednodušené kritérium pro rozhodování zda v monitorování pokračovat či nikoliv může být použita hodnota změny prostorové polohy bodů v i té a v $i-1$ etapě.

Pro vyšší efektivitu (a menší časovou náročnost) měření bylo použito současně dvou totálních stanic, každá na dvou stanoviscích. Jednalo se o přístroje Geodimeter 610A, s deklarovanou přesností měření úhlů $\sigma = 0,3$ mgon (podle DIN 18723) a přesností měření délek $\sigma = 2\text{mm} + 2\text{ppm}$ a Sokkia Set4C, s přesností měření úhlů $\sigma = 1,5$ mgon (podle DIN 18723) a přesností měření délek $\sigma = 10\text{mm} + 3\text{ppm}$. Empiricky (po změření nulté etapy) bylo zjištěno, že i méně přesné měření přístrojem Sokkia (v módu rychlého měření délek) je pro účely této měřické sítě dostačující.

Zjištěné posuny bodů jsou patrné z grafu č. 3, do kterého byly pro přehlednost vybrány jen některé sledované body (dávající dostatečný náhled na chování celého svahu).

Graf 3 Změny prostorové polohy bodů vzhledem k základní etapě



Hmota zeminy se plynule plouží svahem. Protože v tomto případě monitorovací body pokrývají horní část svahu došlo během etapových měření prakticky na

všech bodech k poklesu (a horizontálnímu pohybu ve směru spádnice). Pro představu posunů jsou tedy v tomto případě uvedeny prostorové vzdálenosti poloh bodů v jednotlivých etapách, které jsou vždy vztažené k poloze základní etapy. Bylo zjištěno, že body na okraji sledovaného území nevykazují prakticky žádnou změnu polohy, je tedy zřejmé, že se svah pohybuje zejména v SZ části sledované lokality. Včasné zahájení sledovacích prací spolu s analýzou zjištěných výsledků a adekvátními sanačními opatřeními vedlo ke zmírnění škod způsobených sesuvem, což dokládá užitečnost takového druhu prací.

4. Závěr

V předloženém příspěvku byly prezentovány další výsledky experimentálního ověřování chování laserového skenovacího systému HDS 3000. V další části se autoři zabývali sledováním svahových sesuvů v prostředí kaolinových lomů, které byly způsobeny táním sněhu spolu s vydatnými jarními dešti. Řešená problematika bude dále zkoumána v následující etapě výzkumného záměru.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory výzkumného záměru Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky č. VZ MSM 6840770005.

- KŘEMEN, T., KAŠPAR, M., POSPÍŠIL, J., 2006a: Operating Quality Control of Ground Machines by Means of the Terrestrial Laser Scanning System. In: Image Engineering and Vision Metrology [CD-ROM]. Dresden: ISPRS, 2006, ISSN 1682-1750.
- KŘEMEN, T., KOSKA, B., POSPÍŠIL, J., 2006b: Verification of Laser Scanning Systems. In: XXIII International FIG Congress Shaping the Change [CD-ROM]. Mnichov: FIG, 2006, ISBN 87-90907-52-3.
- POSPÍŠIL, J., RAŠKA, M., 2006: Sledování svahových sesuvů pomocí geodetických měření. Stavební obzor, **15**, ISSN 1210-4027, č. 9, str. 275-280.

Vliv a odhad chyb měřených veličin při vyrovnání sítí

Jan Ratiborský, Michal Seidl

Abstrakt

Odhad ojedinělých chyb v měřených veličinách na základě matematického modelu a jeho aplikace při vyrovnání geodetických sítí.

Estimation of isolated errors in geometrical quantities based on a mathematical model and its application in adjustment of geodetic network.

1. Úvod

V geodetické síti se za účelem sledování polohových změn bodů provádí měření v předem stanovených opakovaných časových intervalech. Změny naměřených hodnot v jednotlivých etapách mohou být vyvolány:

- změnou polohy bodu
- případnou chybou v měření.

Změna polohy bodu nebo bodů v opakovaných etapových měřeních se projeví změnou hodnot naměřených veličin. Proto je potřeba ještě před vyrovnáním sítě provést rozbor naměřených veličin a jejich porovnání. Z velikosti diferencí vypočtených z hodnot v poslední etapě a v etapě nejen předposlední, ale také první je možné usoudit na případný trend změny polohy. Při změně délky nebo směru může dojít ke změně polohy buď jednoho nebo obou bodů a v případě zaměření úhlů může být změna vyvolána změnou polohy až tří bodů.

Změna hodnoty v měřené veličině může být způsobena nejen změnou polohy bodu, ale také, když dojde k případné chybě v měřené veličině. Proto je důležité tuto případnou chybu identifikovat a z měření vyloučit nebo provést nové měření.

Chyba v měřené veličině se projeví při vyrovnání sítě zvýšenou hodnotou opravy měření. Chyba v jedné měřené veličině se však projeví zvětšením oprav u všech měření, přičemž nejvíce právě u té veličiny, u níž došlo k chybě. Následně bude popsán způsob odhalení chyby i výpočet její velikosti za předpokladu, že došlo v měření k ojedinělé chybě.

2. Výpočet chybového modelu

Mezi měřenými veličinami a neznámými souřadnicemi platí funkční vztahy:

$$\begin{aligned} \mathcal{D}(t) &= \mathcal{A}(x), \text{ kde } t \text{ a } x \text{ jsou neznámé hodnoty měření a souřadnic,} \\ \mathcal{D}(t^\wedge) &= \mathcal{A}(x^\wedge), \text{ kde } t^\wedge \text{ a } x^\wedge \text{ jsou vyrovnané hodnoty měření a souřadnic,} \\ \mathcal{D}(t^\wedge + \varepsilon^\wedge) &= \mathcal{A}(x^\wedge + \delta^\wedge) \end{aligned} \quad (1)$$

kde $\varepsilon^\wedge$ a $\delta^\wedge$ jsou chyby vyrovnaných měření a souřadnic.

Rovnici (1) můžeme zapsat ve tvaru

$$\mathcal{D}(t^\wedge) + \mathbf{D} \varepsilon^\wedge = \mathcal{A}(x^\wedge) + \mathbf{A} \delta^\wedge,$$

kde $\mathbf{D}$ a $\mathbf{A}$ jsou lineární operátory zobrazení měřených veličin a souřadnic do zprostředkujících veličin, kterými jsou v rovině síti délky a úhly nebo orientované směry. Vzhledem k tomu, že platí

$$\mathbf{D} \varepsilon^\wedge = \mathbf{A} \delta^\wedge,$$

Mezi opravou a skutečnými chybami platí vztah

$$\mathbf{v} + \varepsilon^\wedge = \varepsilon^*,$$

kde $\mathbf{v}$ je vektor oprav měřených veličin, $\varepsilon^\wedge$ je vektor skutečných chyb měření a ε^* je vektor skutečných chyb realizovaných měření

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \varepsilon^* - \varepsilon^\wedge, \quad \varepsilon^\wedge = \varepsilon^* - \mathbf{v}. \\ \mathbf{D} \varepsilon^\wedge &= \mathbf{A} \delta^\wedge = \mathbf{D} (\varepsilon^* - \mathbf{v}) = \mathbf{A} \delta^\wedge \rightarrow \mathbf{D} \varepsilon^* - \mathbf{D} \mathbf{v} = \mathbf{A} \delta^\wedge \rightarrow \\ \mathbf{D} \mathbf{v} &= \mathbf{D} \varepsilon^* - \mathbf{A} \delta^\wedge. \end{aligned}$$

Z teorie vyrovnaní platí vztah

$$\begin{aligned} \mathbf{D} \mathbf{v} &= \mathbf{A} \mathbf{h} - \mathbf{l} \text{ a tedy} \\ \mathbf{A} \mathbf{h} - \mathbf{l} &= \mathbf{D} \varepsilon^* - \mathbf{A} \delta^\wedge. \end{aligned}$$

Vektor oprav přibližných souřadnic $\mathbf{h}$ se vypočtou ze vztahu

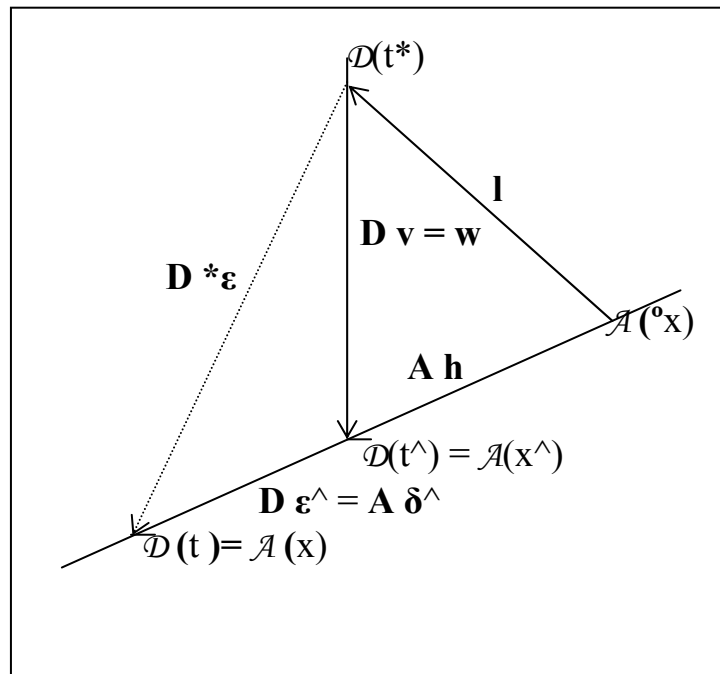
$$\mathbf{h} = \mathbf{M} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l},$$

kde $\mathbf{M}$ je kovarianční matice vyrovnaných souřadnic, matice $\mathbf{A}^T$ je transponovaná matice plánu sítě, matice $\mathbf{P}$ je váhová matice a vektor $\mathbf{l}$ je vektor

absolutních členů. Vektor $\mathbf{l}$ je dán vztahem $\mathbf{l} = \mathbf{D} * \boldsymbol{\varepsilon}$ a proto můžeme psát

$$\boldsymbol{\delta}^{\wedge} = \mathbf{M} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{D} * \boldsymbol{\varepsilon}.$$

Chybový vztah je znázorněn na obr. 1



Obr. 1 – Vztah veličin v chybovém modelu

Vektor oprav měřených veličin se vypočte ze vztahu

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{P} (\mathbf{A} \mathbf{h} - \mathbf{l}) = \mathbf{v} = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{P} (\mathbf{D} * \boldsymbol{\varepsilon} - \mathbf{A} \boldsymbol{\delta}^{\wedge}) = \\ &= \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{P} (\mathbf{D} * \boldsymbol{\varepsilon} - \mathbf{A} \mathbf{M} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{D} * \boldsymbol{\varepsilon}) = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{P} (\mathbf{E} - \mathbf{A} \mathbf{M} \mathbf{A}^T \mathbf{P}) \mathbf{D} * \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{R} * \boldsymbol{\varepsilon} \end{aligned}$$

kde $\mathbf{R} = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{P} (\mathbf{E} - \mathbf{A} \mathbf{M} \mathbf{A}^T \mathbf{P}) \mathbf{D}$.

Stopa matice $\text{Tr}(\mathbf{R})$ je rovna počtu nadbytečných zprostředkujících veličin $\text{Tr}(\mathbf{R}) = m - n + p$, kde m je počet zprostředkujících veličin, n je počet neznámých (souřadnic) a p je počet podmínek na jednoznačné umístění sítě v souřadnicovém systému. V rovinné síti je $p = 3$ je-li měřena alespoň jedna délka nebo $p = 4$, není-li v síti měřena ani jedna délka. Při hodnotě $r_{ii} \rightarrow 0$ je zřejmé, že bod je určen z malého počtu nadbytečných zprostředkujících pozorování.

3. Testování oprav

Na základě znalosti vektoru oprav je možné určit směrodatnou odchylku σ_o po

vyrovnání

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{m - n + p}}$$

Vzájemný poměr apriorní a a posteriori σ a σ_o je kontrolován podle [BÖHM]

$$1 - \sqrt{\frac{2}{m - n + p}} \leq \frac{\sigma_o}{\sigma} \leq 1 + \sqrt{\frac{2}{m - n + p}}.$$

Opravy geometrických veličin se testují oboustranným testem [BÖHM]

$$P_\alpha(|v_i| \leq t_\alpha \sigma_{v_i}),$$

nebo

$$\frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}} = \frac{|v_i|}{\sigma_o \sqrt{Q_{v_{ii}}}} = t \leq t_\alpha, v_i = \sigma_{v_i} \cdot t$$

kde α je riziko.

Váhová matice $\mathbf{Q}_v$ se určí, je-li známa kovarianční matice geometrických veličin a modelová matice $\mathbf{R}$, pro niž platí $\mathbf{R} = \mathbf{R}^2$, předpisem

$$\mathbf{Q}_v = \mathbf{R} * \mathbf{P}^{-1} \mathbf{R}^T = \mathbf{R} * \mathbf{P}^{-1}.$$

Diagonální prvek matice $\mathbf{Q}_v$ slouží k výpočtu směrodatné odchylky opravy měřené veličiny. Při překročení testu je možné provést odhad skutečné ojedinělé chyby v geometrické veličině podle vztahu

$$* \varepsilon_i = \frac{v_i}{R_{ii}}. \quad (2)$$

Odhad chyb podle vzorce (2) je účinný jen tehdy, jedná-li se o ojedinělou chybu a hodnota diagonálního prvku matice R_{ii} je větší alespoň než 0,3.

Literatura

- BÖHM, J., RADOUCH, V., HAMPACHER, M., 1990: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Druhé upravené vydání Praha, Geodetický a kartografický podnik. 416 s.
- FÖRSTNER, W., 1979: Das programm TRINA zur Ausgleichung und Gütebeurteilung geodätischer Lagenetze. Zeitschrift für Vermessungswesen, 104. Jahrgang, Heft 2, s. 61-72

-
- CHRZANOWSKI, A., 1981: A comparison of different approaches into the analysis of deformation measurements. FIG Montreaux, commission 6, s. 602.3/1-603.3/24
- KUBÁČEK, L., KUBÁČKOVÁ, L., KUKUČA, J., 1982: Pravdepodobnosť a štatistika v geodézii a geofyzike. První vydání. Veda Bratislava. 362 s.
- KUBÁČEK, L., KUBÁČKOVÁ, L., 2000: Statistika a metrologie. První vydání. Universita Palackého Olomouc, 308 s. ISBN 80-244-0093-6.

Strategy of Location, Planning and Design of Green Bridges

Jaroslav Římal, Marek Foglar, Vladimír Křístek

Introduction

Based on survey of comprehensive studies performed in various countries (e.g. [1],[2],[3],[4]), it can be found that the European continent has the densest network of roads in the world. Over 12 000 kilometers of new roads are planned for Western Europe in the period up to 2010. Crossing the countryside, they form a spider's web that carves up the landscape into smaller and smaller fragments. Fragmentation of habitats is one of the most serious problems for the conservation of nature.



Fig.1 Ecoduct on the motorway A20 near Wismar

For example, there are now 32 overpasses, or green bridges, in Germany. Eight more are under construction, and another 20 are planned [Fig 1,2]. The majority serve dual functions - as safe passage for wildlife and for local farm vehicles and residents. "All creatures great and small" might best characterize Germany's approach to protecting wildlife from the negative impacts of highways. Insects are given consideration along with much larger animals.

European Union directives include the preparation of an Environmental Impact Assessment if a project may have considerable environmental impacts. Both federal and European approaches are characterized by strict requirements,

which, if not followed, carry legal consequences. Importantly, habitat alterations require compensation, whether on the basis of property protection or nature preservation. Finally, there is a nature conservation act, modeled after the federal act, in each of the 16 German states; protected areas within each state also are managed in accordance with legislation specific to that area. Both road construction and improvement projects are subject to the full range of law and review. Avoidance of impact is a primary means of coping with the consequences of building and improving German motorways; the construction of green bridges is a key component of that avoidance strategy, as these structures help to avoid landscape fragmentation.

The rigor and complexity of German law reflects in part the fact that this country, like so many in Western Europe, has little habitat wildlife left. Their protected species list is lengthy, beginning with lynx and the reintroduced wolf. There may be no coincidence between this long list of species on the brink, and the fact that Germany [Fig 3,4,5] has the second densest road network in the world.



Fig. 2 Behringen Tunnel in Germany

Research effort is beginning to provide answers to satisfy both the law and wildlife needs. Now, with every new project, engineers and biologists ask what information they need about the local habitat before construction. Emphasis is placed on ensuring that wild habitats remain connected or are reconnected.

Habitats that will be negatively impacted by, for instance, road noise (to which invertebrates are extremely sensitive), are recreated elsewhere. The design of habitat around green bridges is given as much consideration as the design of the bridges themselves. New roads are constructed not with culverts, but with bridges that span about the same width of land as water, thereby providing room for terrestrial animals to pass as well as minimizing changes in water flow.

The zone in which impacts are assessed extends at least 500 meters on each side of the highway, and may be a kilometer or more depending on the species involved.

The depth of soil on green bridges depends on the vegetation it supports. One foot of soil is provided for grasses and forbs. Two feet of soil is placed atop bridges supporting shrubs, and six to seven feet if trees are planted. Most bridges are 30 to 50 meters wide, though one is less than 10 and two others, containing tunnels, are more than 500. Monitoring of dual-purpose bridges has revealed that wild boar and deer tend to use the vegetated portion, while fox use the road itself. Bridges built solely for wildlife but used by humans are modified with the placement of boulders at the end that restrict access of vehicles.



Fig. 3 Green bridge on the motorway A71 in Germany under construction

When designing green bridges, it is necessary to develop guides and recommendations for conceptional decisions and their planning, together with the tools and methods for their structural design, construction and maintenance, respecting the ecological and economic aspects, so that the structures comply with the requirements for load-carrying capacity, durability, safety and fulfilling simultaneously the required appearance. Also an environmental risk assessment should be required. This process examines impacts on soil, air quality, hydrology, noise, fauna and flora.

Planning and design of Ecoducts

As the edge effects increase, fewer species are able to survive in smaller habitat islands in a sea of developed land. Some species, such as deer, need to move and feed over large areas and are prevented from doing so by the barriers formed by roads. Many land animals, such as small mammals, amphibians or ground-dwelling insects, move around only under cover of darkness or in dense vegetation and they can find road surfaces impossible to cross due to exposure to predators. Larger animals, such as deer, otters and badgers, may attempt the crossing but often end up as traffic casualties. Other secondary effects of roads include disturbance (due to noise and visual effects) and pollution (causing local changes in vegetation and water), which may reduce the suitability of neighbouring areas for wildlife.

It is clear from research from individual European countries that traffic fatalities can have a considerable impact on wild species. Here are just a few results of statistics:

- It is estimated that 50,000 badgers; 100,000 foxes; and 40,000 deer are killed on UK roads each year.
- Almost two-thirds of otter mortality in Sweden is due to road traffic.
- In the Netherlands, it is estimated that cars kill at least 2 million birds every year.
- 70% of barn owl mortality is caused by traffic accidents.

These estimates of course only look at mortality, or road kill. Animals are also affected by a much more significant ecological impact of linear transportation infrastructure – this impact is the ‘barrier effect’. Dispersal of individuals is a key factor in species survival so when roads, railways and canals divide up the countryside they can create barriers to animal movement. This can mean local animals are denied access to important feeding or breeding areas, thus affecting survival.

The extensive road network has fragmented many ecologically important areas into such small pieces that certain species and ecological communities can no longer survive or will die out in the future.

Four types of impacts have been identified:

- habitat destruction,
- disturbance to habitats,
- roads as barriers,
- the wounding and killing of animals by road traffic.

A series of coordinated means are being used to counter these impacts including avoidance, mitigation, compensation and optimisation. The principle underlying

compensation is that no net loss of ecological value should arise as a result of road construction or improvement.

Environmental impact studies must be an integral part of the technical and financial analysis for transportation projects. They should evaluate at each stage of project development, and must address both habitat impacts and demonstrate a commitment to wildlife preservation. The first imperative is avoidance. When sensitive areas cannot be avoided by a transportation project, mitigation is required.

Switzerland has developed some of the most sophisticated techniques for reducing transportation infrastructure impacts on wildlife. The Swiss approach addresses both the direct effects of roads resulting in wildlife mortality as well as proactive measures to ensure safe passage of animals across roads. Many of the methods and techniques utilized in Switzerland have been coupled with extensive research that documents the value of specific measures and provides on-the-ground information for improving crossing point designs.



Fig. 4 Königshainer Berge tunnel in Germany

To reduce wildlife mortality on roadways, the Swiss have developed animal crossing warning signs that are triggered by animals near the roads. When animals (e.g., roe deer, red deer, etc.) cross motion detectors along highway right-of-ways, the signs light up and warn motorists to slow down. The Swiss have documented that these signs have been very effective at influencing driver behavior and reducing wildlife mortality. The signs have been strategically placed on roads with routine drivers.

In some areas, the Swiss also provide smaller animal crossing structures, including tunnels, underpasses, and even narrow tubes. Depending on the species of interest, these structures can vary greatly in size and dimension. An interesting example is the one-way amphibian viaducts that funnel frogs and toads from upland habitats

to breeding sites in the spring. This ensures safe dispersal across busy roads, substantially reducing road kills and helping to protect the already rare and sensitive amphibian species of Switzerland. To disperse from breeding sites, the animals follow similar one-way structures back from breeding areas to upland habitats.

Generally, the proper solution to minimizing the impacts of new roads on sensitive wildlife areas is to avoid the adverse effects, which is the objective in route planning and selection.

Sometimes, however, this is not possible, as the road corridor may be limited by hills, wet ground or by existing structures such as buildings. Linear features such as rivers, streams, hedgerows or tree lines are also difficult to avoid completely, but the crossing points can be carefully chosen to minimize impacts. Some animals, such as deer and fox, need to disperse over wide areas of countryside, and road corridors inevitably subdivide their home ranges.

Where an area of semi-natural habitat, such as woodland, is sub-divided by a road, there is a good case for building a green bridge (a vegetated structure crossing the carriageway) to re-connect the two sections of habitat. This funnel-shaped design (with a wide entrance on either side) was developed in France and has subsequently been adopted in many other countries. This is a good solution for larger mammals such as deer, badgers and foxes although small mammals such as mice and shrews, which prefer deep cover, may also use it. The vegetation on the bridge may include hedges or lines of trees to guide the animals onto the bridge and to provide cover and protection from light and noise from the road. For smaller animals, the vegetation on the bridge is designed, as far as possible, to resemble that nearby in order to provide a continuous habitat corridor.

Bigger structures, known as landscape bridges, with a width of over 100 meters, are designed to re-establish the vegetation and landscape features that were present before the road development. They often look just like a conventional tunnel that has been bored under a hill but are usually built by cut-and-cover methods. In mature woodland, treetop passages (consisting of a narrow structure built high above the road) are sometimes put in place for climbing animals.

New roads are constructed with bridges that span about the same width of land as water, thereby providing room for terrestrial animals to pass as well as minimizing changes in water flow. The zone in which impacts are assessed extends at least 500 meters on each side of the highway, and may be a kilometer or more depending on the species involved.

The depth of soil on green bridges depends on the vegetation it supports. One foot of soil is provided for grasses and forbs. Two feet of soil is placed atop bridges supporting shrubs, and six to seven feet if trees are planted. Most bridges are 30 to 50 meters wide, though one is less than 10 and two others, containing tunnels, are more than 500. Monitoring of dual-purpose bridges has revealed that wild boar and deer tend to use the vegetated portion, while fox use the road itself. Bridges built solely for wildlife but used by humans are modified with the placement of boulders at the end that restrict access of vehicles.

Overpasses connect habitats on either side of major transportation routes and are vegetated to encourage their use by various types of animal species. Wildlife monitoring on green bridges (usually from tracks left in "sand traps") is used to establish use patterns and determine which species actually utilize the crossing structures.



Fig. 5: Green bridges on the motorway A71 in Germany

While the structures of green bridges can help prevent habitat fragmentation, unless they are monitored, we may never know if they are used and whether they are successful in preventing unnecessary wildlife deaths on the road. One-off checking by nighttime observation, combined with searching for tracks and signs may give some indication of whether underpasses and culverts are being used, but more regular and systematic monitoring is needed to check the frequency of use. This can be achieved using a variety of techniques. With smaller passages and overbridges, sand beds can be placed at either end and checked on a regular basis for tracks. Another approach is to place an inkpad across the entire width of the path. Strips of paper are then attached to both sides and the animal prints are

recorded on the paper. Electronic counters with infrared detectors have also been developed to detect animal movements, although these do not record the species that uses the passage.

Critical element of an animal crossing project is monitoring its use following construction. The use of sand beds as a monitoring tool requires at least twice weekly visits and may occur over a period of several years. Some crossings are less used than others. Possible causes being investigated include noise, lighting, crossing size, and openness.

When designing green bridges, it is necessary to develop guides and recommendations for conceptional decisions and their planning, together with the tools and methods for their structural design, construction and maintenance, respecting the ecological and economic aspects, so that the structures comply with the requirements for load-carrying capacity, durability, safety and fulfilling simultaneously the required appearance. Also an environmental risk assessment should be required. This process examines impacts on soil, air quality, hydrology, noise, fauna and flora.

Conclusion

Construction of large engineering structures, among them belong also roads and motorways, must not result in irreversible changes or damage of biological relations on vast territories. Large-capacity and intensively loaded highways create landscape barriers, difficult to overcome namely by big mammals, causing thus fragmentation of the natural environments and populations. The paper contributes to conceptional decisions for the planning, design and construction of ecoduct structures (green bridges).

Acknowledgement

This project is being conducted with the participation of Ph.D. student Ing. Jana Zaoralová and undergraduate student Simona Rohrbocková and Jakub Římal. This outcome has been achieved with the financial support of the Ministry of education, youth and sports, Czech republic, project Sustainable Development No. MSM 6840770005.

References

- [1] Guy Berthoud, Comportement des mammifères aux abords des passages à faune, Actes Proceedings, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1999
- [2] Breaking Barriers, Heritage Outlook, Issue 6, Winter 2003
- [3] Hagood, S.: Germany - Where Roads and Wildlife Coexist
- [4] United States Department of Transportation - Federal Highway Administration

The Non-linear Analysis Of Reinforced Concrete Frame Structures And Assignment Its Response To Seismic Load

Karel Pohl

The method of calculation the seismic response of building structures according to EUROCODE 8 is based on simplifying supposition. This simplification is transformation of heavy dynamic load given by seismic shake to equivalent static load by method of progression to oscillation shapes. Conversion of dynamic task to static solution is fundamental for projection design where the solution of tasks with time variable load exceed the possibilities usual in engineer practice. Next remarkable simplification of calculation the response of structure is supposition of linear material behavior. Inaccuracy consequent from this simplification grows with choice of material which shows apparent non-linear behavior (ferro-cement constructions). Order simplification to take into account the dissipation properties of the construction in the calculation, linear analysis will be made, based on suppositional spectrum response, which is smaller than an elastic spectrum. This reduction can be achieved by implementation of ductility coefficient q . All of these significantly simplifying suppositions lead (according to the type of a construction) to inaccuracy in assignment of resultant construction response. A comparison of thus assigned structure's response calculation with a calculation based on detailed analysis of the construction can lead to a modification of the minimal number of oscillation shapes criterion considered in the calculation, as assumed in the EUROCODE 8 norm.

1. The Influence Of Non-linear Materials Behaviour To Response Of Structures

The structural analysis in earthquake engineering is a complex task because the problem is dynamic and usually non-linear, the structural system is usually complex, and input data (structural properties and ground motions) are random and uncertain. In principle, the non-linear time-history analysis is the correct approach. However, such an approach, for the time being, is not practical for everyday design use.

The idealization of building structures, for example supposition of linear behaviour of structure materials, can lead to inaccuracy assignment of their response. This inaccuracy is expressed especially by structures where used material has dramatically non-linear behaviour (reinforced concrete structures) and where load is coming to limiting state of stress.

For detailed analysis of ferro-cement frame constructions was defined the non-linear calculation. The primary algorithms were based on requirement of definition of dynamic structure's response, frequency calculation and oscillation shapes and calculation of time depended response. Within this calculation we can observe, apart of redistribution of internal intensity based on change of tenseness, also change of oscillation shape frequency. The oscillation shape frequency has essential influence on a defining the size of seismic power. Because we are able to track the oscillation shape frequency (softening of structural system) we can track also the influence of this change on the size of the seismic power.

By this change is understood increase of structure resistance to increase of seismic shake, therefore the linear dependence between increase of effective value of maximum acceleration ag and seismic shake Fk does not apply. With non-linear analysis will occur significant increase of structure movement, but the influence to reallocation of internal intensity is not crucial and it is actually beneficial for solidity of construction system. Reduction of oscillation shape frequency, which conversely can be crucial, can cause even a reduction of the size of internal intense in the construction and thus contribute to an impair of requirement of minimal oscillation shape number in calculation of structure's response to a seismic load. For appraisal of structure resistance these internal intense are crucial.

2. Behaviour Of Concrete Members Under Earthquake - type Loading

Code design requirements are framed with the intent of allowing members to develop their flexural or axial load capacity before shear or bond (anchorage) failure occurs. This desirable feature in conventional reinforced concrete design becomes imperative in design for earthquake motions where significant ductility is required.

Figure 1 shows typical stress-strain curves of concrete having different compressive strengths. The greater ductility of the lower-strength concrete is apparent in the figure. Typical stress - strain curves for the commonly available grades of reinforcing steel, with nominal yield stress of 290 MPa and 420 MPa, are shown in Figure 2.

An increase in the strain rate of loading is generally accompanied by an increase in the strength of concrete or yield stress of steel. The greater rate of loading associated with earthquake response, as compared with static loading, results in a slight increase in the strength of reinforced concrete members, due primarily to the increase in the yield strength of the reinforcement. The calculation of the

strength of reinforced concrete members in earthquake-resistant structures on the basis of material properties obtained by static tests is thus reasonable and conservative.

The stress-strain characteristics of concrete, as represented by the maximum usable compressive strain ϵ_{cu} are important in designing for ductility of reinforced concrete members. However, other factors also influence the ductility of a section: factors which may increase or diminish the effect of confinement on the ductility of concrete.

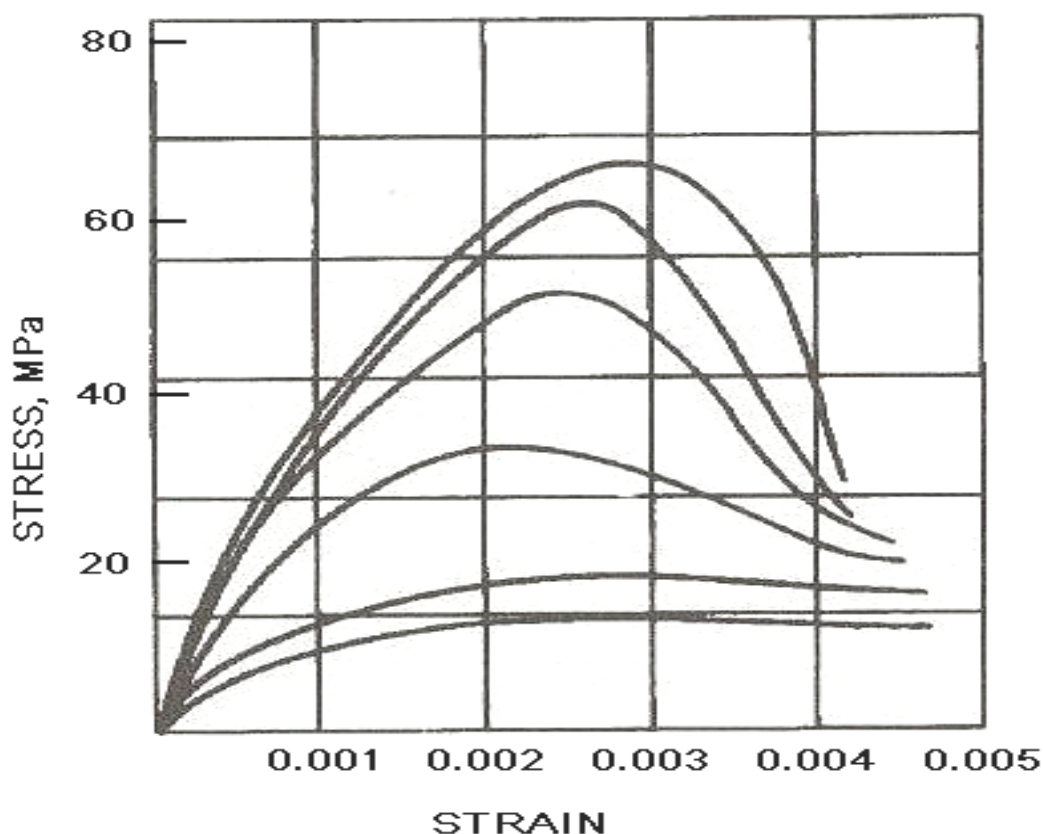


Figure 1: Typical stress-strain curves for concrete of varying compressive strengths.

3. Solution Of Non-Linear Response Of Reinforced Concrete Structures

Displacement-based design methods make use of non-linear static, or pushover, analysis. Appropriate lateral load patterns are applied to a numerical model of the structure and their amplitude is increased in a stepwise fashion. A non-linear static analysis is performed at each step, until the building fails. A pushover curve can then be plotted. This is then used together with the design response spectrum to determine the top displacement under the design earthquake – termed the target displacement. The non-linear static analysis is then revisited to determine member forces and deformations at this point.

The other alternative, which remains comparatively rare, is the use of full non-linear dynamic analysis. In this approach a non-linear model of the structure is analysed under a ground acceleration time history whose frequency content matches the design spectrum. The time history is specified as a series of data points at time intervals of the order of 0,01 s, and the analysis is performed using a stepwise procedure usually referred to as direct integration. This analysis has to respect behaviour of material which stands with cycles loads as shown in figure 3.

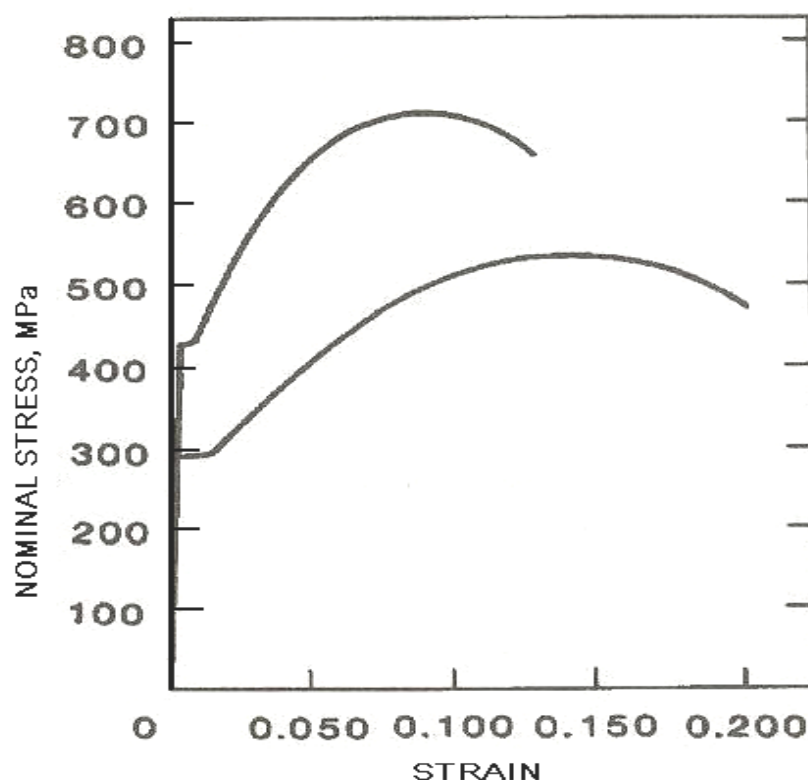


Figure 2: Typical stress-strain curves for ordinary reinforcing steel.

Requirements which are exacted from dynamic analysis lead to definition of non-linear algorithm that can solve a system of equations of motion.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{K}(\mathbf{Y})\mathbf{Y} = \mathbf{M}\{1\}\ddot{\mathbf{x}}_g$$

The stiffness matrix K is not a constant but is functionally depending on relative displacement Y . The task represents a system of second-order non-linear differential equations. We can take the mass matrix M and the damping matrix C as constants even though in fact the damping matrix C is the function of velocity and it is possible to use it as variability for solution of equations.

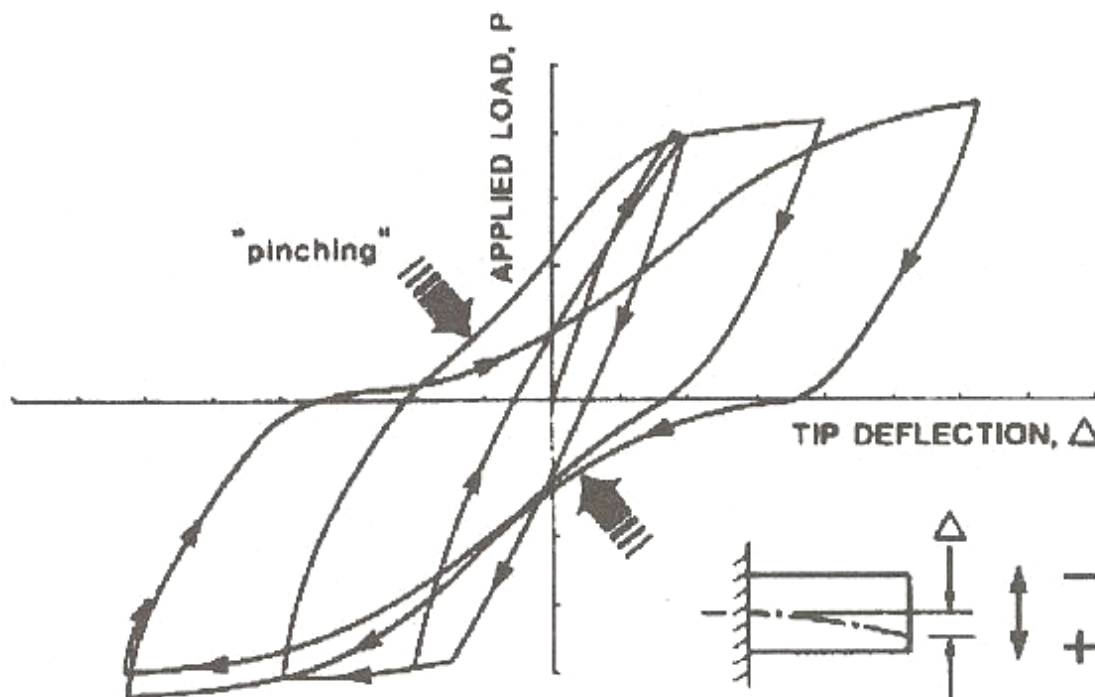


Figure 3: Pinching in load-displacement hysteresis loop due to mainly to sliding shear.

4. Conclusions

Structural response to strong earthquake ground motion cannot be accurately predicted due to large uncertainties and the randomness of structural properties and ground motion parameters. Consequently, excessive sophistication in structural analysis is not warranted. The simplified non-linear methods, which are, like any approximate method, subject to several limitations, provide a tool for a rational yet practical evaluation procedure for building structures for multiple performance objectives. The formulation of the methods in the acceleration – displacement format enables the visual interpretation of the procedure and of the relations between the basic quantities controlling the

seismic response. If we take into account the non-linear structure behavior and the reduction of seismic shake influenced by it's softening, we can strengthen the influence of the first oscillation shape given by the linear calculation to the overall structure's response. It is necessary to execute a detailed analysis of all types of structure because the influence of non-linear behavior is not possible to generalize for all types of structures.

Thanks

The project has been kept:

VZ 04 CEZ MSM 6840770005 Udržitelná výstavba

References

HUMAR, J.I., 2002: Dynamics of Structures, Balkema.

JIRÁSEK, M. and BAŽANT, Z. P., 2001: Inelastic Analysis of Structures, J.Wiley & Sons.

NAEIM, F., 2001: The Seismic Design Handbook, Sekond Edition, Kluwer Academic Publishers

Publikace vznikla v rámci řešení výzkumného záměru Ministerstva školství MSM 6840770005 „UDRŽITELNÁ VÝSTAVBA“.

Editoři: Tywoniak, Chamra, Ženka
Praha, prosinec 2006.

Tisk: Ediční středisko ČVUT Praha. Počet stran: 260. Náklad: 200 ks.

Neprodejný výtisk.

Publikace neprošla jazykovou úpravou. Příspěvky byly otištěny z předloh dodanými autory.

© ČVUT v Praze, Fakulta stavební