

UDRŽITELNÁ VÝSTAVBA 5

kolektiv autorů

návrh obálky: Zuzana Kramářová
zdroj fotografie: Zuzana Kramářová (brownfield v Novém Kníně, 2007)

Poznámka editora

Publikace vznikla v rámci řešení Výzkumného záměru č.4 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“. Publikace zahrnuje rovněž příspěvky přednesené na odborném Workshopu „Udržitelná výstavba 5“ VZ č.4 pořádaném dne 1.12.2009 v budově Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Kniha obsahuje 41 příspěvků rozdělených do čtyř tématických skupin – WP 1: Výstavba na brownfieldech, WP 2: Udržitelná výstavba budov, WP 3: Využití odpadních hmot, recyklátů a stavebnictví, WP 3: Přírodní katastrofy - nehody, požáry - optimalizace ochrany, interakce s konstrukcemi.

Příspěvky jednotlivých autorů jsou otištěny bez úprav - neprošly jazykovou korekturou.

editor: Zuzana Kramářová
tisk: Ediční středisko ČVUT v Praze
počet stran: 230
náklad: 200 ks
neprodejný výtisk
Praha, prosinec 2009

Kontaktní adresa: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra urbanismu a územního plánování – K 11 127, Thákurova 7, 166 29 Praha 6
Ing. Zuzana Kramářová, Ph.D., tel.: 224 534 690, e-mail:
zuzana.kramarova@fsv.cvut.cz

© ČVUT v Praze, Fakulta stavební

ISBN 978-80-01-04447-6

OBSAH:

Tematický okruh WP1	7
Řešení problematiky “brownfields” v zahraničí z hlediska metodických přístupů, výsledků výzkumu Země: Kanada Téma: Přestavba “brownfields” na bytovou výstavbu Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.	8
Regenerace „brownfields“ v procesu udržitelného rozvoje Ing. arch. Kristýna Šílová, PhD., Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.	16
Jaké příležitosti představují “brownfields”? Případová studie: Bývalý areál nemocnice prince Henryho v Little Bay, Sydney AU Ing. arch. Kristýna Šílová, PhD.	22
Koncepce udržitelného rozvoje v procesu regenerace městských brownfields Země: ŠVÉDSKO Ing. Petr Tomíček, Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.	27
Problematika udržitelné výstavby na příkladech nizozemského a německého eko-urbanismu Ing. Pavel Holubec, Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.	34
Příklady “ekologických” měst v Německu a Nizozemsku Ing. Roman Vodný, Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.	40
Nové využití brownfields a udržitelná výstavba v ČR Doc. Ing. Václav Kuráž, CSc.	46
Tematický okruh WP2	51
Odvodnění a zavlažování střech s vegetační úpravou Ing. Eva Hlavová Gazdová.	52
Drenážní vrstva jako součást souvrství střech s vegetační úpravou Ing. Eva Hlavová Gazdová, Ing. Tomáš Pokorný, Ph.D.	55
Validace numerického programu IterRn pro výpočet součinitele difúze radonu Doc. Ing. Martin Jiránek, CSc., Ing. Kateřina Rovenská.	58
Vodorovná tuhost ztužidlových polí lehkých dřevěných střešních konstrukcí s kovovými deskami s prolisovanými trny Doc. Ing. Petr Kuklík CSc., Ing. Aleš Tajbr	62
Nadřazené a optimální řízení systémů technických zařízení budov doc. Ing. Karel Papež, CSc., Ing. Michal Kabrhel, Ph.D., Ing. Filip Jordán	67
Transport vlhkosti ve stavebních konstrukcích Doc. Ing. Petr Semerák, Ph.D., Prof. RNDr. Jaroslav Římal, DrSc.	73

Zabudovaná vlhkost v konstrukcích s větranou vzduchovou vrstvou Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda	78
Tematický okruh WP3	83
Recyklovaná šterkodrt' stabilizovaná asfaltovou emulzí pro použití v pražcovém podloží Ing. Petr Kučera, Ing. Martin Lidmila, Ph.D.....	84
Posouzení vlivu času a teploty na vybrané vlastnosti směsí recyklace za studena Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Bc. Zuzana Formanová.....	90
Využití vedlejších energetických produktů na dopravních stavbách v České republice Mgr. Václav Mráz	95
Obchodování s elektrickou energií Ing. Petr Vaškovic, Mgr. Dušan Vaškovic.....	101
Využití vláknobetonu s recykláty v zemních konstrukcích Doc. Ing. Jan Vodička, CSc., Doc. Ing. Jaroslav Výborný, CSc., Ing. Hana Hanzlová, CSc., Ing. Vladimíra Vytlačilová, PhD.....	107
Tematický okruh WP4	113
Únava betonu a její role v udržitelné výstavbě Ing. Marek Foglar, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.	114
Inovace stávajícího rozhodovacího provedení při návrhu a výstavbě ekologických mostů Ing. Marek Foglar, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.	123
Standardizované konstrukce pro výstavbu ekologických mostů za zachovaného provozu na komunikaci Ing. Marek Foglar, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.	127
Matematická optimalizace tvaru střednice ekologických mostů Ing. Marek Foglar, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.	131
Rozsah poškození výbuchem - možné přístupy k výpočtu Ing. Marek Foglar, Ph.D., Ing. Eva Karasová, Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.	135
Zatížení mostů výbuchem a seismikou - společné znaky a odlišnosti Ing. Marek Foglar, Ph.D., Ing. Eva Karasová, Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.	139
Současný stav stavebně nedokončené tvrze Skutina čs. opevnění z let 1935-38 Ing. Marek Foglar, Ph.D.....	143
Posuzování podzemní části PPO pomocí modelu SEEP/W Dr. Ing. Pavel Fošumpaur	149

Predikce stupně automobilizace v České republice RNDr. Martin Hála, CSc.	154
Přístup ke snížení rizik skalního svahu nad silniční komunikací II/102 Strnady - Štěchovice Prof. Ing. Ivan Vaníček, DrSc., Ing. Věroslav Hrubý, Ing. Daniel Jirásko, PhD.....	159
Výbuch plynu a následné zřícení mostu Pionýrů v Ostravě Ing. Eva Karasová, Ing. Marek Foglar, Ph.D.	165
Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení. Následky zemětřesení v italské L'Aquila Ing. Eva Karasová, Ing. Jan Loško.....	170
Charakterizace zvětrávacích procesů a jejich vliv na trvanlivost pískovců použitých v historických objektech Mgr. Kateřina Kovářová, MBA	175
Ověření relativní přesnosti určování objemů Ing. Tomáš Křemen, Ph.D., prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc., Ing. Bronislav Koska	182
Sledování polohových změn bodu pomocí RTK měření Prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc., Ing. Martin Raška	187
Spline křivky při modelování změn polohy v prostoru Prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc., Ing. Martin Raška	193
Odhad vlivu chyby daných bodů při výpočtu geodetických sítí Ing. Jan Ratiborský, CSc.	197
Obraz bezpečnosti provozu na silniční síti Doc. Ing. Petr Slabý, CSc.....	201
Význam konstrukčního uspořádání a statického systému pro splnění požadavků trvale udržitelné výstavby Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc.....	207
Nosníky s tvarovanou stojinou při požární zkoušce Ing. Petr Kyzlík, prof. Ing. František Wald CSc., Ing. Michal Strejček	212
Využití ERT pro kvantitativní vyhodnocení infiltračních experimentů Ing. David Zumr, Markéta Levorová, Prof. Ing. Milena Císlerová CSc.....	218
Dva příklady monitoringu pro zpětnou analýzu stability Ing. Jan Záleský, CSc.	223

Tematický okruh

WP1

Výstavba na brownfielddech

Řešení problematiky “brownfields” v zahraničí z hlediska metodických přístupů, výsledků výzkumu Země: Kanada Téma: Přestavba “brownfields” na bytovou výstavbu

Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.

alena.mansfeldova@fsv.cvut.cz

Fakulta stavební ČVUT v Praze, katedra urbanismu a územního plánování
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

The research on the topic "Rebuilding brownfields to housing" was carried in Canada in the period 2005-2006. Its result is that financial obligation, regulatory measures, funding, designing, enlightenment and knowledgeableness may be also applied in the Czech Republic.

V období 2005-2006 byl v Kanadě proveden výzkum na téma "Přestavba "brownfields" na bytovou výstavbu". Jeho výsledky v oblastech: Finanční závazky, Regulační opatření, Financování, Projektování, Osvěta a informovanost jsou aplikovatelné i v České republice.

I. Výsledky výzkumu

K problematice „brownfields“ obecně

Problém revitalizace „brownfields“ je v Kanadě řešen od 80. let. Výrazným impulsem pro aktivní přístup byla snaha uspořádat v roce 2008 Olympijské hry v Torontu a vybudovat olympijskou vesnici v nefunkční průmyslové zóně – tzv. „brownfields“.

Olympijské hry se v roce 2008 v Kanadě nekonaly, nicméně se otevřela široká a plodná diskuse, která nastolila spoustu otázek, které posouvají záměr revitalizovat nevyužité opuštěné průmyslové objekty aspoň o kousek dopředu. Byly předloženy podklady pro prosazování takových projektů, ve kterých by byly vzájemně provázány ohledy na společenství obyvatel, kteří zde žijí, i životní prostředí. Záměrem bylo předložit právní základ podpory revitalizace znečištěných území. Klíčovým problémem se zdá být odpovědnost za regulační zákony. S tím souvisí nutnost:

- nastavit právně závazné zákonné normy pro vyčištění kontaminovaných území
- umožnit veřejný přístup k ekologickým informacím vztahujícím se ke znečištěným nebo původně znečištěným stavebních pozemků prostřednictvím „Registru ekologických stavebních pozemků“
- stanovit legislativu směřující k ochraně projekčních firem a zákazníků před ministerskými nařízeními, která se vztahují k místním podmínkám, je-li zastavěný pozemek vyčištěn v souladu s nově nastaveným systémem - ten může poskytnout rizikový odhad místo očisty v souladu s běžnými normami
- nabídnout řadu bezpečnostních kroků vedoucích k ochraně věřitelů, správců konkurzní podstaty, správců majetku a obecních/městských úřadů.

Opětovné využití znečištěných stavebních pozemků, jejich renovace a modernizace se vyplácí tam, kde je zajištěna finanční návratnost investorům a kde hrozí jen malé riziko nebezpečí

stížností třetí strany. Zkušenosti z USA ukázaly, že osvobození od finančních závazků a pečlivě cílené finanční pobídky opravdu vedou k úspěšné revitalizaci a obnově ve prospěch znatelných výhod pro společenství obcí.

Přijetí „Brownfields Statue Law Amendment Act“ – „Předpisu a pozměňovacího návrhu zákona ohledně Brownfields“, Ontario 2001, je odrazem zájmu a potřeb takových programů, které by podporovaly záměr obnovovat a přebudovávat brownfields.

Téma: Přestavba „brownfields“ na bytovou výstavbu

Výsledky výzkumu provedeného v období 2005 – 2006 pro Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC)

volný překlad: Kanadská společnost pro hypotéční a bytovou politiku

manager projektu: CMHC: Cynthia Rattle

konzultanti projektu: Luciano Piccione (RCI Consulting)

Richard De Francesco (Regional Analytics Inc.)

Tato výzkumná studie posuzuje, analyzuje a aktualizuje problematiku a překážky při přestavbách „brownfields“ na bytové objekty.

Cílem výzkumu je odpovědět na následující otázky:

Jaké překážky se objevily při přestavbě „brownfields“ na obytné zóny uživatelů v průběhu posledních osmi let?

Jaké překážky byly částečně nebo úplně odhaleny a proč?

Které překážky stále přetrvávají a proč?

Jaké nové překážky vznikly v souvislosti s překonáváním již existujících překážek nebo změn v legislativě, regulační a finanční soustavě zákonů?

Jaký je dopad přestavby „brownfields“ na dopravu, nabídku a dostupnost bydlení, dlouhodobé územní plánování a rostoucí management.

Překážky a problémy

Finanční závazky

Akciový kapitál a některá pasíva zůstávají klíčovými bariérami při přestavbě „brownfields“ na bytové zóny.

Striktní výklad pravidel týkající se výše „poplatků za znečištění“, které provedly soudy v několika zlomových rozhodnutích, se ukázaly být dalšími překážkami. Rovněž neschopnost převodu finančních závazků při prodeji pozemku vedlo k tomu, že některá společenství vlastníků pozemků své vlastnictví zakonzervovalo.

Zveřejnění mechanismů pro zrušení regulačních směrnic a občanskoprávní odpovědnosti bylo zpracovateli studie navrženo jako způsob, jak omezit překážku občanskoprávní odpovědnosti při přestavbě „brownfields“ na obytné zóny.

Regulace

V několika provinciích bylo dosaženo pokroku v souvislosti s reformou regulačních praktik, které fungují jako bariéry při přestavbě „brownfields“ pro bydlení. Mezi ně patří:

- povinnost řídit se hodnocením vypracovaným na základě vědeckých podkladů
- využití efektivnějších rizikově hodnocených postupů
- dostupnost přímých regulačních pokynů.

Tyto metody snad mohou snížit regulační bariéry spojené s přestavbou „brownfields“ na obytné zóny.

Absence vhodnějších prostředků pro odhad rizika a snížení míry rizika bylo zaznamenáno jako další bariera.

V některých provinciích zaznamenali jako překážku přestavby „brownfields“ nedostatek vhodnějších vědeckých norem pro záchranné práce v souvislosti s běžnou asanací.

Pro překonání zmíněných překážek se navrhuje:

- I. toxický průzkum, který by odpovídal možnostem současné vědy
- II. druhý soubor obecních a městských norem stanovených pro vysokou hustotu zástavby, kde je minimální příležitost pro vzájemnou interakci mezi receptory a znečišťujícími látkami.

Přestože v některých provinciích došlo k nepatrnému zlepšení, stále je příznačnou překážkou nedostatečný počet přijatých rizikových posudků a rizikových managementů.

K nepatrnému pokroku došlo ve snížení počtu vleklých návrhů týkajících se plánů do budoucna, které vyžadovala ministerstva provincií pro přezkoumání plánů náprav a zpráv rizikových posudků a managementů.

Studie předložila návrh na zdokonalení regulačních opatření, které by pomohly překonat bariéry, a to následovně:

- zefektivnění rizikových posudků se zaměřením na stavební pozemky jako takové a zvýšení důvěry v kvalifikované odborníky pro rizikové posudky a management.
- vhodný počet pracovníků a prostředků pro poskytnutí kvalifikovaných a aktuálních přehledů rizikových postojů k odhadu výměry stavebních pozemků a managementu (kde je to zapotřebí)
- posun zájmu od „směrnic“ v souvislosti se stavebními pozemky „brownfields“ k „usnadnění“ přestaveb „brownfields“.

Financování

Neochota věřitelů poskytnout finance pro přestavbu projektů „brownfields“ – především projektů obytných zón- je stálým problémem. Nicméně k nepatrnému posunu přece jenom došlo, a to díky poskytovaným výhodám v oblasti finančních rizikových nástrojů managementu, jako např. ekologické pojištění.

Produkty ekologického pojištění zaznamenaly jisté zdokonalení v průběhu posledních pěti let. Avšak stále neposkytují dostatečné krytí pro asanaci pod 1mil.dolarů, kam spadá většina předkládaných projektů.

Finanční pobídky obecních a městských zastupitelstev, jako jsou daňové úlevy, granty, půjčky a úvěry, sehrávají důležitou roli především v oblasti rozvoje obytných zón.

Studie přispěly ke zlepšení pomoci v otázce překonávání finančních překážek při přestavbě „brownfields“ na bytovou výstavbu, včetně:

- úpravy federálních daní, které umožní plně krýt výdaje spojené s náklady na nápravu
- uvedení finančních programů, které poskytují přímé financování pro posouzení stavebních pozemků a jejich ekologickou obnovu (nápravu)
- široké využití finančních pobídek obecními a městskými úřady po celé Kanadě.

Projektování

Následující problémy spojené s projektováním byly rovněž stanoveny jako překážky při přestavbě „brownfields“ na bytovou výstavbu:

- komplikace a dlouhé termíny při schvalování projektů obecními a městskými úřady
- přístup k projektům na obecních a městských pozemcích nepodporuje přestavbu „brownfields“
- dostupnost a dostatečná nabídka pozemků „na zelené louce“.

Studie navrhly kroky, které by pomohly překonat problémy při zpracovávání projektů přestavby „brownfields“ na bytovou výstavbu:

- průhlednější, efektivnější a méně složité schvalovací řízení projektů
- postupy, které dávají podněty pro přestavbu „brownfields“ na bytovou výstavbu, včetně územního plánování, příplatků s ohledem na hustotu zástavby a zefektivnění povolení k zástavbě
- magistráty, které působí jako sparingoví partneři nebo dokonce partneři v těchto projektech
- překážky rozvoje bytové výstavby na zelené louce, jako je tlak na posouvání hranic a rozpínání měst.

Osvěta a informovanost

medializace úspěšných projektů přestavby „brownfields“ na obytné zóny

veřejný přesah programů určených pro vzdělávání zúčastněných stran v procesu přestavby „brownfields“ zacílených na rizika a výhody.

Dopad přestavby „brownfields“ na nabídku bytové výstavby a moderní rozvoj

Projekty přestavby „brownfields“ mohou nabídnout celou škálu komfortní bytové výstavby v městských čtvrtích s dobrou dopravní dostupností a umožní snížit dopravní náklady ve srovnání s výstavbou na místech dosud nezastavěných.

Bytová výstavba na pozemcích „brownfields“ umožní obyvatelům seznámit se s dlouhodobě fungujícími rozvojovými cíly:

- řešit potřeby místní bytové výstavby
- zachovat historicky cenné stavby
- ochránit a zlepšit lidské zdraví
- revitalizovat stávající sídliště a podporovat projekty nových a inovačních sídlišť
- podporovat pevnější vazby mezi místem, kde žijeme a kde pracujeme
- potlačit rozpínání výstavby za hranice měst.

Závěr

Finanční závazky a finanční překážky jsou stále klíčovým problémem při přestavbě „brownfields“ na bytovou zástavbu. Vzájemné propojení mezi těmito překážkami musí být lépe pochopeno, aby se správně zhodnotil dopad legislativy, finančních stimulů a projekčních podnětů na jejich překonání.

II. Výsledky případových studií a praktických aplikací

Záměr

V Kanadě je podle odhadu asi 30 tisíc „brownfields“. Mnohé z těchto staveb se nacházejí v tradičních městských zónách a pro většinu z nich jsou veškeré komunální služby snadno dostupné. Některé by mohly být asanovány (očištěny) tak, aby odpovídaly dnešním ekologickým normám a mohly být využity k podnikatelským účelům i k bydlení.

Přestavba „brownfields“ se může stát důležitou součástí dlouhodobě fungujících společenství. Přestavba pro obytné účely nabízí příležitost revitalizovat starší části sídel. Dalšími výhodami jsou nižší náklady na městskou infrastrukturu, úspěšný rozvoj sídla, přínos pokud jde o zachování zemědělské půdy příměstské krajiny, zlepšení kvality ovzduší a snížení emisí skleníkových plynů.

Přestavba „brownfields“ pro bytové účely vyvolává v Kanadě mnohé námitky. Ale i přes spousty překážek byly po celé zemi realizovány úspěšné projekty a zajímavé záměry, které vedou k podpoře přestavby „brownfields“. Případové studie jsou užitečné jak pro pracovníky městské a obecní samosprávy, tak pro investory, územní plánovače, projektanty a uživatele a všechny ty, kteří zvažují předložit podobné projekty a záměry.

Metodika

Případové studie byly vybrány s ohledem na regionální zastoupení celé země tak, aby analyzovaly řadu projektů na základě jejich rozsahu, počtu obytných jednotek, regulačních spletností a úrovně kontaminace životního prostředí. Ve všech případech byly vedeny konzultace s těmi, kteří měli nejbližší k daným projektům a záměrům, včetně projektantů, radních, ekologických a projekčních poradců.

Problémy a bariéry

Případové studie poukazují na to, že problémy a bariéry spojené s přestavbou „brownfields“ pro obytné účely, mohou být shrnuty do následujících obecných kategorií:

- náklady na nápravná opatření v oblasti životního prostředí
- finanční a obecné ekonomické podmínky
- plánování (projekce) a schválení norem
- výhrady okolí (okolních čtvrtí).

▪ *Náklady na nápravná opatření v oblasti životního prostředí*

Obytné projekty, včetně přestaveb „brownfields“, vyžadují často vyšší náklady na kultivaci půdy než jaké jsou limity jejich ekonomické schůdnosti. Přestavby „brownfields“ vyžadují často dodatečné náklady spojené s odstraněním kontaminace životního prostředí, protože mohou požadovat:

najímání kvalifikovaných odborníků, aby vypracovali ekologický posudek na stavební pozemek za účelem stanovení povahy a rozsahu kontaminace na zastavěném pozemku
přípravu plánu nápravných kroků k odstranění kontaminace v rozsahu stanoveném ekologickým posudkem na stavební pozemek

úpravu (ošetření, asanaci) půdy a/nebo vybagrování a likvidaci mimo staveniště a/nebo úpravu spodní vody

rozsáhlejší veřejné konzultace (ve vztahu ke stavbám na zelené louce), které by vedly k utlumení námitek a diskusí kolem kontaminace životního prostředí a které by vedly k prosazení plánovaných záměrů.

Všechny tyto faktory mohou vést k časovým prodlevám pokud jde o schválení regulačních opatření a projektů a k následné nejistotě v souvislosti se získáváním potřebných financí. Případové studie ukázaly, že dodatečné náklady spojené s kontaminací životního prostředí, mohou být překonány využitím

alternativních hodnotících zpráv a kroků k nápravě (jako jsou kroky založené na rizikovém přístupu)

alternativních technologií nápravných opatření (jako jsou bionápravná opatření a recyklace půdy).

K tradičním nápravným krokům patří výkopové práce a likvidace zeminy, která překročila určité hodnoty, mimo staveniště. Tento postup, běžně nazývaný jako „vykopej a vysyp na skládku“, může být velmi nákladný z důvodu velkého objemu vykopané zeminy, která je nebo může být považována za „nebezpečnou“. Nebezpečná zemina musí být zlikvidována ve speciálních zařízeních, takže vynaložené náklady mohou několikanásobně překročit náklady na likvidaci zeminy, která nebezpečná není.

Odhad rizika nabízí způsob jak předejít překročení nákladů při výkopu a likvidaci kontaminované zeminy. Je to přístup, který využívá hodnocení půdy a spodních vod, která jsou specifická pro daná staveniště na rozdíl od využití všeobecných hodnocení. Riziková analýza může rovněž požadovat zákaz využití pozemku a zavedení technické regulace, která by minimalizovala možnost kontaminace.

Několik projektů použilo rizika odhadu k tomu, aby do značné míry omezilo náklady na ekologická nápravná opatření. To umožnilo, aby část kontaminované zeminy byla ponechána na místě staveniště. Na druhé straně ale bylo požadováno, aby se zmínil určitý počet rizikových ložisek (vrstev) použitím silnějších betonových stavebních desek, nepropustných ochranných vrstev výparů a mechanických ventilačních systémů.

Rizikové analýzy rovněž vylučují využití podzemních parkovacích stání ve prospěch nadzemních parkovacích míst, takže kontaminovaná zemina by nemusela být ze staveniště odvážena.

Alternativní nápravné technologie a novodobé metody recyklace materiálů mohou také pomoci snížit náklady. Využití bionápravy místo mnohem dražší metody „vykopej a vysyp na skládku“ vede k značným úsporám, které dělají projekt ekonomicky schůdnější.

Systém inovace materiálů pomocí třídění a recyklace vede také ke snížení demoličních nákladů. Slévárenský písek, konstrukční ocel, dřevo a upravené cihly mohou být prodány za účelem dalšího využití. Opatřované zdivo může být na staveništi rozdrveno a využito pro terénní úpravy a beton ze staveb může být rozdrčen a znovu použit při výstavbě podloží silnic. Úspory tohoto typu napomáhají větší schůdnosti projektů po stránce ekonomické. Jak malé, tak rozsáhlé obytné projekty po celé zemi a dokonce i ty, plánované pro těžce kontaminované stavební pozemky, byly schopny překonat bariéry spojené s náklady na odstranění závad právě využitím výše popsaných technických postupů.

▪ *Finanční a obecné ekonomické podmínky*

V některých oblastech je dopad trhu natolik silný, že umožní realizaci projektů přestavby „brownfields“ na obytné zóny bez využití finančních pobídek. Například silná místní poptávka po bytové výstavbě v Richmondu v kombinaci s minimálním znečištěním stavebních pozemků vedla k tomu, že výstavba London Landing mohla snadno udržet nízké náklady na odstranění závad.

Avšak mnoho stavebních pozemků „brownfields“ není a nikdy nebude ekonomicky schůdných právě pro výši těchto nákladů. Pozemky, které po nápravných opatřeních vykazují negativní hodnoty, mohou zůstat ležet ladem po mnoho let, dokud se nezmění tržní podmínky. Nicméně, soudnictví (jurisdikce) vypracovalo finančně stimulující programy, aby vyvážilo negativní hodnotu pozemku (nemovitosti) po provedení nápravných opatření.

Projekt Hamilton Beaches obdržel finanční prostředky z městského fondu. A ty, spolu s ušetřenými náklady díky využití bionáprav, zapůsobily pozitivně při ekonomickém schvalování sídliště.

Další stavba – Quai des Édusiers - získala demoliční grant od městské části Montriolu, který pomohl kompenzovat náklady vydané na odstranění závad.

- *Plánování (projekce) a schválení norem*

Zkušenosti ukázaly, že oficiální schvalování projektů týkajících se přestavby „brownfields“, může být složité a zdlouhavé, může vytvářet značné časové prodlevy a zvyšovat náklady na zástavbu. Přístup k novému územnímu plánování (např. v projektu Brandt's Creek Crossing) vyžadoval značné vyjednávání a spolupráci mezi projektanty a městem. Zástavba čelí dalším komplikacím. Kromě kontaminace, která nutně vyžaduje shodu s legislativou na všech vládních úrovních, je to také souhlas s výměnami pozemků a celá řada dalších schvalovacích procesů. Tyto požadavky a komplikace vedou k prodlužování termínů schvalování projektů a ke zvyšování nákladů.

Schválení první žádosti na nové územní plánování (přeplánování) pro projekt London Landing trvalo asi dva roky. Protože neexistoval pro tuto oblast jasný a přehledný územní plán, byl vypracován komplexní, všem přístupný plán, který obsahoval stanoviska a vize urbanistů a architektů co se týče území, staveb a technických požadavků. Místní obyvatelé a členové městské rady požadovali, aby zástavba svým charakterem zapadala do městské čtvrti a zvyšovali tlak na její komplexní vybavenost a následné pohodlí. Reakcí na tyto požadavky bylo vypracování takového projektu bytového komplexu, který je citlivý k historii této zóny a jejímu venkovskému charakteru. Jakmile byl magistrát spokojen s vizí vývojového pracovníka, poskytl podporu a spolupráci na opravdu vysoké úrovni a následně předložené další fáze projektu byly schváleny podstatně rychleji.

Několik magistrátů nabízí efektivní regulační postupy a značnou podporu projektům přestavby „brownfields“ (např. Cities of Cambridge a Hamilton). Tato podpora zahrnuje mimo jiné nabídku pracovního týmu, který doslova provádí vývojové projektanty při cestě nutných schvalovacích procesů regulačních a plánovacích a radí projektantům při ucházení se a hodnocení nabídek nápravných opatření ze strany dodavatelů. Případové studie jasně dokazují, že zefektivnění regulačních zákonů a dotace jsou nepostradatelnou součástí úspěšnosti přestavby „brownfields“ v městských zónách.

- *Výhrady okolí (okolních čtvrtí)*

Případové studie ukázaly, že zájmy okolí a výhrady opozice mohou být velkou překážkou při přestavbě „brownfields“ na obytné zóny. Odhalily zajímavé zjištění: s výjimkou zástavby Abe Zakem House (kde tři přilehlé pozemky s bytovou zástavbou byly kontaminovány ze dvora, který dříve sloužil veřejným účelům) veřejná opozice projektů přestavby „brownfields“ nemá nic společného s ekologickými podmínkami staveniště. Veřejná opozice zaměřená na tradiční plánování se v rámci přestavby městských zón zajímá o ukazatele jako je hustota zástavby a osídlení, výška budov, odstup budov a jejich vzhled a dopady dopravního provozu. Jinými slovy, jakmile staveniště „brownfields“ prošlo nápravnými opatřeními, bariéry k jeho přestavbě pro obytné účely jsou podobné těm, kterým čelí jakákoliv urbanistická vestavba nebo projekt přestavby v tradiční čtvrti. Výhrady opozice mohou být umlčeny a naopak podpora získána tím, že hned od počátku jsou vedeny s veřejností otevřené diskuse.

Závěr

Případové studie prokazují, že bariéry při přestavbě „brownfields“ pro obytné účely mohou být překonány využíváním různých metod. K těmto metodám patří průkopnická nápravná opatření jako je recyklace zeminy a dalších materiálů, alternativní technologie

odstranění závad, programy finančních pobídek, metodiky hodnocení na základě stanovených norem, předběžné územní plánování a úspěšné diskuse s širokou veřejností. Devět projektů přestavby „brownfields“ vytvořilo 3,315 nových obytných jednotek na rozloze 31,9 ha. Došlo k navýšení hodnot zastavěných pozemků a výnosů z pozemkových daní. Mnohé z nich přispívají k revitalizaci okolí a přivádějí nové nájemce k místním podnikatelským aktivitám. Některé vytvořily cenově dostupné bydlení pro nájemce s nízkými příjmy nebo poskytly bydlení v těsné blízkosti obchodních center. Vytvořily rovněž vedlejší ekonomické produkty prostřednictvím nápravných opatření, stavebních aktivit a zaměstnání. Případové studie ukazují, že „brownfields“ mají velký potenciál k poskytnutí bydlení pro značný počet obyvatel v rámci již existujících urbanistických zón a přispívají k vhodnému využití pozemků a již existující infrastruktury. Přestavba „brownfields“ pro obytné účely je velkou výzvou pro komunální vedoucí činitele, kteří by ji měli podporovat.

References:

- [1] Stein, S., Elliott, S.: Its Time to Boost Ontariós Brownfield Initiatives, in: Law and Order, Vol. 19, No.2, 2004
- [2] Rattle, C., Piccione, L., De Francesco, R.: Výsledky výzkumu provedeného v období 2005 – 2006 pro Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC)
- [3] Konzultace s V. Matus, architect – urban designer, Toronto, Kanada

This research has been supported by MSM 6840770005.

Regenerace „brownfields“ v procesu udržitelného rozvoje

Ing. arch. Kristýna Šílová, PhD., Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.

kristyna@kristyna.net, alena.mansfeldova@fsv.cvut.cz

Fakulta stavební ČVUT v Praze, katedra urbanismu a územního plánování
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

The issue of "brownfields" as a result of structural changes of society and contemporary cities has occurred in developed countries since 1970, and gradually became an important factor for sustainable development.

An active support of "brownfields" re-use can not only strengthen the vitality and economic performance of cities but it also can help to reduce pressure on the disappearance and loss of land, which is caused by the extensive and rampant development in suburban hinterland of cities.

Trvale udržitelná společnost je taková, která „uspokojuje potřeby přítomnosti, aniž by ohrozila uspokojení potřeb budoucích generací“.

Definice Světové komise pro životní prostředí a rozvoj

Udržitelný rozvoj je „zlepšování životní úrovně a blahobytu lidí v mezích kapacity ekosystémů při zachování přírodních hodnot a biologické rozmanitosti pro současné a příští generace“.

Definice Evropského parlamentu

Problematika brownfields se jako důsledek strukturálních změn společnosti a proměn soudobého města objevuje v rozvinutých zemích asi od roku 1970 a postupně se stala významným faktorem udržitelného rozvoje. V dnešní době je zřejmé, že aktivní podpora znovuvyužití brownfields může nejenom posílit vitalitu a ekonomickou výkonnost našich měst, ale také může pomoci snížit tlak na mizení a úbytek krajiny, které způsobuje extenzivní a nekontrolovatelný rozvoj v suburbánním zázemí měst. Revitalizace území brownfields je proto výrazným faktorem ozdravení soudobého města, které se na jedné straně nekontrolovaně rozšiřuje do předměstského prostoru, zatímco v jádrovém městě přibývá volných, nevyužívaných a zanedbaných ploch v místech, které často mají mimořádně výhodné polohové vlastnosti.

1. Úvod

Idea udržitelného rozvoje byla poprvé představena na mezinárodní sféře v roce 1987 a to komisí pod názvem *United Nations World Commission on Environment and Development* (Celosvětová komise sdružených národů pro životní prostředí a rozvoj), ve zprávě nazvané *Our Common Future* (Naše společná budoucnost). Zpráva upozorňovala na faktory související s udržitelným rozvojem; převážně na nutnost omezení spotřeby přírodních zdrojů a na spravedlivé dělení mezi generacemi.

Tato teorie byla později rozvinuta v roce 1992 na zasedání nazvaném *Earth Summit*, v Riu de Janeiro. Jedním ze základních výstupů z tohoto setkání byl plán akcí pro udržitelný rozvoj a společné zapojení třech zásadních elementů do procesu udržitelného rozvoje:

Společnost ⇒ Ekonomie ⇒ Životní prostředí

Od tohoto momentu začal být koncept udržitelného rozvoje důležitou součástí při územním plánování především v USA. Rovněž se dospělo k názoru, že přestavba brownfields má důležitou roli v procesu dosažení udržitelného rozvoje z těchto důvodů: ignorováním brownfields v území dochází k neustálému rozrůstání sídel a tím nežádoucím zásahům do krajiny. Tato expanze sídel pak vede k negativním vlivům na životní prostředí souvisejícím například s výstavbou nové infrastruktury a k záboru území, které patří k „nenahraditelným zdrojům“. Mnohem znepokojivějším důvodem však bylo poznání, že opuštěná a nevyužívaná území mohou mít negativní vliv na životní prostředí a tím ohrožovat zdraví celé společnosti (1). V neposlední řadě je prokázán negativní vliv na sociální prostředí: z bezprostředního okolí brownfields se obyvatelstvo vystěhovává a zůstávají „problémové skupiny“.

2. Proces udržitelného rozvoje

Pojem *udržitelný rozvoj* může mít několik rozdílných významů. Pro někoho může udržitelný rozvoj znamenat prosperující ekonomiku s vyváženým balanchem nabídky a poptávky, pro jiného udržitelný rozvoj představuje omezení užívání přírodních zdrojů.

K dosažení udržitelného rozvoje brownfields je zapotřebí nejen přilákat pozornost investora, ale zároveň se i snažit naplnit všechny potřeby společnosti. Takovýto přístup si vyžaduje spolupráci mezi všemi zainteresovanými účastníky. Grimsky ve své publikaci tvrdí, že propojení stanovisek a pohledů všech účastníků spolu s ekonomickými, právními, sociálními a ekologickými faktory povede k udržitelnému rozvoji (1).

Jak již bylo zmíněno, úspěšný proces si vyžaduje aktivní zapojení všech skupin a jednotlivců zastupujících různá odvětví, kteří jsou zasaženi rozvojem a nebo zasahují do rozvoje. Je nutné zdůraznit, že stádium projektu, kdy dochází ke sjednocení účastníků, je kritickou součástí úspěchu.

Proces udržitelného rozvoje brownfields je založen na systému skládajícího se ze čtyřech hlavních etap:



Každá z etap zahrnuje různé účastníky. Mezi účastníky mohou být majitelé, případní kupující, investoři, developři, místní komunita, regionální a krajské vlády, pojišťovny, záložny, atd. Ne všichni z výše jmenovaných však budou zahrnuti do každé z etap. Proces funguje nejlépe za předpokladu, že účastníci mají rozdělené role a od samého začátku pracují jako tým. Efektivní komunikace je jedním ze základních předpokladů úspěchu.

Zahájení

Proces rozvoje brownfields začíná v momentě, kdy někdo rozpozná podnikatelskou příležitost v obnově daného území. V podstatě kdokoli může uvést proces obnovy do pohybu. V tomto stádiu již většinou existuje nějaká vize, ale není to pravidlem. V takovém případě je pak vytvoření vize hlavním cílem tohoto komponentu.

Zhodnocení

V tomto stádiu dochází k určení a zvážení ekologických a finančních rizik souvisejících s projektem. Míra aktivit zde závisí na velikosti projektu a jeho komplexitě. Jedná se v podstatě o studii proveditelnosti, která zahrnuje nejen zvážení všech možných alternativ, ale i stanovení rizik spolu s příslušnými regulacemi a vyhodnocení možného finančního rizika. Závěrem tohoto stádia je pak seznámení všech dotčených účastníků s novými informacemi.

Vyjednávání

V této etapě je projednávána zodpovědnost za kontaminaci pozemku a celková kondice území. Většinou dochází ke změnám ve vlastnictví a tudíž je nutné specifikovat, za co nese nový majitel zodpovědnost. Zodpovědnost se netýká pouze nového majitele, ale i

potenciálních nájemců. Veškeré vztahy mezi účastníky a jejich odpovědnost je nutné přesně specifikovat a obeznámit všechny zúčastněné.

Realizace

Do této etapy jsou zahrnuty činnosti jako například demolice stávajících objektů, úklid pozemku nebo remediační práce. V tomto stádiu je zapotřebí zajistit náležitá povolení související s celkovým procesem, ale převážně povolení týkající se remediační technologie (případně technologií). Je zapotřebí také zvážit závažnost kontaminace. Za podmínek, že je kontaminace komplikovaná a je navrhována složitá remediační technologie, dochází k vyjmutí dekontaminačního procesu a vzniká tak nový samostatný komponent. Při realizaci, ať se jedná o dekontaminační proces nebo samotnou výstavbu, je vždy nutné provádět kontrolu kvality a zajistit soulad s patřičnými regulacemi a nařízeními.

Každý projekt obnovy brownfields je svým způsobem unikátní, každá výstavba se skládá z jiné kombinace legislativních, finančních, ekologických a společenských aspektů a tudíž není možné proces výstavby klasifikovat jako lineární (2).

3. Potřebné nástroje

Regenerace brownfields je řízeným procesem, který má za cíl nové využití již dříve využívaných ploch a ochranu zelených ploch. Součástí takového procesu je nutnost existence vhodných nástrojů různých podob. Je nutné si uvědomit, že charakteristiky řešeného území, jako například atraktivní lokalita, dobré možnosti využití pro záměr investora, zkušený investor nebo zájem veřejnosti jsou více či méně dané a nelze je výrazněji ovlivnit. Proto je existence nástrojů nepostradatelná, jelikož použitím vhodných nástrojů lze dopomoci k obnově i těch brownfields, které by samy o sobě na trhu nemovitostí neobstály.

Ekonomické nástroje používané ve státě NSW, AU

Ekonomické nástroje revitalizace brownfields používané ve státě NSW mají jasný průtržní charakter. Ve vztahu k problematice brownfields lze obecně shrnout, že ideou ekonomických nástrojů je zdražení záboru zelených ploch a finanční podpora při obnově brownfields. Jedná se o následující:

- *Přímé intervence z veřejných rozpočtů (dotace):* dotace z veřejných rozpočtů mají v procesu revitalizace jednu z nejzásadnějších rolí (3). Dotace jsou především nutné k financování nákladové mezery, která může představovat potřebu odstranění kontaminace nebo odstranění narušených budov z pozemku. Z pohledu právní úpravy je potřebné stanovit pravidla pro udělování dotací v rámci celého komplexního řešení revitalizace brownfields a určit orgán, který je zodpovědný za rozdělování dotací.
- *Daň za zábory zelených ploch „greenfields“:* jedním z žádoucích výsledků trvale udržitelného rozvoje brownfields je snížení nových záborů zemědělské půdy a zastavit využívání této půdy pro průmyslové a rezidenční využití. Nástrojem, který zmírňuje skutečnost zabírání půdy, je zvýšení odvodů za odnětí půdy (3). Odvody za odnětí fungují na principu, že ten, v jehož zájmu se ze zemědělského půdního fondu půda odnímá, je povinen zaplatit určitou finanční kompenzaci, nebo-li odvod ve výši stanovené podle přílohy zákona o ochraně půdního fondu. Finanční prostředky získané z odvodů pak slouží potřebám ochrany životního prostředí.
- *Zvýšená daň z nemovitosti u některých typů brownfields:* účelem tohoto nástroje je přimět pasivního vlastníka dotčené nemovitosti k akci. Takovým podnětem k akci je právě vyšší zdanění. V podstatě se jedná o určité zpoplatnění existujícího deprimovaného stavu nemovitosti v kombinaci s pasivitou vlastníka. Žádoucím výsledkem tohoto nástroje je zahájení revitalizace dané nemovitosti jejím vlastníkem nebo případný převod na jiný subjekt.
- *Zvýhodnění odpisů nákladů na činnosti související s vytvářením podmínek pro obnovu brownfields,* včetně nákladů na odstranění kontaminace na dotčené nemovitosti.

Zvýhodnění odpisů nákladů na činnosti související s revitalizací brownfields je implementováno do procesu obnovy přijetím příslušného zákona o daních z příjmů.

Příklad ze státu NSW, AU

Ve státě NSW je k dispozici nástroj ochrany volné krajiny formou tzv. porovnávací metody. Tato metoda prokazuje na finanční bázi významné ekonomické ztráty způsobené tím, že se nedostatečně využívá ploch brownfields. Podstatou této metody je postup, kdy na základě preferenčního indexu¹ je prokázáno, že skutečná hodnota pozemku v krajině převažuje nad výslednou hodnotou jejího požadovaného investičního využití. Vlastní systém použité metody hodnocení území spočívá ve vytvoření posuzovacích kritérií, kdy je vhodnost využití pozemku hodnocena externě, z pohledu obce, zájmu investora a také z pohledu celé společnosti. Zatímco obec a investor sledují ekonomické a tržní využití, společnost sleduje veřejný zájem z hlediska ekologického a kvality životního prostředí. Tento nástroj, který je využíván při hodnocení a rozhodovacích procesech na úrovni místních samospráv, se ukázal být v zájmu udržitelného rozvoje významným kontrolním kritériem při posuzování umístění investic do určitých lokalit (4).

4. Kulturní a sociální aspekty brownfields

V procesu rozhodování o vhodném využití území a urbanistickém návrhu pro brownfields je velmi důležité posoudit území a potenciální dopady projektu na daný region a jeho obyvatele. Území brownfields jsou často historicky spojena se svým okolím a nacházejí se v hustě obydlených městských čtvrtích. Celkovým cílem regenerace brownfields by mělo být zvýšení soužití většího počtu funkcí, ale zároveň zachovat, případně vytvořit určitou identitu oblasti a zvýšit její image.

Hlavní otázky, které je nutné si v tomto kontextu uvědomit, jsou:

- „Jakou zátěž představují navrhované urbanistické funkce pro okolní čtvrtě?“
- „Jaký prospěch budou mít okolní čtvrtě z navrhovaných funkcí?“

Proces spoluúčasti, do kterého jsou zapojeni obyvatelé ze zasažených a okolních oblastí, jsou nenahraditelnou součástí pro dosažení udržitelnosti a akceptovatelnosti rozvoje (5).

5. Identifikace komunity

Regenerace brownfields by měla zajistit rovnováhu mezi potřebnými změnami a kontinuitou existující komunity. Ve vztahu k urbanistickým a architektonickým aspektům je možnost garance pomocí zachování historických památek včetně průmyslových. Zároveň je ale potřeba podporovat rozhodnutí, která se týkají rozvoje sociální identifikace komunity. Zejména je důležitá interakce s otevřenými veřejnými prostory. Mnoho projektů rozvoje zanedbává veřejné prostory na úkor chráněných soukromých prostorů. Udržitelnost rozvoje měst v tomto kontextu znamená, že je potřeba definovat vhodnou funkci využití území a jeho urbanistické ztvárnění, které umožní sociální, ekonomickou a ekologickou synergii, jak pro území, tak pro společnost.

Tyto cíle se týkají zejména procesu participativního plánování, které odhaluje a integruje zájmy, návrhy a obavy obyvatelstva žijícího v sousedství. Přispívá to zároveň k akceptovatelnosti projektu, což je podstatné pro jeho realizaci. Z tohoto hlediska jsou doporučeny následující činnosti:

- analyzovat historický a skutečný význam místa pro dané území a využít tento poznatek pro vytvoření vize projektu

¹ index reprezentující kvalitu hodnoty místa z komplexního hlediska jednotlivých složek životního prostředí a sociálního prostředí

- snažit se vytvořit výhody a předcházet, minimalizovat nebo kompenzovat negativní důsledky pro danou komunitu
- pokusit se odvodit z okolní urbanistické struktury koncepty pro urbanistické ztvárnění a krajinářské úpravy
- analyzovat a dokumentovat ekonomické, sociální, environmentální, estetické a kulturní důsledky projektu pro dané území
- posoudit kumulativní důsledky, zabezpečit posouzení alternativ a posoudit zahraniční vlivy
- integrovat hlavní části do celkové prostorové koncepce regenerace brownfields.

Možné výhody a synergie pro danou oblast a její obyvatele, které vyplývají z projektu regenerace brownfields, jsou:

- možnosti zlepšení zdraví a rekreace obyvatel (zelené prostory, opatření ke zpomalení dopravy, přístup k sociálním a zdravotním zařízením atd.)
- doplnění sportovních zařízení
- zkrácení vzdáleností k obchodům a službám
- rozšíření příležitostí pro využití volného času
- zkvalitnění vzdělávací a sociální infrastruktury
- zlepšení bezpečnosti, snížení kriminality (osvětlení ulic)
- zachování identity místa (opětovné využití historických budov)

Ve vztahu k možným nepříznivým důsledkům regenerace brownfields je potřeba posoudit následující prvky:

- | | |
|-----------------------------|---|
| ▪ prašnost | ▪ poškození přírodního prostředí |
| ▪ zápach | ▪ pokles ceny nemovitostí |
| ▪ hluk/vibrace | ▪ nová konkurence pro existující podnik |
| ▪ přerušení dodávky energie | |

6. Identifikace prostoru

Nezávisle na konečném využití brownfields zůstává nejvyšším cílem udržitelný rozvoj území s vyšší kvalitou života. Jedním z klíčových prvků vysoké hodnoty urbanistické kvality je dobré napojení na otevřené prostory, dobrá kvalita pěší, cyklistické a veřejné dopravy a také dobrý cit pro atmosféru – „ducha místa“ (genius loci).

Klíčem k zabezpečení kvalitní urbanistické koncepce jsou procesy plánování, které řídí kompetentní odborníci na urbanistické plánování a do kterých může vstoupit i veřejnost. Úspěch na realizaci kvality mohou přinést jen inovační a kooperativní procesy plánování a také metody, do kterých jsou zahrnuty všechny zainteresované osoby a v neposlední řadě potřebné finanční zdroje.

Dostupnost

Hlavním cílem je regenerovat brownfields tak, aby byly v souladu s jejich bezprostředním okolím. To znamená vytvoření napojení a překonávání existujících bariér, s čímž souvisí zabezpečení prostorového a časově integrovaného systému všech dopravních prostředků.

Mnoho průmyslových brownfields je umístěno uvnitř městských čtvrtí. Oproti tomu se však v mnoha případech rozvoj dopravní infrastruktury týká zejména motorizované dopravy, protože je chápána jako důležitý ekonomický faktor. Bartsch (2) uvádí, že ekonomický úspěch regenerovaného brownfields spočívá často v zájmu investorů o dostupnost řešeného území pro motorizované dopravní systémy, dodávku a rozvoz zboží, ale také dostupnost pro zákazníky a zaměstnance. Zabezpečení dostupnosti udržitelným způsobem závisí většinou na specifických místních podmínkách.

Dostupnost je hlavně sociálním cílem, protože motivuje obyvatele, aby využívali tato revitalizovaná místa. Faktor dostupnosti má také ekonomické přínosy. Zpřístupnění revitalizovaných areálů pro všechny obyvatele zlepšuje šance těchto pozemků na trhu a vytváří synergii tím, že přitahuje co nejvyšší množství zákazníků.

Vnitroměstské brownfields představovaly často tzv. zapomenutá území, která nejsou přístupná veřejnosti a kde existují bariéry mezi jednotlivými obvody. Situace oddělených urbanistických obvodů klade překážky dostupnosti jednotlivých míst a také je překážkou pro urbanistické návrhy veřejných prostorů. Území brownfields by měla být integrována a vytvářet spojení a přechody, které spojí jednotlivé obvody sídla a zpřístupní tak tato území veřejnosti.

Regenerace „brownfields“ v procesu udržitelného rozvoje bezprostředně souvisí s nejaktuálnějšími problémy soudobého urbanismu a plánování rozvoje urbanizovaného území a krajiny. Je nutné ji všemi zainteresovanými – územními plánovači, komunálními politiky, investory, uživateli, občany – maximálně podporovat.

References:

- [1] Farber, U, Grimsky, D (2002). *Brownfields and Redevelopment of Urban Areas. Report from the Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies (CLARINET)*. Wien, Umweltbundesamt.
- [2] Bartsch, J, Coonez, D (2007). *Brownfields: Cleaning and Reusing Contaminated Properties*. Westport CT, Praeger.
- [3] Dabinet, G (2007). *Regeneration Benefits from Urban Investment, Town Planning Review*.
- [4] Smith, G (2008). *Contributions of Brownfield Development to Urban Internal Expansion and Urban Renewal in Practice*, ISOCARP Congress 2008, University of NSW, AU.
- [5] Todd, S D, *Brownfields: A Comprehensive Guide to Redeveloping Contaminated Property* (2005). American Bar Association.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Jaké příležitosti představují “brownfields”?

Případová studie:

Bývalý areál nemocnice prince Henryho v Little Bay, Sydney AU

Ing. arch. Kristýna Šílová, PhD.

kristyna@kristyna.net

Fakulta stavební ČVUT v Praze, katedra urbanismu a územního plánování
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

A greater awareness and interest has been shown in recent years in regards to the exploitation of our natural resources and the quality of the environment we live in. Also discussions about sustainable development, town planning and sustainability in the building industry have become more popular. Problems associated with brownfields, which are the results of structural, economical and industrial changes, present problems in many countries. Brownfields are very often a barrier in sustainable town and region redevelopment.

Úvod

V posledních letech roste zájem o problematiku životního prostředí, šetrné využívání přírodních zdrojů a poptávka po kvalitním životním prostoru. Stále častěji se diskutuje o udržitelném způsobu života na Zemi a s tím souvisejícím udržitelným rozvojem měst, stavění atd. V mnoha zemích se setkáváme s problémy brownfields, které vznikly důsledkem strukturálních a průmyslových změn ke konci minulého století. Jedná se o plochy představující zásadní problém pro udržitelný rozvoj obcí, měst a regionů. Bohužel zatím neexistuje sjednocená strategie vhodná k řešení tohoto problému a ani na národní úrovni nemá mnoho zemí vytvořený jednotný přístup k řešení brownfields.

Austrálie je jedna z mála zemí, kde existuje dlouhodobá politika podporující znovu využívání brownfields a řada projektů byla realizována. Uvedená případová studie regenerace bývalého areálu nemocnice v Sydney patří mezi nejúspěšnější.

Případová studie

Bývalý areál nemocnice prince Henryho v Little Bay, Sydney AU

1. Historie území

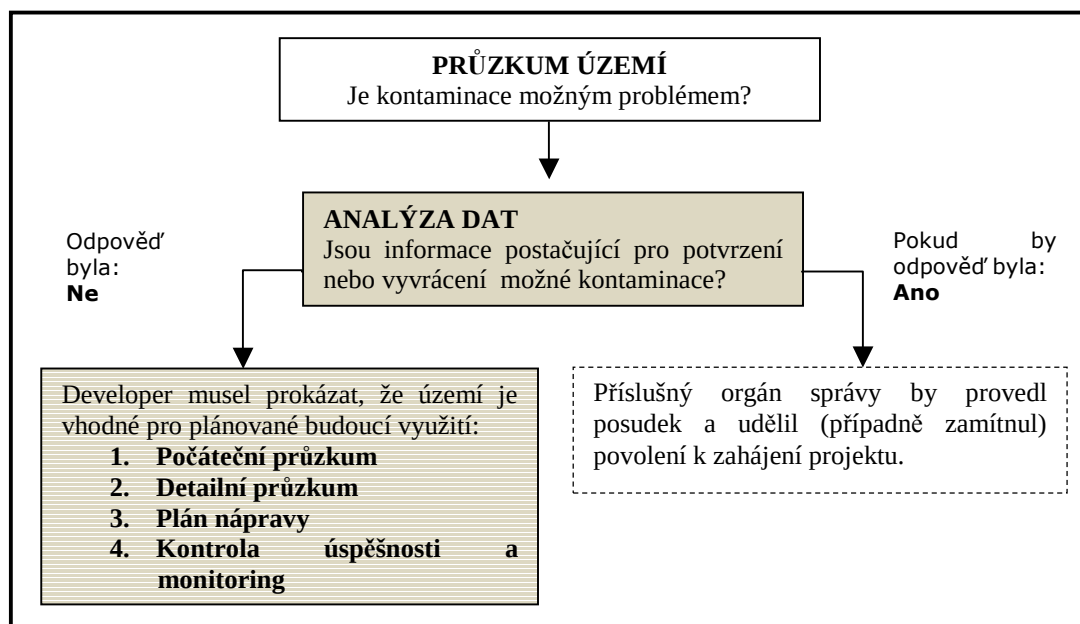
Areál bývalé nemocnice prince Henryho v Little Bay (v Malé zátocě) v Sydney je ukázkovým příkladem regenerace brownfields. Areál se rozkládá na ploše 32 hektarů, přibližně 30 minut jízdy na jih od samotného centra Sydney. V roce 1937 zde byla postavena nemocnice. Součástí nemocničního komplexu byl nejen blok pro léčení nakažlivých chorob jako např. lepra, tyfus, ale i kostel, hřbitov a další servisní objekty. Po uzavření provozu nemocnice v roce 1982, se území stalo postupem času neřízenou skládkou odpadu a místem majícím neblahý vliv na své okolí. Projekt byl zahájen začátkem roku 2004 a v současné době probíhá jeho druhá fáze, development.



Letecký snímek zahrnující řešené území, 2001.

Projekt zahrnuje vyčištění kontaminované půdy (rekultivaci) a následnou výstavbu zhruba 90-ti rodinných domků, spolu s komerční a občanskou vybaveností (development).

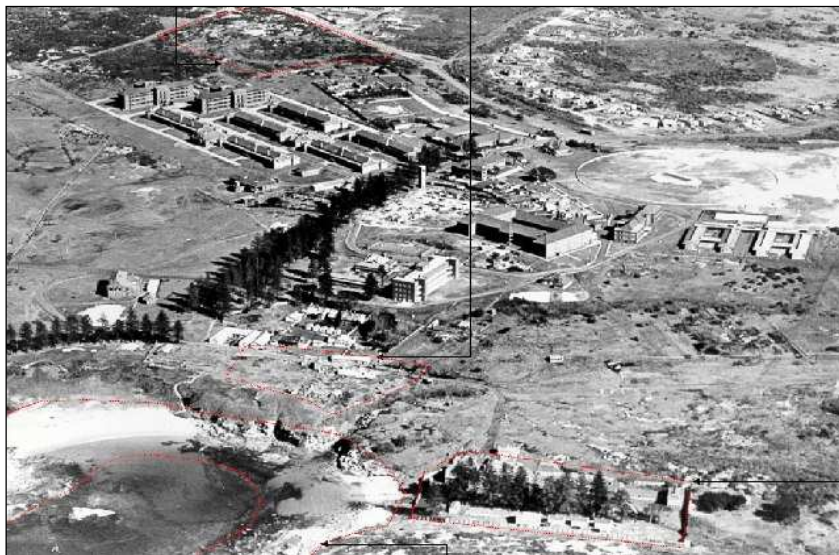
2. První fáze projektu – rekultivace



První fáze projektu – rekultivace.

Obecní úřad dané městské části měl záznamy o možné kontaminaci území, a proto developer musel zahájit tzv. Počáteční průzkum.

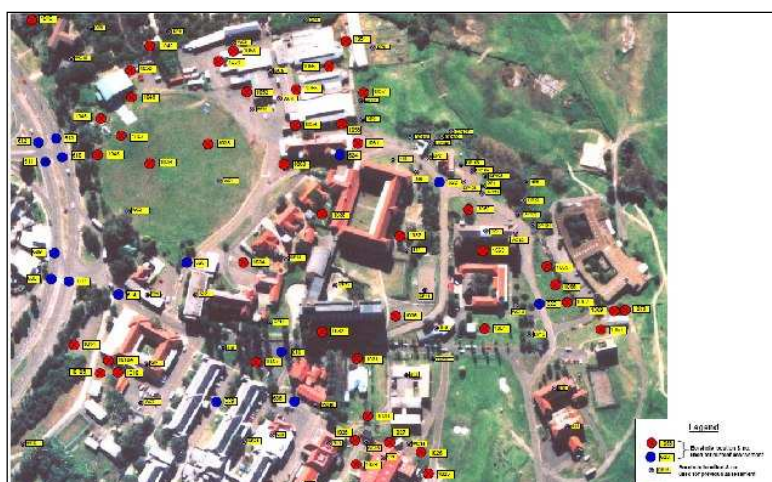
2.1 Počáteční průzkum, nebo-li desktop study. Tato část projektu je analytická a zahrnuje sběr veškerých dostupných dat o řešeném území. Proces zahrnuje sběr historických fotografií a mapových podkladů, výpis ze seznamu vlastníků, průzkum databáze kontaminovaných území, vyslechnutí sousedů a obhlídka území. Výsledkem první fáze je podrobná charakteristika řešeného území a posudek, zda existuje předpoklad pro kontaminaci.



Historická fotografie řešeného území z roku 1962.

Výsledkem Počátečního průzkumu bylo doporučení provést druhý krok – Detailní průzkum území. Důvodem byly získané informace, které poukazovaly na možnou kontaminaci území.

2.2 Detailní průzkum území (provádí se pouze v případě pozitivního posudku o kontaminaci z Počátečního průzkumu). Cílem této části projektu bylo identifikovat druh kontaminace a zjistit její rozsah. Proces zahrnoval odběr a analýzu vzorků půdy a podzemní vody.



Plán znázorňující místa odběru vzorků půdy.

Mezní hodnoty – kritéria na vyčištění:

Jaké mezní hodnoty² byly použity v tomto projektu? Regulační předpis (*Health Based Soil Investigation Levels*, EPA NSW) uvádí čtyři základní kategorie, rozdělené v závislosti na typu budoucího využití:

1. *Residenční výstavba s přístupem na zahradu* (Možná konzumace zeleniny a ovoce přesahuje 10% denního přísunu potravin. Jedná se o zahradnická centra, farmy, sady atd.)
2. *Standartní residenční výstavba s přístupem na zahradu* (Možná konzumace zeleniny a ovoce nesmí přesáhnout 10% denního přísunu potravin. Jedná se o residenční výstavbu, mateřské školy a jesle)
3. *Residenční výstavba s omezeným přístupem na zahradu* (Výstavba, kde je minimální možnost kontaktu s půdou. Jedná se o vysokopodlažní bytovou výstavbu nebo residenční výstavbu s dlážděným dvorem).
4. *Parky, hřiště a rekreační centra* (Tato kategorie zahrnuje sportovní a rekreační zařízení, základní, střední a vysoké školy).
5. *Komerční a průmyslová výstavba*.

V tomto projektu byly použity mezní hodnoty pro všechny kategorie, s výjimkou 1. kategorie. Výsledky analýzy odběru vzorků půdy a podzemní vody potvrdily kontaminaci území. Jednalo se o rozsáhlé znečištění půdy a podzemní vody těmito látkami:

- Těžké kovy (arsenic, olovo, rtuť, železo, zinek, nikl)
- Ropné látky
- Polyaromáty
- Aromáty
- Polychlorované bifenylly
- Pesticidy
- Asbest

Na základě analýzy výsledků byly vypracovány plány znázorňující rozsah a druh kontaminace, následované přípravou Plánu pro remediaci území.

2.3 Plán remediace, tj. jak uvést území do stavu, který nebude limitovat jeho plánované budoucí využití. Cílem této části byl výběr technologie pro nápravu území, který byl závislý nejen na druhu a rozsahu kontaminace, ale také na sociálních, politických, osobních a ekonomických faktorech. Po posouzení možných alternativ a vypracování Feasibility study došlo k výběru čtyř remediačních technologií, uplatněných v závislosti na druhu znečištění:

- Direct Thermal Desorption (DTD) – přímé spalování;
- Indirect Thermal Desorption (ITD) – nepřímé spalování;
- Capping – zakrytí;
- Odvoz vykopané zeminy na průmyslovou skládku.

Proces nápravy byl rozdělen do několika fází. V průběhu remediace byl developer nucen z finančních důvodů zahájit prodej pozemků, jelikož rozsah kontaminace byl mnohem větší než ukazovaly výsledky z Detailního průzkumu. Po skončení dekontaminace každého jednotlivého úseku bylo ověřeno, zda proces vyčištění proběhl úspěšně.

² Mezní hodnota reprezentuje limit, po jehož překročení dochází k ohrožení zdraví člověka a/nebo životního prostředí.

2.4 Kontrola úspěšnosti procesu nápravy. Postup zahrnoval odběr a analýzu vzorků půdy a podzemní vody z vyčištěného území. V případě, že mezní hodnoty nesplňovaly stanovená kritéria, proces remediace bylo nutné opakovat do té doby, dokud nebyly mezní hodnoty v souladu s legislativou.

Území bylo úspěšně vyčištěno a v současné době se nachází ve fázi výstavby.

References:

Šílová, K.: Proces regenerace brownfields v Austrálii, ve státě NSW

Disertační práce k získání akademického titulu PhD.

Doktorand: Ing. arch. Kristýna Šílová

Školitel: Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.

Obhajoba: 17.9.2009

This research has been supported by MSM 6840770005.

Koncepce udržitelného rozvoje v procesu regenerace městských brownfields Země: ŠVÉDSKO

Ing. Petr Tomíček, Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.

petr.tomicek@post.cz, alena.mansfeldova@fsv.cvut.cz

Katedra urbanismu a územního plánování, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

Some great examples of sustainable city development on brownfields can be found in Sweden. These examples include the construction of the Western Harbour of Malmö, project Hammarby in Stockholm and the first Swedish town with private energy system in Sundsvall.

Úvod

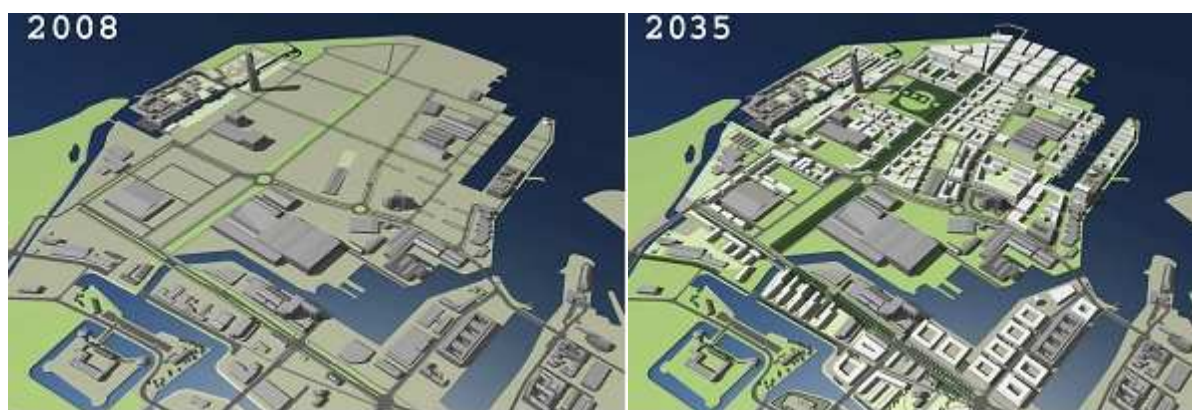
Udržitelný rozvoj představuje dynamickou rovnováhu mezi třemi základními oblastmi života: ekonomikou, sociálními aspekty a životním prostředím. Podstatou udržitelnosti je naplnění tří základních cílů: sociální rozvoj, respektující potřeby všech, účinná ochrana životního prostředí a šetrné využívání přírodních zdrojů, udržení vysoké a stabilní úrovně ekonomického růstu a zaměstnanosti. Environmentální, sociální a ekonomický pilíř se deklarují jako vyvážené a rovnocenné aspekty udržitelného rozvoje. Koncept udržitelného rozvoje je mezinárodně uznávaným a podporovaným způsobem života, hospodaření, rozhodování. Je horizontální prioritou Evropské unie.

Následně uvedené příklady „udržitelné výstavby na brownfields, Švédsko“ naplnění všech tří cílů – environmentálního, sociálního a ekonomického – dokladují.

Příklady udržitelné výstavby na brownfields, Švédsko

1/ Bo01, Western Harbour, Malmö, SWEDEN





Historie Západního přístavu

Před 100 lety bychom Západní přístav na mapě vůbec nenašli. Území vzniklo postupným zavážením mělkého mořského zálivu. Společnost Kockums industries, založena v letech 1870, stavěla obrovské tankery delší než je výška Turning Torso a v době svého rozkvětu pracovalo v docích, jeřábech a velkých průmyslových halách více než 6000 lidí. Rozhodnutí o uzavření podniku bylo učiněno v roce 1986. Později našla v místech dnešního Západního přístavu místo automobilka Saab-Scania a pobočka General Motors, ovšem v roce 1996 byl v důsledku poklesu zisku a následné restrukturalizace obou společností i tento závod uzavřen. Pozemky a budovy byly zakoupeny do vlastnictví města Malmö.

Dekontaminace půdy

V některých oblastech byly detekovány vysoké koncentrace toxinů a než mohly být postaveny nové domy, bylo potřeba provést rozsáhlé sanační práce. Bylo zpracováno okolo 10 000 tun zeminy. Vykopaná půda byla důkladně otestována a více než 75% jejího objemu mohlo být použito znovu. Zbývajících 25% bylo dekontaminováno jak chemicky, tak biologicky. Na některých méně kontaminovaných místech bylo možno znečištěnou půdu překrýt novou, čistou vrstvou zeminy.

Architektura

Klíčovou osobou v procesu vytváření čtvrti Bo01 byl městský architekt Klas Tham. Základní myšlenka, kde budovy s malým vnitřním měřítkem vytvářejí stěnu proti moři se zpočátku setkala s ostrou kritikou.

Výsledkem spolupráce mnoha architektů a stavitelů však je oblast s jedinečným charakterem. Charakterem a stylem, který nikdy nevyjde z módy. Vinuté chodníky, nečekané objevy, neobvyklé barvy a prostory. Nejdeme zde nízké, na sebe nahuštěné domy se zelenými dvorky, ukryté uprostřed velmi vysokých budov. Čtvrť nabízí jedinečné možnosti individuálního bydlení a je plná nových, kreativních řešení.

Veřejná doprava

Mnoho zlepšení bylo nasměrováno do oblasti veřejné dopravy, tak aby se stala pro veřejnost přitažlivější. Autobusy nyní jezdí častěji, mají vysokou prioritu na semaforech a spojují klíčové části města. Autobusové zastávky mají zvýšené nástupní plošiny, elektronické jízdní řády a ochranu proti povětrnostním vlivům. V roce 2003 byly do provozu uvedeny první dva

městské autobusy s pohonem na směs tvořenou 8% vodíku (vyrobeného z větrné energie) a 92% standardního paliva. Projekt je velmi úspěšný, plánováno je uvést do provozu daleko více autobusů s touto palivovou směsí. Systém veřejné dopravy je na takové úrovni, že dovoluje obyvatelům Západního přístavu žít bez auta, což je ve Švédsku téměř rarita.

Cyklistika

Malmö věnovalo velké úsilí tomu, aby se stalo městem na kole. Město má dlouhé, rychlé a bezpečné cyklistické stezky. Cyklistika je jedním z nejvíce ekologicky šetrných způsobů dopravy a je obyvateli hojně provozována.

Parky

V oblasti se rozkládají dva hlavní parky - Ankarparken a Daniaparken.

V Ankarparken nalezneme olšové bažiny, dubové, bukové a borovicové háje. Tyto biotopy slouží jako ukázka toho, jak může příroda vypadat mimo město. Do parků se stahuje také mnoho ptáků a jiných volně žijících zvířat.

Daniaparken nabízí spoustu možností ke sledování proměn přírody v průběhu ročních období. Park má vzrušující architekturu. Velká rampa vede na gigantickou kamennou plochu. Prostor má jak otevřené prostranství, kde si můžete vychutnat ohromující sílu příboje, tak klidnější posezení u plochy osázené trvalkami. Je to místo pro odpočinek i relaxaci.

Sociální udržitelnost

V udržitelné městské čtvrti musí mít lidé možnost komunikovat jeden s druhým a spolu se podílet na kulturních aktivitách. Stapelbäddsparken, kterému dominují betonové skateboardové plochy, se nachází přímo v centru Západního přístavu, v blízkosti kaváren, hřišť na pétanque a horolezeckých stěn. Park je místem setkání pro všechny věkové skupiny a nabízí širokou škálu činností, které podporují zdraví a dobrou pohodu návštěvníků.

Rezidenční čtvrt Flagghusen se nachází nedaleko. Tato část města je postavena s myšlenkou na sociální udržitelnost a bezpečnost. Různé typy domů a forem společného nájemního bydlení jsou postaveny ve stejném bloku a bezpečnost obyvatel je podpořena vhodnou volbou míst k setkávání.

100% obnovitelné energie na místní úrovni

Náš vliv na klima znamená, že musíme najít řešení pro budoucnost. Energetický systém nezávislý na uhlíku z Bo01 dokazuje, že je možné dodat celé městské části celých 100% místně vyrobené obnovitelné energie. Čtvrť nabízí lidem způsob jak žít trvale udržitelným způsobem, díky využití veřejné dopravy a šetření na zdrojích. Čtvrť Bo01 je důležitým příkladem pro budoucnost a je jí věnováno mnoho mezinárodní pozornosti. Cílem snažení je velmi nízká spotřeba energie, ale zároveň zachování vysokého komfortu bydlení. Obyvatelé mohou také sledovat jejich vnitřní klima uvnitř domů pomocí různých IT řešení.

Příroda

Díky osvětlenému plánování je příroda přítomna v celé městské části. Bohatá a pestrá zeleň v parcích, na nádražích, po ulicích a na náměstích má pozitivní efekt na zdraví obyvatel a návštěvníků. V plánu je efektivně využít prostor, který je k dispozici a podpořit biologickou rozmanitost. Přírodní plochy se též podílí na zpracování dešťové vody. Plochy, které byly

zabrány výstavbou domů a chodníků a jsou nepropustné pro dešťovou vodu, musí být kompenzovány dalšími zelenými plochami, jako jsou zelené střechy a zelené stěny. Zelené střechy též zlepšují místní klima. V oblasti Bo01 je vypracována strategie pro všechny rostliny a stromy na dvorcích a zahrad. Například některé rostliny jsou vybírány na základě své produkce nektaru. Švédská flóra v tomto venkovském stylu bydlení vzkvétá. Mezi rostlinami pnoucími se na zelených stěnách, motýlími zahradami a v poklidných zákoutích se divoká zvířata snadno cítí doma. Je zde mnoho míst, kde mohou hnízdit ptáci a netopýři.

Otevřený cirkulační vodní systém

Dopadající dešťová voda zde neústí do kanalizace, jako je běžné v jiných městech. Ještě než dosáhne zálivu Öresund, protéká systémem jezírek, kanálů a malých fontán. Tento systém je nejen krásný pro obyvatele, ale je také výhodný z hlediska vlivu na životní prostředí. Tímto způsobem je voda biologicky čištěna ještě před dosažením zálivu Öresund. Příležitost vychutnat si pohled na tekoucí vodu přímo z domu nebo bytu je také přínosem pro fyzické a duševní zdraví obyvatel. Otevřený systém dešťových vod v této oblasti je unikátní a je velmi oceňován jak obyvateli tak i návštěvníky, zejména dětmi. Voda v kanálech, rybnících a fontánách nabízí mnoho zábavy. V sušších obdobích je voda v jezírkách v zájmu zachování biologické rozmanitosti automaticky doplňována.

Slunce, vítr a voda

Ve čtvrti Bo01 už byla energeticky úsporná řešení začleněna do architekta originálního designu. Energii dodává také jedna z největších švédských větrných turbín. Více než 1400 m² solárních panelů přeměňuje sluneční energii na vytápění a na ohřev teplé vody. Vodní čerpadlo odebírá energii z přírodních podzemních vodních nádrží. Systém ukládá teplou vodu z léta k vytápění budov v zimě a chladnou vodu ze zimních období využívá k chlazení budov v létě.

Recyklace odpadu

Cílem udržitelné společnosti je recyklovat, znovu využít a minimalizovat všechny negativní aspekty, které se recyklačním koloběhu podílí. K dispozici je unikátní systém na odsávání odpadu. Jediná věc, která je v systému potrubí viditelná, trčí ze země v místech, kde se obyvatelé odhazují odpad. Odpad je pak nasáván skrz podzemní potrubí na předměstí, kde je později vyzvednut nákladními automobily. To znamená, že kamiony nemusí zajíždět do centra obytné části.

2/ Norra Kajen, Sundsvall, SWEDEN vize 2007, 2037



Moře i hory zasahují přímo do centra města Sundsvall. Město samotné je dobře chráněno, ale blízkost moře zároveň poskytuje široký otevřený prostor. Historické průmyslové plochy budou přeměněny na obytné městské části přímo u moře a jen tři minuty chůze od centra Sundsvallu. Na ploše o rozloze 250.000 m² se postaví nejméně 1400 bytů. Téměř všechny budou mít výhled na moře. Nicméně, není to jen poloha, které dělá čtvrť Norra Kajen atraktivní. Výrazná moderní architektura bude každým krokem přinášet novou inspiraci. Městská část bude mít jako první město ve Švédsku vlastní soukromou energetickou soustavu.

3/ Hammarby Sjöstad, Stockholm, SWEDEN



Základní myšlenkou, která předcházela vlastní fázi projektování, bylo chopit se příležitosti a ukázat, jak využít tuto zónu v centru města a nadále zachovat její jedinečné zasazení do prostředí v těsné blízkosti pobřeží a současně přeměnit starou průmyslovou a přístavní zónu na moderní městské prostředí. Hammarby Sjöstad má 9 tisíc bytů pro asi 20tisíc obyvatel očekává se, že zde bude žít a pracovat celkem asi 30tisíc lidí. Stačilo jen několik let, aby se Hammarby Sjöstad stalo jedním z nejlepších příkladů udržitelného rozvoje města, který je uváděn ve specializovaných publikacích po celém světě. Čtvrť Hammarby Sjöstad navštěvuje ročně více než 10.000 představitelů s rozhodovací pravomocí a specialistů v oboru ,což z ní dělá jednu z nejatraktivnějších destinací ve Stockholmu.

Vlastní eko-cyklus Hammarby Sjöstad

Energie:

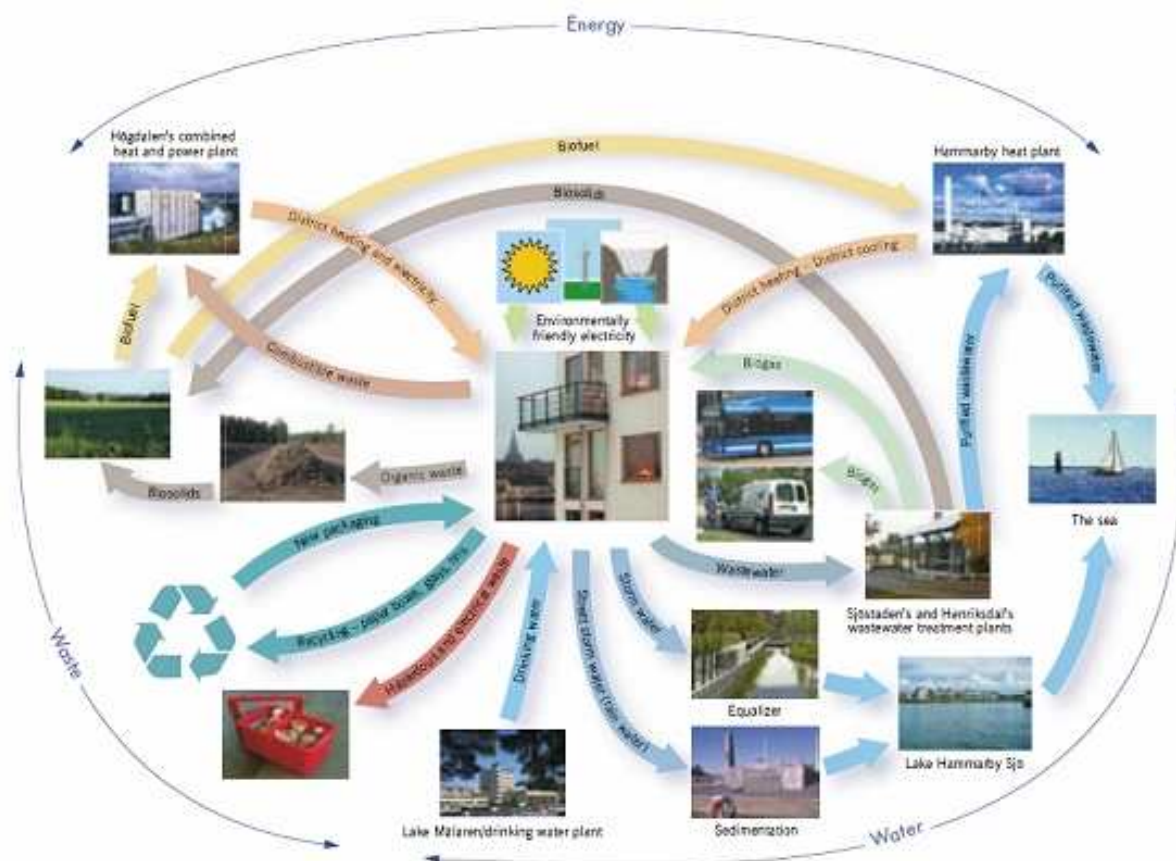
- hořlavý odpad je přeměněn na teplo a elektřinu
- přírodní biopalivo je přeměněno na teplo a elektřinu
- teplo z odpadní vody je využíváno na vytápění a chlazení
- solární články přeměňují sluneční energii na elektřinu
- solární panely využívají sluneční energii na ohřev teplé vody

Voda & kanalizace:

- solární panely využívají sluneční energii na ohřev
- spotřeba vody je snížena použitím ekologicky šetrných splachovacích záchodů
- pro oblasti byla vybudována nová čistírna odpadních vod
- je využit bioplyn produkovaný při zpracovávání čistírenských kalů
- pevný bioodpad je používán na hnojení
- dešťová voda ze střech a ulic je předčištěna v místních usazovacích nádrží s rostlinami a teprve pak je odvedena do moře

Odpady:

- odpad je za pomoci automatizovaného potrubního systému “odeslán” na sběrné místo a dále zpracováván
- organický odpad se používá jako hnojivo
- hořlavý odpad je využit na výrobu tepla a elektřiny
- všechny recyklovatelné materiály se recyklují: novin, sklo, lepenka, kov, atd.
- nebezpečný odpad je spalován nebo recyklován



References:

- [1] SUSTAINABLE SOLUTIONS FROM SCANDINAVIA, WHITE COMPANY BROCHURES, WWW.WHITE.SE
- [2] HAMMARBY SJÖSTAD, REAL ESTATE AND TRAFFIC ADMINISTRATION, STOCKHOLM
- [3] www.malmo.se
- [4] www.norrakajen.se
- [4] www.HAMMARBYSJOSTAD.se

This research has been supported by MSM 6840770005.

Problematika udržitelné výstavby na příkladech nizozemského a německého eko-urbanismu

Ing. Pavel Holubec, Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.

pavelholubec@centrum.cz, alena.mansfeldova@fsv.cvut.cz

Katedra urbanismu a územního plánování, FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

The article shortly sum up the problems that is spatial planning presently obliged to solve (growing population, limited resources and adaptation to the needs and risks of modern civilization) and then, based on the visit of new urban projects in Netherlands and Germany, takes these realised projects as a kind of answer to the specified problems of modern risk society and shortly discuss their relevance.

1. Úvod

Příspěvek nejprve stručně shrnuje současné problémy, jimiž se územní plánování musí zabývat (rostoucí populace, omezené zdroje a adaptace na potřeby a rizika moderní civilizace). Následně, na základě vybraných a navštívených urbanistických realizací v Nizozemsku a Německu, jsou tyto pojaty jako určitá odpověď na problémy moderní rizikové společnosti a je krátce prodiskutována jejich relevance.

2. Přístup k problematice

Nejprve byly vybrány a navštíveny lokality, které vznikly v nedávné době a které lze označit jako příklady „eko-měst“ či „eko-urbanismus“. Jde o následující města (v závorce je název projektu či čtvrti): Amersfoort (Langenoord, Nieuwland), Heerhugowaard (Stad van de Zon), Den Haag (Ypenburg, centrum), Houten, Culemborg (EVA Lanxmeer), Amsterdam (IJburg, Westerdok, Oosterdok, IJhaven) v Nizozemí. V Německu pak: Dardesheim (město obnovitelné energie) a městská část Hannover-Kronsberg (budovaná v souvislosti s výstavou EXPO 2000).

Na všechny navštívené lokality a projekty lze pohlížet tak, že reprezentují konkrétní odpovědi na relativně obecně položené otázky ale i specifické problémy, jimž moderní civilizace v současnosti čelí. Důležitý aspekt všech zmíněných lokalit je fakt, že představují výsledky vědomého a komplexního územního a urbanistického plánování. Jde o zhmotnělé vize, které nejenže byly veřejně formulované a projednané, ale též zkonstruované v konkrétních místech a nyní jsou zabydlené desítkami tisíc obyvatel.

Zmíněné lokality jsou postupně prezentovány (kap. 3) s důrazem na jejich význačné aspekty a následně jsou uchopeny jako doklad idejí, technických a organizačních řešení komplexních problémů současnosti (kap. 4). Tyto "civilizační" problémy, se zaměřením na obor územního plánování, jsou nejprve stručně formulovány (kap. 2.2), a to na pozadí pojetí moderní civilizace jakožto globální rizikové společnosti (kap. 2.1).

2.1 Moderní riziková společnost

K uchopení moderní civilizace, jejich rozporů a problémů se jeví velmi užitečné pojetí rizikové společnosti Ulricha Becka [1]: jádrem jeho přístupu ke světu je přechod od industriální společnosti (první vlna modernity) ke společnosti rizikové (druhá vlna modernity). Podstatná je skutečnost, že obě vlny modernity sice pracují s idejemi, obsaženými

v projektu moderny (např.: racionalita, systematická skepse, detradicionalizace, svoboda), ale ve značně změněných podmínkách. Riziková společnost totiž obývá „druhou přírodu“, kterou vybudovala industriální společnost na místě tradičního „přirozeného světa“. Pokračující modernizace tak kritizuje a mění své dřívější výtvary, přičemž je však nucena čelit vlastním omylům, nezamýšleným důsledkům a environmentálním i sociálním rizikům.

Důsledky složitého a často i vnitřně rozporného vývoje moderní společnosti se projevují i v podobě sídel a v plánech na jejich změnu. Principem moderní společnosti je "udělatelnost" a "reflexivita": společnost, území, světové uspořádání i lidský jedinec – vše je v principu zkonstruovatelné a změnitelné, ale veškeré záměry ale i "fakta" jsou zároveň předmětem kritiky a pochybností. V praktické rovině tak lze jak definice problémů, tak jejich řešení pojímat jako otázku volby a víry: jde o to komu věřím, jaká fakta, definice a data беру v potaz a dále jde o to, jakou možnost ze stále se rozšiřující množiny vyberu. Garanci správného rozhodnutí, ale ani konečné pravdy o povaze skutečnosti mi však nikdo nezaručí. Vědci se totiž mýlí, fakta lze zkreslit, data zfalšovat a do všeho navíc vstupují partikulární zájmy.

Za určitý důsledek tímto způsobem ovlivněného a zproblematizovaného plánování a urbanismu lze považovat pluralitu návrhů a v nich ztělesněných přístupů a řešení.

2.2 Problémy, kterými se zabývá územní plánování na přelomu tisíciletí

Jsou to jednak problémy jednoduché (a častokrát řešené pouze úzce oborově):

- (a) zajistit přiměřeně kvalitní ubytování pro rostoucí populaci
- (b) pracovat s omezeným (konečným) množstvím půdy
- (c) vyčerpávání neobnovitelných zdrojů (zejména energetických)
- (d) zvyšující se mobilita obyvatel vs. omezená kapacita transportních sítí
- (e) zvyšující se množství přepravovaného zboží jako důsledek globální dělby práce
- (f) rostoucí rozdíl v příjmech vs. potřeba sociální soudržnosti
- (g) zvyšující se segregace sociálních a etnických skupin vs. potřeba sociální soudržnosti

Řada jednoduchých problémů však ve svém součtu vytváří problémy komplexní:

- (h) zvyšující se dopad lidských aktivit na Zemi vs. omezená kapacita životního prostředí
- (i) adaptace lidí, společnosti, využití území, staveb a infrastruktury na potřeby a rizika moderní civilizace (změna v praktikách produkce, směny, komunikace, organizace a poznání [2])

3 Klíčové charakteristiky navštívených lokalit a projektů

Obecně řečeno, všechny projekty představují příklady rozdílných typů kompaktních měst v evropském stylu (převažují buď řadové domy o 2 a více podlažích, anebo smíšené obytné bloky do 6 podlaží). Mezi cíle většiny projektů patří též podpora smíšené sociální struktury obyvatelstva, projevující se především v různém plošném, prostorovém a cenovém standardu bytů. Všude je též nějakým způsobem potlačována dominance individuální automobilové dopravy – zpravidla pomocí vymezení zón se sníženou rychlostí a tranzitně neprůjezdných oblastí v kombinaci vybudováním cyklistické infrastruktury a/nebo veřejné dopravy (vlaky, tramvaje, autobusy).

Vzhledem k přírodním, kulturním a historickým podmínkám je třeba brát v potaz jednak fakt, že Nizozemí, kde je situována většina zmiňovaných lokalit, patří k nejhustěji obydleným zemím Evropy (cca 400 obyv./km², samotný region Holandsko má pak hustotu cca 1100 obyv./km²), značná část země se nachází pod hladinou moře na vysušených poldrech a je zde obecně málo lesů a stromů ve městech i v krajině. Oproti tomu je zde však nezvykle vysoký podíl vodních ploch (jezer a kanálů) – jež jsou na poldrech nezbytností kvůli odvedení dešťové vody.

3.1 Hannover, Amersfoort, Heerhugowaard: kompaktní městská zástavba s rozličnými elementy udržitelného rozvoje v environmentální a sociální oblasti

Všechny tyto lokality jsou situovány na okraji stávajících měst a využívají proto výhod existující infrastruktury, pracovních příležitostí a kulturních aktivit. V závislosti na stáří té či oné lokality jsou domy navrženy tak, aby spotřebovávaly tak málo energie, jak bylo v době výstavby vnímáno jako možné a účelné. Zatímco Kronsberg byl postaven v nízkoenergetickém standardu a doplněn o několik pasivních domů a dvě větrné elektrárny, tak součástí projektu Neiuwland je instalace 1,3 MW fotovoltaických panelů a konečně Stad van der Zon (Město slunce) je prohlašována za CO₂ neutrální – též díky instalaci 5 MW fotovoltaických panelů a třem větrným elektrárnám.

Všechny projekty též prohlašují, že ztělesňují požadavky trvale udržitelného rozvoje: nejen požadavky na hospodaření s energií a dopravní řešení, ale též umístění občanské vybavenosti (školky, školy, komunitní a umělecká centra, obchody a supermarkety) a široká nabídka veřejných a poloveřejných prostor a parků jsou totiž nedělitelnou součástí všech projektů. Součástí Kronsbergu a Stad van der Zon je též návrh poměrně rozsáhlé rekreační oblasti v blízkosti obytné lokality. Velká péče je též věnována urbanistickému designu, veřejným prostranstvím a celkové architektonické kvalitě. Kronsberg navíc systematicky řeší zasakování dešťové vody v celém areálu, což je ve všech holandských lokalitách řešeno klasicky systémem kanálů a jezer, z nichž se voda čerpá na úroveň moře.

3.2 Houten: rozvoj města pojatý jako kompaktní a polycentrická decentralizace

Houten je 45 tisícové dojížděkové město na půdorysu motýla, vzdálené 9 km od 300 tisícového města Utrecht. V posledních desetiletích 20. stol. byla malá vesnička Houten vybrána jako “centrum růstu”, které mělo ulehčit tlaku na bydlení v Utrechtu. Houten sestává ze dvou center, v nichž je vlaková zastávka a další centrální funkce (náměstí, trh, obchody, služby apod.) a celé město je plánováno s preferencí cyklistické dopravy. Zatímco cyklostezky představují nejrychlejší a nejkratší trasy ve městě, automobilová doprava musí používat vnější okruh i v případě, že chce dojet z jedné obytné lokality do druhé. Uvnitř města jsou pak silnice úzké, klikaté a končí v jednotlivých obytných celcích. V roce 2008 byl Houten zvolen cykloměstem Nizozemí a je též považován za jedno z nejbezpečnějších měst v zemi.

Urbanistická struktura se velmi drží lidského měřítka, jsou zde především řadové a bytové domy o 1 až 3 podlažích. Uličky jsou úzké a klikaté, použitelné jak pro chodce a kola, tak pro automobily, které zde nemohou jezdit rychle ani kdyby chtěly. Město je plné malých zahrad, předzahrádek, stromů a parků, což všechno přispívá k vytvoření velmi intimního a příjemného obytného prostoru, kde většina prostranství má v podstatě poloveřejný charakter (k čemuž přispívá též fakt, že celý Houten se skládá z mnoha lehce rozpoznatelných obytných lokalit, definovaných jak svými čitelnými hranicemi – charakterem, tak již zmíněnou dostupností pro motoristickou dopravu).

3.3 Amsterdam – IJburg: intenzivní městská zástavba na umělých ostrovech

IJburg je postaven na několika umělých ostrovech východně od centra Amsterdamu a po dokončení má mít zhruba 45 000 obyvatel. Je to příklad lineárního města, rozloženého podél centrální osy (IJburgslaan) tvořené hlavní silnicí (jež je napojena na nedaleký Amsterdamský vnější dálniční okruh) s tramvají (5 zastávek). Funkční specifikace území a intenzita využití

závisí především na vztahu k hlavní urbanistické ose: smíšené obytné bloky o 6ti až 8mi podlažích jsou společně se sportovním přístavem situovány severovýchodně od osy, zatímco luxusnější řadové rodinné domy a rekreační oblast na samostatných ostrovech se nachází jihozápadně od osy. Další ostrovy jsou zatím pouze v plánech.

Charakter území je dán jeho velkým měřítkem: do pravoúhlého rastru ulic jsou vloženy bloky domů, přičemž velmi často jeden blok se rovná jednomu domu (s vnitřním poloveřejným prostorem). Domy obvykle sestávají z velkých pravoúhlých kvádrů, jež jsou pokryty rastrom velkých pravoúhlých oken.

3.4 Ypenburg: klasická (pří)městská výstavba v Nizozemském kontextu

Ypenburg je dobrým příkladem obytného celku Vinex. Vinex je zkratka označující vyhlášku ministerstva bydlení, územního plánování a životního prostředí (VROM), která od roku 1993 reguluje požadavky na nové obytné celky v Nizozemí. Nejdůležitější bod této vyhlášky říká, že nové obytné celky musí být situovány poblíž stávajících městských center. Mezi další cíle pak patří: ochrana nezastavěných území, využití stávajících obchodních center a omezení dopravy mezi bydlištěm, pracovištěm a obchody. Dalším důležitým bodem je to, že před zástavbou nové lokality musí být všechny pozemky vykoupeny městem a samotná čtvrť detailně naplánována – což prakticky zrušilo spekulaci s půdou (a s tím související dlouhodobě neudržitelný způsob urbanizace).

Půdorys Vinexu obvykle sestává z rastru základní dopravní sítě, kanálů a/nebo železnic, které vymezují zastavitelné bloky. Návrh jednotlivého bloku je obvykle svěřen jednomu architektovi či architektonické kanceláři, jež stanoví parcelaci, charakter domů, materiály a další regulativy. Výsledkem je to, že každý blok je sice jiný, ale zároveň je vnitřně velmi uniformní. Typologicky převažují řadové domy o 2-3 podlažích, anebo, v menší míře, bytové domy.

3.5 Amsterdam a Haag: intenzifikace a přestavba městských center

Rekonstrukce a přestavba starých městských center spolu s konverzí starých přístavů a doků tak, aby mohly být zavedeny nové technologie, nové organizační a transportní módy, ale též vymístění starých a špinavých průmyslových provozů – to vše, společně s rostoucí cenou pozemků v městských centrech, stojí za často velmi nápadnou a nápaditou výstavbou bytů, kanceláří a veřejných budov v Amsterdamu a Haagu. Amsterdamské nábřeží tak postupně začínají obsazovat vyšší budovy, a oblast se též stává dopravně dostupnější a atraktivnější pro život.

Hlavní nádraží v obou městech jsou v současnosti rekonstruovány tak, aby obnovily atraktivitu hromadné dopravy (k čemuž paradoxně přispívají též každodenní dopravní zácpy na dálnicích). S tím jak se vnitřek Amsterdamské okružní dálnice, toto širší centrum města, stává stále hůře dostupnější pro auta, stává se též lepším a obyvatelnějším místem pro život. Oblíbeným a kvalitním způsobem dopravy je zde jízdní kolo, chůze a hromadná doprava (metro a tramvaje). Snad i kvůli tomu jsou to právě přístavy a doky uvnitř dálničního okruhu, které jsou v procesu konverze.

3.6 Dardesheim: na cestě k energeticky soběstačnému regionu

Narozdíl od předchozích urbánní projektů, Dardesheim je menší město s přibližně 1000 obyvateli, čili spíše větší vesnice, které příliš neroste. Město je nicméně zcela soběstačné v energii z obnovitelných zdrojů a usiluje též o takovouto energetickou soběstačnost pro celý region Harz (250 000 obyvatel). Větrné a solární elektrárny jsou stále připojeny do rozvodné

sítě, ale cílem je vytvořit virtuální elektrárnu, která by zkombinovala využití všech místních zdrojů obnovitelné energie (větrná, sluneční, biomasa) s ukládáním energie (přečerpávací vodní elektrárna, ale též akumulátory elektromobilů) do jednoho nezávislého systému. Důležitou součástí projektu je i podpora udržitelné spotřeby energie, např. formou "inteligentních" domů a spotřebičů, které se mohou vypnout v případě nedostatku energie. Přestože je tento koncept zaměřen téměř výhradně na energii, v praxi to znamená též změnu v některých každodenních zvyklostech, ale též alternativní využití krajiny (větrné elektrárny či částečné pěstování biopaliv). Významná je i změna koncepce mobility: elektromobily se mohou nabíjet z lokálních zdrojů, čímž se sníží rizika závislosti na fosilních palivech, ale vozidla mohou být využity též jako zásobníky energie v časech přebytku energie (když "vítr fouká") a naopak jako zdroje když je energie nedostatek (vykrývání údolí a špiček ve výrobě a spotřebě).

3.7 Culemborg – EVA Lanxmeer: lokalizace tam, kde je to možné

EVA Lanxmeer je projekt pro zhruba 1000 obyvatel, situovaný na okraji města Culemborg (cca 27 000 obyvatel). Cílem je získat zpět co největší kontrolu nad oblastí každodenních potřeb. Zde je to uskutečněno v oblasti zásobování vodou, sociálních služeb (péče o děti, staré či postižené lidi) a částečně též v oblasti vzdělání a energie. V praxi to znamená často dohodu s městem na tom, že prostředky vyčleněné do těchto konkrétních oblastí jsou přiděleny místní komunitě, které za ně s pomocí vlastních členů zajišťuje požadované služby. Záměr je též produkovat lokálně potraviny (městská farma založená na principech permakultury). Velký důraz je kladen na participaci obyvatel, sociální soudržnost a společnou práci (na komunitních zahradách, na údržbě veřejných prostranství a společně využívaných zařízení).

Co se týče dopravy, podporována je chůze, cyklopráva a car-sharing, zatímco parkování aut před domy v obytné oblasti je zakázáno (obyvatelé to musí podepsat když se do lokality nastěhují). Stále je však možné s autem zajet před dům např. s nákupem či při stěhování. Taktéž domy pro starší a pro lidi s omezenou pohyblivostí jsou umístěny v blízkosti parkovací okružní. Jedna z mála zbývajících každodenních aktivit, u níž se o lokalizaci neuvažuje (a záleží tedy na každém obyvateli či rodině), je tak práce jako zdroj příjmů.

4.1 Zhodnocení relativního významu jednotlivých projektů

V následující tabulce je shrnuto, které z dříve identifikovaných problémů ta či ona lokalita či projekt řeší, anebo se jím alespoň zabývá. Součet bodů pak naznačuje jak moc komplexní, či ambiciózní příslušný projekt je v porovnání s ostatními.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	součet
3.1	2	1	2	1	0	1	1	2	1	11
3.2	2	1	0	2	1	2	1	1	1	11
3.3	2	1	0	1	0	0	0	1	0	5
3.4	2	1	0	1	1	0	0	1	0	6
3.5	1	2	0	1	0	0	0	1	2	7
3.6	0	2	2	2	0	1	0	2	2	11
3.7	1	1	2	2	2	2	1	2	2	15

Vysvětlivky: písmena (a-i) odkazují na problémy uvedené v kap. 2.2, čísla odkazují na lokality a jejich typy dle kap. 3.

Hodnocení: 0 = problému se nedotýká, 1 = problémem se zabývá, 2 = problém je řešen.

Prostým součtem bodů v tabulce vychází jako relativně nejambicióznější projekt EVA Lanxmeer v Culemborgu, který lze považovat za pokus o významnou alternativu k současné společnosti, svým rozsahem se však řadí mezi spíše menší projekty, navíc zacílené na užší spektrum obyvatel.

Velmi dobře skórují též všechny projekty, které tematizují současně energii, sociální soudržnost a dopravu či obyvatelnost a pokrývají tak většinu základních aspektů udržitelného rozvoje.

Menší bodový součet u zbylých projektů znamená především to, že tematizují pouze některé problémy. Může to však znamenat také to, že pouze jinými prostředky pokračují v již zavedených dlouhodobých trendech.

4.2 Co zmíněné projekty svojí existencí dokládají?

V obecné rovině lze říci, že všechny projekty jsou situovány v jádru Evropy, což znamená, v pojetí Wallersteinovy analýzy světového systému [3], že jsou umístěny v zemích, v nichž dochází k akumulaci kapitálu a v nichž sídlí největší moc ovlivňovat sociálně akceptované cíle v požadovaném směru. To také znamená, že síla státní administrativy (např. na poli územního plánování) a síla občanské společnosti (projevující se např. ve schopnosti ovlivnit rozhodnutí investorů a státní administrativy) se alespoň částečně odvíjí od relativní pozice ve světovém systému. Nepříliš zřejmým důsledkem tohoto faktu je to, že tyto projekty byly vůbec realizovány a že byla navíc realizována dobře (čímž se míní, že z přínosů/zisků projektu mají užitek nejen investoři, ale též státní administrativy, obyvatelé a veřejnost obecně). Realizace obdobných projektů v semi-periferních (např. Dubaj, Peking, Bombaj) či periferních zónách (např. Lagos, Mexico) světového systému by patrně dopadla znatelně odlišně.

Navštívené lokality též do určité míry dokládají tezi, že moderní riziková společnost je charakteristická “udělatelností” (viz např. umělé ostrovy, ale i realizace projektů, které velmi podrobně zhmotňují jisté představy o společnosti i rizicích, jimiž čelí) i “reflexivitou” (viz např. přestavba městských center, ale i zapracovávání nejnovějších poznatků v oblasti energetické účinnosti, projekty považované jako pilotní samy o sobě představují kritiku projektů stávajících).

Určitým nadějným zjištěním je též fakt, že síly ekonomické globalizace mohou být díky aktivnímu působení státní administrativy, vědy a občanské společnosti přesvědčeny k podílu na řešení problémů modernity, jichž je jak globalizovaná ekonomika, tak věda významným producentem.

References:

- [1] BECK, U.: *Riziková společnost, na cestě k jiné moderně* Sociologické nakladatelství SLON, Praha 2004.
- [2] JAMES, P.: *Globalism, nationalism, tribalism* SAGE publications Ltd. London 2006.
- [3] WALLERSTEIN, I.: *The end of the world as we know it* University of Minnesota Press, Minneapolis, 1999.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Příklady “ekologických” měst v Německu a Nizozemsku

Ing. Roman Vodný, Doc. Ing. arch. Alena Mansfeldová, CSc.

roman.vodny@seznam.cz, alena.mansfeldova@fsv.cvut.cz

České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra urbanismu a územního plánování,
Thákurova 7, 166 29, Praha 6 - Dejvice

Abstract

Nowadays ecology is spoken very often. The word itself is very modern and very popular. This contribution describes two projects in Germany and Netherlands which could be call “Ecological cities” although not even one is city in the definition of this word. First example, Germany one, is village (about 1.000 inhabitants) and the second one (Dutch) is a new city quarter. Both examples however are connected with one thought: thought about energy independent, in the bigger definition about sustainable development and / or sustainable construction

Úvod

Frekventované slovo „ekologie“ je dnes velmi moderním a módním slovem a jako takové je tak přiřazováno téměř ke všemu, co souvisí s lidskou činností. V následujícím příspěvku se seznámíme se dvěma příklady ekologické výstavby v Německu a v Nizozemsku. V prvním případě, německém, se jedná o nevelkou vesnici, která je energeticky nezávislá. Ve druhém případě, nizozemském, se zase jedná o městskou čtvrť, která se též ráda označuje jako energeticky nezávislá. V prvním případě se jedná o historickou vesnici, ve druhém případě o nově založenou městskou čtvrť. V takovýchto případech bychom mohli pokračovat i nadále. Ovšem podstatné na obou příkladech je, že se oba vlastně snaží o totéž: o energetickou nezávislost na neobnovitelných (fosilních) zdrojích paliv, tedy o (trvale) udržitelný rozvoj a udržitelnou výstavbu.

1. Německý příklad: Dardesheim [1]

Dardesheim je sídlo s cca 1000 obyvatel, nacházející se na okraji bývalého východního Německa, které v polovině 90. let vykročilo na cestu rozvoje obnovitelných zdrojů energie s cílem pokrytí všech energetických potřeb z regionálních energetických zdrojů.



Obr.1: Dardesheim s parkem větrných elektráren v pozadí

Začalo to 4 větrnými elektrárnami (1 x 80 a 3 x 250 kW), postavenými v letech 1994/95, jenž stačily pokrýt potřebu elektrické energie pro Dardesheimské domácnosti (cca 1 mil. kWh). Tyto nejstarší typy elektráren, jejichž životnost byla stanovena na 10 let, byly dvou-vrtulové a v současné době jsou některé z nich stále ještě v provozu, postupně jsou ale demontovány.



Obr.2: Nejstarší dvouvrtulová elektrárna...



Obr.3: ...a nejvýkonnější a největší elektrárna Enercon E-112 o výkonu 6 MW

Projekt si získal podporu místních obyvatel, které se jeho iniciátoři snažili zapojit hned od začátku. Obyvatelé Dardesheimu a okolních měst mohou investovat do větrné energie, která jim přináší roční zisk 8-10%. V roce 2006 tak vznikl další větrný park o výkonu 62 MW (28 x Enercon E-70 s výkonem 2MW + 1 x Enercon E-112 o výkonu 6 MW), jehož součástí je i nejvýkonnější suchozemská větrná elektrárna na světě, vysoká 125 m, jenž je schopná zásobit energií 4000 domů. Tato elektrárna má maximální výkon 6 MW při maximálním počtu 15 otáček/min.

Z ekonomického hlediska je nutné uvést cenové relace vybudování větrných elektráren, které byly zřejmě nejdražší částí projektu. Vybudování celého větrného parku přišlo na € 80 milionů, určitou částkou přispěla i spolková vláda. Největší větrná elektrárna stála € 10 milionů. Životnost nových větrných elektráren se pak pohybuje asi okolo 20 let, návratnost vynaložené investice řádově 12 let.

Řada veřejných i soukromých budov je též pokryta fotovoltaickými solárními panely – jež pokrývají třetinu potřeby elektrické energie pro domácnosti. Je zde též 10 solárních kolektorů na ohřev teplé vody a řada otopných systémů na biomasu. Tyto systémy na biomasu pracují prakticky nepřetržitě a zajišťují tak pokrytí potřeby elektrické energie v případě, že dojde k výpadku zdrojů větrné a solární energie. Přebytky, pokud vznikají, jsou odváděny do běžné rozvodné sítě. Protože se jedná o energii, získanou z obnovitelných zdrojů, mají provozovatelé energetických sítí povinnost ji odebrat.

Obec je napojena na veřejnou elektrickou síť, ale místní představitelé se snaží o vytvoření lokální energetické sítě, která by obyvatele zásobovala energií přímo z obnovitelných zdrojů. Doposud je pouze garantováno, že v síti také „koleje“ elektřina, která je z určité části vyrobena z obnovitelných zdrojů, po vytvoření vlastní lokální sítě by se k odběratelům měla dostat přímo elektřina, vyrobená z obnovitelných zdrojů. Samozřejmě, že se obec nemůže

separovat od ostatní energetické sítě zcela kompletně. V případě jakýchkoliv výpadků místních zdrojů by vznikaly problémy, stejně tak v případě vzniku přebytků.



Obr.4: Fotovoltaické články na střeše obecního domu s věží kostela v pozadí

V obci jsou dvě společnosti, jež od roku 2005 nabízejí přestavbu vozidel s dieslovým motorem tak, aby mohly jezdit na řepkový olej. Takto přestavěná jsou 2 servisní vozidla energetické společnosti. Další dvě vozidla jsou elektromobily, napájené místními větrnými a solárními zdroji. Obec se snaží o co největší rozšíření elektromobilů. V krátkém čase by jich chtěla mít alespoň 25. Zatím je jedna napájecí stanice v centru obce.

Provozované automobily jsou vyrobené jako elektromobily a jsou pouze demonstrační. Vedení obce se však snaží o to, aby si obyvatelé svůj běžný vůz přestavěli na elektromobil. Takto upravené elektromobily by měly být využívány také jako zásobárny elektrické energie. Pokud by jí byl nadbytek, místo odvedení do ostatní sítě by se ukládala do elektrických článků elektromobilů a v případě nedostatku energie by z těchto článků mohla být zpětně získávána. Aby nedošlo k úplnému vybití baterií elektromobilů, musí však být do těchto článků vestavěny určité technické náležitosti, které by zabránily, aby byla v takovémto případě baterie vyčerpána plně.



Obr.5: Přecherčpávací elektrárna Wendefurth

Dále bylo též ustaveno konsorcium „Kombinovaná virtuální obnovitelná elektrárna“, jehož cílem je vyvinout řešení pro pokrytí 100% energetických potřeb **regionu Harz** (s cca 250 000

obyvateli) z obnovitelných zdrojů, které spolupracuje s Institutem pro solární technologie (ISET) na univerzitě v Kasselu. Součástí řešení je zapojení přečerpávací vodní elektrárny (2 x 40 MW) v nedalekém **Wendefurthu**, která dokáže pokrýt špičkovou spotřebu elektrické energie. V rámci projektu je také důležitým cílem najít vyvážený poměr mezi jednotlivými druhy zdrojů, primárním zdrojem energie by ale měla zůstat větrná energie.[2]

2. Nizozemský příklad: Nieuwland Project, Amersfoort



Obr.6: Letecký pohled na čtvrť Nieuwland

Amersfoort je druhým největším městem v provincii Utrecht ve středním Holandsku. Je to starobylé město s téměř 150,000 obyvatel, kteří žijí na ploše 63,78 km², což odpovídá hustotě zalidnění 2,211 obyvatel na km². [3]

Projekty s PV systémy se Holandsku začaly objevovat už od 80. let 20. století, čímž se stalo průkopníkem v tomto směru. Od roku 1995 pak počet instalací začal růst velmi rychlým tempem. Solárními panely jsou vybavovány nově budované stavby i starší objekty.[3]

V Holandsku je po bydlení relativně velká poptávka a v Amersfoortu, který patří k velkým městům to platí dvojnásobně. Když se plánovala výstavba nové čtvrti v oblasti **Nieuwland**, rozhodlo se vedení města pro průkopnický environmentální projekt, který by vyhovoval požadavkům udržitelného rozvoje. Celý projekt měl zahrnovat asi 5,000 bytů a dalších 70 hektarů ploch pro různé podnikatelské aktivity a lehký průmysl.

Tak byl vytvořen **Nieuwland project** jako do té doby největší urbánní projekt, u nějž měly být aplikovány PV články, na světě. První návrhy přišly v roce 1995 a plně bylo vše dokončeno až v roce 2002, ačkoliv bydlet se zde začínalo už v roce 1999.

Myšlenku ekologického obytného celku pomohla uskutečnit i místní energetická společnost se sídlem v Utrechtu (Regional Electricity Board of Utrecht – REMU), díky čemuž mohl být realizován projekt PV článků s celkovým výkonem 1,3 MW.

Celý projekt tak zahrnul celkem 501 obytných domů a několik desítek dalších objektů převážně občanského vybavení, jako tři školní objekty, kavárny nebo sportovní haly. Všechny objekty mají PV články integrovány jak ve střešních konstrukcích, tak ve fasádách. Celkový výkon instalovaných článků tak činí 1,3 MW na celkové ploše 12 000 m².

Zajímavý byl také projekt tří nízkoenergetických školních budov; každý byl přitom unikátní. Například v prvním případě byla budova vybavena celkem 196 solárními panely. Druhá škola byla osazena 124 speciálními tzv. AC moduly, což jsou panely, které mají na zadní straně

malý inverter, který může v případě potřeby dodávat střídavý proud přímo do rozvodné sítě. Oba tyto projekty společně tak mohou vyrobit 8,000 kWh energie za rok. Samozřejmostí je, že ve školách jsou na viditelných místech umístěny panely, které informují o spotřebě a množství energie, které PV články vyrobí. [4], [5]



Obr.7: Spodní pohled na solární panely, které jsou umístěny i na různých konstrukcích přes ulice



Obr.8: Solární panely umístěné na střechách domů

Asi největší projekt, který vlastně představoval nejdůležitější část celé akce, byla nazvaný **MW photovoltaic project**, v rámci nějž bylo všech 500 obytných domů osazeno PV články o průměrné ploše 20 m² s špičkovým hodinovým výkonem 100 W/m². Získaná energie je vedena přímo do rozvodné sítě (jedná se přibližně o 82,500 kWh/rok) a PV články se užívají také k ohřevu vody, pro jednotlivé domy. Pro nepříznivý případ má také každý dům instalovány plynovo-solární jednotky pro vytápění a ohřev TUV, které je možno kombinovat se solárními panely. PV články na střechách nejsou majetkem obyvatel domu, ale společnosti REMU. Kombinované plynovo-solární jednotky jsou zase majetkem společnosti Gasrent Stegas B a jsou pronajímány přes společnost Woningcorporatie N.V. SCW. Firma REMU také instalovala panely i na 19 luxusních domů. I tyto solární střechy jsou majetkem REMU.

Projekt se zaměřil na několik vedlejších cílů:

- demonstrovat technologický architektonický potenciál,
- redukovat náklady na pořízení PV-článků,
- zvýšit účinnost systémů optimalizací návrhu,
- zlepšit kontrolu jakosti a zrychlit procedury uvádění do provozu,
- prověřit možnosti budoucí spolupráce stavebních firem, úřadů, urbanistů a výrobců PV článků

Začátek projektu se, jak už bylo uvedeno, datuje do roku 1995. Počáteční rozpočet na projekt o výkonu 1,0 MW byl € 8,6 milionů, díky velkému zájmu architektů však byl výkon nakonec navýšen na 1,3 MW, který se i podařilo instalovat.

V celé zóně existuje několik různých typů domů, které mají specifické názvy a funkce, např. Cascade, Jersey, Kroonsbuurt, Phanta Rei, School Houses apod. Na architektonickém ztvárnění celé nové zóny se asi nejvíce podílel holandský urbanista a architekt indického původu Ashok Bhalotra, který se velmi angažoval i v dalším podobném projektu ve městě Heerhugowaard. [5]

References:

- [1] <http://www.wind-works.org/articles/DardesheimGermanysRenewableEnergyCity.html>
- [2] <http://www.harz-urlaub.de/gastgeber/orte/wendefurth/wendefurth.htm>
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Amersfoort>
- [4] http://www.iea-pvps.org/cases/nld_01.htm
- [5] http://www.pvdatabase.org/urban_view_details.php?ID=3

This research has been supported by MSM 6840770005.

Nové využití brownfields a udržitelná výstavba v ČR

Doc. Ing. Václav Kuráž, CSc.

kuraz@fsv.cvut.cz

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

Protection of soil in the Czech Republic is at present based on the legal regulations (for example No. 17/1992, 289/1995), but according to our experiences, the regulation of soil sealing as one of the risk threatening soil functions, is not sufficient. On one side, the main aim of the soil protection can not be restraint development constructions and infrastructures, on the other side, it is necessary express new utilization brownfields and another unused surfaces. Of course, the new Investments, development of new business centres and infrastructures, leads to soil sealing.

The area of total agricultural land in the Czech Republic declined during the year 2006 of about 5.000 ha (13 ha /day) which means about 0,12% per year. The similar situation is also in other countries in Central Europe and worse situation seems to be in China (app. 0,6% per year).

Under the proposed EU Soil Framework Directive, Member States will have to take measures to limit soil sealing and minimise its affects and to maintain as many soil functions as possible. The Directive includes protection of soil on the basis of the principles of preservation of soil functions. It means, that in the case of soil sealing, functions as for example water infiltration, retention buffering, regulation of climate with cooling affect, natural and cultural archive, etc., should be protected.

The very important problem seems to be the protection and generally definition of urban soils. Until now, the criteria of soil quality and their functions and protection are not included in the control and decision processes, mainly in that dealing with the topic of environment in cities.

1. Úvod.

Přestože nesporně u nás došlo v posledních letech k významným posunům jak v pochopení problémů s remediací a novým využitím brownfields, některé takovéto akce byly realizovány, rozhodně nemůžeme být se současným stavem spokojeni. Většina investiční výstavby je realizována na zemědělských půdách, do nedávné doby byly navíc na tyto investiční akce poskytovány investiční pobídky. Vynětí ze zemědělské půdy je stále poměrně jednoduché a pro investora cenově mnohem výhodnější, než výstavba na brownfields.

Snaha Ministerstva životního prostředí o novelizaci zákona na ochranu půdního fondu spolu s návrhem podstatně vyšších odvodů za vynětí ze zemědělského půdního fondu zatím skončila v parlamentu ve druhém čtení a po pádu vlády se zřejmě již schválení této novely nedosáhne a bude nutno s celou legislativní procedurou začít v příštím roce znovu od začátku. S ohledem na odložení voleb do PS ČR bude v příštích dnech Parlament znovu jednat o dokončení legislativního procesu této novely, výsledek samozřejmě není možno předjímat, nicméně spíše v tomto ohledu převažuje skepse. Stejně tak „Národní strategie revitalizace brownfields“ se řadu let projednávala na různých úrovních zatím bez výraznějšího výsledného efektu. Z těchto důvodů, jak bude dále uvedeno, nemáme u nás přehled o rozsahu brownfields v ČR. Navíc máme u nás velké plochy výsypek, zčásti rekultivovaných s novým využitím, ale velké plochy, zvláště v severních a severozápadních Čechách a severní Moravě,

zůstávají nevyužity. Navíc máme příklady z těchto regionů, že se tam pro investiční výstavbu využily poslední zbytky relativně velmi kvalitních zemědělských půd, investor prokazoval, že v regionu nejsou jiné vhodné plochy.

V ČR dochází stále k poměrně výraznému úbytku zemědělské půdy. Po roce 1990 se sice tento úbytek poměrně snížil na cca 1.000 ha/rok, v roce 2006 však byl již 5.000 ha (13ha/den), což v poměru k celkové výměře zemědělské půdy je cca 0,12%/rok. Obdobná situace je i v dalších zemích střední Evropy, podle dostupných dat je v současné době alarmující situace v Číně, kde dochází k poklesu výměry zemědělské půdy v důsledku záborů pro investiční výstavbu a infrastrukturu cca 0,6% za rok.

S ohledem na kritickou situaci, hlavně z hlediska další perspektivy v Evropě, je již několik let připravována EU směrnice o ochraně půdního fondu. Významným problémem je degradace půdy, hlavně vlivem lidské činnosti (průmyslová činnost, cestovní ruch, rozšiřování měst a průmyslových oblastí).

Degradace půdy má přímý dopad na kvalitu vody a ovzduší, v rámci EU byly tyto problémy odhadnuty následovně:

- cca 12% z celkové výměry Evropy (115 mil. ha) je vystaveno vodní erozi a 42 mil. ha erozi větrné
- cca 45% evropské půdy má malý obsah organické hmoty, zejména v jižní Evropě
- počet potenciálně kontaminovaných oblastí v zemích EU-25 se odhaduje na přibližně 3,5 miliónu

V Evropě dochází k významným změnám ve využívání území, které mají přímý dopad na půdu, v posledním desetiletí se jedná přibližně o 3% území Evropy, včetně výrazného růstu městských oblastí. Mezi členskými státy a regiony jsou sice velké rozdíly, ale podíl stavební činností zakrytého půdního povrchu se pohybuje mezi 0,5-10% a tento podíl se nadále výrazně zvyšuje.

2. Současný stav ochrany půdy v ČR

Jak již bylo uvedeno, současný stav v ochraně půdy není dostatečný, na jedné straně je pro investory jednodušší a levnější stavět na zemědělské půdě, než na brownfields, na druhé straně není legislativně dořešen „veřejný zájem“, což způsobuje neúměrné prodlužování výstavby některých, hlavně dopravních staveb.

Dalším nevyřešeným problémem jsou půdy v urbanizovaném území. Tyto půdy, které jsou velmi důležité z hlediska životního prostředí a jeho ochrany nejsou u nás chráněny, pro jejich posuzování se většinou používají kritéria platná pro zemědělské půdy, legislativní nástroje na jejich hodnocení, případně ochranu jejich významných funkcí v krajině však doposud chybí. Jak bude dále uvedeno, podle způsobu využití rozlišujeme i dominantní funkce těchto půd, stejně tak by měla existovat kritéria pro jejich hodnocení.

3. Funkce urbánních půd.

Obecně jako urbánní půdy definujeme všechny půdy, které se nachází v urbanizovaném, průmyslovém, dopravním, báňském, nebo vojenském území. Tyto půdy většinou neplní produkční funkci, na druhé straně jejich mimoprodukční, hlavně ekologické funkce jsou velmi důležité. Bohužel je jak u nás, tak v celosvětovém měřítku výzkum funkcí těchto půd, jejich ochrana a optimální využití v počátečním stadiu, rovněž tak legislativně jejich ochrana není doposud řešena. S ohledem na jejich funkce v ekosystému považuji tento problém za velmi důležitý a vyžadující mnohem větší pozornost než je tomu doposud.

Sobocká (2007) uvádí následující funkce urbánních půd:

- základna pro život a životní prostředí člověka
- základna pro život a životní prostředí zvířat, rostlin a půdních organizmů
- komponent přírodní rovnováhy
- složka hydrologické rovnováhy
- filtrační a pufrovací prostředí
- transformační médium
- archiv přírody a kultury
- médium pro infiltraci, retenci a proudění vody
- regulační těleso – významný chladicí efekt

Podle způsobu využití můžeme tyto půdy dělit např. na následující kategorie, které se výrazně liší požadavky na kvalitu (obsah kontaminantů):

- dětská hřiště, školky
- sportovní plochy
- obytné zóny
- průmyslové, báňské, dopravní, případně vojenské lokality
- plochy se zvláštním využitím

Kategorie průmyslových, báňských, dopravních a vojenských zón představuje plochy, kde je nutno předpokládat kontaminaci, často samozřejmě ne vždy) se jedná o brownfields. Na druhé straně dětská hřiště, případně také obytné zóny, kde mohou přijít do styku s půdou děti, budou vyžadovat nejpřísnější limity.

4. Zahraniční zkušenosti.

Jak již bylo uvedeno, v ČR stále není uspokojivě řešena otázka nového využití brownfields, hlavně ve vztahu k záborům zemědělské půdy pro investiční účely. Je nutno předem upozornit, že obdobné problémy jsou i v řadě dalších zemí, nicméně na druhé straně, řada vyspělých, jak evropských, tak mimoevropských zemí, řeší tyto otázky nepoměrně lépe a objektivně dosahuje výrazných úspěchů.

Nezbytným předpokladem pro úspěšné řešení tohoto problému je databáze brownfields a navazující strategie remediačních opatření.

Z evropských zemí jsou dlouhodobě nejlepší výsledky dosahovány ve Velké Británii a Německu. Národní strategie o novém využití brownfields ve Velké Británii předpokládala cílový stav, že minimálně 60% nových investic bude realizováno na brownfields. V roce 2004 bylo však již 72% veškerých investic na brownfields (oproti 56% v roce 1997). Od roku 1997 bylo navíc 19.000 ha původních brownfields převedeno (po remediaci) do veřejné zeleně. Dalších 12.000 ha je již připraveno a čeká se pouze na změny a schválení územních plánů.

Německo muselo řešit po sjednocení v roce 1990 specifické problémy v nových zemích. Východní Německo mělo v této době 3x více brownfields než západní země Německa. Národní strategie, která zde byla přijata v roce 2002 obsahuje 7 prioritních oblastí, které by měly vést k výraznému snížení záboru zemědělských půd a nové využití brownfields je zde uvedeno jako hlavní prostředek k dosažení tohoto cíle. Konečným cílem je snížení záborů zemědělské půdy ze současných 129 ha/den v roce 2000 na 20 ha/den v roce 2020. Německo úspěšně používá strategii „rotace v návaznosti na recyklaci pozemků“ tak, aby se co nejvíce omezil zábor pozemků – „zelených ploch“. Tento proces zahrnuje plánování, využití, termín

ukončení současného využití, vyklizení území, případné vyčistění a nové využití. Nové využití brownfields je velmi důležité zejména z environmentálního hlediska, nicméně ekonomické hledisko je zde neméně důležité. Německo také významně podporuje výzkum vedoucí ke snížení záboru zelených ploch a udržitelnému managementu ve využití půdy. Největším projektem v této oblasti je program „REFINA“, který má následující cíle:

- analýza a vyhodnocení metod pro udržitelný management v hospodaření se zemědělskou půdou a nové využití brownfields
- vývoj a využití nových informačních technologií v uvedené oblasti
- případové studie – modelová řešení pro vybrané regiony s rozdílným stupněm rozvoje.

5. Závěry.

Základním předpokladem pro úspěšné řešení remediace a nového využití brownfields v ČR je kompletní a jednotná databáze těchto pozemků. Prvé práce provedené v této oblasti, hlavně Czechinvestem, byly jistě velmi záslužné, v současné době však již nejsou dostačující. Problém databáze, národní strategie remediace brownfields, ochrana zemědělských, lesních a urbánních půd musí být vzájemně sladěna. Na základě úspěšných zahraničních zkušeností je možné dedukovat, že nové využití brownfields vede k velmi výraznému snížení záborů „zelených ploch“ pro investiční výstavbu. U nás je problém ještě zkomplikován tím, že mimo ploch definovaných jako brownfields máme další nevyužité plochy (výsypky v těžebních oblastech, skládky apod.). Označení takovýchto ploch jako „deprimující zóny“ zaváděné Ministerstvem pro místní rozvoj je z tohoto pohledu velmi výstižné. Přestože v posledních 10-15-ti letech došlo i u nás k významnému pokroku (příklady úspěšných remediací a nového využití je možno najít jak v databázi případových studií, tak v odborném tisku, celá řada problémů přetrvává a není uspokojivě řešena. Významným problémem je samozřejmě v řadě případů nutná dekontaminace a remediace území před novým využitím, což takovéto plochy výrazně zdražuje a nemohou potom konkurovat „zeleným plochám“. Předpokládáme, že příslušná databáze by již obsahovala relevantní údaje o ploše, např. studie provedené v rámci řešení projektu CABERNET předpokládají, že plochy zařazené do kategorie „C“ nebude možné remediovat bez finanční intervence. K řešení tedy zůstává celá řada problémů, nicméně jako nejhorší varianta by bylo nedělat nic a dokazovat, že jsme – s ohledem na tyto problémy víc nemohli udělat.

References:

- [1] Argus, R., Oppen, R.G.: Brownfields: A world Report. The Bureau of National Affairs, 2008, No. 193
- [2] Sobocká, J.: Význam urbánních půd a ich implementácia v planovacích procesoch mesta. 2007, Sborník konference: Půda v moderní informační společnosti, str.: 230-238

This research has been supported by MSM 6840770005.

Tematický okruh

WP2

Udržitelná výstavba budov

Odvodnění a zavlažování střech s vegetační úpravou

Ing. Eva Hlavová Gazdová

gazdova@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

Draining layer together with water-stop layer are the most important parts of all the system of rooftop with vegetative adjustment. The function of draining layer is on the one hand accumulation of meteoric water, on the other hand drainage of excess water.

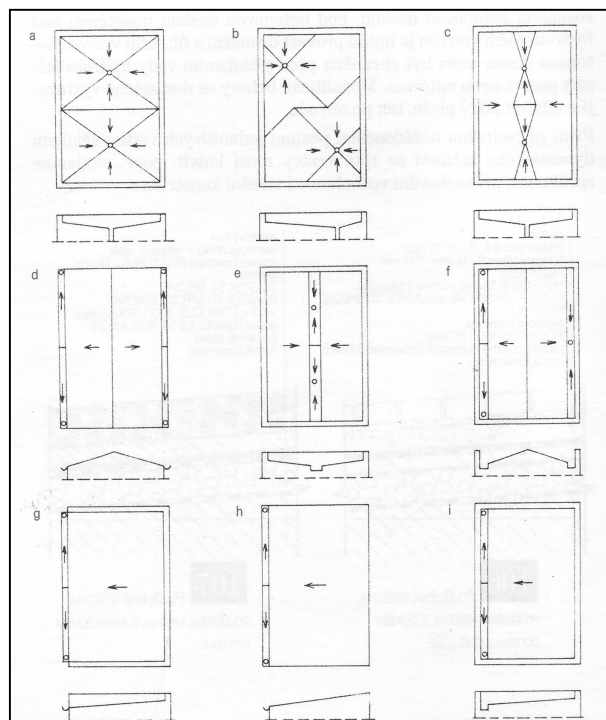
Odvodnění střešní plochy

Jako u všech střešních pláštů, také u střech s vegetační úpravou musí být zřízeno dostatečné odvodnění plochy střechy kvůli přebytku přirozené srážkové vodě.

Těsně před dopadem na povrch obsahuje dešťová voda řadu látek. Jsou to zejména rozpuštěné plyny a látky zachycené průchodem atmosférou, a to jak organické, tak neorganické. Po dopadu na povrch se dešťová voda obohacuje o další látky, které unáší nebo rozpouští na své cestě do recipientu. Kvalita vody závisí na druhu povrchu, ze kterého voda stéká.

Dešťová voda odtékající ze střechy objektu obsahuje jednak vysoký podíl rozpuštěných kyslíčků (CO_2 , SO_2 , pH může klesnout až pod hodnotu 6) a proměnný podíl organických a anorganických látek (pyl, ptačí trus, prach) [2].

Pro návrh systému odvádění, likvidace a využití dešťových vod je nutno určit hodnoty ročního a měsíčního objemu dešťových srážek a množství odtékající vody při přívalových srážkách. Pro návrh potrubí je důležité znát odtoky v okamžiku maximální srážkové činnosti. Na základě statistických měření byly shromážděny údaje o velikosti intenzivních srážek v různých místech České republiky. Výpočtový odtok dešťových vod se vypočítá podle norem ČSN EN 12056 – Vnitřní kanalizace – gravitační systémy a ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace.



Obr. 1: Možnosti spádování střech [1]

Pro návrh akumulace a využití dešťových vod se používají údaje o dlouhodobých srážkových úhrnech. Výpočet množství dešťových vod, které odteče z plochy střechy, je závislý na součiniteli odtoku. Je to bezrozměrná veličina, která podle druhu krytiny a sklonu střechy charakterizuje množství vody odtékající ze střechy. Plochá „zelená“ střecha má koeficient odtoku 0,5. Při nejvyšší intenzitě deště je mnohem menší celkový objem vody, který z plochy odteče, než při denním srážkovém úhrnu [3].

Zavlažování střech s vegetační úpravou

Střešní zahrady s **extenzivní zelení** většinou nevyžadují zavlažovací systémy, protože vystačí s přirozenými dešťovými srážkami. Nutný je správný návrh vrstvy drenážní, která případně zahrnuje i hydroakumulační vlastnost souvrství, aby byla dodržena rovnováha vlhkosti po růst rostlin. I pro tento typ zelené střechy musíme ovšem počítat s dostupností vody pro zálivku během výsadby a údržby.

U **intenzivního ozelenění** se objevuje většinou nutnost doplňkové závlahy. Někdy bývá dodávka vody zajištěna stálou hladinou vody nad hydroizolací střechy. Kromě možnosti ručního zavlažování existují dvě základní varianty zavlažovacích systémů, nadpovrchové a podpovrchové. Zavlažovací potrubí pak může být ručně ovládané, automatické nebo solární ovládané.

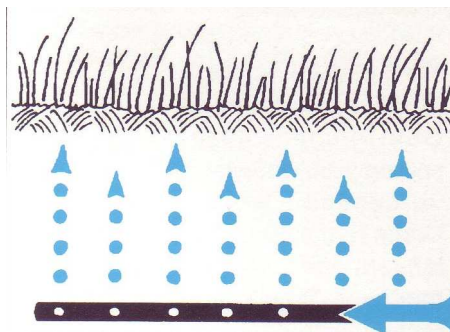
Nadpovrchové – zajišťuje systém polyethylenových trubek vedených většinou pod povrchem v hloubce 250 až 300mm či prostorem zeleně a ukončených osazenými výsuvnými postřikovači. Tento systém závlahy bývá dnes často automatický, řízený ovládací jednotkou, případně bývá použit i srážkový senzor, který reguluje aktivaci závlahy během srážek. Hydrodynamickým tlakem vody se vysunují vnitřní trubky do pracovní polohy. Postřikovače jsou různých druhů a mají nastavitelný úhel a zajišťují skrápění povrchu ze vzduchu. Doporučené dávky vody lze zajistit nastavením příslušného zavlažovacího režimu a pomocí elektromagnetických ventilů pro ovládání jednotlivých sekcí. Existují také různé doplňky systému, jako jsou větrná čidla apod. Systém automatické závlahy je nejznámějším systémem nadpovrchové závlahy, ale existují také povrchové kapkovací potrubí, které může být ukryto ve vrstvě kačírku či pod mulčovací kůrou, nebo jiný druh mikrozávlahy. U těchto systémů je důležitá také ochrana před mrazem a na podzim se provádí jejich zazimování.



Obr. 2: Příklady zavlažování [Gardena.com]

Podpovrchové – zajišťuje soustava speciálních kapkovacích trubek, perforovaných trubek nebo hadic obalených filtrační tkaninou, které jsou vedeny pod povrchem a ze kterých vykapává voda. V některých případech je zavlažování řízeno počítačem, který je propojen s

vlhkostními čidly umístěnými ve vegetační vrstvě. Vlastní realizace spočívá v osazení speciálních typů vpustí „s přepadem“ [4].



Obr. 3: Princip podpovrchového zavlažování [Zinco.de]

References:

- [1] ŽABIČKA, Z. a kol.: Edice stavíme – Odvodnění staveb, ERA Brno, 2005
- [2] ŠTIKAR, J.: Edice stavíme – Střechy, ERA Brno, 2005
- [3] HANZALOVÁ, L., ŠILAROVÁ, Š.: Konstrukce pozemních staveb 40, ČVUT-FSv Praha
- [4] ČSN P 73 0606 – Hydroizolace staveb – povlakové hydroizolace – Základní ustanovení
- [5] Podklady společnosti Zinco
- [6] Podklady společnosti Gardena

This research has been supported by MSM 6840770005.

Drenážní vrstva jako součást souvrství střech s vegetační úpravou

Ing. Eva Hlavová Gazdová, Ing. Tomáš Pokorný, Ph.D.

gazdova@fsv.cvut.cz; pokorny@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

We are living under conditions of growth in developed areas – and the “green fields” became much rarer. This situation could be solved using in Czech Republic not very widespread, but interesting solution – vegetative arrangement “Green Roof”. Draining layer together with water-stop layer are the most important parts of all the system of rooftop with vegetative adjustment. The function of draining layer is on the one hand accumulation of meteoric water, on the other hand drainage of excess water.

Úvod

Drenážní vrstva je společně s hydroizolační vrstvou nejdůležitější část celého systému střech s vegetační úpravou. Jejím úkolem je zadržet co největší množství srážkové vody v drenáži a zároveň přebytečnou vodu odvést do akumulární vrstvy a přes filtrační vrstvu na vrstvu hydroizolace a dále do kanalizačního systému. Musí zajistit rozvedení vody po celé ploše ochranné a akumulární vrstvy a zároveň možnost výparu vlhkosti z ochranné a akumulární vrstvy do substrátu.

Pro zajištění těchto schopností vegetačního skladby střechy je potřeba drenážní a akumulární vrstva se schopností zachytit 10-27 l vody/m². Toto množství vody stačí extenzivním střechám k dlouhodobému a bezproblémovému růstu a u střech intenzivních ušetří náklady na vybudování komplikovaných zavlažovacích systémů a vodu.

Použití zrnitých materiálů

Drenážní vrstva byla dříve prováděna pouze z nasypaného drenážního kameniva, které mělo pouze funkci drenážní. Akumulace srážkové vody buď zcela chyběla což vedlo k nutnosti projektovat náročné zavlažovací systémy a bylo třeba počítat se zvýšenou spotřebou vody na umělé zalévání nebo byla zajištěna dalšími samostatnými vrstvami například nasákavými deskami z minerálních vláken nebo vrstvou rašeliny.

Pro drenážní vrstvu se nejčastěji používá drobný štěrk nebo keramzit. Rozdělení velikosti zrn a rozložení póru v drenážní vrstvě je v tomto případě řízené. Objem materiálů drenážní vrstvy musí umožňovat akumulaci vody ve středně velkých pórech a odvedení vody přes větší póry. Rozmístění zrn v drenážní vrstvě musí spolehlivě odvést vodu z vegetační vrstvy bez lokálních a plošných přebytků. Tloušťka drenážní vrstvy závisí na druhu vegetace, druhu použitého materiálu, způsobu zhotovení a spádových poměrech. Úprava horního povrchu drenážní vrstvy má být vodorovná po celé ploše.

Desky se spojenou funkcí drenážní a hydroakumulační

Další systémy umožňují částečné zadržení vody v drenážní vrstvě, odkud pak vzlíná a je k dispozici vegetaci v období bez srážek. Jde tedy o spojení drenážní vrstvy a akumulace srážkové vody. V tomto případě se střešní vpust' umísťuje přepadem o několik centimetrů výše (regulovatelný stav) tak, aby část vody, která vtekla do drenážní vrstvy, nemohla v plném rozsahu odtéci do kanalizace. Používají se drenážní desky z polystyrénu, drenážní prefabrikáty z plastů a další typy.

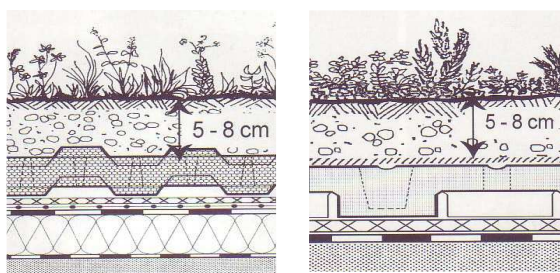
Nopové fólie jsou určeny pro ochranu konstrukcí proti vlhkosti, radonu, mechanickému narušení apod. Nopové fólie jsou mechanicky vysoce zatížitelné folie z polyuretanu či neměkčeného PVC či speciálního polyethylenu s vysokou molekulární hustotou a s vytvarovanými nopy. Systém kontroluje a podle potřeby usměrňuje pohyb vlhkosti v konstrukci a zároveň chrání před vlhkostí všechny nasákové materiály. Systém nopové fólie vytváří vzduchovou mezeru, která absorbuje vlhkost a zároveň ji vhodným způsobem odvádí. K tomu napomáhají vzduchové kanálky vytvořené nopy, které slouží jako drenážní vrstva a nárazník při mechanickém zatížení.

Pro ozelenění plochých střech byly vyvinuty drenážní fólie s funkcí jak rychlého odvodu přebytečné vody, tak s částečnou akumulací vody pro přežití rostli v období sucha. Vrchní část bývá prořezávána pro dokonalejší odvod přebytečné vody, zabránění přemokření. Odvodňovací schopnost je až 5,5 [l/s]. Součástí některých fólií je separační geotextilní vrstva.



Obr. 1: Skladba s nopovou fólií [Zinco.de]

V nabídce některých systémů jsou drenážní a akumulační **profilované desky** z recyklovaného polyethylenu vhodné pro extenzivní zeleň, z pěnového polystyrenu a z extrudovaného polystyrenu, desky z recyklovaného polyesteru a tvrdé pěny vhodné pro extenzivní i intenzivní zeleň a desky z recyklovaného kaučuku. Různost rozměrů je z důvodu potřeby zadržet různé množství vody a materiálová různost je z důvodu odlišného použití jednotlivých materiálových variant.



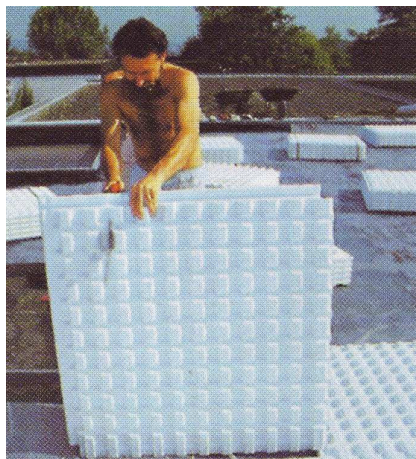
Obr. 2: Skladby s profilovanými deskami [Zinco.de]

Drenážní a akumulační vrstvy z polyetylenu se používají do sklonu střechy 8°, z pěnového polystyrenu jsou určeny pro střechy do sklonu 45°, z extrudovaných polystyrenů pro dodatečné zateplení plochých i šikmých střech se zachováním funkce drenážní a akumulační a konečně kaučukové drenážní vrstvy snesou i velká zatížení od nákladních automobilů.

Zvlášť může být součástí systému akumulační a ochranná rohož, která musí splňovat dva důležité požadavky, a to chránit spodní vrstvy proti mechanickému poškození a zadržovat

určité množství vody, která se zpětně dostává difúzí do substrátu a ke kořenům rostlin. V tomto druhu materiálu nabízí firmy opět několik druhů ochranných a akumulačních rohoží, lišících se množstvím zadržené vody a odolností proti zatížení a mechanickému poškození.

Obr. 3: Pokládání a řezání profilovaných desek z polystyrenu [Zinco.de]



Filtrační vrstva

Filtrační vrstva odděluje substrát a drenážní vrstvu a tím tedy brání propadání zeminy do drenážní vrstvy. Plní úlohu filtru, tj. chrání vrstvu proti usazování a zanášení drenážní vrstvy jemnými částicemi vymývanými závlahami nebo vodními srážkami z půdní vrstvy. Musí mít takovou strukturu, která by umožňovala nejen působení tlaku vody účinkem kapilárních sil shora dolů, ale i v opačném směru.

Používaným materiálem jsou polyesterová tkaná rouna o hmotnosti 150 - 200 g/m² nebo jiné většinou polypropylenové filtrační textilie, jejíž plošná hmotnost se liší v závislosti na zatížení, a to od 40 g/m² až do 300 g/m². Netkané syntetické geotextilie o minimální plošné hmotnosti 300 g/m² pro filtrační vrstvy. Při použití velkozrnných materiálů pro drenážní vrstvu se dále doporučuje používat rouno s větší tloušťkou, protože počáteční zatížení při položení drenážní vrstvy je značně vysoké. Vhodným materiálem pro filtrační vrstvu jsou rohože z minerální, např. čedičové plsti, doporučuje se používat geotextilie, které se pokládají s přesahem nad úroveň drenážní vrstvy.

Při zhotovení filtrační vrstvy nad drenážní vrstvou, ve které se akumuluje voda, musí být filtrační vrstva položena v takové výšce, aby nemohla přijít do styku s hladinou zadržované vody. Při použití filtračních tkanin se musí překrývat okraj jednotlivých pásů a okraje střechy a ve střešních přístupech se musí filtrační vrstva vytáhnout až po horní okraj vegetační vrstvy. U sklonu od 5% stačí jednovrstevná konstrukce.

References:

- [1] ŽABIČKA, Z. a kol.: Edice stavíme – Odvodnění staveb, ERA Brno, 2005
- [2] MINKE, G.: Dächer begrünen einfach und wirkungsvoll, Staufen bei Freiburg, 1997
- [3] Podklady společnosti Zinco

This research has been supported by MSM 6840770005.

Validace numerického programu IterRn pro výpočet součinitele difúze radonu

Doc. Ing. Martin Jiránek, CSc., Ing. Kateřina Rovenská

jiranek@fsv.cvut.cz, katerina.rovenska@fjfi.cvut.cz

Fakulta stavební ČVUT, Katedra konstrukcí pozemních staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha 6
FJFI ČVUT, KDAIZ, Břehová 7, 115 19 Praha 1

Abstract

The following paper describes the process of validation of the computer program IterRn that is used for the determination of the radon diffusion coefficient in damp-proof membranes from the measured data sets. The program IterRn is based on the FEM solution of the one-dimensional partial differential equation. Validation of this numerical program was performed by analytical solution for the steady state interval of the measuring process, when the increase of radon concentration in the upper container is linear. Comparison of numerical and analytical solutions has shown that program IterRn yields reliable and accurate results.

1. Úvod

V roce 1997 byl spolu s novým měřicím zařízením [2] vytvořen i univerzální numerický model, který lze použít jak k obecným analýzám nestacionární difúze radonu materiálem, tak k přesnějšímu výpočtu součinitele difúze radonu z údajů stanovených měřicím zařízením. Z obecného modelu pak vychází program IterRn [1], [3], který je založen na numerickém řešení parciální diferenciální rovnice jednorozměrného nestacionárního šíření radonu. Jeho hlavní výhodou je možnost použít pro numerické zpracování jakákoli naměřená data – z ustáleného či neustáleného stavu, nebo jen z určitého vybraného časového výseku charakteristického např. lineárním nárůstem koncentrace radonu v horní nádobě. Základním vstupním údajem jsou tedy časové průběhy koncentrace radonu v obou nádobách měřicího zařízení. Program následně postupně modeluje nestacionární šíření radonu zkoušeným materiálem a vypočtené časově závislé hodnoty koncentrace radonu v horní nádobě porovnává s naměřenými hodnotami. Tento proces probíhá v několika iteračních krocích pro postupně se měnící součinitel difúze radonu. Konečný součinitel difúze radonu je pak ta hodnota, pro kterou jsou rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými koncentracemi radonu v horní nádobě (např. průměrná odchylka či součet odchylek) nejmenší.

2. Validace programu IterRn

Správnost numerického výpočtu programem IterRn lze ověřit porovnáním s analytickým řešením. Tento postup je možný pouze tehdy, když analytické řešení existuje. V našem případě můžeme analytické řešení získat pro ustálený stav, kdy v prvních několika málo hodinách po vyvětrání horní komory má nárůst koncentrace radonu v horní komoře lineární průběh. V podmínkách rovnovážného stavu má řídicí rovnice tvar (1):

$$D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda \cdot C = 0 \quad (1)$$

kde D je součinitel difúze radonu [m^2/s], λ je přeměnová konstanta radonu [$2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$] a C je objemová aktivita radonu [Bq/m^3]. Řešením rovnice (1) pro případ průchodu radonu materiálem tloušťky d , na jehož jedné straně je objemová aktivita radonu C_0 a na druhé straně objemová aktivita radonu nulová, je:

$$C_{(x)} = C_0 \cdot \frac{e^{-(x-d)/l} - e^{(x-d)/l}}{e^{d/l} - e^{-d/l}} \quad (2)$$

kde C_0 je objemová aktivita radonu v dolní nádobě pod izolací [Bq/m^3] a $C_{(x)}$ je objemová aktivita radonu v materiálu ve vzdálenosti x od povrchu, kde je objemová aktivita radonu C_0 [Bq/m^3]. Difúzní tok z povrchu testovaného materiálu je pak dán vztahem:

$$E_{h(d)} = -D \cdot \frac{dC_{(x)}}{dx} = \frac{2 \cdot C_0 \cdot l \cdot \lambda}{e^{d/l} - e^{-d/l}} \quad (3)$$

Po vyvětrání a následném uzavření horní nádoby začne v jejím prostoru narůstat objemová aktivita radonu. Tento nárůst lze popsat rovnicí:

$$C_{(t)} = \frac{E_h \cdot A}{V_h \cdot k} \cdot (1 - e^{-n_h \cdot t}) \quad (4)$$

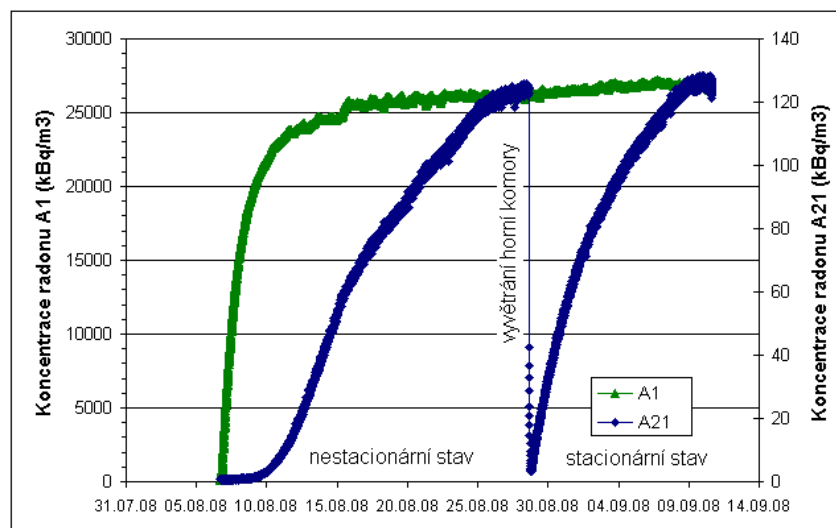
resp. v lineární aproximaci:

$$C_{(t)} = \frac{E_h \cdot A}{V_h} \cdot t \quad (5)$$

kde $C_{(t)}$ je objemová aktivita radonu v horní nádobě v čase t [Bq/m^3], E_h je difúzní tok radonu z izolace do horní nádoby [$\text{Bq/m}^2\text{s}$], A je plocha testovaného materiálu [m^2], V_h je objem horní nádoby [m^3], n_h je násobnost výměny vzduchu v horní nádobě [s^{-1}] a t je čas [s].

Z difúzního toku E_h a ze známé tloušťky testovaného materiálu d lze z rovnice (3) vypočítat neznámou difúzní délku l a konečně i součinitel difúze radonu $D = l^2 \cdot \lambda$.

Při analytickém řešení byla zpracována data získaná při měření izolace Elastobit. Podrobný průběh koncentrací radonu ve zdrojové komoře A1 a v horní komoře A21 je patrný z obr. 1.



Obr. 1. Záznam objemové aktivity radonu ve zdrojové komoře A1 a v horní měrné komoře A21 při různých fázích měření

Pro analytické řešení bylo možné využít pouze tu část záznamu, která odpovídá rovnovážnému stavu, tj. od 28.8. 20,25 hod. Protože počáteční koncentrace radonu v komoře A21 nebyla 0, jak předpokládá analytické řešení od rovnice (2) dále, ale $4,56 \text{ kBq/m}^3$, byla

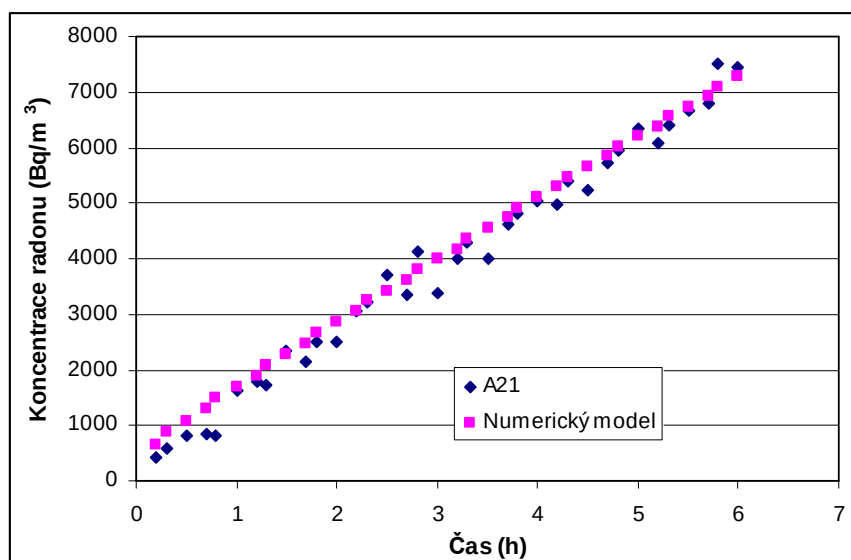
tato počáteční koncentrace od všech následujících hodnot odečtena. Dále již výpočet probíhal v souladu s výše uvedeným postupem – z rovnice (5) byl vypočten difúzní tok E_h , jehož hodnota se dosadila do levé strany rovnice (3), která posloužila k nalezení poměru d/l . Součinitel difúze radonu D se pak vypočetl ze vztahu $D = l^2 \cdot \lambda$. Výsledky výpočtu pro časové úseky 1, 2, 3 a 6 hod od počátečního stavu jsou přehledně uspořádány do tabulky 1. Při výpočtu byly uvažovány následující konstanty: plocha vzorku $A = 152 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, objem horní nádoby $V_h = 2\,319 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ a tloušťka vzorku $d = 3,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Za koncentrace $C_{(t)}$ byla vzata vždy průměrná hodnota v dané hodině.

Jak vyplývá z tabulky 1 součinitel difúze radonu se podle analytického řešení pro všechny časové intervaly rovná hodnotě $1,1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Je to důkaz lineárního průběhu nárůstu a dobře změřených hodnot koncentrace radonu v horní komoře.

Tab.1. Analytické řešení pro různé časové úseky od počátečního stavu

Datum/čas	$C_{(t)}$ [kBq/m ³]	C_0 [kBq/m ³]	$E_h = \frac{C_{(t)} \cdot V_h}{A \cdot t}$	d/l [-]	D [m ² /s]
28.8. 20,25	4,56	Počáteční koncentrace v A21 – od následných hodnot odečtena			
28.8. 21,25	5,72	20 898	0,049160	1,522	$1,1 \cdot 10^{-11}$
28.8. 22,25	6,75	20 908	0,046405	1,558	$1,1 \cdot 10^{-11}$
28.8. 23,25	8,07	20 920	0,049584	1,517	$1,1 \cdot 10^{-11}$
29.8. 02,25	11,16	20 931	0,046617	1,556	$1,1 \cdot 10^{-11}$

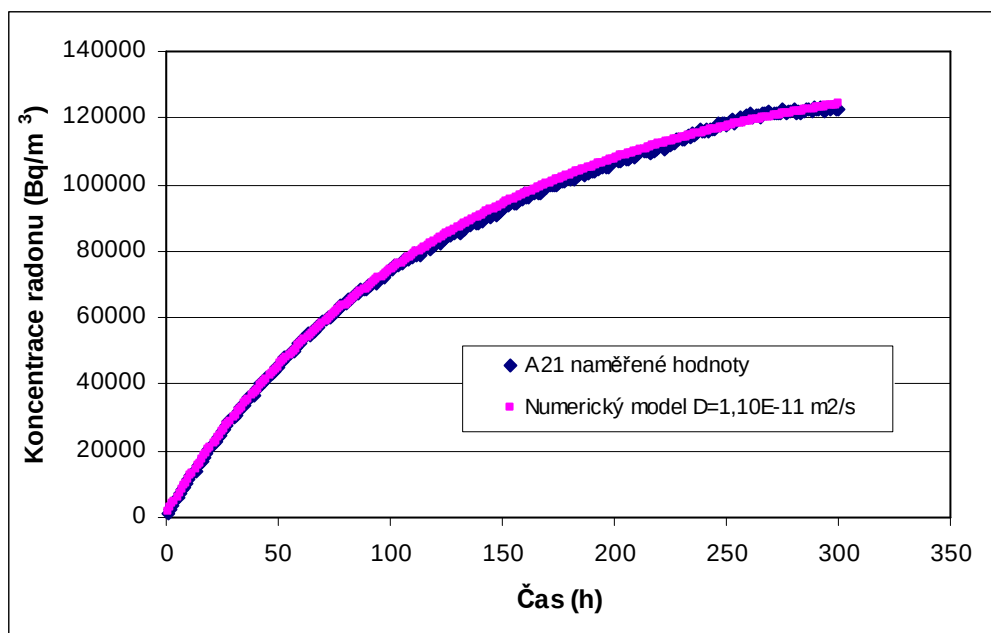
Nyní je potřeba pro stejnou izolaci provést řešení numerické. Nejprve byl pomocí programu IterRn vypočten součinitel difúze D pro prvních 6 hodin měření v rovnovážném stavu, tj. pro stejný časový úsek, v němž bylo nalezeno analytické řešení. Porovnání skutečně naměřených hodnot s numericky namodelovaným průběhem koncentrace v horní komoře je vyneseno na obr. 2.



Obr. 2. Průběh naměřené koncentrace v horní komoře A21 a vypočtené koncentrace numerickým modelem IterRn pro prvních šest hodin rovnovážného stavu a součinitel difúze $D = 1,1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

Součinitel difúze vypočtený programem IterRn je shodný s analyticky stanoveným součinitelem difúze $D = 1,1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$.

Programem IterRn byl následně stanoven součinitel difúze pro celý interval měření v rovnovážném stavu (300 hodin). Výsledný součinitel difúze je taktéž $D = 1,1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Pro srovnání jsou na obr. 3 vyneseny průběhy koncentrace stanovené numerickým modelem a měřením. Z grafu je patrné, že vypočtené hodnoty odpovídají naměřeným koncentracím v horní měrné komoře.



Obr. 3. Průběh naměřené koncentrace v horní měrné komoře A21 a vypočtené koncentrace numerickým modelem IterRn pro celý měřicí interval (300 hodin)

3. Závěr

Analytická i numerická řešení pro různé časové úseky se shodují. Program IterRn poskytuje správné řešení a lze ho používat pro výpočet součinitele difúze radonu.

References:

- [1] JIRÁNEK M. - SVOBODA Z.: *Transient Radon Diffusion through Radon-proof Membranes: A New Technique for More Precise Determination of the Radon Diffusion Coefficient*. In: Building and Environment (2008), doi: 10.1016/j.buildenv.2008.09.017
- [2] JIRÁNEK M. - FRONKA A.: *New Technique for the Determination of Radon Diffusion Coefficient in Radon-proof Membranes*. In: Radiation Protection Dosimetry, 2008, doi:10.1093/rpd/ncn121
- [3] SVOBODA Z.: *Software packages TransRn & IterRn, version 2008*. Prague: Czech Technical University; 2008

This research has been supported by MSM 6840770005.

Vodorovná tuhost ztužidlových polí lehkých dřevěných střešních konstrukcí s kovovými deskami s prolisovanými trny

Doc. Ing. Petr Kuklík CSc., Ing. Aleš Tajbr

kuklik@fsv.cvut.cz, atajbr@vaznikydnk.cz

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Vazníky D.N.K. s.r.o.

Abstract

The CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering, Department of Steel and Timber Structures in cooperation with company Vazníky D.N.K. have performed load tests of three different types of engineered bracing truss structures. The aim of the tests was to describe their behaviour under horizontal load.

Úvod

Dřevěné vazníky s kovovými deskami s prolisovanými trny se navrhují jako rovinné konstrukce zatížené výhradně ve své rovině. Vodorovné zatížení, které působí kolmo na rovinu vazníků, musí být přeneseno systémem ztužidel do podpor. Správný návrh ztužení je jednou z nezbytných podmínek zajištění požadované spolehlivosti celé střešní konstrukce [1].

Ztužidlové pole

Ztužidlové pole ve vazníkové konstrukci se skládá ze dvou sousedících vazníků, které jsou spojeny určitou formou příhradové konstrukce kolmé na jejich rovinu – obvykle vloženými přímopasovými nosníky v rovině horního a dolního pásu, případně Ondřejskými kříži v těchto rovinách, a dále nadpodporovými ztužidly a průběžnými prvky zavětrování – Ondřejské kříže v rovinách vybraných výplňových prutů a dlouhé podélné výztuhy.

Typickým prvkem ztužidlového pole je lisované ztužidlo horního pásu, které by mělo být navrhováno jako prostě podepřený příhradový nosník na rozvinutou délku horních pásů vazníků. Nosník může být zatížen jak účinky větru (např. vítr působící na štít nebo třetí složka podélného větru), tak účinky stabilizačního zatížení, které se vypočítá podle vztahu:

$$q_d = k_l \frac{nN_{d,AVG}}{30l}, k_l = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{l}} \right\}$$

q_d – návrhová hodnota rovnoměrného stabilizačního zatížení ztužidla [kN/m],

k_l – součinitel zohledňující kvalitu výroby a montáže,

n – počet ztužovaných vazníků,

$N_{d,AVG}$ – průměrná návrhová síla v horních páslech ztužovaných vazníků [kN],

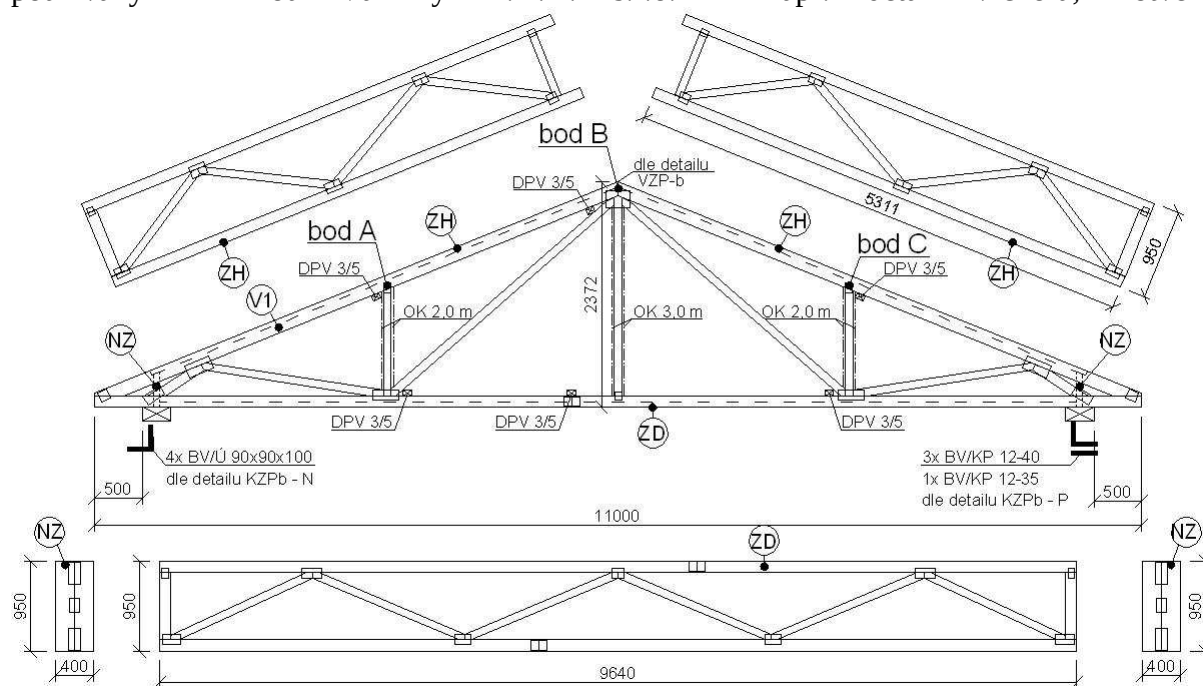
l – rozvinutá délka ztužidlového pole [m].

Průhyb ztužidla je limitován 1/700 jeho rozpětí pro účinky pouze stabilizačního zatížení nebo 1/500 rozpětí pro společné účinky větru a stabilizačního zatížení [2]. Toto omezení vodorovné deformace ztužidla představuje skrytý požadavek na jeho minimální tuhost – viz odvození vztahu pro výpočet stabilizačního zatížení [3].

Zatěžovací zkoušky ztužidlových polí

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulty stavební ČVUT v Praze se dlouhodobě věnuje problematice navrhování lehkých střešních konstrukcí s kovovými deskami s prolisovanými trny. Ve spolupráci se společností Vazníky D.N.K. s.r.o. byly v letošním roce provedeny zatěžovací zkoušky třech různých typů ztužidlových polí (ZP1, ZP2 a ZP3) s cílem analyzovat jejich chování při působení vodorovného zatížení. Rozměry zkoušené konstrukce byly odvozeny z běžných rozměrů vazníků na rodinné domy – délka vazníků 11 m (rozpětí 10 m, přesah 0,5 m na každé straně), sklon 22°, tloušťka 50 mm a osová vzdálenost 1,0 m, zatížení standardní těžkou krytinou, podhledem s izolací, sněhem ve III. sněhové oblasti a větrem ve II. větrové oblasti. Ztužidlo horního pásu bylo navrženo na stabilizační zatížení vyvozené 10 vazníky; pásy byly tvořeny profily 50/120 mm, diagonály 50/80 mm. Veškeré výpočty vazníků byly provedeny v programu TRUSS firmy FINE s.r.o., se kterou katedra velmi úzce spolupracuje při řešení problematiky únosnosti kovových desek s prolisovanými trny [4] a zpracování software pro výpočet střešních konstrukcí s těmito deskami [5].

ZP1 se skládá ze dvou vazníků (V1), lisovaného ztužidla roviny horního pásu (ZH), dolního pásu (ZD) a nadpodporového ztužidla (NZ), dále Ondřejských křížů (OK) v rovinách svislic a dlouhých podélných výztuh (DPV). Konstrukce byla provedena s detaily standardně používanými firmou Vazníky D.N.K. s.r.o. – např. detail vrcholu, kotvení.



Obr. 1 – Schéma uspořádání ZP1

ZP2 bylo tvořeno dvěma vazníky, lisovaná ztužidla byla nahrazena Ondřejskými kříži v rovinách horního a dolního pásu. V rovinách svislic byly stejně jako v předchozí konstrukci instalovány Ondřejské kříže z prken profilu 32/100 mm a dlouhé podélné výztuhy 30/50 mm. Každý vazník byl kotven 2 úhelníky na obou stranách.

ZP3 bylo smontováno ze dvou vazníků a lisovaného ztužidla roviny horního pásu. Ztužidlo roviny dolního pásu bylo nahrazeno Ondřejskými kříži, které byly také instalovány v rovinách svislic a byly doplněny dlouhými podélnými výztuhami, stejně jako v ZP1 a ZP2. Konstrukce byla provedena s "běžně" používanými detaily, bez nadpodporového ztužidla a se stejným kotvením jako v případě ZP2.



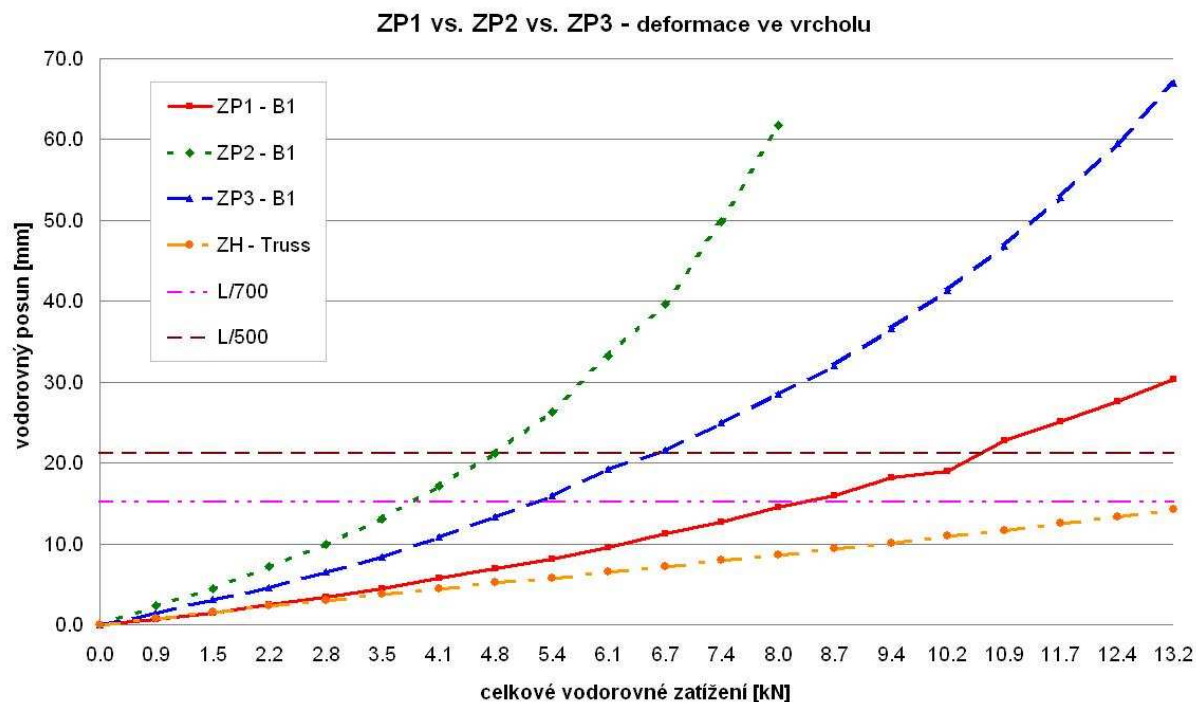
Obr. 2 - Zatěžovací zkouška ZP1 - maximální zatížení 1320 kg

Jednotlivé testované konstrukce byly smontovány, ukotveny a poté zatěžovány v bodech A, B a C (viz obr. 1) vodorovnou silou známé velikosti. Tato síla byla vyvozena tíhou závaží v podobě betonových prefabrikovaných dílců a pytlů s lepidlem, které byly postupně kladeny do připravených klecí. Ty byly přes kladku ocelovým lanem průměru 8 mm zavěšeny do ztužidlového pole.



Obr. 3 - Odečet vodorovné deformace ZP3

Během zkoušky byla průběžně měřena vodorovná deformace a to jak ve vrcholu vazníku (bod B) tak v místě styčnicku horního pásu a svislic (body A a C). Pro kontrolu byla sledována deformace v místě kotvení ztužidlového pole a vodorovný posun stolic, na kterých byly připevněny kladky a klece pro závaží. Deformace byla měřena mechanicky posuvnými měřítky, která byla pevně připojena k nezávislé konstrukci. Odečet hodnoty na posuvném měřítku probíhal ihned po vnesení zatížení a byl proveden celkem třikrát v každém kroku, vždy jinou osobou. V každém kroku byla každá klec přitížena o 22-30 kg, v závislosti na konkrétní hmotnosti použitého závaží. Všechny tři konstrukce byly v posledním kroku ponechány pod zatížením do druhého dne, tedy minimálně 15 hodin, za účelem zjištění vlivu dotvarování.



Obr. 4 - Graf závislosti deformace ve vrcholu a působícího zatížení - ZP1 vs. ZP2 vs. ZP3

Výsledky všech tří zatěžovacích zkoušek jsou shrnuty v grafu (viz obr. 4) a znázorňují vývoj vodorovné deformace ve vrcholu ztužidlového pole, tedy v bodě B, v závislosti na zvyšujícím se zatížení konstrukce. Posuny ostatních sledovaných bodů nejsou z důvodu zachování přehlednosti grafu uvedeny.

ZP1 vykazuje nejvyšší tuhost ze všech tří testovaných konstrukcí a s rostoucím zatížením se chová víceméně lineárně. Zatěžování konstrukce ZP2 muselo být z důvodů nadměrné deformace a silného praskání přerušeno předčasně. Tuhost tohoto typu ztužidlového pole je přibližně čtvrtinová v porovnání se ZP1 a vykazuje i mírně nelineární chování. Konstrukce ZP3 byla dle očekávání tužší než ZP2, ale přibližně dvakrát "měkčí" než ZP1. I zde se zejména v závěrečných krocích přitížení objevuje náznak nelinearity. Čára ZH-TRUSS popisuje chování modelu ztužidla roviny horního pásu, které bylo navrženo pro ZP1 v programu TRUSS a které bylo zatíženo stejným způsobem jako testované konstrukce. Zkušební zatížení dosáhlo maximální hodnoty 13,2 kN, návrhové zatížení ztužidla (pro 10 vazníků V1) vypočtené dle [2] je rovno 0,89 kN na 1 m délky ztužidla, tedy celkem 9,5 kN. Návrhovému zatížení odpovídá deformace v polovině délky ztužidla o velikosti 8,2 mm.

Závěr

Na základě dat získaných ze zatěžovacích zkoušek lze konstatovat, že nejlepší shodu s výpočetním modelem dosahuje konstrukce ZP1. Lze proto doporučit použití lisovaných ztužidel roviny horního i dolního pásu a nadpodporových ztužidel ve spojení s vhodným řešením klíčových detailů.

References:

- [1] KUKLÍK, P. - GREC, M. - TAJBR, A.: *Příčné lisované ztužidlo ve střešní rovině konstrukcí z dřevěných vazníků s kovovými deskami s prolisovanými trny*; VOŠ Volyně, 2008
- [2] ČSN EN 1995-1-1 - *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí*, ČNI, 2006
- [3] KOŽELOUH B.; *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5: STEP 1*, KODR, 1998
- [4] VODOLAN, M. - KUKLÍK, P.: *Zkoušky únosnosti kovových desek s prolisovanými trny podle evropských norem*, Akademické nakladatelství CERM, 2007, pp. 275-280
- [5] VODOLAN, M. - KUKLÍK, P.: *Výpočty a modelování dřevěných střešních konstrukcí*, Stavitel, X - 2005

This research has been supported by MSM 6840770005.

Nadřazené a optimální řízení systémů technických zařízení budov

doc. Ing. Karel Papež, CSc., Ing. Michal Kabrhel, Ph.D., Ing. Filip Jordán

filip.jordan@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov, Thákurova 7, 166 29
Praha 6 - Dejvice

Abstract

Operation and control of HVAC systems have very significant impact on the energy consumption. Exactly for commercial or multi-function buildings which are usually build on brownfields. According of trends for reducing of energy consumption and suitable designing are newly buildings often equipped with comprehensive building automation systems (BASs) and building energy management control systems (EMCSs). This article describes main supervisory and optimal control methods for HVAC systems. The application of control method is demonstrated on work recent research from many countries. The article provides framework for work with these systems and show possibility for using in the future research and applications.

Úvod do problematiky

Problematika *brownfields*³ se dotýká celé řady oborů. Tento fenomén moderní společnosti má hluboké kořeny v dobách překotného průmyslového rozvoje v 19. a 20. století. Tento jev je natolik známý, že není nutné osvětlovat celý proces postupného začleňování těchto průmyslových zón do městské zástavby, přesněji do center měst. Jen ve stručnosti. Kdysi průmyslové části měst, buď přímo nebo nepřímo, se postupem času stávají součástí oblasti center měst a městských částí. Tento fenomén je způsobem přirozeným rozšiřováním měst v důsledku migrace obyvatel z venkova do městských celků. Následná stížená dopravní dostupnost tyto průmyslové zóny omezuje a nastává odliv výroby, firem a investorů do „dnešních“ okrajových částí měst s dobrou dopravní dostupností a návazností převážně na rychlostní komunikace, popřípadě železniční nákladní dopravu. Takto vznikají průmyslové zóny nové na tzv. greenfields, neboli na zelené louce. Toto je však proti teorii udržitelného rozvoje [2], který upřednostňuje novou zástavbu brownfields.

Nová zástavba brownfields je spojena s celou řadou technických problémů, které je při provádění staveb nutno řešit. Nejvíce diskutované ekologické zátěže zastiňují další důležité aspekty urbanického plánování, jako jsou např. kapacity veřejných rozvodných sítí. Průmyslové závody mnohdy nebyly tolik náročné na potřebu pitné vody a dalších komodit, jako nově plánované kancelářské, obytné, obchodní a ostatní budovy občanské vybavenosti. Rovněž na řadě brownfields stojí technicky a kulturně cenné budovy včetně unikátního technologického vybavení. Proto je nanejvýše vhodné tyto památky naší bohaté technické historie začlenit do nových územních celků, a tím je tak uchovat budoucím generacím, jako doklad úspěšného průmyslového rozmachu našich zemí.

3 **Brownfields** (angl. hnědé pole) je urbanistický termín označující opuštěná území s rozpadajícími se obytnými budovami, nevyužívané dopravní stavby a nefunkční průmyslové zóny. Vyznačují se často obrovskými rozměry, negativními sociálními jevy a ekologickou zátěží. [1]

Revitalizace bývalých průmyslových zón, kde jsou prosazovány nejmodernější technologické trendy ve výstavbě, které snižují časovou nebo energetickou náročnost výstavby. Rovněž může znamenat rozvoj a využití moderních postupů pro návrh a provoz systémů technických zařízení budov (TZB). Jako příklad, kde by mohlo být těchto přístupů použito, můžeme uvést nově plánovanou revitalizaci městské části Praha 9 – Vysočany. V místech bývalého průmyslového areálu ČKD Praha má vyrůst nová městská část „Nové Vysočany“, která bude zahrnovat zhruba 600 tisíc m² kanceláří, 50 tisíc m² obchodních ploch, 12 tisíc bytů a kompletní občanskou vybavenost pro plánovaných 40 tisíc obyvatel [3]. Pokud se podíváme na energetickou náročnost tohoto záměru v hrubých číslech, tak bude zřejmé, že snaha o snižování energetické náročnosti je více než žádoucí. Dle údajů Českého statistického úřadu [4] je celková průměrná energetická náročnost průměrného bytu v ČR je uvedena v tab. č. 1.

Účel využití energie	Průměrná spotřeba energie GJ/byt v ČR
Vytápění	59,4
Příprava TV	8,4
Vaření	5,6
Nezaměnitelná elektřina	4,9
Celková energetická spotřeba	78,2

tab. 1: Energetická náročnost bytů a diverzifikace spotřeby dle využití

Pokud si představíme, že se jedná o soubor 12 tis. bytových jednotek, tak jen výsledná spotřeba energie na vytápění bude znamenat roční spotřebu cca 710 TJ (710×10^3 GJ), při průměrné energetické spotřebě domácnosti. Samozřejmě je nutné započítat i energetickou náročnost ostatní plánované výstavby v lokalitě, a dále pak zohlednit fakt, že nově realizované stavby jsou výrazně energeticky úspornější (řádově na hodnotách 30 – 40 % průměrné bytové výstavby)[5, 6]. Pokud tedy uvážíme tyto faktory, bude se výsledná energetická spotřeba pro vytápění u tohoto plánovaného územního souboru pohybovat kolem 500 TJ za rok. Což při ceně 400 Kč/GJ, bude přibližně 200 mil. Kč ročně. Při výrobě tepla z uhlí, plynu nebo LTO [7] to znamená cca 45 tis. tun CO₂ ročně. A to už nejsou nezajímavá čísla. Proto je vhodné nalézt mechanismy a postupy vedoucí k snižování energetické náročnosti staveb. Zde máme v zásadě několik možností, a to snižování energetické náročnosti zkvalitněním vlastností konstitucí staveb (např. tepelná izolace staveb), vlastním návrhem dispozice a členění budov, rovněž i správným a optimalizovaným návrhem systémů TZB včetně jejich „inteligentního“ řízení. Obojí se již v současnosti promítá i do legislativy, která stanovuje podmínky pro výstavbu a následný provoz objektů. Těmito zákonnými předpisy je implementace směrnice EU 2002/91/EC [8] o energetické náročnosti budov a navazující vyhláška MPO č. 148/2007 Sb. [9], která stanovuje metodiku hodnocení energetické náročnosti budov.

O mnohých výše uvedených opatřeních bylo napsáno mnohé, tento článek se však podrobněji věnuje pouze jednomu fenoménu, a tím je nadřazené a optimalizované řízení systémů TZB. V článku je popsáno, jaké tento fenomén nabízí možné cesty k energetickým úsporám, jak při samotném návrhu, tak i provozu systémů TZB. To však bude následovat po nezbytném seznámení s principy a metodami používanými při implementaci těchto přístupů.

Obecně o nadřazeném a optimálním řízení systémů TZB

Automatizované systémy budov (ASB) se stávají čím dál tím více důležitým nástrojem pro zefektivnění provozu systémů TZB [10, 11]. V zásadě můžeme funkce ASB rozdělit do dvou kategorií podle rozsahu a místa řízení. Můžeme tedy rozlišovat místní (lokální) a nadřazené

funkce systému řízení neboli funkce energetického managementu. Lokální řízení systémů můžeme dále rozdělit na sekvenční (přerušované) nebo procesní (spojité). Aby byl lépe ilustrován význam. Příkladem sekvenčního řízení může být, řízení chodu objemového čerpadla nebo ventilátoru. V zásadě řídicí systém definuje, kdy má být zařízení zapnuté nebo vypnuté, neboli řízení ON/OFF. Oproti tomu, celá řada procesů, jakými je například regulace měřené teploty na základě poruchové veličiny, vyžaduje a je obvykle řešena pomocí *PID regulátoru*⁴, který provádí regulaci veličiny spojitě. Takto navržené lokální systémy řízení mohou být vysoce optimální a energeticky a provozně efektivní. Avšak pokud se podíváme na systém řízení budovy jako celek, tak některá nastavení těchto lokálních řídicích procesů mohou negativně ovlivňovat celkovou energetickou nebo provozní náročnost. Jako příklad můžeme uvést teplotu přírodní vody do systému vytápění nebo chlazení. Nastavením této požadované teploty může být dosaženo významných energetických úspor. Konkrétním příkladem může být regulace právě teploty teplonosné látky pro systém vytápění regulovaný podle venkovní teploty (tzv. ekvitermní regulace⁵). Zde bychom mohli hovořit o jistém primitivním stupni nadřazené regulace. Nadřazená regulace, která je mnohdy označována jako optimální regulace, nabízí mnohem více. Tato regulace se snaží dosáhnout maximálních nebo minimálních hodnot reálné funkce na základě systematicky měněných parametrů jednotlivých částí systému dle jejich možných a dovolených rozsahů. Je to v zásadě monitorování a celková kontrola lokálních systémů [10]. V systémech TZB je pak nadřazená a optimální regulace zaměřena na hledání minimální hodnoty energetického toku nebo provozních nákladů, při zachování uspokojivého vnitřního prostředí v budovách a omezení vlivu na životní prostředí.

Ve většině případech se nadřazené a optimální řízení zabývá stanovením optimálních hodnot pracovních teplot nebo režimem chodu zařízení. Každý systém TZB má svá specifika a problém optimálního řízení je pro něj odlišný. Důležité je si uvědomovat, na jakých principech tyto systémy fungují, a jak jednotlivé vstupní parametry ovlivňují výsledné spotřeby energií nebo kvalitu vnitřního prostředí. Například systémy uvažující s uchováváním energie uvnitř systému (akumulace energie), budou mít odlišné chování, než systémy bez použití akumulace energie apod. V zásadě se mnohdy jedná o problém MISO⁶ nebo u složitějších problémů MIMO⁷, který popisuje matematicky danou situaci.

Pro celý systém je nutné pro optimalizaci řízení stanovit funkci energetické spotřeby nebo ceny, která vyjádří závislost spotřeby energie (ceny energie) na měnících se parametrech systémů TZB. Stanovení funkce ceny energie pro optimální nadřazené řízení hybridního systému (využívající více energetický zdrojů např. elektrická energie, plyn, tepelné čerpadlo apod.), který výrazně využívá akumulace energie je velmi komplexní problém [10]. Tato rovnice je ovlivňována mnoha faktory zahrnující cenu elektrické energie a plynu, omezení v energetických špičkách, rozdílné ceny pro elektrickou energii v nízkém tarifním pásmu, provozní náklady na provoz rozdílných částí systému, charakteristiky jednotlivých částí systému, akumulace energie, klimatické podmínky a zátěžový profil daného systému.

Jak je uvedeno v [10] matematický popis funkce ceny energie pro systém může vypadat následujícím způsobem (1.1). Toto převzaté vyjádření bylo upraveno pro případ kaskády

4 **PID regulátor** patří mezi spojitě regulátory, složený z proporcionální, integrační a derivační části. V systémech řízení se řadí před řízenou soustavu. Do regulátoru vstupuje regulační odchylka $e(t)$ a vystupuje akční veličina $x(t)$. [12]

5 **Ekvitermní regulace** teploty v místnosti spočívá v nastavení teploty topné vody (neboli v regulaci zdroje tepla) v závislosti na venkovní teplotě. Při nižší venkovní teplotě je požadována vyšší teplota dodávané topné vody, aby došlo k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami místnosti a teplota místnosti tak zůstala konstantní. [13]

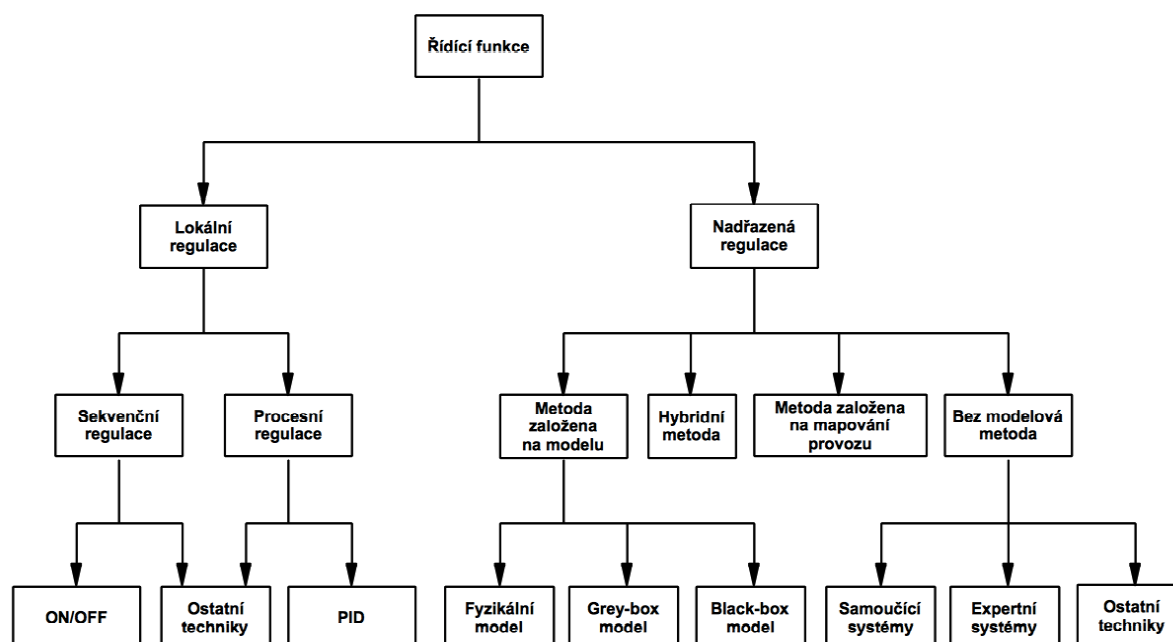
6 **Multiple-input single-output (MISO)** = více vstupů jeden výstup

7 **Multiple-input multiple-output (MIMO)** = více vstupů více výstupů

kotlových jednotek sloužících k vytápění objektu. Kotlové jednotky v kaskádě jsou použity elektrické a na zemní plyn.

$$J = \sum_{k=1}^N E_{e,k} P_{e,k} + \sum_{k=1}^N F_g G_{g,k} + \max_{1 \leq k \leq N} (D_{e,k} P_{e,k}) \quad (1.1)$$

Rovnice popisuje vztah celkových nákladů J (Kč) při rozdělení na N intervalů ve zúčtovacím období (např. měsíc). První a druhá část rovnice popisuje celkové náklady na elektrickou energii a plyn. Zbývající část se poté vztahuje k zúčtovacímu tarifu elektrické energie, a to ve vztahu k maximální špičkové spotřebě elektrické energie. Takto získanou rovnici ceny energie, chceme-li ji využít na optimalizaci provozu, musíme provázat s některou metodou používanou pro nadřazené systémy řízení. Jelikož systémy TZB mají rozdílnou složitost, tak ne všechny metody jsou vhodné pro řešení problém. Rozdělení těchto metod a řídicích funkcí



je názorně rozčleněno na obr. č. 1.

obr. č.1 – Klasifikace řídicích funkcí v systémech TZB

Nejběžněji používané metody jsou bez-modelový a na modelu-založený nadřazený řídicí systém. Neboli zjednodušeně, zda-li je vytvořen matematický model systému nebo není. Existuje i forma tzv. hybridního nadřazeného systému řízení, která je kombinací obou přístupů. Volba metody, která je použita, je ve výsledku volena dle znalosti popisovaného systému. Pro metodu, která je založena na vytvoření matematického vyjádření např. budovy, systému vytápění nebo vzduchotechniky, se s úspěchem používá celá řada simulačních nástrojů (MATLAB, ESP-r, TRNSYS, IES<VE> atd.).

Tím však práce na optimalizaci systému TZB systému nekončí. Po stanovení funkce ceny a jejího propojení s metodou nadřazeného řízení je nutné zvolit vhodnou optimalizační techniku. Optimalizační technika pak následně určí možnou modifikaci vstupních parametrů, tedy optimální nastavení lokálních řídicích systémů (počet kotlových jednotek v provozu, požadavek na teplotu přírodní vody do systému apod.). Rovněž je vhodné provést citlivostní analýzu na jednotlivé vstupní parametry, která by vlastní optimalizaci měla předcházet.

Aplikace optimálních řídicích strategií v systémech TZB

Aplikace optimálního řízení v praxi není častá, ale studie předních světových odborníků a vědeckých týmů dokazují na případových studiích, možné řešení optimálního řízení systémů TZB. Podrobný výčet studií a prací na toto téma uvádí podrobně [10]. Pro demonstraci možných energetických úspor je vybráno pouze několik řešení a přístupů.

Tým Dr. Henze se zabýval předpovědním optimálním řízením pasivních a aktivních tepelně akumulčních prvků budov [11]. Z výsledků výzkumu vyplývá, že využitím tohoto přístupu může dojít až k přibližně 17% úspoře energetické spotřeby centrální vzduchotechnické jednotky oproti standardnímu řízení těchto prvků. Nassif a jeho tým v roce 2005 publikovali případovou studii, která využívala dvoj-objektového generického algoritmu pro optimalizaci nadřazeného řízení založeného na modelu. Jednalo se o fyzikální model systému VAV a empirický model chilleru, ve kterém byly optimalizovány hodnoty teplot přívodního vzduchu, dohřevu a teploty vzduch v zóně za respektování energetické spotřeby a teplotní pohody pro zónu. Po úspěšné simulaci a jejím testování, byl tento systém optimalizace použit na existující systém. Výsledná energetická úspora, která byla sledována přes dvě letní období byla učená na 16%.

Závěr

Z předložených příkladů použití nadřazené a optimální regulace je možné odvodit, že využívání těchto systémů řízení může poskytnou cestu k energetickým a provozním úsporám (5 až 20%). Aplikace těchto nových přístupů, není v praxi zcela běžným jevem. Pověšinou se tyto postupy aplikují pouze ve výzkumných týmech na univerzitách a některých zkušebních provozech. Tento fakt je způsoben tím, že odborná veřejnost ráda využívá osvědčených systémů řízení a nové myšlenky si mnohdy obtížně hledají svou cestu ke konečným uživatelům. Závěrem lze konstatovat, že pole působnosti ve směru optimalizace je poměrně široké a poskytuje rozsáhlé možnosti k inovacím a využívání moderních technologií (informačních, řídicích i senzorických). Úkolem vědeckých týmů v této oblasti, by mělo být prohloubení spolupráce s firmami zabývajícími se automatickým řízením budov a prosazení nových myšlenek a inovací do praktického života.

Poděkování: Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru VZ 04 CEZ MSM 6840770005 Udržitelná výstavba.

References:

- [1] *Brownfields* – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online], Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Brownfields>>.
- [2] *Trvale udržitelný rozvoj* – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online], Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Trvale_udržitelný_rozvoj>.
- [3] KALÁB, V., *Nové Vysočany* [online], Hospodářské noviny, 21.10. 2009, Dostupné z: <<http://hn.ihned.cz/c1-38724640-nove-vysocany>>
- [4] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, *Měrné spotřeby paliv a energie podle účelu užití, Spotřeba energie v domácnostech ČR za rok 2003* Dostupné z: <[http://www.czso.cz/csu/2005edicniplan.nsf/t/F100460B81/\\$File/810905kc35.pdf](http://www.czso.cz/csu/2005edicniplan.nsf/t/F100460B81/$File/810905kc35.pdf)>
- [5] ČSN 73 0540-2, *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007, pp. 10.
- [6] DAHLSVEEN, T. – PETRÁŠ, D. - HIRŠ, J.: *Energetický audit budov* Jaga group, 2003, pp. 133–156.

- [7] Vyhláška MPO č. 425/2004 Sb., kterou se mění vyhláška č. 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu.
- [8] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES
- [9] Vyhláška MPO č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov.
- [10] WANG, S. – MA, Z.: *Supervisory and Optimal Control of Building HVAC Systems: A Review* ASHRAE - HVAC&R Research, 2008, pp. 3–31.
- [11] HENZE, G. P. – KALZ, D. E. - LIU, S. - FELSMANN, C.: *Experimental Analysis of Model-Based Predictive Optimal Control for Active and Passive Building Thermal Storage* ASHRAE - HVAC&R Research, 2005, pp. 189–213
- [12] *PID regulátor* – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online], Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/PID_regulátor>.
- [13] *Ekvitermní regulace* – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online], Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ekvitermn%C3%AD_regulace>.

Transport vlhkosti ve stavebních konstrukcích

Doc. Ing. Petr Semerák, Ph.D., Prof. RNDr. Jaroslav Římal, DrSc.

semerakp@fsv.cvut.cz, rimal@fsv.cvut.cz

Katedra fyziky, Stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

Basic principles of moisture transport in the capillary-porous materials are described in this article.

Úvod

Ve snaze zjistit a stanovit působení vody v kapalném a plynném skupenství na stavební konstrukce, zabývá se stavební fyzika v posledních desetiletích většinou experimentálním zkoumáním vlhkosti. Tyto experimenty se soustřeďují na určení sorpčních vlastností materiálů (sorpční izotermny), na určení paropropustnosti (difúzních parametrů konstrukce) a na určování schopnosti materiálu přijímat vodu, eventuálně se určuje vzlínavost vody v materiálu. Ze znalosti toku vodních par a průběhu teploty v konstrukci jsou známy postupy, podle kterých je možno odhadnout, zda dojde v konstrukci ke kondenzaci vodních par a rovněž je možné stanovit roční bilanci vlhkosti konstrukce. Při těchto výpočtech se však obvykle neuvažuje pohyb vody v kapalném skupenství. Nejnovější výzkumy struktur pórů stavebních materiálů ukazují, že v pórech nedochází k přenosu vlhkosti jen ve formě vodních par, ale že vlhkost se zde pohybuje i v kapalně fázi. Mechanismy, které uvádějí jednotlivé fáze do pohybu jsou různé podstaty. V materiálu dochází zároveň k difúzi, efúzi, kapilárnímu vzlínání, laminárnímu proudění, migraci v povrchových vrstvách apod. Navíc stavební konstrukce většinou nemůže být považována za izotermní prostředí a tak přistupuje ke zmíněným procesům termodifúze a gradienty teplot jako obecné hnací síly působící na kapalnou část. V důsledku toho při dynamice procesu dochází ještě ke stavovým přeměnám, tj. odpařování a kondenzaci v pórech materiálu. Všechny druhy přenosu vody v kapilárně porézních stavebních materiálech jsou ovlivňovány teplotou a vyskytují se ve stavebních materiálech s různou intenzitou a vždy se současně uplatňuje většina z nich, ne-li všechny. To závisí na druhu materiálu a podmínkách okolí.

Protože většina hnacích sil způsobuje laminární proudění, je možné nahradit tyto síly, resp. popsat silová pole, která vyvolávají, potenciálem těchto sil. Takto definovaný potenciál má částečně charakter chemického (Gibsova) potenciálu. Označíme-li potenciál silového pole ϕ , lze v souladu se zákony nevratné termodynamiky psát

$$J_m = -L_\phi \text{grad} \phi, \quad (1)$$

kde J_m je tok hmoty, L_ϕ je součinitel přenosu vlhkosti. Experimentálně určovaný součinitel přenosu vlhkosti při potenciálovém spádu však nebude konstantou, jak předpokládá teorie lineární nevratné termodynamiky, ale bude také funkcí potenciálu. Ve stavebních materiálech přicházejí v úvahu tři vlivy, které řídí velikost toku vlhkosti. Jsou to koncentrace (popisovaná potenciálem), teplota a rozdíly tlaku vzduchu, které však v případě stavebních konstrukcí prakticky nepřicházejí v úvahu. Proto lze obecně transport popsat buď rovnicí (1), přičemž je

součinitel L vyjádřen jako funkce potenciálu ϕ a teploty T , nebo je možno popisovat transport vlhkosti zavedením další obecné hnací síly

$$J = L_{\phi} \text{grad } \phi + L_T \text{grad } T \quad (2)$$

gradientu T , tj. teplotního spádu. Tento zdánlivě jednoduchý přístup má obtíže, pro které je dodnes nepoužitelný. Proto se dosud všichni badatelé v tomto oboru, ať již půdní fyzikové, nebo stavební fyzikové soustřeďují na vlhkost, která je přece jen snáze měřitelná a spokojují se s popisem transportu následující rovnicí:

$$J = -\kappa_u \rho_s \text{grad } u - \kappa_T \text{grad } T - \delta \text{grad } p \quad (3)$$

(δ je součinitel difúze, ρ je hustota) Součinitele vlhkostní vodivosti při teplotním a vlhkostním gradientu (κ_T , κ_u) jsou však složitými funkcemi vlhkosti a teploty a řešení rovnice kontinuity, která tyto koeficienty obsahuje, je možné jen v některých speciálních případech.

Difúze

Obecně lze nazvat difúzí proces, při kterém dochází k vyrovnání parciálních tlaků nebo koncentrací molekul jednotlivých plynů samovolným tepelným pohybem jednotlivých molekul. Podle Daltonova zákona se každý plyn ve směsi plynů chová tak, jako by celý prostor zaujímal on sám, nezávisle na tlacích a množství dalších plynů ve směsi. K difúzi dochází v plynech, kapalinách i v pórech porézních materiálů tehdy, je-li průměr prostoru, kterým plyn difunduje, mnohem větší, než je střední volná dráha molekul plynu. To znamená, že při difúzi mnohem častěji dochází ke vzájemným srážkám molekul, než ke srážkám molekul se stěnou kapilár.

Fickova difúze

Fenomenologický vztah pro popis difúze podal poprvé Fick, který v souladu se zákony lineární nevratné termodynamiky předpokládal lineární závislost mezi proudovou hustotou difundujícího plynu a gradientem koncentrace jako obecné hnací síly ve tvaru

$$J_m = -D \text{grad } c \quad (4)$$

Konstantou úměrnosti je koeficient difúze D , fenomenologický člen rovnice. Tento zákon platí pro stacionární proudění. J_m je plošná hustota proudu hmotnosti a c je koncentrace.

Tato rovnice ve spojení se zákonem zachování (rovnice kontinuity) dává možnost řešení otázky rozložení koncentrace plynu v prostoru a čase. Rovnice kontinuity v tomto případě zní:

$$\text{div } J_m = -\frac{\partial c}{\partial \tau} \quad (5)$$

Spojením obou rovnic dostaneme (pro případ jednorozměrného proudění)

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (6)$$

a pro obecný případ

$$\operatorname{div}(D_x \operatorname{grad} c) = \frac{\partial c}{\partial \tau} \quad (7)$$

Uvažujeme-li výhradně difúzi plynu, lze na základě kinetické teorie plynů odvodit pro difúzní koeficient binární směsi plynů vztah

$$D = \frac{2\sqrt{2}}{3} \frac{\sqrt{\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}}}{L d_{12}} \frac{1}{p} \sqrt{\left(\frac{R_m T}{p}\right)^3} \quad (8)$$

L je Loschmidtovo číslo, d_{12} efektivní průměr molekul.

Nás zajímá zejména difúze vodní páry do vzduchu. Z toho hlediska byl součinitel difúze řešen mnoha autory. Nejvíce se uplatnil empirický vztah Schirmerův

$$D_p = 0,083 \frac{p_n}{p} \left(\frac{T}{T_n}\right)^{1,81} \quad (9)$$

V tomto vztahu je tlak p i normální tlak p_n udáván v Pascalech, teplota T v Kelvinech a součinitel difúze vodní páry D_p v m^2/h .

Považujeme-li vlhký vzduch za ideální plyn, je možno pomocí definice koncentrace c a stavové rovnice ideálního plynu dostat

$$p = c R_m T \quad (10)$$

Dosadíme-li z této rovnice za c do rovnice (4), obdržíme často užívaný tvar pro přenos vodní páry

$$J_p = -\frac{D_p}{R_m T} \operatorname{grad} p \quad (11)$$

Člen $D_p / R_m T$ se někdy značí δ a bývá nazýván součinitelem difúze při tlakovém spádu

$$J_p = -\delta \operatorname{grad} p \quad (12)$$

Přenos vody v kapalném skupenství

Na rozdíl od difúze vodní páry se přenos vody uskutečňuje pouze v makropórech, tj. v takových prostorách, jejichž rozměry řezů vedených kolmo na směr proudící kapaliny jsou mnohem větší, než je střední volná dráha molekul ($r \gg \lambda$). To znamená, že srážky molekul se stěnami pórů můžeme zanedbat. Na pohyb kapaliny pak má rozhodující vliv její vazkost a za obecné hnací síly, které se při tomto typu přenosu uplatňují, můžeme považovat celkový rozdíl tlaků v kapilárách, tíhu (sílu vyvozovanou zemským gravitačním polem), kapilární síly, popř. síly vzniklého nebo z vnějšku nasazeného elektrického pole.

Z hydrodynamiky jsou známy typy proudění : potenciálové, laminární a turbulentní. Zatímco potenciálové proudění vzniká jen při velice nízkých rychlostech a u kapalin s nepatrnou viskozitou, nastává ve většině případů proudění laminární nebo turbulentní. Pokud kapalina proudí trubkou konstantního poloměru r , rozhoduje o druhu proudění hodnota Reynoldsova čísla Re . Jak známo, je $Re = 2 \nu r / \nu$ (ν je rychlost proudící kapaliny, r poloměr trubky, ν kinematická viskozita kapaliny). Hranici mezi laminárním a turbulentním prouděním tvoří hodnota Reynoldsova čísla $Re = 2300$. Při vyšších hodnotách nastává proudění turbulentní. V porézním prostředí, kdy dochází k rychlým změnám v "poloměrech" pórů, existuje laminární proudění jen pro hodnoty $Re < 4$.

Hagenovo-Poiseuilleovo proudění v nasyceném prostředí

Pro plošnou hustotu proudu kapaliny, která laminárně protéká přímým potrubím o průměru d odvodili Hagen a Poiseuille vztah

$$J_m = \frac{\rho d^2}{32 \eta} \frac{dp}{dx} \quad (13)$$

η je vazkost proudící kapaliny a ρ její hustota.

Hnací silou v tomto případě je obecně tlakový spád na daném potrubí. V ustáleném stavu lze nahradit tlakový spád rozdílem tlaků na určité délce l , tedy výrazem $p_2 - p_1 / l$. V tom případě lze rovnici (13) psát také takto

$$J_m = -K \frac{p_2 - p_1}{l} \quad (14)$$

Zde jsme nahradili výraz $\rho d^2 / (32 \eta) = K$ tzv. součinitelem propustnosti.

Je-li místo kapaliny v pórech plyn (pro jednoduchost budeme uvažovat ideální plyn), pak v rovnici (13) můžeme vyjádřit hustotu látky $\rho = m/V$ v kombinaci se stavovou rovnicí ideálního plynu a zavedením hmotnosti kilomolu plynu M také takto:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p M}{R_m T} \quad (15)$$

Dosazením tohoto vztahu do rovnice (13) obdržíme

$$J_m = - \frac{d^2}{32 \eta} \frac{p M}{R_m T} p_{str} \frac{dp}{dx} \quad (16)$$

kde p_{str} je střední tlak v potrubí.

I v tomto případě je vhodné zavést ještě opravný korekční člen k_1 , který respektuje proměnlivý průměr pórů i jejich zakřivení. V tomto případě zní rovnice (16)

$$J_m = - \left(k_1 \frac{d^2}{32 \eta} \frac{M}{R_m T} p_{str} \right) \frac{dp}{dx} \quad (17)$$

Člen v závorce se opět nahrazuje součinitelem propustnosti K , takže rovnice (17) dostane jednoduchý tvar

$$J_m = -K \frac{dp}{dx} \quad (18)$$

Závěr

Teoretické znalosti principů transportu vody a vodní páry v porézních materiálech jsou důležitým předpokladem k tomu, abychom mohli navrhovat účinná opatření k zabránění či alespoň omezení nežádoucího šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích.

References:

- [1] SEMERÁK, P.: *Vlhkost v porézních materiálech - transport a měření*. (Doktorská dis. práce), ČVUT Praha, 1999.
- [2] KAŠPAR, I.: *Transport vlhkosti ve stavebních materiálech*. ČVUT Praha, 1984.
- [3] ŘÍMAL, J. - ŠINDLER, D.: *Comparison of Temperature Loadings of Bridge Girders*. Acta Polytechnica, Journal of Advanced Engineering Vol. 48, No.5/2008, Prague 2008
- [4] ŘÍMAL, J.: *The Measurement of Temperature Gradients of Charles Bridge in Prague*. Proceedings of International Workshop: Physical and Material Engineering 2006, Bratislava.
- [5] MICHALKO, O. - SEMERÁK, P.: *Basic Theoretical Principles of Moisture Transport in Porous Materials*. In: Proceedings of International Workshop: Physical and Material Engineering 2002. Prague: CTU, 2002, p. 71-72. ISBN 80-01-02579-9.

This research has been supported by Research Project MSM 6840770005 and by the Grant Agency of the Czech Republic with grant No. 103/09/1149.

Zabudovaná vlhkost v konstrukcích s větranou vzduchovou vrstvou

Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda

svobodaz@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra K124, Thákurova 7, Praha 6

Abstract

The following paper is focused on possibilities of simple numerical modelling of the influence of built-in moisture content on hygro-thermal behaviour of building constructions with ventilated air layers.

Úvodem

Počáteční (zabudovaná či naakumulovaná) vlhkost stavebních materiálů může mít v řadě případů podstatně větší vliv na tepelně-vlhkostní chování stavební konstrukce než vlhkost zkondenzovaná v konstrukci během jejího životního cyklu. Velký význam má zvláště ve skladbách starších plochých střech, v nichž lze nezdědkat zjistit značně vysoké hmotnostní vlhkosti tepelných izolací a spádových vrstev. Při návrhu a posouzení rekonstrukce podobně postižené střešní konstrukce je vždy třeba s vlivem naakumulované vlhkosti počítat. Existuje řada více či méně sofistikovaných specializovaných programů, které je možné pro tento účel použít (např. [1,2,3]).

Nejjednodušší modely vhodné pro rychlé ověřovací analýzy lze založit na modifikované metodice EN ISO 13788 [4]. Výpočet pak probíhá od výchozího stavu, v němž se známý obsah vlhkosti v dané vrstvě konstrukce (obvykle zjištěný sondami) ztotožní s naakumulovaným kondenzátem v této vrstvě v počátečním měsíci výpočtu. Takto upravený výpočet roční bilance s vlivem počáteční zabudované vlhkosti ukazuje především tendence ve vlhkostním chování konstrukce a nelze od něj samozřejmě vzhledem k jeho jednoduchosti očekávat vysokou přesnost konkrétních výsledků. Přesto jsou jeho výsledky pro jednodušší konstrukce poměrně blízké výsledkům podstatně přesnějších programů, jak bylo doloženo – spolu dalšími podrobnostmi o této jednoduché metodice – např. v příspěvku [5].

Pokud zůstane střecha i po rekonstrukci jednoplášťová, umožní popsání metodika odhadnout poměrně spolehlivě budoucí vlhkostní chování nové skladby. Jakmile se ale začne uvažovat o převedení původní jednoplášťové střechy na dvouplášťovou, budou při použití popsaného postupu chybět důležité informace o chování větrané vzduchové vrstvy.

Tepelně vlhkostní chování větraných dutin

Tepelně vlhkostní chování větraných vzduchových vrstev se v naší projekční praxi stále posuzuje podle starší metodiky ČSN 730540-4, protože žádná novější EN či ISO norma se touto problematikou nezabývá. Jedná se o poměrně spolehlivý postup, který ve srovnání s podrobnějšími CFD modely poskytuje obvykle výsledky na straně bezpečnosti [6]. Normová metodika sice zohledňuje většinu rozhodujících faktorů (prostup tepla a vodní páry oběma pláště, vliv objemového toku vzduchu), ale neumožňuje přímo zohlednit efekt přídavného toku vodní páry do větrané vrstvy v důsledku odpařování počáteční vlhkosti.

Tento jev je nicméně možné do výpočtu zavést po mírné modifikaci výpočetního vztahu pro určení částečného tlaku vodní páry na konci vzduchové vrstvy:

$$p_{cav} = \frac{\frac{p_i}{Z_{pT,v}} + \frac{p_e}{Z_{pT,z}} + G}{\frac{1}{Z_{pT,v}} + \frac{1}{Z_{pT,z}}} \quad (1)$$

kde p_i a p_e jsou částečné tlaky vodní páry ve vnitřním a venkovním vzduchu v Pa, $Z_{pT,v}$ a $Z_{pT,z}$ jsou difúzní odpory vnitřního a vnějšího pláště střechy v m/s a G je hustota přídavného toku vodní páry do větrané vrstvy v kg/(m².s). Ostatní vztahy z výpočetní metodiky ČSN 730540-4 mohou už zůstat beze změny.

Hodnota G ve vztahu (1) může být stanovena v prvním kroku samostatným výpočtem vlhkostního chování vnitřního pláště střechy pro odhadnutou teplotu a vlhkost vzduchu ve větrané vrstvě ze vztahu:

$$G = \frac{p_i - (p_{cav,sat} \cdot \varphi_{cav})}{Z_{pT,v}} \quad (2)$$

kde $p_{cav,sat}$ je průměrný částečný tlak nasycené vodní páry ve větrané vrstvě v Pa (závislý pouze na odhadnuté průměrné teplotě ve větrané vrstvě) a φ_{cav} je odhadnutá průměrná relativní vlhkost vzduchu ve větrané vrstvě (bezrozměrná).

Po upřesnění parametrů vzduchu ve větrané vrstvě (výpočtem tepelně vlhkostního chování větrané vrstvy modifikovaným normovým postupem) lze výpočet difúzního toku G opakovat. Následně se pak opakuje i hodnocení větrané vrstvy. Celý iterační postup poměrně rychle konverguje.

Příklad analýzy a uplatnění v praxi

Uvažujme reálnou střechu nad velmi teplým a suchým průmyslovým provozem. Teplota vzduchu pod střechou se celoročně pohybuje v průměru od 35 °C do 45 °C při relativní vlhkosti kolem 15 %. Hala pod střechou není cíleně vytápěna – takto vysoké teploty jsou způsobeny čistě odpadním teplem z technologických procesů.

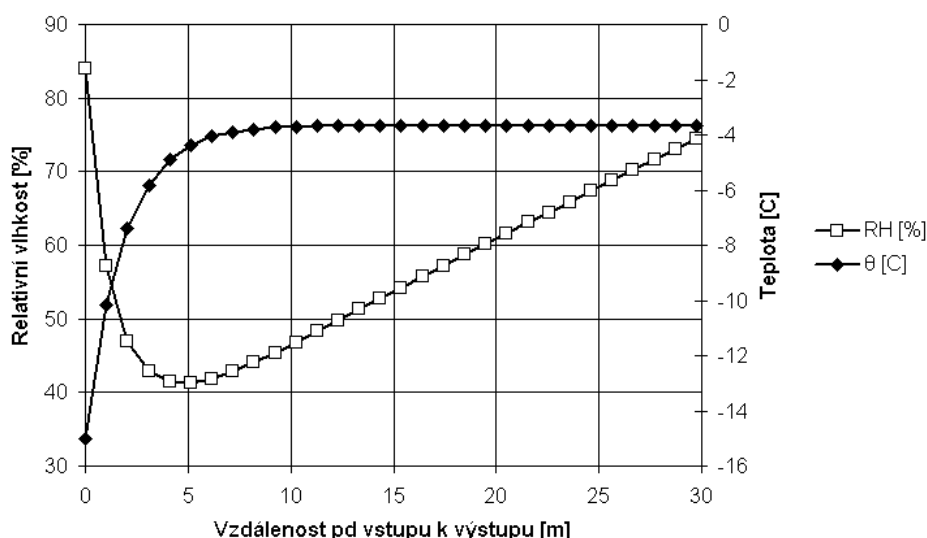
Na ocelových vaznicích a vaznicích jsou uloženy trapézové plechy, které nesou jednoduchou jednoplášťovou skladbu střechy s perlitbetonem tl. 100 mm a dožívající živičnou hydroizolací o celkové tl. 20 mm. Kvůli nevyhovujícímu stavu krytiny a velmi vysoké hmotnostní vlhkosti perlitbetonu (až 35 %) je nutné provést rekonstrukci střechy. Uvažujme variantu s převedením střechy na dvouplášťovou konstrukci o skladbě (shora):

- hliníkové lamely s „antikondenzačním“ povrchem
- vzduchová větraná vrstva tl. 190 mm (mezi pomocným roštem ze Z-profilů)
- perlitbeton tl. 100 mm
- trapézový plech.

Výpočtem podle EN ISO 13788 lze ověřit, že se počáteční vlhkost (cca 20 kg/m²) může z vnitřního pláště poměrně rychle odpařit. Do konce druhého roku po navržené rekonstrukci by byl vnitřní plášť střechy suchý, což je způsobeno jednak poměrně příznivými parametry vnitřního vzduchu (vysoká teplota, nízká vlhkost) a jednak zcela otevřeným povrchem perlitbetonu. Okamžité množství vodní páry odpařující se z vnitřního pláště je ale díky těmto faktorům dosti vysoké – například pro teplotu vnitřního vzduchu 35 °C a pro návrhovou venkovní teplotu v dané lokalitě -15 °C to může být až 0,8 g/(m².h). Uvedené množství vodní páry proniká přímo do větrané vzduchové vrstvy a může významným způsobem ovlivnit vlhkost proudícího vzduchu. Výpočtem by se proto mělo ověřit, zda nebude odpařená vodní pára opět kondenzovat a namrzat na chladném vnějším plášti. Pokud by podobný děj nastal, námraza by po roztátí mohla odkapávat dolů a znovu zvlhčovat vnitřní plášť. Účinnost

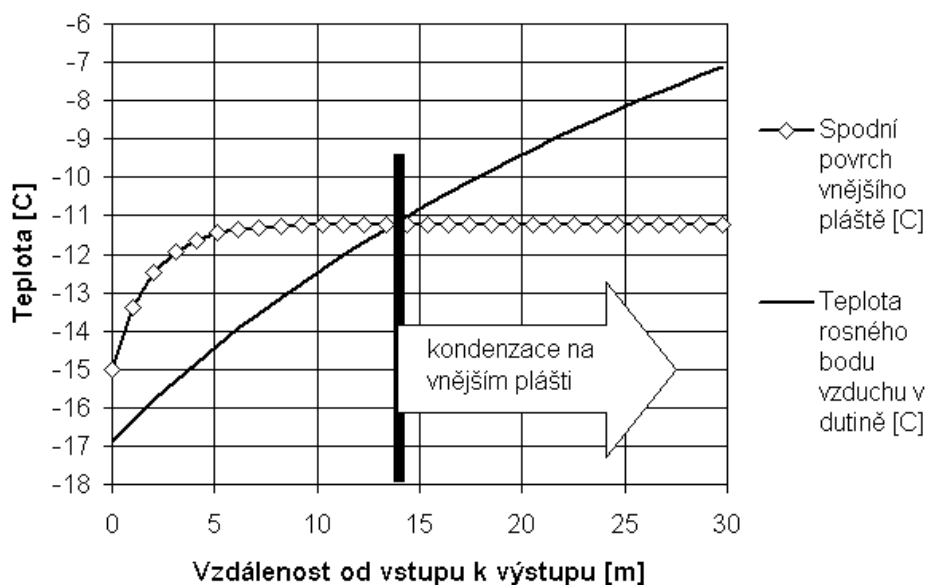
rekonstrukce by se tak značně snížila – nemluvě o riziku průniku odkapávající vody netěsnostmi ve vnitřním plášti až do interiéru.

Konkrétní výsledky výpočtu chování větrané vzduchové vrstvy podle upravené metodiky ČSN 730540-4 ukazují, že při nejméně příznivé venkovní teplotě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a typické teplotě vnitřního vzduchu $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ se relativní vlhkost vzduchu proudícího ve větrané vrstvě pohybuje mezi 41 a 84 % a je tedy daleko od normou požadovaného maxima 90 % (Obr. 1).



Obr. 1 Průběh teploty a relativní vlhkosti vzduchu proudícího ve větrané vrstvě

Podstatně nepříznivější výsledky ale získáme, pokud se stanoví teplota na spodním povrchu vnějšího pláště (zde hliníkové lamely). Na Obr. 2 je velmi zřetelně vidět, že ve více než polovině střechy lze očekávat kondenzaci (a namrzání) vodní páry na spodním líci velmi studených hliníkových lamel.



Obr. 2 Průběh teploty spodního povrchu vnějšího pláště a teploty rosného bodu vzduchu ve větrané vrstvě

Navržená rekonstrukce střešního pláště by tedy nebyla zcela optimální. Pro zcela suchý vnitřní plášť by fungovala bezchybně, ale během prvních dvou let po rekonstrukci by nebyla schopna spolehlivě odvádět vodní páru odpařující se z vlhkého vnitřního pláště. Riziko kumulovaných námraz na vnějším plášti a následného nárazového odtávání by bylo příliš velké – a to zvláště v situaci, kdy je požadována plná ochrana technologie pod střechou.

Návrh rekonstrukce střechy by měl být proto modifikován tak, aby byla zajištěna bezpečná funkce střechy i během prvních let po rekonstrukci. Místo hliníkových lamel se zanedbatelným tepelným odporem je nutné použít vnější plášť s vyšším tepelným odporem, např. sendvičové střešní panely s PUR jádrem tl. 30 mm a PVC hydroizolací. Díky tomuto opatření lze výrazným způsobem zvýšit teplotu vzduchu ve větrané vrstvě, přičemž současně lze snížit jeho relativní vlhkost, a to i při větší míře odpařování do vzduchové vrstvy (např. při venkovní návrhové teplotě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplotě vnitřního vzduchu $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ má vzduch ve větrané vrstvě průměrnou teplotu $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jeho relativní vlhkost se pohybuje od 10 do 84 % – do vzduchové vrstvy se přitom současně odpařuje značných $1,9\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ vodní páry)

Teplotu spodního povrchu vnějšího pláště lze rovněž zvýšit, a to výrazně, nad teplotu rosného bodu vzduchu ve větrané vrstvě. Nová skladba střechy by tedy měla vůči riziku kondenzace vodní páry značné rezervy.

Závěr

Modifikovanou metodiku ČSN 730540-4 pro výpočet dvoupplášťových konstrukcí s vlivem počáteční vlhkosti je možné použít pro rychlé hodnocení tepelně vlhkostního chování větrané vzduchové vrstvy a vnějšího pláště, a to především u rekonstrukcí větraných střech a stěn.

Umožní vyhodnotit vliv vlhkostního zatížení, které by jinak mohlo významně poškodit stavební konstrukci.

References:

- [1] KÜNZEL, M. – RADON, J. – SCHMIDT, T.: Program WUFI 4.0, Fraunhofer Institute for Building Physics, Holzkirchen 2005.
- [2] GRUNEWALD, J. – FECHNER, H. – NICOLAI, A.: Program DELPHIN 5, Institute for Building Climatology, Dresden University of Technology, 2006.
- [3] SVOBODA, Z.: Programy pro stavební fyziku, Svoboda Software, Kladno 1991-2009.
- [4] EN ISO 13788 Hygrothermal performance of building components and building elements – Estimation of internal surface temperature to avoid critical surface humidity and assessment of the risk of interstitial condensation, CEN 2000.
- [5] SVOBODA, Z.: Výpočtové hodnocení tepelně vlhkostního chování střech se zabudovanou vlhkostí, Sborník konference „Zastřešení budov“, str. 205-210, Brno 2003.
- [6] SVOBODA, Z.: Využití CFD modelování při návrhu dvoupplášťových střech, Sborník 4. konference „Simulace budov a techniky prostředí 2006“, str. 3-8, Praha 2006.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Tematický okruh

WP3

Využití odpadních hmot, recyklátů ve stavebnictví

Recyklovaná šterkodrt' stabilizovaná asfaltovou emulzí pro použití v pražcovém podloží

Ing. Petr Kučera, Ing. Martin Lidmila, Ph.D.

petr.kucera.2@fsv.cvut.cz, lidmila@fsv.cvut.cz

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra železničních staveb
Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice

Abstract

The ballast bed is one of the main parts of conventional railway track. Natural coarse crushed rock of grain size 32/63 mm is usually used for ballasted bed. The original ballast bed and a part of the subgrade are commonly removed during reconstruction and modernization of railway lines. The railway infrastructure operator strives to maximize the quantity of the recovered material, which is reused with or without modification. Only a less part of unusable recovered material is disposed in a landfill.

In the framework of research programme VZ 04 CEZ MSM 6840770005 Sustainable Construction, the possibilities of utilization of bitumen emulsions within ballast bed recycling procedures are solved. The Department of Railway Structures and the Department of Road Structures from the Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague cooperate on this research.

1. Úvod

Jednou ze součástí železničního svršku je tzv. kolejové lože. Je obvykle tvořeno hrubým drceným přírodním hutným kamenivem frakce 32/63. Při rekonstrukcích a modernizacích železničních tratí je zpravidla odstraňováno původní kolejové lože a část pražcového podloží. Takto vzniklý materiál se označuje jako výzisk. Snahou provozovatele státních drah je maximalizovat množství výzisku, který lze dále využít a to buď bez dalších úprav či po recyklaci resp. regeneraci. Jen s částí výzisku, kterou ani po recyklaci nelze dále využít, je nakládáno jako s odpadem a je skládkována.

V rámci výzkumného záměru VZ 04 CEZ MSM 6840770005 Udržitelná výstavba jsou ve spolupráci Katedry železničních staveb a Katedry silničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze zkoumány možnosti využití asfaltové emulze při procesech recyklace původního kolejového lože.

2. Recyklace výzisku

Kolejové lože zajišťuje polohu kolejového roštu a přenáší statické i dynamické zatížení, vznikající pojezdem drážních vozidel, do železničního spodku. Zároveň je při tom vystaveno povětrnostním vlivům. Tyto faktory mají za následek rozdílné vlastnosti kameniva vyzískaného z kolejového lože od původních vlastností nového kameniva. Dochází zde k rozpadu méně odolných zrn na drobnější frakce, mění se tvar zrn – dochází k obrušování ostrých hran, materiál je znečištěn v důsledku provozu a údržby trati.

V podmínkách železničních drah ČR je nejobvyklejším technologickým postupem pro recyklaci výzisku, výroba recyklované šterkodrtě. Recyklovaná šterkodrt' se nejčastěji používá do konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku a pro její použití jsou stanoveny

základní technické a ekologické požadavky v předpisu SŽDC S4 – Železniční spodek, Příloha 17 – Použití recyklované šterkodrti v konstrukčních vrstvách tělesa železničního spodku.

Recyklovaná šterkodrt se vyrábí pomocí drtících a třídících linek a jedná se o sypaninu frakce 0/32. Nevýhodou použití recyklované šterkodrti je její nižší užitná vlastnost (v některých parametrech) v porovnání se šterkodrtí, která byla vyrobena těžením nebo drcením nového přírodního kameniva. Jednou z možností jak zvýšit užitné vlastnosti recyklované šterkodrti v podmínkách železničních staveb a tím zvýšit její celkový využitelný podíl, je stabilizace vhodnými pojivy. Jako velice perspektivní se jeví využití asfaltových emulzí.

3. Asfaltové emulze

Technologie výroby asfaltových emulzí – emulgace - je známa již od počátku 20. století. Emulgace asfaltu představuje jednu z metod, jak dosáhnout snížení viskozity tohoto pojiva a tím zlepšení jeho zpracovatelnosti. Při emulgaci je asfalt rozptýlen ve vodě ve formě malých kapek o velikosti cca 0,001 až 0,02 mm. Obsah asfaltu v emulzi se pohybuje v rozmezí cca 40 – 70 %. Stabilitu emulze zajišťuje tzv. emulgátor, který se váže na povrch kapek asfaltu a vytváří zde elektrostatický náboj. Shodně nabitě částice se pak vzájemně odpuzují. V závislosti na typu použitého emulgátoru lze asfaltové emulze dělit na kationaktivní s kladným nábojem a anionaktivní se záporným nábojem. Kationaktivní emulze jsou vhodné především pro použití s kyselými kamenivy (žula, křemičitá kameniva), jejichž povrch má záporný náboj. Anionaktivní emulze jsou použitelné se zásaditými kamenivy (např. čedič). [1],[2].

V současnosti jsou asfaltové emulze běžně využívány k recyklacím netuhých vozovek za studena. Recyklace za studena lze provádět in-situ nebo za pomoci mobilních recyklačních základů. Při recyklaci in-situ jsou nejprve rozpojeny horní vrstvy vozovky do požadované hloubky. V případě nutnosti se dále provádí přidání přísad, nejčastěji kameniva. Volbou kameniva vhodné zrnitosti je možné upravit křivku zrnitosti výsledné směsi. Následuje dávkování pojiva resp. pojiv k recyklovanému materiálu a důkladné promísení směsi. Směs je dále rozprostřena do vrstvy požadované šířky a mocnosti a zhutněna. Při recyklaci na recyklační základně je materiál po rozpojení naložen a odvezen. Dávkování pojiva a míšení probíhá na základně. Hotová stavební směs je poté dovezena na stavbu, kde je rozprostřena a zhutněna. Volba technologie závisí mimo jiné na mocnosti a počtu odstraňovaných resp. nově pokládaných vrstev. Moderní frézy a recykléry umožňují rozpojovat vrstvy do hloubky až 500 mm při pracovní šířce cca 2500 mm. [3],[4].

V oblasti železničních staveb se recyklace za studena nevyužívá, přestože ji lze přirovnat k postupům používaným k technologiím zlepšených nebo stabilizovaných zemin. Lze předpokládat, že pro zřizování vrstev pražcového podloží z recyklované šterkodrti stmelené asfaltovou emulzí bude využito obdobné mechanizace jako pro recyklaci vozovek za studena. Zásadní odlišnost představuje použití dovezeného materiálu – recyklované šterkodrti – jako plniva stabilizované vrstvy. Vzhledem k tomu je nutné upravit postup prací. Podobně jako u recyklace za studena je možné uvažovat dvě varianty technologie; s míšením in-situ resp. na mobilní míchací základně. Navrhovaný technologický postup při míšení in-situ je následující:

- rozprostření dovezené recyklované šterkodrti a případných přísad na zemní plán,
- dávkování pojiva resp. pojiv a promísení se šterkodrtí,
- úprava vrstvy do požadované šířky a mocnosti,
- zhutnění.

Při míšení v mobilním míchacím zařízení je na zemní plán rozprostírána již hotová stavební směs.

4. Recyklovaná šterkodrt' stabilizovaná asfaltovou emulzí

Současná předpisová základna v oblasti pro navrhování a provádění staveb státních drah nezmiňuje technologie využívající asfaltové emulze jako pojivo pro stmelené vrstvy pražcového podloží. Vzhledem k technologii výroby a předpokládaným užitným vlastnostem těchto vrstev však lze hledat analogii v oblasti stabilizací. Podle předpisu [5], přílohy 13 je při návrhu stabilizace nutné prokázat především dosažení požadované pevnosti v tlaku a odolnosti proti mrazu a vodě. Pro počáteční fázi výzkumu byly zvoleny za prioritní tyto laboratorní zkoušky:

- pevnost v prostém tlaku zkušebních těles po 3,7,14 a 28 dnech zrání,
- odolnost proti působení vody a mrazu,
- propustnost.

Na základě zkušeností pracovníků Katedry silničních staveb bylo rozhodnuto v této ověřovací fázi projektu, sledovat pouze jeden typ recyklované šterkodrtě a jednu recepturu.

4.1 Návrh receptury

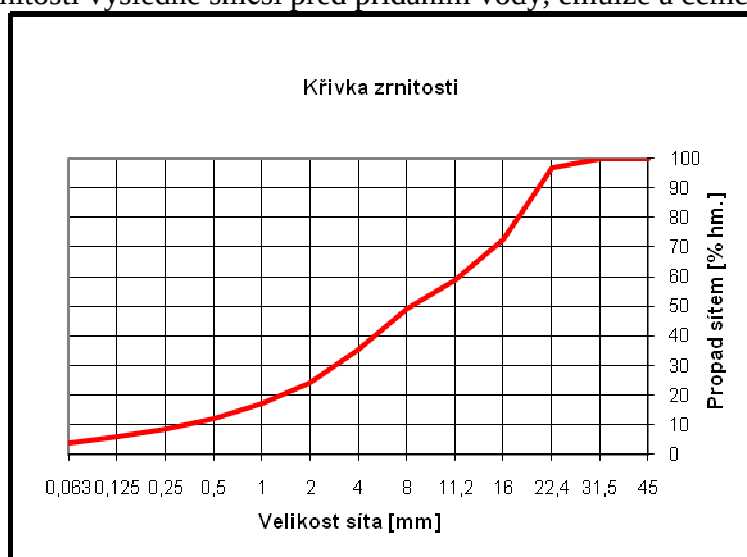
Pro pilotní laboratorní zkoušky byla zvolena recyklovaná šterkodrt' odebraná z deponie stavby „Optimalizace trati Beroun – Zbiroh“. Jednalo se o recyklovanou šterkodrt' frakce 0/32, která byla vyrobena z pročištěného a předrceného výzisku, vytěženého z přilehlého traťového úseku. Dále byl odebrán vzorek podsítného z procesu čištění (třídění) vytěženého výzisku. Na základě laboratorních zkoušek (vlhkost, zrnitost, Proctor standard) byla navrženo následující složení receptury vyjádřené v hmotnostních procentech:

- 69,6 % recyklované šterkodrti frakce 0/32,
- 17,4 % materiálu vzniklého jako podsítné při čištění výzisku z kolejového lože,
- 5 % vody,
- 5 % asfaltové emulze Eurovia Emultech P,
- 3 % portlandského cementu CEM II/B-S 32,5R.

Výsledek zkoušky zrnitosti výsledné směsi recyklované šterkodrti frakce 0/32 (69,6%) a podsítného frakce 0/8 (17,4%) je uveden v grafu 1.

Navržená receptura zohledňuje zkušenosti z oblasti silničních staveb, kde se doporučuje kombinovat jako pojivo asfaltové emulze a cement.

Graf 1 Křivka zrnitosti výsledné směsi před přidáním vody, emulze a cementu



4.2 Výroba zkušebních těles

Podle uvedené receptury byla vyrobena zkušební tělesa pro laboratorní zkoušky. Celkem bylo vyrobeno 33 zkušebních těles o průměru 100 mm a výšce 120 mm. Tělesa byla vyrobena pomocí přístroje a metodiky pro Proctorovu standardní zkoušku. Míchání směsi pro výrobu zkušebních těles probíhalo následujícím způsobem:

- vysušená recyklovaná šterkodrt' frakce 0/32 byla zbavena zrn frakce 22/32,
- do speciálního míchacího zařízení byla nasypána upravená recyklovaná šterkodrt',
- nasypán podsítný materiál,
- přidán cement a provedeno promíchání za sucha,
- přidána záměsová voda a provedeno promíchání,
- za stálého míchání byla přidána dávka emulze a dokončeno míchání.

Po dokončení míchání byla zkušební tělesa do 15 minut vyrobena. Po vyjmutí z hutnicí formy byla tělesa okamžitě vložena do PVC obalů a neprodyšně uzavřena.

5. Laboratorní zkoušky

Z plánovaných laboratorních zkoušek na vyrobených zkušebních tělesech byly zatím provedeny pouze zkoušky pevnosti v prostém tlaku po 3, 7 a 14 dnech zrání. Postup zkoušek pevnosti v prostém tlaku byl v základních bodech zvolen na základě postupů uvedených v normách ČSN EN 12390-3, ČSN EN 13-286-41 a ČSN 73 6125. Žádná z uvedených norem plně nevyhovuje pro aplikaci asfaltové emulze jako pojiva v konstrukčních vrstvách železničních staveb, a proto byl zvolen postup vlastní. Pro stanovení vlivu podmínek zrání na pevnost v tlaku byla část zkušebních těles ponechána po celou dobu zrání v neprodyšném PVC obalu, označení A. Druhá část byla po 1 dnu odkryta a následně zrála v laboratorních podmínkách s možností vysychání, označení B. Takto vznikly dvě skupiny těles, lišících se délkou a podmínkami zrání (viz tab.1). V každé skupině byla zkoušena vždy 3 tělesa.

Tab. 1 Přehled délky a typu zrání zkušebních těles

Skupina	Celková doba zrání	Z toho	
		v neprodyšném obalu	s možností vysychání
A	3	3	0
B		1	2
A	7	7	0
B		1	6
A	14	14	0

Před vlastní zkouškou byla zkušební tělesa zvážena, zjištěny rozměry a provedeno koncování podstav pomocí sádky. Pro zkoušky pevnosti v prostém tlaku na zkušebních tělesech byl použit lis typu ZD 20 výrobce VEB Werkstoffprüfmaschinen Leipzig. Jednotlivá zkušební tělesa byla plynule zatěžována až do porušení. V průběhu zatěžovacích zkoušek byla měřena změna výšky zkušebních těles a velikost zatížení s přesností 200 N. Dosažené výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Pevnost v prostém tlaku zkušebních těles

Skupina	Celková doba zrání	Pevnost v prostém tlaku v MPa			
		těleso č. 1	těleso č. 2	těleso č. 3	Průměr
A	3	0,82	0,86	0,64	0,77
B		1,44	1,45	1,35	1,41
A	7	1,13	0,99	1,16	1,09
B		2,23	2,09	2,08	2,13
A	14	1,2	1,26	1,23	1,23

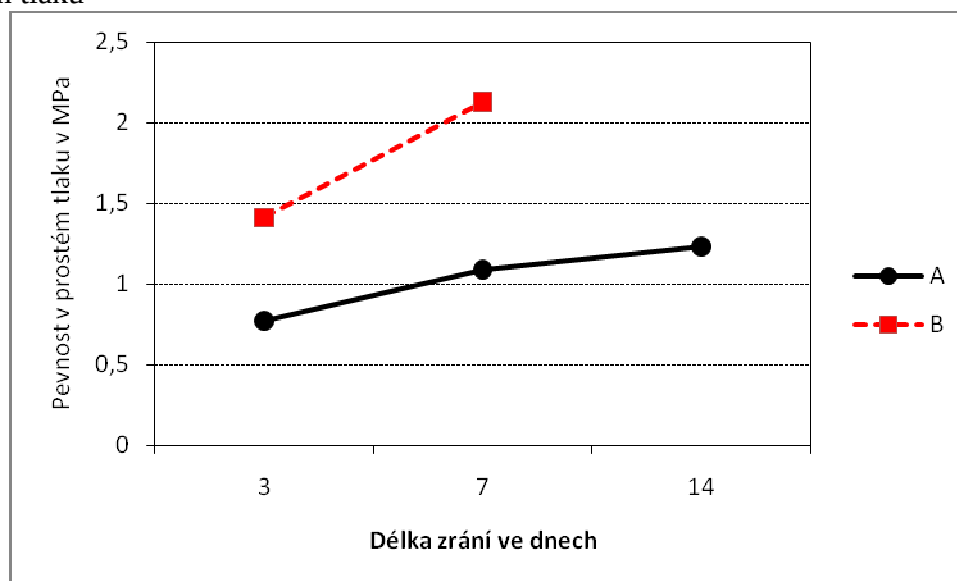
6. Zhodnocení výsledků

Pro každou skupinu zkušebních těles liší se podmínkami a dobou zrání byla vypočítána průměrná hodnota pevnosti v tlaku (viz tab. 2 a graf 2). Z grafu je patrný nárůst pevnosti zkušebních těles obou skupin v čase. Zároveň je velmi zřetelný vliv podmínek zrání na pevnost v tlaku, která je u těles zrajících po celou dobu bez možnosti vysychání přibližně poloviční. Tato skutečnost může být způsobena tím, že v podmínkách kde je bráněno vysychání vody ze zkušebního tělesa, dochází k pomalejšímu vyštěpení asfaltové emulze.

Předpis SŽDC S4 uvádí jako jeden ze základních návrhových parametrů stabilizací pevnost v tlaku po 28 dnech zrání zkušebních těles. Pro vrstvy, které jsou součástí tzv. aktivní zóny je požadována pevnost v tlaku 2,5 MPa. Pro vrstvy podloží a zemního tělesa, je požadována hodnota 1,0 MPa.

Po 14 dnech zrání zkušebních těles lze konstatovat, že s vysokou mírou pravděpodobnosti bude po 28 dnech dosaženo požadované pevnosti 2,5 MPa.

Graf 2 Vliv délky zrání a způsob uložení zkušebních těles na průměrnou hodnotu pevnosti v prostém tlaku



7. Závěr

Na základě dílčích výsledků je možno konstatovat, že:

- a) aplikací asfaltové emulze lze výrazně zlepšit deformační charekteristiky vrstvy z recyklované šterkodrtě,
- b) pro aplikaci asfaltové emulze nejsou stanoveny v oblasti železničního stavitelství jasné normy, požadavky a postupy,
- c) navržení předpisové základny pro použití asfaltových emulzí bude klíčové pro její další rozvoj v praxi.

Aplikací asfaltové emulze do recyklové šterkodrti je možno výrazně rozšířit využití recyklované šterkodrti a dosáhnout tak vyšších objemů zpětného využití materiálů při rekonstrukci železničních tratí.

V dalších etapách je nutno se zaměřit na dlouhodobé chování takových to materiálů především s ohledem na propustnost a odolnost proti mrazu. Současně bude výzkum zaměřen na možnost náhrady cementového pojiva jiným levnějším materiálem.

References:

- [1] <http://www.vialit.at>
- [2] <http://www.surface.akzonobel.com>
- [3] <http://www.baltom.cz/zastudena.html>
- [4] <http://www.wirtgen.de>
- [5] SŽDC S4 Železniční spodek, Praha, 2008

This research has been supported by MSM 6840770005.

Posouzení vlivu času a teploty na vybrané vlastnosti směsí recyklace za studena

Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Bc. Zuzana Formanová

petr.mondschein@fsv.cvut.cz

Fakulta stavební, ČVUT v Praze, katedra silničních staveb
Thákurova 7, 166 29, Praha 6

Abstract

The main theme of this work is ever more important problem of recycling materials, which are used in the layers of pavements. The aim of practical part was contributing to establishment of demands on minimum indirect tensile strength after 14 days, that should be formulated in currently prepared TP. This TP (so far without edition number) is focused on recycling of pavement layers and it should early substitute the TP 126, TP 134 and TP 162. Because of that more than 60 samples of two different mixtures were made and they were later used for systematical measuring of the indirect tensile strength and the stiffness modulus namely after 4, 7, 14 and 28 days (and also in the temperatures of 5°C and 15°C). Finally the general output should be the evaluation of the influence of the time and conditions of the ageing (some samples were also placed in water) to fundamental characteristics of the mixture, that are exactly the indirect tensile strength and the stiffness modulus.

1. Úvod

Recyklace stavebních materiálů je jedním z důležitých nástrojů pro zachování trvale udržitelného rozvoje. Zásoby neobnovitelných zdrojů nejsou nevyčerpatelné a recyklace materiálů je jednou z cest snížit nároky stavebnictví a zejména snížit nároky na množství materiálů spotřebovávaných v silničním stavitelství, kde se zpracovávají tisíce tun zrnitých materiálů. Základním předpokladem recyklace je požadavek, že se nově zhotovená konstrukční vrstva z recyklovaných materiálů bude svými funkčními a užitnými vlastnostmi přibližovat vlastnostem konstrukční vrstvy vybudované z nových materiálů nebo s ní bude zaměnitelná.

Příznivé dopady využívání recyklace jsou zřejmé:

- snižování objemu odpadů a finančních nákladů na skládkování;
- omezování čerpání přírodních neobnovitelných zdrojů (kamenivo);
- úspora energií na dopravě a v procesu výroby (elektřina, pohonné hmoty, topná média);
- snížení exhalací z dopravy materiálů (výfukové plyny, prach);
- snižování dalších nežádoucích vlivů (hluk, zatížení komunikací, doba výstavby)

Odbornou veřejnost je nutné neustále přesvědčovat o výhodách využívání recyklovaných materiálů. Tyto technologie však musí mít v souladu svůj technický přínos a příslušný ekonomický efekt, což neznamená vždy menší nebo srovnatelné prvotní investiční náklady, ale snížení celkových nákladů v celém cyklu životnosti konstrukce vozovky.

2. Technologie recyklace v silničním stavitelství a předpisová základna

V silničním stavitelství se používají dva základní principy využití znovuzískaného materiálu z konstrukce vozovky a to:

- znovu zpracování recyklovaného materiálu za horka nebo za tepla,
- znovu zpracování recyklovaného materiálu za studena.

Oba postupy se dají provádět buď v obalovně či v míchacím centru nebo přímo na místě zpracování. Znovu zpracování získaného materiálu na místě má velké výhody ve výrazném snížení finančních nákladů za dopravu materiálů, silniční síť také není zatížena dopravou, kterou generuje stavba. V technologii recyklace na místě je nutné dbát na co nejvyšší homogenitu materiálů a kvalitu prováděných prací.

Materiál pro recyklaci se získává z původních vozovek vybouráním celé konstrukce vozovky nebo jejích jednotlivých vrstev. Provádí se většinou strojně pomocí ramenových demoličních výložníků, vylamovacích, drticích a stříhacích nůžkových čelistí, strhávacích háků, různých bouracích a štípacích kleští nebo pomocí nesených hydraulických bouracích kladiv. Dále je materiál možno získat frézováním asfaltových vrstev. Získaný materiál se dále upravuje v různých třídičích, drticích nebo v recyklačních soupravách. Pro nejvhodnější použití R-materiálu je nutné jeho třídění z hlediska maximální velikosti použitého zrna a použitého asfaltového pojiva. Frézovaný úsek by měl být vždy homogenní. Vzhledem ke kvalitě našich vozovek, pasportizace a technologického povědomí stavebních firem je u nás tento přístup zatím nerealizovatelný.

Problematika technologie studené recyklace byla a je řešena v resortních předpisech Ministerstva dopravy České republiky. V minulosti se technologií recyklace za studena zabývaly následující technické podmínky:

- TP 111 - Přímé zpracování recyklovatelného asfaltového materiálu do vozovek,
- TP 112 - Studené pěnoasfaltové vrstvy,
- TP 126 - Použití R-materiálu smícháním s kamenivem a asfaltovou pěnou pro PK,
- TP 134 - Údržba a opravy vozovek s použitím R-mat. obalovaného za studena asfaltovou emulzí a cementem,
- TP 162 - Údržba a opravy vozovek s použitím R-materiálu obalovaného za studena asfaltovou emulzí a cementem.

Tento soubor předpisů byl značně nepřehledný, v některých pasážích se předpisy zdvojovaly a používaly značné množství značení materiálů. Tyto nedostatky byly odstraněny vydáním Technických podmínek 208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena, které tyto předpisy spojily v jeden viz tabulka 2 [1]. V tomto předpisu jsou zavedeny kvalitativní parametry pro různé druhy směsí viz tabulka 1. Získané výsledky z experimentu, který popisuje tento článek, sloužily jako jeden z podkladů pro návrh příslušných parametrů. V TP byly navrženy kratší doby zrání vůči doposud používaným, které jsou příznivější vzhledem k realizacím staveb.

Vlastnost	Požadavky na směsi s použitím pojiva	
	cement+asfaltová emulze	asfaltová emulze
Minimální pevnost v příčném tahu R_{it} v MPa po 7 dnech	0,3 – 0,7 MPa	min. 0,3 MPa
Odolnost proti vodě min. (7 dní na vzduchu + 7 dní ve vodě)	75 % pevnosti R_{it}	60 % pevnosti R_{it}

Tab. 1 Pevnostní charakteristiky při 15°C pro směsi studené recyklace za použití asfaltové emulze a cementu

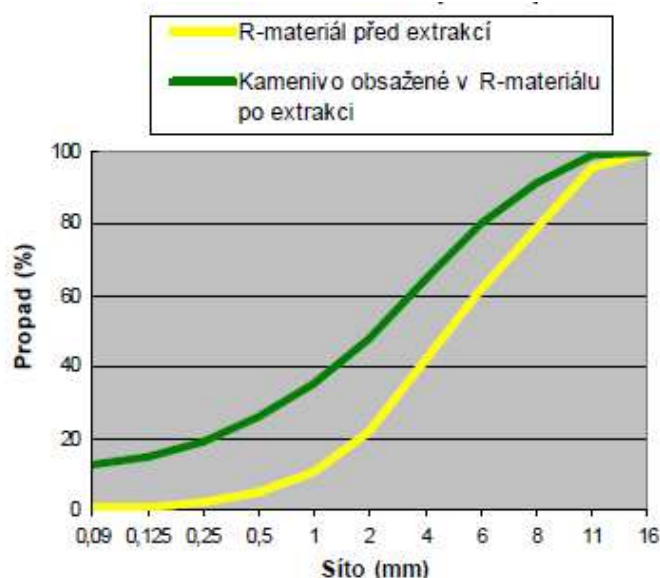
3. Experiment

Laboratorní zkoušky byly prováděny na R-materiálu 0/11, který byl získán z obalovny firmy PSVS. Granulometrie recyklátu je zobrazena na obrázku č. 1. Čára zrnitosti je vyjádřena na materiálu obaleném asfaltovým pojivem, tak i na obnaženém kamenivu tj. kamenivu po extrakci, kdy bylo kamenivo zbaveno asfaltového pojiva. R-materiál obsahoval cca 6,6 % asfaltového pojiva.

Rozdělení podle druhu pojiva	Technologie studené recyklace pro vrstvy vozovek	
	Recyklace na místě	Recyklace v centru
Bez pojiva	Reprofilace a homogenizace nestmelené vrstvy s možností přidání dalšího materiálu za účelem zlepšení zrnitosti Původní předpis: TP 111	Použití recyklovaného materiálu pro nestmelené vrstvy Původní předpis: TP 111
Cement	Recyklace vrstev, které neobsahují asfaltové pojivo	Použití recyklovaného materiálu, který neobsahuje asfaltové pojivo
Jiné hydraulické pojivo		
Asf. emulze a cement	Společná recyklace vrstev, které obsahují asfaltové pojivo a vrstev bez asfaltového pojiva Původní předpis: TP 162	Použití směsi recyklovaného kameniva a R-materiálu ¹⁾ Původní předpis: TP 134
Zpěněný asfalt a cement		
Asf. emulze	Recyklace vrstev asfaltového krytu	Použití R-materiálu pro vrstvy asfaltového krytu Původní předpis: TP 126
Zpěněný asfalt		

¹⁾ Existuje též alternativa ohřevu směsi parou, která se provádí dle postupu vypracovaného zhotovitelem. Viz též návrh TP Konstrukční vrstvy vozovek s použitím R-materiálu ohřátého propařováním a obalovaného asfaltovou emulzí (resp. pěnou) a cementem (IMOS Brno, a.s.)

Tab. 2 Přehled technologií studené recyklace



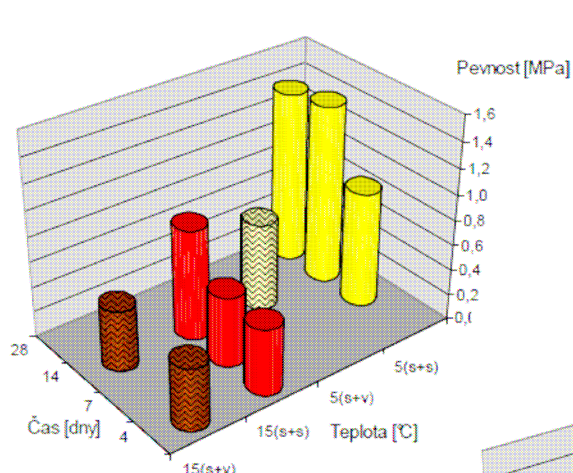
Obr. 1 Složení použitého R-materiálu

V tabulce č. 3 jsou navrženy dvě směsi studené recyklace. U směsi F4 byl použit portlandský cement třídy R 32,5. Pro naše laboratorní testy byla použita pro obě vyrobené směsi pomaluštěopná kationaktivní asfaltová emulze značky EVATECH, jejímž dodavatelem byla společnost EUROVIA. Na obou typech směsí byly stanoveny pevnosti v příčném tahu a

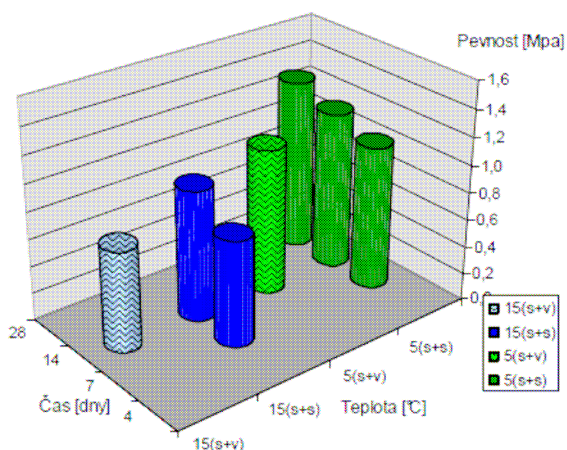
moduly tuhosti a to za různých podmínek zrání a v různých časech zrání. Výsledky zkoušek jsou souhrnně uvedeny na obrázcích 2 až 5. Obě směsi se navzájem lišily v použití cementu a množství asfaltové emulze.

Složení směsi	F1 v %	F4 v %
Voda	4,0	4,5
Cement	0,0	3,0
Emulze	3,5	2,5
R-materiál 0/11	92,5	90,0
Celková navážka	100,0	100,0

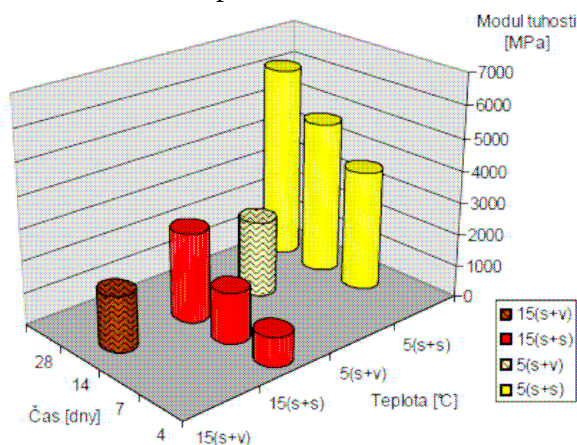
Tab. 3 Složení směsí studené recyklace



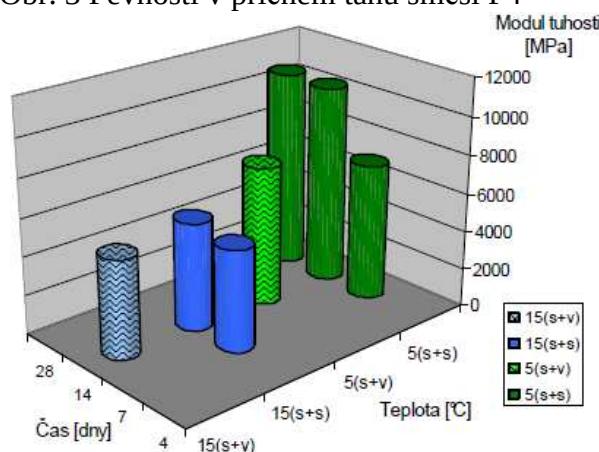
Obr. 2 Pevnosti v příčném tahu směsi F1



Obr. 3 Pevnosti v příčném tahu směsi F4



Obr. 4 Moduly tuhosti směsi F1



Obr. 5 Moduly tuhosti směsi F4

Na grafech jsou vyjádřeny hodnoty příslušných veličin v závislosti na zkušební teplotě, podmínkách zrání (osa x), kdy (s+s) znamená, že tělesa zrála jen na vzduchu, (s+v) znamená, že tělesa zrála na vzduchu a ve vodě, a době zrání.

Podle očekávání dochází mezi sedmým a čtrnáctým dnem ještě k nezanedbatelnému nárůstu pevnosti, naopak výsledky měření po 28 dnech se od čtrnáctidenní pevnosti (především u směsi F1) liší pouze nepatrně. Zrání ve vodě je podle očekávání pro recyklovanou směs naprosto nevhodné, a proto vychází tyto hodnoty ještě nižší než hodnoty po sedmi dnech. Hodnoty při teplotě 15 °C jsou průměrně o 30% nižší než hodnoty při 5 °C. U naprosté většiny těles obou směsí vzniká čistá poměrně rovná prasklina, v oblastech blízkých

zatěžovacím pásům vznikají pouze malé trojúhelníkové praskliny, a proto by se typ porušení dal klasifikovat jako „rovná podélná prasklina“. Ojedinele se u některých těles objevil typ „kombinace“ s většími poruchami v oblasti blízko zatěžovacím pásům.

Grafy znázorňují získané hodnoty modulu tuhosti přičemž z procentuálního vyjádření je jasné patrné, že mezi 7. a 14. dnem zrání dochází opět k nezanedbatelnému nárůstu modulu tuhosti, což odpovídá dříve uvedenému tvrzení, že hodnoty zjištěné po sedmi dnech zrání dávají pouze přibližnou představu o konečných vlastnostech směsi. Stejně jako při měření pevnosti v příčném tahu byl modul tuhosti zjišťován i při stáří 28 dní a u směsí stmelených pouze asfaltovou emulzí i po 4 dnech. Uvedené grafy ukazují, že hodnota modulu tuhosti mezi 14. a 28. dnem roste minimálně, a to především u směsi F4.



Obr. 5 Tělesa po zkoušce pevnosti v příčném tahu po 7 dnech **F1** a **F4**

4. Závěr

V experimentu bylo více jak 60 zkušebních těles podrobeno zkoušce modulu tuhosti na přístroji NAT a zkoušce pevnosti v příčném tahu. Tato data nám dávají ucelenou představu o změně fyzikálně-mechanických vlastností studených směsí v průběhu času, za různých teplot a podmínek zrání. V průběhu času hodnota pevnosti v příčném tahu i moduly tuhosti narůstají, zatímco s vyšší teplotou tyto hodnoty klesají. Zrání ve vodě je pro směsi studené recyklace nepříznivé, hodnoty pevnosti i modulu tuhosti po 14 dnech (7dní vzduch + 7 dní voda) vycházejí nižší než hodnoty po 7 dnech zrání na vzduchu. Požadavky navrhovaného TP jsou v souladu s naměřenými hodnotami. Požadovanou sedmidenní pevnost směsí stmelených asfaltovou emulzí i cementem 0,3 MPa splňuje směs F4 se slušnou rezervou, u směsí obsahujících pouze asfaltovou emulzi je předepsána hodnota čtyřdenní pevnosti 0,30 MPa, čemuž průměrná hodnota čtyřdenní pevnosti směsi F1 (0,51 MPa) bez problémů vyhoví. Námi naměřené hodnoty by spíše poukazovaly na to, že by požadavky mohly být i přísnější. Hodnoty vlastností směsí po 14 dnech by se teprve měly při dostatečném počtu výsledků stanovit. Lze konstatovat, že mezi 14. a 28. dnem nedochází už k tak výraznému nárůstu pevnosti a modulu tuhosti. Proto by se zavedení čtrnáctidenní pevnosti mohlo jevit jako velmi užitečné.

References:

- [1] ZAJÍČEK, J.: *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena* MD ČR 2006, str. č. 3.
- [2] FORMANOVÁ, Z.: *Posouzení vlivu času a teploty na vybrané vlastnosti směsí recyklace za studena* SVOČ, 2009, str. č. 10-21.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Využití vedlejších energetických produktů na dopravních stavbách v České republice

Mgr. Václav Mráz

vac.lav.mraz@cvut.fsv.cz

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra geotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

Secondary energy products (VEP), generated during coal combustion in the flue gas desulphurization especially in thermal power plants are generally in Europe and the Czech Republic used to improve the material properties of unsuitable materials in the construction of highway construction. The energy by-products such as fly ash, ash, slag, cinder, energogypsum and humidified mixture of these products mixed with varying proportions with a binder (lime and / or cement), known as stabilized, agglomerate, etc. This article describes the current use of energy by-products (VEP) to transport construction implemented in the CR. In short, there are presented various thermal power stations and waste their energy by-products are discussed while the current technical conditions and standards for the use of VEP in a traffic buildings.

Vedlejší energetické produkty (VEP), vznikající při spalování uhlí a v průběhu odsíření spalin zejména v tepelných elektrárnách, jsou obecně v Evropě a České republice používaným materiálem na zlepšení vlastností nevhodných materiálů při výstavbě dopravních staveb. K vedlejším energetickým produktům patří například popílek, popel, škvára, struska, energosádrovec a zvlhčené směsi těchto produktů zamíchané v různém poměru s pojivem (vápno a/nebo cementem) označované jako stabilizát, aglomerát aj. V tomto článku je popsáno současné využití vedlejších energetických produktů (VEP) na realizovaných dopravních stavbách v ČR. Stručně jsou zde představeny jednotlivé tepelné elektrárny a nakládání s jejich vedlejšími energetickými produkty, dále jsou zmíněny současně platné technické podmínky a normy pro použití VEP na dopravních stavbách.

1 Úvod

Vedlejšími energetickými produkty (VEP) se rozumí tuhé zbytky vznikající při spalování uhlí v kotlích elektráren, tepláren či výtopen. Protože v ČR pracuje poměrně mnoho zdrojů spalujících uhlí, je vedlejších energetických surovin na trhu nadbytek. I když jsou levnější než přírodní suroviny a jejich zpracování je pro stavební firmy výhodné, nejsou producenti elektřiny a tepla schopni prodat všechno vyrobené množství a přebytky se proto musí ukládat na vhodná místa jako rekultivační materiál nebo případně jako odpad.

Vzhledem k přísným pravidlům pro ochranu životního prostředí bude stále složitější a finančně náročnější tyto produkty ukládat na skládky. Mnohem lepší cestou se ukazuje jejich využívání jako suroviny pro další zpracování a výrobu.

V následujících letech lze předpokládat další nárůst dopravní intenzity v České republice a tato skutečnost povede k rozvoji a obnově v oblasti silniční infrastruktury. Česká republika jako členský stát EU je vázán směrnici a nařízeními Unie, tímto se zavazuje k aktivnímu přístupu v oblasti bezodpadové technologie.

2 Zdroje složek vedlejších energetických produktů

Skupina ČEZ, a.s., provozuje na území Čech a Moravy 15 uhelných elektráren. Ty prošly v posledních dvaceti letech programem postupné modernizace. V elektrárnách Skupiny ČEZ jsou používány dvě neregenerativní metody odsiřování kouřových plynů z kotlů, a to mokrá metoda, při níž jsou spaliny vedeny přes mokrou vápencovou vypírku, a tzv. polosuchá metoda, při které jsou škodliviny ze spalin absorbovány na částicích vápenné suspenze a částice takto vzniklého produktu jsou následně vlivem tepla kouřových plynů usušeny.

Jedním z vedlejších certifikovaných výrobků **Elektráren Pruněřov** je tzv. stabilizát, který se používá jako zásypový materiál pro vyplňování vytěžených důlních prostor a tvarové úpravy reliéfu krajiny při rekultivacích.

Vedlejší energetické produkty vznikající v **Elektrárnách Tušimice** jsou certifikované výrobky, které lze využít ke stavebním účelům (popílek, struska a deponát). Deponát je dopravován do vytěžených prostor k revitalizaci krajiny po důlní činnosti, certifikovaná struska bude využívána i k asanaci bývalého složiště Tušimice.

Vedlejší energetické produkty vznikající v **Elektrárně Mělník** slouží především při výrobě sádrokartonových desek (energósádovec) a dále jako surovina při výrobě stavebních hmot (popílek) a jako podkladový materiál pro stavbu silnic a zpevněných ploch (aglomerát).

Elektrárna Tisová je v současné době držitelem tří platných certifikátů: na stabilizát z fluidního popela k vyplňování vytěžených povrchových důlních prostor, na stabilizát z popela a energósádovce a na stabilizát z fluidního popela k užití pro zemní konstrukce a podkladové vrstvy staveb pozemních komunikací.

V **Elektrárně Počerady** se z energósádovce produkuje briketovaný sádrovec, který se prodává do cementáren pro výrobu cementu, a sypaný sádrovec, který je možné použít také pro výrobu cementu a navíc se zkouší jeho využití při výrobě průmyslových hnojiv. Dalším produktem je sádra, ze které se vyrábějí ve společném podniku s firmou KNAUF sádrokartonové desky. Popílek je základní surovinou pro výrobu stabilizátu a granulátu, který se využívá k rekultivaci odkaliště a dále se odváží do Mostecké uhelné, a. s., která ho využívá jako výplňkový materiál do vyuhlených šachet. Popílek v menší míře slouží i jako přísada při výrobě betonových směsí.

V **Elektrárně Hodonín** se vyrábí tři druhy vedlejších energetických produktů, z toho dva certifikované. První certifikovaným produktem je suchý ložový popel, který pod názvem RESAN EHO částečně nahrazuje písek a zeminu a dá se využít pro zásypy výkopů, obsypy inženýrských sítí, podkladové vrstvy komunikací, výrobu betonových směsí a jako přídatek rekultivačního substrátu. Druhým certifikovaným produktem je stabilizát REHAS EHO a REHAS II EHO. Jde o popelovou maltu (zvlhčená popelová směs), kterou lze využít pro výstavbu hrázových těles, vyrovnávání terénních nerovností před rekultivací skládek, jako podložní materiál silnic, umělé kamenivo, přídavná směs pro výrobu cihel a podkladový materiál pod základy při stavbě domů. Dosud necertifikovaným – i když zcela bezpečným – produktem je úletový popílek; ten je možné využít pro výrobu betonových směsí, cemento-popílkové suspenze a jako přídatek do surovin k výrobě hurd.

Vedlejší energetické produkty vznikající v **Elektrárně Chvaletice** jsou využívány ve stavebnictví jako materiál pro základy staveb, silnic a železnic, pro úpravy krajiny, terénů a stavby protizáplavových valů. Využíváním těchto certifikovaných produktů dochází k nezanedbatelným úsporám přírodních surovin, hlavně pro stavebnictví (kamenivo, cihlářská hlína, přírodní sádrovec, písky). Stabilizát je ukládán na složiště, kde je rozhrnován a hutněn.

V **Elektrárně Ledvice** se odpady z procesu spalování a odsíření také přepracovávají na druhotnou surovinu – stabilizát – využitelnou zejména ve stavebnictví. Kromě jiného slouží i pro rekultivaci vytěženého lomu Fučík.

Jedním z příkladů užití přepracovaných odpadů z **Elektráren Poříčí** je struskopopílkové odkaliště Debrné. Tam, kde dříve existovalo pouze odkaliště s černou směsí vody a popílku, je dnes dopravován popílek z fluidních kotlů potrubím ve formě zahuštěné směsi, která ve styku s ovzduším homogenizuje a tuhne v nepropustný stabilizát. Certifikovaný stabilizát se zde používá pro tvarové úpravy krajiny.

Elektrárna Dětmárovice vyprodukuje ročně cca 250 000 tun vedlejších energetických produktů. Z tohoto množství je 80 % jemného popele, který je certifikován a ze 70 % využíván ve stavebnictví jako přísada do cementu nebo betonu. Zbytek je ukládán na úložiště jako odpad. Struska, jíž je z celkové produkce popelovin okolo 10 %, je využívána k výrobě cihel a přebytky jsou rovněž ukládány, stejně jako energosádrovec.

Energetika Vítkovice je držitelem certifikátu pro využití popílku a škváry ke stavebním účelům. Hydrosměs je čerpána do popílkových nádrží mimo areál teplárny a po odvodnění je popílek těžen a využíván odběrateli k rekultivační činnosti nebo ukládán do odvalu.

3 Podmínky použití VEP

V současné době je připravována revize ČSN 73 6133:1998 Návrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací, kde je definována možnost použití popílku jako alternativního materiálu v určité stavební konstrukci.

Dle ČSN 73 6133 je dovoleno použít plavený popílek ze složišť po dostatečném odvodnění nebo popílek z odběrných míst přímo v elektrárnách a teplárnách. Popílek těžený ve složišti musí být těžen výhradně nad hladinou vody.

Rovněž je dovoleno použít výrobky z popílku – produktů spalování uhlí v klasických nebo fluidních topeništích energetických, teplárenských, nebo jiných zdrojů, jejichž vlastnosti jsou prokázány podle příslušných předpisů (Zákon č. 22/1997 Sb. v platném znění) jako výrobky pro variantní využití, upravené předepsaným technologickým výrobním postupem (např. granulací, aglomerací).

Neupravený a upravený popílek pojivem určený do násypu, zhutněný na míru zhutnění min. $D = 95 \%$, musí mít poměr únosnosti min CBR_{10} . Pórovitost zhutněného popílku při zhutnění na $\rho_{d,max}$ energií Proctorovy standardní zkoušky podle ČSN EN 13286-2, musí být menší nebo rovna 65 %.

Neupravený nebo upravený popílek nelze použít do té části zemního tělesa, do níž zasahuje, nebo může zasahovat hladina podzemní vody. Tedy tam, kde výška násypu (bez vozovky) je menší než 0,5 m a kde je hladina podzemní vody v úrovni podloží násypu a vyšší. Neplatí pro dočasné a účelové (lesní a polní cesty) komunikace.

Proti vzlínivosti vody z podloží násypu je nutné násyp z popílku chránit, konečnou úpravu nelze ponechat vystavenou účinkům povětrnosti a musí být chráněna zejména proti působení mrazu a eroze.

K oddělení popílku v násypu od podloží s mělkou hladinou podzemní vody je nutné provést těsnicí vrstvu.

I když je celková stabilita násypu ze zhutněného popílku dostatečná, doporučuje se nejméně po ukončení výšky násypu přibližně 4 m vybudovat konstrukční ztužující vrstvu. Doporučuje se provedení této vrstvy z popílku upraveného pojivem.

Pokud neupravený zhutněný popílek nezaručuje dostatečně stabilní násyp, musí se podle zásad konstrukce vrstevnatého násypu střídat konstrukční vrstvy z popílku s vrstvami ztužujícími z vhodné zeminy charakteru mechanicky upravené zeminy nebo s vrstvami popílku tloušťky přibližně 0,15 m až 0,2 m upravenými pojivem podle ČSN EN 14227-14. Vzájemný poměr tlouštěk vrstev musí být v návrhu volen tak, aby byla zaručena stabilita

zemního tělesa v každé fázi výstavby. Místo vrstevnatého násypu je možné násyp z popílku vybudovat jako vyztužený pomocí geosyntetik.

Z rezortních předpisů pro provádění a pro kontrolu kvality prací (technické podmínky, technické kvalitativní podmínky), které pojednávají o použitelnosti popílku nebo např. o jeho alternativním použití v konkrétním konstrukčním prvku dopravní stavby můžeme jmenovat TP 93 „Technické podmínky – Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů“ (Ministerstvo dopravy 2003). Tyto technické podmínky platí pro využití popílků a popelů, fluidních popílků ze zbytků po spalování uhlí a výrobků z nich na stavbu pozemních komunikací. Podle TP 93 se kontroluje kvalita výluhu pouze u vstupních složek. ČSN 73 6133:1998 nepředepisuje, kdy se má kvalita výluhů ze stabilizovaných popelů kontrolovat, ale měl by být kontrolován výsledný výrobek, tj. stabilizát.

Tabulka 1 - Limitní hodnoty výluhu podle ČSN 73 6133

Prvek	Maximálně přípustné množství (mg/l)
Ag	0,1
As	0,1
Ba	1,0
Be	0,005
Pb	0,1
Cd	0,005
Cr celkový	0,1
Co	0,1
Cu	1,0
Ni	0,1
Hg	0,005
Se	0,05
V	0,2
Zn	3,0

V tabulce č. 1 jsou uvedeny mezní hodnoty vyluhovatelných látek.

4 Stav užívání vedlejších energetických produktů v dopravním stavitelství v ČR

V současné době je hlavním zdrojem praktických zkušeností s používáním popílků a popílkových stabilizátů v ČR například u těchto dopravních staveb:

Užití popílků na stavbě D8-0807

Na stavbě D8 – 0807 byla součástí realizace násypů na bývalých výsypkách technologie sendvičového složení násypů. Tato technologie zabezpečila snížení váhy násypu a zabezpečila omezení následujícího poklesu nivelety dálnice v průběhu na dlouhodobé stabilizace na výsypkách z lomové důlní činnosti. Pro násypy byly využity vhodné místní zeminy získané ze zářezů, které byly proloženy vrstvou popelových materiálů (stabilizát, škvára a popílek) z lokality odkaliště Teplárny Trmice.
Stavební materiály:

Stabilizát: Stabilizát vyráběný v míchacím centru Teplárny Trmice – směs úletového popílku, REA produktu a vody. Ve stabilizátu obsažený REA produkt obsahuje zbytkové vápno, vrstva se tedy chová jako stabilizovaná – dochází k hydrataci a vytváří pevnou vrstvu. V násypu byl uložen v kombinaci se zeminami. Množství denní produkce bylo omezeno výrobním procesem tepla.

Popelové materiály (směs popele a škváry z deponie teplárny Trmice). Jedná se o materiály, které neobsahují zbytkový REA produkt, nevyzrávají a nedosahují parametru stabilizátu. Byly používány v případě nedostatku stabilizátu v průběhu dne – nutnost uzavření vrstvy násypu.

Technologie provádění:

1.fáze – aktivní zóna v podloží násypu – 1.vrstva

Na upravenou paraplán byla rozprostřena vrstva popílku v mocnosti 25 cm a zlepšena zemní frézou 3 % CaO. Práce byly prováděny během května až června 2006.

Rozsah prací – 5750 m³.

2.fáze – vlastní sendvičový násyp

Násyp byl prováděn po hutných vrstvách tloušťky cca 40 cm. U zemin byla v případě méně vhodných klimatických podmínek prováděna úprava vlhkosti materiálu promíslením vzdušným vápnem. Tato 2.fáze probíhala od února 2005 až do července 2006.

Rozsah prací - zemina 133 088 m³

- popeloviny 103 468 m³

Celkem popeloviny 109 218 m³

Pro zhotovení vylehčeného násypu byl zpracován Technologický předpis jehož součástí byl kontrolní a zkušební plán.

Z dalších staveb můžeme uvést:

Silniční obchvat Louny

Stavba přeložky Březno u Chomutova

Rekonstrukce násypu na trati Mladotice – Žatec

Polní komunikace v obci Šabina

Nákupní centrum Kaufland Sokolov

Silnice Pískový Vrch – Královské Poříčí

Benzinová pumpa Boží Dar

Severočeské doly

Estakáda Chomutov

Obchvat Ostrov

Stavba Y – Kamenný Dvůr

Realizace zkušebního úseku v železniční stanici Smiřice

5 Závěr

Využívání vedlejších energetických produktů má při dodržení ekologických a hygienických parametrů pozitivní dopad na životní prostředí. Využije se materiál, který by se jinak pravděpodobně stal odpadem. Dále dochází k úspoře výrobků jako např. cement, vápno a s tím snižování emisí skleníkových plynů, zejména CO₂ z výroby těchto produktů.

Z realizovaných dopravních staveb v České republice lze konstatovat, že mají tyto materiály v podobě stabilizovaných popílků a popelů široké uplatnění. Zejména při provádění zemních prací. Jejich použití je však bezpodmínečně nutné zvažovat případ od případu.

Účelné využití vedlejších energetických produktů v dopravním stavitelství je v místech, kde dochází k deficitu násypových zemin, dále lze využít vlastností těchto produktů jako: nízká objemová hmotnost, tepelně izolační schopnost a v případě stabilizátů i

vysoká pevnost a nízká stlačitelnost. Dalším přínosem je proč využít VEP je i ekonomické hledisko, neboť tyto produkty nahradí alespoň na stejné úrovni dražší materiály nevyskytující se na lokalitě.

References:

- [1] LÁNY, P.: *Přehled o využití popílku na stavbě dálnice D8 – 0807 v úseku km 82,700-88,800*, Zpráva Ředitelství silnic a dálnic ČR, Závod Praha-TDS Lovosice, 2009
- [2] LIDMILA, M.: *Experimentální ověření použití odpadního materiálu z tepelné elektrárny do konstrukční vrstvy železničního tělesa*, In: Odborný seminář doktorského studia. Brno, 2001, roč. 1, č. 1, s. 53-56. ISSN 1212-9275
- [3] KRÁLOVÁ, M.: *Ověření vlastností vedlejších energetických produktů podle zdrojů a možností aplikace v silničním stavitelství*, Praha 2007
- [4] POSPÍŠIL, P.: *Úžití popílků a stabilizátů na stavbách v severních Čechách*, Seminář Lehké stavební hmoty a geosyntetika v zemním tělese dopravních staveb, Praha, únor 2004.
- [5]<http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/programy-snizovani-zateze-zp/vyuziti-vedlejsich-produktu-uhelnych-elektren.html>, 20.10.2009

Obchodování s elektrickou energií

Ing. Petr Vaškovic, Mgr. Dušan Vaškovic

petr.vaskovic@fsv.cvut.cz , dvaskovic@centrum.cz

Katedra společenských věd, Stavební fakulta ČVUT v Praze, Thakurova 7, 166 29 Praha 6
Czech Coal a.s., Evropská 2690/17, 160 00 Praha 6

Abstract

This contribution is dealing with the problem of electrical energy trade. Market description is structured around the market organizers and the place of trade. The separate parts characterize the function of electrical energy market operator, time difference between trades and the derivative market.

1. Rozdělení trhu dle organizátora a místa obchodování

S elektrickou energií lze realizovat obchodní operace na poměrně značném množství obchodních míst a platform rozdělených jednak produktově, jednak z hlediska místa a dodávky elektrické energie.

Evropský trh s elektřinou je rozdělen do několika regionů, kopírujících geografické podmínky a zákonitosti. Jedná se o ostrovy s vysokou konektivitou, kde může elektřina proudit bez zásadnějších fyzikálních překážek a tudíž jsou splněny podmínky pro jednotnou tržní cenu elektřiny v oblasti.

Geografické oblasti jsou velmi často propojeny úzkými místy - profily – přeshraničních kapacit, které vzhledem ke svému charakteru představují určitou překážku fyzikálním tokům a tudíž musí být jejich obchodní využívání regulováno. Aktivita se realizují formou aukcí přes- hraničních kapacit, kdy obchodníci tržně konformně soutěží o jejich získání a za následné využívání platí.

Vynaložené finanční náklady se následně promítají do cenových rozdílů mezi výše zmíněnými geografickými strukturami. Z těchto důvodů je například průměrná cena elektrické energie v německé oblasti různá od ceny ve Francii.

Ve výše zmíněných oblastech se elektřina obchoduje formou spotových a forwardových kontraktů na jednotlivých burzách případně na bázi bilaterálních obchodů.

Z nejvýznamnějších evropských burz s elektřinou můžeme jmenovat NodrPool, European Energy Exchange (EEX) a Power Exchange Central Europe (PXE).

Největší objemy obchodu s elektrickou energií probíhají na OTC (Over the Counter) trzích. Jedná se zde o bilaterální obchody mezi dvěma protistranami, které mají nejrozumnější charakter jak co do obchodních podmínek, splatnosti, tak co do tvaru odběrových diagramů.

V každé ve výše zmíněných oblastech je organizován také trh se spotovou elektřinou, což je forma, kdy dodávka je uskutečňována v co nejkratším možném termínu, obvykle v následující den.

Běžný obchodní den je řešen pomocí obchodní odchylky, kdy systémový operátor (TSO), v České republice se jedná o společnost ČEPS, na základě aktuálního stavu systému (přebytek/ deficit) stanoví cenu odchylky, jež je naúčtována účastníkům trhu na základě jejich skutečných odběrů.

2. Burzy

V Evropě aktivně funguje několik burz velmi se od sebe lišících jak co do druhu obchodovaných kontraktů, tak co do významu a likvidity.

V zásadě je možno rozdělit obchodované produkty na dvě skupiny: **fyzickou** a **finanční** podle toho, zda elektrickou energii, která je předmětem kontraktu je nutno dodat do energetické soustavy ve své fyzikální podstatě, nebo dochází k pouhému finančnímu vyrovnání mezi majitelem kontraktu a burzou.

Finanční zajištění je realizováno formou maržových vkladů. Jedná se o systém úspěšně a dlouhodobě aplikovaný na finančních a komoditních trzích, kdy kupující i prodávající deponuje poměrnou část ceny objemu obchodu na burze formou maržového vkladu. Z výše uvedených finančních prostředků jsou hrazeny případné ztráty plynoucí z tržního přecenění(denní báze) nakoupených či prodaných kontraktů. Na druhé straně je majiteli kontraktu připsána ve prospěch částka odpovídající případnému zisku z tržního přecenění. Systém umožňuje velmi efektivně řešit kreditní riziko plynoucí z obchodování.

Dalším významným pozitivem burzovních obchodů je jejich standardizace. Kontrakty mají přesně definovaný objem, splatnost a charakter dodávky. V případě elektrické energie se jedná o kalendářní kontrakty (pásmovou dodávku v průběhu kalendářního roku), dále kontrakty kvartální a měsíční. Z hlediska typů dodávek se obchodují na energetických burzách kontrakty base load (0.00 – 24.00) a peak load (9.00-20.00).

NordPool

Skandinávský trh zahrnuje Švédsko, Norsko, Finsko a Dánsko a jde tak nad rámec EU. NordPool je nejstarší a nejrozvinutější energetickou burzou v Evropě. Pokrývá oblast Skandinávie. Burza má přes sto členů a na spotovém trhu je zde obchodováno téměř polovina spotřeby regionu. Obchodují se převážně CFD (contract for difference). Jedná se o kontrakty charakteru futures, jež jsou specifické technikou svého finančního vyrovnávání. Termínové kontrakty svým objemem činí zhruba 4,5 násobek spotových obchodů.

European Energy Exchange (EEX)

EEX je německá energetická burza se sídlem v Lipsku, která vznikla sloučením původních energetických burz se sídlem v Lipsku (LPX Leipziger Power Exchange) a ve Frankfurtu (EEX European Energy Exchange). Jedná se o nejvýznamnější energetickou burzu na evropském kontinentu. Obchodují se zde kontrakty z německé a francouzské oblasti. Realizují se obchody s fyzickou elektřinou (day ahead) a kontrakty futures. Mimo futures se zde obchoduje také spotová elektřina. EEX je burzou s nejvyšší likviditou, která udává tón okolním trhům.

POWERNEXT

POWERNEXT je francouzská energetická burza . V porovnání s EEX je méně likvidním trhem. Francouzský trh je specifický vysokou mírou zastoupení výroby elektrické energie prostřednictvím jaderných elektráren, které mají charakter base load zdroje. V porovnání s Německem, kde je energetický mix velmi pestrý. Výroba elektrické energie z jádra, uhlí a obnovitelných zdrojů je zde přibližně rovnoměrně zastoupena. Ve Velké Británii není zřízena energetická burza. Veškeré obchody probíhají formou OTC.

Power Exchange Central Europe (PXE)

Power Exchange Central Europe, a.s., (PXE) je obchodní platformou určenou pro obchodování s elektrickou energií v České republice a na Slovensku. Byla založena 5. března 2007 (pod starým názvem Energetická burza Praha) s cílem nastavit nová pravidla pro obchodování s elektrickou energií.

Zakládajícím subjektem PXE je Burza cenných papírů Praha, a.s. PXE tak může využít bohaté zkušenosti organizátora trhu s investičními instrumenty v České republice. Ve speciálně upraveném obchodním systému propojuje jedinečnost kapitálových a komoditních trhů.

Nejvyšším orgánem PXE je valná hromada. Valné hromady se účastní zakladatelé společnosti, kterými jsou poměrně Burza cenných papírů Praha, a.s., UNIVYC, a.s., a Central Counterparty, a.s. Druhým nejdůležitějším orgánem burzy je burzovní komora.

Jedná se o nejmladší a rychle se rozvíjející významnou lokální burzu pokrývající trh střední a východní Evropy kromě Polska, která má ambici stát se protihráčem německé burzy EEX.

Burzu lze z finančního hlediska charakterizovat nižší likviditou a menším počtem účastníků – subjektů trhu a širším rozpětím mezi nabídkovou a poptávkovou cenou pro jednotlivé produkty.

3. Trh Over the Counter (OTC)

Termín a typologie obchodů Over the Counter je převzata z oblasti peněžních a kapitálových trhů. Na rozdíl od burzovních obchodů neexistuje princip maržového zajištění a kontrakty také nejsou standardizovány z hlediska splatností a objemů a tvarů odběrových diagramů. Obchodování probíhá prostřednictvím brokerů, (voice nebo internetová platforma) nebo přímého telefonického kontaktu. Účastníky trhu jsou pouze větší subjekty.

Na trzích OTC se pohybují zprostředkovatelé - brokeri, kteří zajišťují likviditu a usnadňují střetávání poptávky a nabídky. Efektivní způsob uspořádání obchodů byl také převzat ze sektoru peněžních a kapitálových trhů. Účastníky trhu jsou povětšinou subjekty aktivně působící na finančních trzích (finanční společnosti: TFS, Prebon, GFI, Tullet).

Specifickou obchodní technikou trhu s elektrickou energií je dodávka konečnému odběrateli, kde kromě charakteristiky velkoobchodní ceny obchodník kalkuluje odchylku klienta. Efekt

vzniká v důsledku vlivu povětrnostních podmínek. Jedná se o specifickou vlastnost energetického kontraktu kdy není nikdy předem přesně známo jaký bude budoucí objem odběru klienta v důsledku různorodých povětrnostních podmínek a specifických výrobních podmínek a nároků. Dodavatel na sebe bere odpovědnost vůči systému. Tato povinnost implementuje do obchodování další rizikový faktor tzv. volumetrické – objemové riziko.

4. Operátor trhu s elektřinou (OTE)

Operátor trhu s elektřinou tvoří „mozek a páteř“ umožňující efektivní obchod s komoditou tak špatně uchopitelnou, jako je elektřina. Mezi jeho činnosti patří:

- zpracování obchodní bilance elektřiny podle údajů předávaných účastníky trhu s elektřinou;
- organizování krátkodobého trhu s elektřinou a ve spolupráci s provozovatelem přenosové soustavy vyrovnávacího trhu s regulační energií;
- vyhodnocení odchylek na základě smluv o dodávce elektřiny subjektů zúčtování nebo registrovaných účastníků trhu a skutečně naměřených dodávek a odběrů elektřiny registrovaných účastníků trhu;
- zajišťování zúčtování a vypořádání odchylek mezi subjekty zúčtování;
- zpracování měsíční a roční zprávy o trhu s elektřinou v České republice;
- zpracování zpráv o budoucí očekávané spotřebě elektřiny a o způsobu jejího krytí zdroji elektřiny a o předpokládaném vývoji trhu s elektřinou;
- zpracování podkladů pro návrh pravidel trhu s elektřinou včetně pravidel pro zúčtování odchylek a oprávněných vícenákladů způsobených účastníky trhu s elektřinou při činnostech bezprostředně zamezujících stavu nouze, při stavech nouze a při likvidaci následků stavů nouze;
- zajišťování skutečných hodnot dodávek a odběrů elektřiny pro účastníky trhu s elektřinou;
- zpracování obchodních podmínek operátora trhu s elektřinou a jejich zveřejňování po schválení Energetickým regulačním úřadem;
- zajišťování zpracování typových diagramů dodávek;
- zúčtování a vypořádání regulační energie;
- správa veřejně přístupného rejstříku obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů.

5. Časové rozlišení obchodů

Elektrickou energii lze, tak jak bylo již zmíněno výše, možno obchodovat v libovolném budoucím časovém intervalu a to jak formou standardizovaných burzovních kontraktů, tak formou nestandardizovaných OTC kontraktů. V případě příkladu obchodu s dodávkou v roce

2015 lze pracovat s forwardovou křivkou ceny elektřiny tzn. že libovolná hodina odběru v roce 2015 má svoji cenu. Forwardové ceny jsou ovlivňovány širokou vlnou vlivů. K zásadním lze přiřadit vlivy makroekonomické, sentiment na trhu s komoditami, dlouhodobý fundament výroby.

Forwardový trh lze strukturovat na day ahead, krátkodobý trh a dlouhodobý trh. Day ahead se vyznačuje velmi vysokou volatilitou cen, nespojitými skoky cen a kopírováním okamžité nabídky a poptávky na trhu.

Krátkodobý trh představuje dodávku do jednoho měsíce charakterizovanou vysokou volatilitou ceny, avšak nižší než na trhu spotovém. Obvykle bývá ovlivněna dlouhodobými prognózami počasí a plánovanými dlouhodobými odstávkami zdrojů.

Dlouhodobý trh charakterizuje dodávka nad jeden měsíc s nižší volatilitou cen. Chování obchodního kontraktu se zde blíží standardnímu komoditnímu trhu.

6. Systémová elektřina

Systémová odchylka vzniká z důvodu nahodilých změn odběru elektřiny koncovými zákazníky nebo výrobcem, z důvodů meteorologických podmínek, případných odstávek výroby, poruch a havárií.

Cena systémové elektřiny není plně vázána na trh, je kalkulována operátorem přenosové soustavy (v České republice společnost ČEPS) na základě čerpání podpůrných služeb.

Podpůrné služby představují předem kontrahované zdroje, které mají variabilní náběhovou charakteristiku. Zde je možno velmi krátkém časovém intervalu zdroj uvést do provozu, nebo jej z provozu vyřadit. Jedná se o zdroje typu paroplyn, nebo vodní elektrárny. Ceny systémové elektřiny jsou mají vyšší míru volatility v porovnání s cenami „day ahead“. Jsou odlišné od běžné spotové ceny v důsledku nahodilosti a nepředvídatelnosti vlivů, které ovlivňují její využívání.

7. Trh derivátů

Trh derivátů zaznamenal v posledních třech letech bouřlivý rozvoj. Účastníky trhu s elektřinou se stávají nejenom výrobci, koneční spotřebitelé a nezávislí obchodníci, ale také velké finanční instituce typu bank a investičních fondů („hedge fondů“). Jev je patrný a empiricky měřitelný růstem parametru volume (počet denně obchodovaných kontraktů) a parametru open interest (objem kontraktů, které jsou trvale otevřeny na burze).

Bezprostřední příčinou výše uvedeného nárůstu je zvýšený zájem ze strany finančních investorů a bank v důsledku expektace inflačních trendů. Fundamentálním důvodem je „užitečnost“ zajištění ceny elektřiny, zvýšená flexibilita a obecné benefity volného trhu.

V důsledku specifické vlastnosti elektřiny - její neskladovatelnosti - není možno otrocky přejmout postupy a modely oceňování derivátů z oblasti finančních produktů. Je nutno aplikovat odlišné modely a používat alternativní postupy.

Vývoj cen většiny finančních instrumentů a skladovatelných komodit je možno modelovat lognormálním stochastickým procesem. Pro elektrickou energii je nutno použít komplikovanější model (lognormal diffusion proces + jump diffusion + mean reversion; Geman, H.; Madan, D. B.).

This research has been supported by MSM 6840770005.

Využití vláknobetonu s recykláty v zemních konstrukcích

**Doc. Ing. Jan Vodička, CSc., Doc. Ing. Jaroslav Výborný, CSc.,
Ing. Hana Hanzlová, CSc., Ing. Vladimíra Vytlačilová, PhD.**

jan.vodicka@fsv.cvut.cz ; vyborny@fsv.cvut.cz ; hana.hanzlova@fsv.cvut.cz ;
vladimira.vytlacilova@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra betonových a zděných konstrukcí a Katedra materiálového inženýrství a chemie

Abstract

The experimental program also includes a model example of using this composite material in civil engineering. The paper shows a model of flood dike which is stiffened by several layers of fibre concrete plates using the brick recycled aggregate and synthetic fibres. The fibre concrete plates increase the stability of the flood dike in the case of its overflowing during a high flood. The mentioned example of flood dike should be a contribution of our research team to waste disposal intra - sustainable building project.

1. ÚVOD - STRUČNĚ K ŘEŠENÍ PROJEKTU V LÉTECH 2004 – 2008

Původní, vyslovená myšlenka využít stavební odpad ve formě recyklátů cihelného nebo betonového k výrobě vláknobetonu, u kterého bude plně nahrazeno přírodní kamenivo zmíněnými recykláty, se stala základem a nosným programem pro kapitolu III. řešeného projektu VZ 4 „Udržitelná výstavba“.

V celém období 2004-2008 byly testovány vláknobetony, jejichž složkami byly pouze zmíněné recykláty, syntetická vlákna, cement a voda.

Pro zjednodušení technologie výroby vláknobetonů byla přijata další původní myšlenka pracovat s tzv. širokou čarou zrnitosti (např. 0-22, 0-32, 0-63) a tudíž nepožadovat k výrobě vláknobetonů třídění recyklátů do dílčích frakcí (4-8, 8-16, atd.) tak, jak je požadováno v případě využití recyklátů při výrobě hutných, obyčejných betonů.

Výsledky všech provedených experimentálních zkoušek v celém uvedeném období řešení projektu ukázaly, že přidaná vlákna mění charakter kompozita oproti betonovému kompozitu bez vláken. Tahové pevnosti, především však přetvárnost ztvrdlého kompozita ukázaly, že i tento vláknobeton má své uplatnění ve stavební praxi.

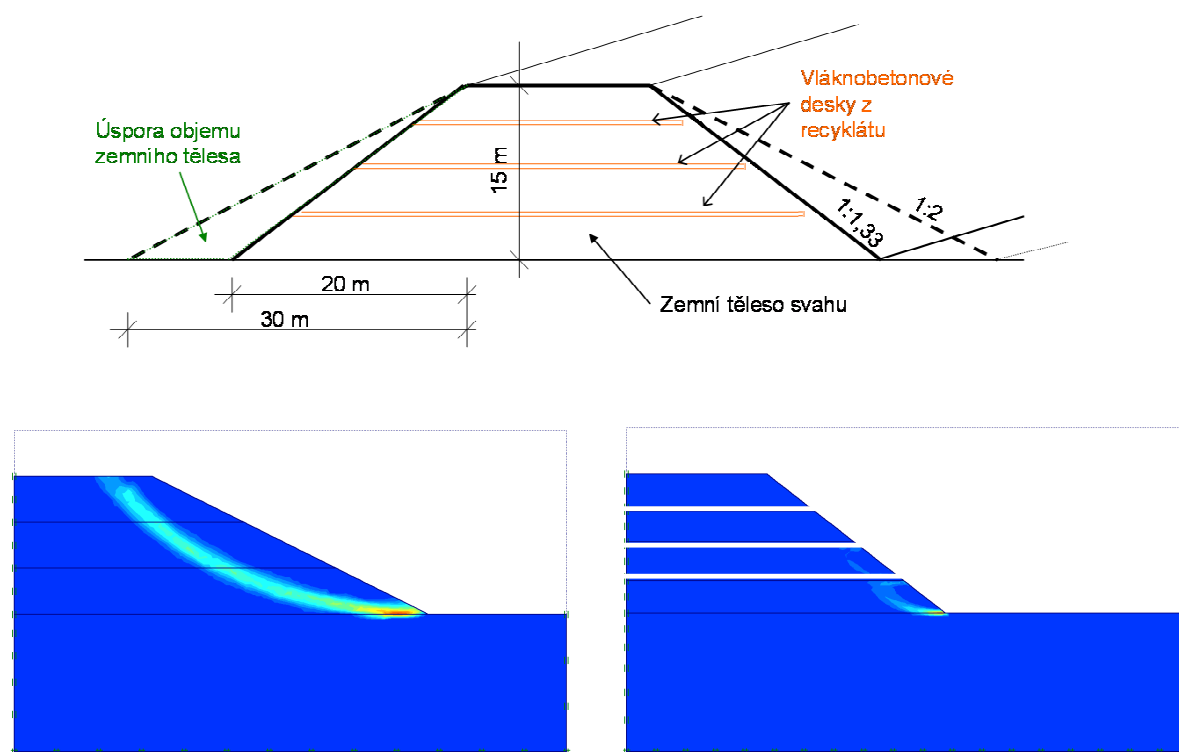
2. ŘEŠENÍ PROJEKTU A VÝSLEDKY V ROCE 2009

Program projektu pro r. 2009 bylo možné realizovat pouze na základě dosažených výsledků řešení z předchozího období a to z oblasti technologie hodnotící vlastnosti složek získaných ze stavebního odpadu, návrhu složení kompozita – vláknobetonu s použitím syntetických vláken, návrhu postupu výroby a zpracování čerstvého vláknobetonu a prokázaných charakteristik ztvrdlého vláknobetonu. Posouzení všech těchto oblastí technologie betonu bylo určující pro hledání možného uplatnění kompozita ve stavební praxi.

Vytipovanou první oblastí pro aplikace vláknobetonu se složkou recyklovaného odpadu byly zemní konstrukce.

Myšlenka, vyrobit z vláknobetonu desky, které by byly součástí konstrukce zemních náspů a hrází, se stala pro závěr r. 2008, zejména potom pro r. 2009, nosným programem – hlavní náplní pro řešitele projektu.

Byly dokončeny matematické simulace konstrukce zemního náspu s vloženými deskami. Na zadané výšce náspu 15m bylo výpočty prokázáno, že již se třemi vloženými deskami z vláknobetonu lze zachovat stabilitu náspu a přitom získat úsporu na ploše příčného řezu s efektem výrazného zmenšení šířky v patě náspu – viz. Obr. 1



Obr. 1 Výsledky matematického modelu hráze

Příznivý vliv vložených vláknobetonových desek do konstrukce zemního tělesa, prokázaný modelovou simulací, lze potvrdit pouze zkouškou in-situ. Reálnost provedení zkoušky na skutečném náspu představuje velmi dlouhá jednání v nalezení investora, ochotného vložit do stavby nemalé finanční prostředky a také dodavatele stavby.

Z tohoto důvodu se obrátila pozornost řešitelů projektu na konstrukci zemních hrází, které mohou být v případě povodní vystaveny přelití vodou s důsledkem nastávající eroze končící až možným protržením hráze. Ukázalo se, že stabilitu hráze v případě přelití vodou lze prokázat již na modelech, které mohou být odvozeny z hrází reálných rozměrů. I když toto řešení, stavba modelů byla pro rozsah projektu (personální i finanční náročnost) nad rámec možností projektu, bylo přesto rozhodnuto pokusit se o výrobu modelů, jejichž funkcí by se prokázaly zmíněné efekty vloženými vláknobetonovými deskami do konstrukce hrází.

První modely byly realizovány na ČVUT v Praze, Fakultě stavební, v laboratoři katedry hydrotechniky za přispění pracovníků zmíněné katedry a pracovníků Výzkumného centra FSv, kde byly vyráběny zmiňované vláknobetonové desky, vhodné pro model a další části modelu, potřebné pro jeho funkčnost.

Zkoušky na tomto modelu potvrdily vyslovenou myšlenku, že vložené desky zastaví korozi hráze a nebezpečí jejího protržení nehrozí.

Výsledkem hodnocení této skutečnosti byl závěr, že myšlenka s vložením desek, vyrobených z vláknobetonu, do konstrukce zemní hráze má reálné opodstatnění v praxi, které je navíc podloženo i ve smysluplném zpracování odpadu a tudíž, že s touto myšlenkou by měla být seznámena odborná veřejnost. Bylo proto rozhodnuto, že bude hledán investor, který by podpořil výrobu modelu. Předváděním modelu by bylo možné efekty, plynoucí z navrhovaného řešení konstrukcí hrází s vloženými vláknobetonovými deskami prokazovat širší veřejnosti.

Po řadě jednání byla nalezena podpora pro výrobu modelu na MŽP. Výrobou modelu byla pověřena firma LEKOSTA, s.r.o. a stavbou vlastní hráze navrhovatelé projektu a pracovníci výzkumného centra FSv.

Model byl v r. 2009 předváděn na světových výstavách EDIT a WATENVI, na výstavišti v Brně – květen 2009 a výstavě FORARCH v Praze Letňanech – září 2009. Po skončení výstav je model umístěn v areálu FSv, budova D, kde je k dispozici studentům.

Následující fotodokumentace stručně charakterizuje oba realizované modely, jejich funkčnost i efekty, kterých může být dosaženo, budou-li zemní hráze takto provedeny.



Obr. 2 Laboratorní model hráze s vloženými vláknobetonovými deskami





Obr. 3 - 12 Model hráze presentovaný na mezinárodních veletrzích EDIT a WATENVI v Brně 2009

3. PROGRAM PRO POSLEDNÍ ROK ŘEŠENÍ PROJEKTU (ROK 2010)

S odvoláním na úspěšnost prezentovaných modelů veřejnosti, zejména myšlenky využití stavebního odpadu k výrobě vláknobetonových desek, jejichž vložení do konstrukcí hrází lze získat již popisované efekty na modelech bylo rozhodnuto, že kolektiv řešitelů se pokusí nalézt investora a dodavatele hráze reálných rozměrů a prokázat tak zmíněné efekty na modelu 1:1.

Realizovat skutečné hráze v terénu však vyžaduje ještě pro řešitelský kolektiv pracovat na:

- technologii výroby uvedeného vláknobetonového kompozita velkých objemů v místě realizace hráze,
- technologii provedení vložených desek do konstrukce hráze,
- optimalizaci složení vláknobetonového kompozita, které povede k minimalizaci finančních nákladů na jednotku objemu kompozita.

Trvalým úkolem řešitelů projektu pro budoucnost je hledat další oblasti pro možné aplikace prezentovaného vláknobetonového kompozita.

4. ZÁVĚR

Cíl, realizovat protipovodňové hráze s vloženými vláknobetonovými deskami, by měl završit práci řešitelského kolektivu na projektu skupiny WP 3 „Využití odpadních hmot, recyklátů ve stavebnictví“.

Výsledky výzkumu i jeho reálný výstup by měl v tomto případě být prospěšný pro celou společnost a to především ve smysluplném využití a ukládání stavebního odpadu.

References:

- [1] VÝBORNÝ, J. – VODIČKA, J. – HANZLOVÁ, H.- WACHSMANN,M.:
Vláknobeton,zejména. pro zemní konstrukce.
Osvědčení o zápisu užitého vzoru č. 17 647 ze dne 9.7.2007, Úřad průmyslového
vlastnictví, ČR, 6 stran
- [2] VÝBORNÝ, J. – VODIČKA, J. – HANZLOVÁ, H. – VYTLAČILOVÁ, V.:
Vláknobeton s recyklovaným plnivem a odpadním přírodním kamenivem.
Posuzování charakteristik vláknobetonů.
In. Sborník příspěvků workshopu VZ 04 "Udržitelná výstavba, Praha, prosinec 2007,
ČVUT v Praze, FSV, ISBN 978-80-01-03977-9, str. 215-220
- [3] Vodička, J., Vytlačilová, V., Výborný, J., Hanzlová, H., Hrubý, V.; *Vláknobetony s
plnou náhradou přírodního kameniva recykláty pro využití v praxi*, Sborník přednášek
konference Betonářské dni 2008, Bratislava 2008.
- [4] Hrubý, V.: *Modelový příklad aplikace vláknobetonových desek s recykláty v zemních
konstrukcích*, sborník přednášek 6. konference Speciální betony: vlastnosti –
technologie – aplikace, Beroun 2009.

Tematický okruh

WP4

**Přírodní katastrofy (živly, nehody) – optimalizace
ochrany, interakce se stavebními konstrukcemi**

Únava betonu a její role v udržitelné výstavbě

Ing. Marek Foglar, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.

marek.foglar@fsv.cvut.cz

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstract

Fatigue is a process of permanent progressive changes in the structure of a material exposed to cyclic loading. This paper describes the strain development in concrete structures under cyclic loading and presents a method for assessing the remaining secant modulus of elasticity of concrete under cyclic loading together with its experimental verification.

1 Únavové jevy betonu v problematice udržitelné výstavby

Naplňování hledisek trvalé udržitelnosti úzce souvisí s hodnocením celého životního cyklu betonových konstrukcí, zahrnujícím též problémy únavových jevů vyúsťujících až do ztráty trvanlivosti a provozuschopnosti. Jako rozhodující vlastnosti jsou zdůrazněny spolehlivost, použitelnost a opravitelnost. V zájmu trvalé udržitelnosti je nutno navrhovat a provádět betonové konstrukce tak, aby beton co nejdéle (po větší část životního cyklu) zůstal nepoškozen, se sníženou náchylností ke vzniku trhlinek a lepší mikrostrukturní homogenitou s výhledem na významné zvýšení životnosti. Jedná se o přístup reprezentující multiparametrický návrh konstrukce z pohledu různých rozlišovacích úrovní, integrující návrh materiálu a návrhu konstrukce tak, aby bylo dosaženo optimálních funkčních parametrů z hlediska širokého spektra kritérií v průběhu všech fází životního cyklu. Malé drobnosti v projektu nebo ve fázi výstavby mohou vést k velkým problémům a vysokým nákladům v průběhu životního cyklu konstrukce.

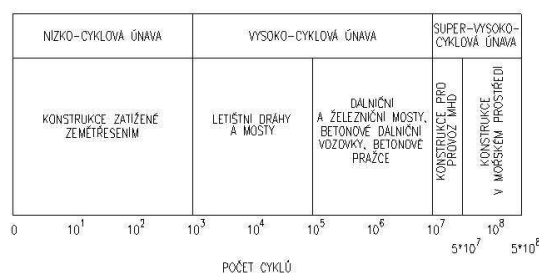
2 Úvod do únavy betonu

Únava je proces stálých progresivních změn ve struktuře materiálu vystaveného cyklickému zatížení. V betonu se tyto změny připisují progresivnímu růstu mikrotrhlin, jež vede ke značnému nárůstu nevratného přetvoření. Na makro úrovni se únava pak projevuje změnou mechanických vlastností betonu. Velké rozkmity napětí ve štíhlých konstrukcích mostů či jeřábových drah mohou vést k rychlému rozvoji trhlin, zvětšování průhybů, snižování tuhosti konstrukce a ve svém důsledku pak k selhání prvku.

Spektrum únavového zatížení lze rozdělit do třech částí. První je oblast nízko-cyklové únavy. Ta se vyznačuje málo zatěžovacími cykly při velkých rozkmitích napětí, zatížením 100 až 10^3 zatěžovacími cykly. Tento způsob namáhání odpovídá například konstrukcím zatíženým zemětřesením.

Vysoko-cyklová únava odpovídá 10^3 až 10^7 zatěžovacím cyklům. Vysoko-cyklová únava se vyznačuje mnoho zatěžovacími cykly při malých úrovních napětí. Mezi konstrukce namáhané vysoko-cyklovou únavou se řadí letištní dráhy, silniční a železniční mosty, betonové dálniční vozovky a betonové pražce.

Pro počet zatěžovacích cyklů mezi 10^7 a $5 \cdot 10^8$ se vžil označení super-vysoko-cyklová únava. Té jsou vystaveny konstrukce pro provoz MHD a konstrukce v mořském prostředí.



Obr. 1 Spektrum únavového zatížení, podle [1]

Únava se začala dostávat do popředí vědeckého zájmu s nárůstem užití materiálů vyšších pevností. Díky nim je možné vytvářet konstrukce o větší štíhlosti. U těchto konstrukcí představuje cyklické nahodilé zatížení značnou část zatížení celkového.

Výzkum zabývající se únavou kovů začal ve 40. letech devatenáctého století s nástupem železnic. Únava betonu je studována od 20. let století minulého. Podrobně o historii únavy viz [2].

Cílem článku je seznámit s vyvinutou funkcí únavového poškození, jež umožňuje vypočítat zbytkový modul pružnosti v jakémkoli okamžiku cyklického zatížení.

3 Vývoj přetvoření při cyklickém zatížení

Beton je heterogenní třífázový materiál a ze své podstaty je plný trhlin a počátečních koncentrací napětí. Únavové procesy v takovémto materiálu jsou podstatně složitější než v homogenních kovových materiálech. Vývoj přetvoření a modulu pružnosti při cyklickém zatížení bude dále popsán.

Cyklické zatížení způsobuje poškození materiálu s každým zatěžovacím cyklem, a tak pokaždé působí na beton s lehce pozměněnými mechanickými vlastnostmi. Již přítomné trhliny se vlivem cyklického zatížení rozšiřují, při odlehčování se plně neuzavírají, koncentrace napětí na jejich špičkách způsobují poškození v každém zatěžovacím cyklu. Trhliny se šíří až se nakonec rozšíří po celém průřezu. Konstrukční prvek vystavený cyklickému zatížení selže v jeho důsledku při napětí menším, než je jeho statická pevnost.

3.1 Fáze vývoje přetvoření betonového prvku při cyklickém zatížení

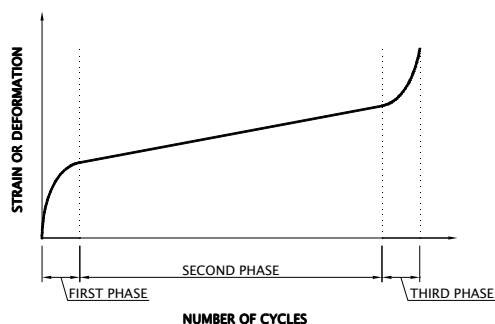
Ve vývoji přetvoření cyklicky zatíženého prvku z betonu se dají vysledovat tři fáze.

První fáze, fáze iniciace trhlin je ukončena již po 10% všech zatěžovacích cyklů a odehrává se v slabších oblastech cementového tmele. První fázi je možné charakterizovat prudkým nárůstem přetvoření, jež má klesající průběh.

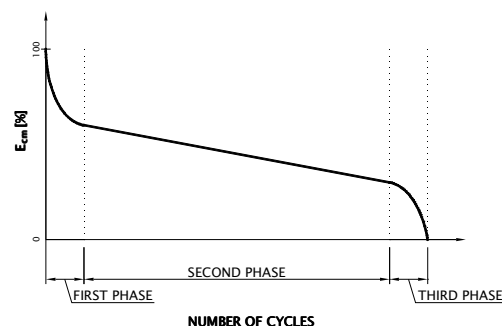
Nejdelší je druhá fáze, fáze stabilního šíření trhlin. Je charakteristická pomalým a postupným růstem základních trhlin až do dosažení kritické velikosti. Obecně se nazývá růst mikrotrhlin. Ve druhé fázi narůstá přetvoření betonového prvku konstantní rychlostí v závislosti na proběhnuvším množství cyklů.

Třetí fáze, fáze nestabilního šíření trhliny, vede k lomu prvku a odehrává se ve zbylých cca 10% zatěžovacích cyklů. Začne, když je v betonu vytvořeno dostatečné množství nestabilních trhlin. Tyto se spojí v makrotrhlinu, jež může vést k selhání prvku. V poslední fázi je únosnost prvku již značně oslabena a většinou vede k velice rychlému selhání.

Průběh těchto tří fází se dá graficky vyjádřit pomocí křivky cyklického dotvarování (Obr.1). Křivku cyklického dotvarování získáme, pokud vynášíme deformace zaznamenané během únavových zkoušek na ose y oproti počtu zatěžovacích cyklů proběhnuvších v okamžiku zaznamenané deformace.



Obr. 2 Vývoj přetvoření betonu při cyklickém zatížení - křivka cyklického dotvarování

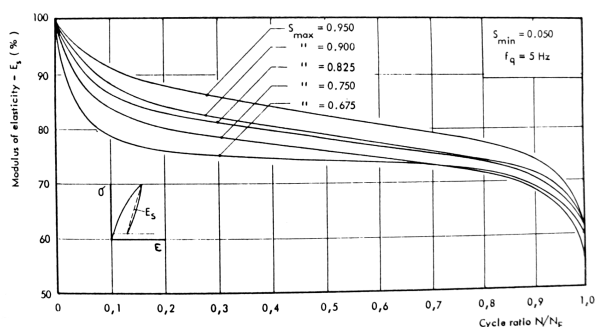


Obr. 3 Vývoj modulu pružnosti při cyklickém zatížení

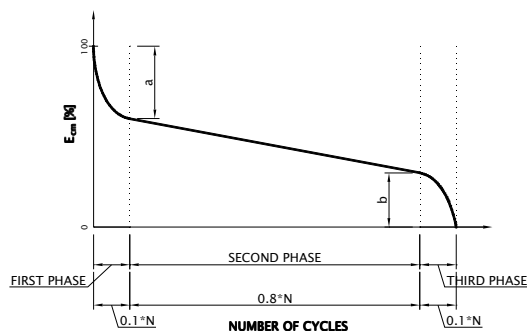
3.2 Vývoj modulu pružnosti betonu při cyklickém zatížení

Vývoj modulu pružnosti betonu při cyklickém zatížení odpovídá vývoji přetvoření (Obr. 2). Po prudkém úbytku modulu pružnosti v prvních 10% zatěžovacích cyklů, následuje jeho pozvolný pokles v následujících 80% zatěžovacích cyklů. V konečné fázi cyklického zatížení, v posledních 10% celkového počtu zatěžovacích cyklů, dochází opět k prudkému úbytku modulu pružnosti, jež vede ke selhání prvku.

Vývojem modulu pružnosti při cyklickém zatížení se jako první zabýval J.O.Holmen v roce 1979 [3]. Při svých experimentech užíval zatěžovací frekvenci 5 Hz, spodní napětí bylo rovné $0,5 \cdot f_{cm}$. Horní napětí se pohybovalo v intervalu od $0,67$ do $0,9 \cdot f_{cm}$. Při vyšších úrovních zatížení byla první fáze kratší (méně než 10%) a pokles modulu pružnosti v druhé fázi byl rychlejší. První fáze vývoje modulu pružnosti končila na 75-95% E_{cm} , druhá fáze na 65-75% E_{cm} v závislosti na maximální úrovni zatížení.



Obr. 4 Procentuální úbytek tečného modulu pružnosti betonu v závislosti na poměru proběhnuvších zatěžovacích cyklů ku jejich celkovému počtu, hodnoty pro různé úrovně zatížení (převzato z [2])



Obr. 5 Definice konstant a a b

4 Matematický popis vývoje přetvoření při cyklickém zatížení

Na základě výše uvedených poznatků byl vyvinut matematický popis vývoje modulu pružnosti při cyklickém zatížení, který byl v plném rozsahu publikován v [4]. Následující text z něj vychází, některé podrobnosti v něm nejsou uváděny.

4.1 Parametrizace vývoje přetvoření při cyklickém zatížení

Jak již bylo uvedeno v předcházející kapitole, vývoj přetvoření při cyklickém zatížení se skládá ze tří fází. Obdobně i vývoj modulu pružnosti se skládá ze tří fází.

Na základě experimentů J.O. Holmena a výsledovaného faktu, že příspěvek první a třetí fáze vývoje modulu pružnosti při cyklickém zatížení je konstantní pro danou úroveň zatížení, byla navržena parametrizace vývoje modulu pružnosti při cyklickém zatížení. Pro účel této parametrizace se uvažuje s trváním první a třetí fáze vývoje modulu pružnosti při cyklickém zatížení shodně 10% celkového počtu zatěžovacích cyklů, jimž je prvek schopen vzorovat.

Byly zavedeny konstanty **a** a **b**. Konstanta **a** představuje úbytek modulu pružnosti v první fázi jeho vývoje při cyklickém zatížení, zatímco konstanta **b** představuje zbytkovou část původního modulu pružnosti na začátku třetí fáze vývoje modulu pružnosti při cyklickém zatížení. Definice konstant je osvětlena na Obr. 4.

Vzorce pro určení konstant byly získány s užitím lineární regrese, vzorce viz [4].

4.2 Funkce únavového poškození

4.2.1 Formulace problému, motivace

Je hledána funkce, jež by popisovala vývoj přetvoření cyklicky zatíženého betonového prvku. Tato funkce by měla jako výsledek poskytovat hodnoty modulu pružnosti v každém okamžiku cyklického zatížení a respektovat tři fáze jeho vývoje. Hodnota redukovaného modulu pružnosti může být pak užita pro výpočet zvětšených deformací v důsledku poškození způsobeného cyklickým zatížením.

4.2.2 Okrajové podmínky, zjednodušení, popis užitého přístupu

Funkce únavového poškození je založena na parametrizaci vývoje přetvoření při cyklickém zatížení a mimo jiné těchto okrajových podmínkách:

- Proměnnou funkce (osa x) je poměr počtu zatěžovacích cyklů, jimž byl konstrukční prvek již vystaven (n), ku celkovému počtu zatěžovacích cyklů, jimž je konstrukční prvek s to vzdorovat při dané úrovni zatížení.
- Trvání první a třetí fáze vývoje přetvoření při cyklickém zatížení je uvažováno 10% celkového počtu cyklů, jimž se konstrukční prvek schopen při dané úrovni zatížení vzorovat.

4.2.3 Matematická formulace funkce únavového poškození

Funkce únavového poškození bude užita jako násobitel počátečního modulu pružnosti na začátku cyklického zatížení, tak aby vyjádřila poškození materiálu způsobené n_i zatěžovacími cykly. Okamžitá hodnota modulu pružnosti po n_i zatěžovacích cyklech je tedy:

$$E_{n_i} = \omega_{F_i} \cdot E_{n_o} \quad (1),$$

kde E_{n_i} je hodnota modulu pružnosti po n_i zatěžovacích cyklech,

ω_{F_i} je hodnota funkce únavového poškození po n_i zatěžovacích cyklech

E_{n_0} je hodnota modulu pružnosti na začátku cyklického zatížení.

Z hlediska matematického je funkce únavového poškození prostá funkce. Z důvodu lepší možnosti matematického popisu byl zvolen stoupající tvar (vývoj přetvoření při cyklickém zatížení, Obr. 2), než tvar klesající (vývoj modulu pružnosti při cyklickém zatížení, Obr. 3). Funkce únavového poškození bude pak mít tuto formu:

$$\omega_{F_i} = 1 - X \quad (2),$$

kde X je funkce, jež musí být určena.

Vzhledem k tvaru funkce, jež byl zvolen, funkce bude sumou mocninné funkce (dominantní v prvních dvou fázích cyklického zatěžování) a exponenciální funkce (dominantní v třetí fázi cyklického zatěžování). Funkce únavového poškození bude mít následující tvar:

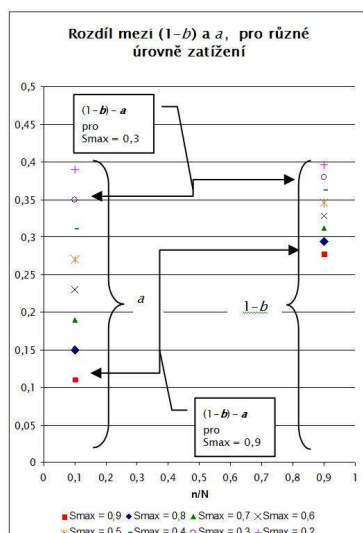
$$\omega_{F_i} = 1 - \left\{ \left[c_1 \cdot \frac{n}{N} \right]^{\frac{1}{c_2}} + \left[c_3 \cdot e^{\left(c_4 \cdot \frac{n}{N} \right)} \right] \right\} \quad (3),$$

kde c_{1-4} jsou konstanty, jejichž hodnota musí být stanovena.

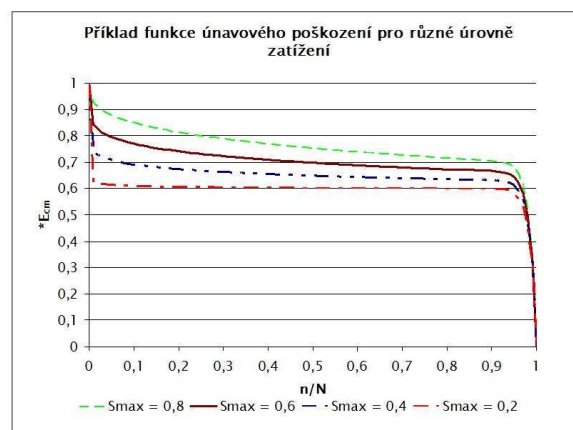
4.2.4 Cesta k funkci únavového poškození

Jak bylo uvedeno v předchozích odstavcích, funkce únavového poškození je sumou mocninné funkce, dominantní v prvních dvou fázích cyklického zatěžování, a exponenciální funkce, dominantní ve třetí fázi cyklického zatěžování. Funkce X , definovaná výše musí splňovat tyto okrajové podmínky:

- Hodnota mocninné části funkce X musí mít při $n/N = 0,1$ hodnotu rovnou a a při $n/N = 0,9$ rovnou $(1-b)$.
- Mocninná část funkce X představuje rapidní pokles modulu pružnosti na začátku cyklického zatěžování a pak jeho pozvolný úbytek při 80% životnosti prvku vystavenému cyklickému zatížení.
- Vzhledem k rozdílu mezi $(1-b)$ a a při různých úrovních zatížení, jež určují nárůst mocninné části funkce X mezi $n/N = 0,1$ a $n/N = 0,9$, mocninná část funkce X musí být funkcí $S_{\max}$, viz Obr. 5.
- Exponenciální část funkce X představuje rychlý pokles modulu pružnosti na konci životnosti konstrukčního prvku v třetí fázi jeho vývoje
- Hodnoty exponenciální části funkce X musí být pro $n/N = 0,1$ až $0,9$ zanedbatelné, pro $n/N = 0,9$ až 1 dominantní. Pro $n/N = 1$ musí být její hodnota rovna b tak, aby suma exponenciální a mocninné části byla rovna 1. Exponenciální část funkce X je tedy nezávislá na úrovni zatížení.



Obr. 6 Rozdíl mezi hodnotami (1-b) a a při různých úrovních zatížení



Obr. 7 Příklad funkce únavového poškození pro různé úrovně zatížení

4.2.5 Funkce únavového poškození

Funkce únavového poškození zobrazuje pokles modulu pružnosti betonu během cyklického zatěžování. Sestává se z mocninné a exponenciální části. Zatímco mocninná část funkce je závislá na úrovni zatížení a představuje rychlý pokles modulu pružnosti na začátku cyklického zatěžování a pak jeho pozvolný úbytek v druhé fázi cyklického zatěžování, exponenciální část funkce je nezávislá na úrovni ztížení a představuje prudký úbytek modulu pružnosti v poslední fázi cyklického zatěžování, jež vede k selhání prvku. Proces popsany v předchozích částech vede k následující definici funkce únavového poškození:

$$\omega_{Fi} = 1 - \left[a^{c_4 \cdot \frac{1}{S_{\max}^{c_3}} \cdot \frac{n_i}{c_1 \cdot N}} \right]^{\frac{1}{c_4 \cdot \frac{1}{S_{\max}^{c_3}}}} + b \cdot \exp \left[\left(\frac{n_i}{N} - 1 \right) \cdot c_2 \right] \quad (6),$$

kde ω_{Fi} je hodnota funkce únavového poškození po n_i zatěžovacích cyklech,
 n_i je počet zatěžovacích cyklů, jimž byl konstrukční prvek již vystaven
 N_i je celkový počet zatěžovacích cyklů, jimž je konstrukční prvek při dané úrovni zatížení schopen vzdorovat. Tuto hodnotu je možné vypočítat pomocí postupů uvedených v EN 1992 a Model Code 1990,
 a, b jsou konstanty závislé na úrovni zatížení,
 $c_1 = 0,1$,
 $c_2 = 70$,
 $c_3 = 2,72$,
 $c_4 = \begin{cases} = 1,0 & \text{pro } S_{\max} \in (0; 0,377) \\ = 2,1436 \cdot S_{\max} + 0,19037 & \text{pro } S_{\max} \in (0,377; 0,736) \\ = 1,771 & \text{pro } S_{\max} \in (0,736; 1) \end{cases}$

Obr. 8 poskytuje příklad průběhu funkce únavového poškození pro různé úrovně zatížení.

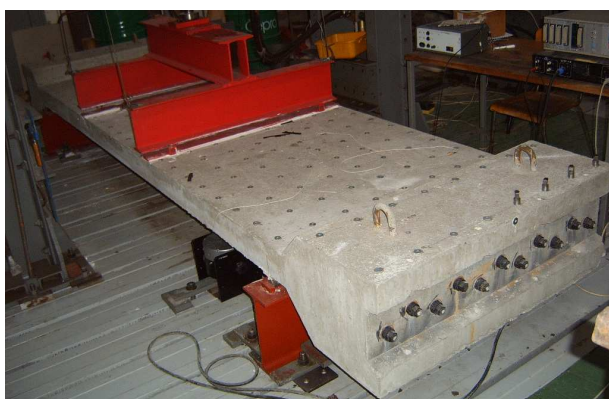
5 Experimentální ověření funkce únavového poškození

Funkce únavového poškození byla experimentálně ověřena na příkladě desky z dodatečně předpjatého betonu a v současné době je ověřována na železobetonových trámcích. Ověření na deskách z dodatečně předpjatého betonu je v plném rozsahu publikováno v [4].

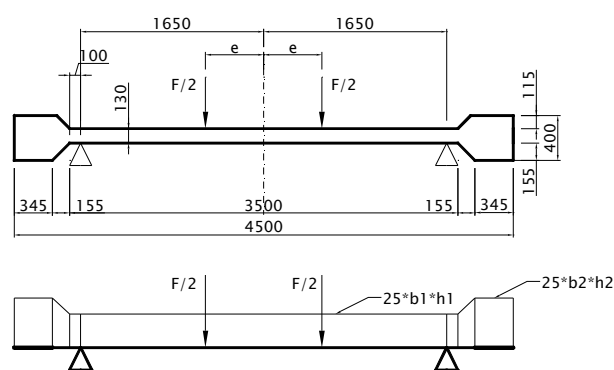
5.1 Experimentální ověření funkce únavového poškození na deskách z dodatečně předpjatého betonu

5.1.1 Popis zkoušených prvků a jejich zatěžování

Zkoušená deska měla rozměry 1155x130x4500mm. Na obou koncích byla deska rozšířena na výšku 400mm pro kotvení předpínací výztuže (Obr. 9). Desky byly vyrobeny z betonu C45/55 s jedenácti předpínacími lany o průměru 15.7mm. Deska byla podél kratších stran prostě podepřena tak, aby rozpětí mezi podporami bylo 3500mm a převislé konce 500mm (Obr. 7).



Obr. 8 Deska z dodatečně předpjatého betonu



Obr. 9 Schéma zatěžování desek z předpjatého betonu

Schéma zatěžování je uvedeno na Obr. 9.

Zatěžování desky bylo provedeno v laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Deska z předpjatého betonu byla zatěžována čtyřbodovým ohybem, tak aby bylo dosaženo konstantního ohybového momentu ve střední části desky (Obr. 9).

Cyklické zatížení desky bylo vyvoláno harmonickou silou o frekvenci 2,5Hz.

5.1.2 Sledování vývoje průhybů prvku z předpjatého betonu

Během cyklického zatěžování byl po cca 250 000 cyklech byl měřen průhyb. Průhyb byl měřen uprostřed rozpětí prvku inductivním snímačem dráhy HBM W50. Cyklické zatěžování nebylo během měření přerušeno.

Průhyby byly sledovány od 1 280 040 zatěžovacích cyklů. Byla provedena celkem 3 měření.

5.1.3 Naměřené hodnoty a jejich porovnání s výpočtem pomocí funkce únavového poškození

Tab. 1 poskytuje výsledky naměřených průhybů při daném počtu zatěžovacích cyklů a jejich porovnání s vypočteným průhybem s užitím redukovaného modulu pružnosti funkcí únavového poškození. Mezi prvním a druhým měřením došlo k rozvoji trhlin na spodním

povrchu desky. Vznik trhlin byl zahrnut do výpočtu zavedením ideálního průřezu podle detailního řešení ztrát předpínací výztuže se zahrnutím ztrát předpětí vlivem dotvarování a smršťování prvku.

Tab. 1 Naměřené průhyby desky z předpjatého betonu a jejich porovnání s výpočtem pomocí modulu pružnosti redukovaného funkcí únavového poškození

Číslo měření	1	2	3
Počet cyklů při měření	1 280 040	1 504 000	1 740 360
Naměřený průhyb desky [mm]	14,437	17,937	18,303
Vypočtený průhyb desky [mm]	14,586	19,071	19,236
Poměr naměřeného ku vypočtenému průhybu [%]	98,98%	94,05%	95,15%

Z Tab. 1 je patrná vynikající shoda mezi naměřenými a vypočtenými průhyby. Rozdíly mezi těmito hodnotami se pohybují v rozmezí 1-6%, což lze považovat za více než uspokojivý výsledek experimentálního ověření funkce únavového poškození.

5.2 Experimentální ověření funkce únavového poškození na železobetonových trámcích

V současné době je funkce únavového poškození ověřována na železobetonových trámcích.

5.2.1 Popis zkoušených prvků a jejich zatěžování

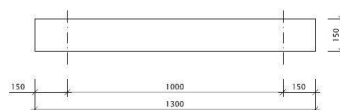
Byly vyrobeny trámce z železového betonu. Trámce mají rozměry 300x150x1300mm. Byly vyrobeny z betonu C25/30. Statický systém trámce je prostý nosník s převislými konci, kdy střední pole je dlouhé 1000mm a krajní měří shodně 150mm (Obr. 10).



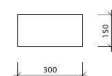
Obr. 10 Železobetonové trámce

VÝKRES TVARU ZKUŠEBNÍCH TĚLES
M 1:10

PODÉLNÝ ŘEZ



PŘÍČNÝ ŘEZ



OBJEM 0,0585m³
HMOTNOST 140,4kg

BETON: C25/30-X0
OCEL: R (10 505)

Obr. 11 Výkres tvaru zkoušených železobetonových trámů

Zatěžování trámce je prováděno v laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Trámce betonu jsou zatěžovány čtyřbodovým ohybem, tak aby bylo dosaženo konstantního ohybového momentu ve střední části desky.

Cyklické zatížení desky bylo vyvoláno harmonickou silou o frekvenci 5Hz.

Kopie výkresu tvaru je uvedena na Obr. 11

5.2.2 Sledování vývoje průhybů železobetonových trámů

Po každé hodině cyklického zatěžování, tedy cca 18000 cyklech, je měřen průhyb. Průhyb je měřen uprostřed rozpětí prvku. Cyklické zatěžování je během měření přerušeno.

6 Závěr

Příspěvek popsal vývoj přetvoření a modulu pružnosti betonu při cyklickém zatížení a poskytl metodu pro výpočet zbytkové části modulu pružnosti při cyklickém zatížení. Metoda byla experimentálně ověřena na příkladě desky z dodatečně předpjatého betonu, shoda naměřených průhybů s vypočtenými hodnotami je vynikající. V současné době je metoda ověřována na železobetonových trámech.

Funkci únavového poškození je možné snadno užít jak ručních výpočtech, tak jí zakomponovat do výpočetních programů založených na MKP a provádět tak detailnější analýzu konstrukčních prvků vystavených cyklickému zatížení.

References:

- [1] HSU, T.C.: *Fatigue of plain concrete* ACI Journal Title no. 78-27, American Concrete Institute, 1981, pp.292-305.
- [2] FOGLAR, M., ŠTEMBERK, P., KOHOUTKOVÁ, A.: *Historie únavy a přehled problematiky v oblasti betonových a drátkobetonových konstrukcí* Proceedings of 3rd international Conference Fibre Concrete 2005, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005, 17-22.
- [3] HOLMEN, J.O.: *Fatigue of concrete by constant and variable amplitude loading* Bulletin No. 79-1, Division of Concrete Structures, NTH-Trondheim, 1979, p. 218.
- [4] FOGLAR, M.: *Vývoj přetvoření betonu při cyklickém zatížení a jeho matematický popis* BETON TKS, Vol. 1/2008, Česká betonářská společnost, 2008, pp. 50-55.

The research project was realised by the help of GACR project No. 103/09/2071 and 103/08/1677 and Czech Ministry of Education project MSM 6840770005.

Inovace stávajícího rozhodovacího procesu při návrhu a výstavbě ekologických mostů

Ing. Marek Foglar, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc.

marek.foglar@fsv.cvut.cz

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstract

The paper presents a new strategy which can change the regular decision-making process in ecological bridges design & construction. The new approach bases the decision whether to build or not to build an ecological bridge on long-time monitoring and maximises the role of compensation measures in the decision-making process.

1 Úvod

Minimalizace negativních dopadů výstavby kapacitní dopravní infrastruktury na životní prostředí je jedním ze základních prostředků k zajištění udržitelného rozvoje v dopravním stavitelství. Jedním z prostředků k dosažení tohoto cíle je minimalizace fragmentace populací způsobené dělícím účinkem dopravní infrastruktury pomocí výstavby ekologických mostů (ekoduktů).

V příspěvku je popsán současný rozhodovací algoritmus při výstavbě ekologických mostů a nabídnut nový, jež minimalizuje jeho nedostatky.

2 Současný přístup k návrhu a výstavbě ekologických mostů

V současné době jsou místa pro výstavbu ekologických mostů vybírána na základě ekologických map, názoru odborníka, nebo v lepším případě na základě dlouhodobého monitoringu v přírodě.

Současný přístup k návrhu a výstavbě ekologických mostů je shrnut na Obr. 1.

Hlavní problém tohoto přístupu je, že stavba liniové dopravní stavby představuje obrovský zásah do rovnováhy krajiny a ekosystémů v daném místě. Tento přístup tedy není schopen zahrnout změny této rovnováhy v důsledku stavby a uvedení do provozu. Důsledkem je, že řada staveb, i přes velké úsilí vložené do jejich návrhu a výstavby, neplní své poslání. Více v [1].

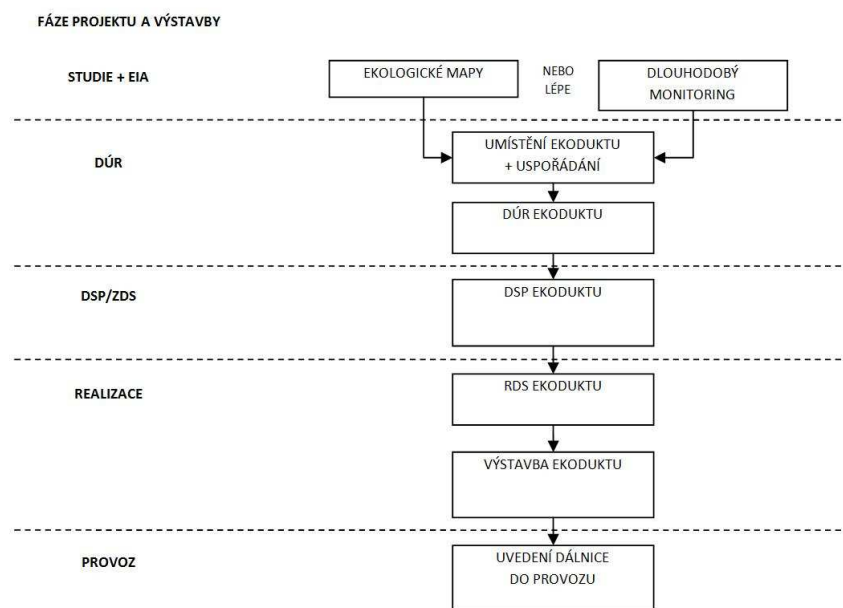
3 Nový přístup k návrhu a výstavbě ekologických mostů

Nový přístup k návrhu a výstavbě ekologických mostů si klade za cíl odstranit nedostatky přístupu v současné době běžného, tedy hlavně:

- Rozhodnutí zda stavět, či nestavět ekologický most musí být založeno na dlouhodobém monitoringu v přírodě, který by měl začít již ve fázi vyhledávací studie na celém území dotčeném výstavbou všech variant.

- S postupem projekčních prací se vybírají místa, kde se monitoring zpřesňuje. Podle výsledků monitoringu se rozhodne o zatřídění daného umístění z hlediska potřeby výstavby ekologického mostu.
- Ekologický most se staví až v okamžiku, když byla vyčerpána všechna kompenzační opatření na místech vybraných na základě dlouhodobého monitoringu.

Dálniční (případně silniční či železniční) mosty také přispívají k propustnosti krajiny pro migraci živočichů. Tyto by měly být navrhovány na základě doporučení uvedených v dostupné literatuře, a také např. v [1].

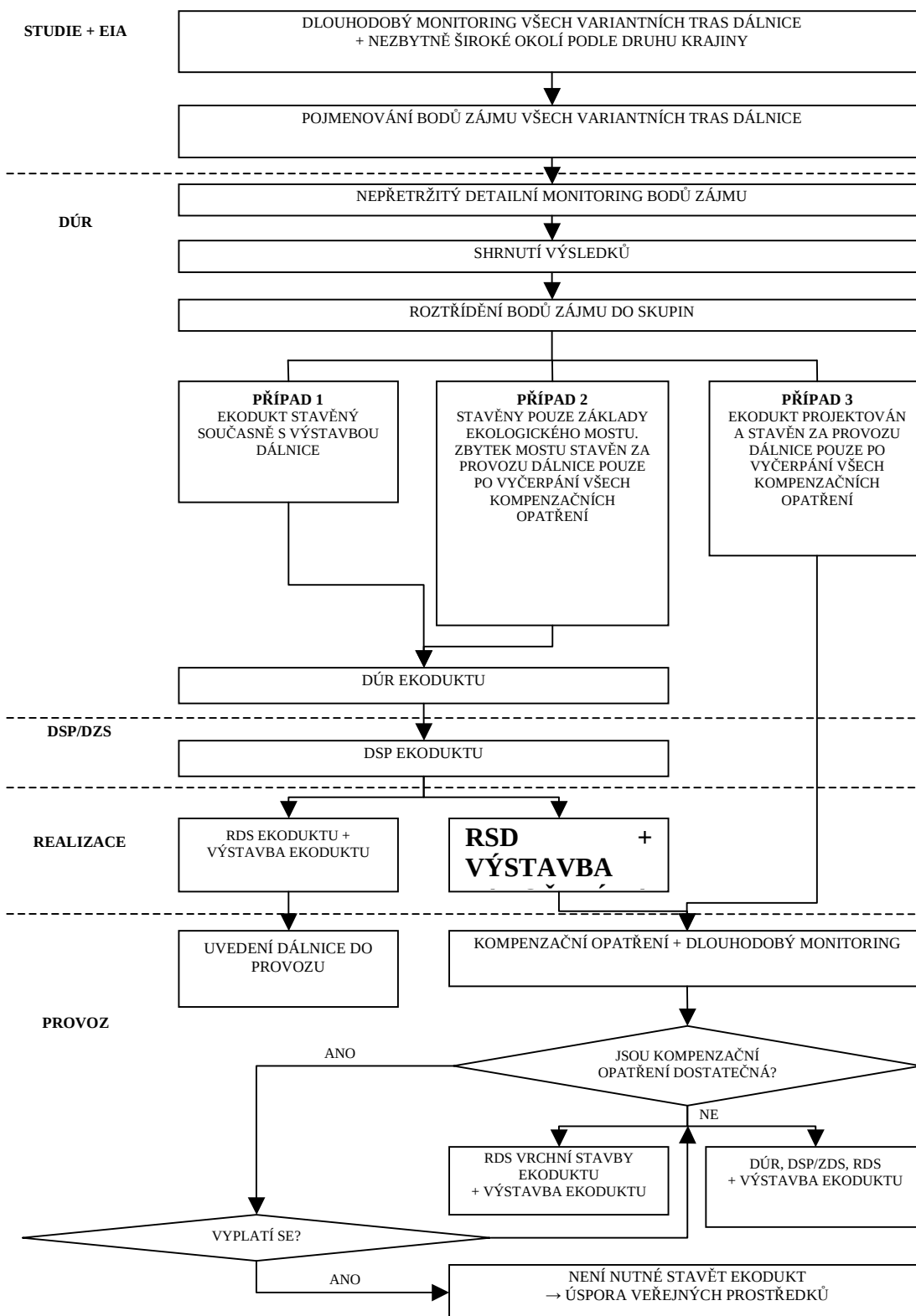


Obr. 1 Současný přístup k návrhu ekologických mostů

Dlouhodobý monitoring je primárním vstupem pro rozhodnutí o výstavbě ekologického mostu. Na jeho základě lze sledované umístění zatřídit následovně (detailně v [1]):

- **Případ 1** – pokud je migrační potenciál v daném místě evidentní a nezpochybnitelný (příkladem je spojnice dvou biotopů se snadno ověřitelnou migrací živočichů) a není možné provést žádná kompenzační opatření, ekologický most je projektován a stavěn zároveň s celou stavbou za pokračujícího detailního monitoringu. Tento případ není obvyklý, ale je možný.
- **Případ 2** – pokud je migrační potenciál evidentní pro daný biotop, ale existuje pochybnost, zda bude přítomen i po dostavbě dálnice, jsou vybudovány pouze základy standardizované konstrukce ekologického mostu a prováděna kompenzační opatření. Zbytek konstrukce je postaven za provozu, pokud tato kompenzační opatření selžou a prokáže se silný migrační potenciál.
- **Případ 3** – pokud je migrační potenciál běžný pro daný biotop, ale panuje silná pochybnost, zda bude přítomen i po dostavbě dálnice, jsou připravena a prováděna kompenzační opatření spolu s detailním monitoringem. Pokud jsou kompenzační opatření úspěšná, ušetří se prostředky, pokud nikoli, je v daném místě postavena za provozu standardizovaná konstrukce.

Nový přístup k návrhu a výstavbě ekologických mostů je shrnut na Obr. 2.

FÁZE PROJEKTU A
VÝSTAVBY

Obr. 2 Nový přístup k návrhu ekologických mostů

4 Závěr

V příspěvku byl popsán současný rozhodovací algoritmus při výstavbě ekologických mostů a nabídnut nový, jež minimalizuje jeho nedostatky. S jeho pomocí se posiluje role dlouhodobého monitoringu při plánování a výstavbě ekologických mostů a maximalizuje role kompenzačních opatření. Dálniční mosty přebírají klíčovou roli při zajišťování propustnosti krajiny.

Ekologický most je pak stavěn, pouze pokud selžou všechna kompenzační opatření a při zachovaném provozu na dálnici.

References:

- [1] FOGLAR, M., BOCEK, R.: *Innovative Method of Design and Construction of Ecological Bridges* Sborník příspěvků vědecké konference Ekodukty – Umožnění migrací nebo plýtvání penězi z veřejných prostředků?, 8D, Brno 2009, p. 1-7.
- [2] FOGLAR, M., KŘÍSTEK, V., PĚNČÍK, J.: *Structures for the Innovative Ecological Bridges Design and Construction* Sborník příspěvků vědecké konference Ekodukty – Umožnění migrací nebo plýtvání penězi z veřejných prostředků?, 8D, Brno 2008, pp. 9-13.
- [3] FOGLAR ET AL.: *Návrh variantního řešení nosné konstrukce ekologického mostu pro migrační koridor přes Jablunkovskou brázdu pro velké savce* Výzkumná zpráva, OSVVP ČSSI, Praha, 2009, p. 40.

The research project was realised by the help of GACR project No. 103/09/2071, 103/08/1278 and 103/08/1677 and Czech Ministry of Education project MSM 6840770005.

Standardizované konstrukce pro výstavbu ekologických mostů za zachovaného provozu na komunikaci

Ing. Marek Foglar, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.

marek.foglar@fsv.cvut.cz

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstract

The paper presents construction systems of ecological bridges which can be built during the operation of the motorway. The structural description is accompanied by the summarization of the specifics of the construction and demands on traffic limitations.

1 Úvod

Minimalizace negativních dopadů výstavby kapacitní dopravní infrastruktury na životní prostředí je jedním ze základních prostředků k zajištění udržitelného rozvoje v dopravním stavitelství. Jedním z prostředků k dosažení tohoto cíle je minimalizace fragmentace populací způsobené dělicím účinkem dopravní infrastruktury pomocí výstavby ekologických mostů (ekoduktů).

V příspěvku jsou popsány konstrukční systémy ekologických mostů, které je možné využít při stavbě ekologických mostů na základě skutečných migračních požadavků zvěře, po vyčerpání všech kompenzačních opatření a při zachovaném provozu na dálnici.

Popis konstrukčních systémů je doplněn shrnutím specifik výstavby a požadavků na omezení provozu.

2 Současný přístup k návrhu a výstavbě ekologických mostů

Standardizované konstrukce pro nový přístup k návrhu a výstavbě ekologických mostů musí splňovat jeho požadavky, tedy:

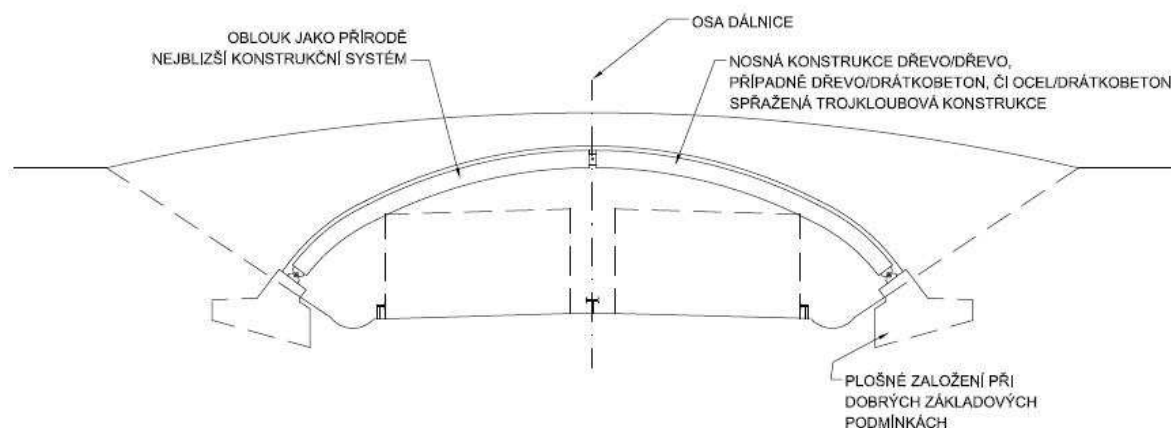
- musí vyhovovat pro výstavbu za plného, či jen částečně omezeného provozu
- musí umožnit výstavbu pouze základů, či částí spodní stavby dostavbu zbytku konstrukce později bez omezení její únosnosti a trvanlivosti
- musí být lehké a jednoduché na osazení, zároveň však trvanlivé a objemově stálé

Tyto požadavky vedou na dva možné konstrukční systémy, a to trojkloubový oblouk ze dřeva či oceli přemostující oba směry směrově rozdělené komunikace a plně integrovaný rám s pilířem v středním dělicím pruhu. Oba konstrukční systémy jsou níže stručně popsány, podobný popis viz [2]. Oba konstrukční systémy byly již s výhodou uplatněny v [3].

Oba konstrukční systémy je možné stavět za plného provozu v obou jízdních páslech směrově rozdělené komunikace, případně za krátkodobých omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů. Osazování nosné konstrukce probíhá v případě dřevěného oblouku za krátkodobého přerušení provozu v obou směrech, v případě betonového rámu za svedení provozu do jednoho jízdního pásu. Podrobně v [2].

2.1 Trojkloubový oblouk

Oblouk je přírodě nejbližší konstrukční systém. Optimální návrh střednice zmenšuje ohybové momenty a snižuje konstrukční výšku. Horizontální síly od nosné konstrukce musí být zachyceny buď plošně založenými základovými bloky v případě únosného podloží, případně základovými bloky na pilotách či základovými bloky spojenými táhlem v případě neúnosného podloží. Příklad ekologického mostu provedeného jako trojkloubového oblouku je uveden na Obr. 1.



Obr. 1 Příklad ekologického mostu provedeného jako trojkloubový oblouk

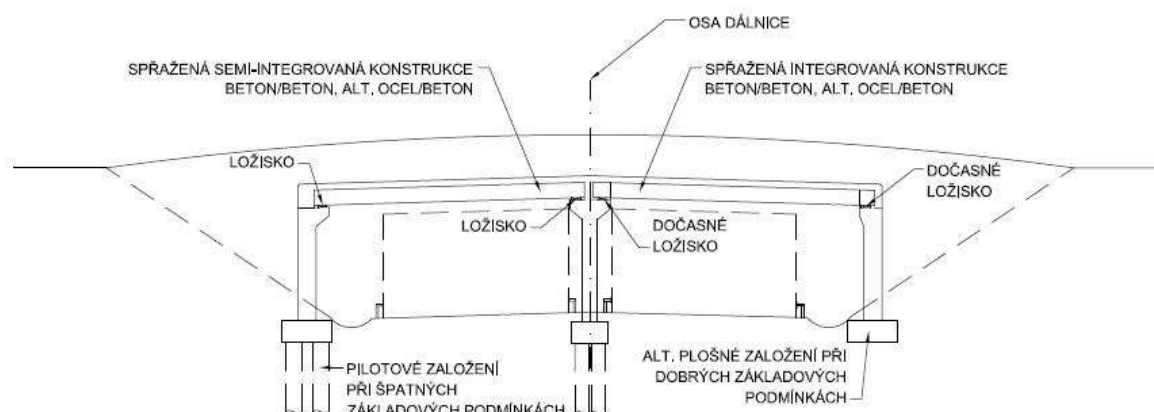
Hlavní nosníky oblouku mohou být vyrobeny ze dřeva či oceli. Beton se pro tento typ konstrukce nehodí pro svou vysokou objemovou hmotnost. Spřažená deska tvořící podklad pro izolace nadnásypu může být provedena ze dřeva či dílců z vláknobetonu.

Spodní stavba se vybuduje bez omezení provozu na komunikaci, nosná konstrukce trojkloubového ekologického mostu pak může být sestavena v následujících krocích:

- Výstavba lehkých dočasných podpor ve středním dělicím pruhu.
- Montáž hlavních nosníků dvěma jeřáby, každý v jednom jízdním pruhu. Nejdříve se hlavní nosníky osadí do patního kloubu, pak se spojí ve vrcholovém kloubu. V této fázi je nutné krátkodobé přerušení provozu v obou směrech v řádu několika hodin.
- Zavětrování hlavních nosníků dřevěným či ocelovým zavětrováním (podle materiálu nosné konstrukce), krátkodobá přerušení provozu.
- Technologická přestávka pro demontáž jeřábů, uvolnění dopravy pro omezení kongescí.
- Montáž spřažené desky při přerušeném provozu v prvním jízdním pásu, provoz je převeden do druhého jízdního pásu, omezení šířky jízdních pruhů a rychlosti provozu.
- Montáž spřažené desky při přerušeném provozu v druhém jízdním pásu, provoz je převeden do prvního jízdního pásu, omezení šířky jízdních pruhů a rychlosti provozu.
- Provádění izolačního systému na spřažené desce, doprava v obou jízdních pásích, pouze rychlostní omezení.
- Symetrické provádění zásypu nosné konstrukce, doprava omezena do jednoho jízdního pruhu v každém jízdním pásu, rychlostní omezení.
- Dokončovací práce na mostě, omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů v obou jízdních pásích.

2.2 Integrovaný rám

Integrovaný rám představuje celkem běžný konstrukční systém – běžně užívaný a upřednostňovaný dodavateli. Dobře navržené betonové prefabrikované či ocelové nosníky jsou jednoduché z hlediska výroby, montáže i údržby. Na rozdíl od dřevěné konstrukce není riziko biologického napadení, trvanlivost dobře navržených a provedených betonových či ocelových konstrukcí je prověřená již více jak jedním stoletím. Do spodní stavby se nepřenáší významná horizontální síla od nosné konstrukce, spodní stavba nemusí být tak robustní jako v případě obloukových konstrukcí. Příklad ekologického mostu provedeného jako integrovaný rám je uveden na Obr. 2.



Obr. 2 Příklad ekologického mostu provedeného jako semi-integrovaný (vlevo), tak plně integrovaný rám (vpravo)

Hlavní nosníky mohou být vyrobeny z prefabrikátů z předem předpjatého či železového betonu, případně z oceli. Betonová spřažená deska zajišťuje rozdělení zatížení na jednotlivé nosníky a zajišťuje podkladní plochu pro izolační systém a zpětný zásyp konstrukce. Hlavní nosníky nesou ztracené bednění, například desky CETRIS, či desky z drátkobetonu – není potřeba budovat dočasné bednění.

Nosná konstrukce může být uspořádána jako plně či semi-integrovaná konstrukce. V případě semi-integrované konstrukce má nosná konstrukce trvalá ložiska a zavěšené závěrné zdi, v případě plně integrované konstrukce má nosná konstrukce pouze dočasná ložiska je plně integrována v rámových rozích.

- Ekologický most ve tvaru integrovaného rámu pak může být sestavena v následujících krocích:
- Betonáž opěr a střední stojky, omezení dopravy na jeden jízdní pruh v obou jízdních pásích.
- Montáž hlavních nosníků jedním jeřábem v prvním jízdním pásu, dočasné zavětrování nosníků, dočasně převedený provoz obousměrně do druhého jízdního pásu, omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů.
- Montáž hlavních nosníků jedním jeřábem v druhém jízdním pásu, dočasné zavětrování nosníků, dočasně převedený provoz obousměrně do prvního jízdního pásu, omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů.
- Montáž ztraceného bednění na hlavní nosníky v prvním jízdním pásu, provoz dočasně převeden do druhého jízdního pásu, omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů.

- Montáž ztraceného bednění na hlavní nosníky v druhém jízdním pásu, provoz dočasně převeden do prvního jízdního pásu, omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů.
- Betonáž spřažené železobetonové desky, omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů v obou směrech.
- Provádění izolačního systému na spřažené železobetonové desce, pouze rychlostní omezení provozu.
- Symetrické provádění zásypu nosné konstrukce, doprava omezena do jednoho jízdního pruhu v každém jízdním pásu, rychlostní omezení.
- Dokončovací práce na mostě, omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů v obou jízdních pásech.

3 Závěr

V příspěvku byly popsány konstrukční systémy ekologických mostů, které je možné využít při stavbě ekologických mostů na základě skutečných migračních požadavků zvěře a při zachovaném provozu na dálnici. S výhodou se uplatní betonové prefabrikáty a dřevěné lepené konstrukce, s nimiž je možné dosáhnout výrazných úspor v času realizace a nákladech na výstavbu.

Ekologický most může být tedy stavěn, pouze pokud selžou všechna kompenzační opatření a při zachovaném provozu na dálnici.

References:

- [1] FOGLAR, M., BOCEK, R.: *Innovative Method of Design and Construction of Ecological Bridges* Sborník příspěvků vědecké konference Ekodukty – Umožnění migrací nebo plýtvání penězi z veřejných prostředků?, 8D, Brno 2009, p. 1-7.
- [2] FOGLAR, M., KŘÍSTEK, V., PĚNČÍK, J.: *Structures for the Innovative Ecological Bridges Design and Construction* Sborník příspěvků vědecké konference Ekodukty – Umožnění migrací nebo plýtvání penězi z veřejných prostředků?, 8D, Brno 2008, pp. 9-13.
- [3] FOGLAR ET AL.: *Návrh variantního řešení nosné konstrukce ekologického mostu pro migrační koridor přes Jablunkovskou brázdu pro velké savce* Výzkumná zpráva, OSVVP ČSSI, Praha, 2009, p. 40.

The research project was realised by the help of GACR project No. 103/09/2071, 103/08/1278 and 103/08/1677 and Czech Ministry of Education project MSM 6840770005.

Matematická optimalizace tvaru střednice ekologických mostů

Ing. Marek Foglar, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.

marek.foglar@fsv.cvut.cz

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstract

The paper presents two shapes of cast-in-place concrete ecological overbridges, one of them is the 2nd grade parabola combined with circle arches, and the second one is the shape of the hyperbolic cosine. The mathematical optimization is one of the keys to structural efficient and cost-effective ecological bridges design.

1 Úvod

Minimalizace negativních dopadů výstavby kapacitní dopravní infrastruktury na životní prostředí je jedním ze základních prostředků k zajištění udržitelného rozvoje v dopravním stavitelství. Jedním z prostředků k dosažení tohoto cíle je minimalizace fragmentace populací způsobené dělícím účinkem dopravní infrastruktury pomocí výstavby ekologických mostů (ekoduktů).

V příspěvku je popsán způsob matematické optimalizace tvaru střednice betonových ekologických mostů. Jsou popsány dva tvary střednice, střednice ve tvaru paraboly druhého stupně kombinované s kruhovými oblouky a střednice ve tvaru hyperbolického kosinu.

Optimální tvar konstrukce vede k minimalizaci ohybových momentů a tak zvyšuje konstrukční a ekonomickou efektivitu konstrukce ekologického mostu.

2 Optimalizace tvaru střednice betonových oblouků

Oblouk je přírodě nejbližší konstrukční systém. Je kladně vnímám nejen odbornou ale i laickou veřejností.

Optimální návrh střednice zmenšuje ohybové momenty a snižuje konstrukční výšku. Horizontální síly od nosné konstrukce musí být zachyceny buď plošně založenými základovými bloky v případě únosného podloží, případně základovými bloky na pilotách či základovými bloky spojenými táhlem v případě neúnosného podloží.

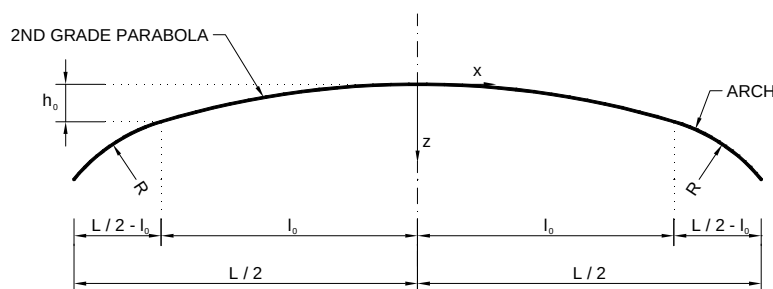
2.1 Parabola druhého stupně

Obvyklé konstrukce betonových ekologických mostů mají střednici provedenou ve tvaru paraboly druhého stupně, jež tečně přechází do kruhových oblouků směrem k základům, cca ve $\frac{3}{4}$ od vrcholu. Toto uspořádání je motivováno potřebou dosažení maximální průjezdné výšky v těsné blízkosti základů betonového oblouku.

Střednici ve tvaru paraboly je možné popsat následující rovnicí, Eq.1:

$$z = \frac{x^2}{\left(\frac{l_0^2}{h_0}\right)}$$

Eq. 1 Rovnice paraboly druhého stupně, obvyklé střednice betonových ekologických mostů. Definice užitých symbolů viz Obr. 1.



Obr. 1 Parabola druhého stupně kombinovaná s kruhovými oblouky coby střednice betonového ekologického mostu

2.2 Hyperbolický kosinus

Druhé možné uspořádání střednice betonového ekologického mostu vychází z teoretického odvození pro oblouk se zásypem (nadsýpem). Oblouk je namáhaný pouze osovou silou (bude definována níže).

Střednici je možné matematicky vyjádřit ve formě následující funkce:

$$y = f(x) \quad \text{Eq. 2}$$

Vodorovná síla se zavede jako H . Za předpokladu, že zatížení je přímo úměrné výšce nadsýpu, vede řešení problému na diferenciální rovnici ve tvaru:

$$H \cdot y'' = g \cdot y \quad \text{Eq. 3}$$

Obecné řešení rovnice Eq. 3 za předpokladu, že

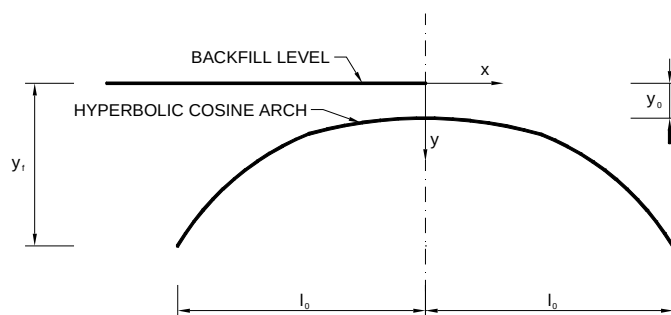
$$\alpha^2 = g / H \quad \text{Eq.4}$$

je hledáno v následující formě:

$$y = C_1 \cdot \sinh(\alpha x) + C_2 \cdot \cosh(\alpha x) \quad \text{Eq. 5}$$

Při zvážení okrajových podmínek tvaru střednice ekologického mostu na Obr. 2, je její tvar možné vyjádřit následující rovnicí:

$$y = y_0 \cdot \cosh(\alpha x) \quad \text{Eq. 6}$$



Obr. 2 Hyperbolický kosinus jako tvar střednice betonového ekologického mostu. (Užité symboly jsou definovány v rovnicích Eq. 2-6).

Srovnání ohybových momentů na skutečné konstrukci ekologického mostu se střednicí ve tvaru paraboly kombinované s kruhovými oblouky a střednicí ve tvaru hyperbolického kosinu je uvedeno v [2].

K největší redukci ohybového namáhání dojde ve vrcholu oblouku, kde je z tohoto důvodu možné navrhnout menší konstrukční výšku. Absolutní hodnoty maximálních momentů v patě růstanou přibližně nezměněny, jen se mírně posunou směrem k vrcholu oblouku.

3 Závěr

V příspěvku byl popsán způsob matematické optimalizace tvaru střednice betonových ekologických mostů.

Jsou popsány dva tvary střednice, střednice ve tvaru paraboly druhého stupně kombinované s kruhovými oblouky a střednice ve tvaru hyperbolického kosinu.

Optimální tvar konstrukce vede k minimalizaci ohybových momentů a tak zvyšuje konstrukční a ekonomickou efektivitu konstrukce ekologického mostu.

Literatura:

- [1] KŘÍSTEK, V., FOGAR, M.: *K modelování statické funkce ekoduktů* Sborník příspěvků vědecké konference Ekodukty – Umožnění migrací nebo plýtvání penězi z veřejných prostředků?, 8D, Brno 2009, p. 15-22.
- [2] KŘÍSTEK, V., VRÁBLÍK, L., HANUŠ, F.: *Dálnice D 11 PRAHA - HRADEC KRÁLOVÉ - Návrh oblouků na polních cestách přes D1105-1* Betonářské dny 2004, Praha ČBS ČSSI 2008, pp. 477-482.
- [3] PĚNČÍK, J.: *Ekodukty na slovenské dálnici D1 u Popradu* Sborník příspěvků vědecké konference Ekodukty – Umožnění migrací nebo plýtvání penězi z veřejných prostředků?, Brno, 2009, pp. 35-42.
- [4] FOGAR, M., KŘÍSTEK, V., PĚNČÍK, J.: *The use of fibre concrete in structures for the innovative ecological bridges design and construction* Sborník příspěvků konference Fibre Concrete 2009, Katedra betonových konstrukcí a mostů FSV ČVUT v Praze, Praha 2009, pp. 87-91.

The research project was realised by the help of GACR project No. 103/09/2071, 103/08/1278 and 103/08/1677 and Czech Ministry of Education project MSM 6840770005.

Rozsah poškození výbuchem - možné přístupy k výpočtu

Ing. Marek Foglar, Ph.D., Ing. Eva Karasová, Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.

marek.foglar@fsv.cvut.cz

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstract

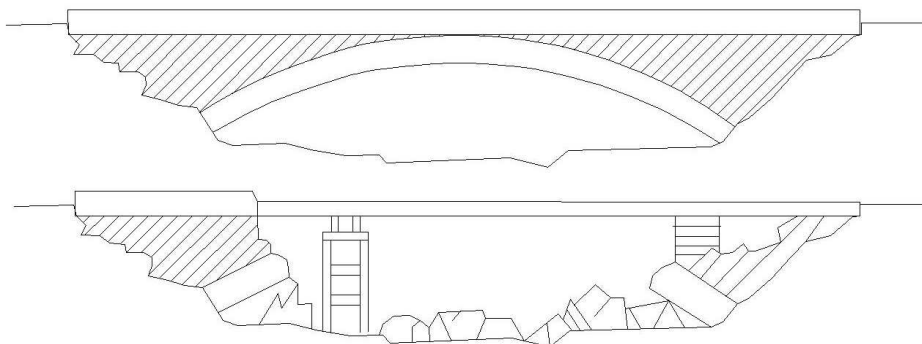
The article describes the basic methods of destroying bridges during the WWII together with some examples from France in 1944. Further, structural details are sorted according to the impact of their destruction on the overall bearing capacity of the bridge and the world's most used method of assessing the residual strength of damaged bridge components is introduced.

1 Úvod

Článek popisuje zatížení výbuchem, která byla výsledkem přímého úderu leteckých bomb do částí nosné konstrukce nebo pilířů a zatížení výbuchem ručně umístěné nálože. Toto bylo realizováno především ke konci 2. Světové války. Účinnost velké bomby, která při útoku ze vzduchu nedopadla s naprostou přesností na nosnou konstrukci, ale těsně vedle mostu, byla větší, než účinnost přesného úderu malých bomb. Cíle jako železniční tratě, viadukty a mosty byly při útoku ze vzduchu považovány za relativně nezranitelné kvůli jejich štíhlosti. Cestou, jak zničit nebo vyřadit z provozu dlouhé mosty, bylo zničit základy mostu. První bomba Tallboy byla shozena Angličany v operaci proti viaduktu Bielefeld a dopadla 50 stop od pilíře. Oslabení podloží způsobilo destrukci šesti pilířů a pěti oblouků viaduktu, a ačkoli přibližné rozměry kráteru byly 150 stop v průměru a 45 stop do hloubky, oslabená půda se vyskytovala v průměru 240 stop, v celkové hloubce 75 stop. Tato ponaučení z 2. Světové války byla znovu využita západními vojenskými silami ve válce v zálivu proti Iráku, kde americká armáda upustila od precizního ničení mostů malými bombami a přiklonila se k použití velmi těžkých bomb, které způsobí destrukci mostu i při dopadu do těsné blízkosti konstrukce. Dalším důležitým aspektem je porušení mostu výbuchem díky ručně umístěné náloži. Například v roce 1971 během války v Bangladéši byl evidován jeden ocelový příhradový a množství malých železobetonových silničních mostů porušených ručně umístěnými náložemi. Škoda byla často způsobena dírou v desce, někdy zahrnující částečnou destrukci nosníků podporujících desku. Často to byla vážná příčina celkového kolapsu mostního pole. K dalším částečným porušením došlo v důsledku vzniku trhlin a drcení materiálu.

2 Příklady mostů zničených v Normandii na konci 2. Světové války

Jeden z nejprínosnějších výzkumů zabývajících se porušením civilních mostů výbuchem byl proveden v roce 1944 ve Velké Británii. Během bojů spojeneckých armád v Normandii bylo provedeno velké množství leteckých útoků na silniční a železniční mosty přes řeku Sénu. Když spojenecká vojska pokročila za řeku Sénu, bylo možné zjištění škod. Během 2. Světové války bylo mnoho mostů (především železničních) poškozeno výbuchy třikrát. Poprvé v roce 1940, když demolovaly části mostů francouzské úřady, podruhé silným bombardováním uprostřed roku 1944 a potřetí německou armádou při ústupu z Normandie a severní Francie na podzim roku 1944.



Obr. 1 Železniční most nedaleko Paříže

Železniční most tvořený masivním betonovým obloukem se nacházel asi 30 mil severozápadně od Paříže (Obr. 1). Tento most byl bombardován 3x - 3.června 1944, kdy nedošlo ke zdemolování mostu a dále 11. a 12.června 1944, kdy sice bylo použito menší množství bomb, avšak účelněji, a most se zřítil. Na jeho místě byl během 18ti následujících dnů postaven most provizorní. Provizorní most byl v dalších dnech a měsících vystaven celkem deseti útokům, během kterých bylo použito 1037 bomb. Ani při jednom z útoků se však cíl nepodařilo zasáhnout tak, aby bylo provizorium zničeno.

Oba konstrukční systémy je možné stavět za plného provozu v obou jízdních páslech směrově rozdělené komunikace, případně za krátkodobých omezení rychlosti provozu a šířky jízdních pruhů. Osazování nosné konstrukce probíhá v případě dřevěného oblouku za krátkodobého přerušení provozu v obou směrech, v případě betonového rámu za svedení provozu do jednoho jízdního pásu. Podrobně v [2].

3 Rozsah poškození výbuchem a možný přístup k výpočtu konstrukce

V dostupné literatuře [1] se doporučuje pro určení následků poškození mostu výbuchem zatřídit konstrukční prvky mostu následovně (toto rozdělení je víceméně intuitivní a v různých zdrojích je uváděno v mnoha autorsky původních verzích, autoři tohoto textu jej také mírně modifikují):

- **Třída 1** – kompletní destrukce konstrukčního prvku kompletně vyčerpá schopnost mostu vzdorovat zatížení, jak stálému tak nahodilému, jeho únosnost, a vede k jeho kolapsu. Tato třída zahrnuje pylony a hlavní lana visutých mostů, pylony zavěšených mostů, jednokomorové nosníky a mostní pilíře a opěry.
- **Třída 2** – kompletní či částečná destrukce konstrukčního prvku značně oslabí schopnost mostu vzdorovat zatížení, nicméně oprava umožní udržet alespoň minimální únosnost konstrukce. Tato třída zahrnuje jednotlivé hlavní nosníky mostů o dvou a více hlavních nosnících, mostovky spřažených mostů a příčníky příhradových mostů.
- **Třída 3** – kompletní či částečná destrukce konstrukčního prvku má jen lokální vliv na únosnost mostu, po jeho opravě je obnovena původní únosnost mostu. Tato třída zahrnuje mostovky monolitických či celo-ocelových mostů, či prvky staticky neurčitých příhradových konstrukcí, případně závěsy síťových oblouků.

Zbytková únosnost jakéhokoli konstrukčního prvku mostu, nezávisle na tom, do jaké třídy je zařazen, je téměř vždy spojena s rozměrem průřezové plochy konstrukčního prvku, která v důsledku výbuchu chybí, dále s umístěním poškození a jeho rozsahem po délce konstrukčního

prvku. Zbytková únosnost závisí také na deformacích konstrukčních prvků způsobených tlakovou vlnou vyvolanou výbuchem, jež může vést k příčnému posunutí prvku, jeho zkrácení, či zkroucení. Zbytková únosnost skupiny konstrukčních prvků je také ovlivňována destrukcí jednoho připojeného prvku nebo spoje jednotlivých prvků.

Pokud výbuch zmenší průřezovou plochu konstrukčního prvku, oslabení může vést ke snížení jeho tahové, tlakové, ohybové či smykové únosnosti, případně jejich kombinace. Oslabení průřezu může mít jakýkoli tvar, nicméně uvažujme, že se v případě pravouhlého průřezu zachová jeho šířka **b**, oslabení sníží jeho výšku **d**.

Typ prvku, definovaný podle jeho převládajícího namáhání, může být se způsobem porušení spojen následující úměrou [1], ve které je levá strana nazývána jako „poměr únosností“ a pravá strana „(poměr ploch)^m“:

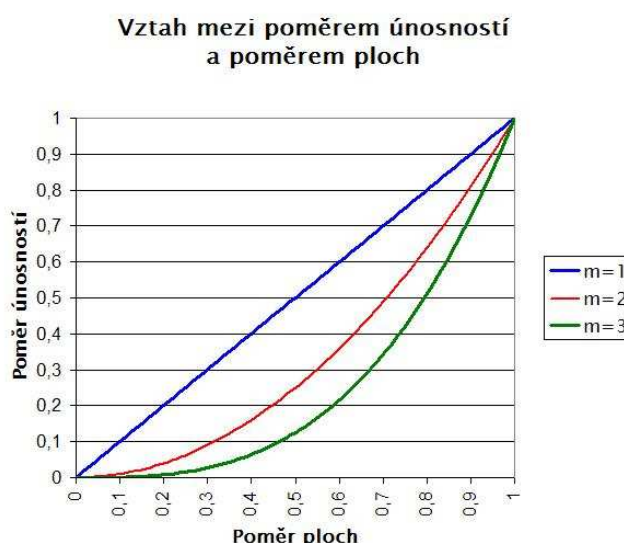
$$\frac{\text{Zbytková}_\text{únosnost}}{\text{Puvodní}_\text{únosnost}} \propto \left[\frac{\text{Zbytková}_\text{plocha}}{\text{Puvodní}_\text{plocha}} \right]^m$$

kde **m** může nabývat hodnot 1, 2 nebo 3, viz níže.

Parametr **m** nabývá následujících hodnot pro tyto konstrukční prvky:

- **m = 1** pro prvky namáhané pouze tahem. Tahová únosnost je přímo úměrná ploše průřezu.
- **m = 1** pro prvky namáhané pouze smykem. Platí v případech oslabení průřezu v místech maximální posouvající síly.
- **m = 2** pro prvky namáhané ohybem. Ohybová únosnost vychází z průřezového modulu **W** a ten je závislý na druhé mocnině výšky průřezu.
- **m = 3** pro prvky vzpěrným tlakem (horní pasy příhradových nosníků, pylony zavěšených mostů, apod.). Při výpočtu stability prvků (ať již stabilitním výpočtem, nebo pomocí součinitelů vzpěru) se vychází z momentu setrvačnosti **I** a ten je závislý na třetí mocnině výšky průřezu.

Na Obr. 2 je možné vidět vztah mezi „poměrem únosností“ a „(poměrem ploch)^m“ pro běžný průřez a namáhání. Složitější průřezy a způsoby namáhání vedou na mezilehlé hodnoty parametru **m**.



Obr. 2 Vztah mezi poměrem únosnosti a poměrem ploch, podle [1]

4 Závěr

Příspěvek popsal způsoby ničení mostů za druhé světové války a shrnul jejich účinnost a náročnost na výbušniny. Popis je doplněn příklady z Francie z roku 1944. Dále je provedeno zatřídění konstrukčních prvků mostu pro určení následků jejich zničení či poškození na únosnost mostu. Následovně je představena ve světě hojně užívaná metoda určení poměru zbytkové ku původní únosnosti konstrukčního prvku na základě poměru jeho zbytkové a původní plochy.

References:

- [1] BULSON, P.S.: *Explosive Loading of Engineering Structures* E & FN SPON 1997, p. 236.
- [2] FOGLAR, M., KŘÍSTEK, V.: *Extrémní návrhové situace v mostním stavitelství* Silnice železnice 3/2006, KONSTRUKCE Media 2006 pp. 10-15.
- [3] KARASOVÁ, E., FOGLAR, M., KŘÍSTEK, V.: *Extrémní návrhové situace konstrukcí – účinek výbuchu* Mosty 2008, Sekurkon 2008, pp. 181-185.

The research project was realised by the help of GACR project No. 103/09/2071 and 103/08/1677 and Czech Ministry of Education project MSM 6840770005.

Zatížení mostů výbuchem a seismikou - společné znaky a odlišnosti

Ing. Marek Foglar, Ph.D., Ing. Eva Karasová, Prof. Ing. Vladimír KřísteK, DrSc.

marek.foglar@fsv.cvut.cz

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstract

The article describes the basic similarities and differences between the blast and seismic loading. On hand of a comparison it proposes calculation methods and arrangement of details to meet the requirements of both the loadings.

1 Úvod

Článek popisuje základní společné znaky zatížení výbuchem a zatížení seismikou. Na základě jejich srovnání nabízí výpočetní postupy a konstrukční uspořádání detailů tak, aby splňovaly požadavky obou typů zatížení.

2 Porovnání zatížení mostů výbuchy a seismikou

Výzkumy zahraničních vědeckých kolektivů [1] prokázaly, že existuje mnoho shodných znaků mezi zatížením mostů výbuchy a seismikou jak z hlediska charakteristiky zatížení, tak z hlediska odezvy konstrukce. Shodu je možné sledovat v následujících bodech:

- ◆ z hlediska zatížení
 - ♣ jak zatížení mostů výbuchy, tak zatížení mostů seismikou mají největší neznámé v:
 - ♠ místě působení zatížení
 - ♠ velikosti působícího zatížení
 - ♣ jak pro zatížení mostů výbuchy, tak pro zatížení mostů seismikou je charakteristický strmý útlum zatížení se vzdáleností od jeho zdroje
- ◆ z hlediska možných následků
 - ♣ jak zatížení mostů výbuchy, tak zatížení mostů seismikou mohou vyústit v progresivní selhání celé konstrukce,
 - ♣ oba druhy zatížení vyžadují pro budoucí omezení následků nadbytečné náklady během návrhu a výstavby
- ◆ z hlediska odezvy konstrukce
 - ♣ z hlediska odezvy konstrukce dominuje v obou případech smykové selhání
 - ♣ lokálním selháním brání v první řadě smyková tuhost daných prvků a jejich duktilita
 - ♣ pracovní diagram celé konstrukce je důležitý pro odhadnutí účinku na konstrukci, nestačí znát přetvárné chování jednotlivých částí

Z těchto důvodů je rozumné užít jednotný přístup k návrhu konstrukcí na zatížení seismikou a výbuchy a (anebo) k návrhu rekonstrukcí existujících konstrukcí z účelem zlepšení jejich chování v případě nehodové události se zahrnující více vstupních parametrů. Tab. 1 shrnuje základní společné znaky zatížení výbuchem a zatížení seismikou.

Zatížení seismikou	Zatížení výbuchem
Historie zatížení neznámá: - místo - intenzita - doba trvání - frekvenční složení - max. zrychlení, apod.	Historie zatížení neznámá: - místo - vzdálenost nálože od konstrukčního prvku - velikost nálože - typ nálože - uspořádání nálože, apod.
Útlum zatížení způsobeného zrychlením zemského povrchu	Útlum zatížení způsobeného tlakem spalín
Rozhoduje smyková tuhost prvků	Rozhoduje smyková tuhost prvků
Konstrukce musí mít velkou deformační kapacitu (duktilitu) v ohybu	Konstrukce musí mít velkou deformační kapacitu (duktilitu) v ohybu

Tab. 1 Základní společné znaky zatížení výbuchem a zatížení seismikou

Na druhou stranu je možné vysledovat i významné rozdíly v zatížení mostů výbuchy a seismikou, jako jsou například:

- ♦ doba trvání zatížení
- ♦ z doby trvání zatížení vyplývající rychlost deformace
- ♦ dosah počátečního poškození
- ♦ dosah počátečního impulzu
- ♦ Zatížení výbuchem v případě blízkého uložení nálože rozbíjí křehké materiály, zatížení seismikou jen v případě nehodně navržených detailů [2]. Opatření pro zmírnění účinku výbuchu tak musí uvažovat užití „ovinutí“, což není prvořadé v případě zatížení seismikou.

Tab. 2 shrnuje základní rozdíly mezi zatížením výbuchem a zatížením seismikou.

Zatížení seismikou	Zatížení výbuchem
Celá konstrukce je ovlivněna	Ovlivněny pouze lokální konstrukční prvky
Doba odezvy konstrukce 1-2s	Doba odezvy konstrukce 0,1-1s
Rychlost deformace může být zanedbána	Rychlost deformace je důležitým faktorem
Doba trvání 10-45s	Doba trvání 1-2ms
Ovinutí konstrukčních prvků v místě možného vzniku plastických kloubů	Vhodné ovinutí konstrukčních prvků proti tříštění a protlačení

Tab. 2 Základní rozdíly mezi zatížením výbuchem a zatížením seismikou

Na základě uvedeného přehledu je vhodné jak společné znaky, tak rozdíly v zatížení mostů výbuchem a seismikou dále studovat a vyvinout multi-kriteriální přístup k omezení následků obou nehodových situací.

3 Vhodné uspořádání konstrukčních detailů z hlediska zatížení seismikou

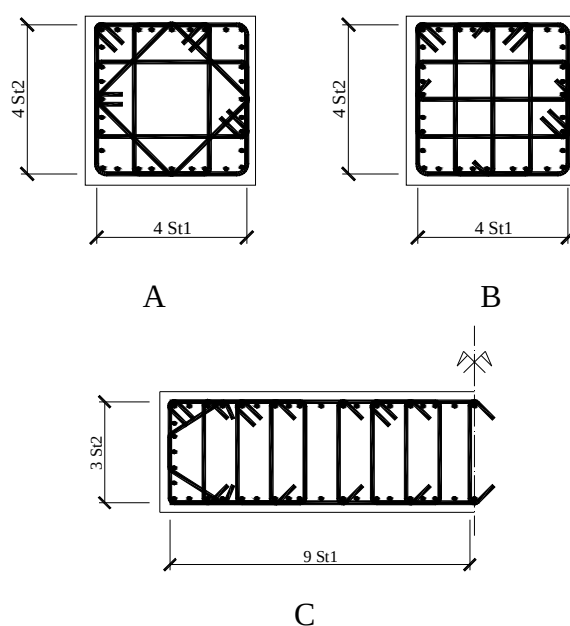
Norma EN 1998-2 [3] předepisuje vhodné uspořádání konstrukčních detailů. Tato pravidla je možné použít u mostů s poddajným chováním a s cílem zajistit minimální pootočení v plastickém kloubu. Obecně není dovoleno umísťovat plastické klouby do desky, proto není potřeba pro tato místa specifikovat detaily a pravidla.

Pro zajištění duktilního chování míst s uvažovaným vznikem plastických kloubů musí být splněny následující požadavky:

♦ Obdélníkový průřez

Vzdálenost třmínků nebo spon ve směru podélné osy vyztužovaného prvku (s_L) by měla splnit následující požadavky:

- ♣ $s_L \leq 6$ průměrů podélné výztuže
- ♣ $s_L \leq 1/5$ nejmenší vzdálenost od jádra průřezu ke střednici třmínků



Obr. 3 Uspořádání výztuže v železobetonových obdélníkových pilířích s užitím překrývajících se obdélníkových třmínků a příčných spon (A – 4 uzavřené třmínky, B – 3 uzavřené třmínky a příčné spony, C – uzavřené třmínky a příčné spony), podle [3]

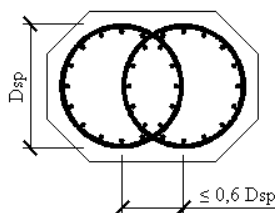
Příčná vzdálenost mezi větvemi třmínků či spon by neměla přesahovat třetinu nejmenšího rozměru betonového jádra či 200mm.

$$s_{T1}, s_{T2} \leq \min(b_{\min}/3, 200 \text{ mm})$$

♦ Kruhový průřez

Mezery mezi spirálou nebo třmínky (s_L) by měla splňovat stejné požadavky jako průřez obdélníkový

- ♣ $s_L \leq 6$ průměrů podélné výztuže
- ♣ $s_L \leq 1/5$ nejmenší vzdálenost od jádra průřezu ke střednici třmínků



Obr. 4 Vhodné uspořádání výztuže v železobetonových pilířích s užitím překrývajících se spirál nebo třmínků, podle [3]

- ♦ V místě uvažovaného možného vzniku plastického kloubu musí být zajištěno dostatečné ovinutí výztuží, směrem od něj se mohou rozteče výztuže kontinuálně zvětšovat.
- ♦ Prutům podélné výztuže musí být zabráněno ve vyboulení příčnou výztuží (třmínky či spony). Její rozmístění musí být po délce prvku vystřídáno za maximální vzdálenosti 200mm. Spony musí mít speciální kotevní úpravu.

4 Závěry ze srovnání zatížení výbuchem a seismikou a uspořádání detailů podle EN 1998-2

Ze srovnání společných znaků zatížení výbuchem a seismikou vyplývá společný charakter porušení, a to porušení smykem. Dostatečné smykové vyztužení zajistí ovinutí průřezu a umožní vznik plastických kloubů, jež dodají konstrukci duktilitu. Zvýšená duktilita konstrukce je předpokladem převzetí nehodového zatížení a omezení ztrát na životech a majetku.

Zatímco u zatížení seismikou předpokládáme vznik plastických kloubů na určitých místech (paty pilířů, vetknutí pilířů do nosné konstrukce, apod.), zatížení výbuchem může působit při teroristickém útoku či nehodové události takřka kdekoli.

Analýzou možností ohrožení dané konstrukce můžeme vytipovat její kritická místa a navrhnout odpovídající úpravu detailů jejich vyztužení. Relativně malý nárůst objemu betonářské výztuže může být v případě nehodové události mnohonásobně zhodnocen úsporou na lidských životech a majetku v případě teroristického útoku či jiné nehodové události charakteru výbuchu.

References:

- [1] SEIBLE, F., HEGEMIER, G., KARBHARI, V.,M., WOLFSON, J., ARNETT, K., CONWAY, R., BAUM, J., D.: *Protection of our bridge infrastructure against man-made and natural hazards* Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 4, No. 6, 2008, pp. 415-429.
- [2] FOGLAR, M, KARASOVÁ, E.: *Analýza příčin zkázy mostu Cypress Street Viaduct v důsledku zemětřesení Loma Prieta* Udržitelná výstavba 4. Praha: ČVUT v Praze, 2008, pp. 111-116.
- [3] EN 1998-2 *Eurocode 8 — Design of structures for earthquake resistance — Part 2: Bridges* CEN, 2005.

The research project was realised by the help of GACR project No. 103/09/2071 and 103/08/1677 and Czech Ministry of Education project MSM 6840770005.

Současný stav stavebně nedokončené tvrze Skutina čs. opevnění z let 1935-38

Ing. Marek Foglar, Ph.D.

marek.foglar@fsv.cvut.cz

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstract

The paper describes the construction and the present state of the unfinished artillery fortress Skutina of the Czechoslovak pre-war fortifications.

1 Úvod

Důležitým prvkem udržitelné výstavby je studium vlivu degradace stavební materiálů způsobené povětrností, antropogenními poškozeními, chybně navrženými detaily, atd. na celkovou trvanlivost stavebních konstrukcí. Výborný příklad pro studium těchto vlivů nám poskytují objekty československého předválečného opevnění, které již více jak 70let odolávají jejich působení.

Dělostřelecká tvrz Skutina čs. opevnění z let 1935 – 38 začala být nedaleko obcí Sněžné a Polom na Náchodsku budována dne 14. prosince 1937. Do prvního října 1938, kdy muselo být následkem Mnichovské dohody staveniště opuštěno, stihla stavební firma Dr. Karel Skorkovský, Praha XII vybudovat dva z plánovaných šesti objektů, další rozpracovat a vyřubat velkou část rozsáhlého podzemí tvrze.

Příspěvek popisuje rozsah provedených prací a současný stav betonových konstrukcí na základě archivních materiálů a výzkumu zachovaných zbytků staveniště v terénu.

2 Stručný popis tvrze

Dělostřelecká tvrz Skutina byla navržena na vrchol kóty 737m Skutina nad obcemi Sněžné a Polom, směrem k horské samotě Lužany. Tvrz se měla sestávat z šesti objektů:

- Pěchotního srubu N-Sk-S-48 „U stodol“
- Pěchotního srubu N-Sk-S-49 „Pod lesem“
- Dělostřelecké otočné výsuvné věže N-Sk-S-50 „Na kótě“
- Minometné otočné věže N-Sk-S-51 „Na mezi“
- Dělostřeleckého srubu N-Sk-S-52 „Bažina“
- Vchodového objektu N-Sk-S-52a „V lese“
-

Nadzemní objekty doplňovalo podzemí, v něm bylo umístěno zázemí tvrze (strojovna, filtrovna, kasárna, apod.). Hlavní galerie délky 1 356m spojovala týl tvrze tvořený vchodovým objektem s čelními pěchotními sruby. Podrobný popis tvrze včetně jejích palebných úkolů je možné najít v dostupné odborné literatuře [4], [5] a [6].

3 Postup výstavby podzemí a objektů tvrze

Pro popis postupu výstavby dělostřelecké tvrze Skutina je využit dochovaný stavební deník tvrze. Ten je rozdělen na celkem osm částí, jednu pro každý objekt a část „Podzemí“ a část „Příjezdná silnice“. V části „Podzemí“ jsou kromě popisu prací na podzemí tvrze uvedeny i obecné informace o výstavbě, část „Příjezdná silnice“ popisuje práce vykonávané na příjezdové komunikaci ke vchodovému objektu.

Odděleně budou popsány práce na všech částech tvrze od předání staveniště do začátku jeho vyklízení po přijetí Mnichovské dohody.

3.1 Práce prováděné přes zimu 1937/38

Od předání staveniště podnikateli dne 14. prosince 1937 do 31. ledna 1938 byly provedeny následující práce:

- Překontrolována trasa štol v místech, kde se připojuje k šachtám jednotlivých objektů, zřízena pevná vytyčovací síť (betonové patky s ocelovými body)
- Byly postaveny dva transformátory, jeden pro dolní strojovnu nedaleko vchodového objektu, druhý pro horní strojovnu nedaleko staveniště objektu N-51.
- Od horního transformátoru bylo nataženo elektrické vedení do strojovny, skladišť, tesárny, ke staveništím N-48, N-49 a N-50 a pracovním šachtám III P a IV P (viz níže) pro pohon motorů pro výtahy a pro osvětlení.
- V horní strojovně byly instalovány tři stabilní kompresory, od nichž bylo položeno vedení stlačeného vzduchu k šachtám objektů N-48 N-49 a N-50 a pracovním šachtám III P a IV P.
- U horní strojovny byla postavena tesárna, kovárna a centrální skladiště pro nářadí, byla zřízena dvě skladiště trhavin.
- Byla dovážena kulatina a fošny pro pažení šachet.

Pro trvalou nepřízeň počasí nemohla firma provést přesné proměření a znivelování trasy hlavní galerie, navázat potřebný materiál, apod.

3.2 Práce na podzemí tvrze od 1/2 do 2/10/1938

Od 1. února 1938 byly zahájeny práce na hloubení šachet. Nepřízeň počasí nedovolovala provádět výkopy pro objekty a z jejich dna dále hloubit šachty, proto byly šachty hloubeny a paženy od terénu (první hloubka pro účtování šachet byla brána ode dna výkopu pro objekt).

Byly zahájeny práce na těchto šachtách:

- Šachta N-48
- Šachta N-49
- Šachta N-50
- Pracovní šachta I P 200m od vchodového objektu v trase hlavní galerie pro přístup ražení prostor technického zázemí tvrze
- Pracovní šachta III P 781m od vchodového objektu v trase hlavní galerie pro přístup k ražení prostor kasáren uvnitř tvrze

19/2 byly zahájeny práce na pracovní šachtě IV P na konci hlavní galerie. Ta se v tomto místě rozdvjovala směrem k pěchotním srubům N-48 a N-49. V druhém týdnu března byla zahájena nivelace hlavní trasy, 15/3 byla zahájeny práce na štole N-52a, 19/3 byly zahájeny práce na šachtě N-51, 21/3 na šachtě N-52. Dne 23/3 byl dokončen výlom 35,95m šachty N-

48, bylo začato s pracemi na štole směrem k pracovní šachtě IV P a započato s pracemi na pracovní šachtě II P 505m od vchodového objektu v trase hlavní galerie. V této době se na stavbě tvrze pracovalo na dvě směny, 6-18 a 18-6 hod, přes den 239 osob, v noci 81 osob. V polovině května bylo na stavbě tvrze zaměstnáno přes den 255 osob, v noci 88; u šachty N-48 byla zahájena postupná betonáž, betonáž šachty N-49 byla připravována. Práce na nejhlubší a poslední dokončené šachtě N-50 byly dokončeny 29/7/38. Hloubky jednotlivých šachet a datum jejich zahájení a dokončení shrnuje Tab. 1.

Objekt / šachta	Datum zahájení prací	Datum ukončení prací	Konečná hloubka
N-48	1/2/38	23/3/38	35,95m
N-49	1/2/38	28/3/38	30,60m
N-50	1/2/38	29/7/38	59,70m
N-51	19/3/38	14/7/38	53,84m
N-52	21/3/38	2/7/38	38,35m
I P	1/2/38	8/4/38	30,60m
II P	23/3/38	28/6/38	29,45m
III P	1/2/38	13/5/38	47,00m
IV P	19/2/38	3/6/38	50,80m

Tab. 1 Data zahájení a ukončení hloubení jednotlivých šachet tvrze Skutina, jejich hloubky

Dne 23/9/38, posledního běžného pracovního dne stavby tvrze Skutina bylo na stavbě přítomno 170 osob na denní směně, 77 na noční.

Štoly od pracovních šachet byly k ukončení prací vyraženy v následujícím rozsahu:

- Štola IV P – N-49 v délce 148,8m
- Štola IV P – III P v délce 26,30m
- Štola III P – N-52 v délce 47m
- Štola II P – III P v délce 86,20m
- Štola N-51 – IV P v délce 94m
- Štola N-50 – N-51 v délce 60m
- Štola N-52a – PII v délce 505m

Výlom sálů technického zázemí tvrze, muničních skladů a kasáren byl proveden v omezeném rozsahu.

Výstavbu tvrze ztěžovala od počátku vysoká hladina podzemní vody. Výpadky čerpadel způsobovaly vždy okamžité zatopení podzemí a přerušení prací. Posledním dnem čerpání byl 1. říjen 1938, poté se celé vyrubané a vzájemné nepropojené podzemí, kde nefungovalo samočinné odvodnění, nenávratně zatopilo vodou.

3.3 Pěchotní srub N-48

Budoucí staveniště bylo zbaveno celkem 29 stromů nad $\varnothing$ 15cm a 15 stromů do $\varnothing$ 15cm. Po dokončení šachty objektu (viz výše) byly zahájeny samotné výkopové práce objektu. Získaný materiál byl ukládán na místo budoucího záhozu objektu. Zároveň s výkopem bylo prováděno definitivní ohrazení staveniště plotem výšky 2m a stavba sil na materiál, strážnice apod. V dubnu začala být na staveniště skládána betonářská výztuž. První část podkladního betonu (skořápky) byla zhotovena 17/6, současně byly zahájeny práce na vnějším bednění. Práce na

vnitřním bednění byly zahájeny 30/6. V té době byl na stavenišť dodáván cement a drceno kamenivo nainstalovaným drtičem. Spolu s prováděním bednění byla ukládána obvodová vrstva vodorovné a svislé armatury. Dne 12/7 v 10:00 byla zahájena betonáž objektu, ukončena byla 20/7 úpravou střechy v 13:00. O dva dny později, 22/7, bylo zahájeno rozebírání vnějšího bednění (takto brzký termín si stavební dozor npor. Ing. Hoffman označil vykřičníkem), objekt byl klopen zevnitř, 23/7 byla zahájena stavba lešení pro provádění omítek a byly odbedněny příkopy. 25/8 bylo zahájeno odbedňování vnitřku objektu, 31/8 bylo zahájeno provádění vnějších omítek, 1/9 bylo odbedňováno schodiště, 3/9 bylo zahájeno vyzdívání příček a osazování zárubní dveří. Některé střílny zbraní pod betonem byly osazovány až v této době. Provádění vnitřních omítek bylo zahájeno 12/9. V posledních dokončovacích činnostech se pokračovalo až do 23/9, kdy byly z důvodu mobilizace zastaveny práce.

3.4 Pěchotní srub N-49

Na začátku dubna byl proveden plot kolem objektu a bylo zahájeno navážení betonářské výztuže na stavenišť objektu. S výkopem objektu bylo započato 19/4, o dva dny později byla zahájena stavba cesty k silům na materiál a síla na písek. Do hotových sil byl 26/4 zavážen písek. Práce na skladištích a kancelářích na staveništi byly zahájeny 19/5, ukončeny 26/5. Stavba sil pro šterk byla zahájena 7/6. Po dvou dnech volna, Svatodušních svátcích, bylo 7/7 zahájeno ohýbání železa a příprava drtiče šterku. Cement začal být skládán 14/7, šterk drcen 19/7. První část podkladního betonu u vybetonované šachty do podzemí začala být betonována 26/7. 30/7 byla provedena izolace skořápky a započato se stavbou bednění objektu. Vnitřní bednění bylo prováděno od 2/8, armování bylo zahájeno 5/8. Stále se pokračovalo v drcení šterku a zavážení cementu. 16/8 byla zahájena betonáž objektu, ukončena byla 24/8. Odbedňování objektu z venku bylo zahájeno 31/8, zevnitř 1/9. 24/9 byly zahájeny práce na vnějším bednění pro provádění omítek. Ty byly prováděny do 29/9, pak bylo lešení zbouráno, byly osazovány zárubně dveří. 1/10 byly zastaveny práce na objektu, začalo se s demontáží strojů a jejich odvozem.

3.5 Dělostřelecká otočná výsuvná věž N-50

Do dubna 1938 byly prováděny výkopové práce v souvislosti s výkopem šachty do podzemí. 25/4 byly dodány a uskladněny první části zbraně „Y“ (houfnice 10cm vz. 38), 23/8 byl dodán jeden ventilační zvon pro objekt N-52a hmotnosti 4384kg, byl uskladněn na staveništi N-50. Až do mobilizace a následného vyklizení staveniště se na povrchu nepracovalo.

3.6 Minometná otočná věž N-51

Do dubna 1938 byly prováděny výkopové práce v souvislosti s výkopem šachty do podzemí. 8/4 byla postavena strážnice u staveniště objektu. Až do mobilizace a následného vyklizení staveniště se na povrchu nepracovalo.

3.7 Dělostřelecký srub N-52

V případě dělostřeleckého srubu N-52 byly až do října 1938 prováděny výkopové práce, která byly téměř dokončeny. 25/6 dorazilo na stavenišť prvních 20t betonářské výztuže. 3/8 byla zahájena stavba sil pro materiál. Kanalizace kolem objektu byla dokončena a zaházena 8/8. 11/8 bylo zahájeno ohýbání betonářské výztuže, o den později skládání písku. 25/8 byla

instalována míchačka. Práce na výkopu objektu byly prováděny až do mobilizace, kdy byly ukončeny.

3.8 Vchodový objekt N-52a

V případě vchodového objektu byly práce zaměřeny na ražení hlavní galerie podzemí tvrze. Probíhaly výkopové práce a stavba příjezdové komunikace. 30/4 byl zřízen fundament pro kompresor. Hlavní ohrada objektu byla zřízena 7/5. Stavba budovy strojovny byla zahájena 9/5, sil pro materiál 11/5. 4/7 bylo dodáno prvních 20t plechového potrubí pro podzemí. Materiál získaný z výkopu objektu byl odvážen na stavbu příjezdové silnice, kde byl užíván v náspu profilu 1 až 9. 13/8 bylo zahájeno navážení betonářské výztuže. 18-20/9 byl proveden výlom portálu. Podobně jako v případě ostatních objektů bylo 23/9 volné dělnictvo odesláno na betonáž podúseku 7/V Sedloňov, jež taktéž prováděla firma Dr. Karel Skorkovský.

4 Současný stav stavebně nedokončené tvrze Skutina

Na staveništi tvrze Skutina se po 1.říjnu 1938 strhl horečný ruch, nikoli stavební, ale vyklízečí. Stavební firma a vojenská správa odvážela všechna demontovatelná zařízení, navezený stavební materiál, strojní zařízení apod. Co nestihla vojenská správa a stavební firma, zvládlo místní, ať již německé či české obyvatelstvo a 70let zubu času. Do dnešní doby se dochovaly pouze zbytky výkopů a patky strojního zařízení tvrze, jako byly kompresory, drtiče šterku, apod.

Stav jednotlivých objektů a šachet je následující:

- Pracovní šachta I P byla zcela zasypána
- Pracovní šachta II P byla zcela zasypána
- Pracovní šachta III P je zachována a je zcela zatopena vodou, zachovala se výdřeva.
- Pracovní šachta IV P je zasypána, v terénu dodnes patrná
- Pěchotní srub N-48 je rekonstruován Klubem přátel tvrze Skutina a je veřejnosti přístupný včetně šachty do podzemí se zachovaným bedněním schodiště
- Pěchotní srub N-49 je těžce poškozen německým ostřelováním, šachta do podzemí je zatopena
- Šachta do pozemí dělostřelecké otočné výsuvné věže N-50 je zcela zatopena vodou, zachovala se výdřeva
- Šachta do podzemí minometné otočné věže N-51 je zcela zasypána
- Šachta do podzemí dělostřeleckého srubu N-52 je zcela zatopena vodou, zachovalo se bednění
- Štola vchodového objektu N-52a je po cca 200m uzavřena závalem způsobeným zasypáním pracovní šachty I P.



Obr. 1 Současný stav pěchotního srubu
N-Sk-S-48 „U stodol“



Obr. 2 Současný stav pěchotního srubu
N-Sk-S-49 „Pod lesem“

5 Závěr

Příspěvek popsal způsob výstavby dělostřelecké tvrze Skutina čs. opevnění z let 1935-38.

Záznamy v dochovaném stavebním deníku byly konfrontovány s dnešním stavem staveniště opuštěného před 70ti lety.

References:

- [1] VOJENSKÝ ÚSTŘEDNÍ ARCHIV (VÚA) PRAHA, FOND ŘEDITELSTVÍ OPEVNŮVACÍCH PRACÍ 1935-1944
- [2] ARCHIV ČVUT V PRAZE, FOND KLOKNEROVA VÝZKUMNÉHO A ZKUŠEBNÍHO ÚSTAVU HMOT A KONSTRUKCÍ STAVEBNÍCH Z LET 1936-1938
- [3] AUTORŮV PRŮZKUM V TERÉNU Z LET 2004-2009
- [4] NOVÁK, J.: *Těžké opevnění - Pevnostní oblast Odry-Krkonoše* Jiří Novák, 2006.
- [5] HORÁK, A.: *Tvrz Skutina* Mgr. Aleš Horák, 2001.
- [6] VAŇOUREK, M.: *Skutina, nedokončený pilíř obrany* Martin Vaňourek, 2007.

The research project was realised by the help of GACR project No. 103/09/2071 and 103/08/1677 and Czech Ministry of Education project MSM 6840770005.

Posuzování podzemní části PPO pomocí modelu SEEP/W

Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

fosumpaur@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky

Abstract

Contribution deals with evaluation of the main aspects which should be taken into account in the process of flood measures design. Discussed are different types of failure: hydraulic uplift, suffosion and uncontrolled seepage. A case study is prepared with the use of the SEEP/W software by GEOSLOPE.

1. Úvod

V současné době probíhá příprava nebo již realizace značného množství protipovodňových opatření (PPO) podél vodních toků. Smyslem těchto opatření je ochrana majetku a zdraví obyvatel v intravilánech měst a obcí před škodlivými účinky vod. Podle způsobu účinku lze PPO rozdělit na opatření s retencí (retenční nádrže, suché nádrže a opatření v krajině). Tato opatření působí zpravidla svým retenčním prostorem, kdy transformují povodňové průtoky do níže ležících profilů. Zachycují část objemu povodňových vln a jejich aplikace je velmi žádoucí. Druhou skupinu PPO tvoří opatření, která zabraňují rozlivu přímo v chráněných oblastech. Řadí se sem zejména ochranné hráze a protipovodňové stěny (mobilní a stabilní). Správný konstrukční návrh těchto opatření zpravidla vyžaduje posouzení interakcí s podzemní vodou během průchodu návrhových povodní. Pozornost by měla být zaměřena zejména následující aspekty:

1. návrh nezbytné hloubky sanace podloží pomocí podzemních těsnících prvků s ohledem na:
 - sufozi (filtrační stabilitu) v oblasti základové spáry podzemní části PPO. Tento jev se projevuje vynášením jemných částic přes póry skeletu hrubých částic s rizikem ohrožení stability PPO. Posouzení je provedeno porovnáním hydraulického gradientu s kritickými hodnotami pro materiál podloží.
 - ztekucení (piping) v oblasti bezprostředně za PPO (na chráněné straně). Tento jev opět ohrožuje stabilitu PPO a je posouzen na základě výpočtu hydraulických gradientů na nefiltrovaném výstupu na terén (aktuální je pouze pro vrchní jemnozrnné písčité vrstvy). Dále jsou vyčísleny hodnoty hydraulických gradientů na výtoku do drénů pro návrh vhodných filtrů.
 - hydraulické prolomení bezprostředně za linií PPO. Tento jev nastává za existence vrchní relativně nepropustné vrstvy povodňových hlín, kdy se aktivuje vztlak o větší hodnotě, než je tíha této vrstvy.
2. Odhad doby, za kterou dojde k průsaku podzemních vod na terén chráněného území a odhad max. průsaku do chráněného území na 1 mb délky PPO.
3. Posouzení, popř. návrh drenážního systému za linií PPO.
4. Posouzení navrženého systému PPO, resp. jeho podzemní části na režim podzemních vod v chráněném území.

2. Metodika

Analýza proudění prvky PPO a jejich podloží je nezbytným podkladem pro vyhodnocení filtrační stability a průsakových poměrů. Její výsledky následně slouží pro správný návrh podzemní části PPO, pro správné dimenzování drenážního systému a výkonu čerpacích stanic pro odvod průsakových vod.

Systém kritérií pro vyhodnocení hydraulických poruch byl uveden např. v [2]. Pro potřeby vyhodnocení filtrační stability je často využíván hydraulický gradient, jehož hodnota je následně porovnávána s tzv. kritickou hodnotou, která závisí na vlastnostech podloží. Literatura doporučuje pro různé druhy zemin příslušné hodnoty kritického gradientu. Jeho hodnota se často podle různých autorů významně liší [1]. Příkladem jsou hodnoty určené pro sufozně nejnáchylnější materiály dle následující tabulky:

typ zeminy	i_c			
	Čugajev	Novak	Achmus	
			ulehlá	kyprá
jemný písek	0.12-0.16	0.14-0.17		
střední písek	0.15-0.20	0.17-0.20	0.6	0.4
hrubý písek	0.25-0.33	0.20-0.25		

Hodnoty dle Čugajeva a Novaka [3] uvádí nejnepříznivější hodnoty kritických gradientů, které jsou platné pro vysoce náchylné nesoudržné zeminy (tekuté písky, atd.) na výtoku do volna při zakládání jezů a přehrad. V případě PPO je výtok vždy alespoň částečně filtrován povrchovými humózními vrstvami, popř. zpevněným povrchem terénu na straně chráněného území. Reálnější jsou proto mezní hodnoty dle Achmuse. Pro hlinité soudržné materiály jsou hodnoty kritických gradientů naopak významně vyšší, v rozmezí cca 1,0 až 2,0.

Posouzení filtrační stability proto musí být vždy provedeno individuálně s přihlédnutím k charakteru materiálu, kterým proudí podzemní voda.

Dalším významným specifickým PPO je skutečnost, že jsou na rozdíl od vzdouvacích staveb vystaveny tlaku vody vždy jenom dočasně po dobu průběhu návrhové povodňové vlny. Propagace povodňové vlny podloží popř. zemními prvky PPO (hrázemi) potom záleží mimo jiné i na době zatížení těchto konstrukcí zvýšenými vodními stavy. V případě horních povodí, je zpravidla doba zvýšených vodních stavů v řádu hodin. Naopak v dolních povodích je celková doba povodní v řádu dnů a např. na dolním Labi se jedná o dva až tři týdny.

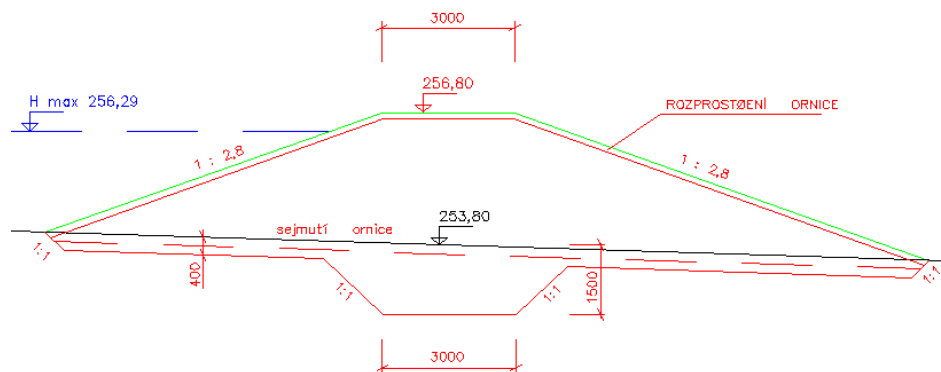
Z uvedeného vyplývá, že pro spolehlivou analýzu proudění podzemní vody v okolí PPO je vhodná aplikace neustálených matematických modelů, které umožňují zadat průběh povodňové vlny jako okrajovou podmínku. Současně je třeba zdůraznit, že PPO jsou ve své podstatě zpravidla liniové stavby podél vodních toků, kdy převažující směr proudění se odehrává ve směru kolmém k ose linie PPO a k ose toku.

Pro analýzu proudění v podloží PPO a pro návrh nezbytného rozsahu sanace podloží lze využít 2D matematický model SEEP/W kanadské společnosti GEO-SLOPE International Ltd. Produkt patří k celosvětově nejpožívanějším a vyznačuje se dobrou stabilitou a robustností.

Program SEEP/W řeší proudění podzemní vody metodou konečných prvků a umožňuje výpočet jak v ustáleném, tak v neustáleném režimu. Dále umožňuje výpočet nasyceným a nenasyčeným půdním prostředím. Tento přístup umožňuje plně vystihnout propagaci povodňové vlny zemním prostředím v závislosti na čase. Výsledky jsou pak spolehlivější a odpovídají lépe realitě, než při využití ustáleného nasyceného modelování. Rozhodující je tento faktor zejména pro výpočet stability PPO, neboť hodnoty hydraulických gradientů, které ji určují, jsou ve skutečnosti funkcí času.

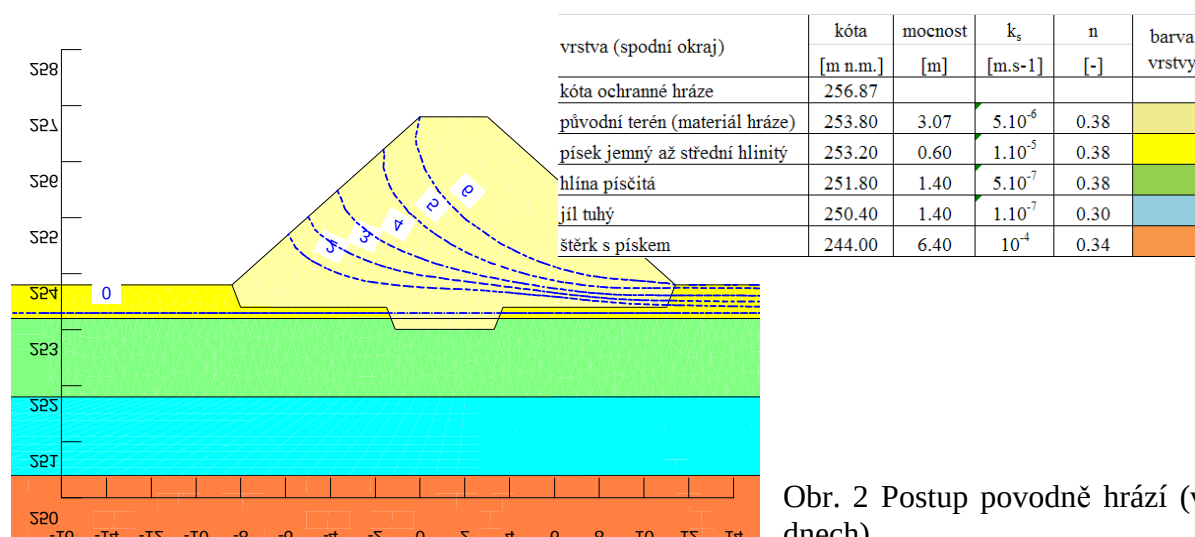
3. Ukázky simulací

Následující obr. 1 znázorňuje zemní ochrannou hráz, která je součástí PPO Jaroměř před povodňovými účinky z Úpy a Labe [4]. Koruna hráže je navržena na úroveň povodně Q_{100} + rezerva 0,5 m. Doba zatížení ochranné hráže povodní z Úpy je cca 12 dní.



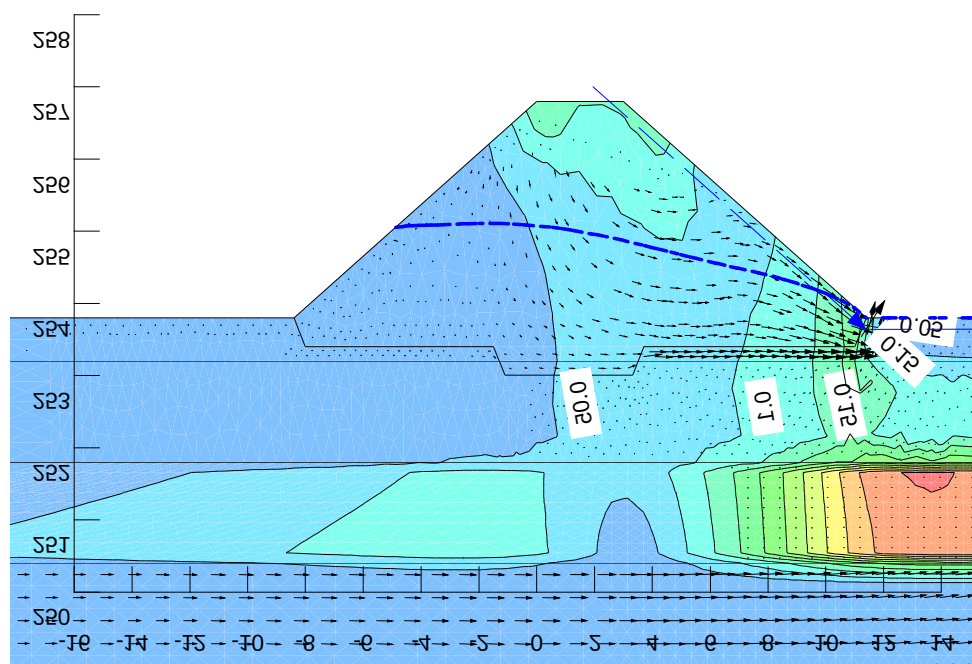
Obr. 1 Vzorový řez ochrannou hrází (Jaroměř).

Následující obr. 2 uvádí postup povodňové vlny tělesem ochranné hráže do okamžiku kulminace povodně 6. den včetně vlastností materiálu hráže a podloží.



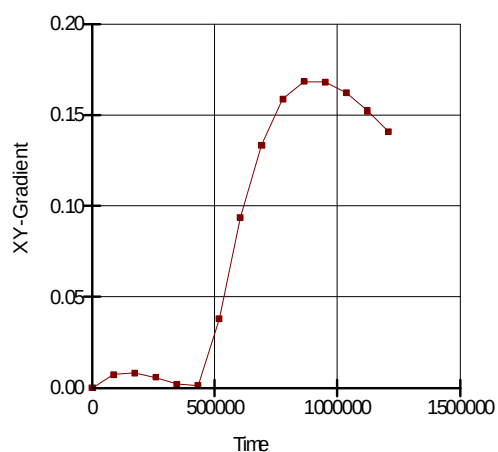
Obr. 2 Postup povodně hrází (ve dnech).

Následující obr. 3 popisuje průběh hydraulických gradientů v čase kulminace průsaku do chráněného území 10. den.

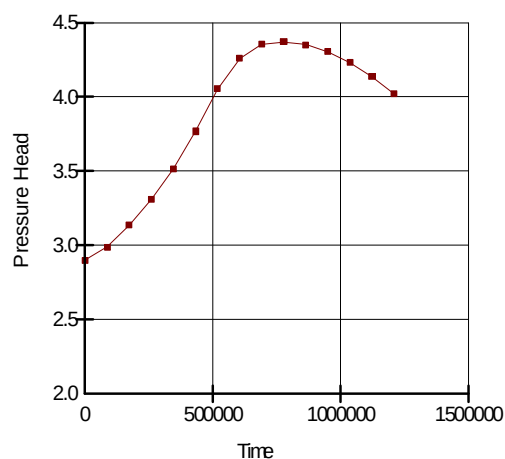


Obr. 3 Rozložení hydraulických gradientů v zemní hrázi a v podloží v čase kulminace povodně.

Na obr. 4 a) je znázorněn průběh hydraulických gradientů na vzdušní patě hráze za celou dobu povodně jako funkce času. Na obr. 4 b) je potom znázorněn průběh vzlaku v metrech vodního sloupce pod nepropustnou vrstvou jílu (v obr. 2 znázorněna světle modrou barvou).



Obr. 4 a) průběh hydraulického gradientu na vzdušní patě.



b) průběh vzlaku [m] pod nepropustnou jílovou vrstvou.

Vypočtené hodnoty hydraulických gradientů jsou následně porovnány s kritickými hodnotami dle konkrétních vlastností zemin v podloží. Rovněž je třeba porovnat zjištěné vztlaky pod nepropustnými vrstvami v podloží s jejich tíhou (včetně přitížení pokryvnými útvary). Podobným způsobem lze posoudit filtrační stabilitu a průsaky v případě stabilních a mobilních stěn. Uvedený princip byl rovněž využit v případě simulace proudění podzemní vody v okolí železničního tělesa v Ústí nad Labem, kde byla ověřována jeho filtrační stabilita při průchodu povodně Q100. Podobná analýza byla provedena v případě železničního tělesa v Roudnici nad Labem.

4. Závěr

Při návrhu protipovodňových opatření liniového charakteru (hráze a stěny) je nezbytné zabývat se posouzením filtrační stability v podloží, průsakovými poměry do chráněného území, návrhem vhodného drenážního systému a posouzením vlivu realizace PPO na režim podzemních vod. Protože zatížení PPO je značně nahodilého a krátkodobého charakteru, je vhodné je simulovat pomocí neustálených modelů proudění podzemní vody, které umožňují krokované průběhy klíčových veličin z hlediska posouzení. Jedná se zejména o průběh hydraulických gradientů, vztlaků a průsaku. Matematický model SEEP/W splňuje všechny tyto požadavky a umožňuje navíc propojení výpočtu s dalšími geotechnickými úlohami v rámci uceleného softwarového prostředí společnosti GEO-SLOPE.

References:

- [1] BROŽA, V., KRATOCHVÍL, J., PETER, P., VOTRUBA, L.: *Přehrady* SNTL 1987.
- [2] FOŠUMPAUR, P: *Modelové řešení průsaku navrhovanými prostředky PPO a posouzení hydraulických poruch* Workshop výzkumného záměru Udržitelná výstavba 2007.
- [3] NOVAK, P., MOFFAT, A., NALLURI, C.: *Hydraulic structures* Taylor & Francis Group 2001.
- [4] FOŠUMPAUR, P.: *Analýza průsaku a filtrační stability v rámci akce „Labe, Jaroměř, zvýšení ochrany města rekonstrukcí koryta a hrázemi“* 2009 (technická zpráva).

This research has been supported by MSM 6840770005.

Predikce stupně automobilizace v České republice

RNDr. Martin Hála, CSc.

hala@mat.fsv.cvut.cz

Katedra matematiky, Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 16629 Praha 6

Abstract

Reliable forecasts of transport output and the degree of car endowment form an essential basis for traffic development in Czech Republic. Our objective was to introduce a new method, which could be used for car endowment forecasts. Reliable forecasts of gross domestic product and forecasts of the number of inhabitants in Czech Republic form an important input to the suggested method. The method is based on typical time series techniques – double exponential smoothing, nonlinear regression based on the method of least squares, etc.

1. Úvod

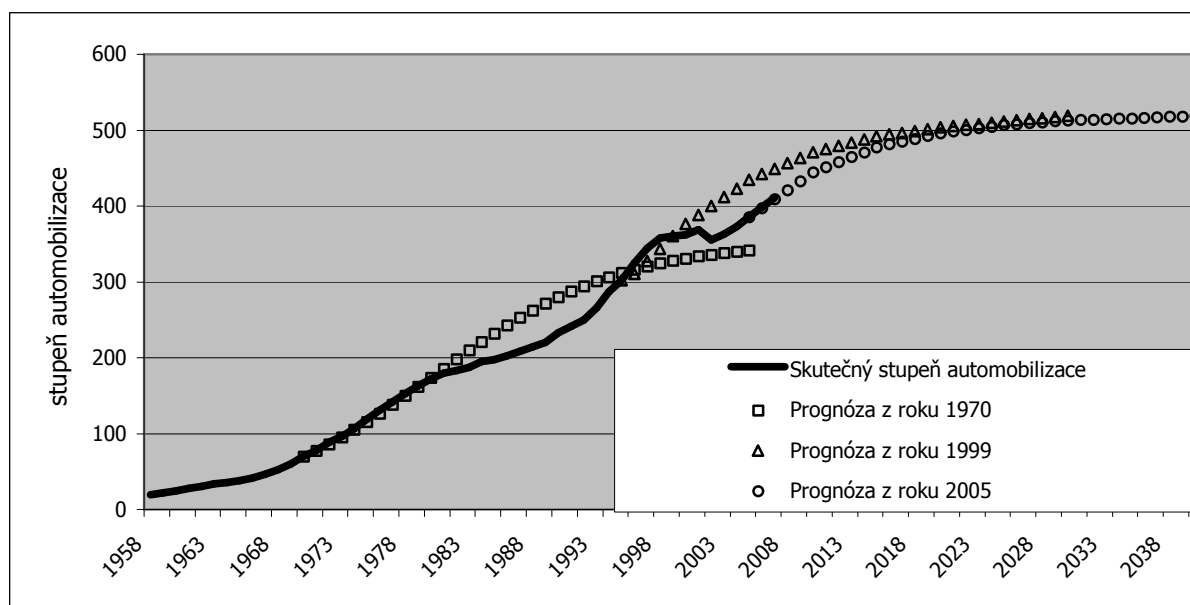
Důležitou součástí problematiky udržitelné výstavby je efektivní plánování výstavby a obnovy dopravní infrastruktury. Základním podkladem k těmto činnostem jsou kvalitní a věrohodné prognózy dopravních výkonů. V minulosti téměř výhradně používané metody extrapolační, vycházející z předpokladu setrvačnosti zjištěných trendů vývoje charakteristik automobilové dopravy a jejich projekce do budoucnosti, byly v zemích s rozvinutou automobilizací nahrazeny metodami kauzálními, které vycházejí z prognózy vývoje faktorů ovlivňujících výkony automobilové dopravy a modelování závislosti dopravy na těchto faktorech. Na základě obecně platných zahraničních poznatků mají na výkony automobilní dopravy vliv zejména tyto faktory: vývoj HDP, změny počtu obyvatel, změny domácností z hlediska skladby, příjmu a území, změny v ceně paliva, změny v efektivnosti využití paliva, apod.

Používané kauzální modely jsou složitější, ale věrněji popisují vývoj zkoumaných veličin. Podstatnou podmínkou pro použití těchto modelů je ovšem dostupnost kvalitních dat pro ovlivňující faktory a schopnost predikce jejich vývoje.

V tomto příspěvku se budeme věnovat dílčímu problému – prognózování stupně automobilizace. Stupněm automobilizace se rozumí počet osobních automobilů na tisíc obyvatel. Věrohodné prognózy stupně automobilizace spolu s prognózami průběhů osobních automobilů (tj. průměrného počtu najetých kilometrů na 1 vozidlo a 1 rok) dostaneme model dopravních výkonů osobní dopravy. Samostatnou kapitolou je ovšem modelování dopravních výkonů pro těžká (nákladní) vozidla.

2. Východiska prognózování stupně automobilizace

Dosavadní prognózy stupně automobilizace v ČR vycházely z hodnocení počtu osobních automobilů na 1000 obyvatel s předpokladem saturace na úrovni jeden automobil na dospělé osobou schopnou získat řidičské oprávnění s předpokladem analogického vývoje ve všech zemích (tzv. italská křivka automobilizace). Stanovení prognostické úrovně stupně automobilizace mělo ale většinou spekulativní podstatu bez vazby na vývoj různých ovlivňujících faktorů. Docházelo proto často k zásadním korekcím, viz obr. 1.



Obr. 1 – Historické prognózy stupně automobilizace v ČR

Ukazuje se, že zjednodušenou vazbu na počet obyvatel lze akceptovat jen do úrovně automobilizace odpovídající jednomu automobilu na domácnost vybavenou automobilem, protože další růst je již podstatně ovlivněn zvyšováním podílu domácností s více automobily. Pro vlastnictví a využití více automobilů v domácnosti je směrodatný počet, příjem i věková struktura členů domácnosti a tyto faktory se na rozdíl od prostého počtu obyvatel dynamičtěji vyvíjejí. Protože se uvedené faktory určující stupeň automobilizace na domácnost liší i podle území, umožňují tyto „neagregované“ modely přesnější prognózu nejen počtu vozidel, ale následně i intenzity dopravy na pozemních komunikacích a v zemích s rozvinutou automobilizací se všeobecně používají [1].

Aby model mohl reagovat na prognostické změny ve struktuře domácností, měly by být podle zahraničních zkušeností k dispozici údaje o příjmu a vybavenosti domácnosti automobilem ve struktuře, která je charakteristická i rozdílným stupněm saturace automobilizace, např. v analogické podobě, jak ukazuje tabulka 1 (platná pro UK).

typ domácnosti	% 2006	% 2031	1 auto	2 a více aut
jeden dospělý, zaměstnaný	20,2	17,1	1,0	
jeden dospělý, důchodce	13,1	25,8	0,7	
jeden dospělý s dětmi	5,4	5,5	0,7	
dva dospělí důchodci	5,4	9,9	1,0	0,9
dva dospělí bez dětí	26,2	20,8	1,0	0,7
dva dospělí s dětmi	21,6	19,6	1,0	1,0
více dospělých bez dětí	5,7	1,0	1,0	1,0
více dospělých s dětmi	2,4	0,3	1,0	1,0

Tab. 1 – Předpokládané stupně saturace automobilizace ve Velké Británii

Tyto údaje by navíc měly být rozlišeny podle typu území, protože s rostoucí hustotou obyvatelstva evidentně klesá vybavenost automobily. Uvedené struktury se lze teoreticky přiblížit použitím dostupných údajů o struktuře a vybavenosti domácností a věkovém složení obyvatelstva podle ČSÚ. S ohledem na reálnou dostupnost dat jsme použili agregovaný přístup výpočtu, spočívající ve stanovení vybavenosti „průměrné“ domácnosti vztahem

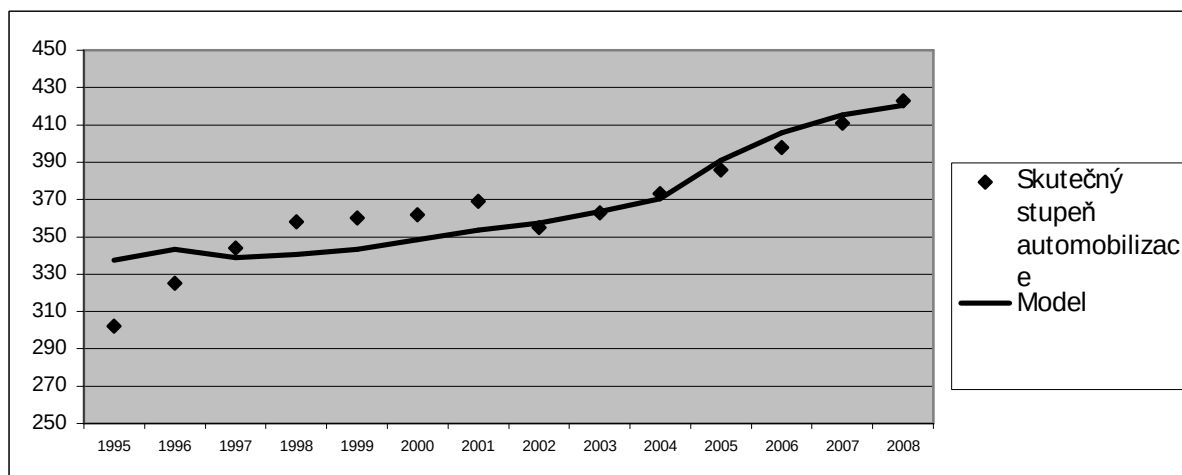
$$A = \frac{1,66}{1 + e^{a+bG}}$$

kde A je počet automobilů na průměrnou domácnost, konstanta 1,66 vyjadřuje odhadovaný vážený průměr saturace podle četnosti zastoupení jednotlivých kategorií domácností a G je podíl HDP na domácnost. Koeficienty a , b by správně měly být stanovené samostatně pro velká města a zbytek území ČR, pro zjednodušení jsme však určovali jejich hodnoty souhrnně pro celou republiku. Výchozí údaje pro odhad koeficientů a , b jsou shrnuty v tabulce 2. Použili jsme jen dostupné statistické údaje pro období 1995-2008. Pro předchozí roky nejsou k dispozici srovnatelné hodnoty HDP (v roce 1995 se totiž změnila metodika výpočtu HDP). Hodnoty v pátém, šestém a posledním sloupci tabulky jsme dopočítali ze zbývajících sloupců.

Rok	Stupeň automobilizace	Průměrný počet členů domácnosti	Počet obyvatel (k 1.7.)	Počet domácností	Počet osobních voz. na domácnost	HDP v miliardách Kč v reálných cenách	G = HDP v tisících Kč v r.c. na domácnost
1995	302	2,49	10330759	4148899	0,751980	1466,5	353,467
1996	325	2,49	10315353	4142712	0,809250	1526,1	368,384
1997	344	2,53	10303642	4072586	0,870320	1514,7	371,935
1998	358	2,50	10294943	4117977	0,895000	1503,0	364,978
1999	360	2,49	10282784	4129632	0,896400	1523,8	368,984
2000	362	2,49	10272503	4125503	0,901380	1579,5	382,852
2001	369	2,48	10224192	4122658	0,915120	1617,8	392,413
2002	355	2,47	10200774	4129868	0,876850	1648,8	399,235
2003	363	2,46	10201651	4147013	0,892980	1708,8	412,058
2004	373	2,46	10206923	4149156	0,917580	1786,0	430,461
2005	386	2,34	10234092	4373544	0,903240	1899,0	434,212
2006	398	2,30	10266646	4463759	0,915400	2028,3	454,382
2007	411	2,30	10322689	4488126	0,945300	2149,3	478,888
2008	423	2,29	10429692	4554451	0,968670	2218,6	487,121

Tab. 2 – vývoj automobilizace, počtu domácností a HDP v ČR v letech 1995-2008

Metodou nejmenších čtverců jsme našli odhady koeficientů a , b tak, aby teoretická křivka daná výše uvedeným vztahem co nejlépe prokládala skutečné počty osobních vozidel na domácnost v šestém sloupci tabulky. Výsledné hodnoty byly $a = -0,76104$, $b = 0,0022257$.



Obr. 2 – Model pro stupně automobilizace v ČR

Z výše uvedené rovnice a z údajů v tabulce 2 se snadno dopočtou modelové hodnoty stupně automobilizace. Obr. 2 ukazuje porovnání modelu se skutečností.

3. Odvození vlastní prognózy stupně automobilizace

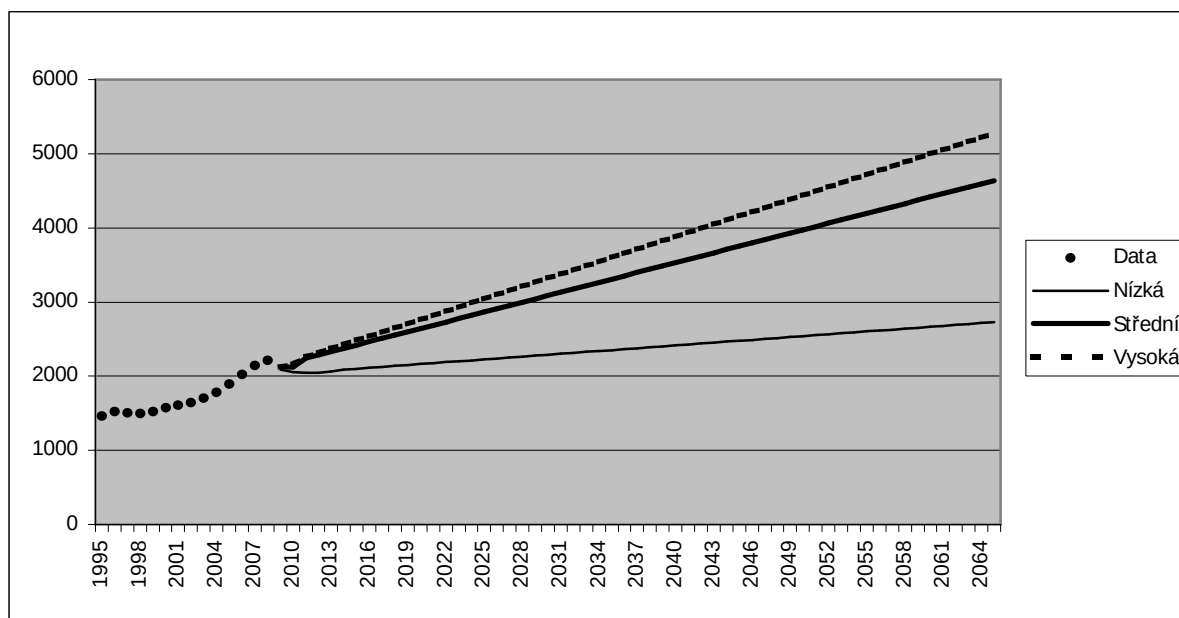
Myšlenkou je dosadit do rovnice určující veličinu A (tj. pro počet automobilů na průměrnou domácnost) odhadnuté hodnoty koeficientů a , b a použít tuto rovnici i pro budoucí roky. Abychom to mohli realizovat, je třeba mít k dispozici predikci HDP pro celou ČR v reálných cenách a predikci počtu domácností.

Při predikování počtu obyvatelstva a průměrného počtu členů domácnosti jsme vycházeli z dostupných podkladů ČSÚ (mezilehlé hodnoty byly doplněny pomocí lineární interpolace):

- Průměrný počet členů domácnosti se odhaduje číslem 2,28 v roce 2010, 2,16 v roce 2020 a 2,10 v roce 2030. Pracovali jsme jen s touto jedinou variantou.
- K dispozici byly tři varianty budoucího vývoje počtu obyvatel – viz tabulka 3.

Rok	Predikce počtu obyvatel k 1.1		
	nízká	střední	vysoká
2009	10467542	10467542	10467542
2010	10490631	10503408	10519279
2020	10613188	10797484	11025030
2030	10490588	10908419	11408028
2040	10186695	10873660	11687306
2050	9837300	10842320	11998183

Tab. 3 – predikce počtu obyvatel v ČR

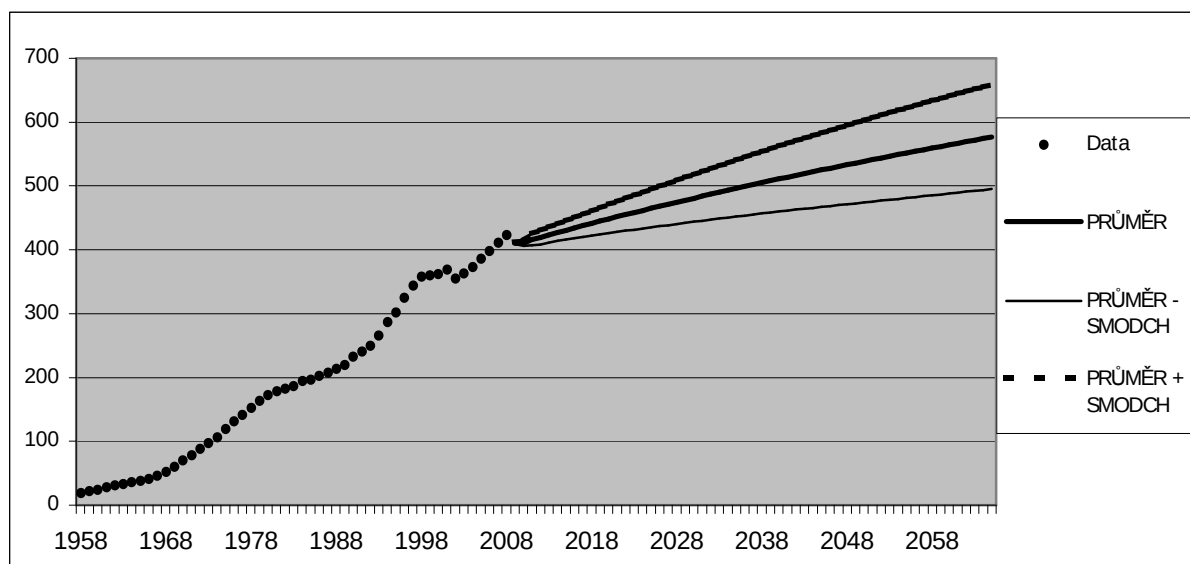


Obr. 3 – varianty budoucího vývoje HDP v ČR (v mld. Kč, v reálných cenách)

Predikce budoucího vývoje HDP je samozřejmě velmi problematická – obzvlášť v současné době recese. I zde jsme pracovali se třemi variantami budoucího vývoje. Vycházeli jsme

z odhadů HDP pro letošní rok a budoucí rok podle Ministerstva financí (odhad ze září 2009). Tyto odhady spolu s minulými daty byly zdrojem pro tzv. střední variantu prognózy, která byla odvozena metodou dvojitého exponenciálního vyrovnaní. V nízké variantě prognózy jsme předpokládali hlubší pokles HDP než MF a dobu recese jsme prodloužili na 5 let. Ve vysoké variantě jsme naopak předpokládali menší pokles HDP a rychlejší oživení. Výsledné tři takto odvozené varianty budoucího vývoje HDP ukazuje obr. 3.

V posledním kroku jsme pro každou kombinaci variant budoucího vývoje počtu obyvatel a budoucího vývoje HDP získali predikci vývoje počtu automobilů na průměrnou domácnost a z této predikce jsme na základě odhadovaného vývoje počtu členů průměrné domácnosti snadno dopočetli odhad stupně automobilizace (tj. počtu automobilů na 1000 obyvatel). Střední variantě vývoje počtu obyvatel a střední a nízké variantě vývoje HDP jsme při výpočtu dávali dvojnásobnou váhu. Ze všech získaných submodelů jsme spočetli průměrnou variantu vývoje a v každém budoucím roce jsme ze získaných odhadů určili též směrodatnou odchylku. Závěrečný obr. 4 ukazuje střední variantu prognózy spolu s pásem, jehož poloměrem je směrodatná odchylka.



Obr. 4 – prognóza stupně automobilizace v ČR

References:

- [1] ČIHÁK, M.: *Zahraniční metody*. EDIP, 2009, Prognóza dopravních výkonů automobilové dopravy na pozemních komunikacích v ČR.
- [2] KOMÁREK, J.: *Současné možnosti prognózy intenzity silničního provozu*. Silniční obzor, 1991, 52/2, 40-46

This research has been supported by MSM 6840770005.

Přístup ke snížení rizik skalního svahu nad silniční komunikací II/102 Strnady - Štěchovice

Prof. Ing. Ivan Vaníček, DrSc., Ing. Věroslav Hrubý, Ing. Daniel Jirásko, PhD.

daniel.jirasko@fsv.cvut.cz

Katedra geotechniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

This paper is focused on risks that represent rock slopes above the road II/102 Strnady - Štěchovice. All risks were described in more detail. Measures for reducing the risks were designed. Great attention was devoted to monitoring of rock blocks with on-line connection to warning system.

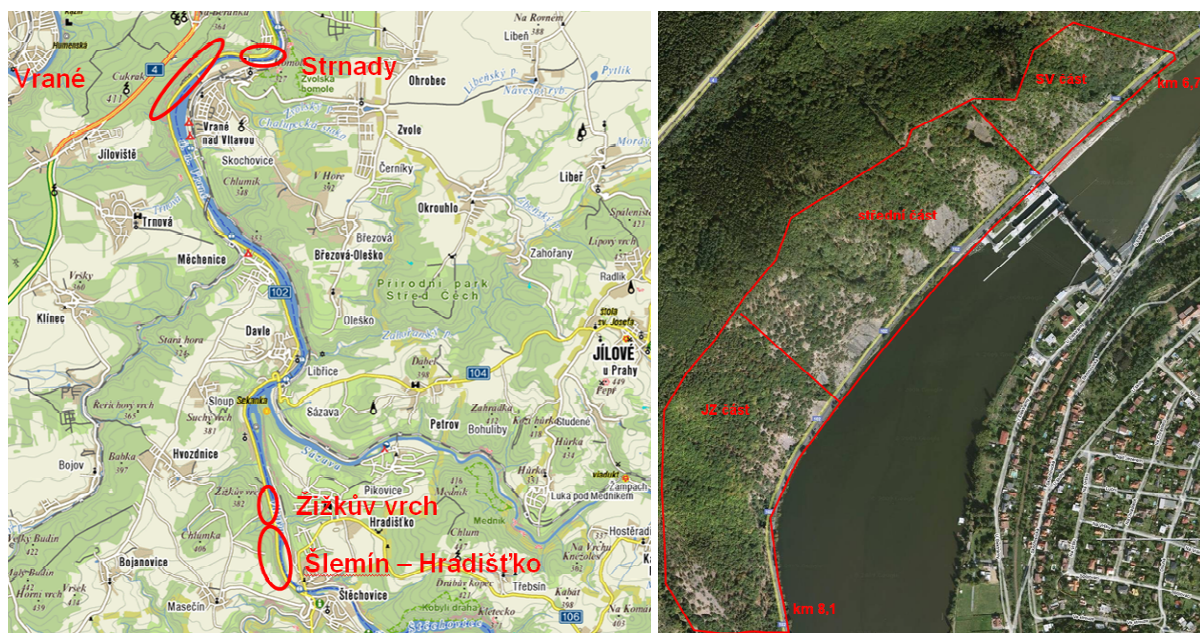
1 Úvod

Svahy nad komunikací II/102 v úseku Strnady - Štěchovice představují již od výstavby povltavské silnice v 1. polovině 20. století značná rizika pro provoz. (Záruba 1987). V poslední době byl zaznamenán vzrůstající počet případů pádu kamenů na tuto komunikaci, které se naštěstí obešly bez ztrát na životech. Tuto alarmující situaci se rozhodla řešit Správa a údržba silnic Kladno, pod kterou předmětná komunikace spadá, a oslovila katedru geotechniky FSv, ČVUT v Praze o zpracování posudku k eliminaci rizik.

Cílem posudku bylo stanovení rizik na základě vlastního průzkumu lokality a navržení opatření na řízení rizik spolu s návrhem dlouhodobého monitoringu pro vybrané objekty (místa s největším rizikovým potenciálem), s doporučeným systémem přenosu snímaných dat a jejich napojení na varovný systém.

2 Charakteristika lokality

Posuzovaný úsek je dlouhý 12,45 km, a byly na něm vyčleněny 4 základní zkoumané podúseky s nejvyšším rizikem, obr. 1a. Jedná se o úseky: Strnady, Vrané, Štěchovice 1 (Žižkův vrch) a Štěchovice 2 (Šlemín - Hradištko).



Obr. 1: a) Posuzované úseky, b) nejrizikovější úsek Vrané nad Vltavou

Posuzovaný úsek skalních svahů podél komunikace č II/102 Strnady – Štěchovice se ve sledovaných úsecích, které jsou považovány za rozhodující, nachází prakticky v indiferentní rovnováze. Je to vyvoláno jednak příkrými sklony svahu údolí po zařezávání řeky Vltavy a též většinou nepříznivým úklonem vrstevných ploch – viz obr.2. obecně ploch diskontinuit, podél nichž dochází k postupnému zvětrávání a tím i k možnosti jejich uvolnění a následnému pohybu či přímo pádu do údolí.



Obr. 2: Pohled na nejrizikovější část – úsek Vrané nad Vltavou

3 Snížení rizik

Zajistit běžně požadovanou stabilitu svahu jeho výrazným zmírněním, která obvykle bývá vyjádřena součinitelem stability (bezpečnosti) $F = 1,3 - 1,5$ je prakticky nemožné, neboť by to znamenalo odtěžení obrovské kubatury horninového masívu a navíc ovlivnění (odstranění) pozemků v horní hraně svahu.

Řešení tohoto potenciálního rizika proto může mít několik přístupů v závislosti na akceptovatelném riziku. Toto riziko je dáno přímým ohrožením padajících či sesouvajících se uvolněných menších úlomků až po velké bloky, které přímo ohrožují pohyb po komunikaci v patě svahu, v některém případě i zde se nacházející objekty či vodní díla. Že toto nebezpečí je reálné svědčí i nedávné případy, kdy došlo při pádu uvolněných bloků a k jejich střetu s vozidly. Nejde zde však jen o přímý zásah padajícím blokem, ale i o možný střet spadlých bloků na komunikaci s projíždějícím vozidlem.

Jedním z krajních řešení je přístup, jehož hlavní premisou je realizovat taková sanační opatření na svazích, která by prakticky neumožnila přímý styk uvolněných bloků s komunikací. Je zřejmé, že toto řešení na jedné straně může zajistit omezení rizika s vysokou mírou zabezpečení i po několik desítek let, avšak za extrémně vysokých nákladů na realizaci těchto sanačních opatření. Přičemž 100% zajištění není nikdy reálné.

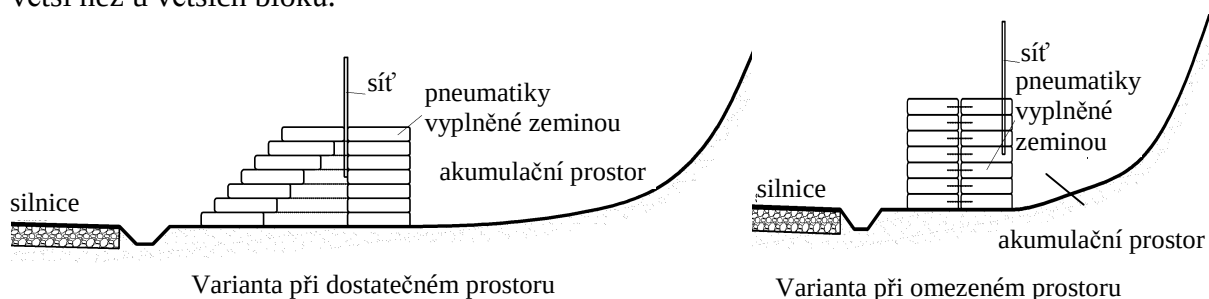
Druhým z krajních řešení je omezení sanačních opatření na minimum a největší pozornost věnovat možnosti omezení přímého střetu osob, vozidel s padajícími kameny či omezení možného nárazu vozidel do již spadlých balvanů. Toto řešení má své limity jak z pohledu signalizace z monitorovaných bloků, kdy by řidiči byli informováni předem o uvolňujícím se bloku například pomocí signalizace o zákazu vjezdu na daný úsek s výstrahou o vysokém nebezpečí padání kamení, resp. má své limity s ohledem na limitní vzdálenosti možné reakce řidiče na ležící, uvolněný kámen na komunikaci.

Přístup zvolený řešiteli vychází z hledání jakéhosi optima mezi těmito dvěma krajními řešeními. Pro úseky, kde potenciální nebezpečí je menší, například s ohledem na velikost možných uvolněných úlomků, resp. s ohledem na prostorové uspořádání, kdy pata svahu není v bezprostřední vzdálenosti od okraje komunikace, se volil první pasivní přístup, spočívající jak v omezení samotného pohybu uvolněných částic po svahu, tak v jeho zachycení těsně před vlastní komunikací. U velkých bloků (nad řádově 10 m^3) s nejvyšším potenciálním rizikem v případě jeho uvolnění je doporučen druhý přístup, tj. monitoring těchto bloků pro sledování vývoje (především deformace – posunů) v čase. Pro případy s vyšším potenciálem uvolnění, ale s poměrně náročnými opatřeními na tlumení jeho energie po uvolnění je doporučena řízená desintegrace těchto bloků (většinou o velikosti $5-10 \text{ m}^3$).

4 Navrhovaná opatření

Pro proměnlivý charakter území byly navrženy následující možnosti sanačních a bezpečnostních opatření:

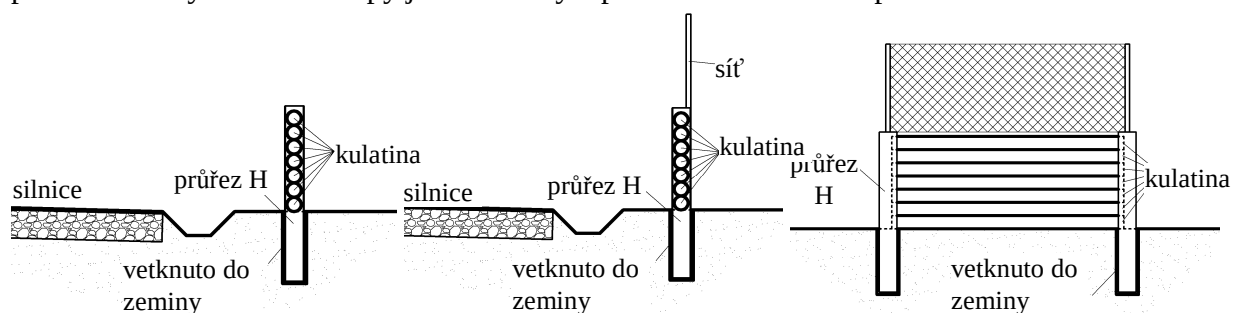
4.1 Opěrné záchytné zdi jsou doporučeny v místech kde pata svahu je významněji odsunuta od komunikace a tak je možno vytvořit velmi zajímavý akumulační prostor. Pro větší balvany při pádu může dojít k částečné desintegraci a tyto menší částice následně budou záchytnou zdí zachyceny. Doporučená výška zdi byla navržena ca 1,5 – 3,5 m. Doporučujeme provedení z vyztužené zeminy za využití starých pneumatik především na straně směrem ke svahu, které by měly náraz uvolněných bloků výrazně tlumit. Schematický řez je zobrazen na obr. 3. Jde o velmi účinné opatření s velkým tlumícím potenciálem, při poměrně nízkých nákladech. Proto je toto opatření třeba realizovat všude tam, kde to morfologické podmínky umožňují. Navíc je možno celkovou ochrannou výšku zvětšit pomocí svislých ocelových profilů a pevné dvouzákrutové sítě – především pro odskakující menší úlomky, jejichž výška odskoku bývá větší než u větších bloků.



Obr. 3: Schematické řezy opěrnou záchytnou zdí z vyztužené zeminy s lícem z pneumatik

4.2 Palisádové záchytné stěny

V principu je toto sanační opatření doporučeno v místech, kde mezi komunikací a patou svahu je menší prostor, velikost úlomků je menší a méně častá. Byly navrženy ocelové záporny typu H 200 s vodorovnými pažinami – kulatinou průměru ca 18cm viz obr.4. Do této kategorie sanačních opatření lze zařadit i záchytné ploty – trubkový plot s dvou zákrutovým pletivem – kdy některé sloupy jsou kotveny a pletivo má zesílenou pevnost.



Obr. 4: Schematické řezy palisádovou záchytnou stěnou

4.3 Zadržující síť

V principu jde o překrytí vybrané části svahu ocelovou sítí nebo vysokopevnostní geosyntetickou mříží s jejím ukotvením pomocí svorníků či kotev do podloží. Má za účel omezit pohyb navětralých bloků, a to i větších balvanů řádově do 1 m³, zadržet je na místě již v první fázi uvolňování, a zajišťovat jejich polohu do doby většího zvětření na menší kusy a následně je cíleně uvolňovat. Jde o opatření snadněji realizovatelné na ploše svahu rovinného charakteru – tedy i u ploten – pro omezení pohybu uvolněných úlomků, a menších bloků. Opatření vyžaduje pravidelnou prohlídku a uvolňování zachyceného materiálu.

4.4 Dynamické bariéry

Dynamické bariéry reprezentují speciální přístup a jsou nejvhodnější tam, kde může dojít k samovolnému pádu větších úlomků až balvanů. Volně padající kámen tak získává určitou energii a typ dynamické bariéry se tak liší podle schopnosti zadržet tuto energii. V principu jde o síť spojenou s ukotvenými sloupy. Napojení je pomocí brzdících elementů, které svou deformací při zachycení bloku postupně tlumí energii a pohyb bloku tak zastaví. Tyto dynamické bariéry představují účinný ale náročný systém, navíc vyžadující postupné uvolňování zachycených bloků a to i průběžně, aby tak byla obnovena plná funkčnost bariéry. Proto se doporučují pouze tam, kde je potenciální pád většího balvanu přímo na komunikaci reálný. V našem případě předpokládáme, že by navržené dynamické bariéry byly schopny zadržet balvanu do velikosti až 2 m³.

4.5 Desintegrace bloků (odstřel, mechanické rozrušení)

Jde především o potenciálně velmi nebezpečné případy takové velikosti, že ochranná opatření nemusí být účinná, a jejich potenciální uvolnění lze očekávat v nejbližším období. Odstřel řízený, s mikro sekundovým zpožděním pod ochranou sítě, zamezující velký rozptyl uvolněných částí; naopak jejich zachycení a následné řízené uvolňování. Opatření tak řeší nejproblematictější případy a tak významně omezuje potenciální riziko pádu těchto bloků až na komunikaci. Postup vyžaduje bezpečnostní opatření, práce na svahu není jednoduchá, s ohledem na složitý přístup zajištění energie na desintegrační proces, zařízení na řízené uvolňování. Při mechanické desintegraci jsou nejčastěji používány hydraulické klíny.

4.6 Monitoring –varovný systém

Účel monitoringu spojeného s varovným systémem lze rozdělit do několika fází, vzájemně na sebe navazujících. V principu jde především o sledování deformace. Deformace lze chápat jak jako projev zvětrávacích procesů – například vliv promrzání vody ve skalních puklinách, trhlinách, vliv změn teploty, kdy jejich změnou dochází k zvětšování či zmenšování objemu, tak také jako proces vývoje smykové pevnosti na potenciálních smykových plochách, například diskontinuitách jednotlivých vrstevných ploch, ploch nespojitosti apod. Smyková pevnost je funkcí smykového posunu, kdy nejčastěji v první fázi smyková pevnost s posunem narůstá, avšak po překročení tzv. vrcholové pevnosti může naopak na smykové ploše docházet k jejímu snižování. Tato druhá fáze se může projevit jako postupné zrychlování deformace v čase až po výsledné překročení smykové pevnosti při daném posunu a tak k náhlému usmyknutí a sesuvu (resp. pádu). Základní očekávaný charakter deformace je znázorněn na obrázcích 5a a 5b, když v prvním případě jde o klasický smyk, v druhém o určitou formu tahového porušení, překlopení bloku.



Obr. 5: Blok s předpokládaným a)translačním pohybem, b) rotačním pohybem

Navrhované stupně monitoringu:

- **Pravidelná visuelní prohlídka dokumentačních bodů** resp. dalších bodů, které byly fotograficky dokumentovány a alespoň stručně charakterizovány – jde o hrubé posouzení změn visuelně pozorovatelných;
- **Pravidelná visuelní prohlídka sanačních opatření** – vyhodnocení stavu sanačních opatření, objemu zadržovaných uvolněných úlomků, balvanů, doporučení pro jejich uvolnění, pro obnovení akumulčního prostoru;
- **Geodetická pozorování** v doporučených časových intervalech pro sledování poměrně velké plochy svahu pomocí vybraných pozorovacích bodů. Cílem je zaregistrovat místa s výraznějšími pohyby, vyhodnotit jejich časový vývoj, doporučit instalaci dalších dokumentačních bodů či realizaci doplňkových sanačních opatření.
- **Instrumentace a monitoring vybraných bloků** s měřením deformace konkrétních posunů bloků, zvětšování trhlin pomocí trhlínoměrů a náklonoměrů s velkou rozlišovací schopností. Časové intervaly je možné volit v závislosti na potenciálním nebezpečí. Lze definovat kritické stavy pro zvyšující se rychlost deformace a zajistit bezdrátový přenos naměřených údajů na stůl pracovníka zodpovědného za bezpečnost a správu komunikace.

4.6.1 Popis metody kontinuálního monitoringu pomocí MEMS senzorů s bezdrátovým přenosem dat

Při monitoringu v místech kde je velice omezený přístup a na lokalitách kde je potřeba dlouhodobě kontinuálně měřit požadovaná data se uplatní bezdrátový přenos dat. Tento přístup umožňuje připojit na bezdrátovou síť různé senzory používané k monitoringu. Následně jsou měřená data od senzorů přenášena do centrálního bodu této sítě a poté jsou všechny naměřené hodnoty z určitého krátkého časového období přeneseny opět bezdrátově přes internet na server k dalšímu zpracování.

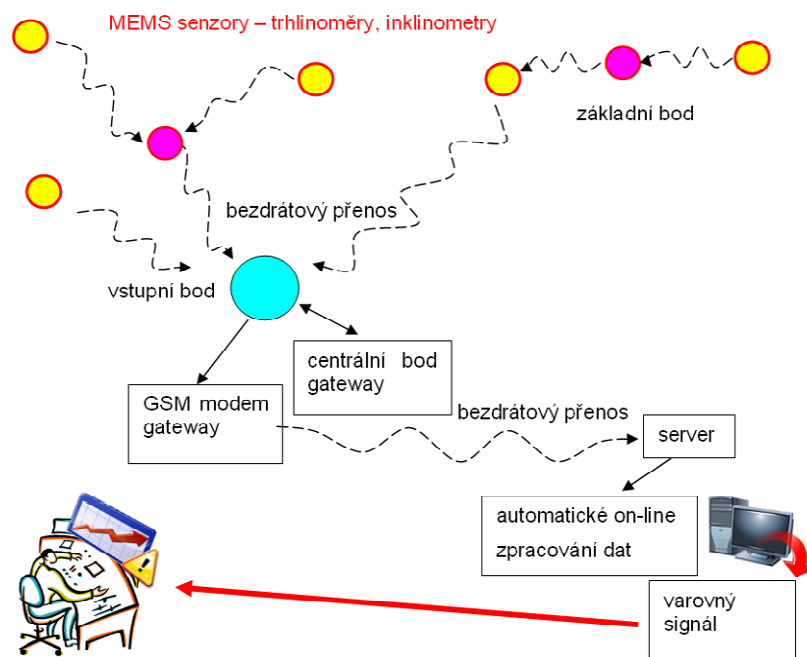
Autoři tohoto příspěvku mají již mnoho zkušeností s obdobným monitoringem, který navrhli, instalovali a provozují v pražském metru. Zpracování a vyhodnocení dat může probíhat automaticky a měřená data je možné sledovat např. prostřednictvím webového rozhraní.

Současně je možné vytvořit bezpečnostní varovný systém, kdy se definují kritické hodnoty naměřené deformace. V případě že naměřená hodnota deformace bude větší než kritická, systém rozešle varovné emailové a SMS zprávy na adresy všech zodpovědných osob za bezpečnost a správu komunikace. Tento systém může být rozšířen i o automatickou signalizaci semaforů a závorami přímo na komunikaci.

Schéma systému kontinuálního měření pomocí MEMS senzorů s bezdrátovým přenosem dat je znázorněno na obr.6.

Bezdrátový přenos probíhá na technologii v nelicencovaném pásmu 2,4 GHz na platformě ZigBee, která funguje na čípech Intel. Ucelené řešení bezdrátového sběru dat od jednotlivých měřících bodů, na nichž lze připojit jak analogové, tak i digitální měřící přístroje je dodáváno společností Crossbow. Vše je jen otázkou spojení odpovídajících čipů (rozhraní) pro sběr dat s čipem pro bezdrátovou komunikaci, společně nazývaných měřičských bodů bezdrátové sítě. Srdcem celého systému je centrální bod - miniaturní počítač, který pracuje pod operačním systémem Linux a který komunikuje přímo přes ethernetové nebo USB rozhraní se základním bodem bezdrátové sítě ZigBee. Tato brána slouží též k úschově nasbíraných dat před jejich odesláním na server do kanceláře. Tyto výsledky je možné průběžně vyhodnocovat a definovat limitní hodnoty posunů, resp. vývoj změny posunů v čase. Při jejich překročení bude zapojena signalizace na komunikačním úseku (snížení rychlosti, upozornění na zvýšené nebezpečí pádu skal) a současně by skupina odborníků navštívila úsek, na kterém byl tento signál zaregistrován a v případě potřeby by doporučila řízený odstřel bloku. Pro kontrolu automatických senzorů budou ojediněle nainstalována klasická měřidla deformace (i když

s nižší mírou přesnosti), a při kontrolách bude provedeno srovnávací měření a toto porovnáno s hodnotami dodanými na počítač správce komunikace. Jde o klasickou formu dvojí kontroly.



Obr. 6: Schéma systému monitoringu pomocí MEMS senzorů a bezdrátové sítě

5 Závěr

Problematika rizik spojených s pádem skalních bloků na komunikaci je v současné době velmi aktuální a často diskutovaná nejen v České republice, ale i celosvětově. Definování a kvantifikace rizik jsou velmi obtížné, neboť riziko záleží na celé řadě faktorů a specifických podmínkách lokality.

Jedním z nejdůležitějších opatření pro snížení rizik jsou pravidelné vizuální prohlídky lokality zkušeným geotechnikem při současném využití moderních monitorovacích metod s napojením na varovný signál.

References:

- [1] ZÁRUBA, Q. – MENCL, V.: *Sesuvy a zabezpečování svahů*, Academia, 1987 pp. 112–112.
- [2] VANÍČEK, I. – CHAMRA, S. – JIRÁSKO, D. – HRUBÝ, V.: *Posouzení geotechnických rizik v souvislosti s havarijním stavem skalního masivu a nebezpečím sesuvu na komunikaci II/102 v úseku Strnady – Štěchovice*, Zpráva pro SÚS Kladno, 2009

This research has been supported by MSM 6840770005.

Výbuch plynu a následné zřícení mostu Pionýrů v Ostravě

Ing. Eva Karasová, Ing. Marek Foglar, Ph.D.

eva.karasova@fsv.cvut.cz, marek.foglar@fsv.cvut.cz

ČVUT, Fakulta stavební – katedra betonových a zděných konstrukcí

Abstract

The collapse of the Pioneer's Bridge in Ostrava left behind 1 death and 17 severely injured. The bridge collapsed due to gas breakdown caused by differential settlement of the abutment and the surroundings. Next lines discuss the effect of gas explosion in theory and in practical example.

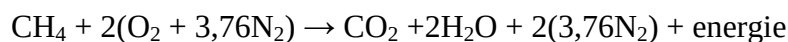
1. ÚVOD

Článek se po teoretické i praktické stránce zabývá popisem výbuchu plynu. Popis výbuchu plynu je proveden teoreticky - na základě poznatků uváděných v odborné literatuře. Jako reálný případ bylo vybráno zřícení mostu Pionýrů v Ostravě roku 1976.

2. POPIS VÝBUCHU PLYNU

2.1 Proces hoření

Proces hoření je složitý děj, který lze velmi zjednodušeně popsat rovnicí hoření metanu (CH_4) ve vzduchu.



Proces hoření, při kterém je palivo (plyn, kapalina, pevná látka) oxidováno, způsobuje transformaci energie chemické vazby na teplo nárůst teploty.

2.2 Výbuch plynu

Proces, kdy dochází k hoření promíseného oblaku plynu (palivo + vzduch, palivo + okysličovadlo) a vzniku rychlého nárůstu tlaku, nazýváme výbuchem plynu.

Následky výbuchu plynu jsou hodnoceny podle prostředí, ve kterém je oblak plynu uzavřen, nebo které je oblakem obklopeno. K výbuchu plynu může dojít v neohraničených oblastech, v otevřené procesní oblasti, v budovách či ropných plošinách, uvnitř procesního zařízení nebo potrubí. Definovat tyto výrazy je často komplikované, obzvlášť u neohraničených výbuchů.

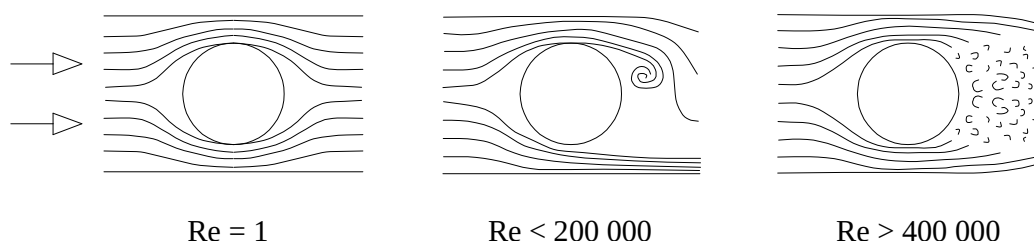
2.2.1 Děje spojené s výbuchem plynu

Pro rychlost šíření plamene promíchaným oblakem plynu je velmi důležitá turbulence. Turbulence svrašťují zónu plamene a zvyšují difúzi tepla a hmoty a zvyšují tedy rychlost odhořívání. Podle toho, zda se médium pohybuje ve vrstvách nebo je jeho tok charakterizován nepravidelnými náhodnými výchylkami, mluvíme o toku laminárním resp. turbulentním. Zda

je tok laminární resp. turbulentní charakterizuje bezrozměrný parametr Reynoldsovo číslo (Re).

$$Re = \frac{u \cdot L}{\nu} \quad (1)$$

u – rychlost toku, L – charakteristický rozměr geometrie, ν – kinematická viskozita



Obr.1) Charakteristika toku média v závislosti na Reynoldsovu číslu

Charakteristickým měřítkem geometrie na *Obr.1* je průměr válce. Pro nízké hodnoty Re a nízké rychlosti toku je tok kolem válce laminární. Při vyšších hodnotách Re se v brázdě za válcem vytváří víry a tok je turbulentní.

Pokud dochází k urychlování média v protisměru kladného gradientu hustoty, je rozhraní mezi těžkým a lehkým plynem nestabilní a rychlost odhořívání roste. Tento fenomén hydrodynamických nestabilit se vyskytuje také při výbuších plynů a je znám jako Taylorovy nestability.

Při hoření promíchaného oblaku vzrůstá teplota plynu. Zákon ideálního plynu

$$\frac{p}{\rho \cdot T} = konst. \quad (2)$$

ukazuje, že zvýšení teploty T způsobí zvýšení tlaku p , nebo snížení hustoty ρ (expanze) nebo kombinaci obou.

2.3 Metody výpočtu parametrů tlakových vln

Zvolit vhodnou výpočetní metodu pro predikci účinku výbuchu plynu je poměrně obtížný úkol, neboť metody vycházejí z experimentů nebo nehod, které se již staly, je tedy třeba vybrat metodu, která vznikla na základě hodnocení podobných podmínek. Nejznámější metodou je metoda tzv. TNT ekvivalentu používaná pro nálože pevného charakteru. Protože potřeba kvantifikovat potenciální výbušnou sílu hořlavin vzrostla dlouho před tím než byl pochopen mechanismus generování tlakové vlny při výbuchu oblaku par, byl koncept TNT-ekvivalentu přizpůsoben k použití pro predikci škod při výbuchu plynu. Tento přístup je velmi jednoduchý, ale nelze říci, že se s těmito výsledky můžeme vždy spokojit. Další možností je například metoda multi-energy nebo metody numerické.

3. ZŘÍČENÍ MOSTU PIONÝRŮ V OSTRAVĚ

K tragické události v důsledku výbuchu plynu může dojít prakticky v jakémkoli prostředí, kde je plyn přítomen. Jedná se o procesní zařízení, budovy i potrubí. Porucha plynového potrubí a následný výbuch přítomného plynu může způsobit velké škody nejen na hmotném majetku, ale především na zdraví a životech osob nacházejících se v blízkosti nehody.

Nedaleko Nové radnice v Ostravě byl 30. dubna 1959 slavnostně otevřen most spojující moravskou a slezskou část města. Most Pionýrů dostal své jméno díky tehdejšímu přispění mládeže na jeho výstavbu sběrem druhotných surovin. Most o jednom poli pro dopravu silniční, trolejbusovou a pro pěší tvořila ocelová komora.



Obr.2) Pohled na most

Tento most je dodnes zapsán v paměti mnoha lidí. Ve čtvrtek 25. listopadu 1976 krátce před šestou hodinou ranní došlo k tragické události. Most a jeho okolí byly zasaženy výbuchem. Na mostě se v té době nacházelo několik pěších, trolejbus s asi 90ti pasažéry a osobní automobil značky Škoda Felicia.



Obr.3) Osobní automobil po výbuchu

Přesto, že řidič osobního automobilu byl i s vozem vymrštěn do několika metrové výšky a chodci na mostě nebyli ničím chráněni, se těmto lidem téměř nic nestalo. Nejhuře dopadli cestující v trolejbusu. Z trolejbusu bylo vyneseno 17 těžce raněných a jedna žena v důsledku zranění po několika dnech zemřela.

Těsně vedle mostu se nacházela budova bývalých Báňských projektů. Tato pětipatrová budova se podle svědků, kteří se v té době nacházeli uvnitř, celá otřásla a skleněné výplně oken se rozletěly na kusy.



Obr.4) Trolejbus na mostě po výbuchu



Obr.5) Pohled na most po výbuchu a budovu v těsné blízkosti

Událost byla následně podrobena vyšetřování. Při vyšetřování byly prověřeny všechny pravděpodobné verze o okolnostech, za kterých mohlo k výbuchu dojít.

Příčinou výbuchu bylo zažehnutí nahromaděného plynu v a pod mostem. Důležité bylo stanovit jak a proč k uvolnění velkého množství plynu došlo. Po straně mostu sice vedlo plynové potrubí, ale to tehdy nebylo užíváno. Všechn nahromaděný plyn pocházel z plynovodu, který vedl asi tři metry pod zemí na moravském břehu. Potrubí o průměru 60 cm procházelo i pod silnicí vedoucí na most. Potrubí bylo sice ochráněno ochráníčkou, ale terén v okolí klesl více než podloží silnice a plynovod se o okraj ochranné roury přestříhl.

Odkud pocházel impulz zážehu se nepodařilo objasnit. Lze se jen domnívat, že k zážehu napomohla elektrická jiskra pocházející z vedení elektrického osvětlení či od projíždějícího trolejbusu.

4. HODNOCENÍ UDÁLOSTI

Je s podivem, že si tato událost vyžádala pouze jeden lidský život. Predikovat takovou událost a počítat s ní při návrhu mostní konstrukce je velmi obtížné. Bohužel je možné, že zodpovědný projektant snažící se promyslet i takovou událost se setká s nepochopením.

Tato nehodová událost je příkladem toho, že je při návrhu mostní konstrukce třeba uvažovat nejen nad konstrukcí samotnou, ale také si uvědomit, jaká vedení, zařízení a provozy se nacházejí v bezprostřední blízkosti konstrukce.

Řešení nemusí být vždy nutně složitá. Je zřejmé, že kdyby byl příčný řez mostu navržen takovým způsobem, aby se pod mostem a uvnitř nemohlo shromáždit velké množství plynu, výbuch a jeho následky by nedosáhly takového rozsahu.

References:

- [1] Henrych, J.: Dynamika výbuchu a její užití, Academia, 1973.
- [2] Parametry tlakových vln, zatížení konstrukcí a jejich ochrana, Vzdělávací seminář projektu Protivýbuchová ochrana, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze
- [3] Foglar, M., Křístek, V., Extrémní návrhové situace v mostním stavitelství, Silnice železnice 3/2006
- [4] Karasová, E., Foglar, M., Křístek, V., Extrémní návrhové situace konstrukcí – účinek výbuchu, Mosty 2008
- [5] výstřižky denního tisku nalezené v Ostravském archivu

This research has been supported by MSM 6840770005.

Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení. Následky zemětřesení v italské L'Aquila

Ing. Eva Karasová, Ing. Jan Loško

eva.karasova@fsv.cvut.cz, jan.losko@fsv.cvut.cz

ČVUT, Fakulta stavební – katedra betonových a zděných konstrukcí

Abstract

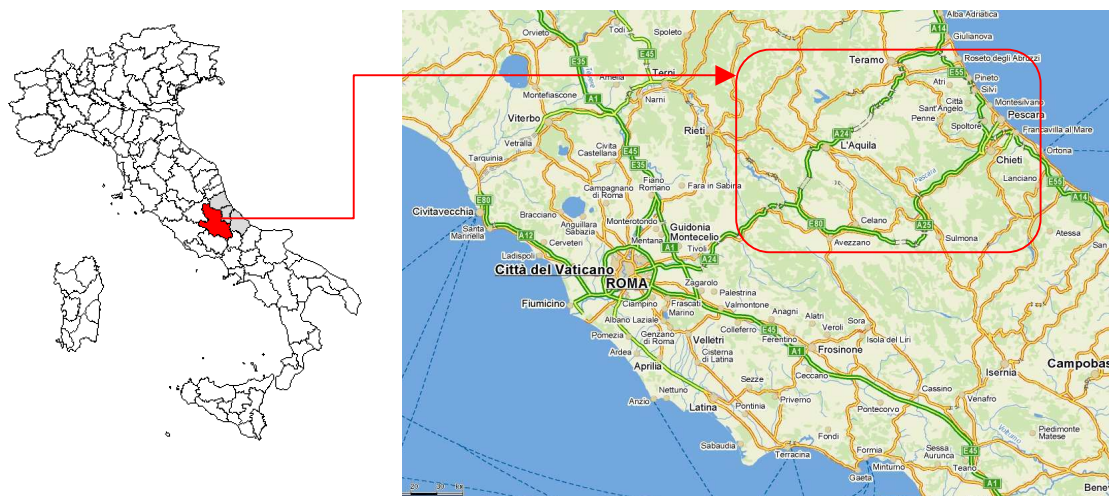
The article describes design of structures for earthquake resistance and the building collapses in L'Aquila due to earthquake. Next lines discuss the effect of earthquake in theory and in practical example.

1. ÚVOD

V italské oblasti Abruzzo došlo 6.dubna 2009 k sérii mnoha otřesů půdy. Ve 27 městech a obcích regionu došlo k obrovským škodám na majetku a lidských životech. Nejvíce postiženým se stalo město L'Aquila, kde žije 68 tisíc obyvatel. V důsledku zemětřesení došlo ve městě k poškození asi 2/3 budov a vědci potvrdili, že se celé město o 15cm posunulo. Již na počátku zjišťování škod bylo evidentní, že zničené budovy nebyly navrženy s uvažním zatížením zemětřesením a stavební firmy na úkor ceny podcenili kvalitu provedení staveb.

2. L'AQUILA A ZEMĚTŘESENÍ

L'Aquila je správní středisko stejnojmenné provincie a hlavní město italské oblasti Abruzzo. Město bylo založeno v roce 1230 jako Aquila (orel), v roce 1861 bylo přejmenováno na Aquila degli Abruzzi a v roce 1939 dostalo svůj nynější název.



Obr. 1 Poloha oblasti Abruzzo

Město bylo již mnohokrát v historii zasaženo zemětřesením (mj. v letech 1315, 1349, 1452, 1501, 1646, 1703). Zatím poslední nejsilnější zemětřesení o síle 6,3 RichtEROVY škály proběhlo 6.dubna 2009 v brzkých ranních hodinách a trvalo cca 25 vteřin.

Vyžádalo si životy až 298 lidí a více než 1000 lidí bylo zraněno. Kolem 40ti tisíc lidí přišlo o své domovy, poškozeno bylo až 15 000 budov. Pravděpodobně díky nedbalosti stavebních firem a následnému kolapsu budov těmito firmami provedenými, došlo k největším ztrátám na životech mezi mladými lidmi na vysokoškolských kolejích v L'Aquila.



Obr. 2 Záchrana osob, l'Aquila



Obr. 3 Historické budovy po zemětřesení, kostel Santa Maria, Paganica

V L'Aquila byly kromě tisíců domů zničeny také domy historického významu. Jedná se především o následující stavby:

- kolaps třetího podlaží Národního muzea oblasti Abruzzo, které bylo umístěno v zámku ze 16. století Forte Spagnolo
- kolaps kopule kostela Sv. Augustina, který dále zapříčinil porušení městského archivu l'Aquila; kosel byl v 18. století přestavěn po poškození zemětřesením
- v katedrále l'Aquila došlo ke zborcení bočního křídla; apsida baziliky „Saint Bernardino of Siena“ byla rozsáhle porušena a zvonice zničena
- zadní část baziliky „Santa Maria di Collemaggio“ a největší kopule kostela „Santa Maria del Suffragio“ se rozpadá

Některé z novějších budov se zřítily navzdory tomu, že tyto budovy byly navrženy na účinky zemětřesení. Odborníci nyní stojí před úkolem objasnit, co zapříčinilo porušení těchto budov.



Obr. 4 Obytné budovy po zemětřesení



Obr. 5 Obytné budovy – typické porušení

3. VYBRANÉ ZÁSADY A PRINCIPY NÁVRHU KONSTRUKCE DLE EN 1998-1

Norma EN 1998 se vztahuje k navrhování a provádění pozemních a inženýrských staveb v seizmických oblastech. Jejím hlavním účelem je ochrana lidských životů, maximální možné omezení škod a zajištění schopnosti provozu důležitých konstrukcí pro ochranu obyvatelstva. Vzhledem k náhodné povaze zemětřesení a nedostatku podkladů je možno splnit tyto cíle jen s určitou pravděpodobností.

Všeobecně je normou požadováno posouzení mezního stavu únosnosti a mezního stavu omezeného poškození (kdy kolaps části konstrukce vlivem zemětřesení nesmí ohrozit schopnost plnit určený účel – ochrana a evakuace osob). V rámci projektu je výhodné dodržovat následující doporučení:

- jednoduchost tvaru konstrukce (jak půdorysného, tak po výšce)
- dělení konstrukce na dynamicky nezávislé jednotky
- vyloučení poruchy konstrukce vlivem křehkého lomu a vzniku nestabilních mechanismů (zajištění dostatečné kapacity plastického přetváření a disipace energie v celé konstrukci – dynamicky nezávislém celku)

Veškerá výše uvedená stěžejní doporučení poukazují na závislost chování konstrukce na jejích kritických oblastech či prvcích. Nejchoulostivějšími prvky systému jsou detaily spojů konstrukcí (oblasti, kde lze předpokládat nelineární chování konstrukce). Vhodným uspořádáním a návrhem detailů lze zajistit schopnost přenášet potřeby síly při cyklickém zatížení a dostatečnou disipaci energie.

Základní principy navrhování lze shrnout do několika bodů:

- o jednoduchost konstrukce – jasná a přímá cesta přenosu sil v konstrukci zajistí mnohem méně nejistot při přenosu seizmického zatížení a predikce chování je mnohem spolehlivější
- o symetrie – je vhodná pro dosažení jednotnosti a rovnoměrnosti rozmístění nosných prvků (zvětšení statické neurčitosti konstrukce a umožnění výhodnější redistribuce namáhání a tím i disipace energie)
- o jednotnost konstrukce po výšce – vyloučení výskytu oblastí s koncentrací napětí, volba těsného vztahu mezi rozložením hmoty a tuhosti v systému (velké excentricity hmot a tuhostí vedou ke koncentraci napětí)
- o odolnost a tuhost konstrukce v obou směrech (včetně kroucení) – pohybu způsobeném seizmickým zatížením musí konstrukce odolávat v libovolném směru (což vede na pravoúhlý konstrukční systém). K omezení torzních pohybů konstrukce je vhodné umístit hlavní nosné prvky k obvodu stavby.
- o podlaží jako diafragma – rozdělení vodorovné setrvačné síly do svislých nosných konstrukcí pomocí podlaží
- o přiměřené základy – zajištění rovnoměrného buzení konstrukce pomocí základů
- o návrh sekundárních seizmických prvků – prvky tvoří část systému stavby odolávající seizmickému zatížení (pevnost a tuhost prvků se nezapočítává), celkový

příspěvek sekundárních prvků k příčné tuhosti nemá přesahovat 15% příspěvku prvků odolávajících.

Vhodnou koncepcí již při návrhu a dodržení základních pravidel stanovených normou EN 1998 lze navrhnout konstrukci odolnou proti účinkům zemětřesení a tím možná v budoucnu zachránit lidské životy.

4. ZÁVĚR

Zemětřesení v italské l'Aquile bylo tragickou událostí, která zůstane zapsána v historii. Je však nutné uvědomit si, že zemětřesení nelze zamezit. Díky sledování zemětřesení v seizmických stanicích je možné (a nezbytné) informovat obyvatelstvo a snížit tak ztráty na životech. Z pohledu stavebních inženýrů je třeba dbát správného návrhu stavby a dodržení kvality při výstavbě a na základě vědních poznatků stavební konstrukce na zatížení zemětřesením v ohrožených oblastech připravit.

References:

- [1] EN 1998-1 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
- [2] <http://earthquakes.suite101.com>

This research has been supported by MSM 6840770005.

Charakterizace zvětrávacích procesů a jejich vliv na trvanlivost pískovců použitých v historických objektech

Mgr. Kateřina Kovářová, MBA

katerina.kovarova@fsv.cvut.cz

Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky, Thákurova 7, Praha 6

Abstract

Sandstones were often used as a mainly historical building material in the Czech Republic. As any other building material they undergo weathering processes and so are damaged. There are described the basic factors of weathering processes and their influence on the durability of sandstones in this article. Study of these processes is very important for the understanding of the rate of decay and also for the estimation of redevelopment proceedings during reconstruction of the heritage buildings. The range of the deterioration of the rock depends on the petrography (internal structure, mineral composition, type of cementation etc.) and on the changes initiated.

Úvod

Pískovce byly v minulosti z důvodu snadné dostupnosti a opracovatelnosti hojně používány ke stavebním účelům, a proto je nalézáme na mnoha významných historických stavbách po celé České republice (např. chrám Sv. Barbory v Kutné Hoře, Karlův most v Praze, atd.) [1]. Působením zvětrávacích procesů však dochází k jejich poškození a ke ztrátám jejich původních kvalitativních vlastností, tedy ke změnám jejich trvanlivosti. Z tohoto důvodu je nezbytné věnovat pozornost studiu vlivu zvětrávacích procesů na tyto změny, ať už z hlediska samotné identifikace změn a následné možné sanaci poškozeného materiálu či z důvodů zlepšení výběru alternativních horninových typů na opravu takto poškozených památek.

Vliv zvětrávacích procesů na pískovce a jejich vnitřní stavbu

Pískovce jsou zpevněné sedimentární horniny, tvořeny zejména zrny křemene nebo v menší míře zrny živce a úlomky hornin. Jednotlivá minerální zrna jsou stmelená dohromady, přičemž tmel může být různého původu – jílovitý, kalcitový, z oxidů a hydroxidů železa nebo křemitý.

Při zvětrávání může docházet ke ztrátě pojiva, která nepříznivě ovlivňuje pevnostní charakteristiky kamene. Rozvolnění struktury stmelení klastických zrn křemene se uplatňuje jak v povrchových partiích, tak i hlouběji od povrchu. Četné široké intergranulární prostory ovlivňují pórovitost horniny a řídí přítomnost a transport kapaliny nitrem horniny, což jsou jedny z nejdůležitějších faktorů ovládajících zvětrávací procesy hornin. Postupná ztráta soudružnosti zrn může pokračovat až ke konečnému rozpadu na jednotlivá klastická zrna, který je charakteristickým projevem zvětrávání pískovců [2].

Charakterizace pískovců jako porézního materiálu

V případě pískovců (a hornin obecně) je jejich vnitřní stavba chápána jako prostorové uspořádání horninotvorných minerálů [8]. Charakteristickou součástí vnitřní stavby je jejich pórové prostředí, které je během zvětrávacích procesů výrazně modifikováno. Materiály jsou vedle své vlastní hmoty (tuhé fáze) v mnoha případech vyplněny ještě dalšími fázemi – plynnou a kapalnou. Tyto fáze v materiálu vyplňují tzv. póry. Póry mohou mít různé tvary, velikost a míru propojení a jejich rozměr je podstatně menší než rozměry uvažovaného tělesa. Obecně lze rozlišit dva geometricky a geneticky odlišné typy pórového prostředí [např. 9]: (I) mikrotrhliny v magmatických a metamorfovaných horninách (tj. ploché póry) a (II) póry

v sedimentárních horninách (ekvidimensionální dutiny), v nichž pórový prostor zásadně ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti (např. propustnost, rychlost elastických vln, deformační charakteristiky) [10], pohyb vody v hornině ale také odolnost vůči zvětrávání [11].

Pórové prostředí je v technické praxi kvantifikováno zpravidla jediným parametrem – pórovitostí P , která vyjadřuje poměr objemu pórů k objemu pevné fáze [12]. Pórovitost ovlivňuje řadu fyzikálních vlastností jako je např. pevnost v prostém tlaku, deformační charakteristiky, nasákavost, propustnost atd. Kvantitativní vyhodnocení pórového prostředí je jedním z nástrojů pro zjištění míry zvětrávacích procesů [13].

Zvětrávací proces

Zvětrávací proces je souhrou několika proměnných, kde mají hlavní roli materiál, prostředí, zvětrávací procesy a zvětrávací formy [např. 5]. Prostředí, ve kterém dochází k procesu rozpadu, lze rozdělit jednak na prostředí vnější (tedy okolní atmosféra kolem kamene definovaná klimatem, složením vzduchu, přítomností vody, znečištěním atd.) a prostředí vnitřní (materiály kolem vlastního kamene ve stavební konstrukci – např. malty, voda s rozpuštěnými solemi atd.). Zvětrávací procesy způsobují fyzikální rozpad a chemické změny, v jejichž důsledku se mění stavba horniny, tedy také její fyzikální vlastnosti. Zvětrávací formy jsou makroskopicky (též mikroskopicky) pozorovatelné jevy na povrchu horniny, z nichž lze za určitých okolností vyčíst příčiny rozpadu kamene, tedy jaký proces se na jejich vzniku podílel.

Každá hornina má určitou míru odolnosti vůči zvětrávacím procesům, kterou lze vyjádřit termínem trvanlivost [např. 6]. Stanovení trvanlivosti přírodního kamene je založeno na předpovědi resp. stanovení změn petrografických, fyzikálních a estetických vlastností v daném prostředí. Odolnost hornin vůči zvětrávacím vlivům je funkcí jednak vnitřních proměnných hornin (genetické podmínky, mineralogické a chemické složení, vnitřní stavba a její uspořádání, nehomogenity, fyzikální vlastnosti) a vnějších proměnných (klima, složení atmosféry a znečištění ovzduší, přítomnost vody, biosféra, vliv okolních materiálů ve stavební konstrukci atd.). Někteří autoři [např. 7] navíc rozlišují mezi faktory, které ovlivnily horninu před jejím umístěním na stavbě (např. způsob těžby, opracování povrchu) a faktory, které modifikují horninu po osazení do stavby (vnější prostředí, okolní materiály, čištění a konzervace).

Mechanické (fyzikální) zvětrávání

Fyzikální zvětrávání je souborem procesů, při nichž dochází k porušování hornin působením fyzikálních sil [3]. Během těchto procesů se nemění chemické ani mineralogické složení materiálu, ale významným způsobem se porušují vazby mezi zrny, čímž dochází k postupné ztrátě soudržnosti horniny a ke zhoršování technicky významných vlastností horniny [4].

Fyzikální zvětrávání má mnoho projevů. Mezi nejčastější projevy patří drolení horniny a „odlupování“ vrstev, které jsou způsobeny krystalizačními tlaky solí a mrznutím a táním vody v pórovém prostředí, které velkou měrou ovlivňuje, do jaké míry bude docházet k poškození horniny [14]. Fyzikální zvětrávání vyvolává změny ve struktuře hornin.

Chemické zvětrávání

Při chemickém zvětrávání dochází k chemickým změnám ve složení horniny, což v důsledku vede k mineralogickým změnám. Je to velice složitý proces, při kterém nedochází pouze k samotnému rozpadu hornin, ale zejména k interakci mezi jednotlivými minerály a roztoky, které horninou procházejí, nebo které na ni působí. Faktory ovlivňující chemické zvětrávání jsou následující [3, 4]: koncentrace vodíkových iontů v systému (pH), jeho iontový potenciál

a oxidačně redukční potenciál. Mezi chemické zvětrávací procesy patří procesy rozpouštění, oxidace a redukce, karbonatizace, hydratace a hydrolýza.

Chemické zvětrávání je ovlivněno přítomností vody a v ní rozpouštěných chemických látek a plynů. Voda může do horniny proniknout různým způsobem a za různých podmínek. Vliv na míru chemického zvětrávání má zejména teplota, vlhkost, přítomnost organických kyselin a rozpouštěný oxid uhličitý [4].

Rovněž činnost organismů může podporovat degradaci horninového materiálu. Některé bakterie, např. sirné (*Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus thioparus*) nebo nitrifikační (*Nitrobacter*, *Nitrosomonas*), přeměňují sloučeniny síry a dusíku na silné minerální kyseliny, které se také podílejí na zvětrávání [4].

Vliv krystalizujících solí na zvětrávací procesy

Krystalizující sole v pórovém prostředí tvoří soubor několika současně působících procesů. Nejvýznamnější podíl mají fyzikální procesy [3, 4], které mohou být často doprovázeny chemickými procesy a činností organismů [15]. Tento proces může vést k drolivému rozpadu povrchu horniny a nebo k odlupování „šupin“ z povrchu [3].

Jedním z důležitých procesů solného zvětrávání je srážení krystalů z roztoků v horninových pórech a trhlinách. Pořadí, v jakém jednotlivé soli krystalizují z jejich směsného roztoku, je ovlivněno jejich rozpustností. Jako první krystalizují méně rozpustné soli (např. sádrovec), které jsou méně hygroskopické, mohou krystalizovat i za vyšší vlhkosti a nezpůsobují velké porušení horniny. Více rozpustné soli krystalizují později, jsou více hygroskopické a představují větší riziko poškození [16].

Růst solných krystalů vyvolává v závislosti na teplotě tlaky o velikosti několika desítek až stovek MPa, které přesahují tahovou pevnost většiny hornin [17]. Růst krystalů mohou zapříčinit různé mechanismy. Rozpustnost některých solí rapidně klesá s klesající teplotou. Toto platí částečně pro síran sodný, uhličitán sodný, síran hořečnatý a dusičnan sodný, ale nikoliv ve stejné míře pro síran vápenatý a chlorid sodný. Noční ochlazení může tudíž způsobit krystalizaci solí, přičemž tento druh krystalizace mnohem více ovlivňuje jejich množství než jejich krystalizace v důsledku vypařování (mnohem více postupný proces) za stejně dlouhou dobu [18].

Z výše uvedeného je zřejmé, že krystalizace solí vede v první řadě ke zvětšení pórového prostoru. Sůl krystalizuje nejprve v pórech větších rozměrů, a když jsou již zaplněny, tak krystalizuje v menších pórech. Horniny s vysokou celkovou pórovitostí s velkými póry a mnoha malými jsou velmi náchylné na rozpad v důsledku působení solí [15]. Horniny s vysokým obsahem mikropórů podléhají mnohem více solnému zvětrávání než horniny s vysokým obsahem pórů o větším poloměru [19].

Vedle vlastních krystalizačních tlaků se na porušení hornin podílí také hydratace. Při hydrataci fáze dochází ke zvětšení objemu solí v důsledku sorpce vody a zároveň je tím vyvíjen větší tlak na okolí. Procesy hydratace a dehydratace probíhají v závislosti na změnách teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Největší účinky hydratačních tlaků jsou pozorovány při nižších teplotách a vyšší relativní vlhkosti vzduchu [4]. Vedle fyzikálních procesů mohou krystalizující sole vést i k chemickému zvětrávání.

Vliv vlhkosti na zvětrávací procesy

Přítomnost vody v pórovém systému má zásadní význam z několika důvodů. Přítomnost vody v kapalném stavu vede k objemovým změnám hornin zejména tehdy, pokud obsahují větší množství jílových minerálů v základní hmotě. Voda dále působí silově na soudržnost horniny, pokud dochází ke změně jejího skupenství (mrznutí), kdy narůstá její objem o cca 10 % [4].

Mrznutí a tání vody v pórovém prostředí vyvolává síly, které mohou zapříčinit porušení a rozpukání hornin podél vrstevních ploch. Působení mrazu může mít za následek oprýskání

povrchu hornin, jeho odlupování a další možné poškození spojené s jeho působením [4, 20]. Podle Winklera [4] má zvětrávání hornin v důsledku působení mrazu největší význam ve vlhkém prostředí.

Za atmosférického tlaku mění voda svůj skupenský stav při teplotě 0°C. V pórovém prostředí horniny ve skutečnosti nastává jev, označovaný jako supercooling (přechlazení), který způsobuje tuhnutí vody při teplotách nižších než 0°C. Voda tak může zůstat v kapalně formě i při nižších teplotách. V závislosti na tomto jevu a různému poloměru pórů v hornině dochází k tomu, že voda s klesající teplotou mrzne postupně a v důsledku toho může být zachován určitý podíl nezmrzlé vody. Toto vyvolává zvyšování hydraulického a kapilárního tlaku v hornině [20]. K exponenciálnímu růstu krystalů ledu v pórech s malým poloměrem dochází v závislosti na přechlazení vody [21]. Pórový prostor se rychle zaplňuje ledem a nastává porušení horniny. V případě, že jsou póry v hornině dostatečně velké, krystaly ledu rostou pomaleji a nedochází k tak významnému poškození.

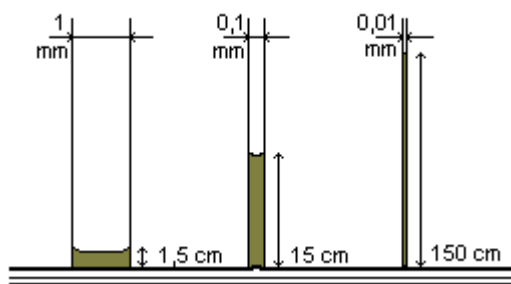
Náchylnost hornin na negativní působení mrznutí vody v pórech závisí na jejich velikosti, relativní vlhkosti a možné přítomnosti solí. Horniny, které jsou nasáklé vodou před tím, než na ně začne působit mráz, jsou mnohem více citlivé na jeho působení než horniny, které jsou vysušené. Působení mrazu je nejvíce nebezpečné tam, kde je nasycení pórového prostředí horniny nad 50 % [4]. Fagerlund [14] poukazuje na kritický stupeň nasycení pórového prostředí. Pokud je tohoto stupně dosaženo, tak dochází k poškození horniny. Působením vnějšího prostředí dochází k jisté míře nasycení horniny – tzv. aktuální stupeň nasycení, který se s časem mění. Odolnost vůči mrazu je pak vyjádřena jako rozdíl mezi hodnotou nasycení kritického a aktuálního. Důležitou vlastností, určující kritické nasycení, je specifický objem pórů. Čím menší jsou vzduchem naplněné póry, tím vyšší je hodnota kritického nasycení za konstantních podmínek.

Teplota ovlivňuje nejen tuhnutí ledu, ale také jeho tvrdost. Tvrdost ledu stoupá s klesající teplotou z 1,5 stupně Mohsovy stupnice při 0°C na tvrdost 6 Mohsovy stupnice při -60°C, což odpovídá tvrdosti žuly [4].

Mechanismus pohybu vlhkosti v horninách je velmi složitým a stále ne zcela objasněným procesem. Pohyb vody v pórech, resp. výška, do které voda vystoupá, je funkcí poloměru pórů (Obr. 1) a lze ji vyjádřit pomocí následující rovnice (1):

$$h = \frac{2s}{rd'} \quad (1)$$

kde h = výška hladiny roztoku (cm); s = konstanta (0,074 g/cm); d = hustota vody (1 g/cm³) a r = poloměr póru (cm).



Obr. 1. Výška hladiny vody v pórech v závislosti na jejich poloměru (upraveno podle [4]).

Horniny, které obsahují póry s malým poloměrem, absorbují vodu více, než horniny s póry větších poloměrů. Horniny s póry o velkém poloměru mohou sice obsahovat větší množství vody, ale v horninách s póry o malém poloměru je voda zadržována déle [22]. Na kapilární pohyb vody v pórech má velký vliv také složení a smáčivost povrchu pórů [4].

Jak již bylo řečeno, pórovitost má vliv na propustnost materiálů. Propustností se rozumí schopnost tekutiny procházet porézním systémem materiálu ve směru klesajícího gradientu koncentrace. Propustnost se zvyšuje s rostoucí pórovitostí a velikostí zrn a klesá se stupněm kompakce hornin a množstvím tmelu v hornině [12]. Na propustnosti horniny závisí druhý mechanismus pohybu vody v hornině. Tímto mechanismem je infiltrace dešťové vody, která závisí ještě vedle propustnosti horniny na hydrostatickém tlaku kapaliny.

Williams a Robinson [23] poukazují na souvislost mrazového a solného zvětrávání. Stupeň poškození horniny závisí na kombinaci solí, které se v procesu solného zvětrávání uplatňují. Samotný obsah vody v systému, bez ohledu na své uplatnění při chemickém zvětrávání a na svoji roli v případě objemových změn vyvolaných změnami teploty, ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu.

Závěr

Interakce pískovců a vnějšího prostředí je velice složitý proces, jehož průběh nelze jednoznačně charakterizovat. V procesu degradace dochází ke kombinaci působení mnoha fyzikálních a chemických faktorů, velice často i v kombinaci s činností organismů.

Obecně lze však říci, že velkou úlohu v případě trvanlivosti pískovců zaujímá charakter pórového prostředí. Póry slouží jako dráhy pro transport agresivních roztoků, které mohou svými chemickými reakcemi s okolím narušit strukturu dané horniny, a rovněž poskytují prostor pro růst novotvořených minerálů a krystalů ledu, což může vést až k samotnému rozpadu.

Závěrem lze rovněž dodat, že kvalita životního prostředí výrazně ovlivňuje trvanlivost stavebních materiálů, jelikož mnohé průmyslové zplodiny se podílí na vzniku kyselých srážek, které působí negativně. Rovněž např. používání posypových solí v zimním období představuje nemalé problémy ve vnitřní struktuře materiálů. V tomto případě se nejedná jen o přímou interakci v místě a blízkém okolí posypu, ale díky vzlínavosti dochází k transportu solných roztoků na značné vzdálenosti.

References:

- [1] RYBAŘÍK, V.: *Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky*. Nadace Střední průmyslové školy kamenické a sochařské v Hořicích v Podkrkonoší, Hořice v Podkrkonoší, 1994, 218 str.
- [2] DUDKOVÁ, I.: Přírodní kameny po padesátileté expozici v městském ovzduší. *Časopis pro mineralogii a geologii* 35(1), 1990, 33-40.
- [3] OLLIER, C.: *Weathering*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 1969, 304 str.
- [4] WINKLER, E.M.: *Stone in Architecture. Properties, Durability*. 3. revidované vydání, Springer-Verlag, Berlin, 1997, 313 str.
- [5] SMITH, B.J.: Scale problems in the interpretation of urban stone decay. In: Smith B.J., Warke P.A. (eds.) *Processes of Urban Stone Decay*. Donhead Publishing Ltd., London, 1996, str. 3-18.
- [6] TURKINGTON, A.V.: Stone durability. In: Smith B.J., Warke P.A. (eds.) *Processes of Urban Stone Decay*. Donhead Publishing Ltd., London, 1996, str. 19 – 31.
- [7] WARKE, P.A.: Inheritance effects in building stone decay. In: Smith B.J., Warke P.A. (eds.) *Processes of Urban Stone Decay*. Donhead Publishing Ltd., London, 1996, str. 32 – 43.
- [8] WENK, H.R.: *Preferred orientation in deformed metals and rocks> an introduction to modern texture analysis*. Academic Press, London, 1985, 610 str.
- [9] KRANZ, R.L.: Microcracks in rocks: a review. *Tectonophysics* 100, 1983, str. 449 – 480.
- [10] DULLIEN, F.A.L.: *Porous media, fluid transport and pore structure*. 2nd ed., Academic Press, New York, 1992, 396 str.
- [11] STEINDLBERGER E.: Volcanic tuffs from Hesse (Germany) and their weathering behaviour. *Environmental Geology* 46, 2004, str. 378 – 390.
- [12] SCHÖN J.H.: *Physical properties of rock: fundamentals and principles of petrophysics*. Elsevier, Amsterdam, 2004, 600 str.
- [13] FITZNER, B.: Porosity analysis – a method for characterisation of building stones in different weathering states. In: Marions P.G., Koukis G.C. (eds.) *The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites*. A.A.Balkema, Rotterdam, 1990, str. 2031 – 2037.
- [14] FAGERLUND, G.: Pore structure and frost resistance. In: *Pore Structure and Properties of Materials, Proceedings of the International Symposium RILEM/UPAC*. Final Report – Part IV, Prague, 1973, str. F67 – F78.
- [15] GOUDIE, A. – VILES, H.: *Salt weathering hazards*. Wiley & Sons, Chichester, 1997, 241 str.
- [16] ZEHNDER, K.: Gypsum efflorescence in the zone of rising damp. Monitoring of slow decay processes caused by crystallizing salts on wall paintings. In: *Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Ernst und Sohn, Berlin, 1996, str. 1669 – 1678.
- [17] GOODMAN, R.E.: *Introduction to rock mechanics*. 2. vydání, John Wiley & Sons, New York, 1989, 562 str.
- [18] KWAAD, F.J.P.M.: Experiments on the granular disintegration of granite bz salt action. In: Kwaad, F.J.P.M., Levelt, Th.W.M., Slotboom, R.T. (eds.) *From Field to Laboratory*. Publicaties Fysisch-geografisch en bodemkundig laboratorium, Universiteit van Amsterdam, 1970, str. 67 – 80.

- [19]SCHAFFER, R.J.: *The weathering of natural building stones*. Reprint (2004) původního vydání, Donhead, London, 1932, 149 str.
- [20]THOMACHOT, C. – JEANNETTE, D.: Evolution of the petrophysical properties of two types of Alsatian sandstone subjected to simulated freeze-thaw conditions. In: Siegesmund S., Weiss T., Vollbrecht A. (eds.) *Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies*. Geological Society, London, Special Publications, 2005, str. 19-32.
- [21]MARUŠÍNOVÁ, S.: Freezing of Water in Porous Materials. In Modry S. (ed.): *Pore Structure and Properties of Materials, (Proceedings of the International Symposium RILEM/IUPAC. Final Report – Part IV, Prague, 1973, , str. F79-F87.*
- [22]THEOULAKIS, P. – MOROPOULOU, A.: Microstructural and mechanical parameters determining the susceptibility of porous building stones to salt decay. *Construction and Building Materials* (11)1, 1997, str. 65 – 71.
- [23] WILLIAMS, R.B.G. – ROBINSON, D.A.: Experimental frost weathering of sandstones by various combinations of salts. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 2001, str. 811 – 818.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Ověření relativní přesnosti určování objemů

Ing. Tomáš Křemen, Ph.D., prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc., Ing. Bronislav Koska

tomas.kremen@fsv.cvut.cz

Katedra speciální geodézie, Thákurova 7, 166 29, Praha 6 - Dejvice

Abstract

When building on brownfields is in process it also comes to necessary groundwork. A necessary task of surveyor in the construction process is to measure them accurately, especially if soil is contaminated. At present it is necessary to measure possible volumes of groundwork by several geodetical methods. This article deals with verification of accuracy of determination of sand heap volume measured by the laser scanning method, GNSS method and photogrammetric method.

Úvod

Zemní práce se významnou měrou podílejí na celkových nákladech na stavbu. Tento podíl je tím větší, čím větší část v rámci stavby zemní práce tvoří. Dobrymi reprezentanty staveb, ve kterých zemní práce hrají významnou roli, jsou například liniové stavby. Pro minimalizování nákladů na zemní práce je potřeba jejich objem snížit na co nejnížší hodnotu. Tedy navrhovat projekt stavby s ohledem na co nejmenší objem zemních prací s co nejvíce vyrovnanou bilancí násypů a výkopů.

Geodetické metody pro určování objemů

Jedním z hlavních úkolů geodeta na stavbě je příprava kvalitních mapových podkladů pro navržení zemních prací a kontrola jejich provedení. Jedná se o zaměření staveniště před samotným zahájením přípravy stavby a zaměření jednotlivých etap zemních prací v průběhu stavby, při kterých je určován nejen objem provedených zemních prací, ale také jejich přesnost a soulad s projektem.

Pro tyto práce mohou geodeti využít několik základních měřických metod. V první řadě se jedná o zaměření podrobných bodů prostorovou polární metodou měřenou totální stanicí, dále o zaměření podrobných bodů metodou GNSS (Globální Navigační Satelitní Systémy) a fotogrammetrickou metodu. Poslední a v současnosti nejvhodnější metodou je metoda laserového skenování. Každá z výše uvedených metod má své přednosti a nedostatky.

Hlavní výhoda měření totální stanicí spočívá v její univerzálnosti. Totální stanice dnes patří k absolutnímu přístrojovému základu každého geodeta na stavbě. Uplatňuje se při všech geodetických pracích, které se na stavbě mohou vyskytnout od budování a kontroly bodového pole stavby, přes polohové a výškové vytyčování, až po zaměření skutečného stavu. Mezi hlavní nevýhody použití totální stanice při měření objemů patří relativně nízká hustota zaměřených podrobných bodů ve sledované oblasti, nízká rychlost měření, nutnost měřené body signalizovat odrazným hranolem (ačkoli v současné době bezhranolových dálkoměrů tato nevýhoda z velké části odpadá) a potřeba přímé viditelnosti mezi totální stanicí a hranolem (případně bodem).

Výhodou metody GNSS je její univerzální použití, i když to je omezeno na území, ze kterého je viditelnost na co největší část oblohy z důvodu potřeby sledovat co největší počet satelitů. Další výhodou je absence nutnosti přímé viditelnosti mezi referenční stanicí a roverem (aparatura GNSS sloužící k měření podrobných bodů). Mezi nevýhody této metody patří nízká hustota podrobných bodů, nutnost postavení roveru na každý měřený podrobný bod a jak už bylo řečeno výše, nemožnost měření v uzavřených prostorách a podzemí.

Fotogrammetrická metoda nepatří mezi geodetické metody, které by se výrazněji uplatňovaly ve stavebnictví. Její výhody jsou v rychlosti pořízení potřebných dat a v komplexnosti zachycení sledovaného objektu. Mezi nevýhody patří delší doba zpracování pořízených dat do požadovaného výsledku, očištění zájmové oblasti od vegetace a minimální uplatnění v dalších měřických pracích na stavbě.

Výhodou metody laserového skenování je vysoká rychlost sběru prostorových dat a jejich hustota. Nevýhodou lze spatřovat v nutnosti očištění měřené oblasti od porostu, stejně jako u fotogrammetrické metody.

Ověření relativní přesnosti určování objemů

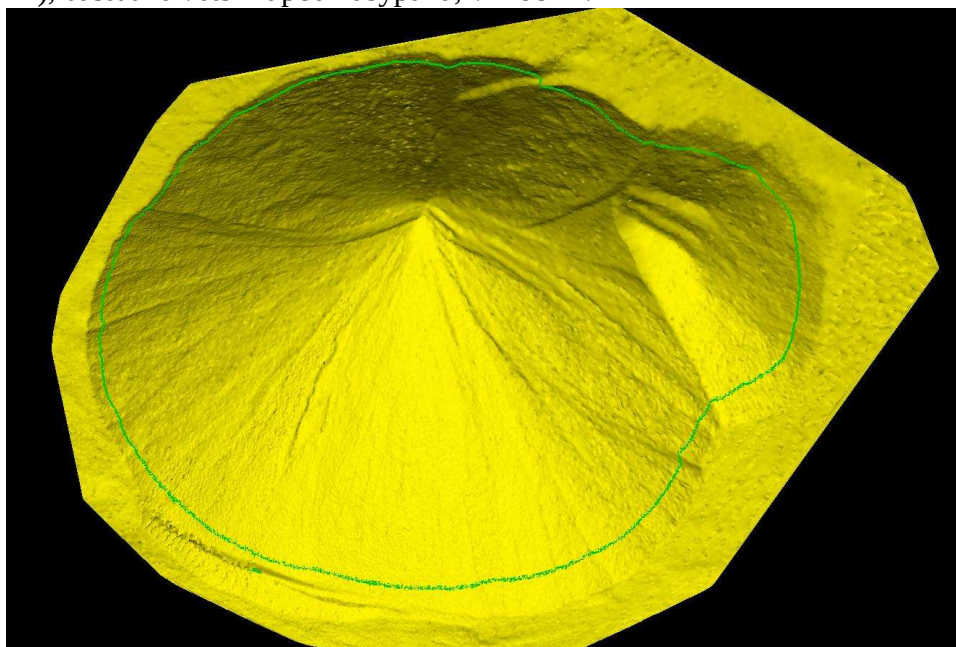
Jeden z dílčích úkolů řešení výzkumného záměru „Udržitelná výstavba“ na katedře Speciální geodézie bylo ověření určení objemu různými geodetickými metodami. Byla testována metoda laserového skenování měřené systémy Leica HDS 3000 a Riegl LMS-Z420i, metoda fotogrammetrická a metoda GNSS měřená aparaturou Trimble MS750 při použití referenční stanice Trimble 4700 a při použití sítě Czepos.

Měření proběhlo 7. dubna 2009 v areálu firmy DESTRO s.r.o. v Kladně za jasného počasí, s mírným větrem a teplotou 22 °C.

Postup měření

Měření proběhlo ve spolupráci katedry speciální geodézie, Fakulty stavební, ČVUT v Praze a firmy Control System International s.r.o. Katedra speciální geodézie zaměřila sledovanou oblast skenovacím systémem HDS 3000 a fotogrammetricky, firma Control System International zaměřila oblast skenovacím systémem LMS-Z420i a metodou GPS.

Pro měření byla zvolena nově nasypaná kupa písku tvaru pravidelného kuželu (průměr 19,6 m, výška 6,8 m), na jejímž jižním úpatí se nacházela menší kuželová kupa (průměr 10 m, výška 2,7 m), částečně větší kupou zasypaná, viz obr 1.



Obr. 1 Měřené kupy, TIN

Při měření skenovacím systémem HDS 3000 byly kupy zaměřeny ze čtyř stanovisek. Hustota skenování byla volena 20 mm na 100 m. Pro spojení jednotlivých měření do jednoho celku a umístění do systému S-JTSK byly na každém stanovisku skenovány vlíčovací body, které byly pravidelně rozmístěny v okolí měřených kup (měření značeno „HDS“).

Při fotogrammetrickém zaměření kupy bylo pořízeno 53 digitálních fotografií z 13 stanovisek, vzdálenost od hromady byla přibližně 13 m (odkrokováno). S ohledem na potřeby softwaru byla na každém ze stanovisek nasnímana alespoň jedna dvojice paralelních snímků s velikostí základny přibližně 3 m.

Při měření skenovacím systémem LMS-Z420i byly kupy zaměřeny celkem sedmkrát, pokaždé ze čtyř stanovisek. Jednotlivá měření se lišila způsobem spojování stanovisek do výsledného celku.

Byly využity čtyři metody spojení jednotlivých mračen bodů:

- 1) „Flat“ – využití plochých kruhových vlíčovacích znaků
- 2) „Cylinder“ – využití válcových vlíčovacích znaků
- 3) „Multi“ – využití speciálního modulu Multistation software RiSCAN společnosti Riegl, kde spojení jednotlivých mračen bodů je založeno na principu korelace mračen bez potřeby využití vlíčovacích bodů. Metoda využívá algoritmus Iterative Closest Point (ICP).
- 4) „Multi_move“ – při tomto měření bylo využito stejné metody jako v bodě 3 „Multi“, ale zároveň byly uměle buzeny kmity celé měřicí aparatury (měřicí systém se náhodně kýval na teleskopickém stožáru délky cca 3m tak, že jeho vertikální osa měnila sklon v hodnotách $\pm 3^\circ$). Tímto způsobem byla provedena kontrola správné funkce hardwarového systému vyrovnaní náklonu „inclination senzor“ skeneru Z420i v extrémních podmínkách.

Při prvním měření (značeno „Flat“) byly skenovány rovinné vlíčovací body, umístěné na stejných pozicích jako vlíčovací body pro skenovací systém HDS 3000 (jednalo se o speciální oboustranné rovinné terče). Při druhém a třetím měření (značeno „Cylinder_10“ a „Cylinder_20“) byly skenovány válcové terče Riegl, které byly umístěny na výtyčce pod rovinnými terči (výškový rozdíl mezi rovinnými terči a válcovým terčem byl 420 mm). Čtvrté, páté a šesté měření (značeno „Multi_10“, „Multi_20“ a „Multi_30“) bylo měřeno metodou „multistation“ (pro polohové a především výškové georeferencování jednotlivých mračen bodů byla využita aparatura GPS Trimble 4700 umístěná na skeneru s vlastní referenční stanicí). Poslední sedmé měření je popsáno výše v bodě 4). Při měření skenovacími systémy byly voleny pokaždé stejné pozice stanovisek.

Po ukončení měření skenovacími systémy byly kupy zaměřeny pomocí GPS Trimble 4700 s referenční stanicí a pomocí GPS Trimble R8 a síť Czepos (měření značeno „GPS_ref“ a „GPS_czepos“).

Postup vyhodnocení

Při vyhodnocování měření skenovacím systémem HDS 3000 byla nejprve všechna měřená mračna spojena do jednoho celku pomocí vlíčovacích bodů v lokální souřadnicové soustavě. Výsledné mračno bylo očištěno a transformováno do systému S-JTSK. Zpracování proběhlo v programu Cyclone 5.6.

Při fotogrammetrickém vyhodnocování bylo z nasnímaných snímků vybráno 13 dvojic pro zpracování v softwaru PhotoModeler Scanner. Snímky bylo nutné nejdříve propojit do jednoho modelu za použití metody průsekové fotogrammetrie, s níž PhotoModeler mimo modul Scanner pracuje. Pro spojení snímků do modelu bylo využito výrazných prvků na objektu (vrcholy kamenů atd.) a dále též odrazných terčů sloužících jako identické body pro metodu laserového skenování. Po připojení paralelních snímků byla provedena optimalizace modelu (vypuštění chybně připojených snímků či špatně označených spojovacích bodů). Výsledný model obsahuje 23 snímků a 48 spojovacích bodů. Pro vygenerování mračna bodů v modulu Scanner bylo dále zapotřebí provést idealizaci snímků a vybrat na snímcích oblasti, ve kterých je požadováno vytvoření mračna. Mračny vzniklá z jednotlivých párů byla spojena

do jednoho celkového. Celkové mračno obsahuje cca 36 700 bodů. Pro transformaci takto vzniklého mračna bodů do souřadnicového systému S-JTSK byla použita z knihovny Alltran podobnostní 3D transformace. Identickými body pro transformaci byly 3 odrazné terče sloužící k propojování mračen získaných skenováním, a které bylo též možné vyhodnotit v programu PhotoModeler Scanner.

Základní zpracování měřených dat ze skenovacího systému LMS-Z420i provedla firma Control System International. Jednalo se o pospojování jednotlivých stanovisek, základní očištění a transformaci do S-JTSK.

Základní zpracování měřených dat z obou měření GPS provedla firma Control System International. Výstupem byly seznamy souřadnic v S-JTSK.

Následné zpracování dat z LMS-Z420i a z GPS provedla katedra speciální geodézie.

Data z jednotlivých měření skenovacím systémem LMS-Z420i a měření GPS byla naimportována do programu Cyclone 5.6, konkrétně do projektu měření kup skenovacím systémem HDS 3000. Každé měření bylo umístěno do své vrstvy. Bylo provedeno dočištění mračen jednotlivých měření od přebytečných bodů. Byla vybrána zájmová oblast, ve které se nacházely pouze sledované kupy a jejich bezprostřední okolí. Mračny bodů jednotlivých měření byly proloženy TIN sítí (nepravidelné trojúhelníkové sítě). Byla zvolena referenční rovina o nadmořské výšce 365,75 m a k této rovině byly vypočteny objemy jednotlivých měření. V programu Cyclone byla zvolena funkce určení objemu „TIN Volume“. Bohužel měření systémem HDS 3000 bylo příliš husté, a proto, aby bylo možné výpočet provést, bylo jeho výsledné mračno zredukováno na 25% původního stavu (měření značeno „HDS 25%“). Dále byla v programu Cyclone použita funkce určení objemu „Mesh Volume“ pro volené intervaly hustoty výpočtu 0,1; 0,2; 0,3; 0,5 a 1,0 m.

Po výpočtu objemů v programu Cyclone byly podrobné body jednotlivých měření exportovány do programu ATLAS. V tomto programu byly z těchto bodů vygenerovány DMT (digitální modely terénu) a vypočten objem nad referenční rovinou 365,75 m.

Výsledky

Dosažené výsledky vyhodnocení pro jednotlivá měření jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Určené objemy kup

Měření	Objem [m ³] Nastavení výpočtu						
	Mesh Volume					TIN Volume	Atlas
	0,1	0,2	0,3	0,5	1		
HDS 25%	585,714	585,744	585,678	585,791	585,592	585,715	585,72
HDS	585,699	585,728	585,663	585,745	585,643	-	585,71
Cylinder_10	585,137	585,173	585,146	585,204	584,939	585,150	585,15
Cylinder_20	586,465	586,443	586,439	586,512	586,397	586,457	586,46
Flat	585,873	585,906	585,892	585,957	585,708	585,887	585,89
Multi_10	585,038	585,054	585,000	585,112	585,034	585,037	585,04
Multi_20	587,025	587,036	586,994	586,993	587,049	587,024	587,02
Multi_30	585,225	585,271	585,205	585,267	585,115	585,231	585,23
Multi move	587,091	586,907	587,031	587,202	586,160	587,073	587,08
GPS_ref	553,505	553,504	553,496	553,513	553,537	553,505	553,51
GPS_czepos	519,623	519,622	519,620	519,641	520,301	519,623	519,62
Fotogrammetrie	580,129	580,070	580,366	579,775	579,996	580,086	579,90

Tabulka 2: Absolutní rozdíly objemu [m³]

mezi měřením Leica HDS3000 a různými metodami měření přístrojem RiEGL Z420i

Δ Flat*	0.16	0.16	0.21	0.17	0.12	0.17	0.17
Δ Cylinder*	0.09	0.06	0.11	0.07	0.08	0.09	0.09
Δ Multi*	0.05	0.04	0.06	0.00	0.14	0.05	0.04
Δ Multi_move*	1.38	1.16	1.35	1.41	0.57	1.36	1.36
Δ GPS_ref*	32.21	32.24	32.18	32.28	32.05	32.21	32.21
Δ GPS_czepos*	66.09	66.12	66.06	66.15	65.29	66.09	66.10

*) Δ Flat = HDS 25% - Flat

Δ Multi_move = HDS 25% - Multi_move

Δ Cylinder = HDS 25% -
(Cylinder_10+Cylinder_20)/2

Δ GPS_ref = HDS 25% - GPS_ref

Δ Multi = HDS 25% -
(Multi_10+Multi_20+Multi_30)/3

Δ GPS_czepos = HDS 25% - GPS_czepos

Závěr

Na základě jedenácti nezávislých určení objemu sledovaného objektu byla ověřena přesnost určení objemu technologií laserového skenování při použití skenovacího systému Riegl LMS-Z420i. Jako srovnávací měření bylo zvoleno měření skenovacím systémem Leica HDS 3000 (vyšší přesnost než LMS-Z420i).

Při analýze výsledků určení objemu skenovacím systémem Riegl LMS-Z420i a objemu určeném systémem Leica HDS 3000 byla zjištěna vysoká shoda: průměrná hodnota absolutních rozdílů objemů je v daném případě rovna hodnotě $0,4 \text{ m}^3$ což odpovídá méně než 0,8 ‰ z celkového určovaného objemu. V případě, kdy byla celá měřicí aparatura ovlivněna uměle buzenými kmity, simulujícími např. náročné povětrnostní podmínky, určené hodnoty objemu se neliší o více jak $1,4 \text{ m}^3$, což odpovídá méně než 2,5 ‰ celkového objemu.

Objem pískové kupy určený fotogrammetrickou metodou se od objemu určeného systémem HDS 3000 liší o $5,6 \text{ m}^3$, což odpovídá 10 ‰ z celkového určovaného objemu.

Porovnání určených objemů technologií laserového skenování (oba přístroje) a technologií GPS ukazuje výrazný systematický vliv borcení pískové kupy a zanořování hrotu výtyčky při podrobném zaměřování kup technologií GPS z důvodu nutnosti pohybu v zájmové oblasti.

Z dosažených výsledků vyplývá, že pro určování objemů sypkých povrchů nepokrytých vegetací je nejvhodnější technologie laserového skenování. Dále vyplývá, že z důvodu tvaru měřeného objektu a úkolu, při kterém je určován pouze objem a ne skutečný tvar a jeho nepravidelnosti, je možné i při použití skenovacího systému s nižší deklarovanou přesností dosáhnout srovnatelných výsledků jako se systémem s vyšší deklarovanou přesností.

References:

- [1] KAŠPAR, M. – POSPÍŠIL, J. – ŠTRONER, M. – KŘEMEN, T. – TEJKAL, M.: *Laser Scanning in Civil Engineering and Land Surveying* Vega, 2004, pp. 104.
- [2] KŘEMEN, T. – POSPÍŠIL, J.: *Technická zpráva - Ověření přesnosti určení objemů* Katedra speciální geodézie, Fsv., ČVUT v Praze, 2009, pp. 5.
- [3] KOSKA, B.: *Knihovna funkcí Alltran - autorizovaný software* Katedra speciální geodézie, Fsv., ČVUT v Praze, 2008.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Sledování polohových změn bodu pomocí RTK měření

Prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc., Ing. Martin Raška

pospisil@fsv.cvut.cz; martin.raska@fsv.cvut.cz

Katedra speciální geodézie, Fakulta stavební, ČVUT v Praze; Thákurova 7, Praha 6 16629

Abstract

In January 2007, the Czech network of permanent reference stations (called CZEPOS) became fully operational (following two years of testing-mode). This fact offered possibilities of using the Global Positioning System for the wider area of commercial land surveyors. With support of Virtual Reference Stations and on-line data provided via cell phone (GSM) network, the real-time network method became commonly used one. Being interested in different techniques of land-displacement measurement, we have made a brief study of RTK precision to estimate possibilities of network RTK using CZEPOS for purposes of geotechnic monitoring of land slides in real time. In this paper we describe a testing methodology, which gave approximate estimation of point-position precision. Finally, we derive equations describing minimal detectable position change, depending on the satellites-rover geometric configuration (described by relative dilution of precision) and signal quality, which could be achieved by using real time network RTK using the CZESPOS network. Based on results we conclude that position changes could be detected with centimetre accuracy even with short-period observations.

Úvod

Již od 1. ledna 2007 je v provozu celonárodní síť permanentních referenčních stanic GPS/GNSS⁸, pojmenovaná CZEPOS. Tato skutečnost odstartovala masový vstup této technologie do běžné komerční sféry, protože díky připojení do sítě CZEPOS již není zapotřebí dvou aparatur GNSS, ale postačí jen jedna. Tím se pořizovací náklady dostaly skokově na polovinu a značně rychlé rozšíření této technologie je tedy logický důsledek. Vzhledem k možnosti získávat data z CZEPOSu v reálném čase je možné provádět i určování souřadnic v reálném čase, tzv. metodou RTK (z angl. real-time kinematic). Díky měření vlastní aparaturou GNSS a současnému získávání dat ze sítě CZEPOS pomocí bezdrátového přenosu potřebných dat (dnes prakticky výhradně protokolem GPRS) lze v reálném čase určit souřadnice bodu v libovolném souřadnicovém systému (v našem případě tedy primárně v S-JTSK⁹). Základní principy fungování satelitního navigačního systému přesahují rámec tohoto textu a jsou popsány v [1].

Nabízí se tím otázka, zda lze v reálném čase určovat i změny polohy bodu, bez potřeby komplikovaných a zdoluhavých měření a s jakou přesností lze takovou změnu prostorové polohy bodu určit, resp. od jaké mezní hodnoty jsme schopni i při velmi krátkých observacích (řádově několik vteřin) změnu polohy bodu spolehlivě zaznamenat. Několik prací se již zabývalo testováním přesnosti sítě CZEPOS (např. i Zeměměřickým úřadem prezentovaná diplomová práce [2]), ale experiment zpracovává pouze dvojice měření v rozsahu celého státu, při délce observací 20 s – 40 s. Cílem naší studie bylo vytvořit představu o rozptylu opakovaného měření na jednom bodě v konkrétní lokalitě a odvození velikosti minimální detekovatelné změny polohy bodu v závislosti na apriorních podmínkách měření

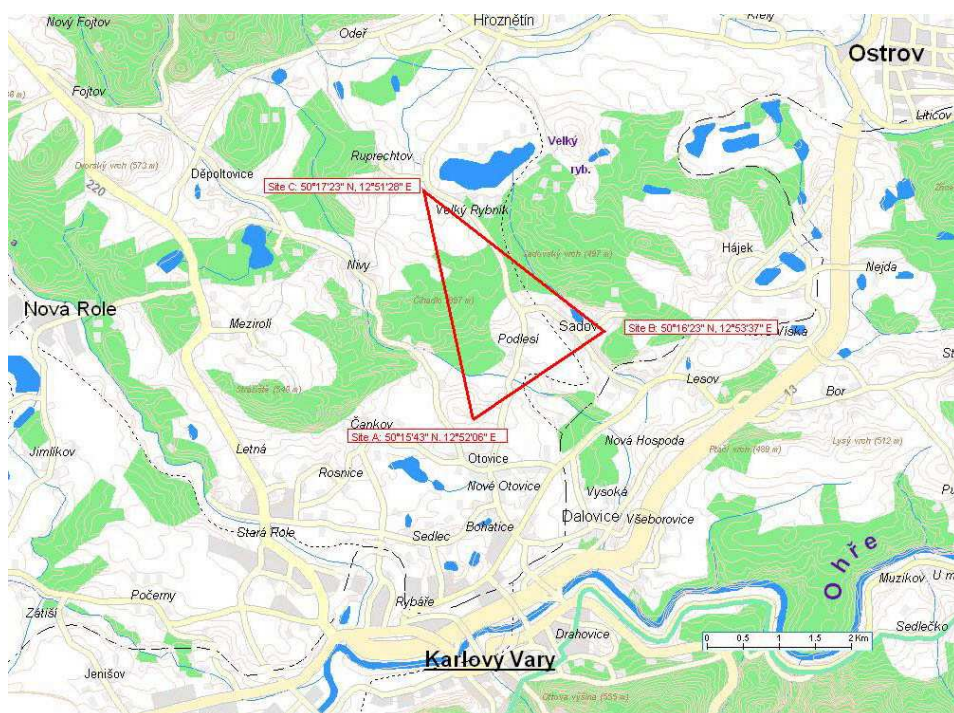
⁸ GPS – z angl. Global Positioning System, satelitní navigační systém, vzhledem k nástupu satelitních navigačních systémů jiných států (resp. Ruska a Evropy) se nyní užívá obecnější název Global Navigation Satellite System (zkr. GNSS).

⁹ S-JTSK – souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální, užívaný závazně v ČR podle nařízení vlády č. 430/2006 Sb. Jako obecně užívaný výškový systém je určen tzv. Baltský - po vyrovnání (zkratka Bpv).

(např. konfiguraci družic nebo kvalite signálu družice) a to i u velmi krátkých observací (od minimální délky 1 s).

Popis experimentu

Principem provedeného testovacího měření byly opakované observace na třech bodech v okolí Karlových Var (viz obr. 1), body byly vybrány záměrně tak, aby každý reprezentoval jinou morfologii terénu, která má vliv na příjem signálu z družic. Bod A byl na holém vrcholu kopce, s dobrým rozhledem a bez objektů způsobujících nežádoucí odrazy signálu, bod B by obklopen kopci pokrytými vegetací a rovněž v okolí bodu bylo mnoho vzrostlých stromů, zhoršujících podmínky observace, bod C byl na rovné louce, v blízkosti vodní plochy, která má vliv na tzv. multipath (vícecestném šíření signálu z družice k přijímači). Motivace této volby testovacích bodů je ze systematické chyby měření, která by mohla být způsobena specifickou morfologií terénu v okolí místa měření, učinit nahodilou chybu, snáze zaznamatelnou během statistického zpracování experimentu.

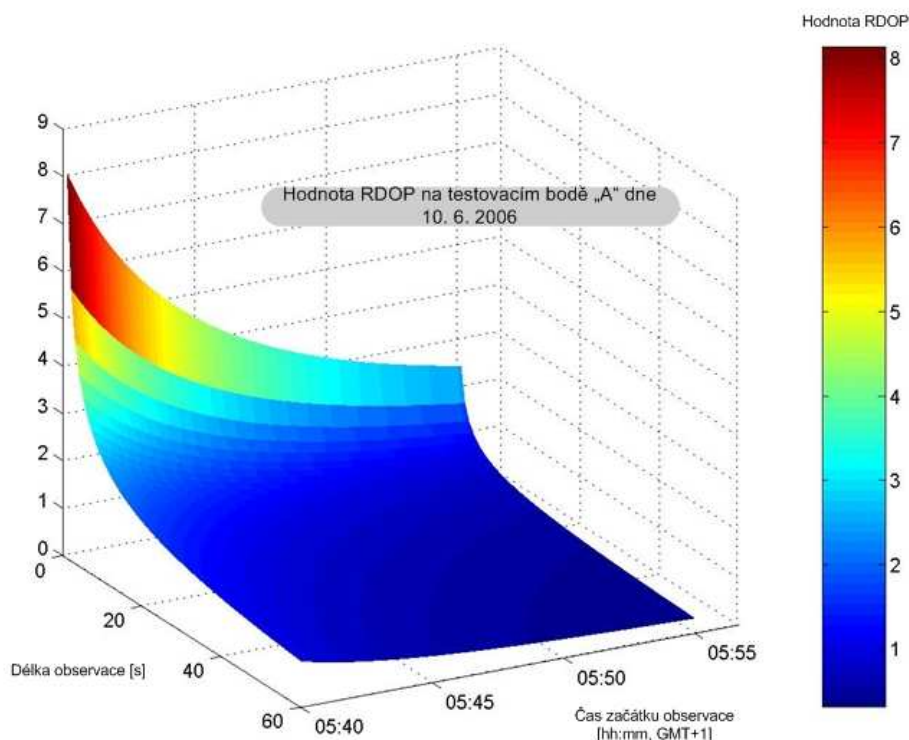


Obr. 1: Konfigurace testovacích bodů experimentu.

Na každém bodě bylo provedeno připojení postupně do všech tří nabízených služeb sítě CZEPOS („prosté RTK“, RTK – FKP a RTK – PRS), představujících základní měření přijímače a zvolené referenční stanice, měření přijímače a nejbližší referenční stanice s doplňujícími korekcemi měření, spočítaných z celé sítě CZEPOS a na závěr měření přijímače a tzv. virtuální referenční stanice (fyzicky neexistující referenční stanice, jejíž virtuální měření je generováno CZEPOSem na základně měřených údajů celé sítě). U každé služby byly provedeny observace v délkách 1s, 5s a 180s. Celkem bylo takto získáno 171 trojic souřadnic (Y a X v S-JTSK a výška v Bpv) spolu s charakteristikami přesnosti (veličinou RMS^{10} , související s kvalitou signálu a numerického řešení výpočtu polohy a veličinou RDOP, popisující kvalitu konfigurace družic a její změnu vůči vektoru přijímače a referenční stanice – viz [3]). Užití veličiny RDOP je jedním z rozdílů proti jiným provedeným

¹⁰ RMS – z angl. root mean square error; DOP – z angl. dilution of precision.

experimentům (kde je uvažována hodnota PDOP, počítaná pouze pro jeden okamžik a polohu družic vůči jednomu přijímači). Protože zohledňuje konfiguraci družic a její změnu v průběhu celého měření, je v ní již objektivněji zohledněna i doba observace. Modelový vývoj veličiny RDOP v závislosti na čase observace a její délce je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2: Vývoj charakteristiky RDOP na testovacím bodě A.

Statistické zpracování výsledků

Z rozboru chyb při měření pomocí GPS (uvedeném v [1]) jednoznačně plyne, že výsledná přesnost (ve smyslu směrodatné odchylky výsledných souřadnic) polohy body je závislá na přesnosti vlastního měření (resp. spolehlivosti výpočtu, jehož ukazatelem je např. charakteristika RMS, závislá pouze na kvalitě signálu) a konfiguraci družic a její změně (což nám charakterizuje veličina RDOP). Můžeme tedy výslednou směrodatnou odchylku prostorové polohy i -tého bodu vyjádřit jako

$$\sigma_i = \sigma_0 \sqrt{\frac{1}{p_i}} \quad (1)$$

kde σ_0 je základní jednotková střední chyba,
 p_i je váha i -tého měření.

Při sledování relativní přesnosti určení polohy bodu jsme zavedli předpoklad, že vzdálenost polohy bodu během jednoho měření od „správné“ polohy bodu (reprezentované střední hodnotou celého souboru měření na jednom bodě) bude růst s rostoucí chybou provedeného měření. Pokud bychom tedy počítali střední hodnotu polohy pro provedená měření na jednotlivých bodech (A, B a C), měla by být tato skutečnost zohledněna zavedením vah jednotlivých měření tak, aby váhy vhodně upravili jednotlivá měření na základě jejich hodnot RMS a RDOP. Během zpracování souboru měřených dat bylo pomocí testů statistických

hypotéz na souborech normovaných oprav prokázáno, že je nutno zpracovávat měřená data po jednotlivých souřadnicích, aby měl zpracováváný soubor dat normální rozdělení. Tato skutečnost je pouze potvrzením předpokladu o značné korelaci tří výsledných souřadnic (Y_{S-JTSK} , X_{S-JTSK} a H_{Bpv}) při určení polohy bodu pomocí GPS, což vyplývá již z principu výpočtu (viz [1]). Pokud již zpracováváme soubor měření po jednotlivých souřadnicích, můžeme jako vstupní charakteristiku konfigurace družic použít hodnoty HDOP a VDOP, což jsou složky hodnoty RDOP (transformované do roviny obzorníku) v rovině, resp. ve svislici. Tato skutečnost lépe zohlední různý vliv konfigurace družic na horizontální a vertikální složku polohy bodu. Váhy pro jednotlivé souřadnice budou potom:

$$p_{X,i} = p_{Y,i} = \frac{2}{RMS^2 HDOP_i^2} \quad (2a) \quad \text{a} \quad p_{H,i} = \frac{1}{RMS^2 VDOP_i^2} \quad (2b)$$

Při výpočtu výsledné polohy bodu nám potom hodnota jednotkové směrodatné odchylky bude sloužit jako chybová charakteristika sítě CZEPOS ve vztahu k určení relativních poloh dvou různých bodů (resp. jednoho bodu ve dvou různých časech).

Výsledné hodnoty σ_0 pro jednotlivé typy dat ze sítě CZEPOS byly určeny jako:

Způsob připojení do sítě CZEPOS	σ_0 pro souřadnici		
	Y_{S-JTSK}	X_{S-JTSK}	H_{Bpv}
RTK	1,99	4,43	3,80
RTK-FKP	2,20	3,93	2,56
RTK-PRS	3,19	5,72	2,74

Tab. 1: Výsledné hodnoty směrodatných odchylek σ_0

Příklad (1): Pokud bychom např. k výsledkům pro RTK-FKP přiřadili střední hodnotu RMS a HDOP, resp. VDOP z hodnot, kterých bylo během celého měření dosaženo, tj. RMS = 2,7 mm, HDOP = 1,26 a VDOP = 1,93, obdrželi bychom jako výslednou hodnotu směrodatných odchylek:

Střední souřadnicová směrodatná odchylka $\sigma_{YX} = 7,7 \text{ mm}$,
střední směrodatná odchylka výšky $\sigma_H = 13 \text{ mm}$.

Minimální měřitelná změna polohy bodu

Pokud jsme schopni spočítat směrodatnou odchylku libovolné souřadnice bodu, lze snadno přejít ke směrodatné odchylce rozdílu dvou takových souřadnic. Bude-li tento rozdíl reprezentovat změnu polohy sledovaného bodu v určitém časovém intervalu, lze určit minimální hodnotu posunu, jakou jsme schopni s takto přesným měřením spolehlivě (resp. s předem zvolenou nejistotou) určit. Pro zjednodušení výpočtu a lepší interpretaci výsledků rozdělíme posun na složku horizontální a vertikální. Po nahrazení směrodatných odchylek souřadnic Y a X střední souřadnicovou směrodatnou odchylkou lze směrodatnou odchylku horizontálního posunu vyjádřit jako:

$$\sigma_{\Delta, HZ} = \frac{\sigma_{0,YX} \sqrt{2}}{2} \sqrt{RMS_1^2 \cdot HDOP_1^2 + RMS_2^2 \cdot HDOP_2^2} \quad (3)$$

kde $\sigma_{0,YX} = \sqrt{0,5(\sigma_{0,Y}^2 + \sigma_{0,X}^2)}$.

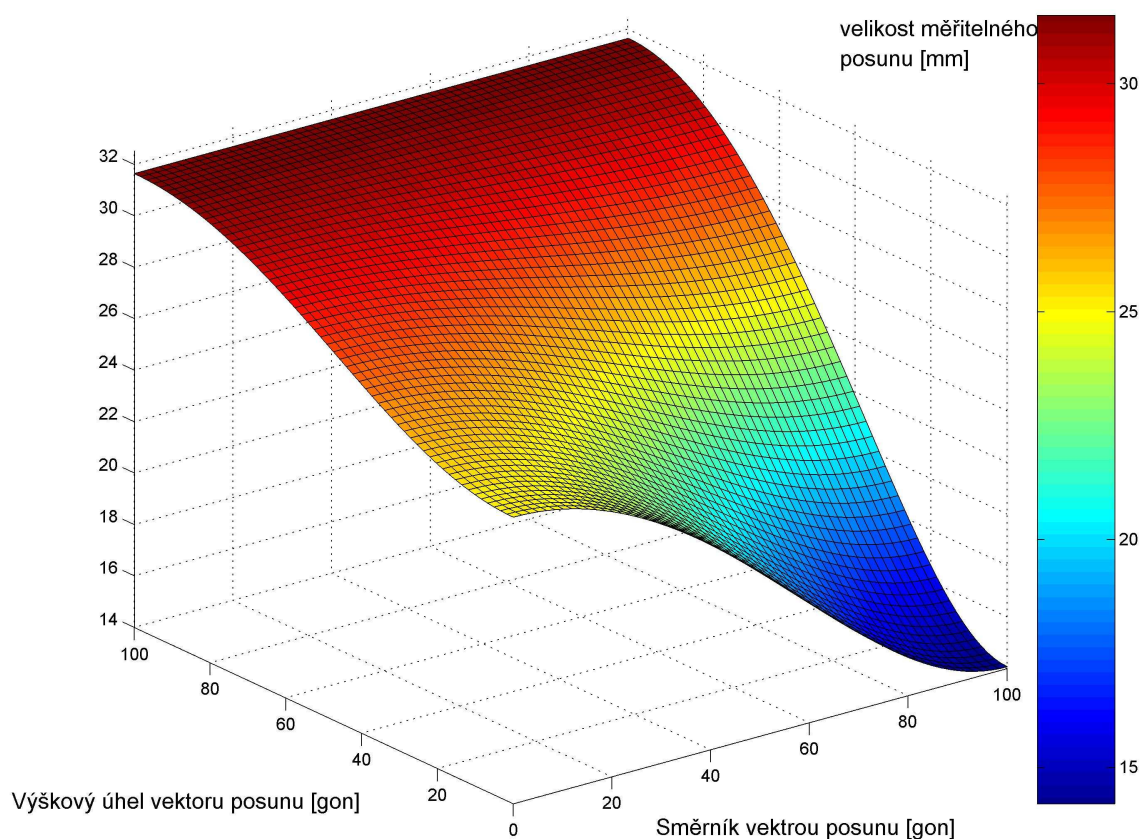
Směrodatnou odchylku vertikálního posunu bodu lze pak vyjádřit jako:

$$\sigma_{\Delta, V} = \sigma_{0,Z} \sqrt{RMS_1^2 \cdot VDOP_1^2 + RMS_2^2 \cdot VDOP_2^2} \quad (4)$$

Minimální spolehlivě určený (pro hladinu významnosti $\alpha = 5\%$) bude potom dvojnásobkem takto spočítané směrodatné odchylky podle vztahu (3) nebo (4).

Uvedené zjednodušení nám značně ulehčí výpočet, zejména pro odhad výsledků experimentu in-situ, nicméně je dobré upozornit na skutečnost, že velikost minimálního prokazatelného posunu bodu bude ve skutečnosti záviset na orientaci posunu vůči souřadnicovým osám, tj. na směru, jakým bude změna polohy bodu realizována. Pro názornost uvádíme numerický příklad:

Příklad (2): Pokud budeme uvažovat střední hodnoty veličin HDOP, VDOP a RMS, získaných během experimentu, tj. $HDOP_1 = HDOP_2 = 1,26$; $VDOP_1 = VDOP_2 = 1,93$; $RMS_1 = RMS_2 = 2,7$ mm; Potom lze v závislosti na směru posunu vyjádřit hodnotu nejmenšího prokazatelného pohybu bodu při použití služby RTK-FKP podle grafu na obr. 3.



Obr. 3: Minimální prokazatelný pohyb bodu pro vstupní veličiny uvedené v příkladu (2).

Závěr

Z grafu na obr. 3 i výsledků, uvedených v tab. 1 je vidět, že i měřením při velmi krátkých, tj. několikavteřinových, observacích lze pomocí jedné aparatury GPS a připojení do sítě CZEPOS spolehlivě detekovat změny polohy bodu již v řádech centimetrů, pokud splníme některé observační podmínky, zejména veličiny RMS a RDOP dosažené během měření. Zohledníme-li podobné pořizovací náklady aparatur GPS jako např. u totálních stanic, efektivitu a snadnost měření a možnost in-situ určit výsledky pozorování, je pro uvedenou požadovanou přesnost (resp. velikosti posunů bodů v řádech centimetrů a více) technologie GPS jednoznačně vhodnější, než tradiční měření totálními stanicemi.

Reference:

- [1] HOFMANN-WELLENHOF B., et. al.: *GPS : Theory and Practice*. 5. rev. vydání. Wien : Springer Verlag Wien New York, 2001. 382 s. ISBN 3-211-83534-2.
- [2] VILÍMKOVÁ, Miluše. *Testování sítě CZEPOS*. ČVUT v Praze - Fakulta stavební, 2006. 109 s.,. Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Jan Kostecký, DrSc.
- [3] YANG, X. – BROCK R.: *RDOP Surface for GPS relative positioning*. United States Patents, Patent. no. 6057800, 2000, s. 1-80.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Spline křivky při modelování změn polohy v prostoru

Prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc., Ing. Martin Raška

pospisil@fsv.cvut.cz; martin.raska@fsv.cvut.cz

Katedra speciální geodézie, Fakulta stavební, ČVUT v Praze; Thákurova 7, Praha 6 16629

Abstract

The most geodetic monitoring measurements produce coordinate differences of discrete points, which cover area of interest. The next step after such observation should be analysis of data set. The method offered in this paper is modelling of point kinematic by spline functions. The most methods of land slide analysis (as described in [1] or [2]) provide solely apriori modelling of land slide, while not taking into account ongoing geodetic monitoring. Using (cubic) splines, we are able to perform analysis of such monitoring, as it will be shortly discussed below. Advantages of splines compared to polynomials of high orders will be discussed as well. Finally, practical applications, using data from land slide monitoring near clay quarry of Nepomyšl are presented.

Úvod

Při studiu analýzy svahových sesuvů se dostáváme k elementární otázce – jak co nejlépe modelovat pohyb svahu na základě takových vstupních údajů, jakými jsou změny poloh diskretních bodů, zaznamenané během etapových geodetických měření? Mnoho užívaných modelů pro výpočty sesuvu se zabývají spíše apriorním výpočtem předpokládaného sesuvu, bez možnosti postupného doplňování modelu údaji z jednotlivých etap měření, tj. skutečného chování svahu (např. [2] nebo [1]). Prezentovaný výzkum se zabývá možnostmi tzv. spline křivek při modelování a analýze pohybu diskretních bodů, rozmístěných po svahu. Jako vzorová data jsou použita etapová měření svahového sesuvu nad kaolinovým lomem Nepomyšl, (okres Louny), provedená v období březen 2003 – červen 2004.

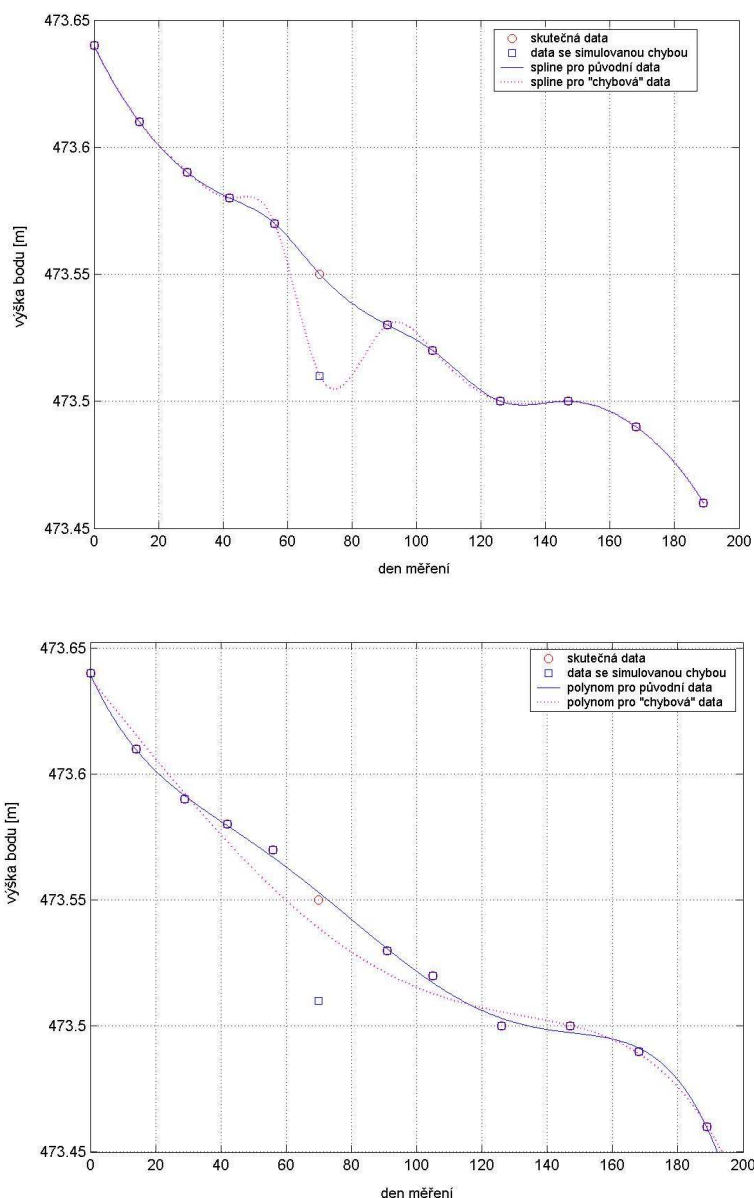
Teoretický základ

Spline funkce jsou speciální typy funkcí, tvořené polynomy nízkého stupně, které mají v dotykových bodech (tzv. uzlech splinu) spojitě derivace n -tého stupně. V naší studii pracujeme s jedněmi z nejužívanějších – tzv. kubických splinů. Podle [5], [3] se jedná o reálné funkce, dvakrát diferencovatelné, které na každém intervalu mezi dvěma sousedními uzly tvoří polyom (nejvýše) třetího stupně. uvedené skutečnosti nám při prokládání diskretními body spline křivkou přináší mnohé výhody oproti používání jednoduchých polynomických funkcí vyšších stupňů:

- obvykle jsou (nebo mohou být) funkcí jednoho parametru, jejich parametrizace časovým údajem (časem měření) se tedy přímo nabízí,
- jedná se v zásadě o polynomy, lze s nimi tedy velmi snadno pracovat,
- velmi snadno se graficky interpretují,
- na rozdíl od polynomů vyšších stupňů jsou daleko méně náchylné na dezinterpretaci výsledků v případě chybného měření, jak bude ukázáno na příkladu.

Aplikace spline křivek při sledování pohybu bodu

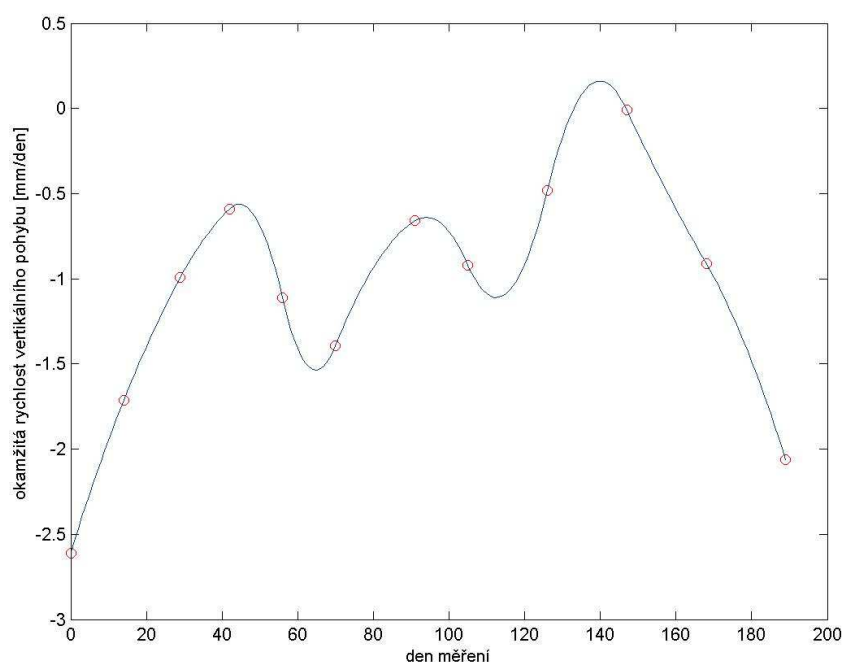
Pokud použijeme část experimentálních dat ze sesuvu u lomu Nepomyšl (podrobněji popsán např. v [4]), lze porovnat chování spline křivky a polynomu vyššího stupně. V grafech na obr. 1 jsou znázorněny výšky jednoho z monitorovacích bodů svahu v průběhu několika etap měření. Nahoře jsou data proložena kubickou spline-křivkou, dole potom polynomem pátého stupně. Kolečky a plnou čarou jsou ukázána původní měřená data a proložené křivky. Čtverečky a tečkovaná čára ukazuje nový soubor dat, kde je simulována „chyba měření“ posunutím výšky bodu v šesté etapě měření o 4 cm níže. Je vidět, že spline křivka na chybu reaguje jen v blízkém okolí bodu postiženého chybou, kdežto polynom mění svůj průběh v celé délce a chybou jednoho měření je pak znehodnocen model celého souboru dat.



Obr.1: Srovnání chování spline křivky (nahore) a polynomu 5. stupně (dole).

Další výhodou spline křivek je snazší možnost fyzikální interpretace koeficientů křivky. U polynomu pátého nebo vyššího stupně budeme asi špatně obhajovat fyzikální význam členů

polynomu vysokých stupňů, kdežto spline křivka, tvořená polynomy maximálně třetí stupně nám stále zachovává možnosti analyzovat pohyb bodu snadnou aplikací zákonů mechaniky. Jednoduchým derivováním získáme opět spline křivku, tentokrát stupně nejvýše 2, která nám vyjadřuje velikost okamžité rychlosti bodu, což je pro předchozí případ znázorněno na obr. 2. Konzultace s geology potvrdila korelaci periodických změn velikosti rychlosti s množstvím vody v zemině (bentonitové nadloží kaolinu), velké rychlosti na počátku a na konci měření odpovídají jarnímu tání sněhu na svahu, resp. podzimním deštům.

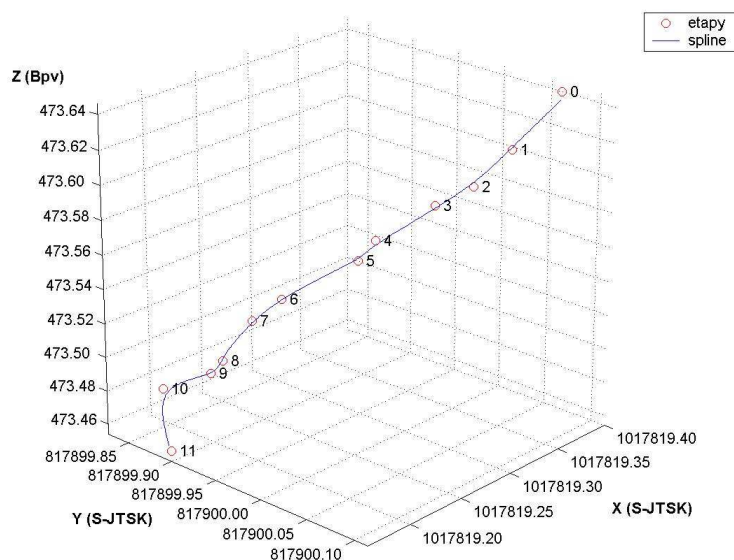


Obr.2: Vertikální složka okamžité rychlosti bodu v průběhu pozorování bodu.

Je nutno dodat, že samozřejmě podobně, jako je v příkladech ukázáno na vertikálním pohybu bodu a jeho rychlosti, lze podobně pracovat i s horizontálními složkami pohybu bodu. Zavedením vektorové spline funkce

$$\vec{r}^m = (S_x(t), S_y(t), S_z(t)) \quad (1),$$

kde $S_x(t), S_y(t), S_z(t)$ jsou kubické spline funkce pro jednotlivé souřadnice průvodiče bodu, získáme průvodič sledovaného bodu jako funkci jednoho parametru – časového údaje. Podobně, jako jsme pracovali s vertikální složkou, budeme pracovat i s horizontálními Y a X, které nám pomohou i graficky znázornit trajektorii bodu v průběhu jeho sledování (obr. 3).



Obr.3: Grafické znázornění trajektorie bodu v prostoru.

Závěr

Je vidět, že spline křivky jsou velmi potenciálním nástrojem pro práci s analýzou pohybu bodu. Způsob jejich tvorby a z něho vyplývající vlastnosti spline křivek značně usnadňují výpočetní úkony, vykazují velkou stabilitu výpočtu a malou citlivost na odlehlé hodnoty ve zpracovávaném měření. Jako takové mají ale i své nevýhody. Jednou z nich a to v celku zásadní pro práci s nimi je absence možnosti extrapolace, protože mimo krajní uzlové body není spline zkrátka definován. Vývoj metod pro extrapolaci hodnot ze spline funkcí je v současné době aktuálním cílem výzkumu. Dílčí výsledky ukazují jako jednu z možností zapojení metod analytické a diferenciální geometrie. Analýzou geometrických vlastností (jako např. křivosti a změn křivosti) splinů se pokoušíme generovat nový uzel splinu (který můžeme nazvat virtuální měření) tak, abychom nezměnili geometrické vlastnosti původního splinu. Úspěšné vyřešení tohoto problému povede k možnost spolehlivé extrapolace bodů ze spline funkcí, jejichž fyzikální interpretací je např. čas zahájení pohybu bodu (který obvykle neznáme) a předpověď ukončení pohybu nebo dalšího chování bodu.

Reference:

- [1] KOUDELKA P. – PROCHÁZKA P.: *Apriori Integration Metod: Analysis, Similarity and Optimization of Slopes..* Academia, 2001. 166 s., ISBN 80-200-0844-6.
- [2] LAMBOJ L. – ŠTĚPÁNEK Z.: *Mechanika zemin a zakládání staveb* : ČVUT v Praze, 2005, 214 stran., s. 113-122, ISBN 80-01-03094-6.
- [3] NAVARA M. – NĚMEČEK A.: *Numerické metody*. ČVUT v Praze, 2005, 142 strany, s. 27-32, ISBN 80-01-02689-2.
- [4] POSPÍŠIL J. – RAŠKA M.: *Sledování svahových sesuvů pomocí geodetických měření*; Stavební obzor, roč. 15, č. 9, s. 275-280; ISSN 1210-4027
- [5] STOER J. – BULIRSCH R.: *Introduction to Numerical Analysis*. Springer, 2002, 744 strany, s. 97-134, ISBN 978-0-387-95452-3.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Odhad vlivu chyby daných bodů při výpočtu geodetických sítí

Ing. Jan Ratiborský, CSc.

ratiborský@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze, Stavební fakulta, katedra geodézie a pozemkových úprav,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

Deriving the relation for estimating the effect of errors in fixed points with solution of geodetic controls.

1. Úvod

V důsledku zvyšující se přesnosti geodetických přístrojů dochází při výpočtu geodetických sítí k rozporům mezi geometrickými parametry měřenými a vyrovnanými, zejména u délek. Tyto rozdíly jsou v různých místech různé a projevují se jen u řešení vázaných sítí, kdy jsou v síti určovány jen některé, tj. nové body. U volných sítí (všechny body jsou určované) tento problém odpadá.

Rozdíly jsou způsobeny u vázané sítě tím, že nelze dát daným bodům opravu souřadnic. Střed stabilizační značky v důsledku změny polohy bodu neodpovídá souřadnicím, které byly určeny v určité době před měřením. Druhá možnost rozdílu může být způsobena chybou v centraci. Tato chyba je eliminována jednak pečlivostí geodeta anebo nucenou centrací teodolitu a signálu na pilíři. Tento způsob nucené centrace je nezbytný při dlouhodobém sledování deformací. Rozdíl může být způsoben případně i jinou příčinou.

U vázané sítě je počet podmínek na opravu konfigurace větší než je nutný počet a u volné sítě je počet podmínek rovný nutnému počtu. U rovinné sítě je počet podmínek na jednoznačné umístění sítě $p = 3$ (2x posun a rotace), je-li měřena alespoň jedna délka. V případě, že není měřena ani jedna délka je pak $p = 4$ (2x posun a rotace a změna měřítka). Řešení volných sítí umožňuje řešit danou síť při volbě nutných podmínek na opravu přibližné konfigurace bez deformace měřených geometrických parametrů (délek, směrů a úhlů) a maximálně přizpůsobit tuto síť České trigonometrické síti.

2. Chybový model geodetické úlohy a kovarianční matice vyrovnaných souřadnic

K určení kovarianční matice vyrovnaných souřadnic je nutné znát kovarianční matici měřených geometrických parametrů a chybový model, který umožňuje transformaci r – rozměrného náhodného vektoru skutečných chyb měřených geometrických parametrů $\boldsymbol{\varepsilon}^*$ do n - rozměrného vektoru skutečných chyb vyrovnaných souřadnic $\boldsymbol{\varepsilon}_x$. Chybový model má tvar

$$\boldsymbol{\varepsilon}_x = \mathbf{K} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}^*.$$
$$[n,1] \quad [n,r] \quad [r,1]$$

Označíme-li kovarianční matici měřených geometrických parametrů $\mathbf{M}^*$ a při zavedení vah ve tvaru $\mathbf{M}^* = \sigma^2 \mathbf{P}^{*-1}$, kde σ kde je apriorní směrodatná odchylka a $\mathbf{P}^{*-1}$ je diagonální matice reciprokových vah měřených geometrických parametrů. Kovarianční matice vyrovnaných souřadnic při použití aposteriorní směrodatné odchylky s má tvar

$$\mathbf{M}_x = s^2 \mathbf{K} \mathbf{P}^{*-1} \mathbf{K}^T = s^2 \mathbf{Q}_K. \quad (1)$$

V případě, že je řešena vázaná síť a u některých bodů neodpovídají středy stabilizačních značek souřadnicím, což může nastat při změně polohy bodů, pak se tato skutečnost projeví značným nárůstem oprav některých měřených parametrů. Tato skutečnost se projeví nárůstem oprav a aposteriorní směrodatné odchylky s . Nalezený chybový model, který transformuje do skutečných chyb vyrovnaných souřadnic nejen skutečné chyby měřených geometrických parametrů, ale i skutečné chyby daných bodů.

Označíme-li počet souřadnic n , počet určovaných souřadnic n_1 a počet určovaných souřadnic daných bodů n_2 tak, že platí $n = n_1 + n_2$. Označíme-li $\mathbf{\epsilon}_\Delta$ jako n_2 rozměrný náhodný vektor skutečných chyb daných bodů, pak platí

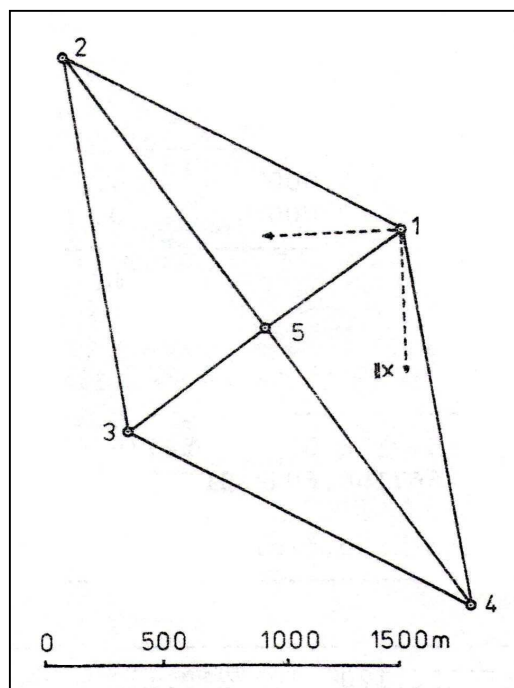
$$\mathbf{\epsilon}_x = \mathbf{K} \mathbf{\epsilon}^* - \mathbf{K}_\Delta \mathbf{\epsilon}_\Delta,$$

$$[n_1, 1] [n_1, r] [r, 1] [n_1, n_2] [n_2, 1]$$

kde matice $\mathbf{K}$ a $\mathbf{K}_\Delta$ transformují skutečné chyby geometrických parametrů resp. skutečné chyby v souřadnicích bodů do skutečných chyb vyrovnaných souřadnic.

Označme matici $\mathbf{M}_\Delta$ jako kovarianční matici daných bodů, kterou budeme znát zpravidla ve tvaru $s_{xy}^2 \mathbf{E}$ ($\mathbf{E}$ je jednotková matice), pak matice vyrovnaných souřadnic je dána

$$\mathbf{M}_x = \sigma^2 \mathbf{K} \mathbf{P}^{*-1} \mathbf{K}^T + s_{xy}^2 \mathbf{K}_\Delta \mathbf{K}_\Delta^T = \sigma^2 \mathbf{Q}_K + s_{xy}^2 \mathbf{Q}_\Delta. \quad (2)$$



Na rozdíl od rovnice (1) v níž také u určovaných bodů určujeme n_1 neznámých souřadnic, $n_1 = n$, v rovnici (2) se musí vzhledem na druhý člen rovnice objevit místo směrodatné odchylky po vyrovnání (aposteriorní) s apriorní směrodatnou odchylku měřených geometrických parametrů σ .

Porovnáním rovnic (1) a (2) tak můžeme určit směrodatnou odchylku s , neboť matice $\mathbf{Q}_\Delta$ je regulární

$$s_{xy}^2 \mathbf{Q}_K = \sigma^2 \mathbf{Q}_K + s_{xy}^2 \mathbf{Q}_\Delta$$

$$s_{xy}^2 = (s^2 - \sigma^2) \mathbf{Q}_K \mathbf{Q}_\Delta^{-1}. \quad (3)$$

Obr. 1

Z rovnice (3) můžeme obdržet n_1 hodnot odhadu směrodatných odchylek souřadnicové chyby s_{xy} daných bodů, přičemž praktický význam mají hodnoty extrémní, tedy minimální a maximální. Průměrná hodnota odhadu směrodatné odchylky s_{xy} je možné určit ze vztahu

$$s_{xy} = \sqrt{(s^2 - \sigma^2) \frac{1}{n} \text{Tr}(\mathbf{Q}_K \mathbf{Q}_\Delta^{-1})} \quad (4)$$

3. Praktický příklad

Pro praktické ověření výpočtu odhadu směrodatné odchylky s_{xy} daných bodů podle vzorce (3) byla vypočtena jednoduchá síť na obr. 1. Simulované hodnoty změn (chyb) v jednotlivých souřadnicích v milimetrech bodů 1 až 4 jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1: Simulované hodnoty změn polohy bodů sítě z obr. 1

BOD	ZVOLENÁ CHYBA V SOUŘADNICI Y	ZVOLENÁ CHYBA V SOUŘADNICI X
1	20,0	-20,0
2	-20,0	-20,0
3	20,0	20,0
4	-20,0	20,0

V tabulce 2 jsou uvedeny směrodatné odchylky měřených i vyrovnaných geometrických parametrů a odhady maximální, minimální a průměrné souřadnicové směrodatné odchylky s_{xy} .

Tab. 2: Výsledky vyrovnaní a odhad souřadnicové směrodatné odchylky s_{xy} daných bodů 1 - 4

σ	0,26 mgon	s	1,57 mgon
s_{ψ} měřených směrů	0,26 mgon	s_{ψ} vyrovnaných směrů	0,74 mgon
s_s měřených délek	2,00 mm	s_s vyrovnaných délek	8,48 mm
s_{xy} maximální	15,3 mm	s_{xy} minimální	14,8 mm
s_{xy} průměrná 15,0 mm			

4. Závěr

Uvedené kritérium odhadu směrodatné odchylky v souřadnicích daných pevných bodů při řešení vázané, tj. vložené, sítě je nutné chápat jako pomocné kritérium. Kritérium selhává, budou-li změny polohy bodů ve směru gradientů spojnic, nebo dojde-li k rovnoběžnému posunu nebo pootočení všech bodů. Odhad bude též nepřesný v případě přibližně rovnoběžného posunu některých bodů, což je v praxi možné.

Dále je nutné si uvědomit, že nárůst směrodatné odchylky po vyrovnaní se projeví ve výpočtu, jestliže měřené parametry byly zatíženy systematickými chybami. Proto je nutné u vázaných sítí při nárůstu s zjistit, zda tento nárůst je způsoben změnou souřadnic (polohy) nebo působením systematických chyb. Tuto skutečnost lze odhalit opakovaným výpočtem téže sítě, avšak jako volné, kdy budeme uvažovat, že všechny body jsou určované. V případě poklesu s u volné sítě oproti vázané je možné se domnívat, že v síti došlo k pohybu bodů.

References:

- CIMBÁLNÍK, M.: *Lokální síť Praha*. Geodetický a kartografický obzor, 22 (64), 1976, č. 6, pp. 154-159.
- JOKL, L.: *Projektory, pseudoinverzní operátory a hodnocení geodetických sítí*. [Příloha k výzkumnému úkolu č. R-4-01-02 VÚGK Bratislava.] Praha, ČVUT Praha, Stavební fakulta, 1982. 40 p.
- RATIBORSKÝ, J.: *Odhad vlivu systematických chyb daných veličin na vyrovnaní sítí*. [Kandidátská disertační práce]. Praha 1987, 179 p.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Obraz bezpečnosti provozu na silniční síti

Doc. Ing. Petr Slabý, CSc.

slaby@fsv.cvut.cz

Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

The paper deals with possibilities of traffic parameters processing and its safety, based on profile measurement. It also deals with graphic interpretation in the form of maps of accidents.

Příspěvek se zabývá možnostmi zpracování parametrů dopravního provozu a jeho bezpečnosti na základě profilových měření a dále jeho grafického zpracování formou nehodovostních map.

Obraz bezpečnosti provozu na silniční síti

V zásadě jsou možné dva přístupy:

- a) makroskopický na základě převzatých databází MV a MD,
- b) mikroskopický na základě vlastních přímých pozorování.

Naší snahou je racionalizovat využití získaných informací obou způsobů.

Ad a) zde se jedná o vytvoření **nových nehodovostních-rizikových map**, s libovolným vymezením na kraj, okres, sídlo s ilustrací nehodových lokalit s odkliknutím až do detailního popisu nehod. Naše iniciativa je vedena snahou využít statistických, relativních ukazatelů nehodovosti ke zprůhlednění např. pořadí naléhavosti řešení nehodových lokalit, zjištění návratnosti investic apod.

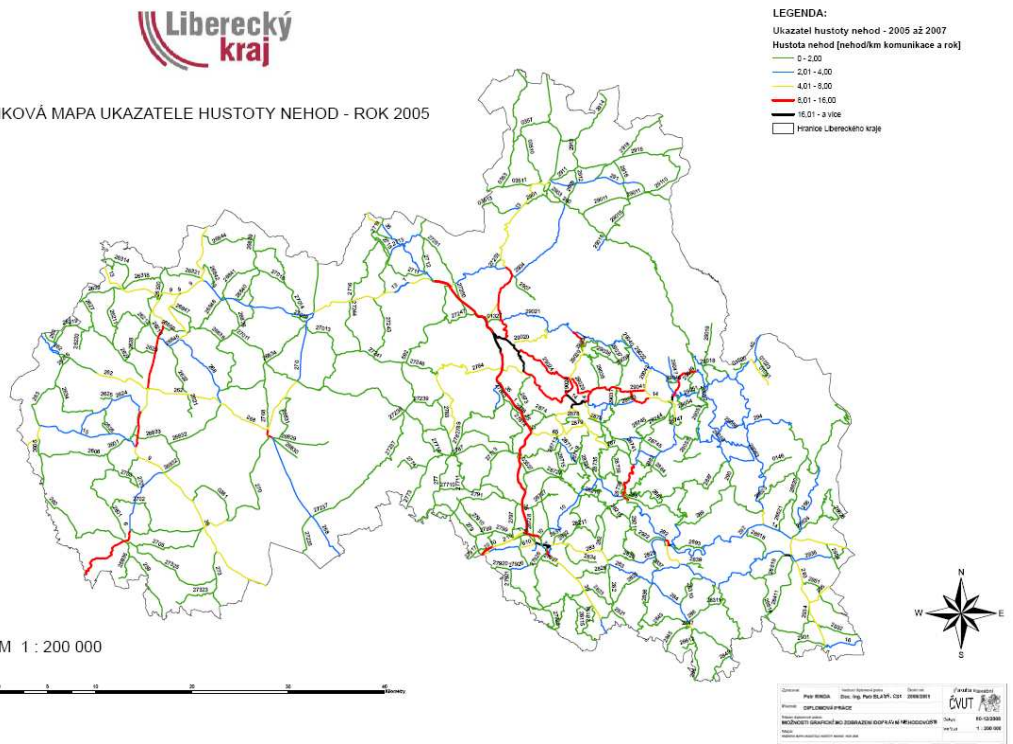
V současné době je v praxi používána především statistika nehod od Policejního prezidia MVČR, začíná se s praxí JDVM (jednotná dopravně-vektorová mapa) ev. mapou Eurorapu.

Naše novinka: nové **Nehodovostní mapy**: tj. grafické zobrazení ukazatelů nehodovosti po ucelených úsecích komunikační sítě (extravilán, průtahy...), ukazatelé absolutní i relativní, zaměřené především na souvislost se silniční sítí a jejími prvky. Ukazatele jsou dovedeny až do obrazu integrálního ukazatele v KČ, který umožňuje vyjádřit i návratnost investic.

Ve srovnání s JDVM, zahájenou na webu 2.12.08, se jedná o zcela odlišný charakter : JDVM je aktuální informace , v omezeném rozsahu, o lokalizaci a druzích nehod od 1.1.2007. Výrazným omezujícím faktorem je omezený počet do 100 DN. Pro výzkumné analýzy a plánovací účely je použitelnost velmi omezená.

V této oblasti jsme navázali spolupráci s řadou Krajských úřadů, především s KÚ Liberec, který měl svůj systém již v nejrozvinutější formě v rámci ČR, dále s JČ, KV, Vysočina, městem MB ... v jednání je SČK a HK. S některými partnery byly uzavřeny rámcové smlouvy o spolupráci (KÚ Liberec, město Mladá Boleslav). Forma zpracování: BP (bakalářské práce) a DP (diplomové ev. doktorandské práce).

Pro představu výstupů uvádíme dále pouze některé vybrané ukázky grafických příloh:

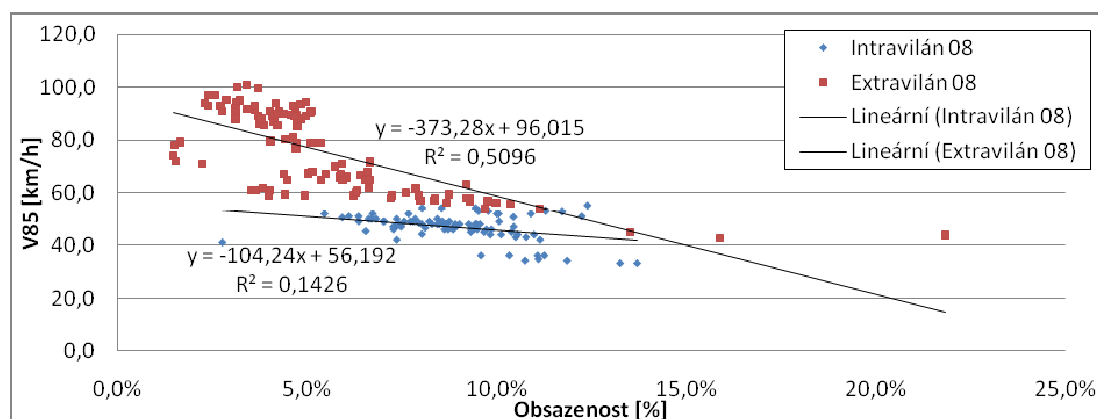
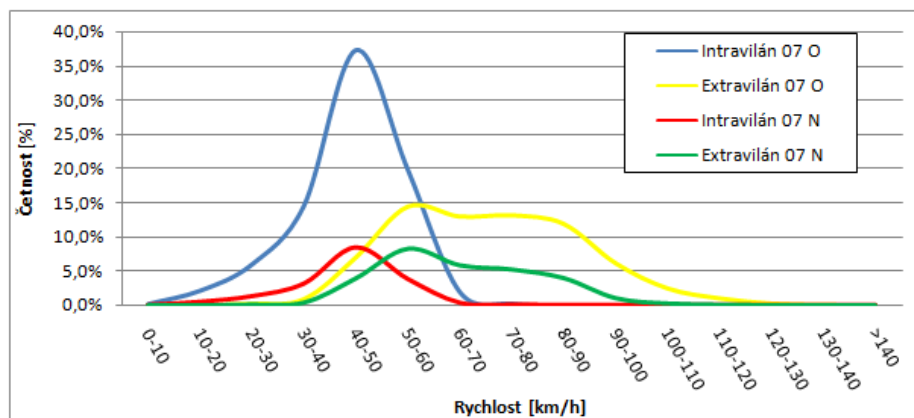


Pro úplnost si uvedeme výčet dosažitelných ukazatelů za stav silničního provozu.

Základním objektivním obrazem je sestava I-H-V (intenzita-hustota (obsazenost)-rychlost), jako profilový model dopravního proudu.

podíl vozidel překračujících povolenou (definovanou) rychlost,
bezpečná vzdálenost mezi vozidly (časová, délková, riziková),
podíl kolon v dopravním proudu.

203



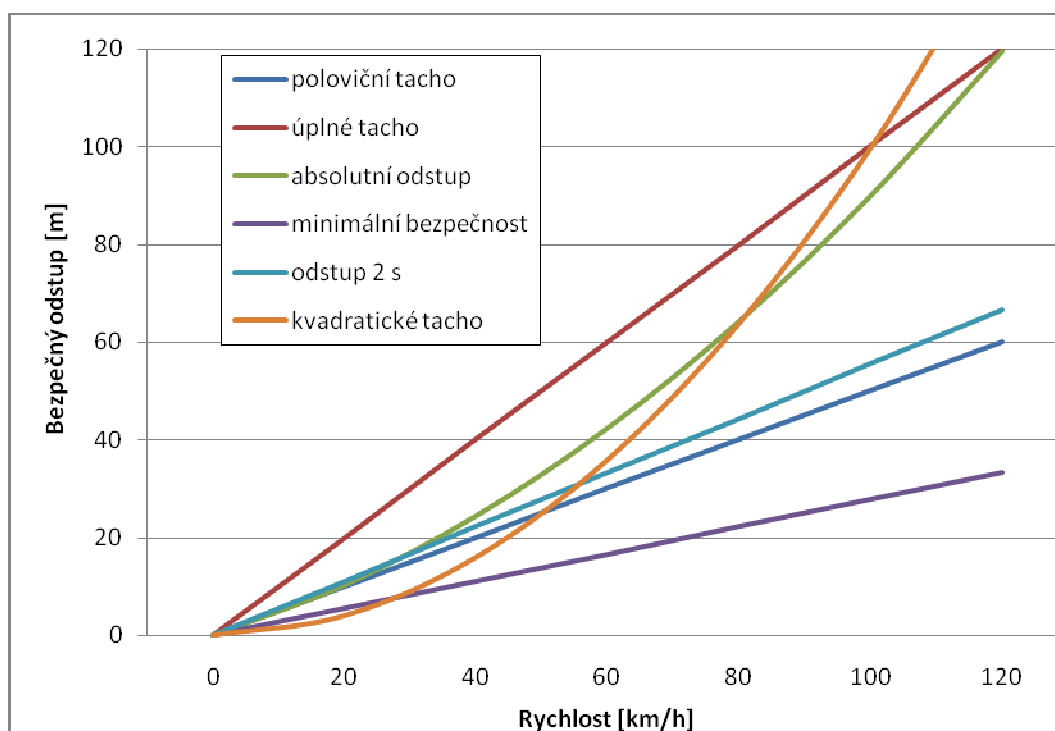
Základní, profilové charakteristiky rychlost V85-obsazenost ukazují např. nejenom výrazný rozdíl mezi extravilánem a intravilánem v oblasti nižší obsazenosti, ale i ev. hranici, kdy se již charakter provozů neodlišuje.

Ustálenost, setrvalost provozu vyjadřuje variační koeficient ev. rozptyl hodnot V 85,15.

Problematika bezpečné vzdálenosti

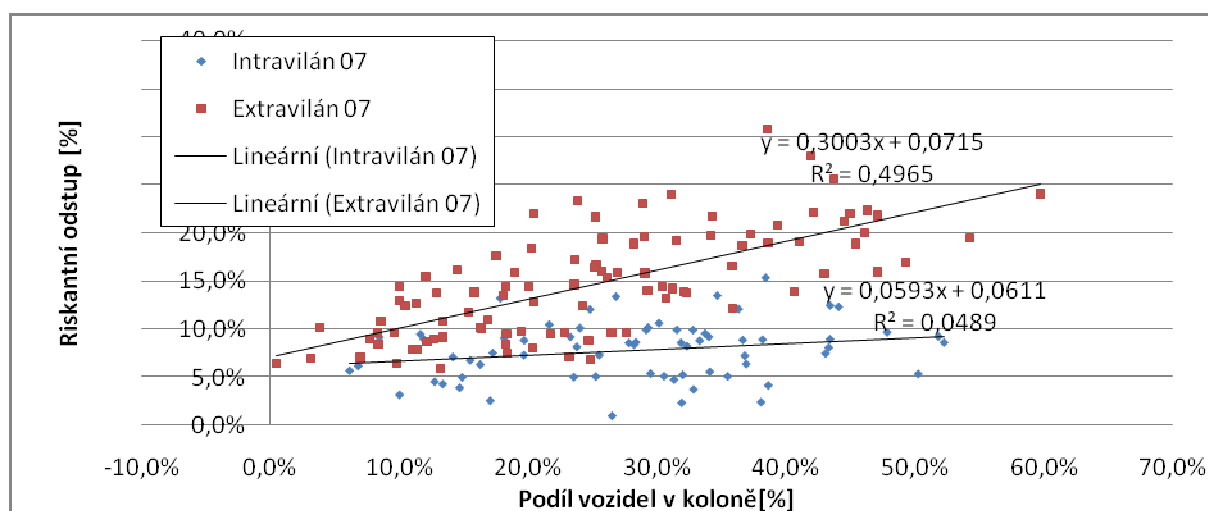
Stěžejní úlohu v reklamní kampani MDČR hraje **bezpečný odstup**, trochu nešťastně definovaný časovým odstupem 2 sekundy. Velmi důležitým uplatněním poznatků z těchto měření je kalibrace mikrosimulačních modelů dopravního proudu. Ukazuje se, že dodržování bezpečné-teoretické vzdálenosti je ve skutečném provozu „luxus“. Obraz našeho provozu je reálnější při dosažení menších odstupů, než jsou tzv. bezpečné. Těmito reálnými hodnotami kalibrovaný simulační model je teoreticky nesprávný, ale prakticky reálný (v kratších časových intervalech, kolonách apod.).

Teoretická kritéria pro určení bezpečné vzdálenosti v závislosti na rychlosti jsou velmi rozmanitá, jak ukazuje následující obrázek.



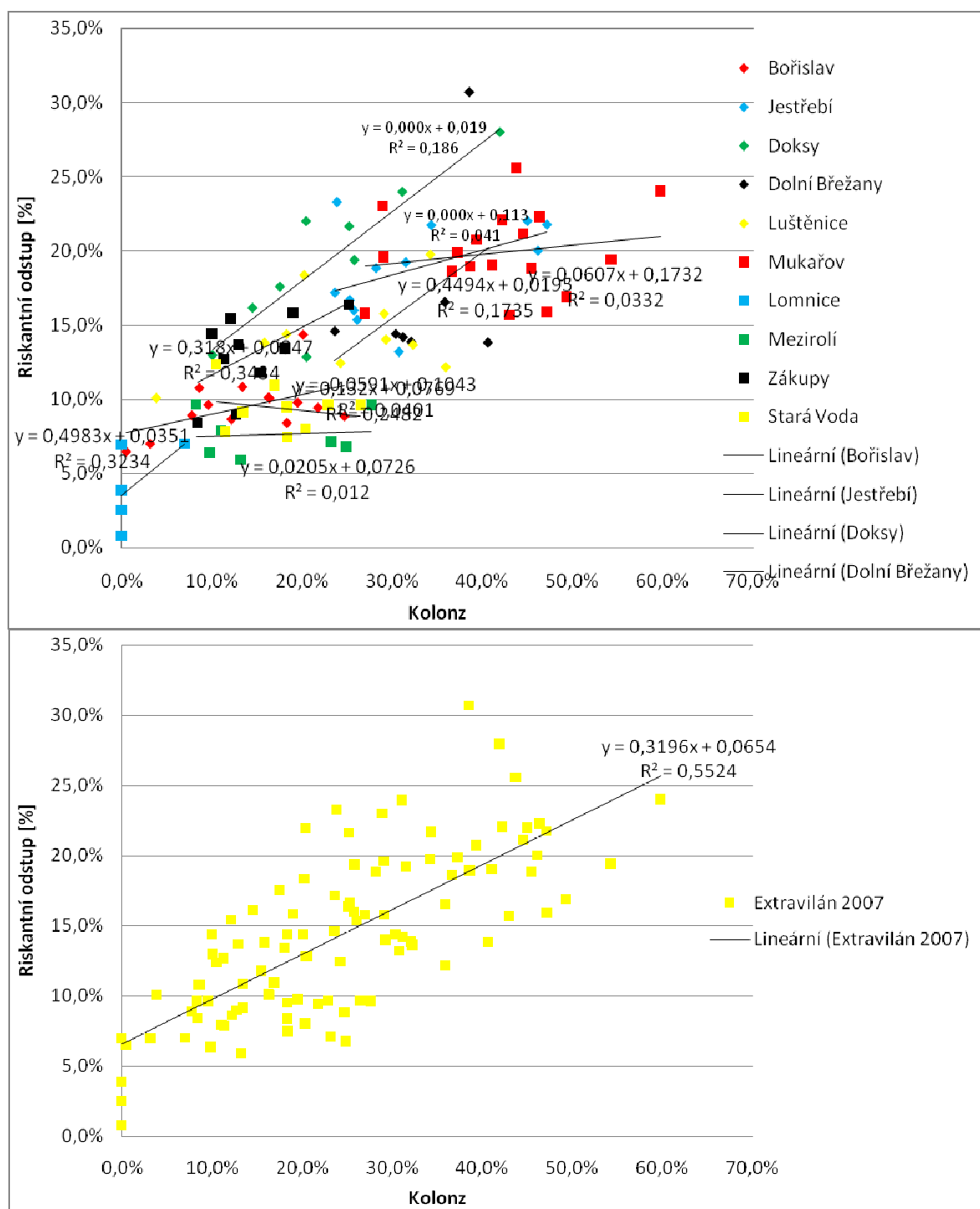
Uveďme dále další poznatek ze skutečných měření.

Předpokládáme-li, že výskyt kolon v dopravním proudu může být ukazatelem určité nebezpečnosti pohybu vozidel, kde hraje roli bezpečná vzdálenost mezi vozidly (zde definovaná jako riskantní odstup-menší jak 1 sec), pak následný obrázek ukazuje, že v extravilánu se jezdí rizikověji, než ve městě. A protože jsou v extravilánu i vyšší rychlosti, nutně i důsledky dopravních nehod z nedodržení bezpečné vzdálenosti jsou tragičtější.



Následný první graf ukazuje detailní vyhodnocení sestavy jednotlivých-extravilánových měřících lokalit.

V druhém grafu je stanovena regresní závislost pro celý soubor extravilánu. Při vysoké regresní závislosti se potvrdil předpoklad, že ukazatel „výskytu kolon“ může být považován za charakteristiku bezpečnosti dopravního proudu.



Ad a) b) kombinace databází a přímých měření,

která se každoročně opakují na vybrané síti měřících stanovišť na celém území ČR-projekt VaV MDČR „Česká observatoř bezpečnosti silničního provozu“ (SENZOR- viz. www.cdv.cz), snímá se sestava nepřímých (připoutání, svícení, přilby) a přímých ukazatelů (rychlosti, intenzity, skladba).

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován za podpory:

VZ04 Udržitelná výstavba, MSM 6840770005,

VaV Česká observatoř bezpečnosti silničního provozu, MDČR1F54L/093/050

Význam konstrukčního uspořádání a statického systému pro splnění požadavků trvale udržitelné výstavby

Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D., Prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc.

lukas.vrablik@fsv.cvut.cz

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Abstract

The principal significance of the research for bridge design practice consists in that the results of the appropriate solutions and the developed analytical and design methods will help creating the sufficient theoretical tools for reliable and economic structural design of prestressed concrete box girder bridges, enabling great economy of materials, energy and costs and their better utilisation and offer objective and effective tools increasing in the same time the level of durability and efficiency of concrete box girder bridges. The achieved results enable not only to avoid long-time serviceability problems, but also possibly other serviceability impairments.

1 Úvod

V současné době se stále více projevuje snaha o splnění požadavků trvale udržitelné výstavby, což mimo jiné nepochybně vyvolává další aspekty, jako je minimalizace spotřeby energie a celková šetrnost stavebních činností k životnímu prostředí. Jedním z nejzávažnějších faktorů ovlivňujících současný vývoj mostů je důraz na kvalitu konstrukce s ohledem na mezní stavy únosnosti a použitelnosti, na trvanlivost a na bezpečný a bezporuchový provoz. Jedná se o optimalizaci jak funkce, tak i požadavků vzniklých za celý životní cyklus stavby v souvislosti s její bezpečností, plánováním provozu i údržby. Investice by neměla být posuzována jen podle nákladů na její pořízení - to má totiž zpravidla značné důsledky ekonomické, případně i ekologické. Připomeňme proto, že celkové náklady sestávají z celé řady částí. Jsou to: náklady spojené s projektovými pracemi a s výstavbou objektu; náklady na údržbu; náklady na provoz objektu; náklady na opravy; náklady na rekonstrukce a na odstranění stavby.

Úsilí je nutno zaměřit na minimalizaci uvedených následných nákladů již v procesu projektování. Malé drobnosti v projektu nebo ve fázi výstavby mohou vést k velkým problémům a vysokým nákladům v průběhu životního cyklu konstrukce.

Je proto nutné již v procesu projektování pamatovat na omezení styků, kloubů, vhodné uspořádání a typy podepření, snadnou přístupnost k důležitým částem konstrukce, zabránění vnikání a hromadění vody v konstrukčních částech, zajištění hutného a nepropustného betonu, na otázky krycích vrstev výztuže, apod. To může rozhodným způsobem ovlivnit údržbu a opravy a též životnost a provozuschopnost stavby, neboť je zřejmé, že právě mostní závěry, dilatační prvky, styky, klouby, svodidla a korozní problémy jsou nejčastěji zodpovědné za vysoké náklady na údržbu a opravy. Pro správnou predikci dlouhodobého chování konstrukcí je nutné uvážit i vliv cyklického zatížení [4].

2 Konstrukční uspořádání a statický systém

Kromě uvedených obecných faktorů mají pro funkci a celý průběh všech fází životního cyklu konstrukce zásadní význam hlediska konstrukčně statická. V současné tíživé hospodářské situaci je bezpodmínečně nutné usilovat o racionalizaci nákladů na výstavbu konstrukcí

dopravní infrastruktury, na jejich omezení, na použití neefektivnějších stavebních systémů a technologií.

Zkušenosti z realizovaných betonových konstrukcí ukazují, že původ závažných závad, které je ve větší či menší míře znehodnocují, snižují jejich životnost a použitelnost, zvyšují nároky na opravy, údržbu a rekonstrukce, tkví v podcenění významu vhodného konstrukčního uspořádání a statického systému a respektováním prostorového působení konstrukce.

Je třeba zajistit z možných variant konstrukčního uspořádání výběr takové konstrukce, která bude pro danou lokalitu koncepčně nejvhodnější, nejekonomičtější a nejodolnější. Most nemůže být hospodárny, pokud není jednoznačně staticky výhodný. Jakýkoliv jiný způsob přenosu vnitřních sil musí nutně znamenat plýtvání finančními prostředky. V historii u mostů vždy bylo, dosud je a vždy bude statické hledisko prvořadé – mosty byly a jsou krásné, protože je mnohdy i laikovi jasné, jak konstrukce staticky působí, jaký je tok sil v konstrukci. Není účelem vymyslet a prosadit konstrukci staticky zcela nevýhodnou, která svojí nelogičností jistě vzbudí pozornost, že stojí „navzdory staticce“ a obdivovat se nesmyslnému výtvaru nemajícímu se slovem inženýr nic společného. Výsledkem může být jen enormní a neodpustitelná neekonomičnost, plýtvání s financemi daňových poplatníků.

Příkladem konstrukce, která požadavky vhodného konstrukčního uspořádání a statického systému beze zbytku splňuje, může být největší český dálniční most, jehož výstavba na jižním okraji Prahy právě probíhá jako součást jižního segmentu Silničního okruhu kolem Prahy – soubor staveb č. 514 (projekt Novák & partner, s.r.o.)- obr. 1.



Obr. 1 Letmo betonovaná mostní konstrukce stavby SOKP 514

Z hlediska konstrukčního uspořádání a statického systému je nosná konstrukce mostu navržena jako vysoký půdorysně zakřivený předpjatý betonový spojitý sdružený rám o šesti polích s rozpětími $72 + 84 + 101 + 2 \times 115 + 72$ m budovaný technologií letmého betonování (připomeňme, že právě 115 m je rozpětí pole mamutího Nuselského mostu v Praze). Příčný řez nosné konstrukce je navržen komorový s proměnnou výškou od 3m ve středu rozpětí hlavních polí do 6,5m v oblastech nad pilíři. Známou výhodou komorového příčného řezu je jeho velká ohybová a torzní tuhost při relativně malé hmotnosti a tím i menším stálým zatížením. Směrem k podporám, kde je zvýšené namáhání zvětšuje se nejen výška příčného řezu, ale i tloušťka spodní desky a bočních stěn.

Pro každý dopravní směr je navržena samostatná nosná konstrukce. Spodní stavba mostu je tvořena pro každý dopravní směr vlastními pilíři a společnou krajní opěrou. Základové poměry na trase okruhu jsou složité – založení je hlubinné na velkopřůměrových pilotách. Při návrhu konstrukce mostu byla uplatněna jak hlediska sjednocující tvarovou koncepci celé mostní estakády, tak i hlediska zjednodušení oproti zadání stavby, zaručující snížení pracnosti s ohledem na zkrácenou lhůtu výstavby.

V současné tíživé hospodářské situaci je bezpodmínečně nutné usilovat o racionalizaci nákladů na výstavbu konstrukcí dopravní infrastruktury, na jejich omezení, na použití nejefektivnějších stavebních systémů a technologií. V tomto ohledu vykazuje popisovaný mimořádně náročný most velmi příznivé nákladové parametry.

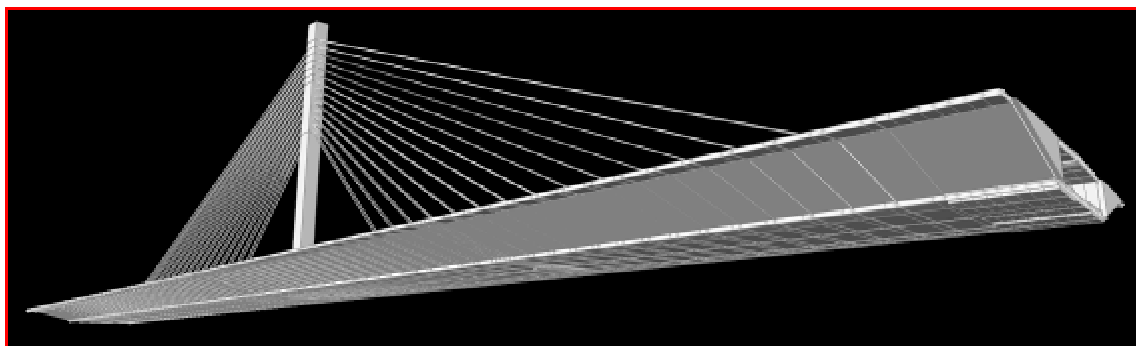
Totéž však bohužel nelze uvést u nedalekého velkého mostu na též silničním okruhu přes Lochkovské údolí. Řešení se zde s krajními obtížemi snaží vyrovnat s problémy, které by v případě vhodného uspořádání mostu vůbec nevznikly. Tyto poznatky jistě budou výstrahou, bolestnou lekcí a poučením při rozhodování o výběru efektivních statických systémů pro další velké mosty na Silničním okruhu kolem Prahy.

3 Analýza stávající mostní konstrukce

V rámci rekonstrukce mostní konstrukce zavěšeného mostu přes nádraží Vršovice proběhla výpočetní analýza možných příčin poruch. Most byl uveden do provozu v prosinci 1997, vzhledem ke svému umístění na páteřní městské komunikaci se vyznačuje velmi vysokou dopravní intenzitou. Jde o zavěšený most, jehož mostovku tvoří uzavřený komorový průřez s velkými konzolami, které jsou podpírány kyvnými stěnami. Konstrukce se vyznačuje jednou zvláštností – most má sice na severní straně dvě pole, ty mají ale uprostřed jen jedinou podporu. Znamená to, že tato část mostu se hodně krouť.

Při prostorovém působení mostu vznikají – kromě ohybového chování – další charakteristické stavy:

- Zkrucování, obvykle popsáno úhlem zkroucení nebo poměrným úhlem zkroucení
- Deplanace, kdy průřez přestává být rovinný
- Deformace tvaru průřezu - pokud nosník nemá rámově tuhé nebo vyztužené průřezy



Obr. 2 Výpočetní model mostu

Míra závažnosti těchto jevů je různá a závisí na tvarovém uspořádání konstrukce a na způsobu vnášení zatížení. Příkladem nezanedbatelných projevů této kategorie je právě posuzovaný zavěšený most, a to zejména z důvodu malých rozměrů vlastního komorového průřezu a relativně malé tuhosti podporové oblasti nezajišťující plně nejen zachování tvaru

podporového průřezu, ale neomezující ani jeho deplanaci. Svou roli zde hraje též velmi protáhlý tvar komorového průřezu s deplanační tendencí a vznikajícím výraznějším vázaným kroucením, které ovlivnění volné deplanace doprovází.

Podrobná 3D analytická studie [3] a prokázala, že choulostivá oblast mostu v současném uspořádání je podrobena opakovaným deformacím, jejichž pouhá statická hodnota dosahuje 7,3 mm. Toto chování má svůj původ v použitém konstrukčním tvarovém uspořádání, jak již bylo uvedeno, zejména v návrhu nedostatečně funkčních podporových příčných ztužidel. Přejezdy pohyblivého zatížení a náhlý přechod z velmi poddajného konce mostní konstrukce na tuhé těleso opěry vyvolávají zvýšení statických účinků.. Vzhledem k tuhostním relacím mostní konstrukce (potvrzenými analýzou vlastních tvarů) lze očekávat, že navýšení statické deformace dynamickými účinky bude významné.

Na mostě byla též provedena měření - k zatěžování mostu byl použit třinápravový nákladní automobil - autojeřáb MAN TGA 26.310 6x6 BB. Tento experiment (v úplné shodě s provedenými výpočtovými analýzami) jasně prokázal, že koncová oblast mostu nemá dostatečnou tuhost, a to jak s ohledem k deformaci jeho průřezu, tak k omezení deplanace (konec mostu je pouze zaslepen cihelnou zdí – obr. 3). Oba tyto jevy - deformace průřezu i deplanace - jsou v případě složitého prostorového působení takto uspořádané mostní konstrukce velmi závažné. Pro eliminaci těchto velmi nepříznivých jevů, je proto nezbytné zajistit vytvoření doplňkového ztužení koncové oblasti mostu – tento vyvolaný zákrok bude představovat nejen další nemalé finanční nároky, ale z hlediska vlivu na okolí i velmi nepříznivé dopady z důvodů omezení provozu na této nejzatíženější komunikaci v Praze – je ještě v dobré paměti co znamenaly krátkodobé výluky v srpnu 2008 při částečné sanaci vyvolaných poruch. Vzhledem k tomu, že tento typ konstrukce byl uplatněn i jinde v ČR, je možno časem očekávat i tam obdobné problémy.



Obr. 3 „Ztužení“ koncových částí mostu

4 Závěr

V příspěvku byly popsány základní principy správného návrhu mostních konstrukcí z hlediska požadavků trvale udržitelného rozvoje.

References:

- [1] TEPLÝ B., KŘÍSTEK, V.: *Nové trendy při navrhování betonových konstrukcí s ohledem na jejich celý životní cyklus* Sborník konference Betonářské dny 2006 2006,
- [2] TVRZNÍK V.: *Musí být naše mosty skutečně tak drahé?* Technický týdeník č.15, 2009 2009
- [3] BITTNAR Z., VRÁBLÍK L., KŘÍSTEK V., POLÁK M.: *Role of distortional and warping stiffness of end regions at 3D performance of concrete bridges* International Conference on Computational & Experimental Engineering and Science 2009, Phuket, Thailand
- [4] FOGLAR, M.: *Vývoj přetvoření betonu při cyklickém zatížení a jeho matematický popis* BETON TKS, Vol. 1/2008, Česká betonářská společnost, 2008, pp. 50-55.

The research project was realised by the help of GACR project No. 103/08/1677 and Czech Ministry of Education project MSM 6840770005.

Nosníky s tvarovanou stojinou při požární zkoušce

Ing. Petr Kyzlík, prof. Ing. František Wald CSc., Ing. Michal Strejček

wald@fsv.cvut.cz

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha

Abstract

The paper describes the results of the fire test in Mokrsko on a part of the floor structure, which was design as a composite slab above the beams with corrugated web. The prediction by the analytical models well describes the lost of the shear resistance and bending of the composite beam and the beginning of the catenary action.

Úvod

Návrh ocelového nosníku s tvarovanou stojinou vychází z předpokladu, že normálová napětí od momentu nebo normálové síly přenáší pouze příruby a naopak smyková napětí pouze vlnitá stojina. V případě ocelobetonového spřaženého průřezu přebírá tlakovou normálovou sílu od ohybu část betonové desky nad neutrální osou, tahovou sílu pak pásnice, viz [1]. Ohybová únosnost se stanoví z plastického rozdělení vnitřních sil po průřezu. Při částečném spřažení se ohybová únosnost případně vlivem prokluzu redukuje. Boulení od smyku na vlnité stojině se počítá odlišně od boulení na rovinné stojině. Pro řešení lze použít např. řešení navržené Pasternakem, viz [2] a [3]. Vlnitá stojina se uvažuje jako ortotropní deska s rozdílnými tuhostmi D_x ke svislé ose, rovnoběžné s vlnami, a D_y k vodorovné ose, kolmé na vlny. Tuhost D_y je podstatně větší. Kritické smykové napětí se vyjádří jako

$$\tau_{cr} = \frac{32,4}{t \cdot R^2} \cdot \sqrt[4]{(D_x \cdot D_y^3)} \quad (1)$$

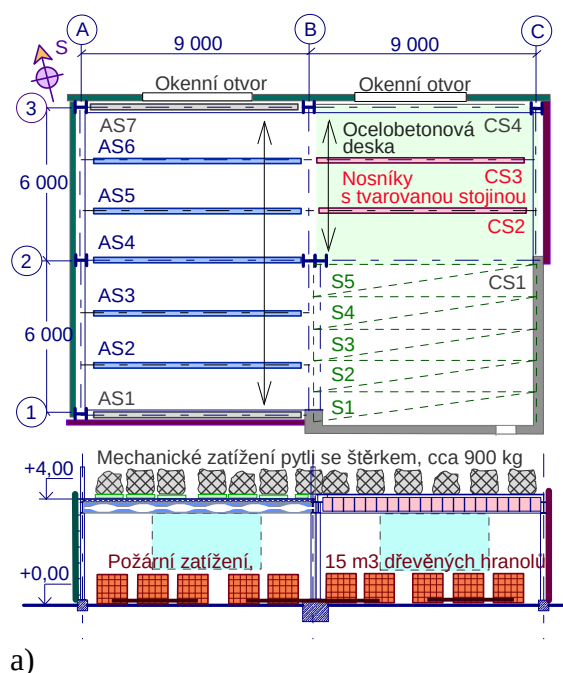
odkud lze stanovit poměrnou štíhlost stojiny

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr}}} \quad (2)$$

a pomocí součinitele χ smykovou únosnost stojiny.

Za požáru lze rozlišit dvě fáze chování spřaženého ocelobetonového stropu. V první fázi, za nižších teplot, účinky zatížení přenáší ocelobetonová deska a nosníky a jejich únosnost se postupně se vzrůstající teplotou redukuje, viz [4] a [5]. V prvcích dochází k redukci modulu pružnosti a meze kluzu vlivem teploty, která se vyjádří redukčními součiniteli k_E popř. k_y . Účinná průřezová plocha ocelobetonové desky je oblast, kde teplota materiálu nepřekročí kritickou teplotu. Míra spřažení únosnost neovlivní, protože se při vysokých teplotách zvyšuje. Za zvýšených teplot dojde ve vlnité stojině nosníku k redukci kritického smyku úměrně poklesu modulu pružnosti, což povede k redukci součinitele smyku. Při návrhu se únosnost vlnité stojiny redukuje součinitelem k_y .

V další fázi požáru při vytvoření velkých průhybů se funkce ocelobetonového stropu změní. Únosnost ocelového nosníku klesá a většina účinků zatížení je přenášena ocelobetonovou deskou, která je vyztužena tažnou sítí a působí jako membrána. K vyčerpání membránové únosnosti dojde porušením tláčeného věnce, který se v desce vytvoří, nebo obvodových požárně chráněných nosníků, viz [6].



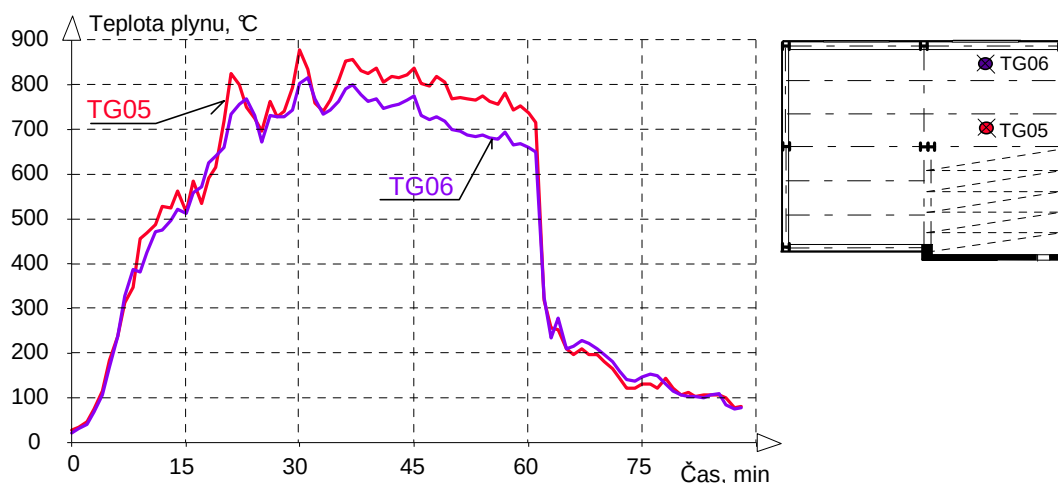
Obr. 1 a) Umístění nosníků s tvarovanou stojinou ve stropu experimentální budovy, b) Pohled do okenního otvoru požárního úseku ve 47. min zkoušky

Při experimentu v Mokrsku, se na objektu, který představoval část administrativní budovy, viz obr. 1, sledoval rozvoj teploty v nosnících, zejména ve vlnité stojině, který přináší pokles modulu pružnosti a meze kluzu a vznik plastických oblastí ve vlnité stojině. Pro popis chování se měřily svislé průhyby nosníků, vodorovné deformace ocelobetonové desky, teplota konstrukce na horní pásnici, ve středu výšky stojiny, na dolní pásnici a poměrné deformace ve stojině, ze kterých byly stanoveny napětí ve stojině.

Hodnoty byly odečítány každých 5 s a přenášeny kabelovou sítí do výpočetního centra, kde byly výsledky průběžně ukládány. Součástí měření bylo snímkování termokamerou v intervalu 60 s, které umožnilo průběžně dokumentovat rozložení teplot na konstrukci. Na záběrech z kamery je dobře patrný krajní nosník CS4. Výhled na vnitřní nosníky je často zakryt kouřem. Kromě měření veličin on-line byla před zkouškou a po zkoušce konstrukce zachycena geodeticky prostorovým skenováním, což umožnilo dokumentovat konečné deformace konstrukce po požáru s přesností 10 mm.

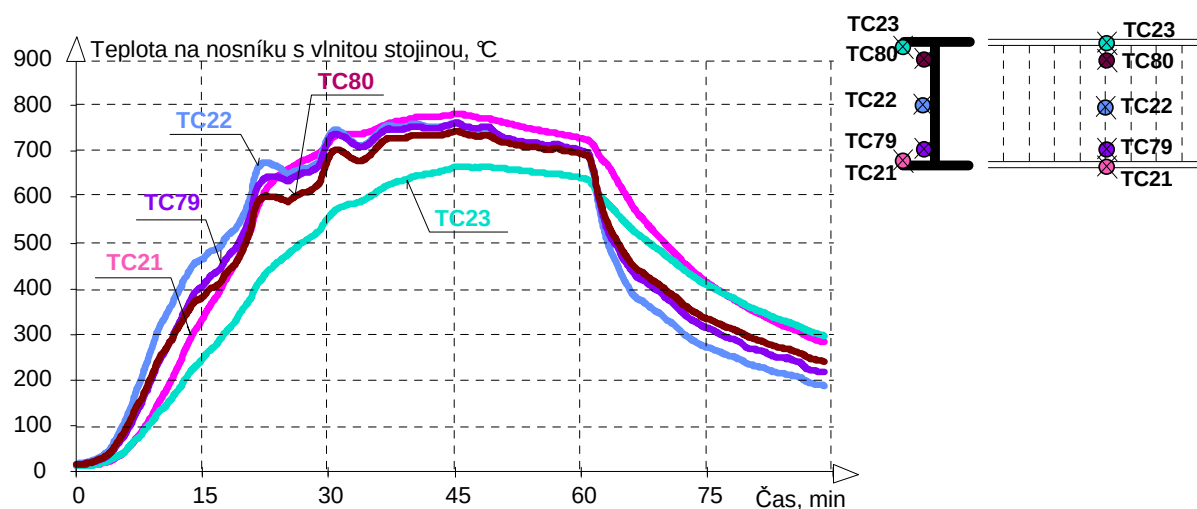
Teploty

Pro zahřívání nosníků s tvarovanou stojinou jsou směrodatné teploty plynu naměřené čidly TG05 a TG 06. Teplota prudce rovnoměrně stoupala do 21. min (845°C), po kratším poklesu dosáhla absolutního maxima ve 30. min (882°C), viz obr. 2. Na pohledu do okenního otvoru v 47. min zkoušky, viz obr. 1c, jsou patrné velké deformace nosníků a poloha termočlánků pro měření teploty plynu a teploty dolních pásnic středů nosníků. Dále teplota stagnovala a držela se okolo hodnoty 800°C až do kolapsu sousedního pole v 61. minutě, kdy skokem poklesla z 714°C na 350°C. Z těchto údajů je zřejmé, že ve zkoumané oblasti byly nižší teploty než v prostoru pod prolamovanými nosníky AS1 až AS7, viz obr. 1, kde teplota plynu dosáhla 935°C.

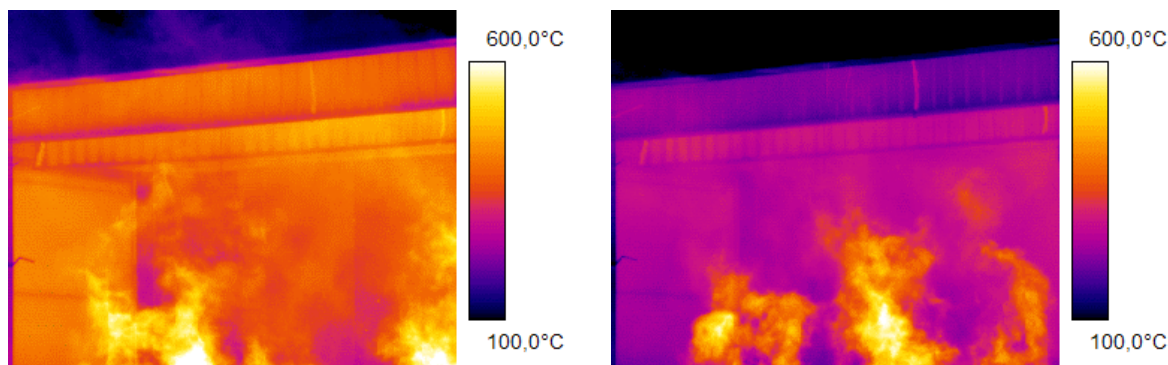


Obr. 2 Teplota plynu naměřená u nosníků s tvarovanou stojinou

Teploty dolní pásnice, vlnité stojiny i horní pásnice prudce stoupaly od počátku požáru až do 30. min, kdy dosáhly asi 75% až 85% nejvyšších hodnot, viz obr. 3. Potom se jejich vzestup zpomalil a dále pokračoval, přičemž mezi 40. a 50. min dosáhl maxima a potom mírně klesal až do 60. min. Po 61. min, kdy došlo ke kolapsu sousedního pole a k vyhoření paliva na otevřeném prostoru, teploty zpočátku velmi prudce a později pozvolněji klesaly. V 90. min požáru se teploty pohybovaly mezi 200 až 300 °C. Křivky pro horní a dolní pásnici a pro stojinu jsou si podobné, liší se pouze hodnotou největší dosažené teploty. V dolní pásnici byla naměřena nejvyšší teplota v nosníku 826°C, ve 47. min, termočlánek TC 27, na dolní hraně vlnité stojiny 816°C, 46. min, TC82, ve středu výšky vlnité stojiny 808°C, 46. min, TC81, na horní hraně stojiny 754°C 46. min, TC84. Teplota betonové desky 10 mm nad trapézovým plechem dosáhla teploty 227°C v 56. min, ve středu desky pouze okolo 100°C. Z uvedeného vyplývá, že teploty po výšce nosníku směrem k horní pásnici klesají, rozdíl činí asi 9%. Podstatně nižší teploty jsou dosahovány na horní pásnici, které jsou v kontaktu s betonovou deskou, která se pomaleji zahřívá, viz obr. 9. Na obr. 9 a 10 je vidět, že ve fázi rozhořívání požáru je střed nosníku teplejší než jeho kraje a při chladnutí je opačný rozdíl teplot. Zde je dosahováno pouze asi 28% teploty dolní pásnice. Je zde patrné časové zpoždění dosažení nejvyšší teploty, které představuje až 25 min.



Obr. 3 Teploty naměřené uprostřed nosníku s tvarovanou stojinou CS2



Obr. 9 Záznam termokamery při zahřívání konstrukce v 15. min zkoušky a při chladnutí konstrukce v 63. min zkoušky, ing. P. Lesák ÚTAM AV ČR



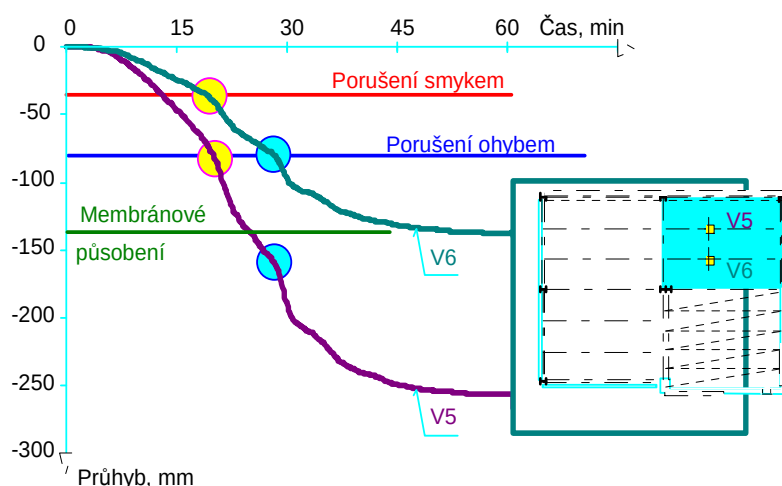
Obr. 13 Smykem deformovaná vlnitá stojina nosníku s tenzometry a termočlánky

Deformace

Během požáru došlo velkým deformacím sledované ocelobetonové desky, viz obr. 13. Největší změna průhybu nosníků s výrazným přetvořením vln stojiny, které svědčí o vzniku plastické oblasti, nastala v blízkosti konce nosníku. Změny na konstrukci byly nevratné. Desku se ale nepodařilo prolomit.

Informace o změnách svislého průhybu nosníku v průběhu požáru poskytly průhyboměry V5, nad středem nosníku CS3 a V6, nad středem nosníku CS2. Vnitřní nosník CS2 dosáhl největšího průhybu 130 mm v 60. min požáru. Zpočátku byl nárůst průhybu rychlejší ve 30. min byl průhyb 100 mm, od 30. min se nárůst zpomalil a v 60. min požáru dosáhl maxima. Mírný skok průhybu v 61. minutě je způsoben kolapsem střechy v poli 1-2 a přelomením betonové desky nad řadou 2. Dále průhyb pozvolna klesá až k hodnotě 106 mm v 90. min, od 60. min nastala již fáze chladnutí. Nosník CS3 blíže vnějšímu okraji desky dosáhl největšího průhybu 256 mm v 60. min požáru. Také zde je počáteční nárůst prudší ve 30. min 200 mm, potom zpomaluje, ale zlom není tak prudký, jako u nosníku CS2. V 61. min při kolapsu sousedního pole skokem narostl na 267 mm. Během fáze chladnutí poklesl k hodnotě 198 mm v 90. min.

Na grafu jsou na obou vyšetřovaných požárně nechráněných nosnících znázorněny únosnosti stojiny ve smyku, pásnice v ohybu a přechod k membránovému působení při velkých deformacích ocelobetonové desky s tažnou výztuží.



Obr. 14 Svislý průhyb nosníků s tvarovanou stojinou během zkoušky

Tab. 1 Výpočet napjatosti ve stojině z měření poměrných deformací

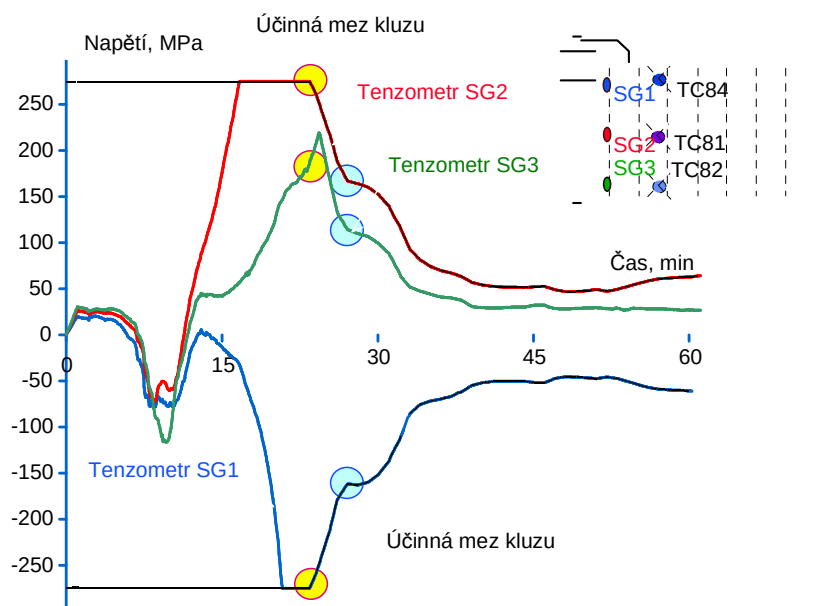
	TC84	Tenzometr SG1			TC83	Tenzometr SG2			TC82	Tenzometr SG3		
Čas min	Tep. °C	Def. $\mu\epsilon \cdot 10^{-3}$	E_θ MPa	Napětí MPa	Tep. °C	Def. $\mu\epsilon \cdot 10^{-3}$	E_θ MPa	Napětí MPa	Tep. °C	Def. $\mu\epsilon \cdot 10^{-3}$	E_θ MPa	Napětí MPa
0	10	0,000	210000	0	10	0,000	210000	0	10	0,000	210000	0
5	23	-0,017	210000	-4	22	0,049	210000	10	20	0,082	210000	17
10	138	-0,289	201957	-58	132	-0,090	203364	-18	122	-0,145	205401	-30
15	271	-0,145	174174	-25	269	1,364	174594	238	280	0,292	172305	50
20	346	-1,972	158424	-275	352	3,878	157017	275	385	1,029	150108	154
25	542	-7,615	100727	-179	531	9,427	107365	188	595	3,223	68267	134
30	591	-12,043	70581	-137	588	6,902	72469	140	662	2,582	41551	88
35	691	-8,978	30891	-70	690	5,827	30967	70	768	2,206	21622	41
40	739	-6,011	24058	-51	732	5,483	24587	53	809	1,738	18498	29
45	735	-5,572	24394	-52	733	5,570	24570	53	794	1,730	19429	32
50	747	-5,167	23327	-48	742	5,629	23738	49	806	1,619	18621	29
55	718	-5,599	25754	-57	714	5,198	26132	59	764	1,287	21958	28
60	705	-6,101	26905	-62	698	5,081	27905	64	749	1,141	23209	26
65	569	-8,966	84162	-156	572	4,377	82030	153	589	0,738	72104	53

Napětí ve stojině

Na stojiny nosníků s tvarovanou stojinou a prolamované nosníky byly osazeny tenzometry do vysokých teplot. Byly použity třívrstvé tenzometry do teploty 1150 °C, které se na stavbě ukládaly do cementové vrstvy. Přesnost je 3 %, ale tenzometry měří pouze do 5000 μm . Napětí σ_θ za zvýšené teploty bylo stanoveno pro měnící se modul pružnosti $E_{a,\theta} = k_{E\theta} E$ pro teplotu stanovenou s termočlánků poblíž tenzometrů ze vztahu

$$\sigma_\theta = \min(k_{E,\theta} E \epsilon_\theta; k_{y,\theta} f_y) \quad (5)$$

kde $k_{E,\theta}$ je redukční součinitel modulu pružnosti pro uhlíkovou ocel, E modul pružnosti oceli, ϵ_θ poměrné protažení za zvýšené teploty a $k_{y,\theta}$ redukční součinitel účinné meze kluzu oceli a f_y mez kluzu oceli za běžné teploty, zde 355 MPa. Průběh napjatosti je zachycen v tab. 1 a na obr. 15. Na grafu jsou patrné výrazné body, ve kterých došlo k dosažení únosnosti stojiny ve smyku.



Obr. 15 Výsledky měření poměrného protažení tenzometry na stojině s označenými výraznými body.

Shrnutí

Požární zkouška v Mokrsku prověřila dobré chování ocelobetonových nosníků s tvarovanou stojinou při vystavení vysokým teplotám za požáru. Po snížení únosnosti ocelových nechráněných nosníků vlivem degradace materiálu se při velkých deformacích projevila rezerva v chování ocelobetonové desky.

References:

- [1] ČSN EN 1993-1-5:2008 *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.5: Boulení stěn ČNI* rok, Praha 2008
- [2] PASTERNAK, H. – BRANKA, P. *Zum Tragverhalten von Wellstegträgern* Bauingenieur 73, č. 10 1998 pp. 437-444
- [3] ZEMAN & CO GMBH *Corrugated web beam, technical documentation* Zeman & Co GmbH 2007 p. 25
- [4] KYZLÍK, P. *Požární odolnost nosníku s vlnitou stojinou* Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí, Praha, ČVUT 2009 pp. 14–15
- [5] PRÜFBERICHT Nr. 07040315 Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung, Linz, Austria, 2007 p. 27
- [6] WALD F. A KOL. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí* ČVUT, Praha 2005 336 s., ISBN 80-01-03157-8
- [7] KALLEROVÁ P., - CHLOUBA J., - WALD F. *Požární zkouška v Mokrsku* Konstrukce, r. 8, č. 1, 2009 pp. 8-13

This research has been supported by MSM 6840770005.

Využití ERT pro kvantitativní vyhodnocení infiltračních experimentů

Ing. David Zumr, Markéta Levorová, Prof. Ing. Milena Císlerová CSc.

david.zumr@fsv.cvut.cz

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

The spatiotemporal heterogeneity of soil moisture distribution in a soil profile causes significant uncertainties in simulated predictions. Particularly important item is the effect of inaccurately determined soil moisture condition. It holds especially for infiltration experiments on soils exhibiting preferential flow phenomenon. So far it is very difficult to describe the irregularities of soil moisture distribution and of water propagation during infiltration in bigger scales by means of non destructive techniques.

To “guess” the moisture distribution below the area of infiltration we propose a combination of noninvasive monitoring with numerical simulations with inversely optimized parameters, which are difficult to obtain by direct measurements.

The ERT technique is being tested and calibrated to be able quantitatively determine basic hydraulic characteristics and initial moisture content on given soils.

Úvod

Jednou ze základních fyzikálních vlastností půdy je její schopnost infiltrovat vodu. Půdy plní roli přirozeného filtru, jsou schopny přeměnit, či přímo zneškodnit, některé nebezpečné látky. V těchto ohledech má dokonalé pochopení a popsání všech zákonitostí a procesů ve vadózní zóně velký význam.

Hydrologové, inženýři i půdní fyzici měří rychlosti infiltrace, spolu nasycenou i nenasycenou hydraulickou vodivostí jednotlivých vrstev půdního profilu, z různých důvodů, na příklad při návrhování jílových těsnících vrstev skládek komunálního odpadu, pro efektivní režim zavlažování a hnojení zemědělských půd, pro určení drenážní kapacity základů silnic a chodníků a pod. Mnoho stavebních opatření, jako jsou na příklad infiltrační plochy a příkopy, porézní propustné chodníky a povrchy parkovišť, které mají za cíl regulovat dopady extrémních přívalových srážek, jsou svou podstatou založeny na dobrých infiltračních schopnostech daného materiálu (Winogradoff, 2002).

Sledování pohybu vody a rozpuštěných látek nasyceným i nenasyceným půdním profilem je v posledních několika desítkách let v popředí zájmu mnoha výzkumných týmů po celém světě. Zemědělský sektor, předpovědi extrémních hydrologických situací, sanace půd nebo ochrana podzemních vod, vyžadují metodiku, pomocí které lze popsat vodní režim a transportní procesy v oblasti mezi povrchem a hladinou podzemní vody.

Lokální rychlosti proudění jsou v nenasyceném prostředí časově i prostorově velmi proměnlivé. Vlivem preferenčního proudění může docházet k velmi rychlému postupu vody a rozpuštěných látek do hlubších horizontů půdního profilu, kde se vlivem vysokého tlakového gradientu mezi preferenčními cestami a půdní maticí dostává rozpuštěná látka horizontálním prouděním i do matrice (Fluhrer et al., 1996). V extrémních případech může čelo zvlhčení v preferenční doméně dosáhnout až hladiny podzemní vody. Retenční kapacita půdy je vlivem preferenčního proudění využita pouze z malé části (Císlerová, 2005). Množství rozpuštěných

látek, které se pohybují preferenčními cestami, není obvykle vysoké, přesto může mít při řešení určitých úloh nezanedbatelné důsledky.

Terénních metod pro měření hydraulické vodivosti bylo vyvinuto mnoho a zásadně se odlišují ve vhodnosti použití a v přesnosti. Na příklad infiltrační zařízení na principu klesající hladiny může být upřednostňováno oproti systému s konstantní hladinou vody na půdách s velmi nízkou hydraulickou vodivostí. Běžně se využívají jedno a dvouválcová výtopová infiltrace, diskové infiltrometry a permeametry.

Společným úskalím pro všechny metody je vlastní vyhodnocení experimentů. Při využití tradičních analytických postupů (např. Green Amptova metoda, Philipova rovnice) i při moderních numerických simulačních modelech se většinou vychází ze zjednodušujících předpokladů, zahrnujících homogenitu půdního prostředí, osovou souměrnost čela zvlhčení, u analytických metod většinou sférický tvar čela zvlhčení a absenci preferenčního proudění. Zanedbání reálných podmínek může vést v určitých případech k totální misinterpretaci výsledků. Pokud se na příklad těsně pod povrchem nachází málo propustná nebo hydrofobní vrstva, bude se čelo zvlhčení šířit především horizontálně po této vrstvě. Vyhodnocením bodového infiltračního experimentu na takové lokalitě získáme hodnotu nasycené hydraulické vodivosti, která bude výrazně vyšší než skutečná hydraulická vodivost. Pokud hodláme dané jevy do vyhodnocení zahrnout, musíme vědět jaký tvar má postupující čelo zvlhčení.

Slibnou metodou pro určení hydraulických charakteristik matrice a preferenční domény jsou podtlakové infiltrace. Za určitých tlakových podmínek na horní hranici oblasti lze uvažovat, že nedochází k výraznému zapojení velkých pórů a průběh infiltrace odpovídá pouze matričnímu proudění. Naopak změnou okrajové podmínky na výtopu dochází k zapojení všech pórů. Jedním ze způsobů získání makroskopických charakteristik obou domén může být propojení infiltračních experimentů, neinvazivního sledování proudění vody, tracerových experimentů a inverzního modelování.

Jednotlivé metody zjišťování obsahu vody v půdě korespondují s různými režimy proudění. Pomocí barevných stopovačů odhadujeme objemový podíl hydraulicky zapojených preferenčních cest, tenzometry měří sací tlak v matrici, TDR (time domain reflectometry) měří objemovou vlhkost integrovanou přes těsné okolí čidla, ERT (electrical resistivity tomography) reaguje zejména na změny vlhkosti v matrici. V laboratorních podmínkách vycházíme z měřených vtokových a výtokových rychlostí, případně průnikových čar aplikovaných tracerů.

Geofyzikální měření – ERT

Význam geofyzikálních metod spočívá v zjištění podpovrchových charakteristik horninového prostředí (v našem případě rozložení měrného odporu) pomocí měření prováděných na povrchu. Elektrická resistivní tomografie (ERT) je moderní a často používaná technika, která je populární zejména v hydrogeologických, důlních a hydrotechnických průzkumech. Metoda je založena na zjišťování měrných odporů prostředí. Měrný odpor závisí na různých vlastnostech geologických struktur, jako jsou minerální složení, obsah rozpuštěných látek, pórovitost nebo vlhkost půdy.

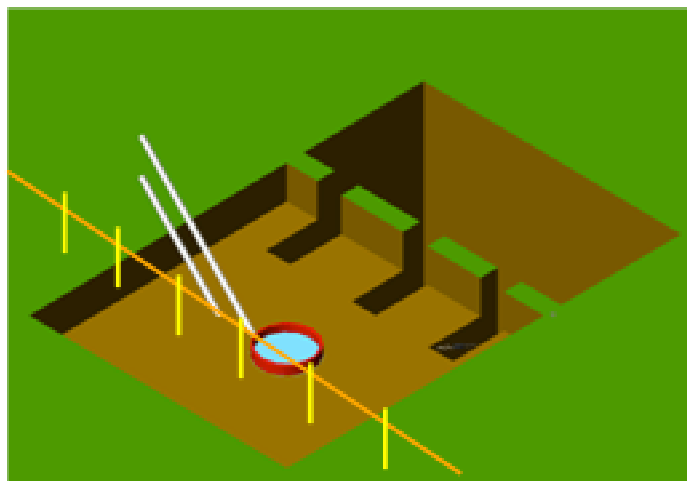
Měrná sestava se skládá z řady elektrod, z nichž vždy dvě slouží jako proudové elektrody a jiné dvě jako snímací elektrody. Na základě známých vstupních hodnot proudu a měřeného rozdílu napětí na dvou snímacích elektrodách je počítán měrný odpor. Proces je řízen centrální jednotkou.

Vertikální dvourozměrné pole elektrické resistivity bylo v našem případě proměřováno metodou s uspořádáním elektrod dle principu Wenner-Schlumberger. Tato sestava je schopna zaznamenávat relativně citlivě vertikální i horizontální změny měrného odporu v prostředí, a tudíž se jeví jako ideální pro sledování čela zvlhčení. Měření byla provedena pomocí zařízení

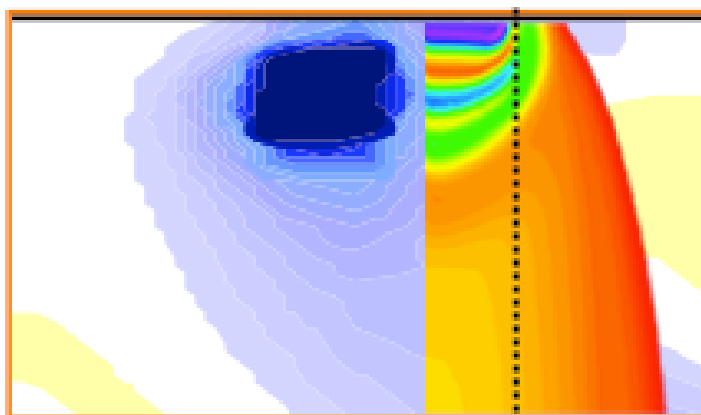
ARES (GF Instruments, Brno). K vyhodnocení geofyzikálního měření se používá metoda inverzního matematického modelování programem Res2Dinv (Loke, 2000).

Konkrétní příklad využití ERT pro vyhodnocení infiltračního experimentu

První výsledky simulací podtlakového experimentu, který byl monitorován pomocí tenzometrů, TDR čidel a ERT profilování, jsou slibné. Pomocí numerické simulace s využitím duálního přístupu (zahrnutí i preferenční domény proudění) se podařilo vystihnout infiltrační rychlosti i změny sacích tlaků v pozorovaných hloubkách.



Obr 1.- Schéma infiltračního experimentu (nakreslila V. Jelínková). Vertikální resistivní tomografie, dva tenzometry a v zářezech instalována TDR čidla.



Obr 2. - Porovnání modelované distribuce solného roztoku v matici (vpravo) s měřenými změnami konduktivity před a po výtopové infiltraci solného roztoku

Porovnání změn měřeného pole měrného odporu před a po infiltraci solného roztoku se simulací šíření inertního traceru (advekčně-disperzní rovnici) ukazuje kvalitativní shodu (obr. 2). Tmavěmodrá oblast značí místo s nejnižším měrným odporem, tedy s nejvyšší koncentrací rozpuštěné soli ve vodě. Vedle vizualizace změny měrného odporu je na pravé straně obr. 2 vynesena výsledek numerické simulace šíření konzervativního solného roztoku. Přerušovaná čára značí místo řezu, které má odpovídat měřeným měrným odporům.

Dosud nejsme schopni výsledky odporové tomografie interpretovat kvantitativně. Pouze na základě resistivních profilů nedokážeme stanovit vlhkost ani koncentraci určité látky. Probíhají kalibrace odporové tomografie na odebraných vzorcích z lokality Korkusova Huť (Šumava). Na základě kalibračních křivek chceme vztáhnout změny resistivit v čase ke

změnám vlhkosti, případně určit koncentrace aplikovaných solí v půdní vodě. Z dosavadních zkušeností vyplývá, že pomocí ERT pravděpodobně nezachytíme šíření preferenčními cestami.

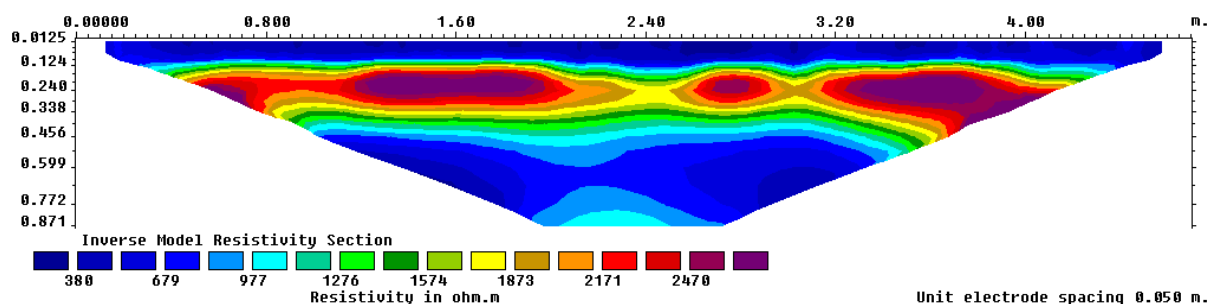
Kalibrace ERT na kambizemi z lokality Korkusova Huť, Šumava

Při podrobném testování ERT jsme se zaměřili na:

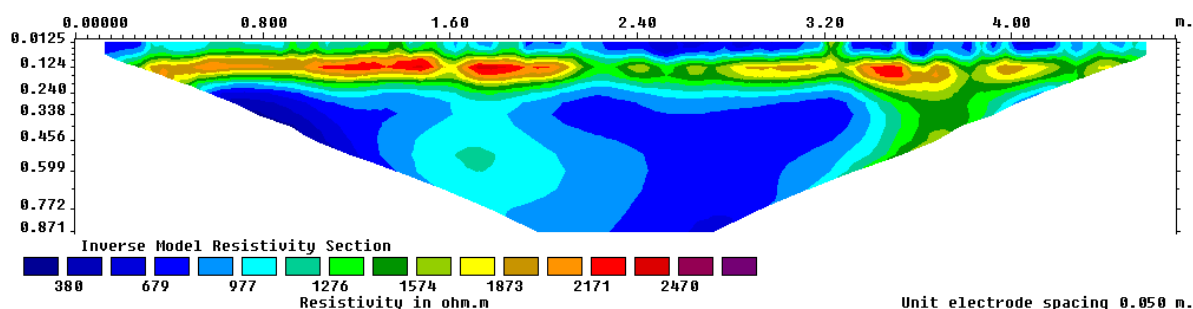
- testování přesnosti měření ve větších hloubkách
- porovnání výsledků s měřením pomocí TDR
- sestavení kalibračních křivek závislosti měrného elektrického odporu na vlhkosti

Prostorové rozlišení měřených měrných odporů závisí na použitém měrném schématu (v našem případě Wenner Schlumberger) a na rozponu mezi jednotlivými elektrodami. S rostoucí hloubkou klesá rozlišení a roste nejistota měřených hodnot.

Na vybraném 4,7 m dlouhém úseku jsme provedli měření pomocí ERT. Použili jsme 48 elektrod s rozstupem 10 cm. Po získání pole měrných odporů jsme v celé délce profilu odkryli cca 15 cm silnou vrstvu půdy a měření ERT opakovali s elektrodami umístěnými pod úrovní terénu. Tento postup jsme opakovali čtyřikrát až do hloubky cca 50 cm. Z každé hloubky jsme odebrali vzorky pro měření momentálních vlhkostí gravimetrickou metodou, pro stanovení retenčních křivek, křivek zrnitosti a vzorky pro laboratorní stanovení závislosti měrného elektrického odporu a objemové vlhkosti. Současně jsme na povrchu každé odkryté vrstvy měřili každých 10 cm objemovou vlhkost a konduktivitu pomocí TDR.



Obr. 3. – Pole měrných odporů s elektrodami umístěnými na úrovni terénu



Obr. 4. – Pole měrných odporů s elektrodami umístěnými 15 cm pod úrovní terénu

Pro ilustraci jsou na obrázcích 3 a 4 vertikální řezy měrných odporů měřených z úrovně terénu a z 15 cm pod úrovní terénu. Modrá barva značí oblasti s nízkou resistivitou, tedy potenciálně vyšší vlhkostí. V hloubce cca 15 cm pod terénem, těsně pod kořeny travního porostu, se nachází souvislá 30 cm silná vrstva materiálu s vysokou elektrickou resistivitou. Při porovnání obrázků 3 a 4 je vidět, že si jednotlivá měření odpovídají. Drobné odchylky jsou způsobeny citlivostí metody na umístění jednotlivých elektrod a na kontakt elektrod s

půdou. Během testování, které vzhledem k časové náročnosti výkopových prací, odebrání vzorků a samotného měření, několikrát přšelo, což pravděpodobně vyhodnocení negativně ovlivní.

References:

- [1] CÍSLEROVÁ, M.: *Preferenční proudění ve vadózní zóně kamnizemí In HYDROLOGIE MALÉHO POVODÍ 2005*. Praha: Ústav pro hydrodynamiku AVČR, 2005, s. 23-30.
- [3] FLUHLER, H., W. DURNER, M. FLURY.: *Lateral solute mixing processes - A key for understanding field-scale transport of water and solutes* Geoderma, 1996, 70:165-183.
- [4] LOKE, M.H.: *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys. GEOTOMO software guide*. 2001, 66 p.
- [4] VINOGRADOFF, D.: *Bioretention Manual*. Programs and Planning Division, Department of Environmental Resources, Prince George's County, Maryland.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Dva příklady monitoringu pro zpětnou analýzu stability

Ing. Jan Záleský, CSc.

zalesky@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze, stavební fakulta, katedra geotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Abstract

In the first case a parameter study was based on results of boring for 3-D measuring casings deployment, BAT pore pressure sensors installed by modified cone penetration testing followed by long-term pore pressure measurement including results of 3-D deformation monitoring on unstable waste dump. Sets of probable values of shear resistance parameters of the soil on monitored slip surface were determined with use of limit state analysis.

In the second case geotechnical monitoring has been designed due to uncertainties in determination of site conditions for anchored pile wall design and to approve the efficiency of remedial actions. Monitoring of piles deflection offers data for back analysis. Results of monitoring and instrumentation of the wall are briefly discussed in the paper.

Parametrická studie stability výsypky

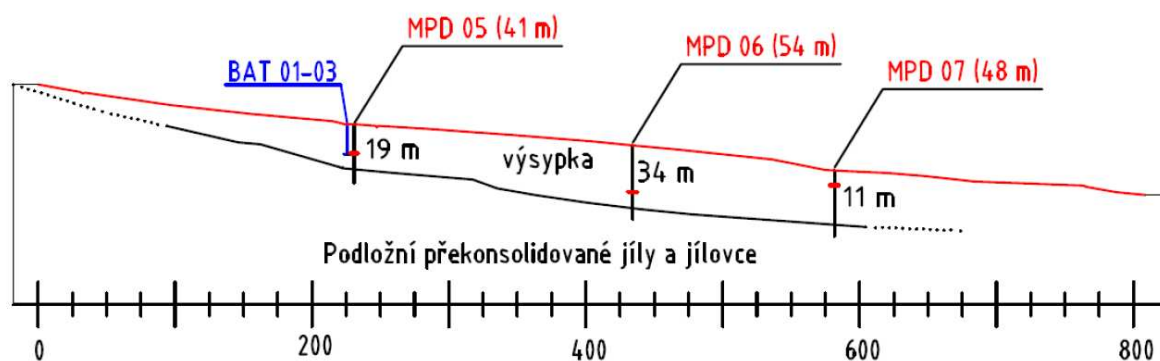
Výsypky složené převážně z jemnozrnných materiálů jsou značně heterogenní nejen v závislosti na rozložení uložených zemin ze skrývek, ale i vlhkosti a stupni degradace sypaniny. Proto je vždy stanovení vstupních dat pro stabilitní výpočty velmi obtížné. V článku je popsáno propojení znalostí z průběhu vrtání pro vystrojení lokality, statických penetrací k instalaci snímačů pórového tlaku a výsledků sledování 3D přetváření výsypky i vývoje pórových tlaků. Tyto výstupy byly užity k parametrické studii stability a na základě výpočtů metodami mezní rovnováhy byly stanoveny pravděpodobné smykové parametry výsypky v oblasti smykové plochy.

Geotechnický profil v prvním příkladu

V zájmovém území byly zhotoveny tři monitorovací vrtý (MPD 05, 06 a 07) vystrojené kombinovanými pažnicemi pro měření prostorových deformací modifikovaným inklinometrem (vodorovné) a klouzavým deformetrem (svislé). Na základě vyhodnocení popisů jader vrtů pro měření prostorových deformací (vrstvy měkké konzistence) byly odhadnuty polohy možné smykové plochy. Výsledky nebyly jednoznačné, měkké polohy se ve vrtech opakovaly. Výskyt měkkých poloh nemá téměř jistě jedinou příčinu.

S odstupem času byly měření ve vrtech zjištěny polohy smykové plochy. Vždy se jednalo o jedinou polohu smykových přetvoření naznačující spíš poměrně ostře vymezenou plochu. U každého vrtu byly pak provedeny tři vpichy statické penetrace pro instalaci svazků trojic snímačů pórového tlaku BAT (filtrů) zatlačením, obr. 1. V každé trojici byl jeden z filtrů osazen přímo do úrovně aktivní smykové plochy, jeden nad a jeden pod ni. Průběhy statických penetrací v blízkosti vrtů se značně lišily a potvrzovaly významnou heterogenitu prostředí výsypky. Polohy naznačující výskyt prohnětené zeminy v penetračních sondách nebyly zpravidla totožné, přestože jejich půdorysná vzdálenost ve svazku byla do cca 1 m.

Pravděpodobný tvar smykové plochy procházející získanými body podle obr. 1 byl nalezen při studii tvaru smykové plochy vycházející z postupného rozvoje porušování svahu jako obálka násobného na počátku rotačního sesuvu vypočteného programem GEO5 – Stabilita svahu, Adam (2008) in [1].

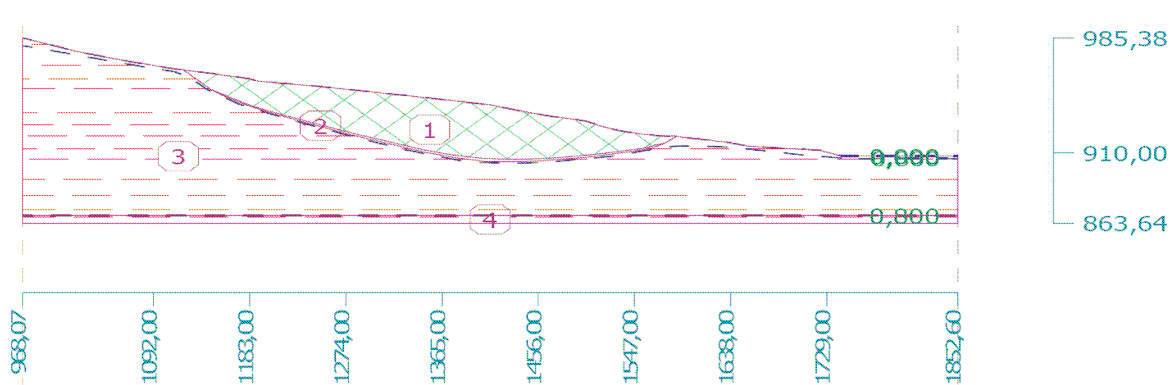


Obr. 1 Hloubka pravděpodobné smykové plochy na základě měření ve vrtech. Číslicemi u schématického vyznačení polohy vrtů jsou zde uvedeny hloubky zjištěné smykové plochy měřením ve vrtech, a to 19, 34 a 11 m pod terénem. Čísla v závorkách značí celkové hloubky vrtů s vetknutím měřicí pažnice cca 10 m do podložních jílu. BAT 01-03 je poloha staršího svazku snímačů pórového tlaku, který je dnes jen částečně funkční pro svahové pohyby.

Tvar kruhové plochy byl podle předpokladů nedostatečně vystihující, a proto byl nahrazen polygonem. Výsledný tvar smykové plochy je zobrazen společně s uvažovanými typy materiálů v obr. 2. Podloží jíly a jílovce nejsou v řezu pro výpočty uvažovány, protože smyková plocha byla vždy ve značném odstupu od podloží výsypky.

Vzhledem k heterogenitě materiálů výsypky byla zemina v řezu rozdělena na tři druhy podle „míry postižení“ svahovými pohyby, a to na:

- zeminu výsypky pod smykovou plochou, bez orientovaného porušení smykem podle obr. 1,
- zeminu nad smykovou plochou, která byla pravděpodobně ovlivněna postupným vývojem porušení dle bodově ověřené aktivní smykové plochy,
- zeminu v oblasti smykové plochy, která byla v modelu svahu představována cca 1 m silnou vrstvou, u níž byly uvažovány parametry smykové pevnosti od reziduálních ($c'_r = 0$ kPa) po soudržnost v řádu jednotek kPa.



Obr. 2 Převýšený řez svahem se znázorněním průběhu nekruhové smykové plochy a modelovaných materiálů:

- 1 – jíl nad smykovou plochou : ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, φ' , c' : větší než mat. 2, $\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3$)
- 2 – jíl v oblasti smykové plochy: ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, φ' , c' : hodnoty měněny viz dále, $\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3$)
- 3 – jíl pod smykovou plochou: ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, φ' , c' : větší než mat. 2, $\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3$)

Pórové tlaky byly měřeny pomocí systému BAT s odděleným filtrem, přístupovou pažnicí a odnímatelným snímačem pórového tlaku, [2]. Snímče jsou nainstalovány v těsné blízkosti pažnic pro měření 3-D přetváření masivu výsypky.

BAT systém umožňuje kontrolu funkce snímače při a po měření. Naměřené pórové tlaky vykazují vysoké hodnoty a proti maximálnímu hydrostatickému tlaku vody byly vždy významně vyšší.

Tlaky kolísají s časem, ale byly naměřeny takové hodnoty (současná maxima), že po přepočtu na součinitel pórového tlaku

$$r_u = u_w / \sigma,$$

kde u_w je naměřený pórový tlak vody a σ totální normálové napětí od vlastní tíhy zeminy, dosahovaly konstantní hodnoty 0,8. Tato hodnota r_u byla uvažována jako výchozí pro parametrickou studii.

S ohledem na to, že jde o „bodová měření“ v rozsáhlém masivu, považuji za vhodné doporučit parametry získané pro $r_u = 0,7$, tab. 1. Proto, že nepovažuji za prokázaný konstantní průběh u_w podél smykové plochy. Podrobněji jsou výsledky zpracovány a diskutovány v [1].

Tab. 1 Hodnoty stupně stability F_s vypočtené pro kombinace ϕ' , c' při $r_u = 0,7$.

$r_u = 0,7 [-]$		
$\phi' [^\circ]$	$c' [\text{kPa}]$	$F_s [-]$
14,0°	0	0,99
14,0°	1	1,01
13,6°	2	1,00
13,3°	3	1,00

Získané výsledky ukazují na velmi časté podhodnocování parametrů smykové pevnosti vzhledem k neznalosti rozdělení pórových tlaků, které mohou zejména ve výsypkách dosahovat vysokých hodnot díky dotaci vodou proudící po preferenčních cestách a obvykle kontraktantnímu chování při smykovém přetváření.

Vystrojení pilot v kotvené stěně a měření jejich deformací ve druhém příkladu

Kotvená pilotová stěna byla vybudována ve svrchní části rozsáhlého nestabilního svahu, aby bránila nasouvání zemin na jeho spodní část, tvořenou převážně vnitřní výsypkou lomu. Stěna, celkové délky cca 300 m, je složená z dilatačních celků, tvořených vždy sedmi pilotami profilu 1 200 mm vrtaných ve dvou řadách. Piloty jsou v úrovni hlav ztuženy masivní, trojúhelníkovými žebry zpevněnou úhlovou zdí, přes kterou byl opěrný systém stabilizován pramencovými kotvami, obr. 3.

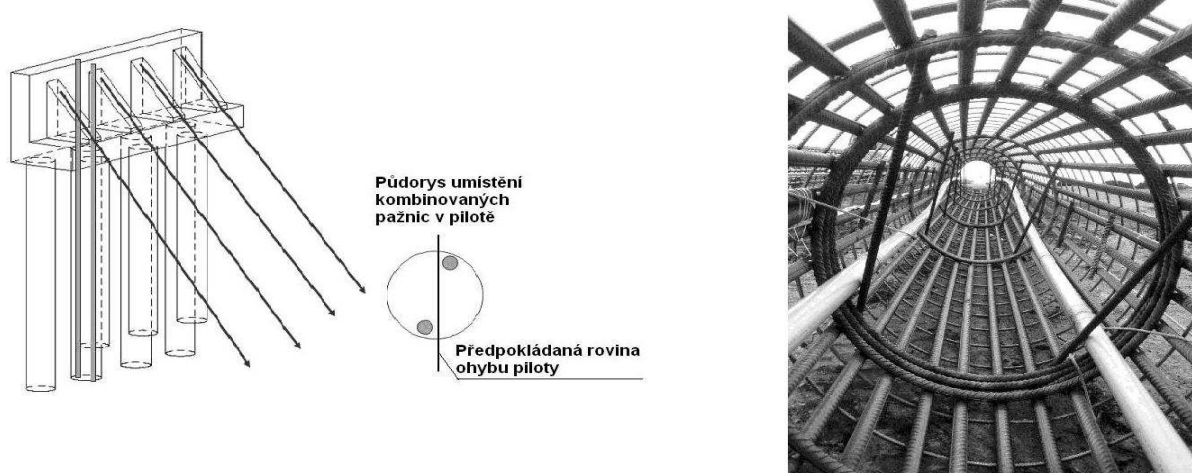
Podle projektu měly být piloty betonovány pomocí trub dosahujících až k jejich patám, ale tento předpoklad nebyl dodržen. Přes velmi pečlivé vyvázání měřicích pažnic a husté podepření došlo k jejich částečnému poškození. Pažnice zůstaly celistvé a těsné, ale přesnost měření inklinometrem byla snížena, pravděpodobně pro lokální ztráty rotační symetrie pažnice. Měření mikrometrem však poskytují velmi dobré výsledky díky tuhosti kovových měřických značek.

Výsledky měření deformací pilot

Ve vystrojených pilotách č. 52 a č. 94 je 30 a 27 měřicích poloh po 1 m. Měření jsou prováděna inklinometrem a posuvným mikrometrem, měří se i teploty povrchu stěny a vzduchu. Tato instrumentace byla zvolena kvůli zdvojení výstupů, aby i v případě poškození pažnice v průběhu výstavby bylo dostupné alespoň jedno inklinometrické měření v pilotě. Od

měření mikrometrem byla očekávána vyšší přesnost za předpokladu vyhodnocení osových přetvoření vždy ve dvojici rovnoběžných pažnic.

Obr. 3 Schéma vystrojení měřicími pažnicemi a částečně upevněné pažnice v armokoši pilot



V důsledku změn postupů výstavby nebylo možné provést „nulté“ měření před ukotvením stěny, ale pouze měření následné. Změny ohybových čar po napnutí kotev byly podmíněny tuhostí systému pilot a úhlové zdi s reakcí podloží. Kotvy byly pouze „lehce“ předepruty, aby došlo k jejich plné aktivaci až při posunu stěny kolem 100 mm. Proto měření, která jsou na stěně prováděna, vystihují důsledky aktivace stěny svahovými pohyby.

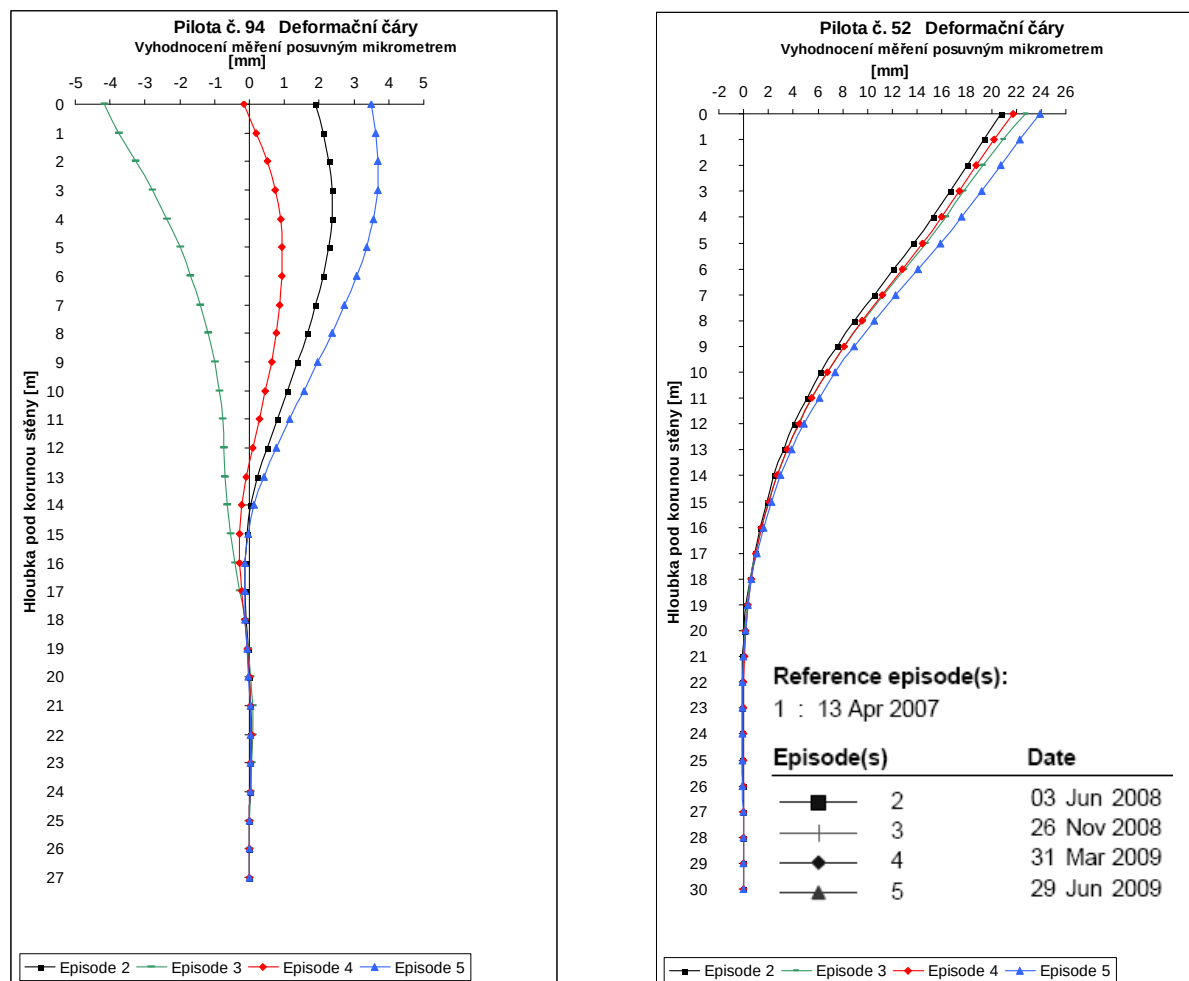
V obr. 4 jsou zobrazeny výstupy z vyhodnocení mikrometrických měření, ve kterých jsou vodorovné posuny pilot a stěny vypočteny za předpokladu pevné paty piloty a integrace párových hodnot poměrných podélných přetvoření. Výsledný graf vlevo zobrazuje deformace stěny v místě, kde jsou geotechnické podmínky příznivější. Pravý graf zobrazuje vývoj deformační čáry v řezu nejméně příznivém.

Vyhodnocování ohybových čar pilot je prováděno v rámci výzkumného záměru. Pro toto vyhodnocování byla vypracována aplikace v programu MS Excel.

Referenční epizoda 1 (výchozí stav měření) je v grafech na obr. 4 zobrazena jako svislá osa. Celková dosavadní doba měření je cca 2 roky, od 13.04.2007 do 29.06.2009. Z obou grafů je patrné, že deformace zatím celkově rostou, viz srovnání epizod 2 (cca po roce) a 5 (po dvou letech), ale přírůstky ve druhém roce jsou relativně menší, zejména na pravém grafu.

Epizody 3 (26.11.2008) a 4 (31.03.2009) však do tohoto schématu zcela nezapadají, zejména je to patrné v levém grafu. Zde se s velkou pravděpodobností jedná o klimatické vlivy: Jako hlavní příčina nestability zájmového svahu se jeví vysoký vztlak podzemní vody, která proudí svahem kopce. V tomto případě mohou hrát významnou roli srážkové úhrny v období před měřeními deformací stěny. Zejména v levém grafu jsou tyto „klimatické“ vlivy relativně větší, ale při celkově malé absolutní hodnotě. V pravém grafu se projeví pouhým prohozením křivek 3. a 4. epizody při rozdílu mezní deformace cca 1 mm. V tomto nepříznivě zatíženém profilu je podíl „klimatických“ vlivů zatím prakticky zanedbatelný. Hladkost ohybových křivek vypočtených z párových hodnot mikrometrických měření svědčí o tom, že piloty se chovají jako homogenní a dobře provedené a že měření jsou velmi citlivá a přesná.

I přes značné rozdíly hodnot deformací v grafech na obr. 4 je zajímavé, že v obou případech začínají zřetelnější deformace prakticky ve stejné hloubce, cca 20 m. Levým grafem se pro nevýznamnost dosavadních deformací není třeba prakticky zabývat. Na pravém grafu dosahuje mezní hodnota deformací cca 24 mm, což je cca 1,2 % deformující se délky stěny. Změna napětí v táhlech pramencových kotev nepřesahuje při volné délce cca 24 m a průměrném sklonu 25° od vodorovné hodnotu 170 až 190 MPa. (Očekávaná rezerva deformace kotvy je ještě cca 75 mm.)



Obr. 4 Vývoj deformačních čar sledovaných pilot v čase

I přes technologické obtíže při výrobě pilot stěny stabilizující sesuv se podařilo osadit pažnice pro měření deformací inklinometrem a posuvným mikrometrem. Dosud provedená měření naznačují významně větší přesnost a vypovídací hodnotu měření pomocí posuvného mikrometru.

Dosavadní měření prokázala rozdíly mezi deformacemi stěny ve stabilnější části svahu, kde jsou deformace po dvou letech velmi malé a významný vliv mají „klimatické“ vlivy, a v kritické části svahu, kde dosahují hodnoty cca 24 mm v koruně, což je cca 1,2 ‰ deformující se délky stěny.

Použité metody monitoringu umožňují sledovat chování stabilizační kotvené pilotové stěny v obtížných geotechnických podmínkách a koncem tohoto roku bude zahájena zpětná analýza chování stěny vycházející z ohybových čar a doplňkových měření včetně vývoje kotevních sil.

V obou uvedených příkladech použití metod kontrolního sledování se jedná o velmi komplikované geotechnické podmínky. Ani v jednom případě nebyly průzkumem poskytnuty odpovídající výstupy pro charakterizování stabilitních podmínek svahu a stěny. Průzkumy byly prováděny v etapách postupy užívanými v značně heterogenních inženýrsko-geologických poměrech a byly doplněny opakovaným průzkumem geofyzikálním. Přes zvýšenou pozornost nebylo dosaženo přijatelné úrovně znalostí o prostředí a předpokladech jeho chování v odezvě na lidský zásah. Zde se ukazuje jako

jediná možnost využití monitoringu a přistoupení k nápravným opatřením v souladu s principy observační metody.

Zpětné analýzy na základě kombinace možných vstupních údajů a statických analýz mohou vést k získání výstižných geomechanických parametrů prostředí. Diskrétní znalost vlastností zemin/hornin může přispět k chápání a objasnění neočekávaného chování hodnoceného systému v zájmovém území, ale může být stěží výstižným vstupem pro posudky stability.

References:

- [1] ZÁLESKÝ, J. – KURKA, J. – KOS, J. – ZÁLESKÁ, O.: *Odhad parametrů smykové pevnosti výsypky na základě monitoringu a statické penetrace*. AZ Consult, spol. s r.o., 2009, ISSN – 1213-1237, pp. 115–120.
- [2] ZÁLESKÝ, J. – KURKA, J.: *Výzkum a verifikace metod sledování svahových pohybů - průběh prací na úkolu GAČR 103/02/1166 v roce 2003* AZ Consult, spol. s r.o., 2003, pp. 112–117.
- [3] ZÁLESKÝ, J. – KOS, J.: *Kotvená pilotová stěna – kontrolní sledování jako podklad pro zpětnou analýzu* Sekurkon s.r.o., ISBN: 978-80-86604-46-6, 2009, pp. 103–106.

This research has been supported by MSM 6840770005.

Publikace vznikla v rámci řešení výzkumného záměru Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Příspěvky jednotlivých autorů jsou otištěny bez úprav - neprošly jazykovou korekturou.

editor: Zuzana Kramářová
tisk: Ediční středisko ČVUT v Praze
počet stran: 230
počet výtisků: 200 ks
neprodejný výtisk

Praha, prosinec 2009
ISBN 978-80-01-04447-6

© ČVUT v Praze, Fakulty stavební