

Analýza vlivu použitých geometrických dat na přesnost vymezení záplavových území

Analysis of the influence of the geometric data used on the accuracy of floodplain definition

Hana Nováková, Kateřina Uhlířová, Marcela Makovcová, Petr Valenta, Jana Valentová

V příspěvku je prezentována náplň, cíle a první výsledky řešení projektu bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra ČR "Klasifikace přesnosti vymezení stávajících záplavových území v ČR a zpracování výsledků do metodiky pro jejich vymezování". V rámci projektu je řešena porovnávací studie přesnosti vymezení záplavových území ve vybraných úsecích vodních toků. Referenční lokality jsou vybírány s ohledem na různorodost morfologických, hydrologických a dalších charakteristik toku a území. Výsledky stávajícího vymezení záplavových území nad dostupnými výškopisnými podklady různé přesnosti jsou porovnány s výsledky hydrodynamického modelování s využitím nových výškopisných dat území ČR. Jsou uvedeny ukázky výstupů ze zpracovaných lokalit, v nichž bylo provedeno porovnání vstupních i výstupních dat modelů včetně vytvoření nových hranic záplavových území. Závěry studie budou aplikovány při tvorbě metodiky pro vymezování záplavových území.

This paper presents the content, aims and first results of the Ministry of the Interior of the Czech Republic Security Research project called „Accuracy classification of current floodplain definition in the Czech Republic and involve results into floodplain definition methodology“. Within this project a comparative study of floodplain definition accuracy is solved in selected river sections. Reference sites are chosen with regard to the diversity of morphological, hydrological and other characteristics of the flow and territories. The results of current floodplains defined by available altimetry data with various accuracy are compared with results of hydrodynamic modeling using new altimetry data. There are given examples of outputs from the processed sites in which comparison was made between input and output model data, including the creation of new floodplain boundaries. The conclusions will be applied in developing the methodology for defining floodplains.

H. Nováková¹, M. Makovcová¹, K. Uhlířová¹, P. Valenta², J. Valentová²

¹VÚV T.G.M., v.v.i, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Tel.: 22019 7226, e-mail: hana_novakova@vuv.cz, marcela_makovcova@vuv.cz

²ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 16629 Praha 6

tel.: 22435 4778, e-mail: valenta@fsv.cvut.cz, valentov@fsv.cvut.cz

1. Úvod

Prezentovaný článek je prvním výstupem projektu bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra České republiky "Klasifikace přesnosti vymezení stávajících záplavových území v ČR a zpracování výsledků do metodiky pro jejich vymezení". Cílem tohoto projektu je provést analýzu vlivu geodetických podkladů na přesnost vymezení záplavových území v ČR. Metodika řešení spočívá v provedení studie porovnávající kvalitu tradičně používaných podkladních výškopisných dat a dat v současné době vytvářeného výškopisu metodou leteckého laserového skenování (dále LLS) pro zvolené referenční lokality s pokud možno vysokou variabilitou základních charakteristik. Současně jsou srovnávány stávající a nově namodelované záplavové čáry. Ty jsou výstupem hydrodynamických 1D a 2D modelů sestavených nad daty LLS.

Na základě porovnání výsledků v referenčních lokalitách bude navržen způsob klasifikace přesnosti vymezení záplavových území na tocích v ČR. Hlavní závěry porovnávací studie budou na konci projektu zpracovány do podoby metodiky vymezení záplavových území. Ta stanoví pravidla vymezení záplavových území z pohledu požadavků na použité podklady, hydraulické aspekty modelování a požadované výstupy.

Způsob a rozsah stanovování záplavových území je dán vyhláškou MŽP ČR 236/2002 Sb. V současné době jsou aktivity spojené s analýzou rizika v záplavových územích řízeny Evropskou směrnicí o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik 2007/60/ES [1].

Projekt navazuje na výsledky výzkumu testování možností použití dat LLS ve vodním hospodářství, který probíhá od roku 2009 na oddělení GIS a kartografie Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M., v.v.i ([2],[3],[4],[5]).

V následujícím textu jsou představeny výsledky prvního roku řešení projektu (rok 2011). Jedná se o porovnání různých vstupních výškopisných dat a čar vymežujících hranice záplavových území jakožto výstupů z hydrodynamického modelování na prvních 5 lokalitách.

2. Metody a data

Letecké laserové skenování je moderní technologie pořizování přesných výškopisných dat. Princip metody je vysvětlen např. v [6]. V současné době (od roku 2009) připravuje Český úřad zeměměřičský a katastrální ve spolupráci s MZe ČR a MO ČR touto metodou novou komplexní výškopisnou vrstvu. Práce spojené se skenováním povrchu, zpracování dat a generování výsledných produktů jsou v rámci území České republiky rozděleny do tří pásem (Střed, Západ, Východ) [7].

H. Nováková¹, M. Makovcová¹, K. Uhlířová¹, P. Valenta², J. Valentová²

¹VÚV T.G.M., v.v.i, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Tel.: 22019 7226, e-mail: hana_novakova@vuv.cz, marcela_makovcova@vuv.cz

²ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Tháškurova 7, 16629 Praha 6

tel.: 22435 4778, e-mail: valenta@fsv.cvut.cz, valentov@fsv.cvut.cz

Výsledné výškopisné produkty, které jsou v projektu využívány jako vstupní data, jsou v zásadě dva:

- digitální model reliéfu území České republiky 4. generace (DMR 4G) ve formě mříže (grid) 5 x 5 m s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu,
- digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G) ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu [4].

Protože zpracování skenovaných dat LLS na pracovišti Zeměměřického úřadu v Pardubicích se překrývá s řešením tohoto projektu, bylo nutné v roce 2011 pracovat s určitými produktovými mezivýstupy DMR 5G (manuálně kontrolovaná klasifikovaná data rostlého terénu *groundMK*, proředěná data před závěrečnou úpravou *5G beta*).

V prvním roce bylo pro účely projektu vybráno 5 lokalit z pásma Střed. Jednalo se o cca 6 – 10 km úseky na tocích Nežárka, Šembera, Doubrava, Lužnice a Jizerka (viz Tab. 1). Jednotlivé lokality se vzájemně liší z pohledu různých charakteristik. Těmi hlavními jsou morfologie inundace, šířka a podélný sklon toku a způsob využití území (intravilán, les, extravilán).

Tab. 1 Základní charakteristiky lokalit

Tok, model	Datum skenování	Délka úseku [km]	Počet profilů/ plocha fot. [km ²]	Šířka toku [m]/sklon [%]	Převažující charakter území	Použitý DMR
Doubrava, 1D	30.3.+7.4.2010	7,4	29	6-15/0,11	extravilán, rovina	4G, ground MK
Šembera, 1D	21.11.2009+ 25.3.+1.4.+ 8.10.2010	6,9	43	2-6/0,23	extravilán, rovina	4G, ground MK
Jizerka, 1D	4.6.+20.8.2010	5,9	45	6-8/1,03	intravilán, pahorkatina	4G, 5G beta
Nežárka, 1D	23.8.+26.8.+ 6.9.2010	10,1	50	10-20/0,1	les, rovina	4G, 5G beta
Nežárka, 2D	23.8.+26.8.+ 6.9.2010	10,1	69/11,1	10-20/0,1	les, rovina	4G, 5G beta
Lužnice, 2D	25.8.2010	10,5	-/11,7	20-60/0,05	intravilán, rovina	5G beta

2.1. Porovnání vstupních dat

Pro stanovování záplavových území byly v průběhu let používány různé výškopisné podklady, jejichž kvalita nepochybně ovlivňuje přesnost výsledku. V rámci projektu byly porovnány tyto datové sady:

H. Nováková¹, M. Makovcová¹, K. Uhlířová¹, P. Valenta², J. Valentová²

¹VÚV T.G.M., v.v.i, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Tel.: 22019 7226, e-mail: hana_novakova@vuv.cz, marcela_makovcova@vuv.cz

²ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 16629 Praha 6

tel.: 22435 4778, e-mail: valenta@fsv.cvut.cz, valentov@fsv.cvut.cz

- geodetické podklady (GEO, zaměření příčných profilů) pro určení záplavových území – zapůjčeno od Povodí Labe s. p.,
- fotogrammetrické měření (FOT)– zapůjčeno od ČVUT v Praze
- zdokonalený výškopis ZABAGED[®] (ZAB, grid10 x 10 m) – zapůjčeno od ČÚZK,
- data LLS – zapůjčena od Zeměměřického úřadu v Pardubicích

Hlavním způsobem porovnání podkladních výškopisů bylo vytvoření příčných profilů terénu v místech geodetického zaměření. Byl proveden rozbor vzájemných rozdílů výškopisů a jejich statistické vyhodnocení. Pro detailnější popis terénu byly pomocí interpolace přidány do profilů další body s rozestupem do 10 m.

Jednotlivé výškopisné podklady byly rovněž plošně porovnávány v prostředí GISve formě rastrů. Rozdíly jsou ukázány v grafických výstupech (mapách).

2.2. Hydrodynamické modelování

V rámci zpracování studie byla aplikována metoda jednorozměrného (1D) a dvourozměrného (2D) modelování proudění vody. Struktura modelovaných případů je zřejmá z tab. 1. Modely byly sestaveny variantně v závislosti na použitém datovém zdroji. V případě 1D modelů byl výchozí verzí model sestavený s využitím geodeticky zaměřených údolních profilů. Porovnávané varianty modelu pak byly konstruovány na základě kombinace zaměřených korytových profilů s inundačními částmi získanými z DMR 4G, resp. DMR 5G.

V případě 2D modelů se postupovalo obdobně s tím, že modely hlavního koryta a vedlejších vodotečí byly totožné a jednotlivé varianty se lišily použitým datovým zdrojem pro modelování inundací (FOT, DMR 4G a DMR 5G).

2.3. Porovnání výstupů hydrodynamického modelování

Základním výstupem numerických modelů proudění jsou informace o poloze hladiny, v případě 1D modelu vázané na výpočtové profily, v případě 2D modelu jako spojitá informace v rozsahu modelu.

Vypočtené průběhy hladin pro zvolené průtokové stavy a dílčí varianty jednotlivých modelů byly dále použity pro vyhodnocení záplavových čar. V případě 2D modelu jsou tato vyhodnocení přímým výstupem modelu. U 1D modelů založených na modelech DMR 4G/5G byly údaje o výšce hladiny protnuty s příslušným výškopisným podkladem a následně revidovány v prostředí GIS. Vyhodnocení původních záplavových čar (modely GEO) se vesměs opíralo o ruční konstrukci čar nad vrstevnicemi mapového podkladu

H. Nováková¹, M. Makovcová¹, K. Uhlířová¹, P. Valenta², J. Valentová²

¹VÚV T.G.M., v.v.i, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Tel.: 22019 7226, e-mail: hana_novakova@vuv.cz, marcela_makovcova@vuv.cz

²ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Tháškova 7, 16629 Praha 6

tel.: 22435 4778, e-mail: valenta@fsv.cvut.cz, valentov@fsv.cvut.cz

ZABAGED[®]. Výsledné polygony záplavových území jsou porovnány ve vektorových grafických výstupech (mapách).

3. Výsledky a diskuze

3.1. Porovnání vstupních dat

Celkem bylo zpracováno 236 příčných profilů v referenčních lokalitách. Výsledky statistické analýzy jsou uvedeny v Tab. 2. Jednotlivé sloupce vyjadřují rozdíly mezi dvěma druhy podkladních výškopisných dat (zkratky viz kap. 2 a 2.1). Pro lokalitu Lužnice nebyly k dispozici referenční geodeticky zaměřené profily (údolní profily byly konstruovány z fotogrammetrického vyhodnocení), proto je ze statistiky vyjmuta.

Tab. 2 Statistické vyhodnocení rozdílů výškopisu v geodeticky zaměřených bodech příčných profilů

Tok		DMR 5G - GEO	DMR 4G - GEO	ZAB – GEO
Doubrava	systematická chyba [m]	-0,04	-0,20	0,13
	úplná střední chyba [m]	0,16	0,33	0,76
Šembera	systematická chyba [m]	-0,03	-0,23	0,55
	úplná střední chyba [m]	0,24	0,44	1,27
Jizerka	systematická chyba [m]	-0,11	-0,29	0,46
	úplná střední chyba [m]	0,81	0,93	2,74
Nežárka	systematická chyba [m]	-0,01	-0,07	-0,20
	úplná střední chyba [m]	0,42	0,51	0,98

Systematická chyba je rovna aritmetickému průměru a ukazuje na celkový trend výšky dat v porovnání s geodetickým zaměřením. Úplná střední chyba odpovídá střední kvadratické chybě RMSE (*Root Mean Square Error*) a určuje celkovou přesnost dat.

Vzhledem k přesnosti geodetických dat ukazují nízké hodnoty úplné střední chyby v porovnání s daty DMR 5G i 4G na kvalitu dat LLS. Data ZABAGED[®] jsou tradičně „nad“ ostatními podklady. Chyby v jejich srovnání s daty GEO jsou několikanásobně vyšší, než u dat LLS.

Ze statistické analýzy rovněž poměrně jasně vyplývá závislost kvality dat na stavu vegetace při skenování. U lokalit skenovaných mimo vegetační období (Doubrava a Šembera, viz Tab. 1) jsou menší odchylky výšek od geodetického zaměření. Vliv dalších charakteristik vodního toku prozatím v tak malém vzorku dat není rozpoznatelný.

Rozdíly ve tvarupříčného profilu koryta a inundace v případě různých výškopisných dat jsou patrné z Obr.1. Ve spodní třetině obrázku jsou vyznačena místa, kam byly vloženy interpolované body.

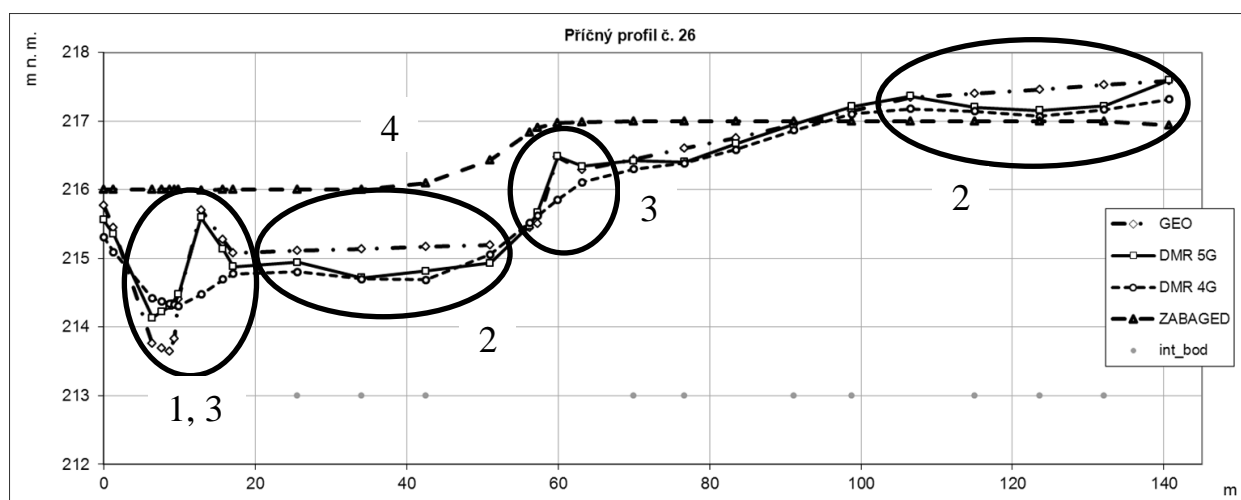
H. Nováková¹, M. Makovcová¹, K. Uhlířová¹, P. Valenta², J. Valentová²

¹VÚV T.G.M., v.v.i, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Tel.: 22019 7226, e-mail: hana_novakova@vuv.cz, marcela_makovcova@vuv.cz

²ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Tháškurova 7, 16629 Praha 6

tel.: 22435 4778, e-mail: valenta@fsv.cvut.cz, valentov@fsv.cvut.cz



Obr. 1 Příčný profil č. 26 na toku Šembera

Obrázek 1 jasně prezentuje základní rysy jednotlivých podkladů:

- 1 – míra vystižení tvaru koryta (LLS nezaznamenává data pod hladinou),
- 2 – větší prostorová hustota dat DMR 4G a DMR 5G lépe popisuje morfologii terénu než geodetické zaměření,
- 3 – vyhlazení terénních zlomů u DMR 4G (břehy, valy, meze, atd.),
- 4 – tvar horní čárkované linie ukazuje na nedostatečnou přesnost výškopisu ZABAGED®.

Ke statistickému vyhodnocení rozdílů rastrů digitálních modelů bylo využito automatických nástrojů GIS. Vzájemně od sebe byly odečteny rastry DMR 5G a DMR 4G, DMR 5G a ZAB a DMR 5G a FOT. Výsledná statistika je uvedena v Tab. 3.

Tab. 3 Statistické vyhodnocení rozdílů výškopisu v rastru 1x1 m

Tok		DMR 5G – DMR 4G	DMR 5G - ZAB	DMR 5G - FOT
Doubrava	systematická chyba [m]	0,09	-0,44	
	úplná střední chyba [m]	0,14	0,96	
Šembera	systematická chyba [m]	0,10	-0,42	
	úplná střední chyba [m]	0,20	1,11	
Jizerka	systematická chyba [m]	0,07	-0,06	
	úplná střední chyba [m]	0,35	2,44	
Nežárka	systematická chyba [m]	0,01	0,07	-0,08
	úplná střední chyba [m]	0,15	0,88	0,43
Lužnice	systematická chyba [m]	0,08	-0,17	0,01
	úplná střední chyba [m]	0,21	0,86	0,38

Nejvíce jsou si, díky metodě pořízení, podobná data DMR 4G a 5G. Fotogrammetrická data mají větší prostorovou hustotu a lépe vystihují tvar terénu, než výškopis ZABAGED® v rastru 10x10 m. Výše hodnoty odchylek je

H. Nováková¹, M. Makovcová¹, K. Uhlířová¹, P. Valenta², J. Valentová²

¹VÚV T.G.M., v.v.i, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Tel.: 22019 7226, e-mail: hana_novakova@vuv.cz, marcela_makovcova@vuv.cz

²ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 16629 Praha 6

tel.: 22435 4778, e-mail: valenta@fsv.cvut.cz, valentov@fsv.cvut.cz

ovlivněna existencí tzv. nejistých hran (data v zakrytém terénu na okrajích zaměření). Data FOT budou v dalším roce řešení analyzovány podrobněji.

3.2. Vymezení záplavových území

Záplavová území vyhodnocená s využitím výsledků numerického modelování nad různými výškopisnými podklady byla zakreslena do map. V následujícím textu jsou uvedeny hlavní poznatky vyplývající z porovnání výsledných čar záplavových území.

Výškopis ZABAGED[®] je v porovnání s moderními daty vysoce nepřesný. To je problematické zejména v místech mezi geodeticky zaměřenými profily. Tam, kde byl pro vykreslení čar záplavových území použit nedostatečně podrobný výškopis ZABAGED[®], může mít terén ve skutečnosti charakter, který zásadně změní rozlivové poměry. Data LLS zde díky prostorovým souvislostem umožňují mnohem přesnější vyhodnocení čar ZÚ.

Výraznější rozdíly v rozlivu povodně jsou obecněji u menších vod (Q_5) než u větších (Q_{100}). Velká povodeň překoná většinu překážek, které jsou ve výškopisných podkladech rozdílně interpretovány.

Vykreslení čar ZÚ je v případě DMR 4G a DMR 5G většinou velmi podobné.

Data, na kterých se záplavové čáry vyhodnocují, mají zásadní vliv na vykreslení záplavových území. Rozdíl mezi vykreslením původních výsledků modelu na datech ZABAGED[®] nebo na fotogrammetrickém podkladu (v zakrytém terénu) a na podkladu z dat LLS může být v některých případech značný.

4. Závěr

Data leteckého laserového skenování znamenají důležitý krok ke zpřesnění vstupních podkladů pro modelování povodňových situací a vyhodnocování záplavových území. Plošná dostupnost těchto dat poskytuje možnost systematické aktualizace a zpřesnění vymezení záplavových území.

Je ovšem nezbytné uvědomovat si limity nových datových sad. Produkt DMR 4G vyhlazuje některé terénní nerovnosti, které mohou mít vliv na vykreslení čáry rozlivu. Absence přesnější identifikace významných terénních hran (komunikace, hrázky apod.) limituje přímou aplikaci těchto dat pro numerické modelování proudění vody. Je zapotřebí předpokládat nutnost kombinace dat 4G s pozemním zaměřením důležitých terénních hran.

Ani podrobnější produkt DMR 5G nedokáže popsat samotné koryto vodního toku. Pro správnou interpretaci terénu pro numerické modelování i vyhodnocování je nutné data doplnit o geodetické zaměření koryt toků, mostů, příčných objektů na toku, propustků pod komunikacemi, atd. Tedy veškerých

H. Nováková¹, M. Makovcová¹, K. Uhlířová¹, P. Valenta², J. Valentová²

¹VÚV T.G.M., v.v.i, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Tel.: 22019 7226, e-mail: hana_novakova@vuv.cz, marcela_makovcova@vuv.cz

²ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 16629 Praha 6

tel.: 22435 4778, e-mail: valenta@fsv.cvut.cz, valentov@fsv.cvut.cz

objektů, které jsou z principu metody anebo vzhledem k jejich přesnosti v datech automaticky těžko identifikovatelné.

Výzkumné práce budou v roce 2012 pokračovat na dalších 6 referenčních lokalitách. Veškeré výsledky budou poté shrnuty v porovnávací studii, která bude sloužit jako podklad pro klasifikaci vymezení záplavových území v ČR.

4. Poděkování

Porovnání geometrických dat ve vztahu k vymezení záplavových území je prováděno v rámci projektu Bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra České republiky "Klasifikace přesnosti vymezení stávajících záplavových území v ČR a zapracování výsledků do metodiky pro jejich vymezení" pod číslem VG20102014010.

5. Literatura

- [1] Směrnice evropského parlamentu A RADY 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik
- [2] Uhlířová, K., Zbořil, A. 2009. Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. VTEI, roč. 51, č. 6/2009, s. 11-15.
- [3] Uhlířová, K., Nováková, H. 2011. Využití dat leteckého laserového skenování ve vodním hospodářství – identifikace příčných překážek v korytě vodního toku. VTEI, roč. 53, č. 6/2011, s. 5-8.
- [4] Uhlířová, K., Nováková, H. 2012. Využití dat leteckého laserového skenování v příbřežních zónách jako podklad pro vymezení záplavových území. Vodní hospodářství, roč. 62, č. 3/2012, s. 82-86.
- [5] Uhlířová, K., Nováková, H. 2012. Využití dat leteckého laserového skenování pro revizi datových sad rozvodnic a vodních toků. VTEI, roč. 54, č. 2/2012, s. 1-4
- [6] Šíma, J. (2011): Příspěvek k rozboru přesnosti digitálních modelů reliéfu odvozených z dat leteckého laserového skenování celého území ČR. Geodetický a kartografický obzor, roč. 2011, č. 5, s. 101-106.
- [7] Brázdil, K. 2009. Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Geodetický a kartografický obzor, roč. 55/97, 2009, číslo 7, s.145–151.

H. Nováková¹, M. Makovcová¹, K. Uhlířová¹, P. Valenta², J. Valentová²

¹VÚV T.G.M., v.v.i, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Tel.: 22019 7226, e-mail: hana_novakova@vuv.cz, marcela_makovcova@vuv.cz

²ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 16629 Praha 6

tel.: 22435 4778, e-mail: valenta@fsv.cvut.cz, valentov@fsv.cvut.cz