



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

POSOUZENÍ EFEKTIVITY PROTIPOVODŇOVÉ A PROTIEROZNÍ OCHRANY MALÝCH POVODÍ

ASSESSMENT OF EROSION AND FLOOD CONTROL MEASURES
EFFECTIVENESS IN SMALL CATCHMENTS

DIZERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

Ing. Jakub Feltl

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Dr. Ing. Petr Doležal

SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program P3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Doktorský studijní program s kombinovanou formou studia
Studijní obor 3607V027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE

Diplomant Ing. Jakub Feltl

Název Posouzení efektivity protipovodňové a protierozní ochrany malých povodí

Vedoucí dizertační práce doc. Dr. Ing. Petr Doležal

Datum zadání dizertační práce

Datum odevzdání dizertační práce V termínech určených časovým harmonogramem akademického roku

V Brně dne

.....
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- MAPOVÉ PODKLADY PRO ŘEŠENÁ ÚZEMÍ - ČÚZK, POLOHOVÉ ZAMĚŘENÍ LOKALIT. MAPY BPEJ. TERÉNNÍ PRŮZKUM LOKALIT.
- CLARKE R.T. (1973): MATHEMATICAL MODELS IN HYDROLOGY. IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER No.19, FAO ROME.
- FELDMAN D. (2006): US ARMY CORPS OF ENGINEERING CENTER, HYDROLOGIC MODELING SYSTEM. HEC-HMS, USER'S MANUAL.
- HORTON R.E. (1945): EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS: HYDROPHYSICAL APPROACH TO QUANTITATIVE MORPHOLOGY. BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ROČ. 56, 70 s.
- JACOBSEN,P., FALK,J.: MATHEMATICAL MODELS FOR SURFACE RUNOFF IN URBAN AREAS, REPORT No.3002 LUND, DENMARK,1987.
- JANEČEK M., ET AL. (2012): OCHRANA ZEMĚDĚLSKÉ PŮDY PŘED EROZÍ. CERTIFIKOVANÁ METODIKA, ČZU, PRAHA, 113 s.
- MAGUIRE D. J. , BATTY M., GOODCHILD M. F. - GIS, SPATIAL ANALYSIS AND MODELING, ISBN: 1-58948-130-5 2005.
- MCCUEN, R.H., SNYDER, W.M. : HYDROLOGIC MODELING. STATISTICAL METHODS AND OPTIMIZATIONS. PRENTICE-HALL, NEW JERSEY,1986.
- MITASOVA, H. : MODELING TOPOGRAPHIC POTENTIAL FOR EROSION AND DEPOSITION USING GIS. U.S.ARMY CONSTRUCTION ENGINEERING RESEARCH LABORATORIES, P.O.Box 9005, CHAMPAIGN, ILLINOIS 61826-9005, U.S.A. DEPARTMENT OF GEOGRAPHY, UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN, URBANA, ILLINOIS 61801, U.S.A. PUBLISHED IN THE INTERNATIONAL JOURNAL OF GIS v. 10, NO. 5, P.629-641 (1996).
- KEMEL,M., KOLÁŘ,V. : HYDROLOGIE, ES ČVUT, PRAHA 1, HUSOVA 5, 1985.
- STARÝ,M. : NÁDRŽE A VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY, VUT BRNO,1990.
- ŠERCL P. (2009): VLIV FYZICKO-GEOGRAFICKÝCH FAKTORŮ NA CHARAKTERISTIKY TEORETICKÝCH NÁVRHOVÝCH POVODŇOVÝCH VLN. SBORNÍK PRACÍ ČHMÚ PRAHA.
- ŘÍHA, J. A KOL. : RIZIKOVÁ ANALÝZA ZÁPLAVOVÝCH ÚZEMÍ, CERM, s.r.o. BRNO, 2005.
- WISCHMEIER W.H., SMITH, D.D. (1965): PREDICTING RAINFALL-EROSION LOSSES FROM CROPLAND EAST OF THE ROCKY MOUNTAINS. AGRICULTURE HANDBOOK 282, US DEPARTMENT OF AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, WASHINGTON DC.

Zásady pro vypracování

Práce bude vycházet ze současného poznání v oboru protipovodňové a protierozní ochrany. V rámci řešení bude využito moderních programových prostředků, zejména prostředí GIS. V práci budou navrženy nové postupy umožňující posoudit efektivitu opatření navrhovaných v rámci protipovodňové a protierozní ochrany. Práce bude obsahovat analýzu poznatků v oboru řešení a teoretickou část popisující navržené metody. Součástí disertační práce bude ověření postupů na vymezených lokalitách.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
doc. Dr. Ing. Petr Doležal
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Práce se zabývá hodnocením efektivity liniových protierozních a protipovodňových opatření, konkrétně záchytných vsakovacích průlehů. Hlavním přínosem je nová metoda posuzování protipovodňového efektu těchto opatření. Problematika je řešena pomocí moderních výpočetních programů a geoinformačních technologií. Využity byly programy ArcMap a HEC - HMS. Výsledkem je ekonomické posouzení variantních řešení navrhovaných opatření jak z hlediska protierozní, tak i z hlediska protipovodňové efektivity, jež vede k optimalizaci návrhu a k úsporám investičních nákladů. Navržený postup je vzhledem k relativně malým nárokům na čas, možno úspěšně aplikovat v praxi při návrzích těchto druhů opatření (PSZ, studie...).

Klíčová slova

protierozní opatření, povodeň, protipovodňová ochrana, malé povodí, srážka, retence, kulminační průtok

Abstract

Thesis is about assessment of erosion and flood control measures effectiveness, especially of broad base terraces. The main contribution is a new method of flood effect evaluation of these measures. This is solved by modern programs and geospatial technologies such as ArcMap and HEC - HMS. Economic assessment in alternative solutions of flood and erosion control effect is a main result which leads to optimal technical proposal. The proposed, relatively fast, method can be successfully applied in practice.

Keywords

erosion control measures, flood, flood control, small watershed, rainfall, retention, peak discharge

...

Bibliografická citace VŠKP

Ing. Jakub Feltl *Posouzení efektivity protipovodňové a protierozní ochrany malých povodí*. Brno, 2016. 66 s., 48 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Petr Doležal

.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6.11.2016

.....
podpis autora
Ing. Jakub Feltl

Poděkování:

Úvodem práce bych rád poděkoval školiteli doc. Dr. Ing. Petru Doležalovi za cenné rady, náměty a připomínky, které mi dával nejen při psaní disertační práce. Dále chci poděkovat své rodince za podporu a trpělivost, kterou mi věnovali v průběhu celého studia a stejný dík patří také rodičům. Jedno extra poděkování letí tam nahoru tátovi za vše, co dokázal a udělal nejen pro mě. Děkuji také všem ostatním, kteří mi při cestě k odevzdání práce pomohli a podpořili mě.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Hlavní cíl práce	3
3	Extrémní povodně na malých povodích	5
4	Téma ve světové a české odborné literatuře	8
4.1	Terminologie.....	8
4.2	Legislativa v ČR	8
4.3	Základní rešerše literatury.....	11
5	Metody řešení	13
5.1	Použitý software	13
5.2	Popis použitých výpočetních metod	14
5.2.1	Transformace přímého odtoku	15
5.2.2	Hydrologická transformace	17
5.2.3	Hydraulická transformace	19
5.2.4	Transformace nádrží	20
5.2.5	Stanovení erozního smyvu	21
5.3	Popis ukazatelů ekonomické efektivity.....	22
5.3.1	Náklady na realizaci opatření	23
5.3.2	Finanční ohodnocení protierozního efektu	24
5.3.3	Finanční ohodnocení protipovodňového efektu.....	25
6	Metoda posouzení vlivu liniových opatření	26
7	Praktická aplikace navrhované metody.....	31
7.1	Vybraná experimentální povodí.....	31
7.1.1	Povodí Němčického potoka	31
7.1.2	Povodí Starovického potoka	32
7.2	Kalibrace Srážko-odtokových modelů.....	33
7.3	Ukázky výsledků řešení.....	36
7.3.1	Protipovodňový efekt – povodí Němčického potoka.....	36
7.3.2	Protipovodňový efekt - povodí Starovického potoka	43
7.3.3	Protierozní efekt - povodí Němčického potoka	48
7.3.4	Protierozní efekt - povodí Starovického potoka	49
7.3.5	Hodnocení ekonomické efektivity	50
8	Shrnutí výsledků.....	53
9	Závěr	54
10	náměty pro další pokračování	56
11	Seznam symbolů.....	57
12	Seznam obrázků a tabulek.....	59
13	Seznam použité literatury.....	61
14	Publikační činnost	66

1 ÚVOD

Protipovodňová ochrana je soustavnou činností člověka po dlouhá desetiletí. Naproti tomu potřebu protierozních opatření si člověk uvědomuje až v poslední době. Zatímco efekt protipovodňových opatření lze poměrně jednoduše vyjádřit například počtem ochráněných osob případně hodnotou chráněného majetku, do hodnocení efektu protierozní ochrany vstupuje velké množství proměnných. Nicméně vzhledem k tomu, že půda je do značné míry neobnovitelný přírodní zdroj, který má pro mnoho vlastníků a uživatelů nevyčíslitelnou hodnotu, neměla by být efektivita takových opatření vodítkem k tomu, zdali je realizovat či nikoliv, ale k tomu kde je realizovat, aby měla co možná největší efekt a to nejen z hlediska protierozní ochrany.

Mnohé bylo napsáno o tom, že naši předci velmi dobře hospodařili a udržovali krajinu. Bylo by snadné vrátit se k tomuto způsobu hospodaření, podkladů k tomu existuje mnoho. Žijí také pamětníci. Plocha území ČR přece v minulosti živila více obyvatel než dnes. Proč se to tedy nedělá? Každá zadržaná kapka vody v ploše povodí je dobrá. Platí to skutečně? Není to spíše pravidlo platné pro menší povodně a velké povodně neovlivní nic, případně jen velmi rozsáhlá opatření?

Není systém několikanásobně pokřiven dotacemi? Hospodařící subjekt velice často nehospodaří na svých pozemcích a nezáleží mu na stavu půdy tak, jako kdyby byla jeho. Není největší chybou to, že se často řeší následek a nikoliv příčina a právě na následnou eliminaci negativních dopadů jsou i dotace? Paradoxně, největší investice jdou do dolních částí povodí, kde není možno řešit již nic jiného nežli následek. To je dáno zejména projevem povodní, kdy na dolních tocích řek trvá povodeň často mnoho dní. Média tato území dobře zmapují, což vytvoří dojem, že právě na ochranu těchto míst je třeba realizovat opatření. Je vytvořen velký tlak na správce vodních toků. Horním částem povodí, kde povodeň vzniká a trvá třeba jen hodiny (i s dramatickým průběhem) se taková pozornost zdaleka nedostává. Je to samozřejmě způsobeno i tím, že se může jednat o území velmi řídko obydlená, kde povodeň nikdo ani nezaregistruje. Drobné vodní toky jsou v pozadí zájmu i přesto, že jejich celková délka výrazně překračuje délku těch významných. Roli správců povodí se nedaří v těchto územích zcela naplňovat.

Suché nádrže jsou velmi efektivní nástroj protipovodňové ochrany, neřeší však erozi půdy. Jen pár osvětlených hospodářů vozí či by vozilo v zátopě usazenou ornici zpět na pole. Existují však alternativní opatření k suchým nádržím se stejným protipovodňovým efektem, které současně řeší erozi půdy. Proč se o nich méně publikuje a ještě méně se realizují?

Na výše uvedenou polemiku reaguje předkládaná dizertační práce. Nejvíce se však věnuje poslednímu zmíněnému tématu. Používá k tomu novátorského přístupu, kdy srážko-odtokové vztahy řeší v prostředí modelu HEC-HMS. Někdo by mohl namítnout, že odtok z malých povodí je možno poměrně snadno modelovat pomocí metody SCS-CN integrované například v programu DESQ-MAXQ. Tento program však umí řešit maximálně jednoduché povodí tvořené dvěma údolními svahy. Model HEC-HMS je schopen komplexně pojmut povodí řádově velikosti i desítek km² a je možno hodnotit synergický efekt opatření v ploše povodí. Model HEC-HMS je freeware, takže je možno jej snadno aplikovat například v úrovni jednoho zemědělského podniku.

Každý byť sebelépe zpracovaný návrh je nutno projednat s vlastníky a uživateli pozemků. Toto bývá hlavním důvodem nerealizovatelnosti opatření. Nicméně návrh zpracovaný metodicky podle předkládané práce je v podstatě neobjektivnější a neefektivnější. Není tedy možno najít lepší řešení a argument "opatření nejsou špatná, ale realizujte si je na jiných než mých pozemcích" neobstojí.

Drobná opatření nemohou fungovat jinak nežli ve velkém počtu rozestá v celé ploše povodí. Jelikož předkládaná práce do značné míry aplikuje nové přístupy, je třeba začít právě na malých povodích.

Malá povodí jsou velmi specifická hydrologická území s plochou do cca 10 km², některé publikace uvádějí až několik desítek km² (např. Dostál et al., 2008). Reakce na přívalové srážky způsobující povrchový odtok v jednotlivých malých povodích jsou velmi rozdílné. Transformace příčných srážek je určována mnoha faktory, mezi které patří například pedologické vlastnosti, terénní reliéf, využití území a další, které ovlivňují celkovou retenci vody v území. Ve většině malých povodí není dostatečně vyvinuto říční koryto a údolní niva, takže se v těchto úsecích toků neprojevuje významná přirozená hydraulická transformace kulminačního průtoku rozlivem do inundačních zón.

V úvodu je také nutno zmínit, že k dané problematice bylo již mnoho publikováno. Z tohoto důvodu je v práci akcentována stručnost, zdůrazněna je aplikace metodik a nových přístupů a částečně také interpretace zkušeností z projekční praxe. Autor překládané práce se věnuje tématu dlouhodobě a má bohatou publikační činnost. Právě detailními analýzami a testováním srážko-odtokového modelu se zabývají odborné články uvedené v závěru této práce, která zároveň mozaiku těchto článků spojuje v jeden srozumitelný celek.

Zkušenosti bohužel ukazují, že nejtěžším úkolem není vytvoření dokonalého technického řešení navrhovaných opatření s vysokou efektivitou protipovodňovou, protierozní i ekonomickou. Nejtěžším úkolem zůstává inženýrská činnost a hlavně majetkoprávní projednání s vlastníky dotčených pozemků. V praxi to potom může vypadat přibližně takto: V rámci prvního stupně projektové dokumentace (studie, investiční záměr, ...) jsou v celé řešené lokalitě (většinou více katastrálních území) navrženy desítky liniových opatření (v kombinaci s dalšími druhy opatření) a to tak, že je vyřešena protipovodňová ochrana obce a snížen erozní smyv na všech řešených půdních blocích pod přípustnou mez. Součástí prvního stupně je většinou i dotazníkové šetření (majetkové předjednání) s dotčenými vlastníky pozemků pod navrhovanými opatřeními. Výsledkem v mnoha případech bývá, že vlastník s navrhovaným záměrem nesouhlasí. Otázkou zůstává, zda je to osobní názor vlastníka pozemku, či zemědělského družstva, které si pozemek od vlastníka pronajímá. Na konci první fáze zůstává realizovatelný jen zlomek navržených opatření.

Z této množiny si následně investor (většinou obec) vybírá, která z opatření mají vysokou pravděpodobnost realizace a k těm nechává zpracovat další stupeň projektové dokumentace (DÚR). Počet vybraných opatření je částečně ovlivněn celkovou předpokládanou cenou realizace (i když je tento druh opatření podporován dotačními tituly, nemusí to být vždy ze 100 % a v tomto případě investor zvažuje, zda bude mít dostatek finančních nákladů na kofinancování projektu). V této fázi je zapotřebí závazných smluvních vztahů se všemi vlastníky dotčených pozemků, případně výkup části těchto pozemků do vlastnictví investora. Po vydání územního rozhodnutí jsou pevně dány hranice parcely, na které je možné dílo realizovat.

Následuje vypracování dokumentace ke stavebnímu povolení, vydání stavebního povolení, vypracování dokumentace k realizaci stavby, výběrové řízení na dodavatele stavby a konečně realizace díla.

Na konci tohoto, většinou několikaletého cyklu, jsou realizovány jednotky opatření, ale i to lze považovat za velký úspěch.

Optimističtější situace nastává v případě, že návrhy ze studie jsou přebrány do připravované komplexní pozemkové úpravy. Ta řeší komplexně celé katastrální území (v obvodu KPÚ) včetně plánu společných zařízení a majetkoprávního projednání. V tomto případě dochází k vyčlenění pozemků (ve vlastnictví obce) přímo pro jednotlivá opatření. Realizaci následně zajišťuje a financuje Státní pozemkový úřad. I tak se jedná o několikaletý proces od návrhu po realizaci opatření.

2 HLAVNÍ CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je sestavení a prověření metody posuzování účinnosti protipovodňových a protierozních opatření v malých povodích s důrazem na liniová opatření (záchytné průlehy). Hlavním ukazatelem účinnosti těchto opatření je protipovodňový efekt a ekonomická efektivita, tzn. náklady na realizaci (včetně všech vedlejších nákladů) versus finanční ohodnocení přínosů spojených s realizací těchto opatření. Cílem je tedy definovat maximální počet ukazatelů, které do tohoto vztahu vstupují.

Snížení dlouhodobého průměrného erozního smyvu vlivem těchto opatření je jasně definováno faktorem délky svahu v universální rovnici ztráty půdy (Weischmeir – Smith). Do této chvíle však nebylo jasně specifikováno, jakým způsobem je možné kvantifikovat vliv těchto opatření na parametry povrchového odtoku. Tuto mezeru se snaží vyplnit předkládaná dizertační práce.

Zvyšování retenční schopnosti krajiny je jedním z velmi významných nástrojů komplexní protipovodňové ochrany a zároveň také nástrojem adaptačním na potenciální klimatickou změnu. Zvyšování retenční schopnosti krajiny je možné dosáhnout různými druhy opatření. Jednak zvýšením infiltrační schopnosti povrchu území a jednak zadržením části přímého povrchového odtoku a jeho postupným neškodným zasáknutím. Tato opatření slouží ke snížení kulminačního průtoku a objemu přímého odtoku. Základní druhy protipovodňových a protierozních opatření jsou:

- Organizační opatření
- Agrotechnická opatření
- Technická opatření

Významným nástrojem pro retenci vody v krajině a protipovodňovou ochranu jsou bezesporu vodní nádrže, ať už se stálou hladinou nadržení, či suché retenční nádrže. V případě těchto technických opatření jsou jasně definovány postupy a metody, které přesně kvantifikují kolik vody je daná nádrž schopna zadržet, jaký bude mít transformační účinek a jakým způsobem ovlivní odtokové poměry v dané lokalitě. Protierozní efekt těchto opatření je však nulový.

Hlavním účelem organizačních opatření je snížení erozního ohrožení půdy a zvýšení infiltrace, čímž je dosaženo snížení objemu přímého povrchového odtoku. Základním principem organizačních opatření je vyloučení erozně nebezpečných plodin (okopaniny, kukuřice a ostatní širokořádkové plodiny) z pozemků, které nejsou rovinné nebo mírně sklonité.

Nejvíce podléhá erozi půda bez vegetačního pokryvu. Agrotechnická protierozní opatření jsou proto založena na minimalizování časového úseku, kdy je půda bez vegetačního pokryvu. Tohoto účelu je docíleno výsevem širokořádkových plodin do meziplodin, předplodin, mulče a jiné biomasy, která zvyšuje malou protierozní ochranu kukuřice, okopanin a dalších širokořádkových plodin.

Pokud nelze dosáhnout dostatečné protierozní ochrany organizačními a agrotechnickými opatřeními, je možné použít technická liniová protierozní opatření, jako jsou terénní urovnávky, vrstevnicové meze, terasy, příkopy, průlehy a ochranné hrázky.

Tyto technické liniové prvky protierozní ochrany vytvářejí trvalou překážku přerušující příliš velké délky svahů a omezující škodlivé působení soustředěného povrchového odtoku. Jsou navrhovány i tak, aby svou lokalizací usměrňovaly směr obdělávání pozemků a způsob hospodaření zemědělských subjektů. Vedle základní protierozní funkce mají spolu s doprovodnou zelení význam i z hlediska krajinně-estetického a ekologického. A díky schopnosti zadržet část povrchového odtoku také funkci retenční a protipovodňovou. Tento typ opatření lze chápat také jako adaptační opatření na potenciální klimatickou změnu. V poslední době se ukazuje, že problémem stejně významným jako jsou povodně, je, a bude, sucho, konkrétně dlouhé suché periody ve vegetačních obdobích (agrosucha). Jsou-li výše

zmíněná opatření realizována v územích, kde je možno infiltrací doplňovat mělké či hluboké zvodně podzemních vod, jedná se v podstatě o realizaci neúčinnějších adaptačních opatření. Typicky se jedná o území s půdami s vysokou infiltrační schopností. V oblastech, kde se vyskytují půdy s vysokou retenční vodní kapacitou, dochází k dlouhodobějšímu zadržení vody v krajině.

Účinnost těchto opatření není závislá jen na velikosti jejich retenčního prostoru, ale na mnoha dalších faktorech jako je situační rozmístění v rámci povodí, podíl plochy povodí liniových opatření k ploše celého povodí v pozorovaném profilu a mnoha dalších.

Přesné definování jejich účinnosti na parametry povrchového odtoku je důležité z hlediska následného návrhu ochrany území a ekonomické efektivity těchto opatření.

Výše uvedených cílů práce je dosahováno pomocí moderních výpočetních programů, které umožňují využití všech dostupných podkladů, jejich rychlé zpracování a vytvoření dostatečně reprezentativních modelů řešených území.

3 EXTRÉMNÍ POVODNĚ NA MALÝCH POVODÍCH

Příčiny a průběh povodní z přivalových srážek jsou obecně velmi dobře známy. Vyhodnocování historických povodní je doménou klimatologů. Existují četné publikace věnující se celé České republice či větším regionům na území ČR (Bukáček, 1999; Brázdil 2002; Brázdil et al., 2005; Macková et al., 2007) případně detailnímu studiu lokálních či regionálních povodní (Brázdil et al., 2010; Dreiseitl, 2011). Po každé významnější povodni (regionální či lokální) vydává Český hydrometeorologický ústav (i ve spolupráci s příslušným správcem povodí, případně s VÚV TGM, v.v.i.) zprávy o povodni.

Nicméně detailní analýzy povodní na malých povodích jsou stále upozadovány. Z tohoto důvodu je na tomto místě předkládané dizertační práce zmínka o dvou extrémních povodních, o kterých není mnoho publikováno, respektive se na ně částečně zapomnělo. Územně byla vybrána povodí geograficky blízká povodím řešeným v praktické části předkládané dizertační práce.

Sloup na Blanensku, 26. Května 2003

Celé území Sloupska náleží k povodí řeky Svitavy. Říční síť je zde především tvořena řadou ponorných toků vtékajících do řeky Punkvy, která ústí v Blansku levobřežně do řeky Svitavy. Punkva vzniká v podzemí spojením několika vodních větví. Na západní straně Sloupu je hlavním tokem potok Luha, na východě, u Holštejna, je to Bílá voda. Asi půl km před Sloupem protéká Luha na vápencovém podkladu a vtéká do podzemí. Na jižním konci Sloupu přijme svůj hlavní přítok Žďárnou. Soutokem se vytváří Sloupský potok, který se po několika stech metrech toku po povrchu ztrácí do podzemí ponorem u Hřebenáče a ve velké jeskyni Staré skály.

V pondělí 26. května se v ranních hodinách bouřková činnost omezovala na Čechy, ale kolem 10:30 se vytvořil výrazný komplex konvektivních bouří v oblasti jižních svahů Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku. Tato multicela postupně pomalu propagovala směrem k jihu a k jihozápadu. Konvektivní činnost na Blanensku začala mezi 13:00 – 13:30, kdy se 4 km severovýchodně od obce Rájec-Jestřebí vytvořila první konvektivní buňka. Téměř stacionární výrazná konvektivní činnost se v této oblasti udržovala až do 15:30. Právě stacionarita intenzivních bouřkových buněk v oblasti mezi obcemi Sloup, Němčice a Rájec–Jestřebí způsobila přivalovou povodeň. Jádrem srážek bylo na rozvodnici mezi obcemi Petrovice, Ždár a Němčice. Větší část z těchto srážek odtékala ve směru na Sloup, menší část na druhou stranu rozvodnice od Ráječka až po Újezd u Boskovic. Další jádro srážek v této oblasti bylo nad Lažánkami. Plošné rozložení srážek bylo velmi nerovnoměrné. V Němčicích byl 24hodinový srážkový úhrn 90 mm, v Petrovicích 64 mm a ve Sloupu 33,8 mm. Na rychlé a výrazné odezvě v tocích se hlavně podílela velká intenzita srážek, kdy v Petrovicích za 45 minut spadlo 60 mm srážek z celkového denního úhrnu srážek 64 mm. Voda po zaplnění stálých i občasných toků tekla i všemi úžlabinami. Po vybřežení, ucpání propustků a velké části mostků protékala plošně i rozsáhlou částí Sloupu a zanechávala za sebou velké množství bahnitých nánosů a různého materiálu, který byl splaven z plochy povodí. Místy se nacházely i silné vrstvy spadlých a naplavených krup, které vydržely nerozpuštěné až celý týden. Na záznamu vodoměrné stanice ČHMÚ v dolní části obce Sloup byl zachycen neobvykle rychlý nejen vzestup hladiny Sloupského potoka o 236 cm za 80 minut (z toho za 25 minut o 177cm), ale i podobně rychlý pokles o 207 cm za 95 minut. Maximální vodní stav byl kolem 15:20 ve výši 277 cm a kulminační průtok byl $32,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je více jak 100letý průtok. Objem povodňové vlny byl malý a navzdory oběma po sobě jdoucím povodním v jednom měsíci Sloupský potok při ploše povodí téměř 50 km^2 krátce po povodni vyschl. Ve vodoměrné stanici v Bílovicích nad Svitavou se tato povodňová epizoda projevila zvýšením vodního stavu jen o 98 cm a zvýšením průtoku z necelých $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na kulminační průtok $26,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ještě téhož dne.



Obr. 1 Povodeň ve Sloupu (archiv Jaroslava Sokola a Deník/Jan Charvát)

Povodeň, která postihla několik obcí na Blanensku, způsobila škody za více než 26 milionů korun. Přivalové deště s krupobitím zatopily jen v obci Sloup 80 domů, garáže, obecní úřad, restauraci, poštu, hřiště i provozní budovu Sloupsko-šošůvských jeskyní. Ničivé přivalové deště zasáhly dále obce Žďár, Doubravici nad Svitavou, Kuničky, Lažánky, Ráječko, Boskovice, Újezd u Boskovic, Petrovice, jeskyně Moravského krasu a další.

Povodí Trkmanky, 27. 8. 1989

Povodňová vlna z přivalových srážek zasáhla v srpnu 1989 části povodí Trkmanky, zejména pak Spálený potok a Harasku s jejími přítoky. Velmi zajímavé je vyhodnocení povodňové situace pracovníky ČHMÚ (Kotrnc et al., 1989), kteří se ve zprávě o povodni věnují i problematice eroze a ovlivnění postupu povodňové vlny splaveninami.

Ze závěrů nejrůznějších výzkumů vyplývá, že je-li obtížné stanovit průtočné množství vody v tocích v běžných podmínkách, mimořádně obtížné je tento úkol splnit při hodnocení povodní. Velmi pak při rekonstrukcích povodňových vln mrzí zjištění, že při hydrotechnických výpočtech různých zásahů na vodotečích, ale i v intenzivně obhospodařované krajině byly značně nadhodnoceny návrhové rychlosti pohybu vody, a že se v podstatě vůbec nepočítá s pohybem vody, která je výrazně znečištěná splaveninami a transportovanými rozpuštěnými látkami. Při použití reálnějších průtočných rychlostí při projektování a realizaci vodních staveb by v mnoha případech k řadě povodňových škod vůbec nemuselo docházet.

Průběh povodňové vlny byl zvláště dramatický v horní části povodí Harasky a zejména pak na Diváckém potoce. V Divákách, které byly vůbec v zóně elementárních odtokových ploch nejvíce zasaženy i poškozeny, místní potok vytvářejí tři víceméně periodické toky, z nichž žádný nebyl uvedenými oddíly deště shodně zasažen. V povodí SV od obce Diváky, jež odvodňuje přítok od Šitbořic ($A = 2,25 \text{ km}^2$) dokonce došlo k průkaznému podchycení této skutečnosti monitorovacími přístroji. Limnigraf této stanice reagoval na všechny 3 rozhodující oddíly srážky i na následné povodňové vlny z horní části povodí, ombrograf situovaný rovněž při bázi údolí však zaznamenal pro poruchu až poslední z rozhodujících 3 oddílů deště.

První povodňová vlna v Divákách se začala utvářet v povodích Z a SZ od obce ($A = 2,45 \text{ km}^2$, resp. $1,66 \text{ km}^2$) a jen částečně v povodí SV od obce krátce po 15:35 a trvala přibližně do 16:50. Úklidové práce, které následovaly, museli občané okolo osmnácté hodiny přerušit, neboť za druhé průtrže mračen s krupobitím se utvářela oproti předchozí povodňové vlně stavově i průtokově vyšší a průběhem rychlejší vlna – opět z povodí SZ a Z od obce a jen částečně z povodí SV od obce (trvání deště jednu hodinu). Tato vlna v dolní části intravilánu Divák kulminovala, po kratším poklesu průtoku okolo 19:00, přibližně v 19:20 až 19:35 po plném zapojení odtoku vody z povodí SV od obce, v jehož dolní části od 18:18 do 19:24 napršelo ve třetím oddílu deště 133,7 mm.

Vytvořená dvojná postupovala údolím, kde postupně přibírala především vodu z více zasažené levé části povodí a při zaústění do Harasky kulminovala průtokem $Q = 20,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Podobný průběh povodně byl v povodí Harasky nad Diváckým potokem, zejména v jeho pravé (bezejmenný přítok od Šitbořic, $A = 2,44 \text{ km}^2$). Zde byly srážkové úhrny při rozvodnici pravděpodobně shodné jako v Divákách. Ve značných inundacích přirozených i umělých se povodňová vlna výrazně transformovala, takže při soutoku s Diváckým potokem při druhém vrcholu vlny, který byl opožděn za kulminací na Diváckém potoce, kulminovala průtokem „jen“ $Q = 15,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (při $A = 11,82 \text{ km}^2$). Pod soutokem Harasky a Diváckého potoka ($A = 19,22 \text{ km}^2$) se vytvořila vlna s pravděpodobným vrcholem $Q = 30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Haraska v profilu hráze rybníka kulminovala netransformovaným průtokem druhého vrcholu dvojná $Q = 31,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ve 20:00, když první vrchol dosáhl $Q = 22,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ asi v 19:45.

Během povodně došlo k přelítí a poškození koruny hráze Boleradického rybníka (objem 31 tis. m^3). Rybník byl 27. 8. 1989 před začátkem povodně naplněn až po hranu bezpečnostního přelivu. Rybník svým neovladatelným prostorem o výšce 147 cm výrazně zploštil a transformoval povodňovou vlnu na $Q = 18,5$ až $19,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ resp. $Q = 25$ až $26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (druhý vrchol). Současně vlastní kulminaci druhého vrcholu pod rybníkem „oddálil“ až o 60 minut.

Od Boleradic až po ústí Harasky do Spáleného potoka ($A = 50,95 \text{ km}^2$) se povodňová vlna opět značně transformovala na $Q = 14,0$ až $14,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V profilu vodoměrné stanice Trkmanka, Bořetice začal pozvolný vzestup průtoku okolo 22:50 a kulminoval v 9:00 28. 8. 1989 za $Q = 10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Je důležité poznamenat, že průtoková vlna z povodí Trkmanky, nad Spáleným potokem zůstávala zcela v korytě i za kulminace při $Q = 6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Průtoku vyšších než Q_{100} bylo dosaženo na Harasce, v profilu hráze Boleradického rybníka ($Q_{100} = 27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $Q_{\text{max}} = 26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), pod hrází lze dosažené průtoky hodnotit jako blízké Q_{100} . Maximální průtok transformované povodňové vlny ve stanici Trkmanka, Bořetice ($Q_{28.8.1989} = 10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byl nejvyšší 2 až 5ti letý ($Q_2 = 8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{100} = 36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Z hlediska hydrologicko-erodologického se řadí povodí Trkmanky do skupiny nejvíce problematických povodí na Moravě. Toto se potvrdilo jak v červnu 1970, tak zejména v posledních desetiletích s vrcholem v srpnu 1989. Dne 27. 8. 1989 byl v řadě míst v povodí Spáleného potoka odnos půdy charakterizovaný VI. stupněm eroze (katastrofální eroze s odnosem převyšujícím $200 \text{ m}^3/\text{ha}$, respektive $320 \text{ t}/\text{ha}$).

Příčinné dešťové srážky o úhrnu větším než $125 \text{ mm}/\text{den}$, jejichž pravděpodobnost výskytu je 50 až 100 let, vyvolávají v zóně velmi malých povodí (do 10 km^2) v našich fyzicko-geografických podmínkách vždy hydrologicko-erodologickou katastrofu. Navíc je nutno připustit skutečnost, že celý úhrn bude dosažen v poměrně krátkém časovém úseku, obvykle dvou až čtyř hodin. Pokud se tyto srážky vyskytnou navíc v období, kdy stav vegetace či uplatněné agrotechnické zásahy neumožňují dostatečnou ochranu nejsvrchnější půdní vrstvy, nelze katastrofám zabránit. Vhodnou hospodářskou činností při ochraně a tvorbě povodí a krajiny můžeme ale často škody zmírnit a tím značně snížit i ekonomické ztráty.

4 TÉMA VE SVĚTOVÉ A ČESKÉ ODBORNÉ LITERATUŘE

Předkládaná dizertační práce je bezesporu přínosná svou společenskou aktuálností a v podstatě i ekologickou naléhavostí. Protipovodňová a protieroční ochrana je a bude v popředí zájmu ještě několik desetiletí. Vždyť například v rámci Operačního programu Životní prostředí bylo v prvním období mezi lety 2007 – 2013 alokováno v prioritní ose 6.4 přes 200 milionů Kč a v období mezi lety 2014 - 2020 je na tato opatření alokováno v rámci specifického cíle 4.3 (posílení přirozené funkce krajiny) přes 4 miliardy Kč. Zároveň existuje určitá společenská povinnost k zachování přírodního dědictví.

4.1 TERMINOLOGIE

Terminologie problematiky protipovodňové a protieroční ochrany je dostatečně všeobecně známa. Nicméně na tomto místě je vhodné uvést vybrané termíny, které nejsou buďto zcela známé či jsou interpretovány nesprávně. Zároveň jsou také uvedeny termíny typické po využívání software, zejména HEC-HMS.

fluviální systém – povodí vodního toku v pojetí vstupů a výstupů

hydrogram – grafické znázornění průběhu odtoku v čase

hydrologická transformace – část z celkového úhrnu příčinné srážky, která se dále nepodílí na přímém povrchovém odtoku, tvořena z infiltrace, povrchové retence, intercepce, navlhání a evapotranspirace

hydraulická transformace – vzniká průtokem soustředěného povrchového odtoku říční sítí, vlivem interakce mezi povrchem (s různou hydraulickou drsností) a proudící kapalinou

hyetogram – grafické znázornění rozdělení celkového srážkového úhrnu v čase

příčinná srážka – srážkový úhrn, který vyvolá v zasaženém povodí odezvu ve formě soustředěného odtoku, případně povodňového průtoku

přímý odtok (výška přímého odtoku) – část srážky odtékající po nasycení půdy po povrchu

retenční prostor (kapacita) – maximální objem odtoku, který je schopno zachytit liniové (či jiné retenční) opatření v závislosti na jeho návrhových parametrech (délka, příčný řez)

transformace povodně – změna průběhu odtoku vody v čase vlivem přírodních či antropogenních podmínek (v nivě, v nádrži)

experimentální povodí – povodí s osazenými pozorovacími přístroji (ombrograf, měrný přeliv s automatickým snímáním hladiny, ...), jejichž výsledky slouží k vědeckým účelům (kalibrace modelů, ověřování teoretických výpočtů...)

4.2 LEGISLATIVA V ČR

Protieroční a protipovodňová ochrana je zakotvena v celé řadě českých právních předpisů. Vstupem do Evropské unie se Česká republika zavázala k implementaci a plnění právních předpisů EU.

K problematice způsobování škod se hovoří v občanském zákoníku, který ukládá tzv. obecnou prevenční povinnost. Podle § 415 zákona č. 40/1964 Sb. (starého občanského zákoníku) byl každý povinen: „počínat si tak, aby nedocházelo ke škodám na zdraví, na majetku, na přírodě a životním prostředí.“

Dne 3. 2. 2012 byl vyhlášen nový občanský zákoník, zákon č. 89/2012 Sb. občanský zákoník, který nabyl účinnost ke dni 1. 1. 2014. Dle § 2900 „je každý povinen počínat si při svém konání tak, aby nedošlo k nedůvodné újmě na svobodě, životě, zdraví nebo na vlastnictví jiného.“ Dle § 2924 (Škoda z provozní činnosti) platí, že „Kdo provozuje závod nebo jiné zařízení sloužící k výtěžné činnosti, nahradí škodu vzniklou z provozu, ať již byla způsobena vlastní provozní činností, věcí při ní použitou nebo vlivem činnosti na okolí. Povinnosti se zprostit, prokáže-li, že vynaložil veškerou péči, kterou lze rozumně požadovat, aby ke škodě nedošlo.“

Podle § 3 odst. 1 zákona č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu je zakázáno „způsobovat ohrožení zemědělské půdy erozí překračováním přípustné míry jejího erozního ohrožení stanovené prováděcím právním předpisem; přípustná míra erozního ohrožení se stanoví na základě dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vyjádřené v tunách na 1 ha za 1 rok v závislosti na hloubce půdy“ a „poškozovat fyzikální, chemické nebo biologické vlastnosti zemědělské půdy jejím zhuťňováním, zamokřováním, vysoušením, překrýváním nebo narušováním erozí.“

Na základě směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů (nitratová směrnice), bylo vydáno Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech. Směrnice je základem tzv. zásad správné zemědělské praxe. Zásady jsou sepsány pro subjekty hospodařící mimo tzv. zranitelné oblasti a mají na rozdíl od Nařízení vlády doporučující charakter. Toto Nařízení vlády bylo následně pozměňováno a nahrazeno Nařízením vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programem.

§ 10

Střídání plodin ve zranitelných oblastech

(1) Při pěstování jednoletých plodin je nutné omezit mezidobí bez porostu v zájmu omezení eroze půdy a snížení vyplavování živin.

(2) Při obnově trvalých travních porostů a po zaořávce jetelovin je nutné vysévat v nejbližším agrotechnickém termínu následné plodiny. Jestliže po jetelovinách následuje jarní plodina, je třeba porost jetelovin zaorat co nejpozději na podzim.

§ 11

Hospodaření na svažitých zemědělských pozemcích

(1) Na zemědělských pozemcích od 1. července příslušného kalendářního roku do 30. června následujícího kalendářního roku, podle evidence půdy vedené podle jiného právního předpisu, se vyskytuje půda

a) silně erozně ohrožená - nebudou se pěstovat širokořádkové plodiny kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok; porosty obilnin a řepky olejné na takto označené ploše budou zakládány s využitím půdoochranných technologií; v případě obilnin nemusí být dodržena podmínka půdoochranných technologií při zakládání porostů pouze v případě, že budou pěstovány s podsevem jetelovin nebo jetelotravních směsí,

b) mírně erozně ohrožená - zajistí se, že širokořádkové plodiny kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok budou zakládány pouze s využitím půdoochranných technologií.

Tyto podmínky nemusí být dodrženy na souvislé ploše s výměrou nižší než 0,4 ha zemědělské půdy, jejíž delší strana je orientována ve směru vrstevnic s maximální odchylkou od vrstevnice do 30 stupňů a pod níž se nachází pás zemědělské půdy o minimální šíři 24 m, jenž přerušuje odtokové linie procházející plochou širokořádkové plodiny, a na kterém je žadatelem pěstován travní porost, víceletá pícnina nebo jiná než erozně nebezpečná plodina.

(2) Z důvodů ochrany vod před znečištěním se nesmí pěstovat širokořádkové plodiny kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok na zemědělských pozemcích se sklonitostí převyšující 7 stupňů, jejichž jakákoliv část se nachází ve vzdálenosti menší než 25 m od útvaru povrchových vod.

Silným prostředkem, který významně rozhoduje o způsobu hospodaření zemědělců na svažitých plochách, jsou závazné podmínky, které je nutno splnit pro získání dotací EU. Jedná se o Standardy dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC). Standardy GAEC byly začleněny do zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství. Nedodržení těchto standardů může pro zemědělce znamenat snížení, případně neposkytnutí čerpaných dotací, což pro něj ve svém důsledku může znamenat ztrátu konkurenceschopnosti a následný krach. Dodržování standardů je také podmínkou podpory z osy II Programu rozvoje venkova.

Nařízení vlády č. 309/2014 Sb., o stanovení důsledků porušení podmíněnosti poskytování některých podpor a některých souvisejících nařízeních, bylo rozšířeno ustanovením standardu GAEC 2, které upravuje podmínky pěstování širokořádkových plodin na erozně ohrožených půdách. Žadatel na ploše půdního bloku, popřípadě jeho dílu, označené v evidenci půdy (LPIS) jako půda:

a) silně erozně ohrožená vodní erozí zajistí, že se nebudou pěstovat erozně nebezpečné plodiny kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok; porosty ostatních obilnin a řepky olejné na takto označené ploše budou zakládány s využitím půdoochranných technologií; v případě ostatních obilnin nemusí být dodržena podmínka půdoochranných technologií při zakládání porostů pouze v případě, že budou pěstovány s podsevem jetelovin, travních nebo jetelotravních směsí,

b) mírně erozně ohrožená vodní erozí zajistí, že erozně nebezpečné plodiny kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok budou zakládány pouze s využitím půdoochranných technologií.

Podmínky podle písmen a) a b) nemusí být dodrženy na ploše, jejíž celková výměra nepřesáhne výměru 0,40 ha zemědělské půdy z celkové obhospodařované plochy žadatelem za předpokladu, že směr řádků erozně nebezpečné plodiny je orientován ve směru vrstevnic s maximální odchylkou od vrstevnice do 30 stupňů a pod plochou erozně nebezpečné plodiny se nachází pás zemědělské půdy o minimální šíři 24 m, který na erozně nebezpečnou plodinu navazuje a přerušuje všechny odtokové linie procházející erozně nebezpečnou plodinou na erozně ohrožené ploše, a na kterém bude žadatelem pěstován travní porost, víceletá pícnina nebo jiná než erozně nebezpečná plodina.

Dalším nástroje k účinné ochraně půdy a v podstatě i protipovodňové ochraně je zákon č. 139/2002 Sb. o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů. Některé z cílů pozemkových úprav jsou

- obnovení osobního vztahu lidí k zemědělské půdě a krajině
- vytvoření podmínek pro racionální hospodaření na zemědělských pozemcích
- důsledná ochrana zemědělské půdy jako výrobního prostředku
- ochrana kvality vody, zvýšení její retence v krajině a minimalizace povodňových škod
- obnovení struktury krajiny, zvýšení její biodiverzity a celkové ekologické stability

Z výše uvedeného textu vyplývá, že legislativa zcela dostatečně pokrývá danou problematiku. Ochrana půdy musí být realizována i bez ohledu na jakoukoliv ekonomickou efektivitu.

4.3 ZÁKLADNÍ REŠERŠE LITERATURY

Téma protipovodňové a protierozní ochrany (malých povodí) je možno zpracovávat mnoha způsoby. Předkládaná práce k němu přistupuje formou hydrologického modelování za využití geoinformačních technologií. Danou práci je tak možno chápat jednak jako odbornou stať na řešené téma, zejména formou diskuse výsledků, jednak také jako metodický návod. Z tohoto důvodu jsou rešeršovány publikace, které se speciálně věnují modelování.

Historii a rozšíření hydrologického modelování se velmi zdařile věnuje Jeníček (2005). Ve své práci zejména klasifikuje modely a definuje jejich vstupní data a základní funkcionalitu. Uváděné informace jsou v podstatě platné až do současnosti. Tyto teoretické informace spolu s využitím modelů jsou pak aplikovány v rámci rozsáhlého projektu "Extrémní povodně v kontextu současných a historických změn v krajině", jenž je popsán v rámci závěrečné zprávy v Jeníček (2009).

Vzhledem k rychlému vývoji informačních a zejména geoinformačních technologií je vhodné věnovat se analýze publikační činnosti maximálně až po roce 2000, v ideálním případě až po roce 2010. K rešerši literatury a výzkumu je přistoupeno formou popisu zásadních milníků pochopení a modelování srážkoodtokových vztahů. Nicméně pokusy o pochopení srážkoodtokových vztahů na malých povodích jsou poměrně staré. Různé módy vzniku odtoku a vlastního odtoku uceleně popisuje Horton (1945). Od té doby pokračuje zpřesňování tohoto konceptu v nejrůznějších podobách a přístupech (např. Schumm, 1977; Knighton, 1998).

Výrazný posun dané problematiky nastal v období, kdy probíhala na malých povodích tak podrobná pozorování a měření, na jejichž základě bylo možno formulovat empirické vztahy mezi jednotlivými proměnnými fluvialních systémů. V tomto ohledu patřila tehdejší ČSSR k naprosté světové špičce. Bylo založeno několik experimentálních povodí, tj. zjednodušeně povodí, kde jsou měřeny vstupy a výstupy fluvialního systému. První povodí byla založena již v 50. letech 20. století v Beskydech (VULHM). Od té doby se povodí rozšířila po celé ČR a jsou „provozována“ různými institucemi. Například Český hydrometeorologický ústav, založil na počátku osmdesátých let síť sedmi experimentálních povodí v Jizerských horách. Zde jsou prováděna měření srážek a odtoku, kvality vody a klimatických ukazatelů. Na základě výzkumů a dat v těchto povodích vznikla nesčetná řada publikací. Více o experimentálních povodích je možno nalézt v Tétauer (2009).

Matematické modely pro výpočet erozního smyvu jsou efektivním nástrojem při aplikaci a zavádění opatření omezujících odnos půdy. Nejrozšířenějšími modely pro výpočet erozního smyvu jsou ty vycházející z univerzální rovnice pro ztrátu půdy (Universal Soil Loss Equation – USLE) (Wischmeier & Smith, 1965, 1978). Využití USLE bylo následně aplikováno a rozvíjeno v dalších zemích světa například v Německu (Schwertmann et al., 1990), Rusku (Larionov, 1993), anebo v Číně (Liu et al., 2002). Například CSLE (Chinese Soil Loss Equation) byla využita v rámci prvního národního základního výzkumu vodní eroze v Číně (Liu et al., 2013).

Velice zajímavé je geografické rozšíření problematiky hydrologického modelování. Kolébkou hydraulického modelování a modelování eroze jsou USA. Zde byl tento obor rozvíjen zejména jako věda s postupným aplikačním přesahem do praxe. S rozvojem intenzivního zemědělství v zemích třetího světa, zejména v Africe a východní Asii, a s tím související půdní eroze, povodní a tenčení zásob podzemní vody se již jako nutnost tento obor rozvíjí i zde. Jedná se o čistě aplikační práce (Munyaneza et al., 2014; Assefa, Andel & Jonoski, 2008; Peter et al., 2014). Iniciátorem hydrologického modelování může být také rozvoj vodohospodářské infrastruktury (upravenosti říční sítě).

Modelováním srážko-odtokových vztahů se v současnosti zabývají četné vědecké publikace. Často zpracovávaným tématem je porovnávání a verifikace odtoku z povodí pomocí různých modelovacích nástrojů, myšleno za použití různého software. Jedná se například o výstupy z různých modelů (Young, Liu & Chung, 2015; Bobál et al., 2015; Joo et al., 2014; Laouacheria & Mansouri, 2015; Kumar et al., 2015). Hlavním přínosem těchto prací je definice skupin povodí a typů odtoku, pro které je vhodnější použít ten který model.

Velký potenciál mohou mít hydrologické modely pro využití při operativním krizovém managementu během povodní, případně pro řízení odtoku z vodních nádrží pro zajištění optimálního transformačního efektu či maximální protipovodňové ochrany (ChE & Mays, 2015; Yang & Yang, 2014).

Kromě prostředků na modelování odtokových poměrů existují též nástroje k modelování chodu splavenin. Této problematice se věnovali v rámci celého povodí s kalibrací na případu jedné extrémní povodně Konz et al. (2011). Molina et al. (2009) modelovali omezení stržové eroze pomocí revitalizace vegetace v povodí, respektive umístováním vegetace přímo do strží. Poměrně specifickou problematiku řešili Stoof et al. (2012), kdy modelovali odezvu povodí na požár. Destrukce vegetace měla kromě snížení intercepce a zvýšení eroze za následek rychlejší vysychání půdy, což vedlo ke tvorbě povrchové krusty a zvýšení objemu odtoku až 1,6 krát. Modelovat lze též variabilitu erozního účinku deště (Yin et al., 2015).

Na malých povodích běžně dominují povodně z přívalových srážek, při kterých je dosahováno extrémních kulminačních průtoků (například až $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) a zároveň dochází k erozi půdy. Nicméně modelovat je možno také odtok daný táním sněhové pokrývky kombinovaný například s dešťovými srážkami. Do modelu je též možno přidat vliv kolísání teploty a mnoho dalších proměnných. Tomuto tématu se v prostředích Hydrog a HEC-HMS věnovali Bobál et al. (2015). Tento typ povodně není běžně modelován, neboť je na malých povodích poměrně vzácný a zároveň opatření v podobě retence jsou málo účinná, neboť tyto povodně mají obvykle velký objem. Podobně specifickou problematikou je inverzní modelování odtoku, kdy na základě měřených průtoků jsou dopočítávány srážky, zejména příčinné srážky (Hernegger, Nachtnebel & Schulz, 2015).

Kvantifikaci účinku protipovodňových opatření spočívajících v retenci vod se věnují četné publikace, jejich součástí může být přímo výpočetní aplikace. Jako příklad z území České republiky je možno uvést Dočkal & Vrána (2007) – aplikace „Suchá nádrž“ nebo Havlíček et al. (2010) – aplikace SReFTraS. Tyto aplikace jsou často vázány na opatření na akumulaci vody, tedy retenční nádrže a případně též rybníky. Liniové ochranné prvky zůstávají upozaděny. Nicméně několik publikací z poslední doby je možno zmínit. Jedná se například o práci Miranda et al. (2012), která se věnuje účinnosti retenčních teras. Z výsledků vyplývá, že účinek může být uspokojivý v případě, že retenční prvky jsou stavebně precizně vyhotoveny.

Další větví hydrologického modelování je využívání neuronových sítí (Starý & Diviš, 1997; Darras et al., 2015; Young, Liu & Chung, 2015).

Ačkoliv je hydrologické modelování velice aktuální vědní disciplínou s poměrně jasně danou aplikací, jen minimální podíl prací se věnuje vlivu liniových protipovodňových prvků na odtok. Z tohoto pohledu je tedy předkládaná práce velice cenným příspěvkem k dané problematice.

5 METODY ŘEŠENÍ

V dizertační práci jsou aplikovány moderní přístupy a využívány informační technologie, zejména nástroje geoinformatiky. Práce svými přístupy navazuje na moderní trendy, viz rešerše výše. S přesahem do projekční praxe je možno uvést, že předkládaná práce reflektuje také požadavky metodiky publikované ve Věstníku Ministerstva životního prostředí 11/2008. Tato metodika je závazná pro zpracování analýz a návrhů protipovodňových a protierozních opatření v rámci dotačních titulů. Metodické přístupy využívané v předkládané práci jsou zároveň koncipovány tak, aby byly snadno pochopitelné a opakovatelné. Vzhledem k předpokládanému uplatnění přístupů v praxi, a to zejména projekční, jsou detailně popsány jednotlivé použité funkce.

5.1 POUŽITÝ SOFTWARE

Dříve, než bude věnován prostor samotnému využitému software, konkrétním postupům a funkcím, je účelné na tomto místě uvést průřez celkovým postupem zpracování.

1. V prostředí GIS se připraví vstupní data pro navazující aplikace. Tento proces spočívá v tom, že pro určité zájmové území se shromáždí či vytvoří geoprostorová data (vrstvy). Tato data (kromě digitálního modelu reliéfu) jsou ve formátu 2D, tedy určitý zákres jevu s případnou výškovou informací v atributu.

2. Jednotlivé vrstvy projdou dle potřeby nástroji geoprocessingu a vzniknou nové vrstvy. Například vrstevnicový terén je vyhlazen a jsou vygenerována jednotlivá subpovodí a vodní toky v nich. Jsou definovány směry a akumulace odtoku apod.

3. Pomocí speciálního nástroje či extenze se tato data automaticky upraví do potřebného formátu. Data dostanou potřebné názvy (srozumitelné pro daný program), atributové tabulky získají potřebné sloupce se specifickými označeními a formáty. Výsledkem je jeden exportní soubor.

4. Tento exportní soubor je následně naimportován do daného specifického "modelovacího" nástroje. Zde jsou prováděny výpočty.

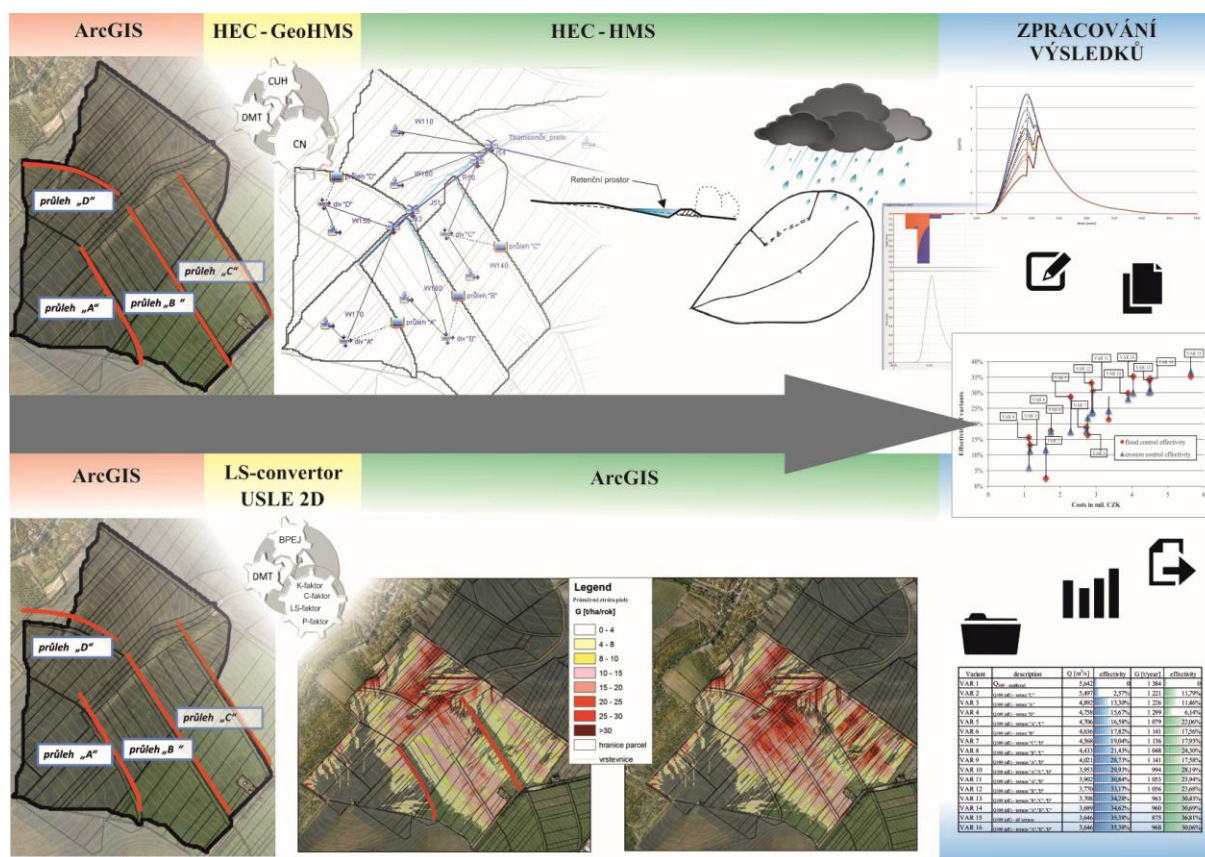
5. Výsledky výpočtů jsou potom zpracovávány v tabulkových procesorech.

V rámci zpracování je využíván hlavně software ArcGIS, který umožňuje komfortní správu a práci s prostorovými daty. V tomto prostředí je prováděn zejména preprocessing dat pro další programy a aplikace uvedené níže. Program ArcGIS patří k nejrozšířenějším a nejrobustnějším programům v oboru geoinformačních technologií. Tvorba map je tak jen jednou z mnoha funkcí a v podstatě je možno říci, že funkcí podružnou. Díky širokému poli působnosti je možné jej s úspěchem používat i v aplikované hydrologii, pro kterou nabízí speciální moduly. Jednou z extenzí s hydrologickým zaměřením je HEC-GeoHMS, který umožňuje vytvoření schématu povodí a výpočet jeho reprezentativních charakteristik a následný export do programu HEC-HMS. Obdobou je rozšíření ArcHydro Tools. V programu HEC-HMS (po zvolení metod hydraulicko-hydrologické transformace, nastavení příčinných srážek a několika dalších funkcí a veličin) již probíhá výpočet samotného srážko-odtokového procesu.

Program ArcGIS lze rovněž s úspěchem využít při výpočtu erozního smyvu metodou gridu. V tomto případě je využívána extenze Spatial Analyst tools s funkcí Raster Calculator. Pro definování rastrové vrstvy LS faktoru lze použít program Usle2D a LsConvertor.

Vypočítané hodnoty dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$) jsou porovnávány s limitními hodnotami přípustného smyvu a je odvozena vrstva erozního ohrožení a specifikován stupeň erozního ohrožení pozemku (SEOP).

Výše zmíněné programy slouží ke kvantifikaci přínosů spojených s realizací liniových opatření, tzn. ke zjištění snížení erozního smyvu, protipovodňového efektu v území a retence vody v krajině. Samotné ovládání tohoto software většinou není příliš intuitivní ani uživatelsky přívětivé. Přínos této práce, tedy spočívá v uživatelsky příjemném popisu ovládání programů a v popisu nejdůležitějších, případně nejpoužívanějších funkcí (dle autora předkládané práce). Zmíněné programy byly zvoleny z důvodů možnosti jejich širokého uplatnění a zpracování velkého množství vstupních dat, na základě kterých je možno vytvořit co nejrepresentativnější schéma povodí. Všechny výše popsané skutečnosti dokumentuje obrázek níže.



Obr. 2 Schéma využití nástrojů v předkládané dizertační práci

5.2 POPIS POUŽITÝCH VÝPOČETNÍCH METOD

Vzhledem ke komplexnosti posuzování liniových opatření byly využity metody jak pro definování hydrologických parametrů povodí a protipovodňové ochrany, tak metody určené pro výpočet erozního smyvu.

Metoda umožňující posouzení vlivu liniových protierozních opatření na parametry povrchového odtoku a jejich účinnosti využívá prvků základní nabídky programu HEC-HMS a retenční schopnost záchytných průlehů aproximuje nádrží. Metody použité v rámci těchto výpočtů jsou popsány v následujících podkapitolách. V kapitole 5.2.5 je následně popsána metoda výpočtu erozního smyvu.

5.2.1 Transformace přímého odtoku

Volba metody transformace přímého odtoku je klíčovou součástí metodického postupu, neboť přímo určuje tvar povodňové vlny, a tím i velikost kulminačního průtoku a objemu odtoku. Program HEC-HMS umožňuje výběr z většího množství transformačních funkcí. Mezi hlavní patří transformace pomocí kinematické vlny či jednotkového hydrogramu. V případě jednotkového hydrogramu můžeme volit z několika modifikací, nejpoužívanější je Clarkův jednotkový hydrogram.

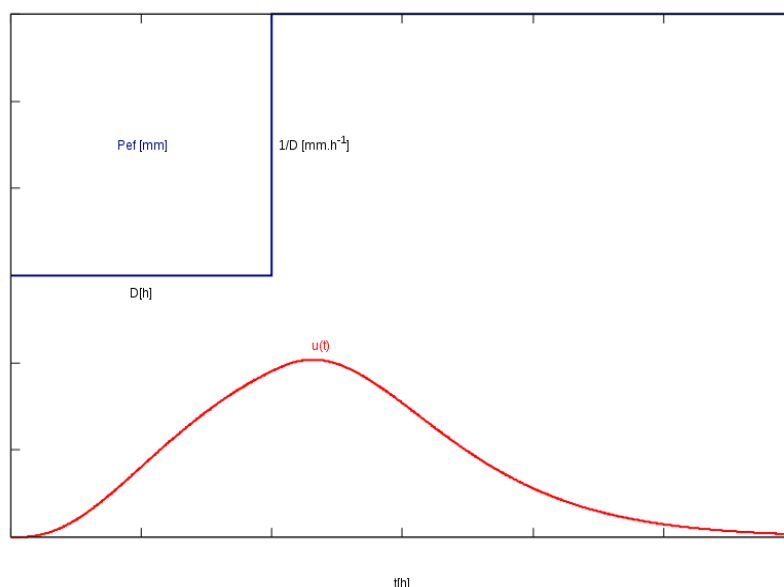
5.2.1.1 Jednotkový hydrogram

Jednotkový hydrogram je hypotetická odezva povodí na jednotkový efektivní déšť, vždy stejná pro déšť dané doby trvání. Využívá se v hydrologických modelech, umožňujících určit hodnoty odtoku na základě znalosti výšky srážky na povodí. Původní koncept jednotkového hydrogramu navrhl Leroy Sherman v roce 1932, od té doby je teorie jednotkového hydrogramu dále rozvíjena a aplikována v mnoha variantách.

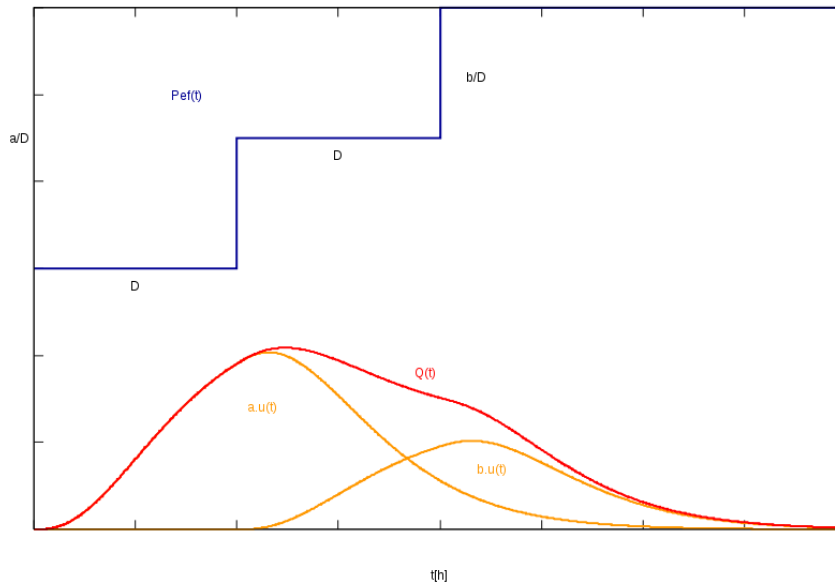
Povodí je jako celek považováno za systém, ve kterém se srážkový vstup (efektivní déšť) transformuje na výstup v podobě přímého odtoku. Transformační funkcí je jednotkový hydrogram (anglicky unit hydrograph, zkratka UH), který se definuje jako hydrogram přímého odtoku vyvolaný efektivním deštěm o jednotkovém objemu, o stálé intenzitě a rovnoměrném rozložení na povodí, za předpokladu platnosti principu superpozice a principu časové invariance.

Podle **principu superpozice** závisí velikost výstupu lineárně na velikosti vstupu, časové rozložení výstupu není velikostí vstupu ovlivněno. Výsledný výstup je roven součtu výstupů vyvolaných jednotlivými vstupy.

Princip **časové invariance** zaručuje, že se vstupy lišící se vzájemně pouze časem svého počátku transformují do výstupů, které se od sebe liší také pouze časem svého počátku. Čas počátku vstupu nemá vliv na velikost ani časové rozložení výstupu.



Obr. 3 Příklad jednotkového hydrogramu pro déšť doby trvání D



Obr. 4 Skládání jednotkového hydrogramu s využitím principu superpozice a časové invariance

5.2.1.2 Clarkův jednotkový hydrogram

Obecný princip této metody je popsán např. v literatuře (Clarke, 1973). Clarkův jednotkový hydrogram je specifikován následujícími parametry:

- T_C doba koncentrace [h]
- R transformační faktor povodí [hod], simulující dobu zdržení vody v povodí
- závislostí doby dobíhání z dílčí kumulativní plochy povodí při zasažené celé ploše povodí

Pro výpočet doby koncentrace je k dispozici několik vzorců, nejpoužívanější je vzorec SCS (Soil Conservation Service) pro odvození T_{LAG} (časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčinné srážky a výskytem kulminačního průtoku v počítaném závěrovém profilu povodí).

$$T_{LAG} = \frac{L^{0,8}(S+1)^{0,7}}{1900\sqrt{Y}}, \quad (1)$$

kde

L délka údolnice k rozvodnici [stop]

S maximální retence povodí [palců]

Y průměrný sklon povodí [%]

Doba koncentrace T_C je poté odhadnuta jako $1,67 \cdot T_{LAG}$.

Pro určení koeficientu R existuje jen minimum výpočetních vzorců, zpravidla se pro výpočet teoretické povodňové vlny na nepozorovaných povodích odhaduje velikost koeficientu R jako n -násobek doby koncentrace:

$$R = n \cdot T_c \quad [\text{hod}], \quad (2)$$

kde se hodnota „ n “ nejčastěji pohybuje v intervalu 1,2 – 2.

Závislost doby dobíhání na ploše povodí je určena vztahem (3) a (4):

$$AI = 1,414 \cdot T^{1,5} \quad \text{pro } 0 < T < 0,5 \quad (3)$$

$$1 - AI = 1,414 \cdot (1 - T)^{1,5} \quad \text{pro } 0 < T < 1, \quad (4)$$

kde

AI kumulativní plocha jako zlomek celkové plochy povodí

T zlomek doby koncentrace T_C

Pořadnice této závislosti jsou následně převedeny na objem odtoku za sekundu pro jednotkový hydrogram efektivních srážek a interpolovány pro zadaný časový interval výpočtu (30 min, 1 hod apod.). Výsledný translační hydrogram slouží jako vstup do procedury transformace odtoku na povodí za využití koeficientu R :

$$Q(2) = CA * I + CB * Q(1) \quad (5)$$

$$CA = \frac{\Delta t}{R + 0,5 * \Delta t} \quad (6)$$

$$CB = 1 - CA \quad (7)$$

$$Q_{UNGR} = \frac{Q(1) + Q(2)}{2} \quad (8)$$

kde

$Q(1)$ okamžitý průtok na konci časového intervalu Δt [m^3/s]

$Q(2)$ okamžitý průtok na počátku časového intervalu Δt [m^3/s]

I pořadnice translačního hydrogramu [m^3/s]

Q_{UNGR} ... pořadnice jednotkového hydrogramu na konci časového intervalu Δt [m^3/s]

5.2.2 Hydrologická transformace

Hydrologická transformace uvádí, jaký objem příčinné srážky se transformuje na objem přímého povrchového odtoku. Toto je v podstatě nejzásadnější otázka modelování srážko-odtokových vztahů. Hydrologická transformace je ovlivněna extrémním množstvím faktorů (propustnost podloží, půda a její nasycení, průběh srážky, sklon a tvar povodí a mnoho dalších). Tuto úlohu je možno řešit několika způsoby, které jsou většinou založeny na empirických vztazích.

Jednou z nejpoužívanějších metod, která byla využita i v tomto konkrétním případě, je metoda SCS Curve Number (metoda CN křivek). Jelikož jsou malá povodí velmi specifická a transformace probíhá z velké části v ploše povodí (nikoliv v nivě), byla tato metoda zvolena hlavně kvůli tomu, že všechny potřebné podklady jsou snadno přístupné (i v elektronické podobě) a dostatečně přesně reprezentují přírodní poměry v daném území. Jedná se v podstatě o zautomatizování empirických rovnic pomocí IT.

Odtok je však možno přímo řešit pomocí předefinovaných funkcí ve srážko-odtokových modelech. Nabídka metod hydrologické transformace v hlavním menu programu HEC-HMS je velmi široká. Nabízí například metodu Green-Ampt, kde výpočet rychlosti infiltrace vychází z Darcyho rovnice nasyceného

proudění. Dále jsou to metody Initial and Constant nebo Deficit and Constant, kde transformace přímého odtoku závisí na volbě počáteční infiltrace a průběhu infiltrace v čase.

5.2.2.1 Metoda CN křivek

Metoda CN křivek slouží k jednoduchému výpočtu odtoku při srážko-odtokové události na malých povodích. Srážka je rozdělena na ztráty a efektivní déšť podle čísla odtokové křivky (CN), které reprezentuje vlastnosti povodí – půdní poměry, využití území (landuse) a předchozí vláhové podmínky. Použité vztahy jsou empirické, odvozené na základě analýzy dat z malých povodí v USA. Metoda se však uplatnila také v mnoha jiných zemích včetně České republiky.

Metoda byla vyvinuta americkou Službou na ochranu půd (*Soil conservation service*, a označuje se také jako *SCS CN*).

Jak je uvedeno v Feldman (2006), hodnota celkového přímého odtoku vyvolaného příčinou srážkou je funkcí hodnoty kumulativní srážky, způsobu využití území, vlastností půdního pokryvu a předchozího nasycení půdního profilu. Pro výpočet je použita následující rovnice:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (9)$$

kde

P_e akumulovaná hodnota přímého odtoku v mm za časový interval t

P akumulovaná hodnota srážky v mm za časový interval t

I_a počáteční ztráta ze srážkového úhrnu v mm

S maximální potenciální retence, schopnost povodí vstřebat a udržet srážkový úhrn

Z analýzy výsledků z mnoha malých experimentálních povodí odvodila SCS empirický vztah pro výpočet počáteční ztráty:

$$I_a = 0,2 * S \quad (10)$$

z toho vyplývá, že hodnota přímého odtoku za čas t je:

$$P_e = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad (11)$$

Výsledný přímý odtok je počítán jako rozdíl mezi přímým odtokem na konci a na začátku časového intervalu.

Maximální retenční kapacita povodí vychází z průměrného čísla CN a je vypočtena pomocí vztahu:

$$S = \frac{1000 - 10 * CN}{CN} \quad [\text{palců}] \quad (12)$$

nebo

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN} \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

Hodnota CN se pohybuje v rozsahu (0 - 100) pro dané povodí. Hodnota blízká 100 reprezentuje téměř nepropustné povrchy, jako jsou střechy, komunikace a jiné zpevněné plochy. Běžné hodnoty se pohybují v rozmezí 55 - 85. Přednost metody je jednoduchost jejího použití a průhlednost metodických

postupů, mezi nedostatky patří nerespektování změn odtokových podmínek při různých intenzitách deště, tj. při stejném celkovém úhrnu metoda počítá stejnou odtokovou ztrátu bez ohledu na časové rozložení deště. Je zde také rozpor s klasickou teorií nenasyčeného proudění. Vzhledem k nenáročnosti na vstupní data, která jsou již dostupná v podobě GIS vrstev, je tato metoda vhodná pro odhad velikosti přímého odtoku na nepozorovaných povodích (Vološ, 2008).

5.2.3 Hydraulická transformace

V případě, že pozorované povodí je na základě zvolené schematizace rozděleno na více menších subpovodí je potřeba vytvořit také prvky reprezentující proudění v otevřených korytech. V těchto úsecích je nutné simulovat postup vlny po toku a na základě zvolené metody určit jak velký bude mít tento úsek transformační účinek. HEC-HMS pro účely hydraulické transformace nabízí řadu metod jako je Lag, kinematická vlna a mnoho dalších. V případě této práce byly použity metody Muskingum a Muskingum Cunge, které jsou založeny na aproximaci kombinace rovnice kontinuity a difúzní formy momentové rovnice a budou podrobněji popsány níže. Jelikož v malých povodích nemusí být vždy plně vyvinuto říční koryto, případně přilehlá niva, a nedochází zde k výrazné transformaci, byly tyto dvě metody zvoleny z důvodu jejich menší náročnosti na vstupní údaje.

5.2.3.1 Metoda Muskingum

Tato metoda je využívána v takových situacích, kdy nejsou k dispozici žádná data a ani hrubé podklady o tom, jak vypadá říční koryto, tzn. materiál dna pro určení Manningova součinitele drsnosti, geometrie říčního koryta pro zjištění vstupních parametrů do výpočetních rovnic a jiné. Aby mohlo být použito této výpočtové metody, neměla by mít na transformaci povodňové vlny vliv inundace. Metoda vychází ze vztahu (14) založeného na bilanci odtoku a přítoku do daného úseku říčního koryta.

$$S_i = K * [X * I + (1 - X) * O] \quad (14)$$

S_i zadržovaný objem v říčním úseku [m^3]

K čas postupu povodňové vlny říčním úsekem [hod]

I průměrný přítok do říčního úseku [m^3/s]

O průměrný odtok z říčního úseku [m^3/s]

X transformační faktor, $<0;0,5>$ [-]

Transformační faktor X nabývá hodnot 0 až 0,5. Hodnota 0,5 značí maximální retenci říčního úseku a volí se pro říční úseky velmi mírných sklonů. Pro úseky s velkými sklony se hodnota faktoru X blíží nule, tzn. říční úsek nemá žádnou transformační schopnost. Obvykle se X volí blízké hodnotě 0,2.

Další veličinou, která je potřeba odhadnout, je člen K , jenž značí čas postupu vlny daným říčním úsekem. Délku daného úseku je možno určit v programu GIS, ať už pomocí atributové tabulky nebo funkcí vlastnosti. Rychlost postupu vlny se pohybuje v rozmezí 1 až 2 m/s, nejčastěji 1,0 až 1,5 m/s. Z těchto dvou předpokladů lze vcelku snadno dopočítat čas postupu povodňové vlny zvoleným říčním úsekem.

I když je tato metoda nenáročná na přesnost vstupních dat, poskytuje velmi slušné výsledky a v praxi se s touto metodou můžeme velmi často setkat.

5.2.3.2 Metoda Muskingum-Cunge

Pro zvolení této metody je třeba znát základní vlastnosti říčního koryta. Za tímto účelem je nevhodnější použít geodeticky zaměřené příčné profily. V případě, že tato data nejsou k dispozici, existuje možnost parametry v daném úseku odhadnout na základě informací z pochůzky v zájmovém území. Metoda vychází ze zákona zachování hmotnosti a difúzní formy momentové rovnice. Parametry vstupujícími do výpočtu jsou délka říčního úseku, průměrný sklon, průměrný Manningův součinitel drsnosti a geometrie koryta. Příčný profil lze zadávat pěti různými způsoby: trojúhelník, kruh, obdélník, lichoběžník a osmi body. Při zvolení kruhu není možné počítat s tlakovým prouděním, pouze s prouděním s volnou hladinou uvnitř trubního vedení. Při zadání geometrie volbou osmi bodů je možno pro bermu a obě kynety volit různý součinitel drsnosti dle Manninga.

Výhody a nevýhody metody podle (Vološ, 2008):

Výhody:

- parametry modelu mají fyzikální základ,
- dává dobré výsledky v porovnání s modely s plně aplikovanými rovnicemi neustáleného proudění,
- řešení nezávisí na zadaném výpočetním intervalu,

Nevýhody:

- nepočítá se zpětným vzduťím,
- diverguje za situace prudkého vzestupu vlny a relativně malého sklonu koryta (0,0003).

5.2.4 Transformace nádrží

Program HEC-HMS nabízí rovněž zapojení retenční nádrže do schématu povodí a následné posouzení jejího vlivu na parametry odtoku. Vychází přitom, ze základní rovnice nádrže, která popisuje okamžitý vztah mezi přítokem vody do nádrže $Q(t)$, odtokem vody z nádrže $O(V(t))$ a objemem vody v nádrži $V(t)$. Za nekonečně malý časový krok dt se objem vody v nádrži změní o:

$$dV = [Q(t) - O(V(t))]dt \quad (15)$$

Odkud plyne:

$$\frac{dV}{dt} = Q(t) - O(V(t)) \quad (16)$$

Vztah (16) je základní diferenciální rovnicí prvního řádu. Rovnici je možno psát rovněž ve tvaru diferenčním a to zejména z důvodu hydrologického popisu kapacity zdroje, která je k dispozici ve formě průtokové řady, jejíž členy jsou na konečně velkém časovém kroku Δt konstantní. Jedná se o řadu průměrných hodinových průtoků, průměrných denních průtoků, průměrných měsíčních průtoků apod. V programu HEC-HMS můžeme jako nejmenší časový krok volit minutový interval.

Uvažovanou nádrž lze umístit v podstatě v jakémkoliv místě povodí a pomocí několika různých způsobů nastavit její navrhované parametry. Výhodou je rovněž to, že je možné definovat maximální hodnotu (průtok i objem přítoku), po jejímž překročení bude přítok do nádrže zastaven a zbytek přítoku bude bez ovlivnění pokračovat dále do závěrového profilu povodí.

Za nádrž je tedy v tomto případě možné uvažovat jakýkoliv prvek, který disponuje určitou retenční kapacitou, která umožňuje zachycení části nebo celého objemu povrchového odtoku. Takový prvek v krajně tvoří i liniová protierozní a protipovodňová opatření např. záchytné průlehy. Z tohoto důvodu byla výše zmíněná metoda použita pro určení vlivu liniových opatření na parametry povrchového odtoku v malých povodích.

5.2.5 Stanovení erozního smyvu

Pro výpočet erozního smyvu se využívá tzv. Wischmeier – Smithova univerzální rovnice ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation – USLE), která se stala základní metodou hodnocení intenzity erozního procesu. Počítá smyv v závislosti na šesti faktorech ovlivňujících jeho hodnotu podle vztahu:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (17)$$

Gdlouhodobá průměrná roční ztráta půdy [t . ha⁻¹ . rok⁻¹]

Rfaktor erozního účinku deště [MJ . ha⁻¹ . cm . h⁻¹]

Kfaktor erodovatelnosti půdy [-]

LSfaktor délky a sklonu svahu [-]

Cfaktor ochranného vlivu vegetace [-]

Pfaktor vlivu technických opatření [-]

Kvantifikace erozního smyvu je prováděna s využitím Revidované Univerzální rovnice (RUSLE) pro výpočet dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vodní erozí (t.ha⁻¹.rok⁻¹). Výchozím metodickým materiálem je publikace Ochrana zemědělské půdy před erozí (Janeček et al., 2012) a v ní specifikované postupy pro odvození faktorů *R*, *C*, *K*, *P* s výjimkou *LS* faktoru. Pro jeho výpočet je využito digitálních dat GIS a metody USLE2D. Program USLE2D pro výpočet *LS* faktoru vyžaduje jako vstupní data DMT (digitální model terénu) a grid s hranicemi (bariérami) rozdělených dílčích ploch tzv. „parcel“. Bariéry způsobí přerušení dráhy plošného povrchového odtoku a snižují délku odtokové linie a faktor délky svahu *L*. K tvorbě gridu s „parcelami“ slouží vrstva s půdními bloky z Veřejného registru půdy (LPIS). Využity byly všechny půdní bloky, tedy i ty s kulturou trvalý travní porost, nikoli pouze půdní bloky s kulturou orná půda. Výsledné plochy byly následně upraveny (půdní bloky byly zpravidla slučovány) v souladu s umístěním bariér, které mohou představovat např. příkopy, průlehy a cesty, které zabraňují přetékání vody na níže ležící plochu. K využití programu USLE 2D je nutné využít převodu dat v programu LS-converter.

Ve srovnání s klasickou metodou dochází k nahrazení délky svahu (jednorozměrný ukazatel) přispívající zdrojovou plochou, kdy *LS* faktor je počítán zvlášť pro každou buňku gridu (2D ukazatel), přičemž přispívající plocha lépe odráží vliv koncentrace odtoku na zvýšení eroze. Tato metoda bývá také označována za „metodu gridu“. Grid je rastrový formát vytvořený společností ESRI, který definuje prostor jako řadu shodně velikých buněk seřazených do řádků a sloupců. Každá buňka obsahuje numerickou hodnotu, která reprezentuje atribut určitého fenoménu, který grid představuje. Když je grid zobrazen, buňkám jsou přiděleny barvy dle numerických hodnot. Každá buňka má své umístění v geografických souřadnicích.

Rozlišení gridu, tedy velikost rastrového elementu, bylo stanoveno na 5 m. Tato hodnota byla zvolena s ohledem k rozsáhlosti řešeného území. V některých případech může nízké rozlišení způsobovat přílišnou generalizaci spočívající v „uhlazování“ náhlých změn sklonu. Díky jen pomalu a

kontinuálně se měnícím sklonovým poměrům v území byla zvolená velikost rastrového elementu vyhodnocena jako zcela dostatečná.

K samotnému výpočtu erozního smyvu je využito nástroje mapové algebry, který umožňuje provádět matematické operace s více gridy, v tomto případě se jedná o součin gridů reprezentujících hodnoty jednotlivých faktorů USLE.

5.3 POPIS UKAZATELŮ EKONOMICKÉ EFEKTIVITY

Na úvod této kapitoly je nutné poznamenat, že numericky je hodnocení efektivity protipovodňových a protierozních opatření možné. Zjednodušeně jde o to porovnat náklady a přínosy těchto opatření, tedy provést cost-benefit analýzu. Největší problém však spočívá zejména v úplném vyjádření a následně vyčíslení přínosů. Relativně snazší je situace ohledně protipovodňových opatření, ačkoliv vyčíslení ceny (ochráněného) lidského života může být diskutabilní, existují i tyto ukazatele. V případě protierozních opatření se vždy bude jednat o hrubé přiblížení, poněvadž půda jako neobnovitelný a zároveň zcela nepostradatelný přírodní zdroj má cenu nevyčísitelnou. Následky ze ztráty úrodnosti a nedostatku půdy mohou být nedozírné. Metodika Konečná et al. (2014) dokonce finančně ohodnotila návratnost nákladů vynaložených na realizaci těchto opatření. Nicméně samotná metodika přiznává, že není možno dostatečně ohodnotit benefity plynoucí z ochrany půdy a zároveň ekonomické ztráty z eroze půdy a souvisejících škod. Vzhledem k v podstatě nevyčísitelné hodnotě půdy jakožto přírodního zdroje, není ekonomické hledisko vždy zcela na místě. Z těchto důvodů je třeba na tuto část předkládané práce věnující se efektivitě v nejširším slova smyslu pohlížet jako na další, i když ne zcela úplné přiblížení problematiky.

Ukazatelů, které vstupují do ekonomického posouzení efektivity, je celá řada a postupně budou vyjmenovány níže. V zásadě je lze rozdělit na dvě části, které stojí proti sobě. Jsou to náklady spojené s realizací opatření a jejich následnou údržbou, proti nimž stojí ekonomicky ohodnocené přínosy přispívající ke zlepšení stavu protipovodňové a protierozní ochrany. Na níže navrhovaný postup je třeba se dívat jako na zjednodušený, protože počet položek vstupujících do bilance může být takřka neomezený. Ne všechny přínosy vyplývající z realizace liniových opatření lze kvantitativně a finančně ohodnotit.

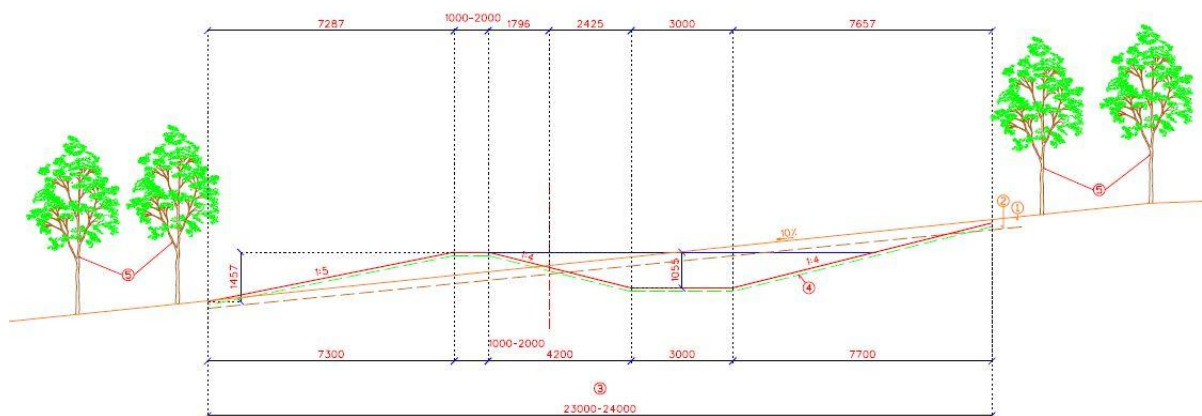
Důležitým elementem, který je potřeba rovněž definovat, je časový horizont, ve kterém bude probíhat srovnání ekonomické efektivity nákladů a přínosů navržených opatření. Vzhledem k tomu, že náklady na realizaci jsou položkou, která do bilance vstupuje téměř okamžitě, ekonomické přínosy opatření přibývají postupně v průběhu času. Je proto potřeba definovat horizont, ve kterém bude tato bilance prováděna. Většina opatření tohoto druhu je kofinancována z operačních programů a dotačních titulů Evropské unie, kde se nejčastěji doba udržitelnosti projektu pohybuje mezi 5 – 10 lety. Rovněž retenční kapacita liniových opatření v krajíně se často navrhuje tak, aby byla schopna převést či zadržet kulminační průtok (resp. povodňovou vlnu) s průměrnou dobou opakování 10 let (v případě, že se nejedná přímo o protipovodňová opatření v intravilánu obci). Jako časový interval pro posouzení efektivity byl s ohledem na výše uvedené zvolen horizont deseti let. Je nutno si uvědomit, že katastrofálním projevům extrémních srážek není možno nikdy zabránit, respektive taková opatření by byla velmi rozsáhlá. Zejména protierozní ochranu je třeba koncipovat tak, aby hospodařící subjekty příliš neomezovala. Protipovodňovou a protierozní ochranu je třeba racionalizovat s tím, že nikdo nemůže požadovat ochranu absolutní. Na druhou stranu opatření v ploše povodí je třeba chápat jako část komplexu opatření (kombinovanou například s opatřeními v intravilánech).

5.3.1 Náklady na realizaci opatření

Uvažovaná liniová opatření mají jednu až dvě základní finanční položky. Předně se jedná o náklady na stavební práce (vybudování prvku), tj. zejména zemní práce a následné vegetační úpravy (zatravnění, výsadby). Náklady na realizaci opatření vždy jednoznačně vyplývají z konkrétních projektových dokumentací. První přibližení nákladů na opatření v krajině mohou představovat tzv. náklady obvyklých opatření Operačního programu Životní prostředí. Náklady obvyklých opatření představují obvyklou finanční částku, za kterou je možno realizovat určitý typ opatření. Neřeší finanční efektivnost jednotlivých položek v rozpočtu projektu, ale efektivnost opatření jako celku. Náklady jsou vyjádřeny cenami, které zahrnují všechny běžné činnosti a materiály, které jsou v rámci daného typu opatření obvykle realizovány. Ceny jsou stanoveny bez DPH.

V případě drobných opatření na retenci vody o rozloze do 1 ha (kam spadá naprostá většina liniových opatření) se cena za zadržení 1 m³ vody pohybuje mezi 300 - 350 Kč. V případě založení či obnovy protierozních opatření se ceny pohybují mezi 700 000 - 900 000 Kč na travnaté průlehy a meze a 70 000 - 80 000 Kč na travnaté zasakovací pásy. Ceny obsahují náklady na přípravu území, terénní úpravy, zpevnění svahu a prvků, ohumusování, založení travního porostu, kosení.

Dalším přibližím může být projektová dokumentace „Protipovodňová opatření v lokalitě Dolany“ zpracovaná firmou AGPOL s.r.o., v rámci které byl navržen soubor tří zasakovacích průlehy o celkové délce 638 m. Ukázka vzorového příčného řezu je na obrázku níže.



Obr. 5 Ukázka vzorového příčného řezu zasakovacího průlehu (zdroj AGPOL s.r.o.)

V tomto konkrétním případě se jedná o zasakovací průlehy s šířkou v příčném řezu cca 24 m, což odpovídá spíše horní hranici obvyklých rozměrů. Ve většině případů se šířka průlehy pohybuje kolem 15 m, nejčastěji v rozmezí mezi 12 a 25 m. Z důvodu umístění řešené lokality byla z návrhu, na základě požadavku obce, vypuštěna suchá retenční nádrž, která byla nahrazena právě zasakovacími průlehy. Ty proto musely disponovat dostatečnou retenční kapacitou. Tomu rovněž odpovídá objem zemních prací. Vzhledem k budoucímu určení dané lokality, která měla sloužit jako odpočinková zóna, byl navržen adekvátní rozsah výsadby zeleně – v tomto případě ve dvou řadách nad i pod průlehem. Doprovodná výsadba v tomto rozsahu také není v případě navrhování protierozní ochrany v extravilánech příliš typická. Většinou se u průlehy a mezí navrhuje jednořadá výsadba dřevin. Z výše uvedeného vyplývá, že i rozpočtové náklady na realizaci těchto průlehy budou odpovídat spíše horní hranici, což ukazuje i tabulka níže, kde je uveden soupis nákladů dle standardizovaného ceníku ÚRS.

Tab. 1 Soupis nákladů na realizaci tří zasakovacích průlehů (zdroj AGPOL s.r.o.)

PČ	Typ	Kód	Popis	MJ	Množství	J.cena [CZK]	Cena celkem [CZK]
D	1		Zemní práce				1 937 598,07
1	K	120001101	Příplatek za ztížení vykopávky v blízkosti podzemního vedení	m3	6,000	281,00	1 686,00
2	K	121101101	Sejmutí ornice s přemístěním na vzdálenost do 50 m	m3	4 398,750	26,20	115 247,25
3	K	124203102	Vykopávky přes 1000 do 5000 m3 pro koryta vodotečí v hornině tř. 3	m3	3 825,000	73,10	279 607,50
4	K	131233102	Hloubení jam do 10 m3 ručně v nesoudržných horninách tř. 3 při překozech inženýrských sítí	m3	6,000	906,00	5 436,00
5	K	162301101	Vodorovné přemístění do 500 m výkopku/sypaniny z horniny tř. 1 až 4	m3	2 868,750	63,50	182 165,63
6	K	171101101	Uložení sypaniny z hornin soudržných do násypů zhutněných na 95 % PS	m3	3 825,000	37,00	141 525,00
7	K	171201101	Uložení sypaniny do násypů nezhutněných	m3	2 868,750	18,20	52 211,25
8	K	174101101	Zásyp jam, šachet rýh nebo kolem objektů sypaninou se zhutněním	m3	5,400	73,20	395,28
9	K	181451122	Založení lučního trávníku výsevem plochy přes 1000 m2 ve svahu do 1:2	m2	15 300,000	6,84	104 652,00
10	M	005724800	osivo směs jetelotrávní	kg	472,770	93,20	44 062,16
11	K	182201101	Svahování násypů	m2	12 750,000	31,40	400 350,00
12	K	182301131	Rozprostření ornice pl přes 500 m2 ve svahu přes 1:5 tl vrstvy do 100 mm	m2	15 300,000	24,20	370 260,00
13	K	184102100R	Náhradní výsadba dřevin 10 - 12cm	kus	80,000	3 000,00	240 000,00

Z tabulky výše je patrné, že základními parametry, které určují konečnou cenu navržených opatření, je objem zemních prací (tzn. délka a příčný řez průlehů) a výsadba doprovodné zeleně. Ve výše uvedeném případě se jednalo o návrh tří průlehů s celkovou délkou 638 m a předpokládanou cenou realizace 1,938 mil. Kč. To odpovídá ceně 3 036 Kč/mb. S přihlédnutím na parametry navrhovaných průlehů je možno konstatovat, že se jedná o průměrnou cenu. Obvykle se náklady na realizaci liniových protierozních opatření pohybují, v závislosti na návrhových parametrech, mezi 1 500 – 4 500 Kč.

Druhou složkou mohou být náklady na výkupy pozemků pod opatřeními, případně jakékoliv další náklady související s majetkoprávním vypořádáním. Zatímco ceny za stavební práce jsou do značné míry standardizované ceníky (ÚRS, RTS), ceny za výkupy pozemků jsou tržní. Jen malá část vlastníků půdy je ochotna prodat pozemky za „odhadní“ ceny a výsledné náklady na opatření jsou pak dány zejména tímto aspektem.

5.3.2 Finanční ohodnocení protierozního efektu

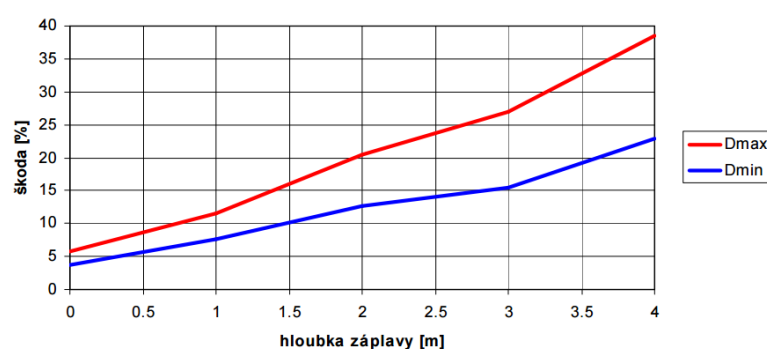
Eroze patří v ekonomických teoriích k tzv. externalitám, což zjednodušeně znamená, že spotřebování statků podnikatelem nebo spotřebitelem je doprovázeno dopady na jiné podnikatele nebo spotřebitele. Např. zemědělec spotřebuje půdu, resp. ztrácí část vrchní vrstvy půdy a smyté půdní částice a živiny jsou odneseny na pozemky nebo do vodních toků, kde vyvolávají škody. Vzniká tak náklad, který však nevstupuje do finančního rozhodování podnikatele (je pro něj externí). Důvodem pro měření externalit je jejich politická citlivost, neboť je obvykle neřeší trh, ale musí být řešeny v rámci státních rozpočtů nebo regulačních nástrojů, či jiných nástrojů politiky. Současně však vznikají také škody na samotném přírodním zdroji – půdě (ztráta ornice, ztráta živin, degradace fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy, snižování úrodnosti, snižování retence vody aj.).

Vzhledem ke komplexní povaze následků eroze musí být identifikovány pokud možno všechny typy interních a externích dopadů eroze a hledán způsob, jak ocenit jejich nápravu (např. náklady na vytěžení sedimentů apod.). Současně je nutné identifikovat a ocenit ztrátu půdy a snížení produkce v důsledku působení procesů eroze, aby bylo posouzení následků úplnější (Konečná et al., 2014).

5.3.3 Finanční ohodnocení protipovodňového efektu

Liniová opatření mají vliv na retenci vody, tj. snížení kulminačního průtoku u povodní do určité velikosti, což se projevuje v nižších částech povodí, konkrétně v korytech a inundacích vodních toků v intravilánech. V případě volné krajiny, kde je vznik povodňových škod omezený, je možno benefity spatřovat zejména v omezení případných ekologických škod způsobených katastrofálními povodněmi.

V intravilánech probíhá za účelem identifikace povodňového ohrožení případně za účelem stanovení záplavových území hydrodynamické modelování. Výstupem modelů jsou hladiny N-letých vod. Na základě toho lze pro ohrožené nemovitosti stanovit hloubku zaplavení. Pro jednotlivé typy stavebních objektů jsou tabelovány průměrné ceny za 1 m³ objektu a zároveň jsou tabelovány tzv. škodní křivky, které udávají, jaká škoda vznikne na objektu v případě jeho zaplavení. Škody jsou uváděny v procentech hodnoty nemovitosti (viz obrázek níže). Na obdobném principu jsou založeny metodiky pro hodnocení ekonomické efektivity protipovodňových opatření, například Satrapa et al. (2011).



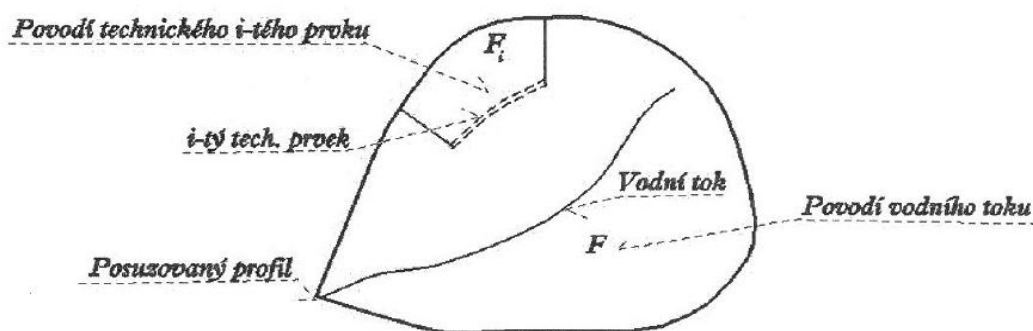
Obr. 6 Škodní křivka pro JKSO 803 (běžné budovy individuálního bydlení).

Protipovodňový účinek liniových prvků je tedy možno jednoznačně vyhodnotit tak, že v intravilánu dojde ke snížení N-letých průtoků (všech či těch, na které je opatření dimenzováno), což se promítne do snížení hladiny. Jelikož jsou škody na nemovitostech a vybavení přímo úměrné hloubce zaplavení, dochází snížením hladiny ke snížení škod, které je možno v konkrétních případech snadno vyčíslit. Vzhledem k tomu, že liniové prvky mají také protierozní účinek, povodeň s sebou ponese méně splavenin, což se dále projeví v menších povodňových škodách (například škody na komunikacích). Vzhledem k tomu, že cílem dizertační práce nebylo hydrodynamické modelování průběhu hladin N-letých průtoků v korytech vodních toků v intravilánu obcí, je vyhodnocení protipovodňového efektu liniových opatření vztaženo ke snížení hodnoty kulminačního průtoku. Tyto dva jevy jsou však vzájemně velice úzce provázány.

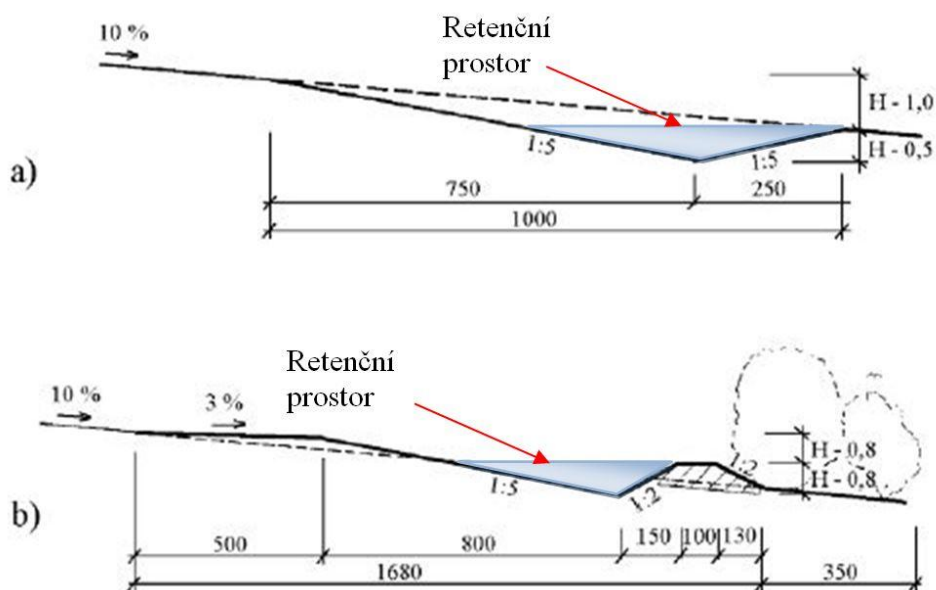
Dalším benefitem liniových prvků je zadržetí vody v krajině (zlepšení mikroklima, podpora tvorby zásob podzemních vod, ekologické funkce apod.). Tyto efekty již není možné tak snadno finančně vyčíslit. Určité přiblížení je možno provést tak, že v případě drobných opatření se jednotková cena na 1 m³ zadržené vody pohybuje v řádu nižších stokerun.

6 METODA POSOUZENÍ VLIVU LINIOVÝCH OPATŘENÍ

Liniové prvky (záchytné, vsakovací) disponují retenčním prostorem, který je schopen zachytit část popřípadě celý objem povrchového odtoku z výše ležícího povodí. Objem retenčního prostoru závisí na technickém provedení příčného profilu a celkové délce liniového prvku. Ukázky vzorových příčných řezů záchytných průleहů a zapojení těchto ochranných prvků do povodí vodního toku jsou znázorněny na Obr. 7 a Obr. 8. Po překročení retenční kapacity již není liniový prvek schopen zachytit další přítok. Ten pokračuje dál po toku do závěrového profilu povodí, kde se podílí na konečném tvaru hydrogramu a celkovém objemu odtoku.



Obr. 7 Schéma povodí s liniovým biotechnickým prvkem



Obr. 8 Vzorové příčné řezy záchytných průleहů (katalog protierozních opatření, 2008)

Výše popsany princip fungování záchytných průleहů bylo nutné zohlednit výběrem vhodné metody při sestavování srážko-odtokového modelu. V rámci řešení tohoto úkolu bylo uvažováno se třemi možnými variantami, kterými bylo možné zohlednit zachycení objemu přímého odtoku záchytným průlehem. Uvažované varianty budou demonstrovány na příkladu záchytného průlehu „A“ v povodí Němčického potoka (popis řešených povodí je uveden v následující kapitole). Plocha povodí

záchytného průlehu činí 0,187 km². Maximální retenční kapacita průlehu je navržena tak, aby zachytila celý objem odtoku s průměrnou dobou opakování 10 let.

V prvním případě (varianta I) bylo uvažováno se snížením úhrnu srážky v povodí záchytného průlehu o objem rovný retenční kapacitě navrhovaného liniového prvku. Tzn. požadovaná kapacita průlehu „A“ potřebná k zachycení objemu přímého odtoku z plochy povodí nad záchytným prvku je 3 712 m³. V tomto případě by to představovalo snížení celkového úhrnu příčinné srážky o 19,85 mm. Znamenalo by to, že celkový úhrn srážky s průměrnou dobou opakování 10 let by se z 57,50 mm snížil na 37,65 mm, což odpovídá přibližně 2letému srážkovému úhrnu. Tato varianta však ne úplně dokonale odráží reálný proces v přírodě. Navíc při prověřování této varianty (I) v prostředí HEC-HMS se ukázalo, že uvažovaný předpoklad nekoreluje s výsledky z S-O modelu jak ukazuje tabulka níže. To je způsobeno hlavně použitou metodou hydrologické transformace (CN – křivky), která na základě použitého vzorce (9) transformuje příčinnou srážku v jednotlivých časových intervalech, tzn. pokud je ve stejném časovém intervalu různá výška srážkového úhrnu, dochází k odlišné hydrologické transformaci – není zde přímá úměra. Tím je způsobeno to, že v případě varianty I jsou hydrologické ztráty menší než v případě neovlivněné varianty III a i přes požadované snížení příčinné srážky dochází k přímému odtoku, jehož kulminace dosahuje 0,170 m³/s, objem povodňové vlny v tomto případě činí 1 460 m³.

Metoda hydrologické transformace byla využita i ve druhém uvažovaném případě (varianta II). Tentokrát bylo namísto snížení úhrnu příčinné srážky uvažováno se zvýšením počáteční retence povodí záchytného průlehu. To v prostředí S-O modelu znamenalo snížení čísla odtokové křivky (CN čísla). V tomto konkrétním případě byla původní hodnota CN rovna 81,05, což odpovídá počáteční retenci (vypočtené dle vztahů (9) a (13)) 11,88 mm. K dosažení požadované hodnoty 19,85 mm bylo třeba změnit hodnotu CN na 71,90. I touto variantou (II) však nebylo dosaženo požadovaného výsledku. Potvrzení výsledků je uvedeno v tabulce níže, ze které vyplývá, že ačkoliv došlo ke zvýšení počáteční retence na 47,15 mm, stále dochází k povrchovému odtoku z povodí retenčního prvku. Ten dosahuje kulminace o hodnotě 0,222 m³/s a objem přímého odtoku je 1 939 m³.

Poslední uvažovanou možností (varianta III) bylo využití základní nabídky prvků programu HEC - HMS pro zapojení záchytných průlehu do schématu povodí. Tato varianta se ukázala jako nejlépe odrážející skutečnou situaci v řešeném povodí. Příkladem je tabulka níže. V tomto případě dochází k „neovlivněné“ hydrologické transformaci „neovlivněného“ srážkového úhrnu. Celý objem odtoku (3 712 m³) je zachycen průlehem a do závěrového profilu celého řešeného povodí nepokračuje žádný odtok z povodí záchytného průlehu. V rámci této uvažované varianty tudíž nedochází k umělé manipulaci se vstupními daty (úhrn příčinné srážky, charakteristiky povodí), což je samo o sobě velkou výhodou. Další výhodou je časový aspekt, vzhledem k tomu, že není potřeba dodatečná manipulace se vstupními daty, dochází k velké úspoře času při výpočtech.

Tab. 2 Porovnání uvažovaných variant zapojení průlehu do schématu povodí, povodí zatíženo příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování 10 let

uvažovaná varianta (příčinná srážka HS,10)	snížení srážky	zvýšení infiltrace	HEC-HMS
	I	II	III
příčinná srážka [mm]	37,65	57,50	57,50
hydrologické ztráty [mm]	29,85	47,15	37,68
výška přímého odtoku [mm]	7,80	10,35	19,82
objem přítoku do průlehu [m ³]	1 460	1 939	3 712
objem odtoku pod průlehem [m ³]	1 460	1 939	0
přítok do průlehu Q _{max} [m ³ /s]	0,170	0,222	0,451
odtok z průlehu Q _{max} [m ³ /s]	0,170	0,222	0,000

V tabulce níže je ještě uveden případ, který srovnává uvažované varianty v případě zasažení povodí průlehu příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování 20 let. Nabízí se totiž otázka, proč ve výše uvažovaných variantách neupravit vstupní data tak, aby výsledný odtok z povodí průlehu byl roven nule, stejně jako tomu je v případě varianty III. Důvod je jednoduchý a demonstruje ho tabulka níže. V případě dodatečné manipulace se vstupními daty (s uvažovaným srážkovým úhrnem $H_{S, 10}$) by došlo k výraznému zkreslení výsledků v jiných uvažovaných případech a kombinacích např. při porovnávání vlivu liniových opatření při vyšších N-letých průtocích než na které jsou navrhovány.

Tab. 3 Porovnání uvažovaných variant zapojení průlehu do schématu povodí, povodí zatíženo příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování 20 let

uvažovaná varianta (příčinná srážka $H_{S,20}$)	snížení srážky	zvýšení infiltrace	HEC-HMS
	I	II	III
příčinná srážka [mm]	47,15	66,10	66,10
hydrologické ztráty [mm]	34,01	51,40	40,22
výška přímého odtoku [mm]	13,14	14,70	25,88
objem přítoku do průlehu [m ³]	2 461	2 753	4 846
objem odtoku pod průlehem [m ³]	2 461	2 753	1 134
přítok do průlehu Q_{max} [m ³ /s]	0,295	0,323	0,593
odtok z průlehu Q_{max} [m ³ /s]	0,295	0,323	0,252

Po řadě experimentů a zohlednění všech výše zmíněných variant se jako nejlepší ukázalo využití možností programu HEC-HMS a jeho základní nabídky prvků. První dvě metody představovaly nutnost manipulace se vstupními daty, což není zcela objektivní přístup a navíc byly tyto varianty podstatně časově náročnější.

Z výše popsaných důvodů byly prvky hlavního menu srážko-odtokového modelu HEC-HMS využity k zapojení záchytných průlehu do schématu povodí. Navrhovanou metodu posouzení účinnosti je možné popsat následujícím postupem:

- Výběr vhodných lokalit pro umístění liniových prvků.
- Úprava schematizace povodí na základě prostorového vymezení liniových prvků, určení základních charakteristik povodí a sestavení modelu povodí pro program HEC-HMS.
- Kalibrace modelu povodí bez uvažování retenční funkce liniových prvků. Posouzení míry shody teoretických a naměřených hydrogramů.
- Zatížení modelu povodí příčinnými srážkami s různou průměrnou dobou opakování N-let a simulace odtoku bez uvažování retenční funkce liniových prvků. Tím jsou získány podklady pro návrh parametrů liniových prvků (velikost retenčního objemu). Návrh základních projekčních parametrů opatření (tvaru příčného profilu a délky liniového prvku) vycházející z jeho počátečního polohového vymezení.
- Aproximace liniového prvku nádrží s retenčním objemem odpovídajícím objemu liniového prvku. U nádrže se neuvažují spodní výpusti.
- Začlenění liniového prvku (nádrže) do modelu povodí.

- Simulace srážko-odtokového procesu pro sérii vstupních srážek s různou průměrnou dobou opakování N-let.
- Vyhodnocení parametrů odtoku ve zvolených profilech povodí.
- Výpočet účinnosti liniových prvků v těchto profilech, jak z hlediska objemu odtoku, tak z hlediska velikosti kulminačního průtoku.
- Celkové vyhodnocení účinnosti a definice závěrů pro návrh vhodných ochranných opatření

Pro výpočet účinnosti navrhovaných liniových prvků vzhledem k celkovému objemu odtoku byl použit následující vztah:

$$E_{0,V} = \left(1 - \frac{V_{ovl.}}{V_{neovl.}}\right) * 100 \quad [\%] \quad (15)$$

kde

$E_{0,V}$ účinnost navržených opatření,

$V_{ovl.}$ ovlivněný objem povrchového odtoku ve vybraném profilu povodí (po návrhu opatření),

$V_{neovl.}$ neovlivněný objem povrchového odtoku ve vybraném profilu povodí bez uvažování liniových opatření.

Výpočet účinnosti liniového prvku vztažený k velikosti kulminačního průtoku toku byl proveden dle vztahu:

$$E_{0,Q} = \left(1 - \frac{Q_{ovl.}}{Q_{neovl.}}\right) * 100 \quad [\%] \quad (16)$$

kde

$E_{0,Q}$ účinnost navržených opatření,

$Q_{ovl.}$ hodnota ovlivněného kulminačního průtoku v určeném profilu povodí (po návrhu opatření),

$Q_{neovl.}$ hodnota neovlivněného kulminačního průtoku v určeném profilu povodí bez uvažování liniového prvku.

Celý výpočet dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy probíhal v prostředí ArcGIS, konkrétně byl použit Raster Calculator z extenze Spatial Analyst. Samotný výpočet je založen na práci a matematických operacích s rastrovými vrstvami, podrobně je celá metodika popsána například v Dumbrovský (2009).

Výsledkem těchto analýz je dlouhodobý průměrný roční erozní smyv na jednotlivých erozně uzavřených celcích (dále EUC). Vynásobením plochy jednotlivých EUC a dlouhodobé průměrné roční hodnoty erozního smyvu na jednotlivých EUC dostaneme hmotnost zeminy, která je v dlouhodobém průměru každoročně z těchto územních jednotek vlivem vodní eroze odnesena a končí buďto v korytech vodních toků nebo vodních nádržích. Výchozí jednotkou pro srovnání účinnosti liniových opatření z hlediska erozního ohrožení je celkový dlouhodobý průměrný roční erozní smyv v tunách za rok z celého zájmového území. Pro výpočet účinnosti byl využit následující vztah:

$$E_{0,G} = \left(1 - \frac{G_{ovl.}}{G_{neovl.}}\right) * 100 \quad [\%] \quad (17)$$

kde

- $E_{0,G} \dots\dots$ účinnost navržených opatření z hlediska protierozního,
- $G_{ovl.} \dots\dots$ hodnota celkového ovlivněného průměrného dlouhodobého ročního erozního smyvu v ploše řešeného území (po návrhu opatření),
- $G_{neovl.} \dots\dots$ hodnota celkového neovlivněného průměrného dlouhodobého ročního erozního smyvu v ploše řešeného území (stávající stav bez navržených opatření).

7 PRAKTICKÁ APLIKACE NAVRHOVANÉ METODY

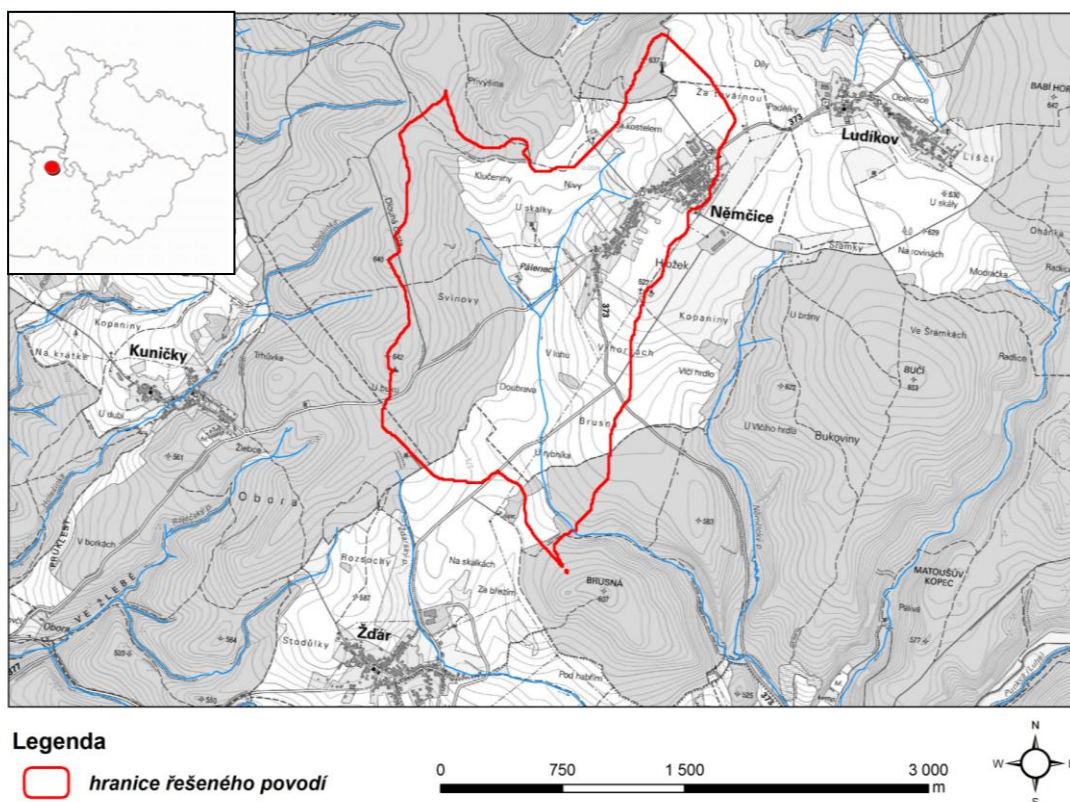
Metoda popsaná v předchozí kapitole byla využita pro posouzení vlivu navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku ve dvou experimentálních povodích. V těchto povodích je v závěrovém profilu osazen Thomsonův měrný přeliv. Na základě získaných dat od VÚMOP, v.v.i., který měření průtoků v těchto profilech provádí, byla možná částečná kalibrace obou modelů.

7.1 VYBRANÁ EXPERIMENTÁLNÍ POVODÍ

V dalších dvou podkapitolách se nachází bližší popis experimentálních povodí, popis navržených opatření a výsledky modelování.

7.1.1 Povodí Němčického potoka

Zájmová oblast experimentálního povodí se z velké části rozkládá v k.ú. Němčice, část povodí zasahuje také do katastrálních území obcí Ludíkov, Újezd u Boskovic, Kuničky a Žďár. Celková plocha povodí je 3,694 km². Z čehož přibližně 45 % území tvoří orná půda, 40 % lesy, cca 5 % intravilán obce Němčice v severovýchodní části povodí. Zbytek (10 %) tvoří ostatní plochy v nejširším slova smyslu.



Obr. 9 Poloha experimentálního povodí Němčického potoka

Němčický potok se vlévá do říčky Luhy, která v Moravském krasu pokračuje jako Punkva a v Blansku levobřežně ústí do Svitavy. Reliéf experimentálního povodí tvoří mírně členité, dlouhé

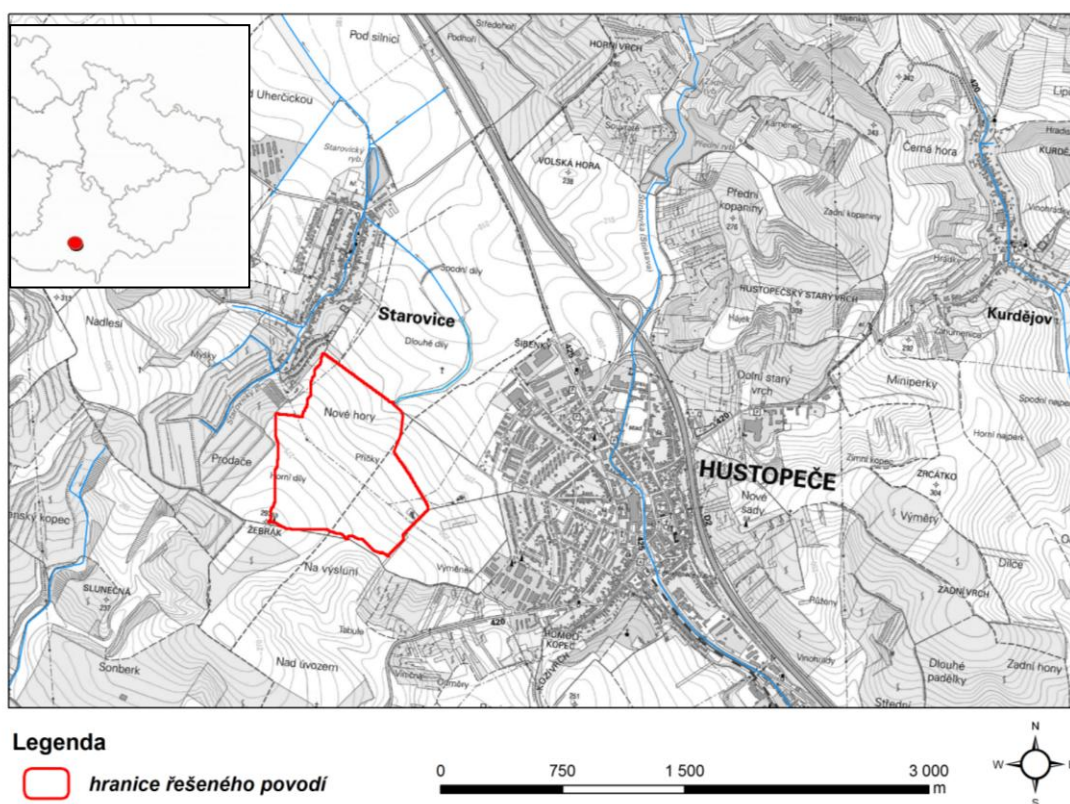
pozvolné svahy Dražanské vrchoviny. Rozvodnice v nejvyšším bodě prochází nadmořskou výškou 653,98 m n. m., závěrný profil je ve výšce 545,85 m n.m.

Klimaticky patří zájmové území do oblasti mírně teplé, okrsku mírně vlhkého. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 6 °C, průměrný roční úhrn srážek dosahuje 652 mm.

Zájmové povodí leží v oblasti starých zvrásněných sedimentů. Východní část území je součástí kulmu. V západní polovině je podloží tvořeno horninami krystalinika. V jihozápadní části katastru Němčice se nacházejí čtvrtohorní pleistocénní sedimenty. Geologie je tedy poměrně pestrá, což následně odráží také půdní poměry. Na horninách kulmu tvoří půdní pokryv převážně kambizemě modální eubazické až mezobazické, místy slabě oglejené, převážně středně těžké a středně skeletovité. V horních partiích svahů jsou půdní horizonty oderodované. Tam, kde je mocnost půdy menší a více se projevuje půdotvorný substrát, se nachází kambizemě litické, středně těžké nebo lehčí. V západní části povodí se vytvořily hnědozemě luvické oglejené na svahových hlínách, středně těžké, ve spodině těžší. Údolí potoka vyplňují gleje modální na svahovinách, středně těžké až těžké. Na svazích na méně propustných svahovinách se vyvinuly pseudogleje modální středně těžké, ve spodině těžší.

7.1.2 Povodí Starovického potoka

Zájmová oblast leží západně od města Hustopeče. Experimentální povodí protíná hranice dvou katastrálních území. Západní část povodí leží v katastru obce Starovice, východní část potom v katastru města Hustopeče. Celková plocha povodí k závěrovému profilu, ve kterém je osazen Thomsonův měrný přeliv, činí 0,75 km². Téměř veškeré území je využíváno jako orná půda.



Obr. 10 Poloha experimentálního povodí Starovického potoka

Klimaticky patří zájmové území do naší nejteplejší oblasti T4, okrsku teplého a suchého s mírnou zimou. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 9 °C, průměrný roční úhrn srážek dosahuje 563 mm s maximem v červenci a minimem v únoru.

Území tvoří horní část povodí bezejmenného pravostranného přítoku Starovického potoka. Středem povodí prochází výraznější údolnice, ve které se však nenachází stálá vodoteč. Nadmořské výšky v tomto experimentálním povodí se pohybují od 220 do 292 m n.m. Území můžeme považovat za mírně svažité se sklony v rozmezí 5 - 10 %.

Hustopečská pahorkatina, v níž se nachází zájmové území, patří do moravské části karpatské soustavy, která je tvořena paleogenním útwarem, jenž se nazývá moravským flyšovým pásmem. Převládající sedimenty jsou písčité tzv. ždánické pískovce s vložkami slínu. Ty jsou překryty různě mocnými pokryvy spraší. Spraše tvoří mateční substrát zdejší půdy. Na spraších se vytvořily černozemě karbonátové, černozemě a lužní půdy karbonátové. Vláhové poměry u této půdní jednotky jsou příznivé až vysušené. Mezi další půdní jednotky, nacházející se v této oblasti, řadíme černozem modální smytou.

Vzhledem k častým škodám způsobovaným přívalovými srážkami a rychlým povrchovým odtokem došlo v této oblasti k návrhu a realizaci jednoduchých pozemkových úprav. V experimentálním povodí bylo v rámci těchto JPÚ navrženo několik lokalit pro realizaci liniových protierozních a protipovodňových opatření. Aplikace navrhované metody a výsledky posouzení účinnosti navrhovaných opatření budou představeny v kapitole 8.

7.2 KALIBRACE SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH MODELŮ

K ověření, zda sestavený model dostatečně odpovídá skutečné situaci v experimentálním povodí Starovického potoka, byla provedena kalibrace na základě podkladních, reálně naměřených dat, které poskytl VÚMOP, v.v.i. Brno. K dispozici byla data z Thomsonova měrného přelivu a rovněž data z ombrografu. Oba přístroje jsou umístěny v závěrovém profilu experimentálního povodí. K instalaci přístrojů došlo v roce 2008 a v době zpracování byla k dispozici časová řada do roku 2010. V tomto relativně krátkém časovém období byly zaznamenány 4 měřitelné srážko-odtokové situace. Ani v jednom případě však naměřený kulminační průtok nedosáhl hodnoty alespoň 0,1 m³/s. Hodnoty naměřených kulminačních průtoků a srážkových úhrnů jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 4 Hodnoty kulminačních průtoků a srážkových úhrnů naměřených v závěrovém profilu povodí Starovického potoka.

datum	Thomsonův přeliv	doba trvání deště	srážky Σ
	Q _{max} [m ³ /s]	min	mm
26. 6. 2008	0,0680	38	4,30
18. 6. 2010	0,0088	30	17,40
6. 7. 2010	0,0143	30	25,60
17. 7. 2010	0,0069	31	19,50

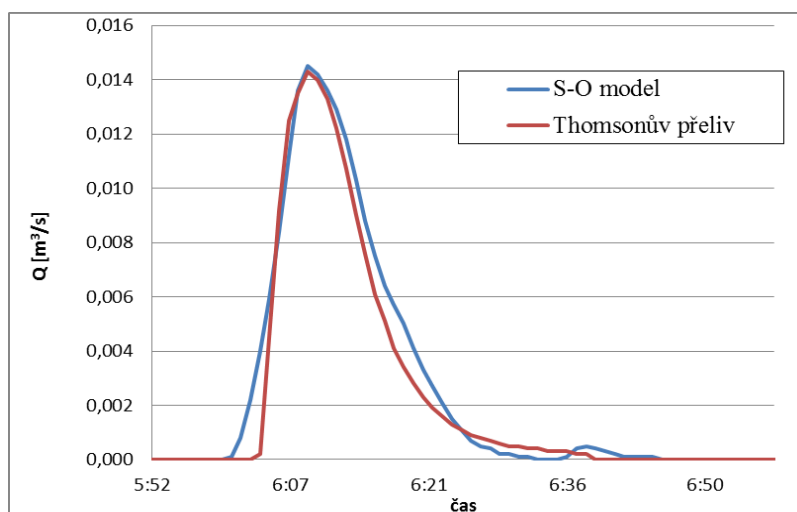
Ze čtyř naměřených situací byly pro účely kalibrace vybrány pouze tři. Srážko-odtoková událost, ze dne 26.6.2008 nebyla uvažována z hlediska pravděpodobné chyby na jednom z měřicích přístrojů (nepravděpodobný průběh, kdy čtyřikrát nižší srážkový úhrn vyvolal řádově vyšší odtok než v ostatních naměřených případech).

Ačkoliv byly kulminační průtoky velmi malé, podařilo se model nakalibrovat tak, že se hodnoty kulminací ze S-O modelu shodovaly s hodnotami naměřenými. Problém byl však v objemech odtoku.

Modelovaný objem odtoku výrazně překračoval hodnoty naměřené na Thomsonově přelivu. Bylo možno předpokládat, že srážka (s úhrnem naměřeným v závěrovém profilu povodí) nezasáhla celou plochu experimentálního povodí, ale pouze jeho část. Na základě této domněnky byla plocha povodí zasažená deštěm redukována a rovněž upravena doba koncentrace. Porovnání výstupů kalibrace je uvedeno v tabulce níže a ukázka časového průběhu měřeného a modelovaného odtoku na obrázku níže.

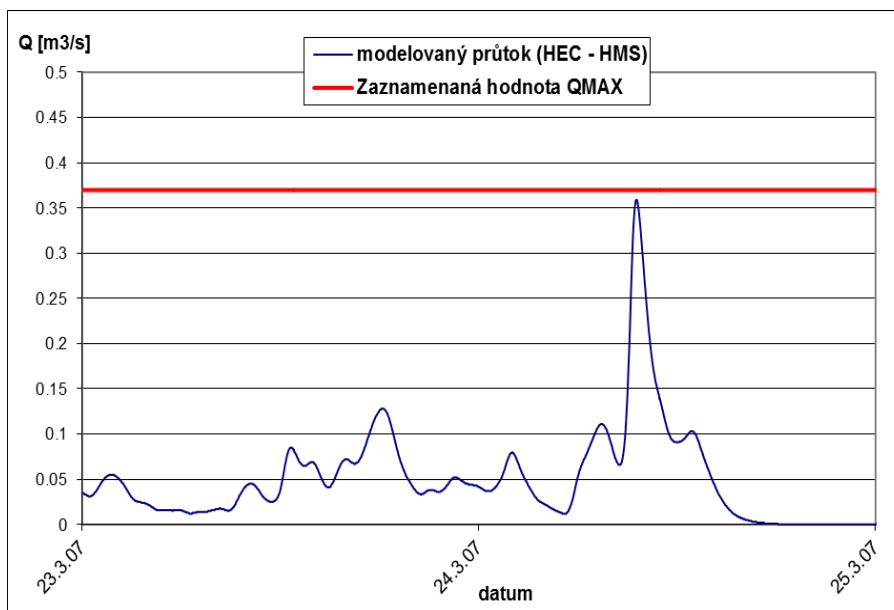
Tab. 5 Hodnoty kulminačních průtoků a srážkových úhrnů naměřených v závěrovém profilu povodí Starovického potoka.

datum	Q _{max}			V _o		
	naměřeno	S-O model	rozdíl v %	naměřeno	S-O model	rozdíl v %
18. 6. 2010	0,0088	0,0097	10,23	6,492	8,84	36,17
6. 7. 2010	0,0143	0,0145	1,40	9,408	10,58	12,46
17. 7. 2010	0,0069	0,0069	0,00	4,764	3,78	20,65



Obr. 11 Srovnání měřeného a modelovaného hydrogramu v závěrovém profilu povodí Starovického potoka

Odtok za mírně zvýšeného průtoku se podařilo nakalibrovat také v povodí Němčického potoka. Dne 24. 7. 2007 byla naměřena hodnota 0,37 m³/s. Vstupní údaje této srážkové epizody byly zadány do modelu HEC-HMS, přičemž výpočet skončil kulminační hodnotou 0,36 m³/s (viz obrázek níže). Z výsledků lze konstatovat, že také model povodí Němčického potoka je sestaven korektně. Bližší kalibraci na celou povodňovou vlnu není možno provést, neboť byly poskytnuty pouze denní maxima.



Obr. 12 Kalibrace modelu Němčického potoka, shoda měřeného maxima 0,37 m^3/s s výstupem modelu 0,36 m^3/s



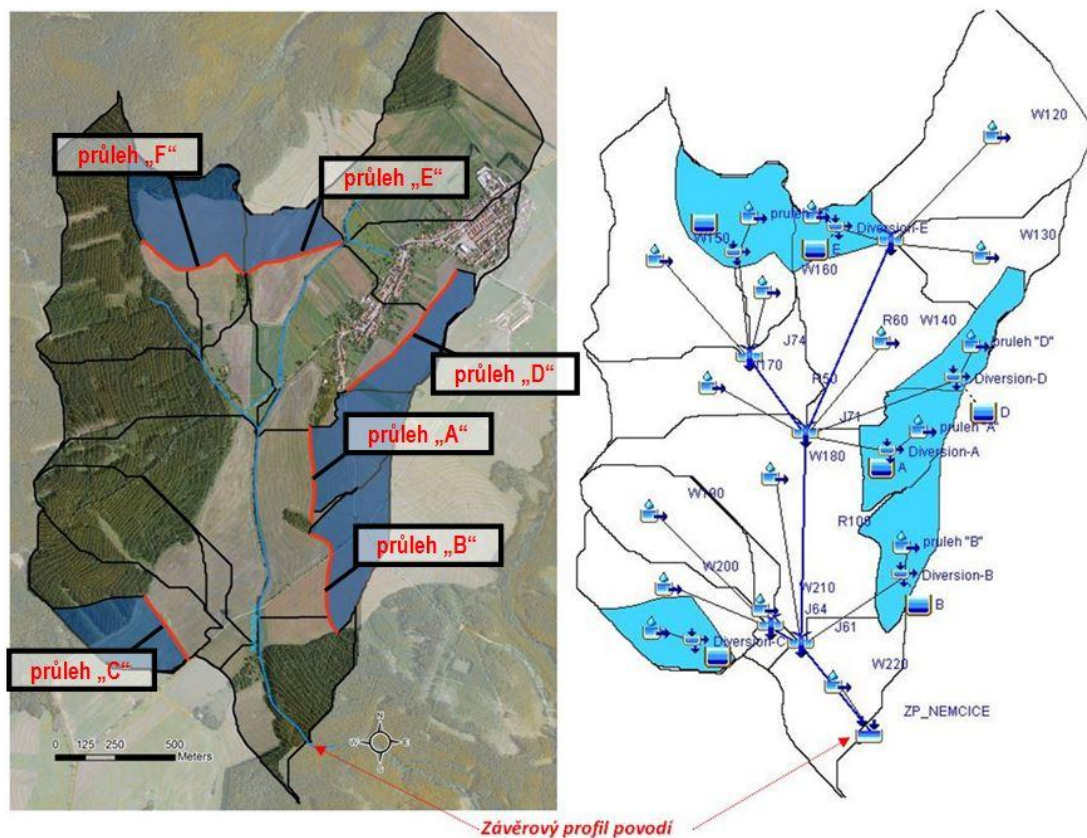
Obr. 13 Thomsonův přeliv v závěrovém profilu Němčického potoka

7.3 UKÁZKY VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ

V této kapitole je představena praktická aplikace přístupů a metod popsaných v kapitolách 5 a 6 této dizertační práce. Aplikace je provedena na výše popsaných experimentálních povodích Němčického a Starovického potoka. Vzhledem k velkému množství řešených variant byly k prezentování vybrány jen některé, ty nejvíce reprezentativní.

7.3.1 Protipovodňový efekt – povodí Němčického potoka

V povodí Němčického potoka bylo situováno celkem šest záchytných průlehů. Z důvodů značně velkého množství uvažovaných scénářů (zatížení povodí řadou srážek s průměrnou dobou opakování $N = 2, 5, 10, 20, 50, 100$ let, návrh objemu liniových prvků pro tytéž N -letosti a vyhodnocení jejich vlivu v profilech bezprostředně pod liniovým prvkem, v uzávěrovém profilu mezipovodí (popsáno v Doležal, Feltl, 2010) a v uzávěrovém profilu celého povodí) jsou v této části detailně interpretovány pouze dvě vybrané varianty, všechny ostatní jsou součástí přílohy č. 1 této práce. V první popisované variantě se jedná o vyhodnocení vlivu jednoho navrženého průlehu na parametry odtoku bezprostředně pod vlastním průlehem, ten byl navržen na zachycení srážky s průměrnou dobou opakování $N = 10$ let. V druhé popisované variantě se jedná o posouzení vlivu dvou průlehů navržených na zachycení srážek s průměrnou dobou opakování $N = 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let v uzávěrovém profilu celého povodí. Pro zhodnocení základních funkčních vztahů je na konci této kapitoly ukázka různých kombinací zapojení záchytných průlehů v ploše povodí. Umístění ochranných prvků v rámci experimentálního povodí a jeho schematizace v programu HEC-HMS je znázorněna na Obr. 14.



Obr. 14 Experimentální povodí Němčického potoka s umístěnými ochrannými prvky (vlevo situace povodí, vpravo schematizace povodí v programu HEC-HMS)

Plocha celého povodí byla 3,694 km² a plocha povodí navržených opatření činila 0,700 km². Plocha povodí záchytných průleहů tedy zaujímala 18,95 % celkové plochy experimentálního povodí.

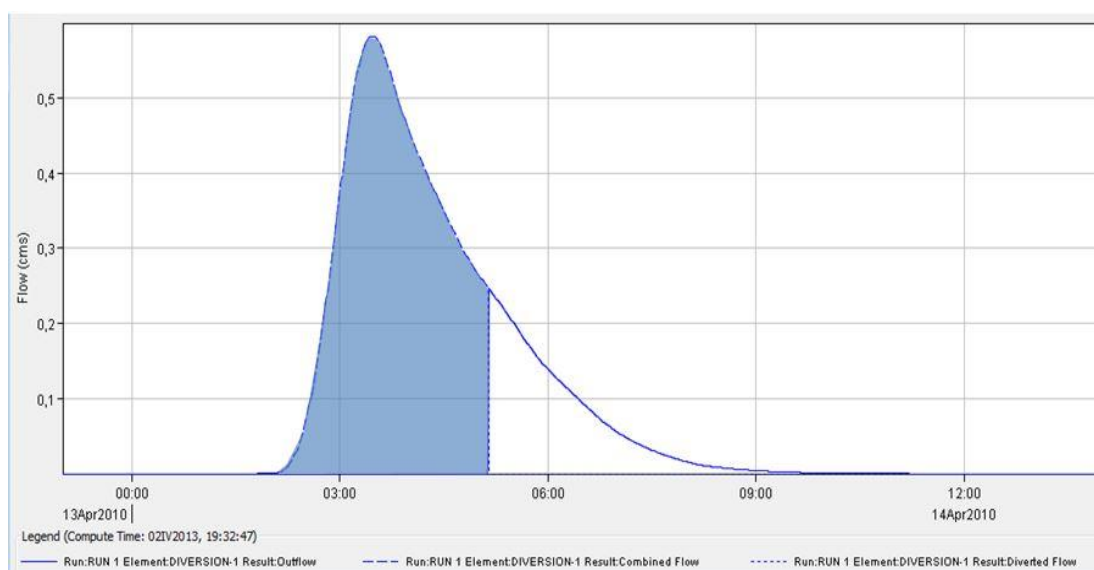
7.3.1.1 Výsledky prvního variantního řešení

Uvedené výsledky jsou pro jeden průleह „A“. Průleह je navržen tak, aby zachytil objem povrchového odtoku vyvolaného srážkou s průměrnou dobou opakování $N = 10$ let. Délka průlehu činí 403 m a plocha příčného průřezu je 9,10 m². Hodnocený profil hydrologických dat je uvažován bezprostředně pod průlehem. V tabulce níže je uveden vliv navrženého prvku na parametry povrchového odtoku. V prvním sloupci jsou uvedeny N -letosti návrhové srážky. Ve druhém sloupci jsou uvedeny hodnoty kulminačního průtoku $Q_{neovl.}$, odpovídající neovlivněnému průtoku v místě pod navrhovaným průlehem (hodnoty získané S-O modelem). Ve třetím sloupci je uvedena hodnota kulminačního průtoku $Q_{ovl.}$ ovlivněná navrhovaným průlehem. Ve čtvrtém sloupci je uvedena vypočtená účinnost dle vztahu (16). V pátém sloupci je uvedena hodnota objemu povrchového odtoku z povodí nad navrhovaným průlehem $V_{neovl.}$ (hodnoty vypočtené S-O modelem). V šestém sloupci je hodnota objemu povrchového odtoku z povodí nad průlehem $V_{ovl.}$ ovlivněná jeho retenčním prostorem. V posledním sloupci je uvedena účinnost vypočtená dle vztahu (15).

Tab. 6 Hodnoty ovlivněných (ovl.) a neovlivněných (neovl.) parametrů přímého povrchového odtoku a výsledná účinnost navrhovaného opatření v oblasti pod liniovým prvem (průleh „A“ dimenzovaný na Q_{10})

N	průleh "A" Q_{10}					
	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	účinnost	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	účinnost
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]	[m ³]	[m ³]	[%]
2	0,152	0	100	1 311	0	100
5	0,318	0	100	2 647	0	100
10	0,442	0	100	3 637	0	100
20	0,582	0,246	57,73	4 759	1 092	77,05
50	0,765	0,492	35,69	6 219	2 552	58,96
100	0,915	0,697	23,83	7 415	3 748	49,45

Postupné snižování účinnosti patrné z předchozí tabulky souvisí s kapacitou retenčního prostoru, ale také s jeho vztahem k vzestupné části hydrogramu přítoku do navrhovaného průlehu. V případě, kdy je retenční objem nižší než objem vzestupné větve hydrogramu nedochází ke snížení kulminačního odtoku. V předkládané modelové situaci k této situaci nedošlo. Princip funkce navrhovaného průlehu je patrný z Obr. 15, kde je zvýrazněna zachycená část přitečeného objemu.



Obr. 15 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,20}$ v povodí nad průlehem „A“, plně je znázorněn objem zachycený navrženým průlehem (průleh navržen na Q_{10})

7.3.1.2 Výsledky druhého variantního řešení

Výsledky celkové účinnosti dvou průlehub (průleh „A“, průleh „B“) na parametry povrchového odtoku v závěrovém profilu (ZP) povodí jsou uvedeny v tabulkách 7 a 8. Plocha povodí navržených opatření činila 0,311 km². Plocha povodí záchytných průlehub tedy zaujímala asi 8,4 % celkové plochy experimentálního povodí. V prvním sloupci je uvedena N-letost návrhové srážky. Ve druhém sloupci jsou vyčísleny hodnoty S-O modelem vypočtených neovlivněných kulminačních průtoků v závěrovém profilu povodí ($Q_{neovl.}$) s různou dobou opakování (N). Ve třetím až osmém sloupci jsou uvedeny

účinnosti navrhovaných průlehů zachycující odtok z povodí průlehů vypočtené dle vztahu (16) ze srážek s průměrnou dobou opakování $N = 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let na transformaci kulminace v závěrovém profilu povodí. Například Q_5 znamená, že průleh je navržen tak, aby zachytil celý objem odtoku, vyvolaný příčinnou srážkou s dobou opakování $N = 5$ let, z výše ležícího povodí. V tabulce 8 je stejným způsobem uvedena účinnost navrhovaných průlehů na objem povrchového odtoku v závěrovém profilu povodí.

Za tabulkami je dále uveden obrázek ukazující míru ovlivnění tvaru hydrogramu odtoku navrženými průlehy pro závěrový profil povodí. Hydrogram je vyvolaný srážkou s průměrnou dobou opakování $N = 100$ let. Podrobněji jsou výsledky všech variant uvedeny v závěrečné zprávě (Doležal, Feltl, 2009), a v příloze č. 1 této dizertační práce.

Tab. 7 Účinnost navržených opatření na hodnoty kulminačních průtoků v závěrovém profilu povodí. Průlehy jsou navrženy na Q_2 až Q_{100}

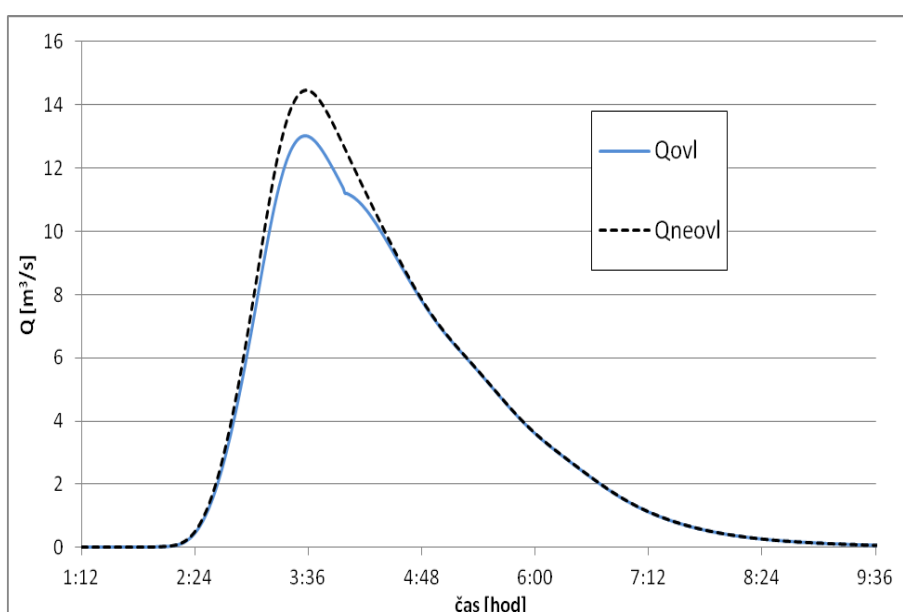
N	ZP (zapojeny oba průlehy)						
	$Q_{neovl.}$	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
	[m ³ /s]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	1,724	12,24	12,24	12,24	12,24	12,24	12,24
5	4,245	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79
10	6,211	10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	10,29
20	8,653	4,61	9,94	9,94	9,94	9,94	9,94
50	11,852	1,67	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61
100	14,375	0,75	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43

Shodné hodnoty účinnosti uvedené v tabulce 7 pro nižší N -letosti návrhových objemů průlehů než je N -letost návrhové srážky s hodnotami pro návrhové objemy rovné nebo vyšší než je N -letost návrhové srážky, jsou v našem případě způsobeny dobou doběhu do uzávěrového profilu. Retenční účinek průlehů s vyšší návrhovou N -letostí se v tomto případě projevuje až za kulminací v uzávěrovém profilu. Celková účinnost navržených liniových opatření na hodnotu kulminačního průtoku v závěrovém profilu tedy nezávisí pouze na velikosti retenčního prostoru, ale rovněž na polohovém umístění prvků v rámci celého povodí a na časovém průběhu odtoku z povodí.

Zjednodušeně je možno říci, že při hodnocení transformace v závěrovém profilu povodí je nejúčinnější využití záchytných prvků v hydrologicky nejvzdálenějších subpovodích (je zde nejdelší doba koncentrace). Zpomalením odtoku z těchto částí povodí dojde k tomu, že hydrologicky bližší povodí odtečou ještě dříve než ovlivněné vzdálené subpovodí. Dojde tak ke zploštění hydrogramu. V případě pozdržení odtoku z hydrologicky bližších subpovodí by mohlo naopak dojít ke zhoršení stávající situace.

Tab. 8 Účinnost navržených opatření na hodnoty objemu odtoku v závěrovém profilu povodí. Průlehy jsou navrženy na Q_2 až Q_{100}

N	ZP (zapojeny oba průlehy)						
	$V_{neovl.}$	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
	[m ³]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	16 442	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39
5	37 301	5,9	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90
10	53 591	4,11	8,28	11,37	11,37	11,37	11,37
20	72 576	3,03	6,12	8,4	10,98	10,98	10,98
50	97 888	2,25	4,53	6,23	8,14	10,63	10,63
100	118 990	1,85	3,73	5,12	6,7	8,75	10,43



Obr. 16 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,100}$ v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně je neovlivněný hydrogram. Modře je znázorněn ovlivněný hydrogram soustavou dvou liniových prvků. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}

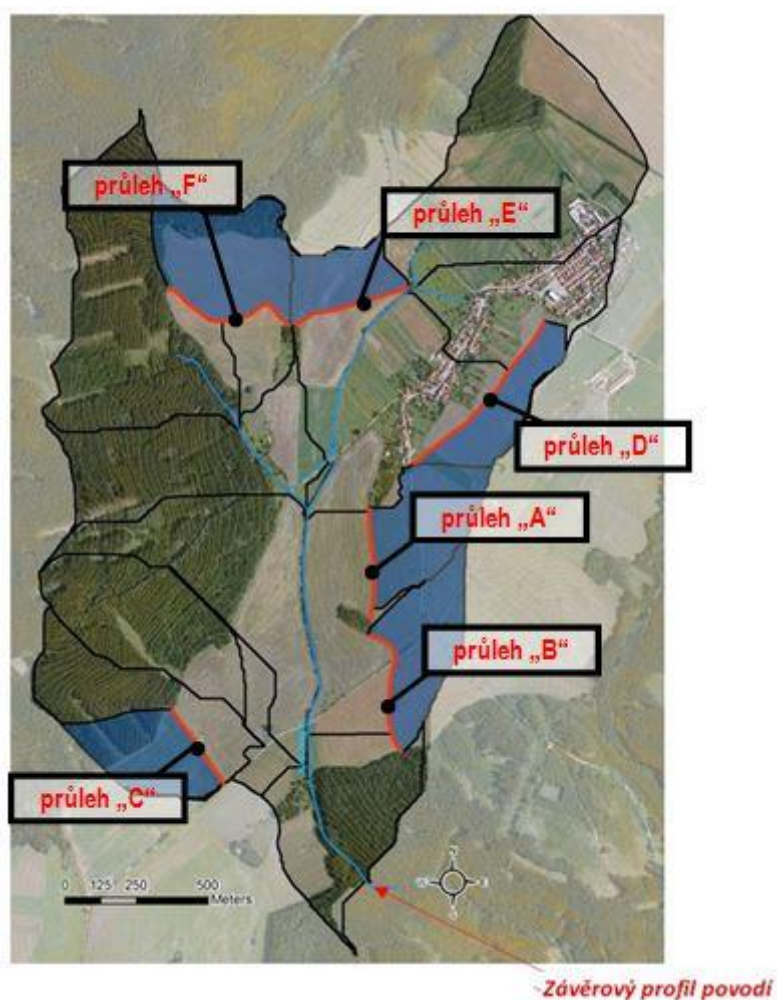
Základní funkční vztahy

Aby bylo možno optimalizovat návrh průlehu, je vhodné otestovat, jakým způsobem při různé konfiguraci ovlivňují průtok v závěrovém profilu. Pro testování byl zvolen návrhový průtok Q_{10} . Je zřejmé, že se zvyšující se N-letostí účinnost opatření klesá a při požadované větší míře ochrany je třeba tyto prvky dle potřeby zvětšit. Pro tyto analýzy bylo vybráno povodí Němčického potoka, neboť celková plocha povodí je výrazně větší než plocha povodí ovlivněná průlehy. Toto lépe vystihuje reálnou situaci, kdy jsou možnosti umístování průlehu omezené a je třeba zvolit nejvhodnější strategii. Testováno bylo několik základních parametrů, jednalo se o:

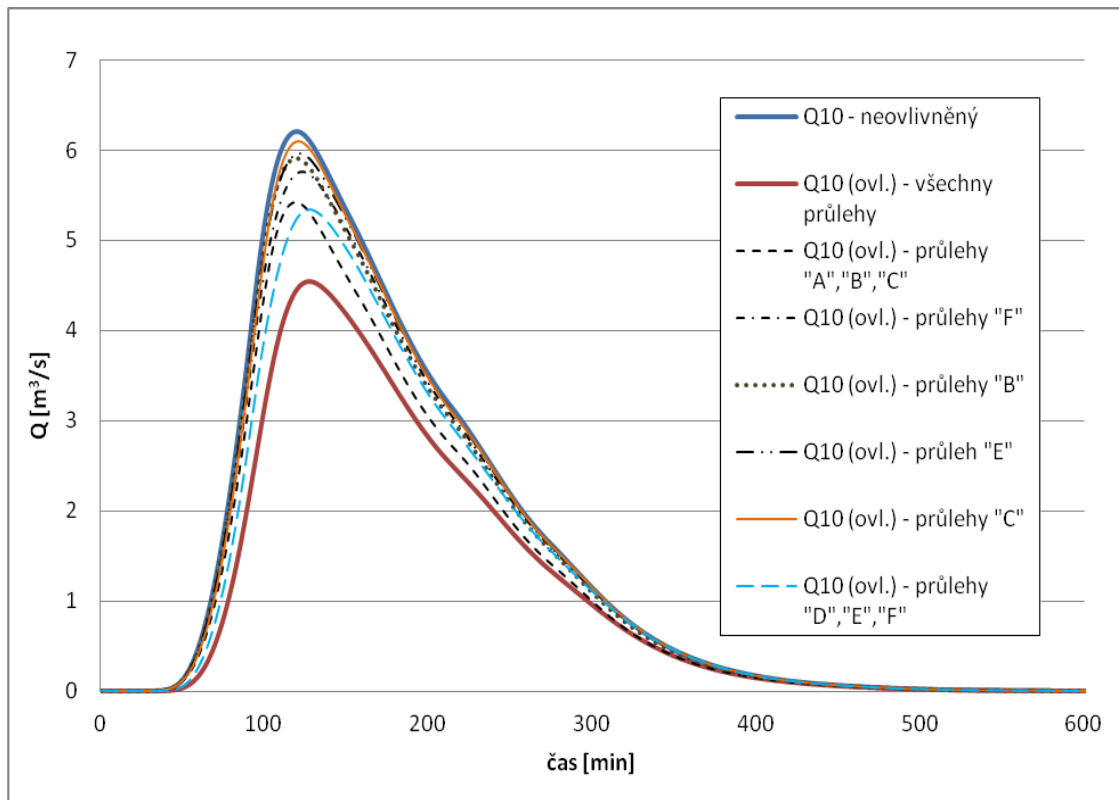
- objem průlehu (objem samostatně, objem vůči objemu povodně)
- vzdálenost průlehu od závěrového profilu (hydrologická vzdálenost určená délkou údolnice od závěrového profilu po průlehu)
- vliv návrhového průtoku

Tab. 9 Vazby objemu průlehů a vzdálenosti průlehů od závěrového profilu

Zapojení průlehů						Q ₁₀		Q ₁₀₀		Popis varianty
A	B	C	D	E	F	Průtok v závěrovém profilu (m ³ /s)	Snížení průtoku v ZP (%)	Průtok v závěrovém profilu (m ³ /s)	Snížení průtoku v ZP (%)	
						6,211	0,0	14,375	0,0	Neovlivněný průtok
x	x	x	x	x	x	4,538	26,9	12,337	14,2	Všechny průlehy
			x	x	x	5,342	14,0	13,765	4,2	Nejvzdálenější průlehy (celkový objem 6 215 m ³)
x	x	x				5,418	12,8	13,000	9,6	Nejbližší průlehy (celkový objem 7 559 m ³)
					x	5,755	7,3	14,026	2,4	Větší průleh dále od ZP (objem 2 730 m ³)
	x					5,914	4,8	13,769	4,2	Větší průleh blíže k ZP (objem 2 484 m ³)
				x		5,959	4,1	14,159	1,5	Menší průleh dále od ZP (objem 1 485 m ³)
		x				6,094	1,9	14,371	0,0	Menší průleh blíže k ZP (objem 1 363 m ³)



Obr. 17 Situační rozdělení průlehů v povodí Němčického potoka



Obr. 18 Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě variant uvedených v tabulce 9

Z výsledků vyplývá, že rozhodujícím ukazatelem pro účinnost průlehu je jeho vzdálenost k hodnocenému závěrovému profilu (hydrologická vzdálenost určená délkou údolnice od závěrového profilu po průlehu). Účinnost tří nejvzdálenějších průlehu (D, E, F) je vyšší než účinnost tří nejbližších (A, B, C) i přesto, že jejich objem je podstatně nižší. Vezmeme-li podobně velké průlehy (dvojice B-F a dvojice C-E), má vždy ten vzdálenější vyšší účinnost. Vezmeme-li v potaz skutečnost, že průlehy jsou navrženy tak, aby do úrovně Q_{10} zcela eliminovaly odtok ze subpovodí, vztah mezi velikostí průlehu a velikostí povodí výsledky nijak neovlivňuje. Pokud se jedná o případy povodní větších než Q_{10} , pak je průlehu schopen ovlivnit kulminační průtok pouze v případech, kdy je jeho objem větší než objem vzestupné větve hydrogramu. Jinými slovy, pokud je objem vzestupné vlny povodně větší, průlehy již nemají na kulminační průtok vůbec žádný vliv.

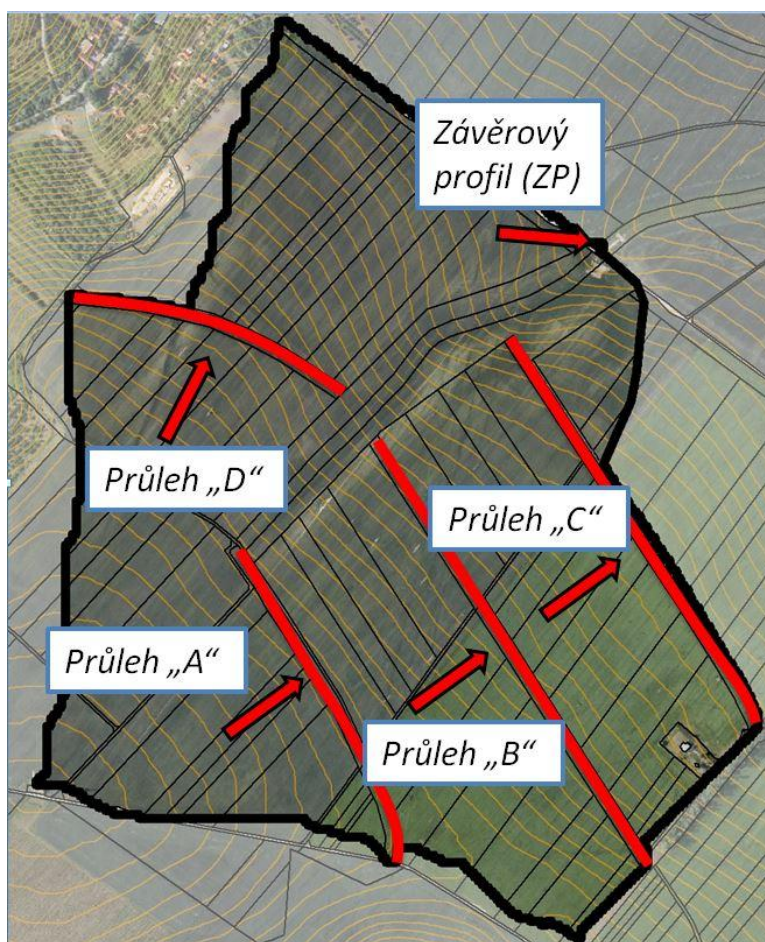
Z výsledků tedy plyne, že nejvýhodnější je umisťovat průlehy do hydrologicky nejvzdálenějších částí (vůči ZP). Pokud budeme uvažovat, že hydrologicky nejvzdálenější povodí jsou zároveň nejsklonitější, pak budou mít průlehy zároveň významný protierozní efekt. Závěrovým profilem je přitom možno uvažovat jak závěrový profil řešeného povodí, tak i jakýkoliv jiný společný profil (hranice intravilánu). Toto potvrzuje již dříve uváděná zjištění.

Výše uvedené interpretace platí pro návrhovou povodeň Q_{10} . V případě funkčnosti na povodně větší, konkrétně až Q_{100} je situace diametrálně odlišná. Jedinou řídicí roli na ovlivnění kulminace v závěrovém profilu má objem liniových prvků. Toto je zřejmé, neboť větší než návrhovou povodeň je schopen ovlivnit pouze průlehu s objemem větším než je objem vzestupné větve povodňové vlny.

7.3.2 Protipovodňový efekt - povodí Starovického potoka

Město Hustopeče a obec Starovice byly v minulosti často postihovány přívalovými srážkami, které způsobovaly rychlý povrchový odtok doprovázený výrazným smyvem orné půdy. V této oblasti tak docházelo k častým škodám na majetku místních obyvatel. Hlavní příčinou této situace byla kombinace sklonitého území s intenzivním využíváním okolní orné půdy a pěstováním erozně nebezpečných plodin. V minulých letech, zde proto byla v rámci jednoduchých pozemkových úprav navržena celá řada protierozních a protipovodňových opatření včetně suché retenční nádrže. V řešeném experimentálním povodí byly v rámci zmíněných JPÚ navrženy čtyři lokality k umístění liniových protierozních opatření. Hranice experimentálního povodí a situační rozmístění navrhovaných průlehů v rámci experimentálního povodí je patrné z Obr. 19.

Na základě těchto skutečností byl sestaven S-O model, který zohledňoval návrh JPÚ a na základě výše popsané metody byla vypočtena účinnost navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku v závěrovém profilu povodí. Nebylo však uvažováno pouze s jedinou variantou, tedy realizací všech navrhovaných průlehů, ale byly zohledněny všechny kombinace možné realizace. V následující ukázce výsledků bylo uvažováno se záchytnými průlehy, které byly dimenzovány tak, aby zachytily objem odtoku vyvolaný příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování $N = 10$ let. Po návrhu retenční kapacity jednotlivých průlehů bylo celé experimentální povodí zatíženo příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování $N = 100$ let, která vyvolala kulminační průtok Q_{100} .



Obr. 19 Hranice experimentálního povodí, situace navržených opatření

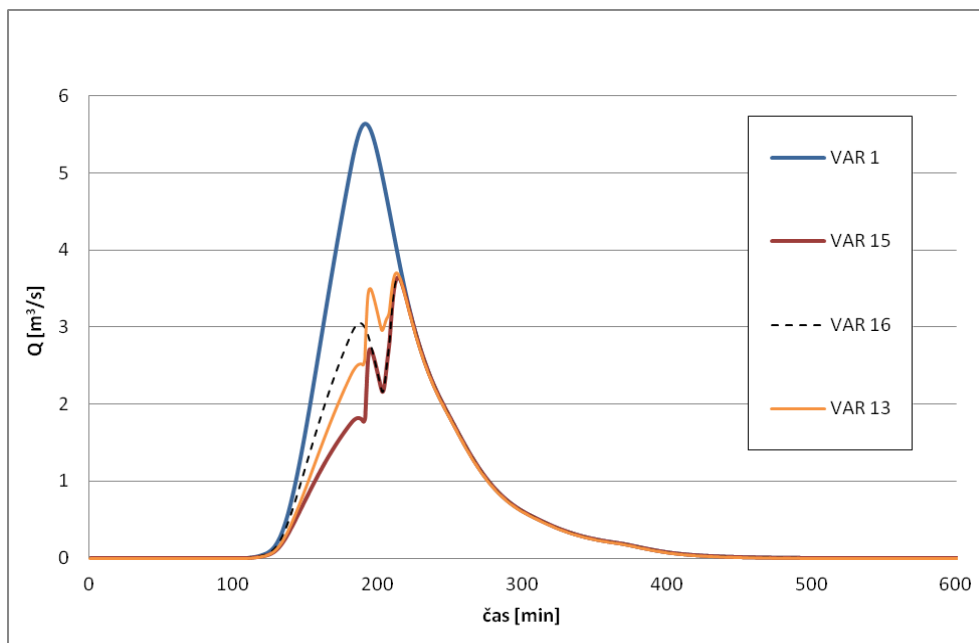
V následující tabulce jsou uvedeny výsledky všech šestnácti uvažovaných variant. V prvním a druhém sloupci je uvedena varianta řešení (výčet průlehů uvažovaných k realizaci). V dalších sloupcích je poté uveden ovlivněný průtok Q_{100} uvažovanými liniovými prvky a účinnost jednotlivých variant vypočtena dle vztahu (16).

Tab. 10 Účinnost navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku v jednotlivých uvažovaných variantách

Varianta	popis	Q [m ³ /s]	účinnost
VAR 1	Q ₁₀₀ - neovlivněný	5,642	0
VAR 2	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "C"	5,497	2,57%
VAR 3	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "A"	4,892	13,30%
VAR 4	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "D"	4,758	15,67%
VAR 5	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "C"	4,706	16,58%
VAR 6	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "B"	4,636	17,82%
VAR 7	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "C", "D"	4,568	19,04%
VAR 8	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "C"	4,433	21,43%
VAR 9	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "D"	4,021	28,73%
VAR 10	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "C", "D"	3,953	29,93%
VAR 11	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B"	3,902	30,84%
VAR 12	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "D"	3,770	33,17%
VAR 13	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "C", "D"	3,708	34,28%
VAR 14	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B", "C"	3,689	34,62%
VAR 15	Q ₁₀₀ (ovl.) - všechny průlehy	3,646	35,38%
VAR 16	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B", "D"	3,646	35,38%

Z výše uvedené tabulky je patrné, že neexistuje přímá závislost mezi počtem navržených opatření a jejich účinností na hodnoty kulminačního průtoku. Mezi faktory, které ovlivňují hodnotu kulminačního průtoku v závěrovém profilu, patří retenční kapacita navrhovaných ochranných prvků, ale vliv na hodnotu kulminace má také jejich prostorové rozmístění v povodí. Tabulka výše ukazuje, že nejmenší vliv na snížení kulminačního průtoku má průlehy „C“ jenž leží nejbližší závěrovému profilu. Nižší účinnost oproti jiným variantám vykazují i kombinace zapojení průlehy právě s průlehem „C“. Důležité v tomto místě je podotknout i to, že retenční kapacita průlehu „C“ je 2 600 m³, což je po průlehu „B“ (2 853 m³) druhá nejvyšší. Retencí v lokalitě průlehu „C“ dochází k nepotřebnému zadržení objemu, kdy není prokázán vliv na snížení kulminačního průtoku.

Retenční kapacita průlehu „A“ činí necelých 2 000 m³ a průlehu „D“ 2 280 m³. Z uvedeného vyplývá, že významnou a nezanedbatelnou roli při snižování kulminačního průtoku, kromě retenční kapacity průlehy, sehrává i situační rozmístění v rámci celého povodí. Což je možné pozorovat na následujících obrázcích.

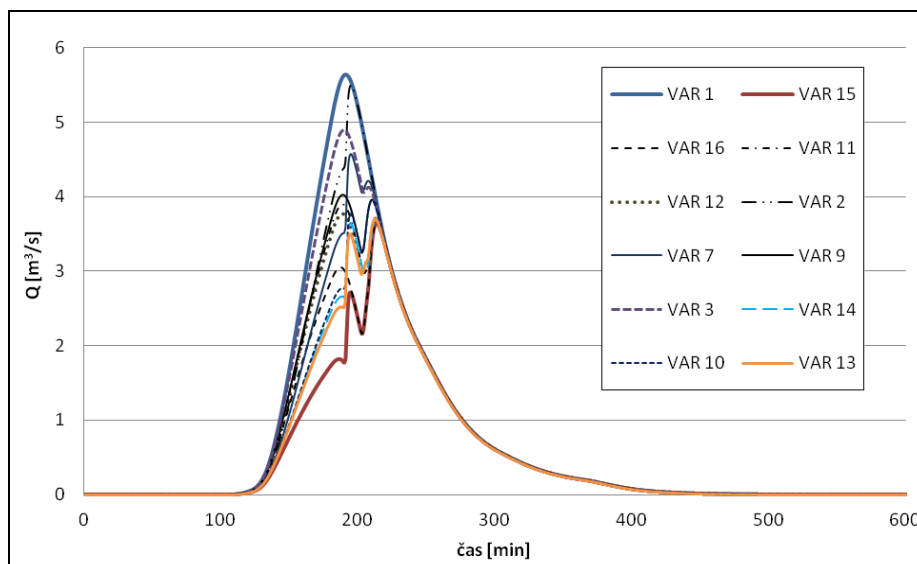


Obr. 20 Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě realizace tří (VAR 13,16) nebo čtyř (VAR 15) průlehů

Z obrázku výše je dobře patrné, že v případě realizace všech čtyř navrhovaných průlehů dojde k zachycení většího objemu povrchového odtoku než v případě návrhu pouze tří ochranných prvků (průlehu „B“, „C“, „D“, resp. „A“, „B“, „D“), avšak z hlediska účinnosti na hodnotu kulminačního průtoku je efekt takřka srovnatelný. Důvodem je různé ovlivnění průběhu odtoku v čase jednotlivými kombinacemi navržených opatření, kdy významnou roli hraje rozmístění prvků v povodí. Obecně lze říci, že vyšší účinnost vykazují prvky více vzdálené od závěrového profilu. V tomto případě platí stejné interpretace jako v případě Němčického potoka.

V případě dalšího snižování počtu navrhovaných opatření dochází postupně ke snižování účinnosti z hlediska hodnoty kulminačního průtoku. Tato závislost však není lineární. Při výrazné redukci opatření je tak třeba zvážit, jestli je vhodné realizovat zbylé průlehy v původní poloze, či je účelné návrh přepracovat a jejich polohu změnit tak, aby byla zajištěna maximální efektivita.

Ukázky ovlivnění časového průběhu odtoku ve vybraných variantách jsou znázorněny na Obr. 21.

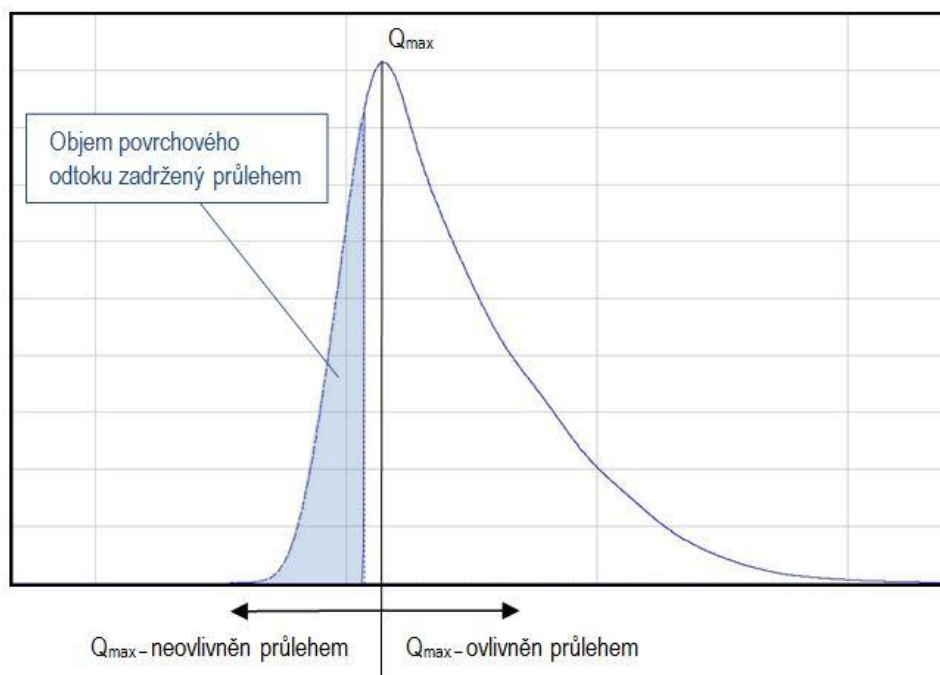


Obr. 21 Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě různých uvažovaných variant realizace

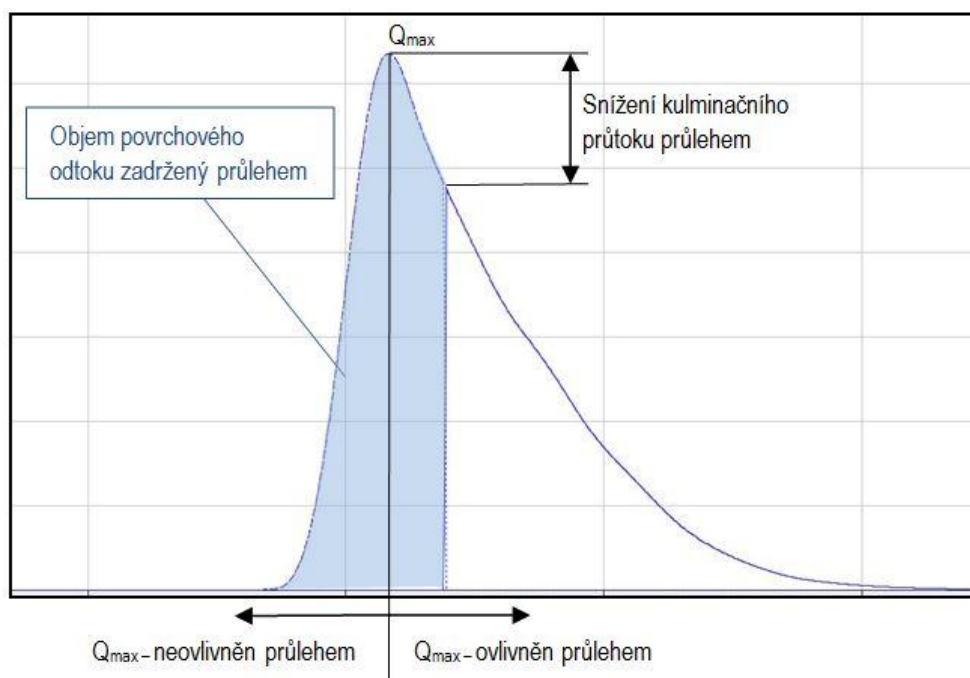
Výsledky z obou řešených povodí ukazují, že rozhodujícím faktorem při snižování kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí není pouze celková retenční kapacita jednotlivých opatření, ale nezanedbatelnou, a dá se říci, že významnou, roli hraje rovněž situační rozmístění prvků v řešeném povodí. Přičemž na základě výsledků uvedených výše lze konstatovat, že vyšší účinnost vykazují průlehy hydrologicky vzdálenější od závěrového profilu.

Z porovnání výsledků z povodí Němčického a Starovického potoka vyplývá, že pokud není záchytnými průlehy ovlivněna větší část povodí, pak nelze považovat protipovodňový efekt za významný. Při návrhu je již nutné vědět, zdali mají protipovodňová opatření sloužit k ochraně intravilánu pod konkrétním subpovodím, případně jestli je účelem maximální snížení odtoku z celého povodí. V prvním případě bude návrh situován nad intravilán, ve druhém případě je návrh třeba ověřit srážko-odtokovým modelem či jinou adekvátní metodou.

V případě ovlivňování průtoků s vyšší N-letostí než je navrhovaná kapacita průlehu, hraje zásadní roli poměr retenčního objemu záchytného průlehu k objemu celé povodňové vlny. V případě, že je retenční objem průlehu menší než objem vzestupné části hydrogramu povodně nedochází ke snížení hodnoty kulminačního průtoku průlehem dochází až v okamžiku kdy, je retenční kapacita navrhovaného prvku větší než objem vzestupné větve hydrogramu. Míra snížení kulminačního průtoku potom závisí na zbývající kapacitě průlehu potom, co je zachycena celá část vzestupné části hydrogramu. Což názorně demonstruje obrázek 22.



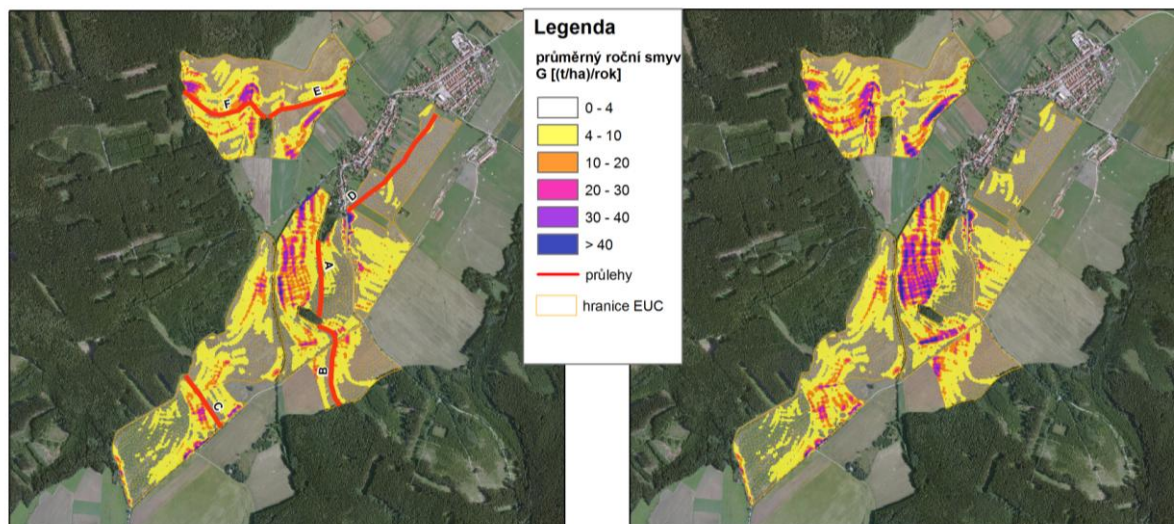
Obr. 22 Ukázka hydrogramu jehož kulminační průtok není ovlivněn navrženým průlehem



Obr. 23 Ukázka hydrogramu jehož kulminační průtok je ovlivněn navrženým průlehem

7.3.3 Protierozní efekt - povodí Němčického potoka

V předchozí podkapitole byl demonstrován vliv šesti liniových opatření na parametry povrchového odtoku celkem v osmi variantách (nulová varianta a 7 kombinací zapojení průleहů) viz Tab. 9. Bude tento klíč použit i při ukázkách hodnocení protierozního efektu. Na obrázku níže je ukázka výstupu z prostředí GIS. Vyhodnocení protierozní účinnosti bylo počítáno pouze na těch erozně uzavřených celcích, které byly přímo ovlivněny návrhem liniových opatření.



Obr. 24 Ukázka výstupu z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vpravo je varianta bez průleहů, vlevo varianta se všemi navrženými průleहy

Srovnání všech osmi uvažovaných variant je přehledně uvedeno v tabulce níže. Celkový dlouhodobý průměrný roční erozní smyv G v jednotlivých variantách byl vypočten jako součin plochy jednotlivých půdních bloků a dlouhodobého průměrného ročního erozního smyvu (t/ha/rok) na jednotlivých půdních blocích (resp. EHP – erozně hodnocených plochách). Výsledná účinnost byla vypočtena dle vztahu (17).

Tab. 11 Vyhodnocení účinnosti navržených opatření z hlediska snížení erozního smyvu

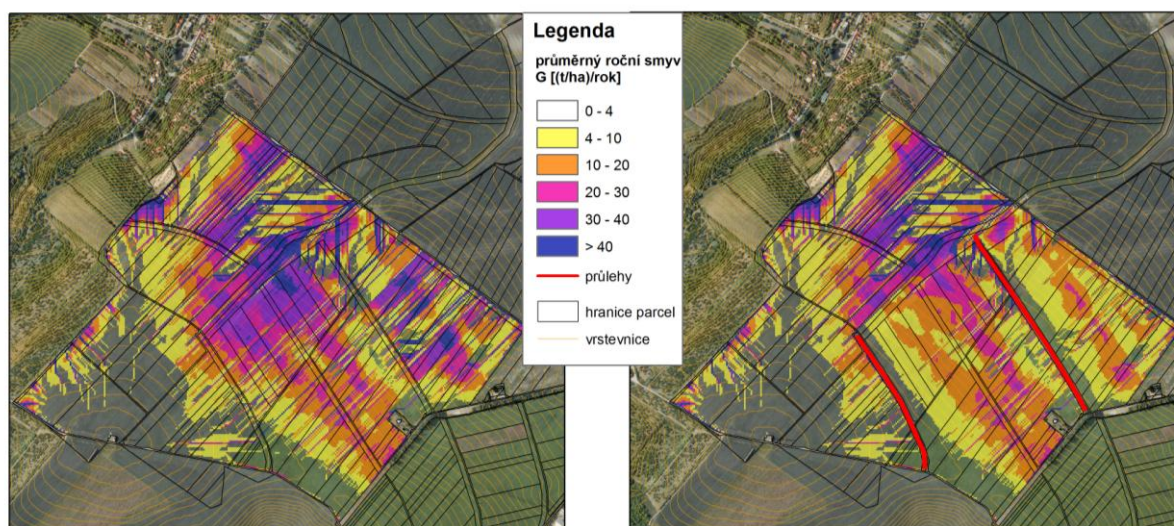
Varianta	Popis	G [t/rok]	Účinnost
VAR 1	G – bez průleहů	900	0
VAR 2	G (ovl.) - všechny průleहy	748	16,90%
VAR 3	G (ovl.) - průleहy "D", "E", "F"	837	7,01%
VAR 4	G (ovl.) - průleहy "A", "B", "C"	811	9,89%
VAR 5	G (ovl.) - průleहy "F"	868	3,58%
VAR 6	G (ovl.) - průleहy "B"	875	2,77%
VAR 7	G (ovl.) - průlehem "E"	876	2,60%
VAR 8	G (ovl.) - průlehem "C"	886	1,59%

Z celkem pěti hodnocených erozně uzavřených celků o celkové výměře 137,75 ha je v průměru každoročně smyto téměř 900 t zeminy. V případě realizace všech navržených průlehů by toto číslo kleslo o 16,9 % na 748 t/rok. V ostatních případech (variantách) již účinnost není tak významná. Je to způsobeno tím, že je uvažováno s menším počtem liniových protierozních prvků. V případě realizace pouze jednoho z navržených průlehů se účinnost pohybuje pouze v jednotkách procent.

Nezanedbatelný vliv na snížení erozního smyvu, ale rovněž přímého povrchového odtoku by jistě měla i organizační a plošná opatření. V této práci je však zkoumán právě vliv liniových opatření.

7.3.4 Protierozní efekt - povodí Starovického potoka

V případě vyhodnocení protierozní ochrany na Starovickém potoce, kde byly v rámci JPÚ navrženy 4 průlehy, bylo porovnáno všech 16 variant možných řešení (různé kombinace zapojení prvků). Uvažované varianty odpovídají kombinaci zapojení průlehů tak, jak jsou uvedeny v předchozí kapitole věnující se vyhodnocení protipovodňovému efektu. Na obrázku níže je ukázka grafického výstupu z prostředí GIS.



Obr. 25 Ukázka výstupu z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS v experimentálním povodí. Vlevo varianta bez průlehů, vpravo varianta se dvěma zapojenými průlehy

Výsledky hodnocení jsou uvedeny v tabulce níže. Výpočet celkového ročního smyvu a účinnosti jednotlivých opatření byl vypočten dle stejného postupu jako v experimentálním povodí Němčického potoka.

Tab. 12 Vyhodnocení účinnosti navržených opatření z hlediska snížení erozního smyvu

Varianta	popis	G [t/rok]	účinnost
VAR 1	G - neovlivněný	1 384	0
VAR 2	G _(ovl.) - průlehem "C"	1 221	11,79%
VAR 3	G _(ovl.) - průlehem "A"	1 226	11,46%
VAR 4	G _(ovl.) - průlehem "D"	1 299	6,14%
VAR 5	G _(ovl.) - průlehy "A","C"	1 079	22,06%
VAR 6	G _(ovl.) - průlehem "B"	1 141	17,56%
VAR 7	G _(ovl.) - průlehy "C","D"	1 136	17,93%
VAR 8	G _(ovl.) - průlehy "B","C"	1 048	24,30%
VAR 9	G _(ovl.) - průlehy "A","D"	1 141	17,58%
VAR 10	G _(ovl.) - průlehy "A","C","D"	994	28,19%
VAR 11	G _(ovl.) - průlehy "A","B"	1 053	23,94%
VAR 12	G _(ovl.) - průlehy "B","D"	1 056	23,68%
VAR 13	G _(ovl.) - průlehy "B","C","D"	963	30,43%
VAR 14	G _(ovl.) - průlehy "A","B","C"	960	30,69%
VAR 15	G _(ovl.) - všechny průlehy	875	36,81%
VAR 16	G _(ovl.) - průlehy "A","B","D"	968	30,06%

V tomto případě je účinnost opatření odvislá od počtu realizovaných průleहů. Je možno říci, že s počtem realizovaných průleहů roste i účinnost opatření. Ta se pohybuje v rozmezí 6 – 36 %.

7.3.5 Hodnocení ekonomické efektivity

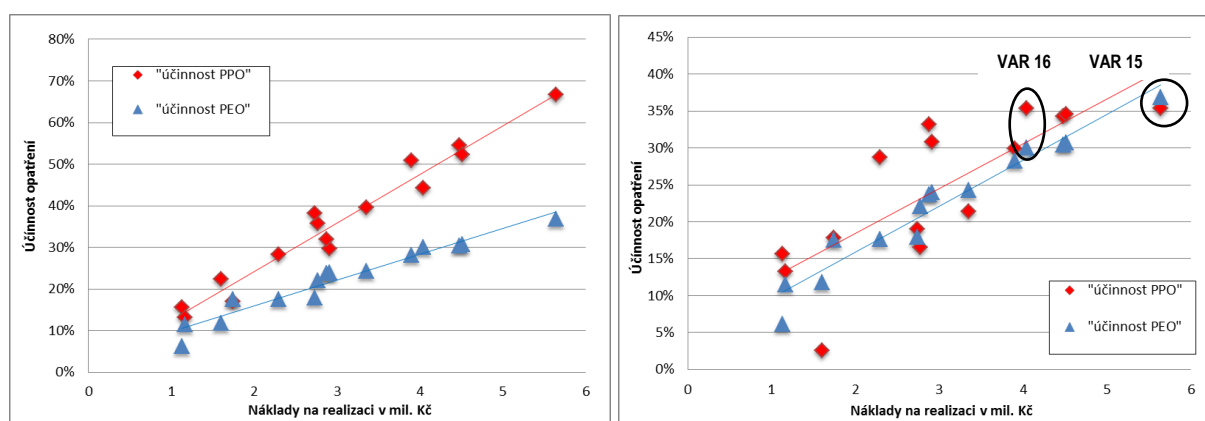
Z hodnocení protipovodňového efektu v předchozí části práce vyplývá, že stejný transformační efekt může být zajištěn různým počtem průleहů. Budeme-li vycházet z předpokladu, že poloha průlehu v povodí neovlivňuje náklady na jeho vybudování je zřejmé, že menší počet průleहů při stejném protipovodňovém a protierozním účinku bude vykazovat lepší ekonomickou efektivity. Protipovodňová opatření jsou primárně uvažována na návrhovou povodeň s dobou opakování 10 let, nicméně je zřejmé, že efekt je i na povodně větší. Hodnocení efektivity proběhlo pro Q_{10} a Q_{100} . Je zřejmé, že efektivity průleहů jako protierozních opatření zůstává stejná bez ohledu na návrhový průtok, neboť není vázána na konkrétní návrhovou N-letost (předpokládá se absolutní funkčnost).

Pro všechny uvažované varianty rozmístění průleहů v povodí Starovického a Němčického potoka byla vynesena závislost mezi účinností navrhovaných opatření v různých variantách a cenou realizace jednotlivých variant, výsledek je zobrazen na obrázcích a v tabulkách níže. Pro kalkulaci ceny realizace bylo uvažováno s cenou 2 500 Kč/mb.

Tab. 13 Závislost nákladů na realizaci průleहů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Starovického potoka pro Q_{100}

Varianta	popis	Q [m^3/s]	účinnost	G [t/rok]	účinnost	náklady
VAR 1	Q_{100} - neovlivněný	5,642	0	1 384	0,00%	0
VAR 2	Q_{100} (ovl.) - průlehem "C"	5,497	2,57%	1 221	11,79%	1 603 780 Kč
VAR 3	Q_{100} (ovl.) - průlehem "A"	4,892	13,30%	1 226	11,46%	1 164 108 Kč
VAR 4	Q_{100} (ovl.) - průlehy "D"	4,758	15,67%	1 299	6,14%	1 129 135 Kč
VAR 5	Q_{100} (ovl.) - průlehy "A","C"	4,706	16,58%	1 079	22,06%	2 767 888 Kč
VAR 6	Q_{100} (ovl.) - průlehy "B"	4,636	17,82%	1 141	17,56%	1 744 766 Kč
VAR 7	Q_{100} (ovl.) - průlehy "C","D"	4,568	19,04%	1 136	17,93%	2 732 915 Kč
VAR 8	Q_{100} (ovl.) - průlehy "B","C"	4,433	21,43%	1 048	24,30%	3 348 546 Kč
VAR 9	Q_{100} (ovl.) - průlehy "A","D"	4,021	28,73%	1 141	17,58%	2 293 243 Kč
VAR 10	Q_{100} (ovl.) - průlehy "A","C","D"	3,953	29,93%	994	28,19%	3 897 023 Kč
VAR 11	Q_{100} (ovl.) - průlehy "A","B"	3,902	30,84%	1 053	23,94%	2 908 874 Kč
VAR 12	Q_{100} (ovl.) - průlehy "B","D"	3,770	33,17%	1 056	23,68%	2 873 901 Kč
VAR 13	Q_{100} (ovl.) - průlehy "B","C","D"	3,708	34,28%	963	30,43%	4 477 681 Kč
VAR 14	Q_{100} (ovl.) - průlehy "A","B","C"	3,689	34,62%	960	30,69%	4 512 654 Kč
VAR 15	Q_{100} (ovl.) - všechny průlehy	3,646	35,38%	875	36,81%	5 641 789 Kč
VAR 16	Q_{100} (ovl.) - průlehy "A","B","D"	3,646	35,38%	968	30,06%	4 038 009 Kč

Na obrázcích níže je zobrazen vztah nákladů a protipovodňového a protierozního efektu pro povodí Starovického potoka. Z obrázku je patrná lineární závislost mezi počtem navrhovaných opatření (cenou realizace) a protierozní účinností. O lineární závislosti však nelze hovořit v případě posuzování protipovodňové účinnosti. Příkladem může být porovnání účinností ve variantě 15 a 16. V těchto dvou případech je dosaženo stejné účinnosti avšak v případě varianty 16 při vynaložení pouze 70 % nákladů na realizaci.

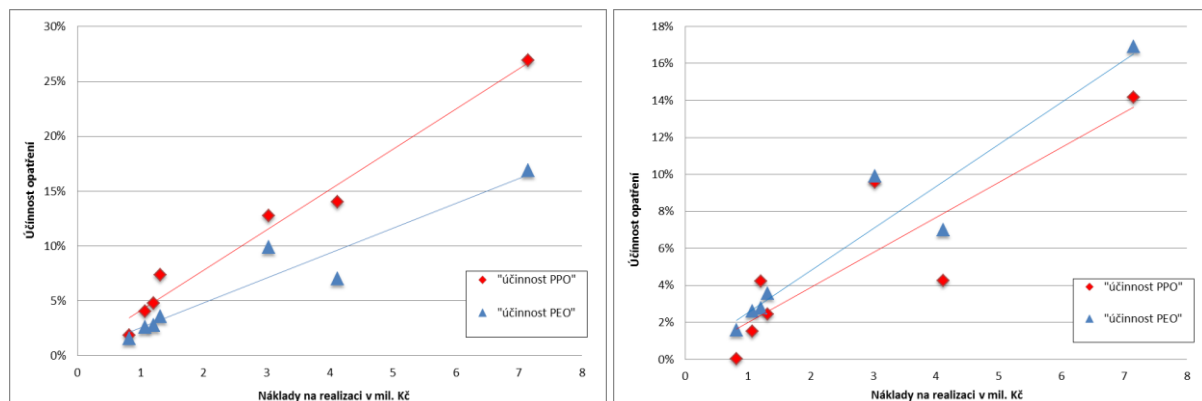


Obr. 26 Závislost nákladů na realizaci průleहů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Starovického potoka pro Q_{10} vlevo a Q_{100} vpravo. Znázorněny jsou taktěž lineární regresní závislosti.

Vzhledem k mnohem menšímu rozsahu opatření vůči celé ploše povodí je celkově v povodí Němčického potoka efektivita opatření nižší. Toto vyplývá z obrázků a tabulky níže. Závislost je stejně jako v předchozím případě lineární, tedy s rozsahem opatření roste účinnost, ale zároveň také náklady. Rovněž je patrné, že vzhledem k nízkému efektu realizace některých prvků, není účelné je vůbec realizovat.

Tab. 14 Tabulka realizačních nákladů na opatření v jednotlivých uvažovaných variantách (povodí Němčického potoka)

Varianta	popis	Q [m ³ /s]	účinnost	G [t/year]	účinnost	náklady
VAR 1	Q ₁₀₀ - unaffected	14,375	0	900	0	0
VAR 2	Q ₁₀₀ (ovl.) - všechny průlehy	12,337	14,18%	748	16,90%	7 149 375 Kč
VAR 3	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "D","E","F"	13,765	4,24%	837	7,01%	4 118 475 Kč
VAR 4	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A","B","C"	13,000	9,57%	811	9,89%	3 030 900 Kč
VAR 5	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "F"	14,026	2,43%	868	3,58%	1 315 225 Kč
VAR 6	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B"	13,769	4,22%	875	2,77%	1 205 150 Kč
VAR 7	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "E"	14,159	1,50%	876	2,60%	1 070 750 Kč
VAR 8	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "C"	14,371	0,03%	886	1,59%	818 000 Kč



Obr. 27 Závislost nákladů na realizaci průleहů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Němčického potoka pro Q₁₀ vlevo a Q₁₀₀ vpravo. Znáznorněny jsou taktěž lineární regresní závislosti.

8 SHRUNÍ VÝSLEDKŮ

Z výsledků hodnocení protipovodňového účinku liniových opatření vyplývá, že velmi významným, ne-li rozhodujícím, ukazatelem pro účinnost průlehu je jeho vzdálenost k hodnocenému závěrovému profilu (hydrologická vzdálenost určená délkou údolnice od závěrového profilu po průleh). To bylo potvrzeno v případě obou experimentálních povodí. V případě Němčického potoka byla účinnost tří nejvzdálenějších průlehů (D, E, F) o 1,2 % vyšší než účinnost tří nejbližších (A, B, C) v případě průtoku Q_{10} a o více než 5 % v případě průtoku Q_{100} . Zároveň je také nutné dodat, že celkový retenční objem tří nejvzdálenějších průlehů (D, E, F) byl o téměř 20 % menší než retenční objem tří nejbližších průlehů. V povodí Starovického potoka můžeme toto pravidlo deklarovat na příkladu srovnání účinnosti mezi variantou 11 (průlehy A, B) a variantou 7 (průlehy „C“, „D“). V případě varianty 11 dochází ke snížení kulminačního průtoku Q_{100} o téměř 31 %, zatímco v případě varianty 7 o pouhých 19 %, přitom celková retenční kapacita obou srovnávaných variant je téměř totožná. Retenční objem průlehu A a B činí 4 853 m³, průlehu C a D 4 880 m³.

Výše uvedené interpretace platí pro totožnou průměrnou dobu opakování návrhové povodně a navrhované retenční kapacity liniových opatření. V případě zasažení území příčinou srážkou s vyšší průměrnou dobou opakování než je navrhovaná kapacita opatření, je rozhodující, zda retenční objem navrhovaného průlehu je vyšší, než je objem vzestupné větve povodňové vlny. V případě, že tomu tak není, je efekt na snížení kulminačního průtoku daným opatřením nulový.

Z hlediska výsledků protierozního efektu je nutno zdůraznit, že ty jsou vztaženy k dlouhodobému ročnímu průměru. Proto i výsledky vyhodnocení protierozního účinku navrhovaných opatření vykazují významnější lineární závislost na počtu navrhovaných opatření a tudíž i ceně realizace. Určitou roli z hlediska účinnosti hraje i situační rozmístění prvků v řešeném území, ale tuto závislost není možno na základě provedených výsledků nijak přesněji definovat. Toto ani nebylo cílem této dizertační práce.

Srovnáním výsledků protipovodňového a protierozního účinku lze však definovat kombinace, které jsou z hlediska poměru mezi účinností a realizační cenou neoptimálnější.

Z výsledků tedy plyne, že nejvýhodnější je umisťovat průlehy do hydrologicky nejvzdálenějších částí (vůči ZP). Pokud budeme uvažovat, že hydrologicky nejvzdálenější povodí jsou zároveň nejsklonitější, pak budou mít průlehy zároveň významný protierozní efekt. Závěrovým profilem je přitom možno uvažovat jak závěrový profil řešeného povodí, tak i jakýkoliv jiný společný profil (hranice intravilánu). Toto potvrzuje již dříve uváděná zjištění.

9 ZÁVĚR

Při naplňování cílů této dizertační práce bylo použito stávajících moderních přístupů s využitím (geo)informačních technologií. Hlavní část týkající se posouzení retenčního účinku protierozních a protipovodňových opatření v rámci malých povodí byla řešena v prostředí srážko-odtokového modelu. K vytvoření schématu povodí a výpočtu hydrologických, hydraulických a dalších potřebných vlastností byl použit software ArcGIS. Ke srážko-odtokovému modelování byl použit program HEC-HMS. Při řešení stanovených cílů a dílčích úkolů byla otestována funkčnost a aplikační vhodnost většiny funkcí a metod, které model HEC-HMS nabízí. K aplikaci metodického přístupu a následně i vyhodnocování efektu navržených opatření byla vybrána dvě modelová území - horní část povodí Němčického potoka na Dražanské vrchovině a horní část povodí Starovického potoka na Jižní Moravě. Vzhledem k tomu, že se jedná a dlouhodobě pozorovaná experimentální povodí, mohla být adekvátnost zvolených metod ověřena kalibrací jednotlivých modelů povodí na základě poskytnutých měřených dat.

V rámci řešení dizertační práce byla navržena metoda, která umožňuje vyhodnotit účinnost navržených liniových protierozních opatření (záchytných průleहů) na parametry povrchového odtoku. Účinnost byla hodnocena nejen z hlediska objemu odtoku, ale také z pohledu hodnoty kulminačního průtoku, který je velmi důležitým parametrem při návrzích protipovodňové ochrany obcí, kdy je rozhodující kapacita koryta vodoteče, tedy je dán průtok, který je schopno koryto bez větších škod převést. Významným přínosem je nový přístup k hodnocení efektu liniových opatření na parametry povrchového odtoku.

V obou povodích bylo navrženo velké množství liniových prvků (průleहů). Tyto návrhy pak byly v nejrůznějších kombinacích testovány v prostředí srážko-odtokového modelu. Nejdůležitějším kritériem efektivnosti opatření (kombinace opatření) bylo snížení kulminačního průtoku a objemu povodně v závěrovém profilu povodí. Za tímto účelem byl s úspěchem využit právě model HEC-HMS. Tento software má vzhledem k široké funkcionalitě a dalším vhodným vlastnostem potenciál být široce rozšířeným nástrojem v praxi pro navrhování vodohospodářských opatření v ploše povodí.

V současné době jsou liniová opatření při hodnocení jejich efektu srážko-odtokovými modely nahrazována plochami s vyšší „drsností“ – tedy plochami s vyšší počáteční infiltrací, což nahrazuje samotný retenční objem liniového prvku. Navíc se při schematizaci povodí využívá významného zjednodušení a v rámci jednoho subpovodí (primární jednotky sestavovaného S-O modelu) může být umělým zvýšením infiltrace nahrazeno i několik liniových prvků. Čímž je významně upozaděn vliv situačního rozmístění daných prvků v rámci řešeného povodí.

Metoda navržená v této dizertační práci umožňuje každý liniový prvek hodnotit samostatně. Zohledňuje situační umístění každého z liniových prvků. Díky jednoduché modifikaci opatření v rámci modelu je možné určit účinnost jednotlivých opatření jak z pohledu navrhovaných parametrů, tak z hlediska jejich umístění v rámci celého povodí. Účinnost lze vyhodnotit nejen v závěrovém profilu, ale téměř v jakémkoliv místě povodí. Tento způsob tak poskytuje možnost volby optimálního řešení jak z hlediska bezpečnostního (protipovodňového), tak z hlediska ekonomického.

Z dosažených výsledků vyplývá, že nejvýhodnější je umisťovat průlehy do hydrologicky nejvzdálenějších částí (vůči závěrovému profilu). Pokud budeme uvažovat, že hydrologicky nejvzdálenější povodí jsou zároveň nejsklonitější, pak budou mít průlehy zároveň významný protierozní efekt. Závěrovým profilem je přitom možno uvažovat jak závěrový profil řešeného povodí, tak i jakýkoliv jiný společný profil (hranice intravilánu). Toto potvrzuje již dříve uváděná zjištění.

V případě ovlivňování průtoků s vyšší N-letostí než je navrhovaná kapacita průlehu hraje zásadní roli poměr retenčního objemu záchytného průlehu k objemu celé povodňové vlny. V případě, že je retenční objem průlehu menší než objem vzestupné části hydrogramu povodně, nedochází ke snížení

hodnoty kulminačního průtoku. K ovlivnění hodnoty kulminačního průtoku průlehem dochází až v okamžiku kdy, je retenční kapacita navrhovaného prvku větší než objem vzestupné větve hydrogramu. Míra snížení kulminačního průtoku potom závisí na zbývající kapacitě průlehu potom, co je zachycena celá část vzestupné části hydrogramu.

Liniová opatření mají poměrně velké požadavky na zábor území. Z tohoto pohledu je třeba jejich návrhu věnovat zvýšenou pozornost, aby fungovaly co nejefektivněji. Při správném prostorovém rozmístění mohou průlehy znamenat podstatné zlepšení odtokových poměrů. Na stranu druhou, pokud by měly být průlehy funkční na větší než návrhovou povodeň, je třeba, aby byl jejich retenční objem co největší.

Při návrhu průlehu jakožto protierozních opatření je hlavním podkladem sestavení mapy erozní ohroženosti povodí. Průlehy by měly být situovány do lokalit s největší erozní ohrožeností a současně by měly mít maximální protipovodňový efekt. Tohoto není možno prakticky nikdy zcela dosáhnout. V konečném důsledku by měly průlehy zejména řešit odtok a protierozní ochrana by měla být dořešena dalšími protierozními technikami.

Zkušenosti z projekční praxe ukazují, že nejtěžším úkolem není vytvoření dokonalého technického řešení navrhovaných opatření s vysokou efektivitou protipovodňovou, protierozní i ekonomickou, nýbrž tento návrh projednat a následně realizovat. V České republice tak zůstává pouze několik úspěšně realizovaných pilotních projektů. Předkládaná práce může napomoci projekční přípravě po metodické stránce a zároveň ukazuje, že při vhodném návrhu jsou liniové ochranné prvky účinné a efektivní řešení.

10 NÁMĚTY PRO DALŠÍ POKRAČOVÁNÍ

Zvyšování retenční schopnosti krajiny je jedním z velmi významných nástrojů komplexní protipovodňové ochrany

Postup předložený v této dizertační práci a demonstrováný na malých povodích je možné aplikovat i ve větším měřítku a modelovat, tak vliv liniových opatření na významnější toky. Tímto způsobem by bylo možné rovněž srovnání protipovodňového efektu několika desítek či stovek protierozních liniových opatření rozestých v ploše celého povodí s významným protipovodňovým opatřením, které svůj efekt koncentruje do jednoho závěrového profilu, tzn. retenční vodní nádrží.

Zvýšení retenční kapacity krajiny a s tím spojené snížení povodňového ohrožení je možné dosáhnout nejen liniovými protierozními prvky, ale také aplikací dalších dílčích opatření, které podpoří infiltraci vody a zpomalí povrchový odtok. Nemusí se přitom jednat jen o opatření na zemědělské půdě, ale zvýšení retence vody v krajině je možné realizovat i v urbanizovaném území, či lesních oblastech. Vzhledem k tomu, že lesy tvoří přibližně třetinu rozlohy celé České republiky, je tento potenciál velmi významný. Částečnou modifikací a rozvinutím metody představené v této dizertační práci by bylo možné posouzení vlivu dalších druhů přírodně blízkých opatření a komplexní kvantifikace jejich vlivu na parametry povrchového odtoku.

Míru ovlivnění odtokových poměrů liniovými protierozními opatřeními představila tato dizertační práce na konkrétních příkladech, malých povodích. Jak už bylo zmíněno, nejen tento druh opatření ovlivňuje povrchový odtok, proto je možné na tuto práci navázat a pokusit se kvantifikovat vliv dalších druhů přírodně blízkých krajinných opatření a to nejen v malých povodích, ale v povodích významnějších vodních toků.

Výsledky srážko – odtokových modelů zohledňujících efekt přírodně blízkých opatření by bylo možné promítnout jako vstup do hydrodynamických výpočtů, modelujících průběhy hladin v korytech vodních toků přímo v intravilánech obcí. A na základě těchto výsledků dále zpřesňovat a doplňovat vstupy do ekonomických ukazatelů těchto opatření.

11 SEZNAM SYMBOLŮ

T_c	doba koncentrace [h]
R	transformační faktor povodí [hod], simulující dobu zdržení vody v povodí
T_{LAG}	časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčinné srážky a výskytem kulminačního průtoku v počítaném závěrovém profilu povodí
L	délka údolnice k rozvodnici
S	maximální retence povodí
Y	průměrný sklon povodí
n	násobek doby koncentrace
AI	kumulativní plocha jako zlomek celkové plochy povodí
T	zlomek doby koncentrace T_c
$Q(1)$	okamžitý průtok na konci časového intervalu Δt
$Q(2)$	okamžitý průtok na počátku časového intervalu Δt
I	pořadnice translačního hydrogramu
Q_{UNGR}	pořadnice jednotkového hydrogramu na konci časového intervalu Δt
SCS	Soil conservation service
CN	curve number – číslo odtokové křivky
P_e	akumulovaná hodnota přímého odtoku
P	akumulovaná hodnota srážky
I_a	počáteční ztráta ze srážkového úhrnu
S	maximální potenciální retence, schopnost povodí vstřebat a udržet srážkový úhrn
K	čas postupu povodňové vlny říčním úsekem
I	průměrný přítok do říčního úseku
O	průměrný odtok z říčního úseku
X	transformační faktor
S_i	zadržovaný objem v říčním úseku
S-O	srážko-odtokový
$E_{0,V}$	účinnost navržených opatření z hlediska objemu odtoku
V_{ovl}	ovlivněný objem povrchového odtoku ve vybraném profilu povodí (po návrhu opatření)
V_{neovl}	neovlivněný objem povrchového odtoku ve vybraném profilu povodí bez uvažování liniových opatření.
$E_{0,Q}$	účinnost navržených opatření z hlediska hodnoty kulminačního průtoku
Q_{ovl}	hodnota ovlivněného kulminačního průtoku v určeném profilu povodí (po návrhu opatření)
Q_{neovl}	hodnota neovlivněného kulminačního průtoku v určeném profilu povodí bez uvažování liniového prvku.

Q_N průtok s průměrnou dobou opakování N let
 Q_{100} průtok s průměrnou dobou opakování 100 let
 $H_{S,N}$ příčná srážka s průměrnou dobou opakování N let
 EHP erozně hodnocená plocha

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Povodeň ve Sloupu (archiv Jaroslava Sokola a Deník/Jan Charvát)	6
Obr. 2 Schéma využití nástrojů v předkládané dizertační práci	14
Obr. 3 Příklad jednotkového hydrogramu pro déšť doby trvání D	15
Obr. 4 Skládání jednotkového hydrogramu s využitím principu superpozice a časové invariance	16
Obr. 5 Ukázka vzorového příčného řezu zasakovacího průlehu (zdroj AGPOL s.r.o.).....	23
Obr. 6 Škodní křivka pro JKSO 803 (běžné budovy individuálního bydlení)	25
Obr. 7 Schéma povodí s liniovým biotechnickým prvkem	26
Obr. 8 Vzorové příčné řezy záchytných průlehů (katalog protierozních opatření, 2008)	26
Obr. 9 Poloha experimentálního povodí Němčického potoka	31
Obr. 10 Poloha experimentálního povodí Starovického potoka	32
Obr. 11 Srovnání měřeného a modelovaného hydrogramu v závěrovém profilu povodí Starovického potoka	34
Obr. 12 Kalibrace modelu Němčického potoka, shoda měřeného maxima $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$ s výstupem modelu $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$	35
Obr. 13 Thomsonův přeliv v závěrovém profilu Němčického potoka	35
Obr. 14 Experimentální povodí Němčického potoka s umístěnými ochrannými prvky (vlevo situace povodí, vpravo schematizace povodí v programu HEC-HMS)	37
Obr. 15 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,20}$ v povodí nad průlehem „A“, plně je znázorněn objem zachycený navrženým průlehem (průleh navržen na Q_{10})	38
Obr. 16 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,100}$ v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně je neovlivněný hydrogram. Modře je znázorněn ovlivněný hydrogram soustavou dvou liniových prvků. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}	40
Obr. 17 Situační rozdělení průlehů v povodí Němčického potoka.....	41
Obr. 18 Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě variant uvedených v tabulce 9	42
Obr. 19 Hranice experimentálního povodí, situace navržených opatření	43
Obr. 20 Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě realizace tří (VAR 13,16) nebo čtyř (VAR 15) průlehů.....	45
Obr. 21 Ovlivnění průtoku v závěrovém profilu v případě různých uvažovaných variant realizace ...	46
Obr. 22 Ukázka hydrogramu jehož kulminační průtok není ovlivněn navrženým průlehem	47
Obr. 23 Ukázka hydrogramu jehož kulminační průtok je ovlivněn navrženým průlehem	47
Obr. 24 Ukázka výstupu z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vpravo je varianta bez průlehů, vlevo varianta se všemi navrženými průlehy	48
Obr. 25 Ukázka výstupu z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS v experimentálním povodí. Vpravo varianta bez průlehů, vlevo varianta se dvěma zapojenými průlehy	49
Obr. 26 Závislost nákladů na realizaci průlehů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Starovického potoka pro Q_{10} vlevo a Q_{100} vpravo. Znázorněny jsou taktéž lineární regresní závislosti.	51

Obr. 27 Závislost nákladů na realizaci průlehů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Němčického potoka pro Q_{10} vlevo a Q_{100} vpravo. Znázorněny jsou taktéž lineární regresní závislosti. 52

Tab. 1 Soupis nákladů na realizaci tří zasakovacích průlehů (zdroj AGPOL s.r.o.)	24
Tab. 2 Porovnání uvažovaných variant zapojení průlehu do schématu povodí, povodí zatíženo příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování 10 let	27
Tab. 3 Porovnání uvažovaných variant zapojení průlehu do schématu povodí, povodí zatíženo příčinnou srážkou s průměrnou dobou opakování 20 let	28
Tab. 4 Hodnoty kulminačních průtoků a srážkových úhrnů naměřených v závěrovém profilu povodí Starovického potoka.	33
Tab. 5 Hodnoty kulminačních průtoků a srážkových úhrnů naměřených v závěrovém profilu povodí Starovického potoka.	34
Tab. 6 Hodnoty ovlivněných (ovl.) a neovlivněných (neovl.) parametrů přímého povrchového odtoku a výsledná účinnost navrhovaného opatření v oblasti pod liniovým prvkem (průleh „A“ dimenzovaný na Q_{10})	38
Tab. 7 Účinnost navržených opatření na hodnoty kulminačních průtoků v závěrovém profilu povodí. Průlehy jsou navrženy na Q_2 až Q_{100}	39
Tab. 8 Účinnost navržených opatření na hodnoty objemu odtoku v závěrovém profilu povodí. Průlehy jsou navrženy na Q_2 až Q_{100}	40
Tab. 9 Vazby velikosti a vzdálenosti průlehů od závěrového profilu	41
Tab. 10 Účinnost navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku v jednotlivých uvažovaných variantách	44
Tab. 11 Vyhodnocení účinnosti navržených opatření z hlediska snížení erozního smyvu	48
Tab. 12 Vyhodnocení účinnosti navržených opatření z hlediska snížení erozního smyvu	50
Tab. 13 Závislost nákladů na realizaci průlehů a jejich protipovodňové a protierozní účinnosti pro povodí Starovického potoka pro Q_{100}	51
Tab. 14 Tabulka nákladů na realizaci opatření v jednotlivých uvažovaných variantách pro povodí Němčického potoka	52

13 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

A

ASSEFA K.A., ANDEL S.V., JONOSKI A. (2008): *Flood forecasting and early warning in Lake Tana sub basin, upper Blue Nile, Ethiopia*. WaterMill Working Paper Series, č. 16, 32 s.

B

BOBÁL P., ET AL. (2015): *Mathematical modelling of the dynamics of mountain basin snow cover in Moravian-silesian Beskydy for operational purposes*. Water Resources, roč. 42, č. 3, s. 302 - 312. ISSN 0097-8078

BRÁZDIL R. (2002): *Meteorologické extrémy a povodně v České republice - přirozený trend nebo následek globálního oteplování?* Geografie - Sborník České geografické společnosti, Praha: Česká geografická společnost, roč. 107, č. 4, s. 349-370. ISSN 1212-0014.

BRÁZDIL R., ET AL. (2005): *Historické a současné povodně v České republice*. 1. vyd. Brno, Praha, Masarykova univerzita v Brně, ČHMÚ v Praze, 369 s. ISBN 80-210-3864-0.

BRÁZDIL R., ET AL. (2010): *Povodně v Brně. Historie povodní, jejich příčiny a dopady*. 1. vyd. Brno: Archiv města Brna, 468 s. ISBN 978-80-86736-22-8.

BUKÁČEK M. (1999): *Historické a současné povodně v povodí řeky Moravy*. Diplomová práce, Katedra geografie PřF MU v Brně, 121 s.

C

CLARKE R.T. (1973): *Mathematical models in hydrology*. Irrigation and Drainage paper No.19, FAO Rome.

D

DARRAS T., ET AL. (2015): *Identification of spatial and temporal contributions of rainfalls to flash floods using neural network modelling: case study on the Lez basin (southern France)*. Hydrology and Earth Systems Sciences, roč. 19, s. 4397 - 4410.

DOČKAL M., VRÁNA K. (2007): *Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže*. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství ČVUT, aplikace a manuál.

DOLEŽAL P. (2009): *Stanovení stupně ohrožení malých povodí větrnou a vodní erozí a odtoky z přívalových srážek*. ISBN 978-80-214-3837-8, VUTIUM Brno.

DOLEŽAL P., FELTL J. (2010): *Výběr kritické srážky v malém povodí se zaměřením na generování povrchového odtoku*. Závěrečná zpráva za rok 2010, VUT FAST Brno, ÚVHK, Žižkova 17, 602 00, Brno

DOLEŽAL P., FELTL J. (2012): *Posouzení účinnosti protierozních a protipovodňových opatření v rámci malých povodí*. Závěrečná zpráva za rok 2012, VUT FAST Brno, ÚVHK, Žižkova 17, 602 00, Brno

DOSTÁL, T., VRÁNA K., SCHWARZOVÁ, P., VESELÁ, J., PAVEL, M. JAKUBÍKOVÁ, A. (2008): *Využití laboratorního simulátoru deště pro studium charakteristik povrchového odtoku a vodní eroze v měřítku malého povodí*. In: Šír, M., Tesař, M., Lichner, L., Sborník příspěvků z konference Hydrologie malého povodí 2008, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i., s. 71 - 78.

DREISEITL J. (2011): *Povodně v povodí Bečvy v oblasti Hranic*. Diplomová práce, Katedra fyzické geografie a geoekologie OSU v Ostravě, 116 s. + přílohy.

DUMBROVSKÝ M. (2009): *Geografické informační systémy*. Studijní opory, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 141 s.

F

FELDMAN D. (2006): US ARMY CORPS OF ENGINEERING CENTER, *Hydrologic Modeling System. HEC-HMS, User's Manual*.

H

HAVLÍČEK V., PAVLÁSEK J., HEŘMANOVSKÝ M., ROUB R., KUBÍNOVÁ P. (2010): *SReFTraS 1.0 (Small Reservoirs Floodwave Transformation Software)*.

HERRNEGGER M., NACHTNEBEL H. P., SCHULZ K. (2015): *From runoff to rainfall: inverse rainfall-runoff modelling in a high temporal resolution*. Hydrology and Earth Systems Sciences, roč. 19, s. 4619 - 4639.

HORTON R.E. (1933): *The role of infiltration in the hydrologic cycle*.

HORTON R.E. (1945): *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Bulletin of the Geological Society of America roč. 56, 70 s.

CH

CHE D., MAYS L-W. (2015): *Development of an optimization/simulation model for real-time flood-control operation of river-reservoirs systems*. Water Resources Management, roč. 29, s. 3987 - 4005.

J

JANEČEK M., ET AL. (2012): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Certifikovaná metodika, ČZU, Praha, 113 s.

JENÍČEK M. (2005): *Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích*. In Langhammer, J. (ed.): *Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko*. PŘF UK, Praha, s. 112 – 126.

JOO J., KJELDEN T., HYEON-JUN K., HYOSANG L. (2014): *A comparison of two event-based flood models (ReFH-rainfall Runoff Model and HEC-HMS) at two Korean catchments, Bukil and Jeungpyeong*. KSCE Journal of Civil Engineering roč. 18 č. 1, s. 330 - 343.

K

KONEČNÁ J., PRAŽAN J., ET AL. (2014): *Hodnocení ekonomických aspektů protierozní ochrany zemědělské půdy*. Certifikovaná metodika, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 1. vyd., 52 s.

KONZ M., ET AL. (2011): *Sediment transport modelling in a distributed physically based hydrological catchment model*. Hydrology and Earth Systems Sciences, roč. 15, s. 2821 - 2837.

KOTRNEC J., ET AL. (1989): *Trkmanka, zpráva o povodni z 27. 8. 1989*. ČHMÚ, 24. s.

KNIGHTON D. (1998): *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. Arnold, 383 s. ISBN 0340663138, 9780340663134

KUMAR A., ET AL. (2015): *Identification of the best multi-model combination for simulating river discharge*. Journal of Hydrology č. 525 s. 313 - 325.

L

LAOUACHERIA F., MANSOURI R. (2015): *Comparison of WBNM and HEC-HMS for runoff hydrograph prediction in a small urban catchment*. Water Resources Management, roč. 29, s. 2485 - 2501.

LARIONOV G.A. (1993): *Erosion and Wind Blown Soil*. Moscow State University Press, Moscow.

LARIŠOVÁ L. (2013): *Vliv vodní eroze na komplex půdních vlastností*. Brno.

LINSLEY (1975): *Hydrology for Engineers*. New York.

LIU B.Y., ZHANG K. L. XIE, Y. (2002): *An empirical soil loss equation*. In: Proceedings—Process of soil erosion and its environment effect (Vol. II), 12th international soil conservation organization conference, Tsinghua University Press, Beijing, s. 21 - 25.

LIU B.Y., GUO S.Y., LI Z.G., XIE Y., ZHANG K.L., LIU X.C. (2013): *Water erosion sample survey in China*. Soil Water Conserv. China, roč. 10, s. 26 - 34.

LOAGUE K., M., FREEZE R. A. (1985): *A Comparison of Rainfall-Runoff Modeling Techniques on Small Upland Catchments*. Water resources research.

M

MACKOVÁ J., ET AL. (2007): *Povodně na Moravě a ve Slezsku*. In 10 let od katastrofálních povodní na Moravě v roce 1997. Praha: Česká meteorologická společnost, 1 s. ISBN 978-80-86690-45-2.

MIRANDA R. (2012): *Assessment of Efficiency and Adequacy of Retention Terraces*.

MIRANDA A.C.R., DA SILVA D.P., DE MELLO E.L., PRUSKI F.F. (2012): *Assessment of efficiency and adequacy of retention terraces*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, roč. 36, s. 577 - 586.

MOLINA A., ET AL. (2009): *Assessing the reduction of the hydrological connectivity of gully systems through vegetation restoration: field experiments and numerical modelling*. Hydrology and Earth Systems Sciences, roč. 13, s. 1823 - 1836.

MUNYANEZA O., ET AL. (2014): *Assessment of surface water resources availability using catchment modelling and the results of tracer studies in the mesoscale Migina Catchment, Rwanda*. Hydrology and Earth System Sciences, roč. 18, s. 5289 - 5301.

P

PETER K.D., ET AL. (2014): *Soil erosion in gully catchments affected by land-levelling measures in the Souss Basin, Morocco, analysed by rainfall simulation and UAV remote sensing data*. Catena, roč. 113 s. 24 - 40.

PRAŽAN J., KOUTNÁ K. (2004): *Podklady pro stanovení kompenzace za omezení hospodaření na rybnících a zemědělské půdě*. Zpráva pro MŽP, ÚZEI, Brno.

Q

QUITT E. (1970): *Mapa klimatických oblastí ČSSR*. Kartografické nakladatelství Praha pro Geografický ústav ČSAV Brno.

R

RONFORT C. (2014) *Cost of best management practices to combat agricultural runoff and comparison with the local populations' willingness to pay: Case of the austreberthe watershed (normandy, France)*. Land use policy, Francie.

S

SCHUMM S.A. (1977): *The fluvial system*. New York, John Wiley & Sons, 338 s.

ŠERCL P. (2009): *Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln*. Sborník prací ČHMÚ Praha.

STARÝ M., DIVIŠ L. (1997): *Neuronové sítě a předpověď odtoku z malého povodí*. In *Sborník referátů z mezinárodní konference INTER.FORUM on prob.of science, techn. and ed.* Moskva: Ruská akademie věd, s. 50.

STOOF C.R., ET AL. (2012): *Hydrological response of a small catchment burned by experimental fire*. Hydrology and Earth Systems Sciences, roč. 16, s. 267 - 285.

SCHWERTMANN U., VOGL W., KAINZ M. (1990): *Bodenerosion durch Wasser*. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.

T

TÉTAUER P. (2009): *Experimentální povodí v České republice*. Bakalářská práce. Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování ČZU, Praha, 78 s.

V

VOLOŠ B. (2008): *Odvození extrémních povodňových vln v malých povodích deterministickými nástroji*.

VÚMOP, v. v. I., (2009): *Výsledky kontinuálního měření meteorologických a hydrologických dat a odnosu plavenin na experimentálních povodích, Experimentální povodí – Starovice, Hustopeče*

W

WISCHMEIER W.H., SMITH, D.D. (1965): *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. Agriculture Handbook 282, US Department of Agricultural Research Service, Agricultural Research Service, Washington DC.

WISCHMEIER W.H., SMITH, D.D. (1978): *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook 537, US Department of Agricultural, Agricultural Research Service, Washington DC.

Y

YANG S-CH., YANG T-H. (2014): *Uncertainty assessment: Reservoir inflow forecasting with ensemble precipitation forecasts and HEC-HMS*. Advances in Meteorology, roč. 2014, 11 s.

YOUNG CH-CH., LIU W-CH., CHUNG CH-E. (2015): *Genetic algorithm and fuzzy neural networks combined with the hydrological modeling system for forecasting watershed runoff discharge*. Neural Comput & Applic, roč. 26, s. 1631 - 1643.

YIN S., XIE Y., LIU B., NEARING M. A. (2015): *Rainfall erosivity estimation based on rainfall data collected over a range of temporal resolutions*. Hydrology and Earth Systems Sciences, roč. 19, s. 4113 - 4126.

14 PUBLIKAČNÍ ČINNOST

2011

FELTL, J., DOLEŽAL, P., *Výběr kritické srážky v malém povodí se zaměřením na generování povrchového odtoku*, Sborník anotací, Juniorstav 2011. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011, ISBN: 978-80-214-4232-0

2012

DOLEŽAL, P., FELTL, J., *Využití prostorově založeného srážko-odtokového modelu k návrhům malých vodních nádrží s retenčním účinkem*, Littera Scripta, Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2012, ISSN: 1802-503X

2013

FELTL, J., DOLEŽAL, P., *Využití programu HEC-HMS k posouzení vlivu liniových protierozních opatření na parametry povrchového odtoku*, Sborník anotací, Juniorstav 2013. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013, ISBN: 978-80-214-4669-4

FELTL, J., DOLEŽAL, P., *The influence of erosion control measures on direct surface runoff parameters*, Sborník konference: Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů QUAERE 2013. Hradec Králové, MAGNANIMITAS, 3. vyd. 2013, ISBN: 978-80-905243-7-8

FELTL, J., DOLEŽAL, P., *Vliv liniových protierozních opatření na parametry povrchového odtoku v malém povodí*, Sborník příspěvků konference Voda a krajina. Praha, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 2013, ISBN: 978-80-01-05318-8

DOLEŽAL, P., FELTL, J., *Metody posouzení vlivu liniových protierozních opatření na parametry povrchového odtoku v malém povodí*, Sborník příspěvků konference Seminář Adolfa Patery 2013, Extrémní hydrologické jevy v povodích, ČHMÚ Praha, 2013, ISBN: 978-80-02-02501-6

2014

FELTL, J., *Hledání optimálního řešení při návrhu liniových protierozních opatření*, Sborník anotací, Juniorstav 2014. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014, ISBN: 978-80-214-4851-3

FELTL, J., DOLEŽAL, P., *Proposal of a method enabling an assessment of the effect of linear erosion control measures on surface runoff parameters in a small catchment*, Journal of Landscape Management (2013) Vol.:4 / No. 2. Brno, 2013, ISSN: 1804-2821

2015

FELTL, J., *Posouzení efektivity liniových prvků při návrhu protipovodňové a protierozní ochrany malých povodí*, Sborník anotací, Juniorstav 2015. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015, ISBN: 978-80-214-5091-2

FELTL, J., *Effectivity assessment of biotechnice flood and erosion control measures on example of Starovický potok catchment*, Sborník konference 15th INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC GEOCONFERENCE, SGEM 2015. Albena Co., Bulharsko, 2015, ISBN: 978-619-7105-37-7

PŘÍLOHA Č. 1

K DIZERTAČNÍ PRÁCI

POSOUZENÍ EFEKTIVITY PROTIPOVODŇOVÉ A PROTIEROZNÍ
OCHRANY MALÝCH POVODÍ

ASSESSMENT OF EROSION AND FLOOD CONTROL MEASURES
EFFECTIVENESS IN SMALL CATCHMENTS

BRNO 2017

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Povodí Němčického potoka.....	4
2.1	Kalibrace srážko – odtokového modelu	4
2.2	Výsledky modelování protipovodňového efektu	15
2.3	Výsledky modelování protierozního efektu	27
3	Povodí Starovického potoka.....	32
3.1	Kalibrace srážko – odtokového modelu	32
3.2	Výsledky modelování protipovodňového efektu	36
3.3	Výsledky modelování protierozního efektu	40
4	Seznam obrázků a tabulek.....	45

1 ÚVOD

Vzhledem ke snaze hlavní část dizertační práce udělat stručnou, výstižnou a co nejpřehlednější, byla většina dílčích výstupů provedených v průběhu zpracování této práce přesunuta do samostatné přílohy.

V této části je tedy možné dohledat dílčí výstupy, ze kterých vznikly závěrečné výsledky předložené práce.

Ty jsou v této části rozděleny dle experimentálních povodí od kalibrace až po jednotlivé dílčí výsledky výpočtů a to hlavně formou přehledných grafů a tabulek.

2 POVODÍ NĚMČICKÉHO POTOKA

2.1 KALIBRACE SRÁŽKO – ODTOKOVÉHO MODELU

Pro kalibraci modelu povodí Němčického potoka bylo využito dat poskytnutých VÚMOP v.v.i., který provádí měření v daném profilu.

V povodí jsou instalovány dva měrné profily, kde jsou měřeny srážky a vyvolané odtoky. Ukázka měrného profilu je na následujících obrázcích.



Příloha obr. 1 Měrný profil - celkový pohled



Příloha obr. 2 Měrný profil - detail přelivné hrany



Příloha obr. 3 Měrný profil - detail měření vodního stavu (polohy hladiny)

Data byla poskytnuta formou tabulky s uvedením hodnot maximálního průtoku v daný den, celkovým denním úhrnem srážek, maximální intenzitou a koncentracemi sledovaných prvků v měrném profilu. K této souhrnné tabulce byl dále poskytnut průběh srážkových úhrnů v 15 – ti minutových intervalech.

Částečným omezením byla skutečnost, že k dispozici byly údaje o kulminačních průtocích za kratší časové období z let 2005 - 2009 a především chybělo spojitě vykreslení průběhu odtoku. Na místo toho byl k dispozici pouze záznam o velikosti kulminačního průtoku a dni, ve kterém byl zaznamenán. Podrobný rozbor vstupních naměřených údajů ukázal některé neshody v naměřených průbězích a úhrnech srážek v profilu a v klimatické stanici. To dokumentují údaje v následující tabulce.

Příloha tab. 1 Maximální průtoky a transport látek během stoupající vlny extrémních srážko-odtokových situací v povodí Němčického potoka [VÚMOP, v.v.i.]

Rok	Datum	Profil	Průtok	Srážky		Hmotnost				
			Q_{max} [l/s]	Úhrn [mm]	Max. intenzita [mm/min]	NO_3^- [kg]	NO_2^- [kg]	PO_4^{3-} [kg]	NL [kg]	NH_4^+ [kg]
2005	23.5	N1	161,1	5,5	0,8	1,98	0,09	1,28	921,96	1,17
		N2	163			2,09	0,03	0,51	771,95	1,75
	15.8	N1	96,3	19,12	0,21	2,13	0,07	0,6	12,38	0,51
		N2	94,6			1,64	0,12	0,66	28,41	0,64
	12.9	N1	1121,8	76,68	1,75	12,22	1,26	2,78	27350,62	2,59
		N2	760			8,16	1,38	3,2	7262,05	3,03
	29.9	N1	119,5	32,8	0,29	3,66	0,02	0,15	20,67	0,01
		N2	113,1			3,32	0,1	0,2	4,19	0,14
2006	29.3	N1	1153	26,1	0,15	4981,71	13,78	67,65	145369,7	20,98

Rok	Datum	Profil	Průtok	Srážky		Hmotnost				
			Q _{max} [l/s]	Úhrn [mm]	Max. intenzita [mm/min]	NO ₃ ⁻ [kg]	NO ₂ ⁻ [kg]	PO ₄ ³⁻ [kg]	NL [kg]	NH ₄ ⁺ [kg]
2007		N2	1110,3	tání sněhu		5194,93	34,56	64,16	131616,5	27,7
		N3				5159,2	23,56	68,32	209323,4	22,01
		N1				377,5	1697,49	4,19	5,85	17797,29
	1.5.	N2	281,5	69,3	0,05	1140,88	4,28	8,56	14974,11	4,07
		N3				631,56	6,72	23,02	2037,29	29,13
		N1				113,1	2,69	0	0,18	3,17
	22.6.	N2	107,3	19,9	0,66	3,13	0,22	0,3	8,76	0,29
		N3				6,31	0,16	0,38	3,83	0,18
		N1				959,9	231,47	2,35	9,51	8894,39
	7.8.	N2	743,7	198,8	0,85	109,96	3,83	14,68	5292,46	6,4
		N3				118,86	6,04	9,21	3575,31	6,41
		N1				369,7	699,73	1,98	6,76	5706,97
	24.3.	N2	239,6	11,3	0,1	415,76	1,9	9,27	1069,09	24,95
		N3				403,88	1,78	9,38	415,76	15,44
		N1				161,2	1,22	0,18	0,23	108,18
	6.6.	N2	152,5	34,6	1,3	1,95	0,31	0,3	33,06	0,19
		N3				2,44	0,18	0,39	49,57	0,19
		N1				129,2	0,6	0,13	0,37	38,62
22.6.	N2	119,4	33,3	0,6	1,5	0,15	0,42	30,06	0,32	
	N3				2	0,18	0,3	42,4	0,3	
	N1				312,4	17,17	0,04	0,91	82,33	0,06
21.7.	N2	266,7	8	0,8	14,56	0,06	0,81	94,61	0,03	
	N3				14,9	0,04	0,81	105,92	0,28	
	N1				68,5	2,56	0,35	0,53	13,32	0,34
20.8.	N2	227,1	31,65	1,2	13,77	0,59	1,84	15,72	0,8	
	N3				0	0	0,02	0	0	
	N1				214	362,06	9,69	10,9	3626,43	26,02
6.9.	N2	168,9	10,5	0,2	138,79	11,66	20,48	1240,59	40,78	
	N3				159,52	16,12	14,18	2035,83	25,88	
	N1				62,6	2,94	0,02	0,2	23,09	0,21
23.10.	N2	55,3	2	0,1	3,06	0,16	0,11	5,01	0,42	
	N3				3,45	0,07	0,38	5,48	0,41	
	N1				177	509,39	5,81	7,8	3204,7	4,08
23.11.	N2	129,2	8,34	0,1	133,12	8,77	3,95	911,06	6,22	
	N3				521,52	3,54	4,43	531,36	3,15	
	N1				108,5	73,4	0,75	0,52	426,47	0,09
ZOU 8	1.3.	N1	108,5	1,92	0,1	73,4	0,75	0,52	426,47	0,09

Rok	Datum	Profil	Průtok	Srážky		Hmotnost				
			Q _{max} [l/s]	Úhrn [mm]	Max. intenzita [mm/min]	NO ₃ ⁻ [kg]	NO ₂ ⁻ [kg]	PO ₄ ³⁻ [kg]	NL [kg]	NH ₄ ⁺ [kg]
2008		N2	81,1			37,19	0,89	0,3	261,72	1,17
		N3				40,19	1,16	0,9	389,32	0,84
	22.4.	N1	130,8	12,64	0,21	19,17	0,39	1,17	526,01	11,41
		N2				5,79	0,22	0,27	62,14	0,5
		N3	99			0	0	0,21	0	0
	7.7.	N1	73,1	25,46	0,66	0,57	0,03	0,14	5,77	0,01
		N2				0,23	0	0,38	6,24	0,12
		N3	66			0,42	0	0,54	19,74	0,12
	12.7.	N1	90,8	28,59	0,37	2,86	0,29	0,63	79,54	0,64
		N2				5,12	0,57	1,19	96,77	1,1
		N3	111,5			4,88	0,53	1,24	135,35	1,34
	16.8.	N1	69,7	7,6	0,12	1,08	0,06	0,4	669,15	0,7
		N2				1,16	0	0,2	251,29	0,79
		N3	66,5			0,64	0	0,16	227,52	0,68
	15.9.	N1	49,5	26	0,06	6,89	1,01	0,93	72,95	3,44
		N2				11,18	0,67	1,37	64,86	7,9
		N3	90,2			9,57	0,27	3,52	23,84	8,01
	2009	31.5.	N1	65	4,7	1,5				10,37
N2								6		
N3			61,5							
23.6.		N1	128,7	6	0,5				52,67	
		sN2						8,58		
		N3	60,9							
3.7.		N1	1187,7	43	1,4				5963,09	
		N2						1587,37		
		N3	505,3							
14.7.		N1	3062,9	34,1	1				48415,6	
		N2						6593,36		
		N3	1005							
15.7.		N1	3378,5	29,2	1,3				47799,3	
		N2						3965,04		
		N3	1019,7							

 – data se neshodují s naměřenými srážkami

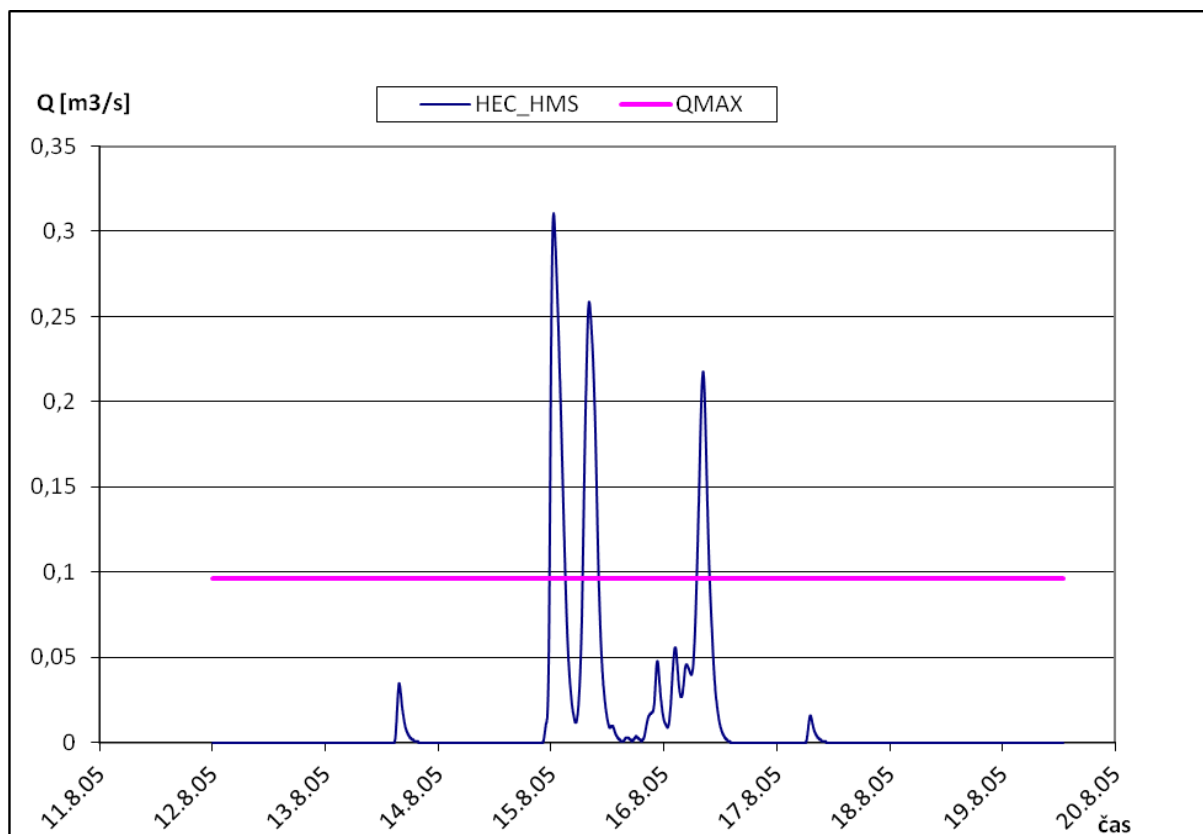
 – data chybí

 – data se shodují s naměřenými srážkami ze stanice Rájec-Němčice

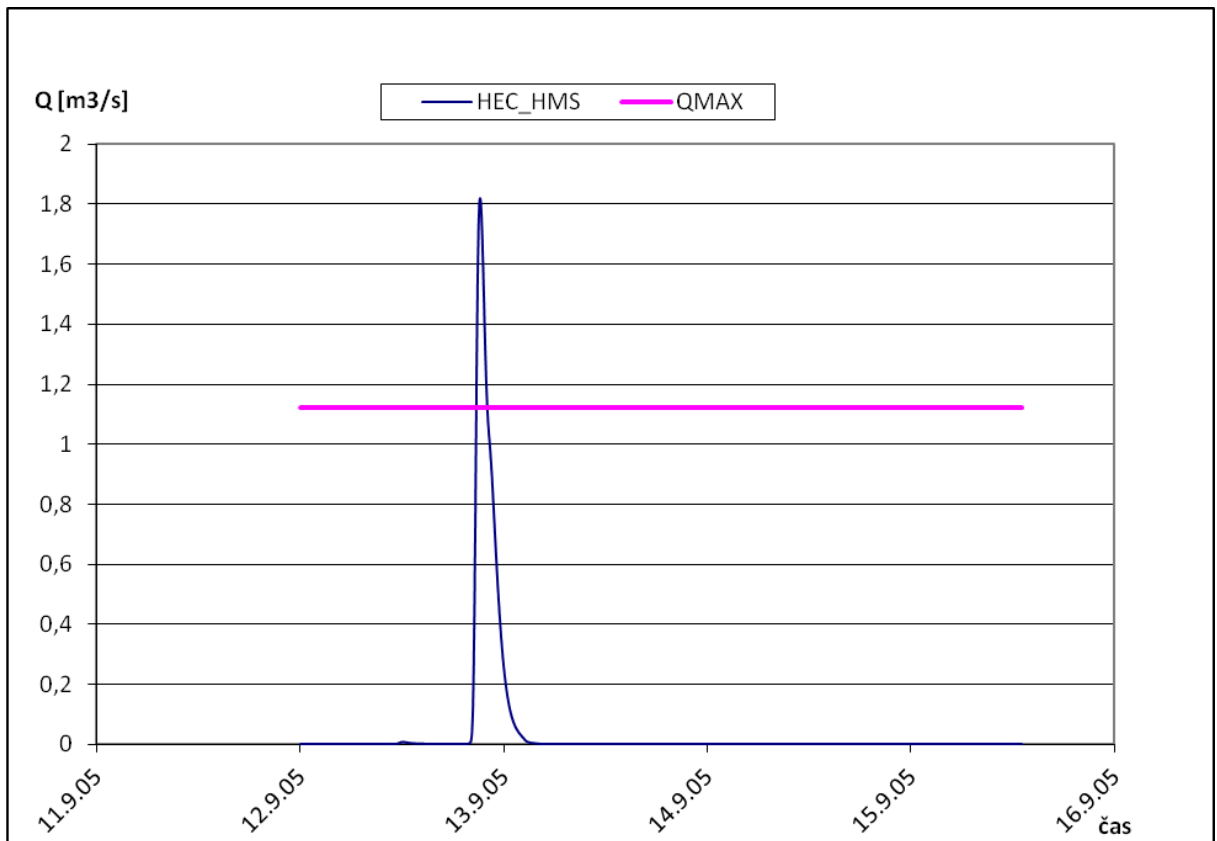
 – na odtoku se nepodílely jen dešťové srážky, ale také tání sněhu

I přes tyto menší nedostatky bylo možné porovnat několik srážko – odtokových událostí a na základě srovnání modelovaných a naměřených hodnot nastavit parametry povodí pro potřeby následné simulace odtoku z teoretických přívalových srážek. Nejednalo se tedy o skutečnou kalibraci, nicméně výsledky ukázaly některé důležité poznatky, které byly následně využity v průběhu zpracování dizertační práce.

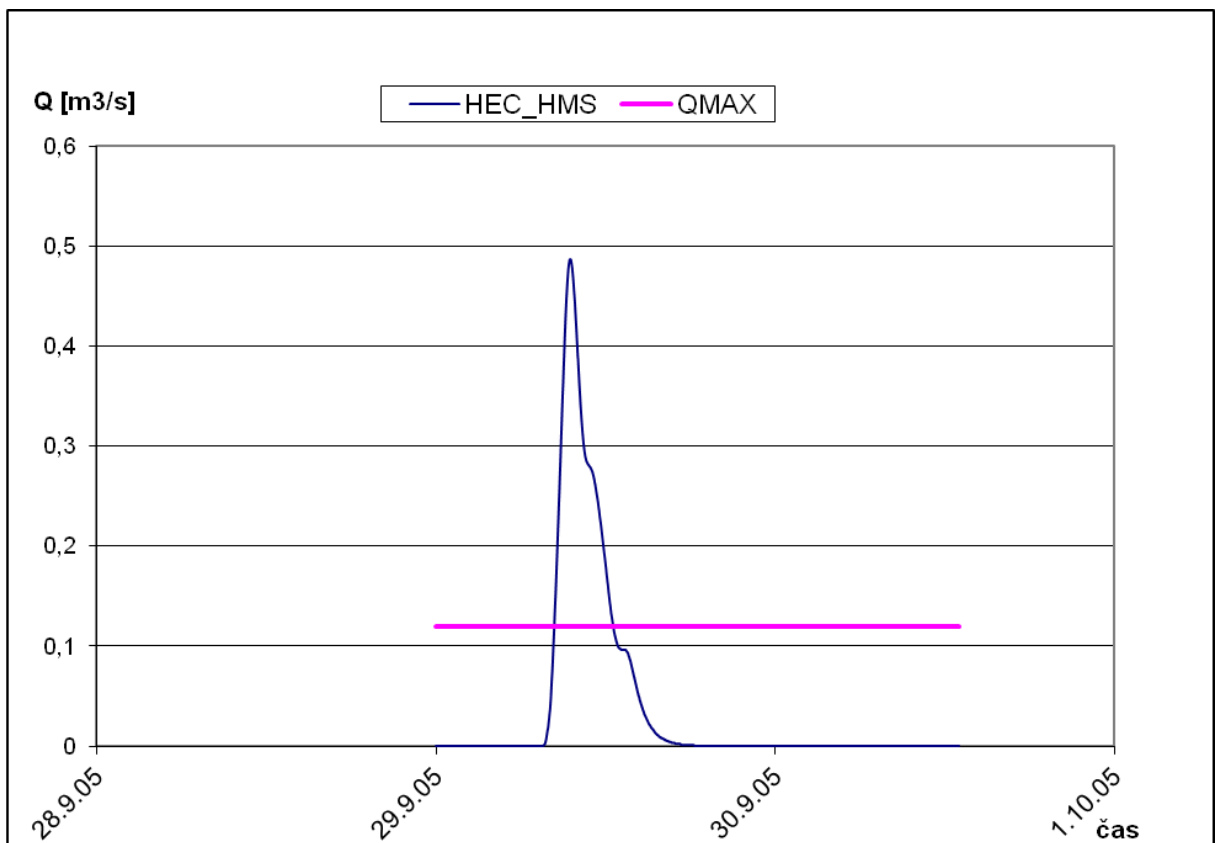
Níže v grafech jsou zobrazena srovnání naměřených hodnot z Thomsonova měrného profilu s výslednými hodnotami modelovaných průtoků v programu HEC-HMS.



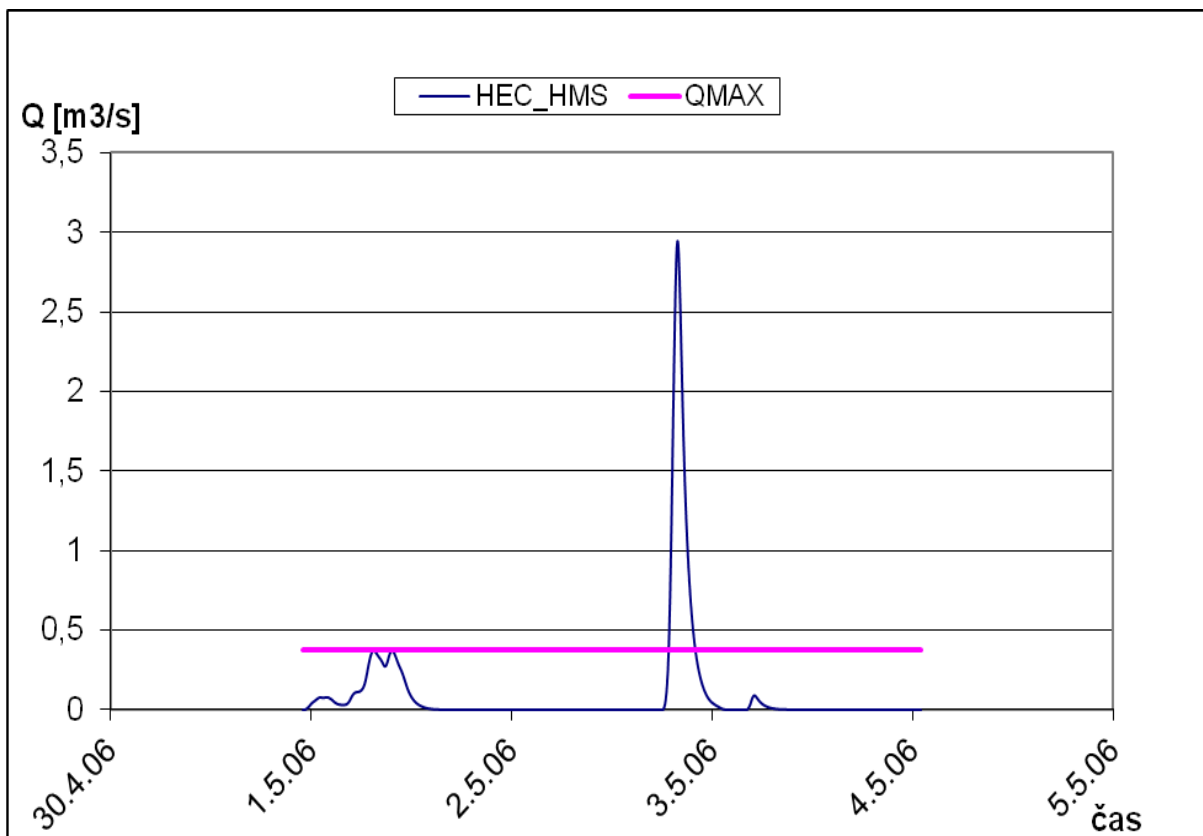
Příloha obr. 4 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 15.8.2005



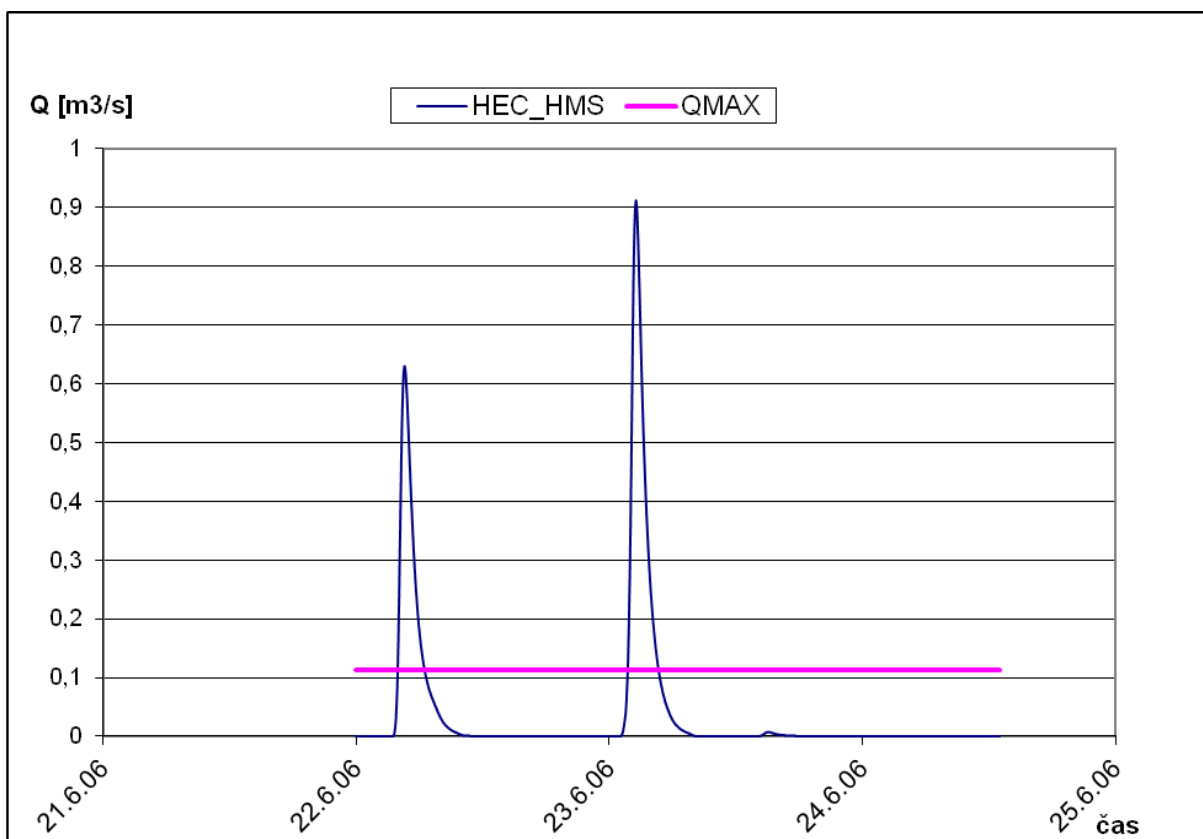
Příloha obr. 5 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 12.9.2005



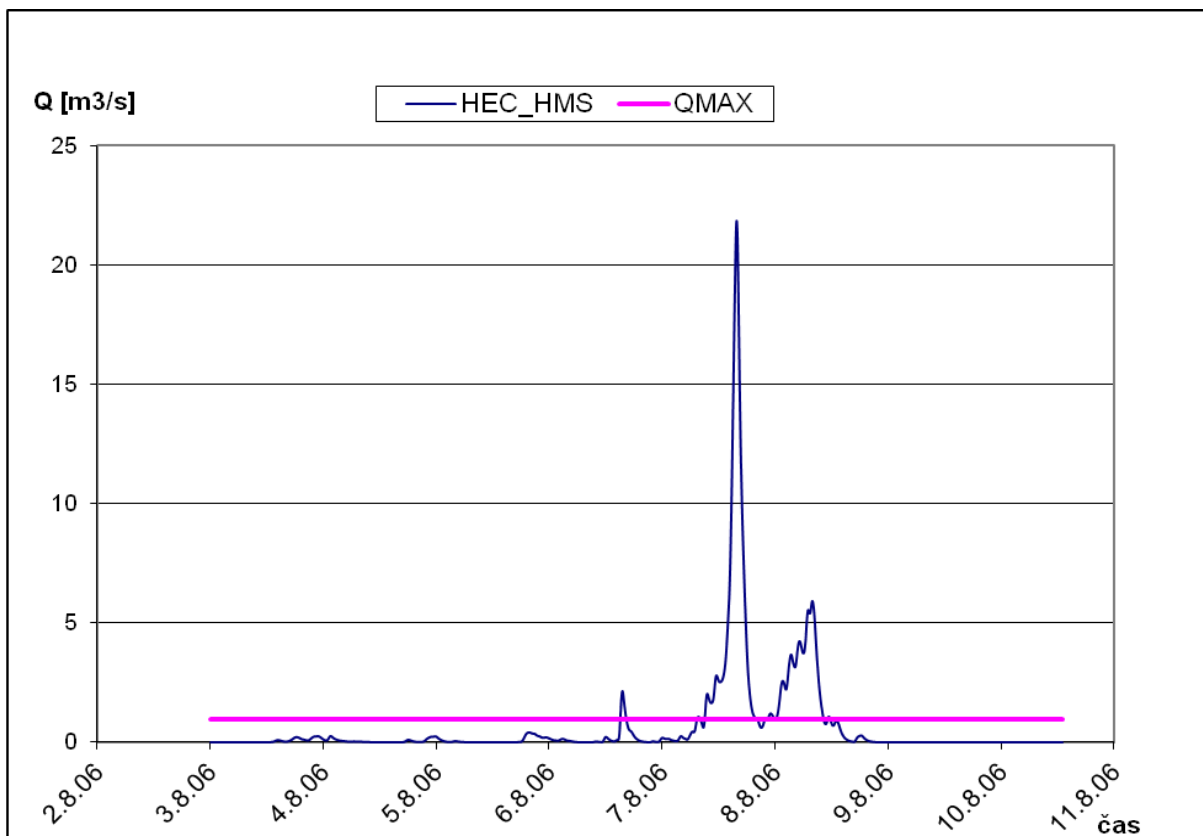
Příloha obr. 6 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 29.9.2005



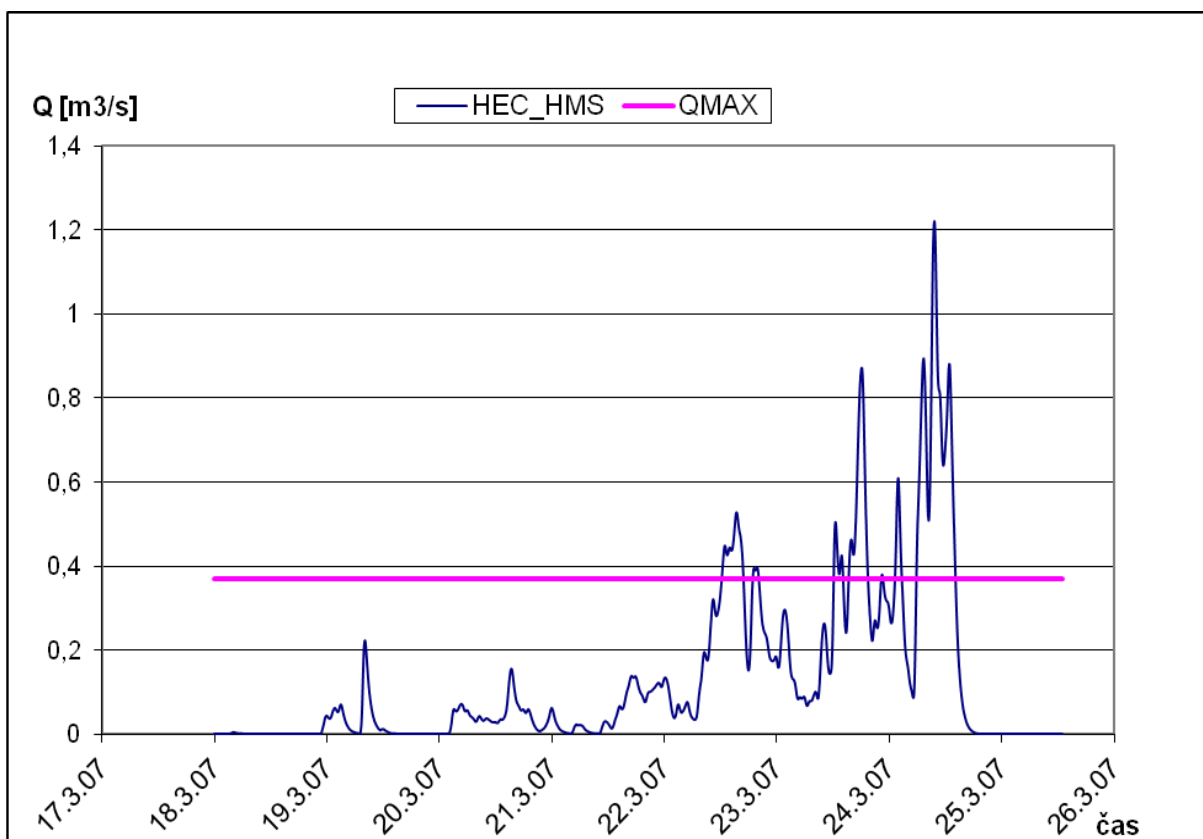
Příloha obr. 7 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 1.5.2006



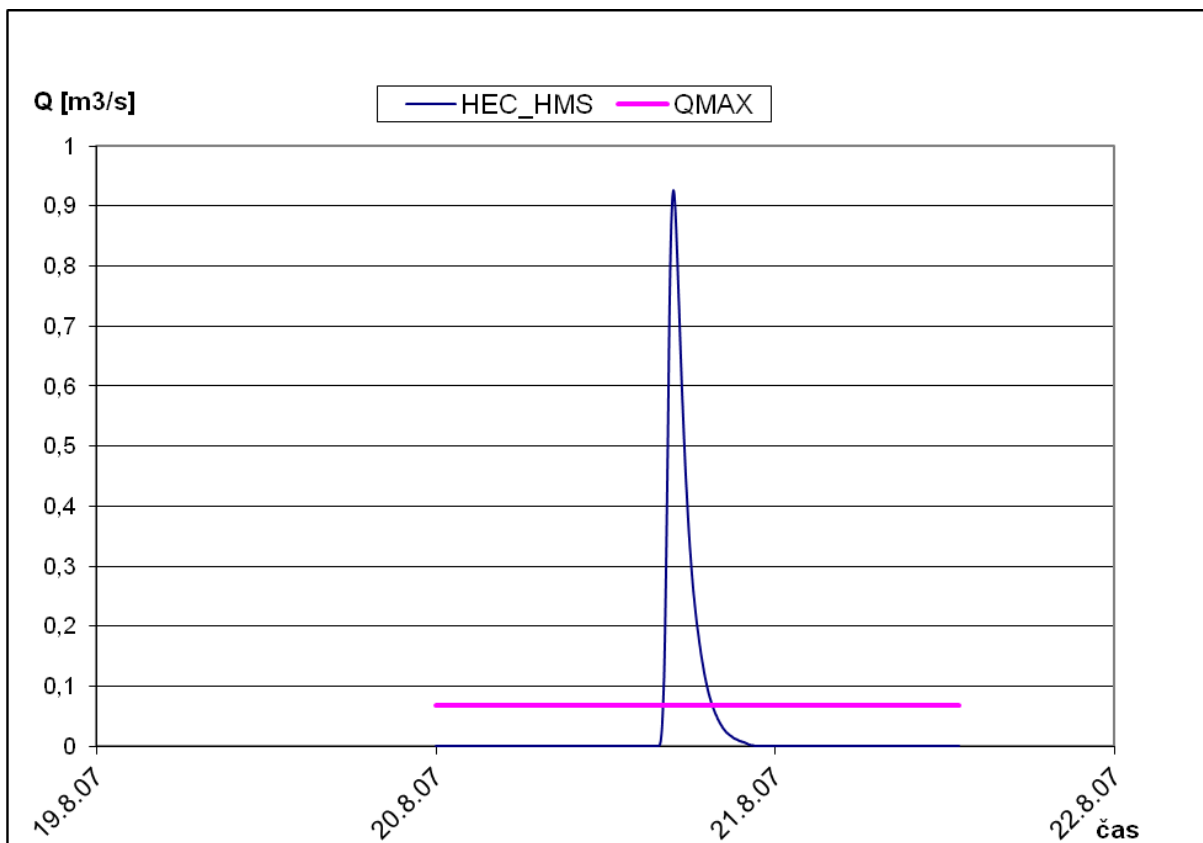
Příloha obr. 8 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 22.6.2006



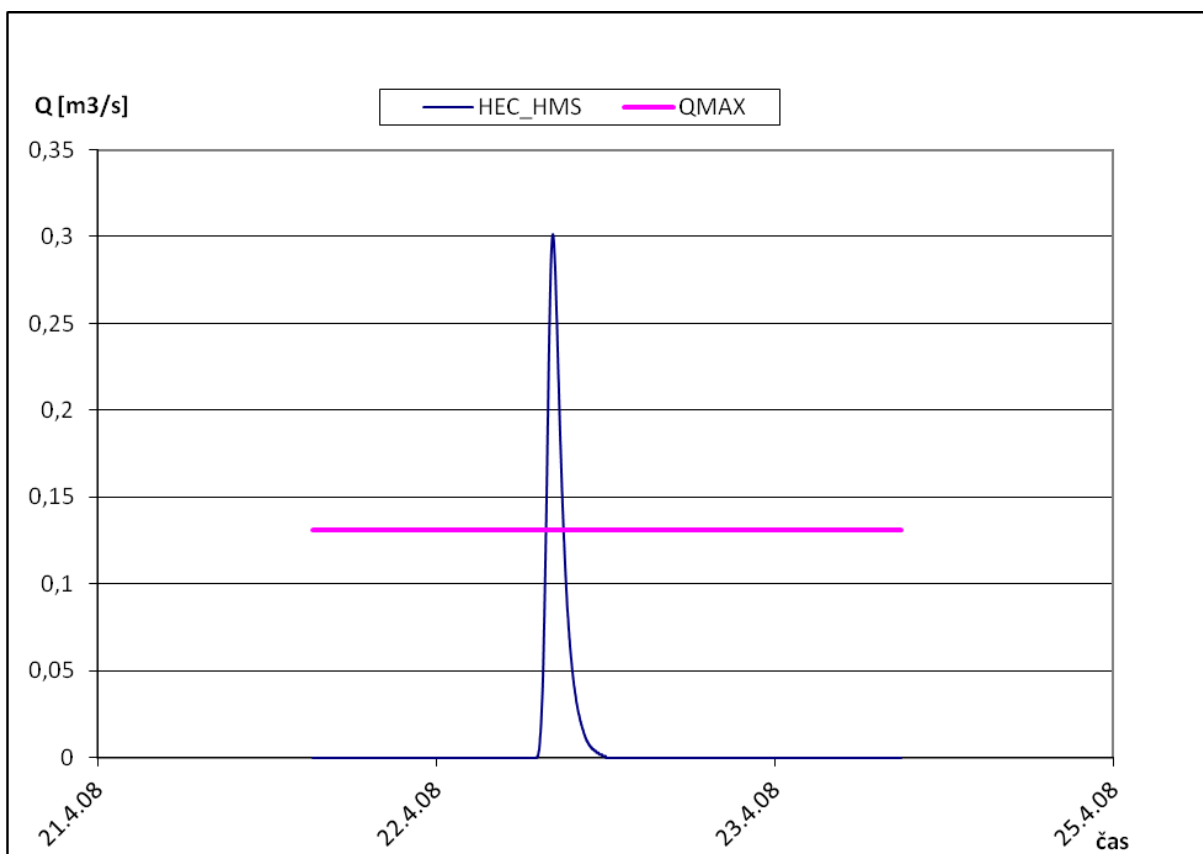
Příloha obr. 9 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 7.8.2006



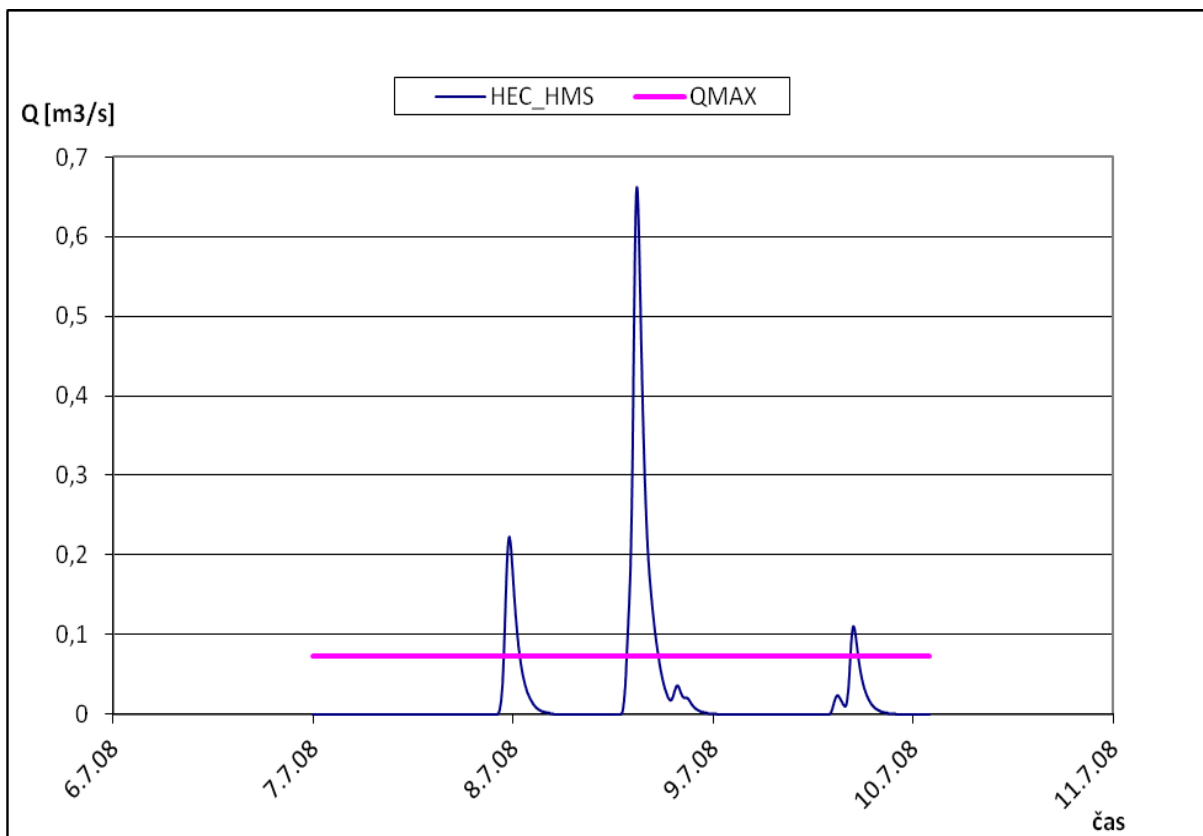
Příloha obr. 10 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 24.3.2007



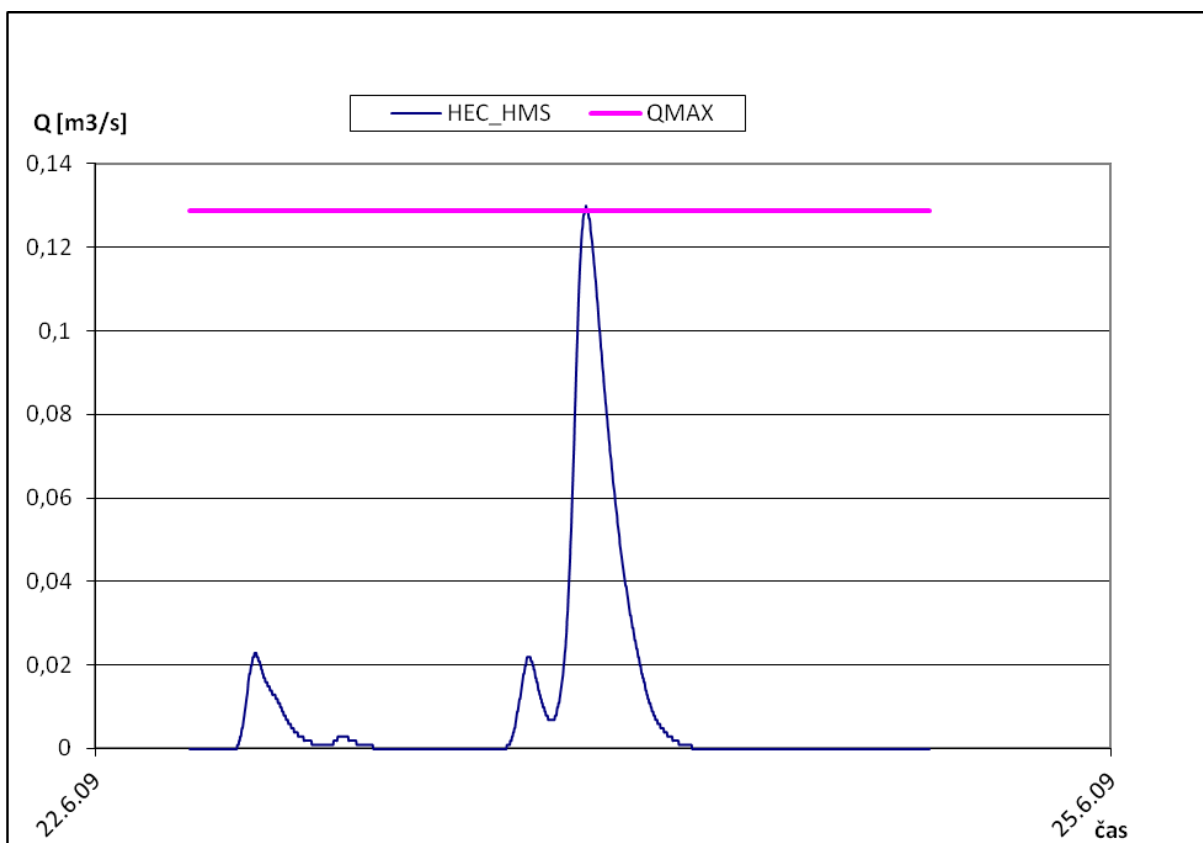
Příloha obr. 11 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 20.8.2007



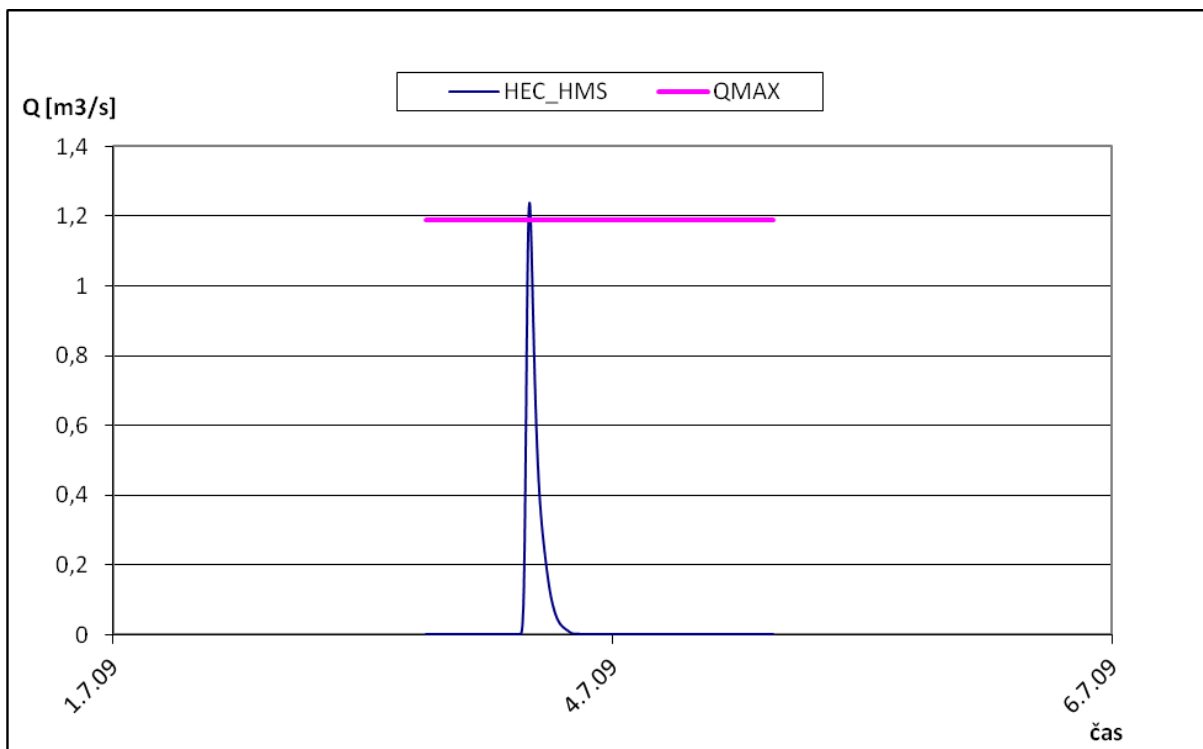
Příloha obr. 12 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 22.4.2008



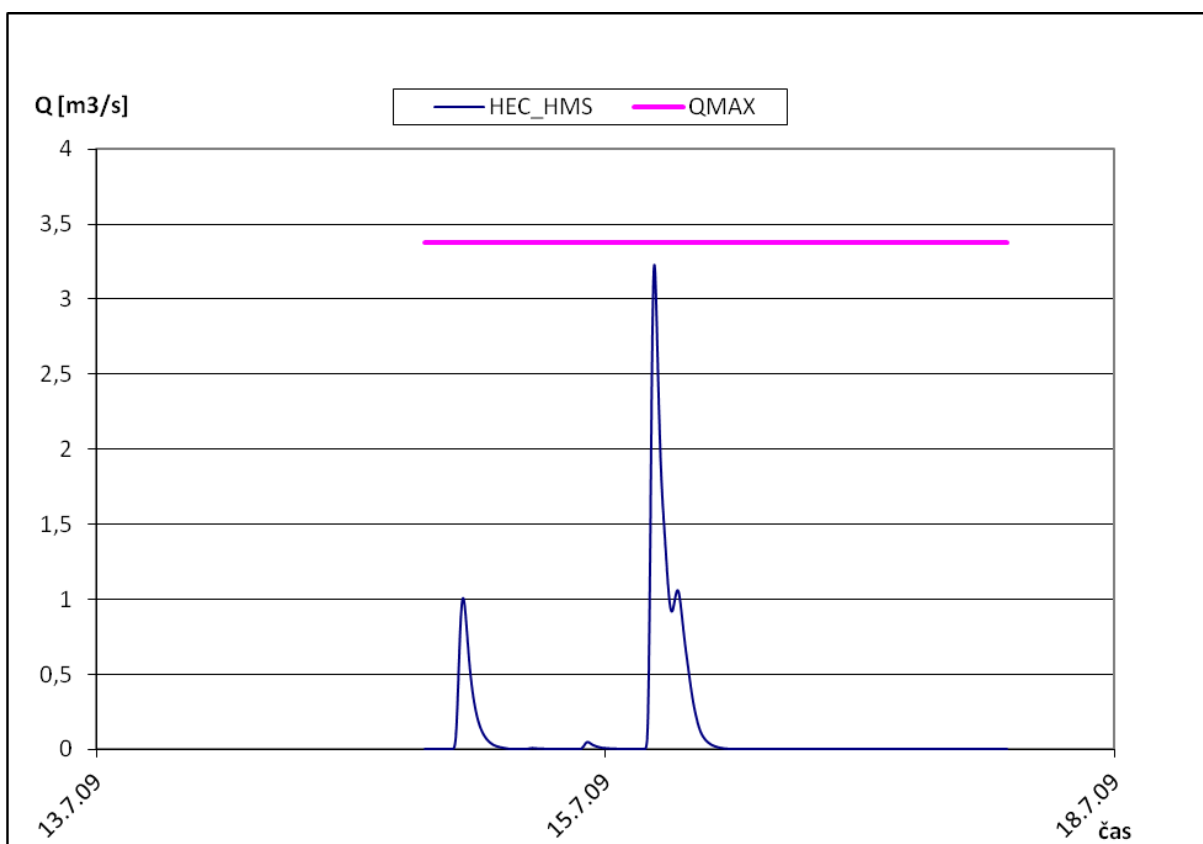
Příloha obr. 13 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 7.7.2008



Příloha obr. 14 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 23.6.2009



Příloha obr. 15 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 3.7.2009



Příloha obr. 16 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 15.7.2009

Z výše uvedených hydrogramů je patrné, že v téměř polovině řešených případů se podařilo docílit shody mezi měřeními a modelovanými průtoky s odchylkou v řádu jednotek maximálně desítek procent, což přehledně shrnuje následující tabulka.

Příloha tab. 2 Srovnání měřených a modelovaných průtoků v období mezi lety 2005 - 2007

Rok	Datum měření	Naměřené hodnoty				HEC-HMS				procent. shoda
		Q _{MAX} [l/s]	Q _{MAX} [m ³ /s]	Denní úhm srážek [mm]	Max. intenzita [mm/h]	Q _{MAX} [m ³ /s]	Datum	Q _{MAX} [m ³ /s]	Datum	
2005	15.8.	96,3	0,0963	19,12	0,21	0,311	15.8. 2005 7:53			-222,9%
	12.9.	1121,8	1,1218	76,68	1,75	1,82	12.9. 2005 21:09			-62,2%
	29.9.	119,5	0,1195	32,8	0,29	0,486	29.9. 2005 10:59			-306,7%
2006	1.5.	377,5	0,3775	69,3	0,05	0,372	2.5. 2006 19:57	0,372	1.5. 2006 1:44	1,5%
	22.6.	113,1	0,1131	19,9	0,66	0,912	23.6. 2006 2:27	0,636	22.6. 2006 4:33	-706,4%
	7.8.	959,9	0,9599	198,8	0,85	21,858	7.8. 2006 15:43			-2177,1%
2007	24.3.	369,7	0,3697	11,3	0,1	0,451	20.3. 2007 15:07	1,222	24.3. 2007 9:33	-22,0%
		227,1	0,2271	31,65	1,2	0,926	20.3. 2007 16:47			-307,7%
2008	22.4.	130,8	0,1308	12,64	0,21	0,301	23.4. 2008 0:51			-130,1%
	7.7.	73,1	0,0731	25,46	0,66	0,662	8.7. 2008 14:53	0,225	7.7. 2008 23:31	-805,6%
2009	23.6.	128,7	0,1287	6	0,5	0,13	23.6. 2009 22:59			-1,0%
	3.7.	1187,7	1,1877	43	1,4	1,237	3.7. 2009 13:25			-4,2%
	15.7.	3378,5	3,3785	29,2	1,3	3,233	15.7. 2009 19:00			4,3%

2.2 VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ PROTIPOVODŇOVÉHO EFEKTU

Na počátku zpracování tohoto tématu bylo hlavním cílem detailně se seznámit se všemi funkcemi srážko – odtokového modelu, nastavit základní parametry a adekvátně do schématu povodí začlenit navrhované průlehy tak, aby model co nejvíce odrážel reálné podmínky. Z tohoto důvodu bylo z počátku řešeno zapojení pouze dvou průlehů do experimentálního povodí a řešeny různé varianty možných scénářů a to: zatížení povodí řadou srážek s průměrnou dobou opakování N = 2, 5, 10, 20, 50, 100 let, návrh objemu liniových prvků pro tytéž N-letosti a vyhodnocení jejich vlivu v profilech bezprostředně pod liniovým prvkem, v uzávěrovém profilu mezipovodí a v uzávěrovém profilu celého povodí. Výsledky těchto variant jsou uvedeny v tabulkách níže.

Příloha tab. 3 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování $N = 2$ roky.

Srovnávací tabulka																
N	profil															
	průleh "A" Q_2				průleh "B" Q_2				ZP				ZP (jen průleh "A")			
	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]
2	0,152	0,000	1 311	0	0,103	0,000	891	0	1,724	1,513	16 442	14 240	1,724	1,581	16 442	15 131
5	0,318	0,238	2 647	1 336	0,216	0,161	1 792	901	4,245	3,787	37 301	35 099	4,245	3,951	37 301	35 990
10	0,442	0,402	3 637	2 326	0,299	0,272	2 458	1 567	6,269	5,624	53 591	51 389	6,269	5,862	53 591	52 280
20	0,582	0,580	4 759	3 448	0,393	0,392	3 211	2 320	8,653	8,254	72 576	70 374	8,653	8,260	72 576	71 265
50	0,765	0,765	6 219	4 908	0,516	0,516	4 190	3 299	11,852	11,654	97 888	95 686	11,852	11,620	97 888	96 577
100	0,915	0,915	7 415	6 104	0,616	0,616	4 991	4 100	14,530	14,421	118 990	116 788	14,530	14,371	118 990	117 679

pozn. objem zadržný průlehem "A" navrženým na Q_2 je $1\,311\ m^3$

pozn. objem zadržný průlehem "B" navrženým na Q_2 je $891\ m^3$

Příloha tab. 4 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování $N = 5$ let.

Srovnávací tabulka																
N	profil															
	průleh "A" Q_5				průleh "B" Q_5				ZP				ZP (jen průleh "A")			
	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]
2	0,152	0,000	1 311	0	0,103	0,000	891	0	1,724	1,513	16 442	14 240	1,724	1,581	16 442	15 131
5	0,318	0,000	2 647	0	0,216	0,000	1 792	0	4,245	3,787	37 301	32 862	4,245	3,951	37 301	34 654
10	0,442	0,210	3 637	990	0,299	0,140	2 458	666	6,269	5,624	53 591	49 152	6,269	5,862	53 591	50 944
20	0,582	0,396	4 759	2 112	0,393	0,267	3 211	1 419	8,653	7,793	72 576	68 137	8,653	8,117	72 576	69 929
50	0,765	0,649	6 219	3 572	0,516	0,437	4 190	2 398	11,852	10,713	97 888	93 449	11,852	11,151	97 888	95 241
100	0,915	0,870	7 415	4 768	0,616	0,584	4 991	3 199	14,530	13,160	118 990	114 551	14,530	13,693	118 990	116 343

pozn. objem zadržný průlehem "A" navrženým na Q_5 je 2 647 m³

pozn. objem zadržný průlehem "B" navrženým na Q_5 je 1 792 m³

Příloha tab. 5 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování $N = 10$ let.

Srovnávací tabulka																
N	profil															
	průleh "A" Q_{10}				průleh "B" Q_{10}				ZP				ZP (jen průleh "A")			
	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]
2	0,152	0,000	1 311	0	0,103	0,000	891	0	1,724	1,513	16 442	14 240	1,724	1,581	16 442	15 131
5	0,318	0,000	2 647	0	0,216	0,000	1 792	0	4,245	3,787	37 301	32 862	4,245	3,951	37 301	34 654
10	0,442	0,000	3 637	0	0,299	0,000	2 458	0	6,269	5,624	53 591	47 496	6,269	5,862	53 591	49 954
20	0,582	0,246	4 759	1 092	0,393	0,167	3 211	753	8,653	7,793	72 576	66 481	8,653	8,117	72 576	68 909
50	0,765	0,492	6 219	2 552	0,516	0,334	4 190	1 732	11,852	10,713	97 888	91 793	11,852	11,151	97 888	94 221
100	0,915	0,697	7 415	3 748	0,616	0,474	4 991	2 533	14,530	13,160	118 990	112 895	14,530	13,693	118 990	115 323

pozn. objem zadržný průlehem "A" navrženým na Q_{10} je 3 667 m³

pozn. objem zadržný průlehem "B" navrženým na Q_{10} je 2 458 m³

Příloha tab. 6 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování $N = 20$ let.

Srovnávací tabulka																
N	profil															
	průleh "A" Q_{20}				průleh "B" Q_{20}				ZP				ZP (jen průleh "A")			
	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]
2	0,152	0,000	1 311	0	0,103	0,000	891	0	1,724	1,513	16 442	14 240	1,724	1,581	16 442	15 131
5	0,318	0,000	2 647	0	0,216	0,000	1 792	0	4,245	3,787	37 301	32 862	4,245	3,951	37 301	34 654
10	0,442	0,000	3 637	0	0,299	0,000	2 458	0	6,269	5,624	53 591	47 496	6,269	5,862	53 591	49 954
20	0,582	0,000	4 759	0	0,393	0,000	3 211	0	8,653	7,793	72 576	64 606	8,653	8,117	72 576	67 817
50	0,765	0,323	6 219	1 460	0,516	0,217	4 190	979	11,852	10,713	97 888	89 918	11,852	11,151	97 888	93 129
100	0,915	0,527	7 415	2 656	0,616	0,354	4 991	1 780	14,530	13,160	118 990	111 020	14,530	13,693	118 990	114 231

pozn. objem zadržný průlehem "A" navrženým na Q_{20} je $4\,759\ m^3$

pozn. objem zadržný průlehem "B" navrženým na Q_{20} je $3\,211\ m^3$

Příloha tab. 7 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování $N = 50$ let.

Srovnávací tabulka																
N	profil															
	průleh "A" Q_{50}				průleh "B" Q_{50}				ZP				ZP (jen průleh "A")			
	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]
2	0,152	0,000	1 311	0	0,103	0,000	891	0	1,724	1,513	16 442	14 240	1,724	1,581	16 442	15 131
5	0,318	0,000	2 647	0	0,216	0,000	1 792	0	4,245	3,787	37 301	32 862	4,245	3,951	37 301	34 654
10	0,442	0,000	3 637	0	0,299	0,000	2 458	0	6,269	5,624	53 591	47 496	6,269	5,862	53 591	49 954
20	0,582	0,000	4 759	0	0,393	0,000	3 211	0	8,653	7,793	72 576	64 606	8,653	8,117	72 576	67 817
50	0,765	0,000	6 219	0	0,516	0,000	4 190	0	11,852	10,713	97 888	87 479	11,852	11,151	97 888	91 669
100	0,915	0,299	7 415	1 196	0,616	0,198	4 991	801	14,530	13,160	118 990	108 581	14,530	13,693	118 990	112 771

pozn. objem zadržný průlehem "A" navrženým na Q_{50} je 6 219 m³

pozn. objem zadržný průlehem "B" navrženým na Q_{50} je 4 190 m³

Příloha tab. 8 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování $N = 100$ let.

Srovnávací tabulka																
N	profil															
	průleh "A" Q_{100}				průleh "B" Q_{100}				ZP				ZP (jen průleh "A")			
	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$	$Q_{neovl.}$	$Q_{ovl.}$	$V_{neovl.}$	$V_{ovl.}$
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]
2	0,152	0,000	1 311	0	0,103	0,000	891	0	1,724	1,513	16 442	14 240	1,724	1,581	16 442	15 131
5	0,318	0,000	2 647	0	0,216	0,000	1 792	0	4,245	3,787	37 301	32 862	4,245	3,951	37 301	34 654
10	0,442	0,000	3 637	0	0,299	0,000	2 458	0	6,269	5,624	53 591	47 496	6,269	5,862	53 591	49 954
20	0,582	0,000	4 759	0	0,393	0,000	3 211	0	8,653	7,793	72 576	64 606	8,653	8,117	72 576	67 817
50	0,765	0,000	6 219	0	0,516	0,000	4 190	0	11,852	10,713	97 888	87 479	11,852	11,151	97 888	91 669
100	0,915	0,000	7 415	0	0,616	0,000	4 991	0	14,530	13,160	118 990	106 584	14,530	13,693	118 990	111 575

pozn. objem zadržný průlehem "A" navrženým na Q_{100} je 7 415 m³

pozn. objem zadržný průlehem "B" navrženým na Q_{100} je 4 991 m³

Příloha tab. 9 Souhrnné srovnání vlivu liniových opatření na parametry kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí.

Srovnávací tabulka														
N	profil													
	ZP (zapojeny oba průlehy)							ZP (jen průleh "A")						
	Q _{neovl.}	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q _{neovl.}	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
2	1,724	1,513	1,513	1,513	1,513	1,513	1,513	1,724	1,581	1,581	1,581	1,581	1,581	1,581
5	4,245	3,787	3,787	3,787	3,787	3,787	3,787	4,245	3,951	3,951	3,951	3,951	3,951	3,951
10	6,269	5,624	5,624	5,624	5,624	5,624	5,624	6,269	5,862	5,862	5,862	5,862	5,862	5,862
20	8,653	8,254	7,793	7,793	7,793	7,793	7,793	8,653	8,260	8,117	8,117	8,117	8,117	8,117
50	11,852	11,654	10,713	10,713	10,713	10,713	10,713	11,852	11,620	11,151	11,151	11,151	11,151	11,151
100	14,530	14,421	13,160	13,160	13,160	13,160	13,160	14,530	14,371	13,693	13,693	13,693	13,693	13,693

Příloha tab. 10 Souhrnné procentuální srovnání vlivu liniových opatření na parametry kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí.

Účinnost opatření na velikost kulminačního průtoku v %														
N	profil													
	ZP (zapojeny oba průlehy)							ZP (jen průleh "A")						
	Q _{neovl.}	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q _{neovl.}	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
	[m ³ /s]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[m ³ /s]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	1,724	12,24	12,24	12,24	12,24	12,24	12,24	1,724	8,29	8,29	8,29	8,29	8,29	8,29
5	4,245	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	4,245	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
10	6,269	10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	6,269	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49
20	8,653	4,61	9,94	9,94	9,94	9,94	9,94	8,653	4,54	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
50	11,852	1,67	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	11,852	1,96	5,91	5,91	5,91	5,91	5,91
100	14,530	0,75	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	14,530	1,09	5,76	5,76	5,76	5,76	5,76

Příloha tab. 11 Souhrnné srovnání vlivu liniových opatření na parametry objemu odtoku v závěrovém profilu povodí.

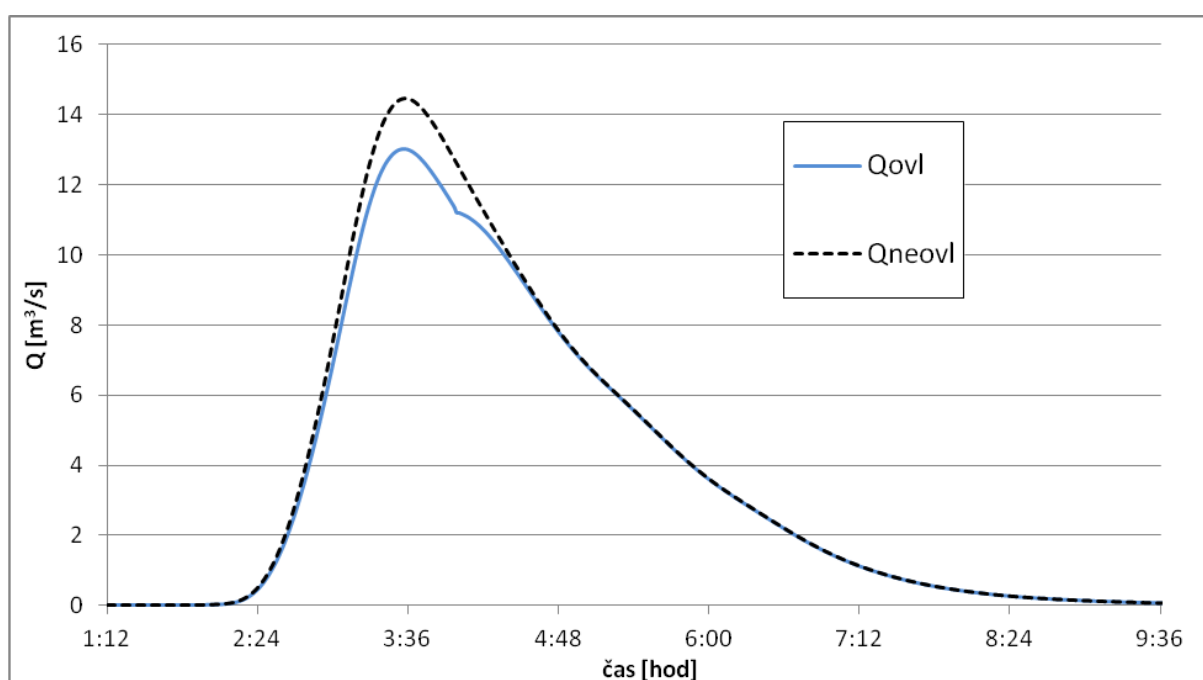
Srovnávací tabulka														
N	ZP (zapojeny oba průlehy)							ZP (jen průleh "A")						
	$V_{neovl.}$	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	$V_{neovl.}$	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
2	16 442	14 240	14 240	14 240	14 240	14 240	14 240	16 442	15 131	15 131	15 131	15 131	15 131	15 131
5	37 301	35 099	32 862	32 862	32 862	32 862	32 862	37 301	35 990	34 654	34 654	34 654	34 654	34 654
10	53 591	51 389	49 152	47 496	47 496	47 496	47 496	53 591	52 280	50 944	49 954	49 954	49 954	49 954
20	72 576	70 374	68 137	66 481	64 606	64 606	64 606	72 576	71 265	69 929	68 909	67 817	67 817	67 817
50	97 888	95 686	93 449	91 793	89 918	87 479	87 479	97 888	96 577	95 241	94 221	93 129	91 669	91 669
100	118 990	116 788	114 551	112 895	111 020	108 581	106 584	118 990	117 679	116 343	115 323	114 231	112 771	111 575

Příloha tab. 12 Souhrnné procentuální srovnání vlivu liniových opatření na parametry objemu odtoku v závěrovém profilu povodí.

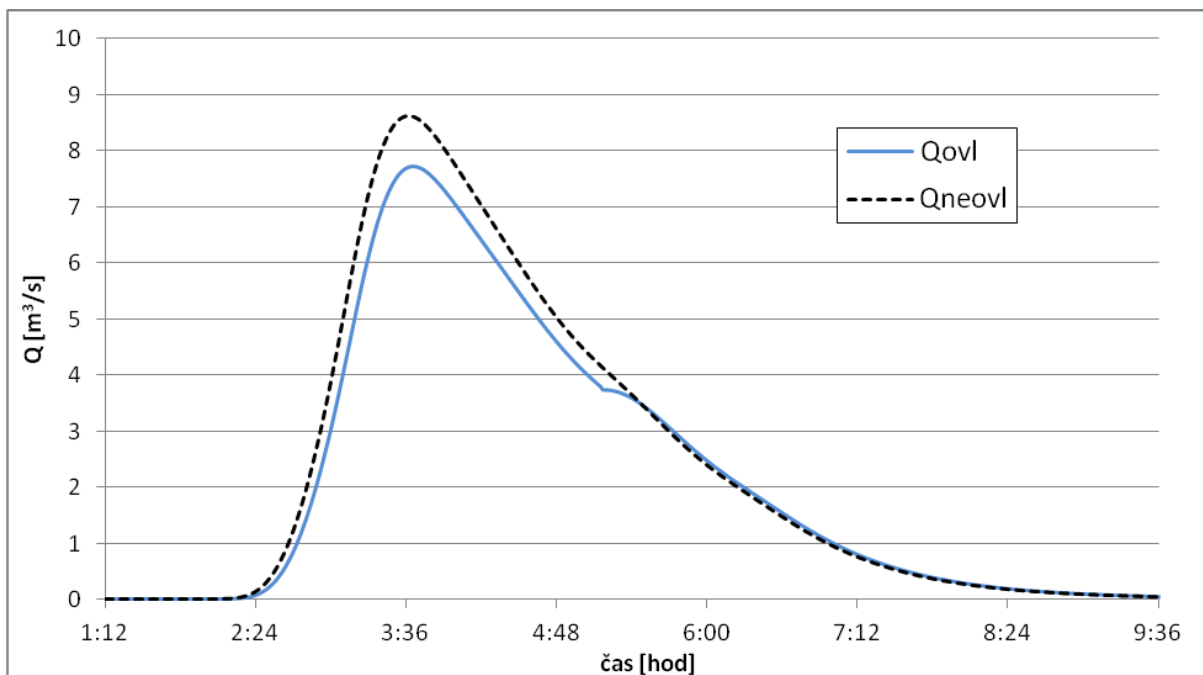
Účinnost opatření na velikost objemu odtoku v %														
N	profil													
	ZP (zapojeny oba průlehy)							ZP (jen průleh "A")						
	$V_{neovl.}$	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	$V_{neovl.}$	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
	[m ³]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[m ³ /s]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
2	16 442	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	16 442	7,97	7,97	7,97	7,97	7,97	7,97
5	37 301	5,90	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	37 301	3,51	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10
10	53 591	4,11	8,28	11,37	11,37	11,37	11,37	53 591	2,45	4,94	6,79	6,79	6,79	6,79
20	72 576	3,03	6,12	8,40	10,98	10,98	10,98	72 576	1,81	3,65	5,05	6,56	6,56	6,56
50	97 888	2,25	4,53	6,23	8,14	10,63	10,63	97 888	1,34	2,70	3,75	4,86	6,35	6,35
100	118 990	1,85	3,73	5,12	6,70	8,75	10,43	118 990	1,10	2,22	3,08	4,00	5,23	6,23

Výše uvedené tabulky blíže dokumentují závěry zmíněné v hlavní části dizertační práce a to, že efekt snížení hodnoty kulminačního průtoku není závislý pouze na zvětšujícím se retenčním objemu záchytného průlehu, ale významnou roli hraje rovněž poloha průlehu a způsob ovlivnění hydrogramu resp. jeho vzestupné části. V tomto případě účinnost opatření roste ve srovnání průlehu navrženého k zachycení odtoku s průměrnou dobou opakování 2 a 5 let. S dalším navyšováním objemu retenčního prvku však již účinnost zůstává stejná. To je způsobeno tím, že objem zachycený retenčním líniovým prvkem nedokáže více ovlivnit první (vzestupnou) část hydrogramu, tím pádem nedochází ke snížení kulminačního průtoku, ale pouze celkového objemu odtoku.

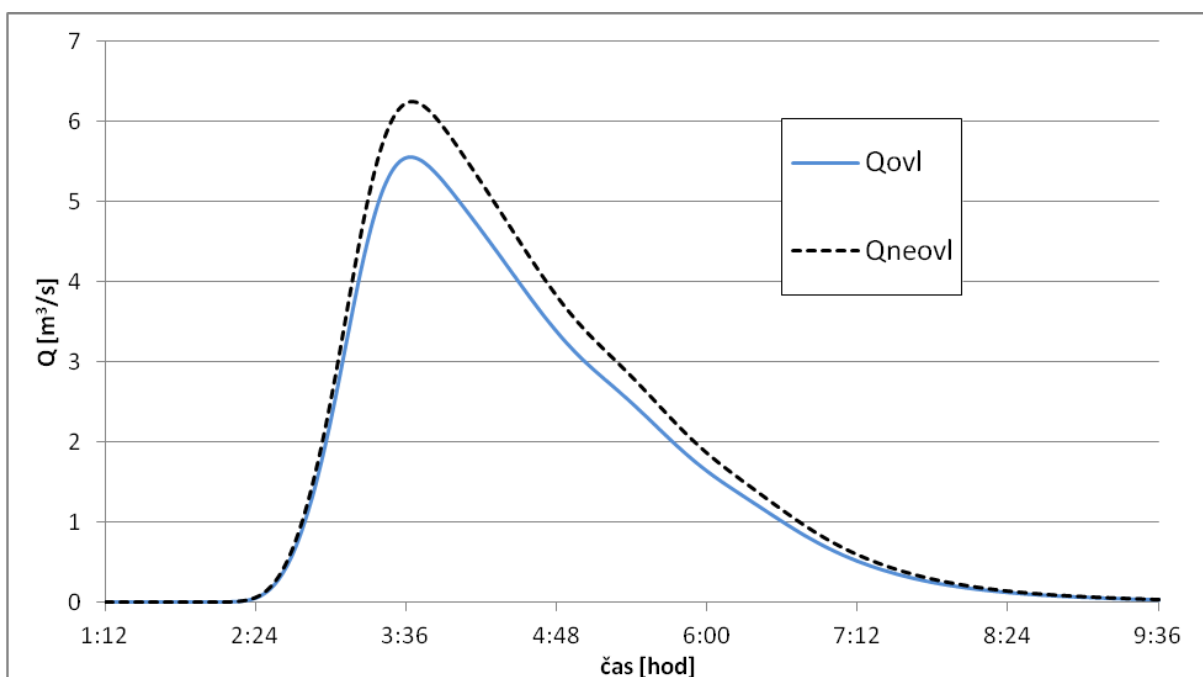
To je možné rovněž doložit na srovnání tří hydrogramů s různou průměrnou dobou opakování, ovlivněných dvěma průlehy navrženými k zachycení objemu odtoku Q_{10} . Z obrázků níže je vidět, že rozhodující část objemu zadržitého líniovými prvky ovlivňuje až sestupnou část hydrogramu.



Příloha obr. 17 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,100}$ v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně je neovlivněný hydrogram. Modře je znázorněn ovlivněný hydrogram soustavou dvou líniových prvků. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}

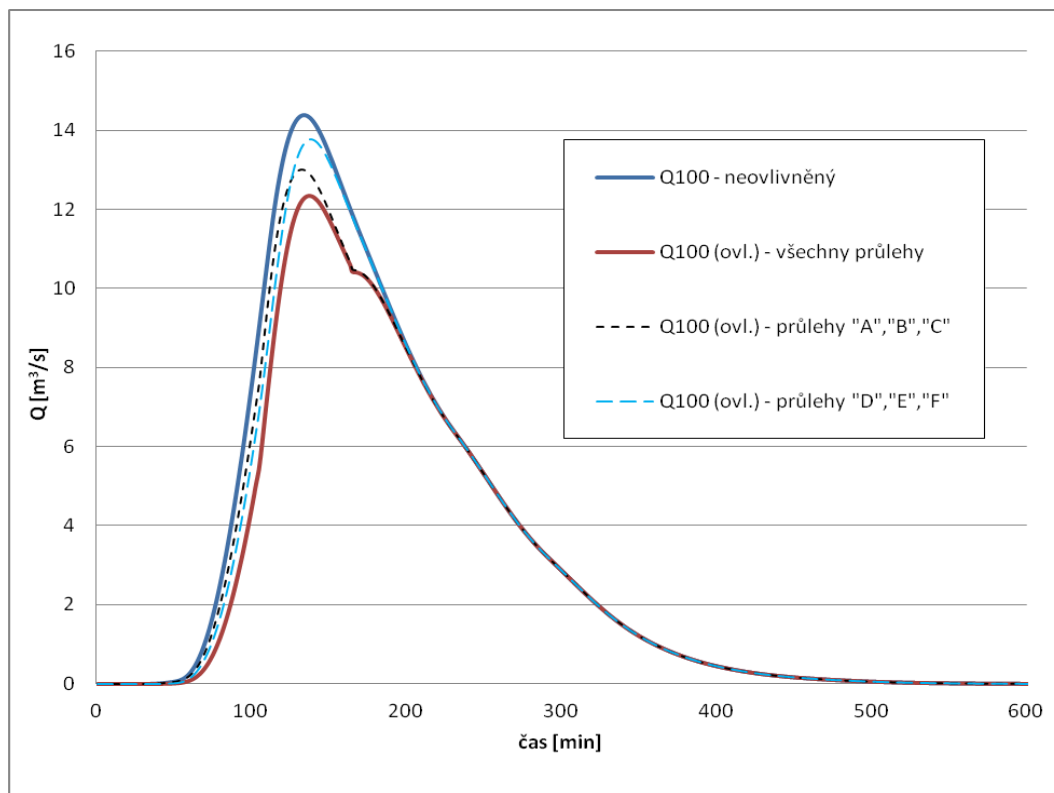


Příloha obr. 18 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,20}$ v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně je neovlivněný hydrogram. Modře je znázorněn ovlivněný hydrogram soustavou dvou liniových prvků. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}

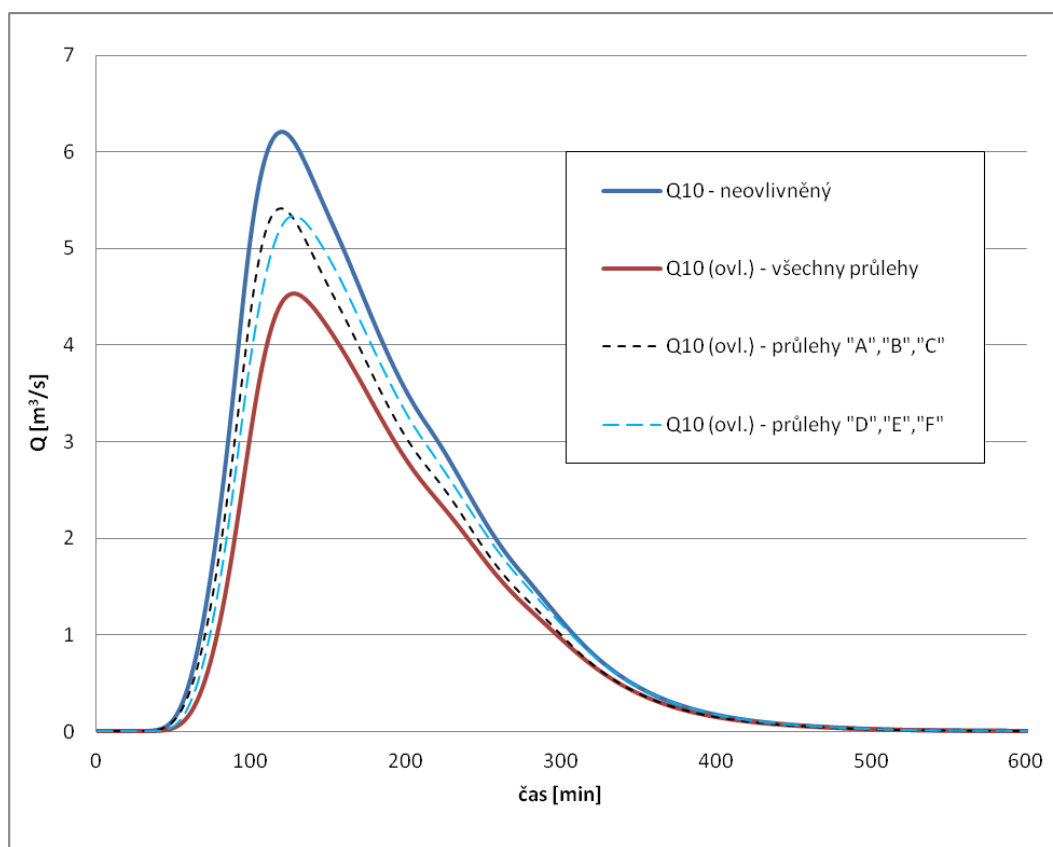


Příloha obr. 19 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,10}$ v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně je neovlivněný hydrogram. Modře je znázorněn ovlivněný hydrogram soustavou dvou liniových prvků. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}

Hydrogramy ovlivněné třemi a více průlehy v různých variantách jsou uvedeny na dalších dvou obrázcích.



Příloha obr. 20 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,100}$ v závěrovém profilu povodí. Záchytné průřehy jsou navrženy na Q_{10}



Příloha obr. 21 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,10}$ v závěrovém profilu povodí. Záchytné průřehy jsou navrženy na Q_{10}

2.3 VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ PROTIEROZNÍHO EFEKTU

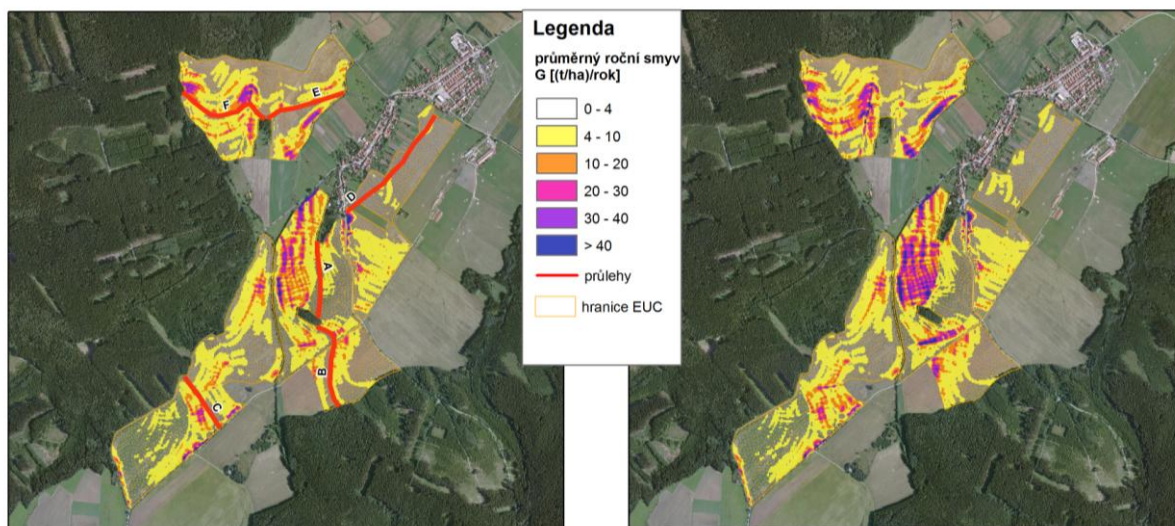
V následující kapitole jsou uvedeny výsledky všech prověřovaných variantních řešení hodnotících vliv liniových protierozních opatření na hodnoty dlouhodobého průměrného erozního smyvu. Hodnocení probíhalo na základě Wischmeier – Smithovi univerzální rovnice ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation – USLE), která se stala základní metodou hodnocení intenzity erozního procesu. Samotné modelování následně probíhalo v prostředí GIS, jak je popsáno v hlavní části dizertační práce.

Na obrázku níže jsou hodnocené erozně uzavřené celky, ve kterých byly navrženy záchytné průlehy.



Příloha obr. 22 Situační vymezení erozně uzavřených celků v povodí Němčického potoka

V další části je potom uvedeno jak tabelární tak grafické srovnání různých uvažovaných variant, z nichž byly následně vytvořeny agregované výsledky uvedené v hlavní části dizertační práce.



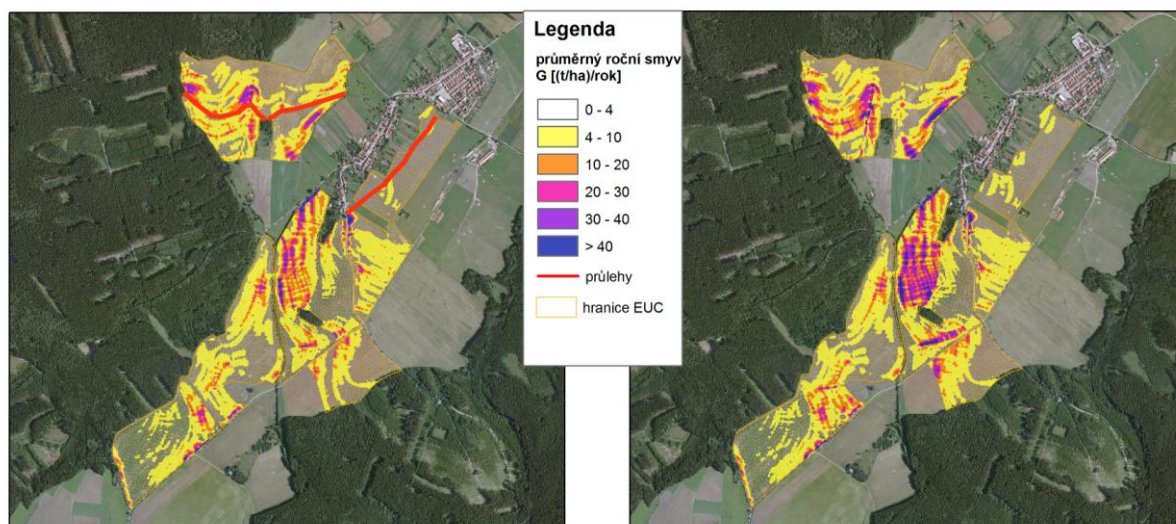
Příloha obr. 23 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vlevo varianta se všemi navrženými průlehy (VAR 2,) vpravo je varianta bez průleहů (VAR 1).

Příloha tab. 13 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 1

ID erozně hodnocené plochy (EHP)	plocha EHP [ha]	VAR 1 - bez průleहů	
		T/HA/ROK	T/ROK
1	35,288	7,23	255,28
2	41,531	5,35	222,25
3	27,596	9,75	268,95
4	22,275	4,20	93,63
5	11,053	5,41	59,80
			899,90

Příloha tab. 14 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 2

ID erozně hodnocené plochy (EHP)	plocha EHP [ha]	VAR 2 - všechny průlehy	
		T/HA/ROK	T/ROK
1	35,288	5,66	199,68
2	41,531	5,01	207,91
3	27,596	7,55	208,29
4	22,275	3,87	86,12
5	11,053	4,14	45,78
			747,78



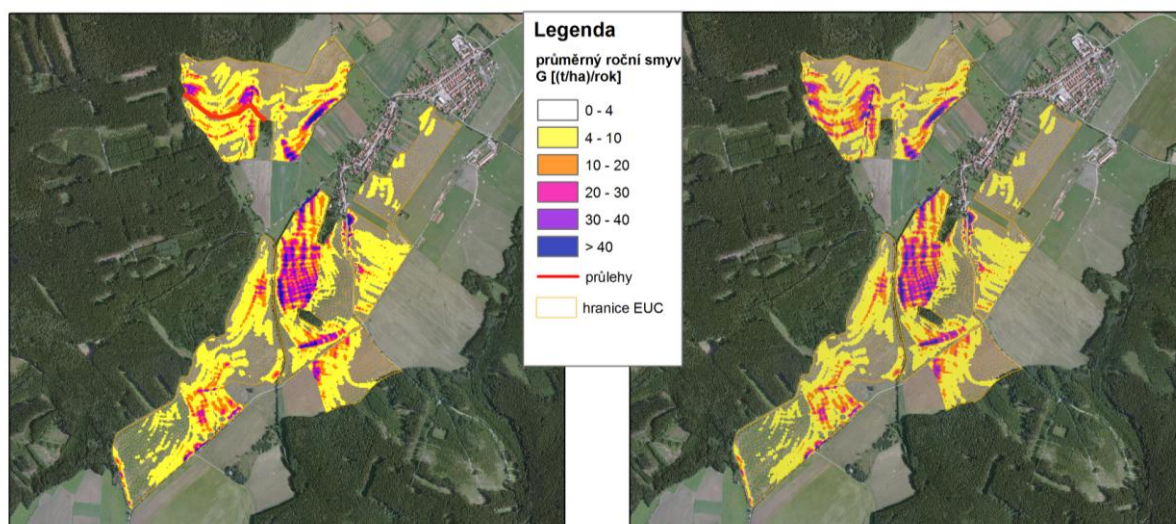
Příloha obr. 24 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vlevo varianta se třemi navrženými průlehy v horní části povodí (VAR 3), vpravo je varianta bez průlehy (VAR 1).

Příloha tab. 15 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 3

ID erozně hodnocené plochy (EHP)	plocha EHP [ha]	VAR 3 - průlehy "D", "E", "F"	
		T/HA/ROK	T/ROK
1	35,288	5,66	199,68
2	41,531	5,35	222,25
3	27,596	9,75	268,95
4	22,275	3,87	86,12
5	11,053	5,41	59,80
			836,80

Příloha tab. 16 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 4

ID erozně hodnocené plochy (EHP)	plocha EHP [ha]	VAR 4 - průlehy "A", "B", "C"	
		T/HA/ROK	T/ROK
1	35,288	7,23	255,28
2	41,531	5,01	207,91
3	27,596	7,55	208,29
4	22,275	4,20	93,63
5	11,053	4,14	45,78
			810,89



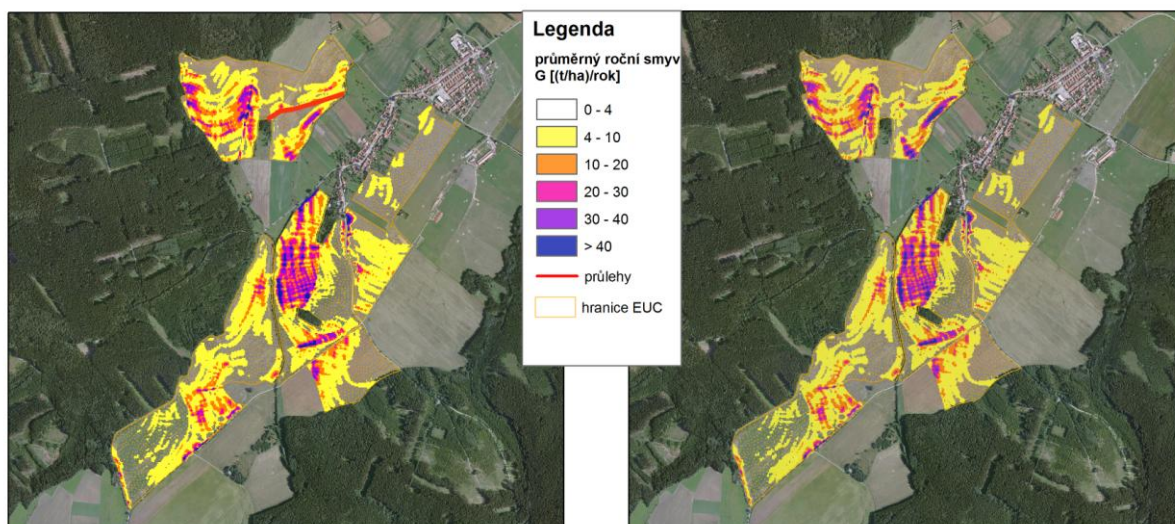
Příloha obr. 25 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vlevo varianta s navrženým průřehem "F" (VAR 5), vpravo je varianta bez průřehů (VAR 1).

Příloha tab. 17 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 5

ID erozně hodnocené plochy (EHP)	plocha EHP [ha]	VAR 5 - průřeh "F"	
		T/HA/ROK	T/ROK
1	35,288	6,32	223,08
2	41,531	5,35	222,25
3	27,596	9,75	268,95
4	22,275	4,20	93,63
5	11,053	5,41	59,80
			867,71

Příloha tab. 18 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 6

ID erozně hodnocené plochy (EHP)	plocha EHP [ha]	VAR6 - průřeh "B"	
		T/HA/ROK	T/ROK
1	35,288	7,23	255,28
2	41,531	5,35	222,25
3	27,596	9,35	258,00
4	22,275	4,20	93,63
5	11,053	4,14	45,78
			874,94



Příloha obr. 26 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vlevo varianta s navrženým průřehem „E“ (VAR 7), vpravo je varianta bez průřehů (VAR 1)

Příloha tab. 19 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 7

ID erozně hodnocené plochy (EHP)	plocha EHP [ha]	VAR 7 - průřehem "E"	
		T/HA/ROK	T/ROK
1	35,288	6,57	231,87
2	41,531	5,35	222,25
3	27,596	9,75	268,95
4	22,275	4,20	93,63
5	11,053	5,41	59,80
			876,50

Příloha tab. 20 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 8

ID erozně hodnocené plochy (EHP)	plocha EHP [ha]	VAR 8 - průřehem "C"	
		T/HA/ROK	T/ROK
1	35,288	7,23	255,28
2	41,531	5,01	207,91
3	27,596	9,75	268,95
4	22,275	4,20	93,63
5	11,053	5,41	59,80
			885,56

3 POVODÍ STAROVICKÉHO POTOKA

3.1 KALIBRACE SRÁŽKO – ODTOKOVÉHO MODELU

Pro kalibraci modelu povodí bylo stejně jako v předchozím případě využito dat poskytnutých VÚMOP v.v.i., který provádí experimentální měření srážko – odtokových událostí i v tomto profilu.

V závěrovém profilu povodí Starovického potoka je instalován Thomsonův měrný profil a ombrograf. K dispozici pro kalibraci modelu byla data z obou měřících přístrojů, zápis probíhal spojitě v minutových intervalech. Pro kalibraci v tomto experimentálním povodí bylo možné využít výrazně přesnějších vstupů. K dispozici byla rovněž informace o právě pěstované plodině v ploše experimentálního povodí. Ačkoliv byla podkladní data pro kalibraci v perfektním detailu, období, ve kterém probíhalo měření, bylo velmi chudé na významnější srážkové epizody, proto v době zpracování byla k dispozici pouze tři použitelná měření.

Výstupy a srovnání měřených s modelovanými hodnotami je obsahem této kapitoly. V následující tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty odtoku v měřeném profilu.

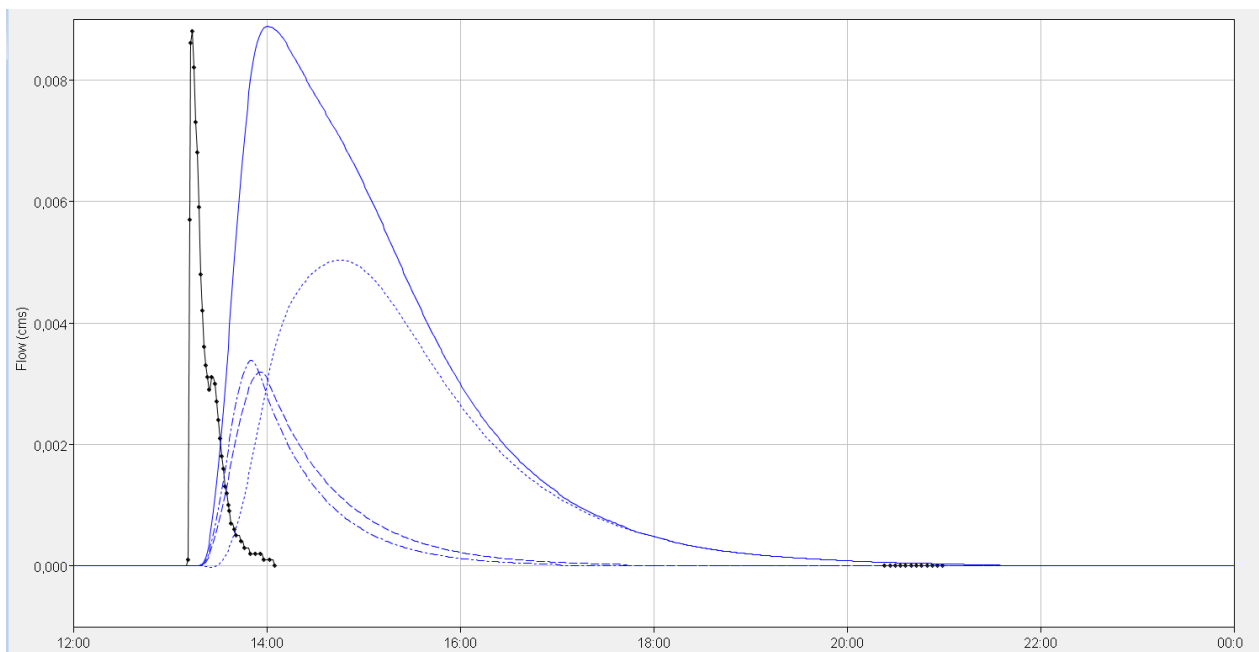
Příloha tab. 21 Hodnoty kulminačního průtoku a objemu odtoku v jednotlivých hodnocených epizodách

datum	Q_{\max}	V_o
18.6.2010	0,0088	6,492
6.7.2010	0,0143	9,408
17.7.2010	0,0069	4,764

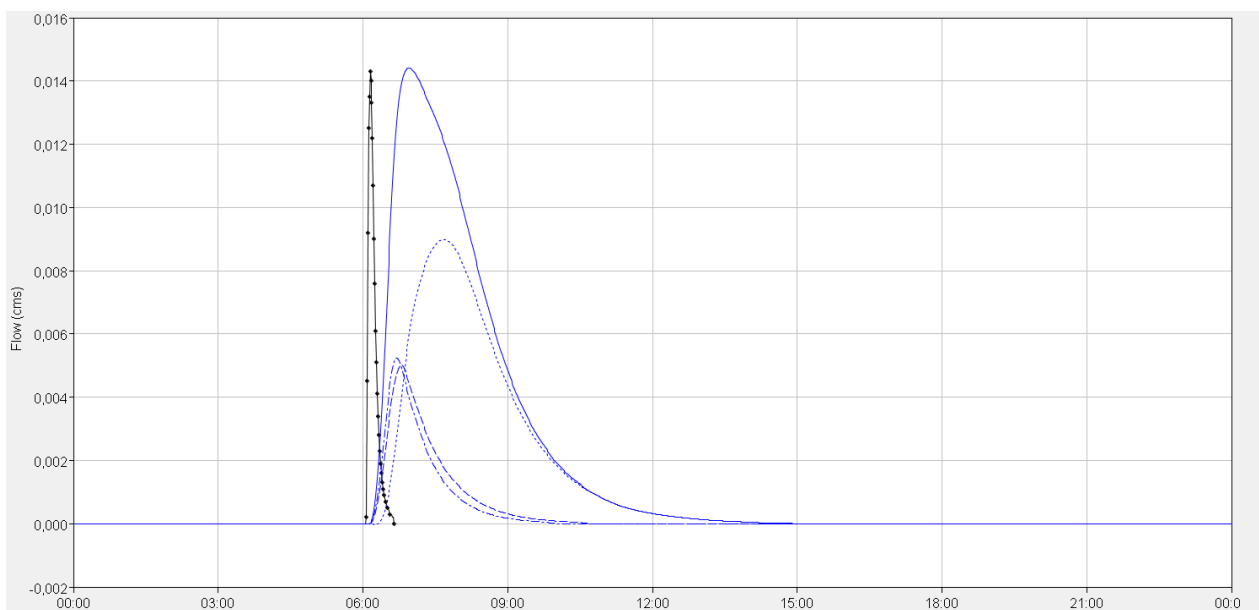
Z uvedených čísel je patrné, že se jednalo spíše o nevýznamné odtokové události. To, jak se ukázalo v průběhu srážko – odtokového modelování, bylo pravděpodobně způsobeno tím, že příčinnou srážkou s naměřenou intenzitou nebylo zasaženo celé experimentální povodí. Což dokazuje tabulka a obrázky níže.

Příloha tab. 22 Srovnání kulminačních průtoků a objemů odtoku mezi měřenými a modelovanými hodnotami v případě, teoretického zasažení celé plochy povodí příčinnou srážkou s intenzitou měřenou v ombrografu

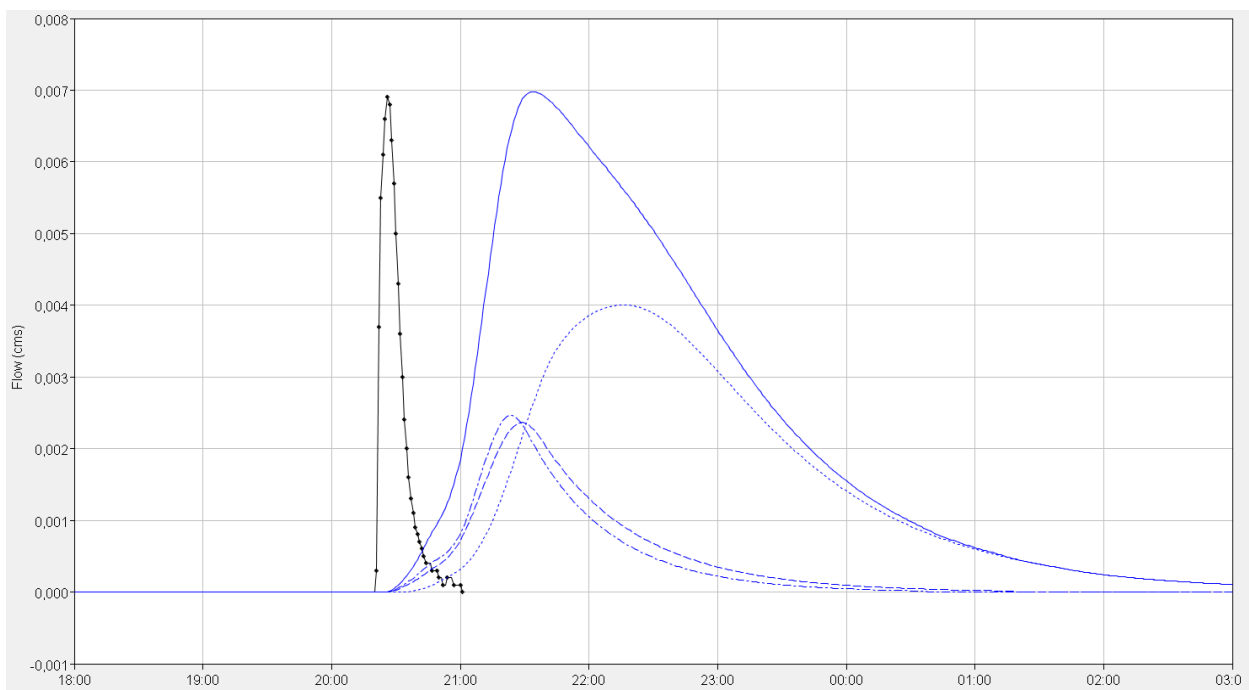
datum	Thomsonův přeliv		S-O model	
	Q_{\max}	V	Q_{\max}	V
	[m ³ /s]	[tis. m ³]	[m ³ /s]	[tis. m ³]
18.6.2010	0,0088	6,492	0,0088	67,68
6.7.2010	0,0143	9,408	0,0143	117
17.7.2010	0,0069	4,764	0,007	49



Příloha obr. 27 Srovnání naměřených (černý hydrogram) a modelovaných (modrá plná linie) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 18.6.2010



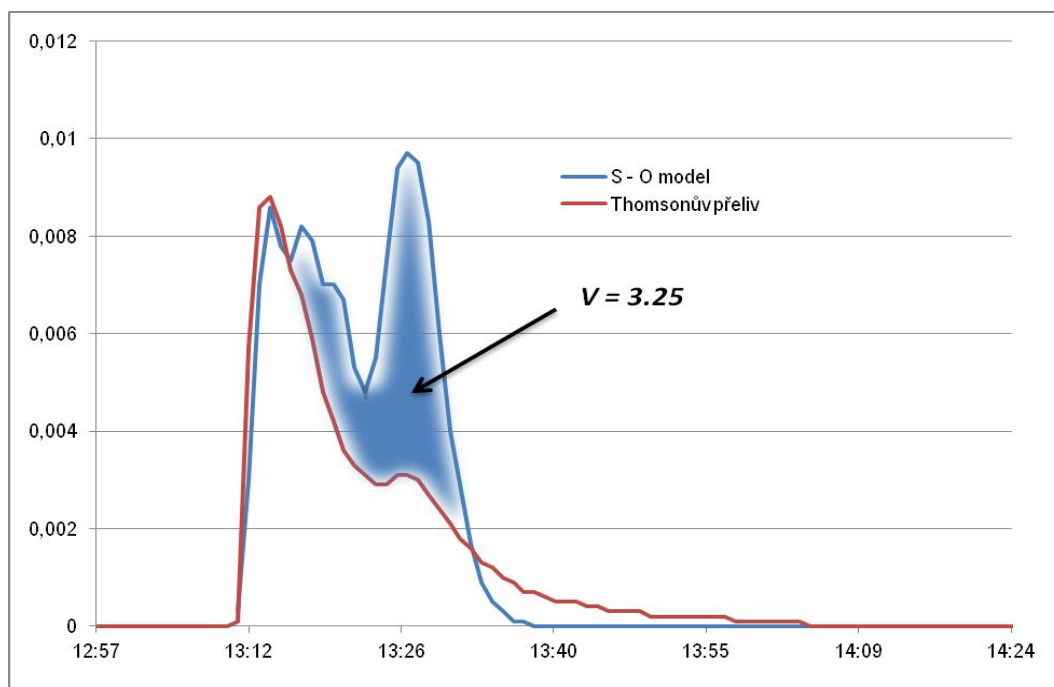
Příloha obr. 28 Srovnání naměřených (černý hydrogram) a modelovaných (modrá plná linie) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 6.7.2010



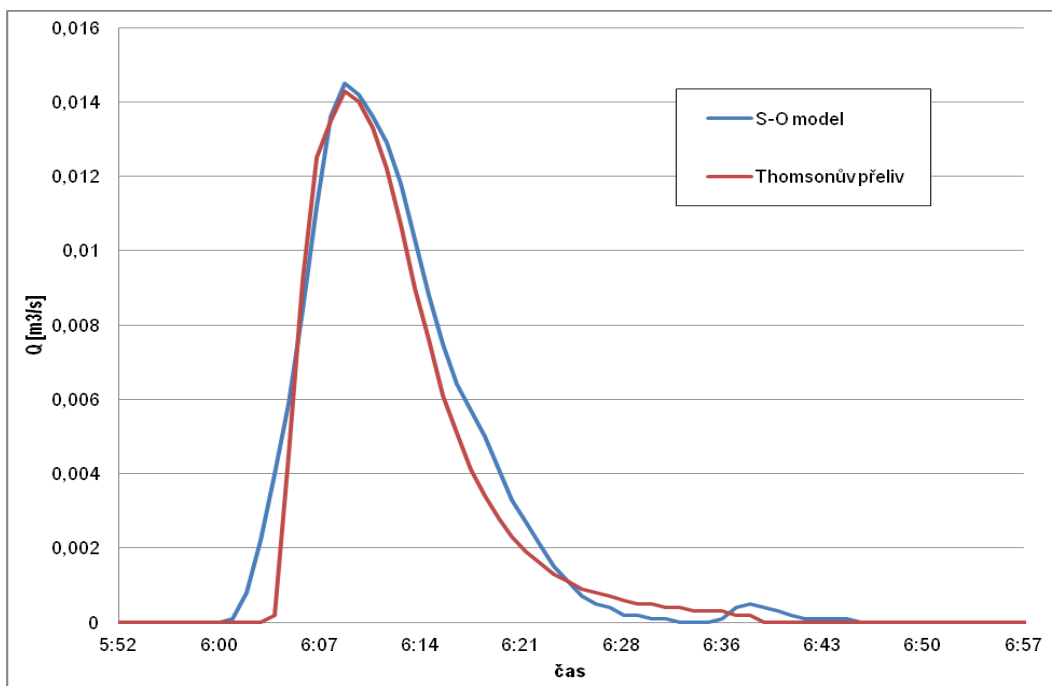
Příloha obr. 29 Srovnání naměřených (černý hydrogram) a modelovaných (modrá plná linie) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 17.7.2010

Z výše uvedené tabulky a grafu bylo zřejmé, že experimentální povodí nemohlo být v celé ploše zasaženo srážkou naměřenou pomocí ombrografu umístěného v závěrovém profilu povodí.

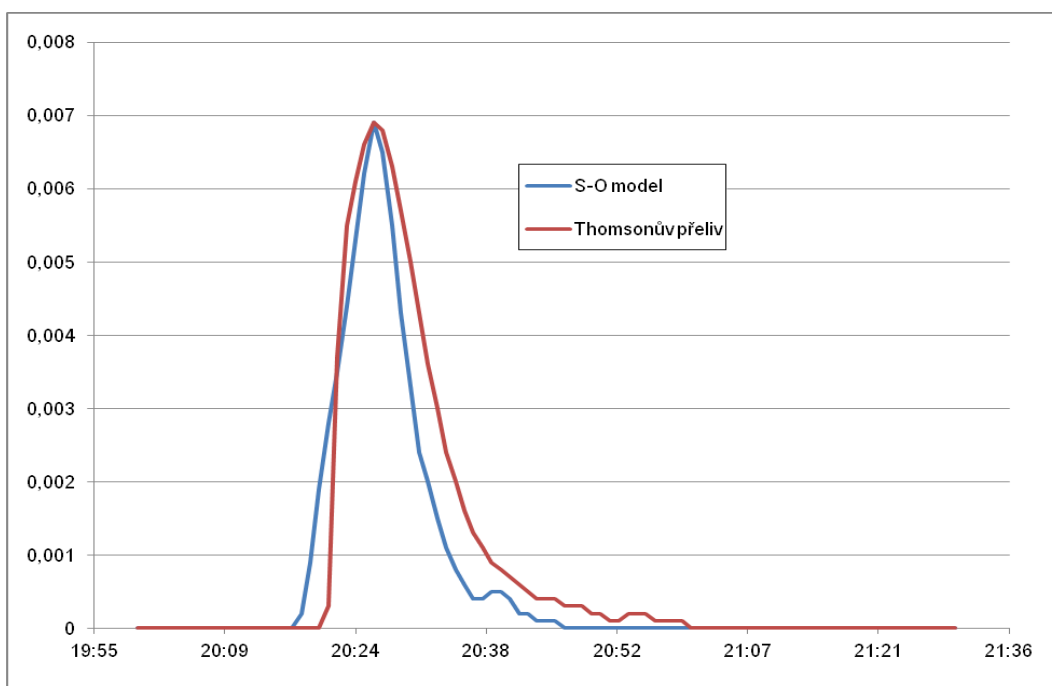
V dalším průběhu kalibrace bylo tedy přistoupeno k redukci plochy povodí zasaženého příčinnou srážkou. Výsledky těchto řešení jsou opět uvedeny v přehledných grafech níže.



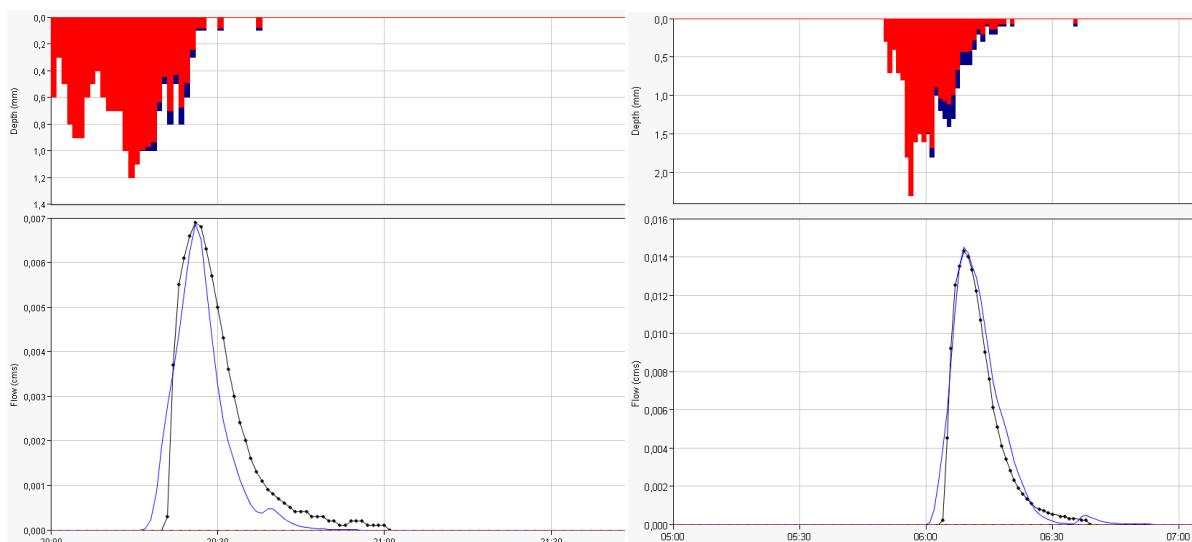
Příloha obr. 30 Srovnání naměřených (červený hydrogram) a modelovaných (modrý hydrogram) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 18.6.2010 v případě redukované plochy zasažené příčinnou srážkou



Příloha obr. 31 Srovnání naměřených (červený hydrogram) a modelovaných (modrý hydrogram) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 6.7.2010 v případě redukované plochy zasažené příčinnou srážkou



Příloha obr. 32 Srovnání naměřených (červený hydrogram) a modelovaných (modrý hydrogram) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 17.7.2010 v případě redukované plochy zasažené příčinnou srážkou



Příloha obr. 33 Ukázka výstupu z modelu HEC – HMS pro dvě hodnocené červencové srážkové epizody. Měřený hyetogram v horní části, průběh měřeného a modelovaného průtoku v dolní části

Srovnání všech tří porovnávaných epizod nabízí následující souhrnná tabulka. Ta ukazuje, že rozdíl mezi hodnotami kulminačních průtoků se pohybuje v rozsahu do 10 %, což je velmi dobrá shoda mezi měřenými a modelovanými průtoky. Z hlediska objemu odtoku není míra shody taková, ale i přesto se rozdíly pohybují mezi 12 a 36 %, což je možno stále považovat za uspokojivý výsledek.

Příloha tab. 23 Srovnání měřených a modelovaných hodnot povrchového odtoku pro tři povodňové epizody

datum	Q_{max}			V_o		
	naměřeno	S-O model	rozdíl v %	naměřeno	S-O model	rozdíl v %
18.6.2010	0,0088	0,0097	10,23	6,492	8,84	36,17
6.7.2010	0,0143	0,0145	1,40	9,408	10,58	12,46
17.7.2010	0,0069	0,0069	0,00	4,764	3,78	20,65

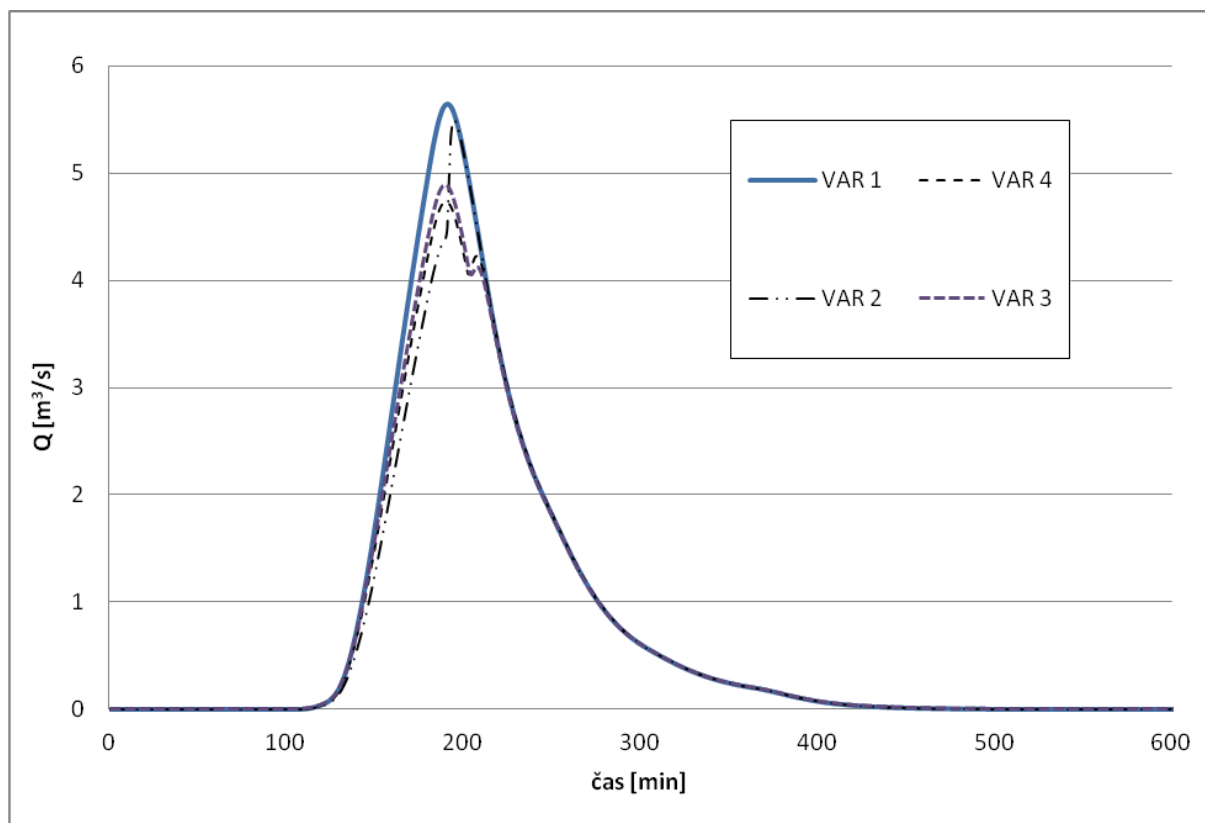
I přes malé množství měřených srážko – odtokových událostí se podařilo nastavit parametry experimentálního povodí pro potřeby následné simulace odtoku z teoretických přívalových srážek.

3.2 VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ PROTIPOVODŇOVÉHO EFEKTU

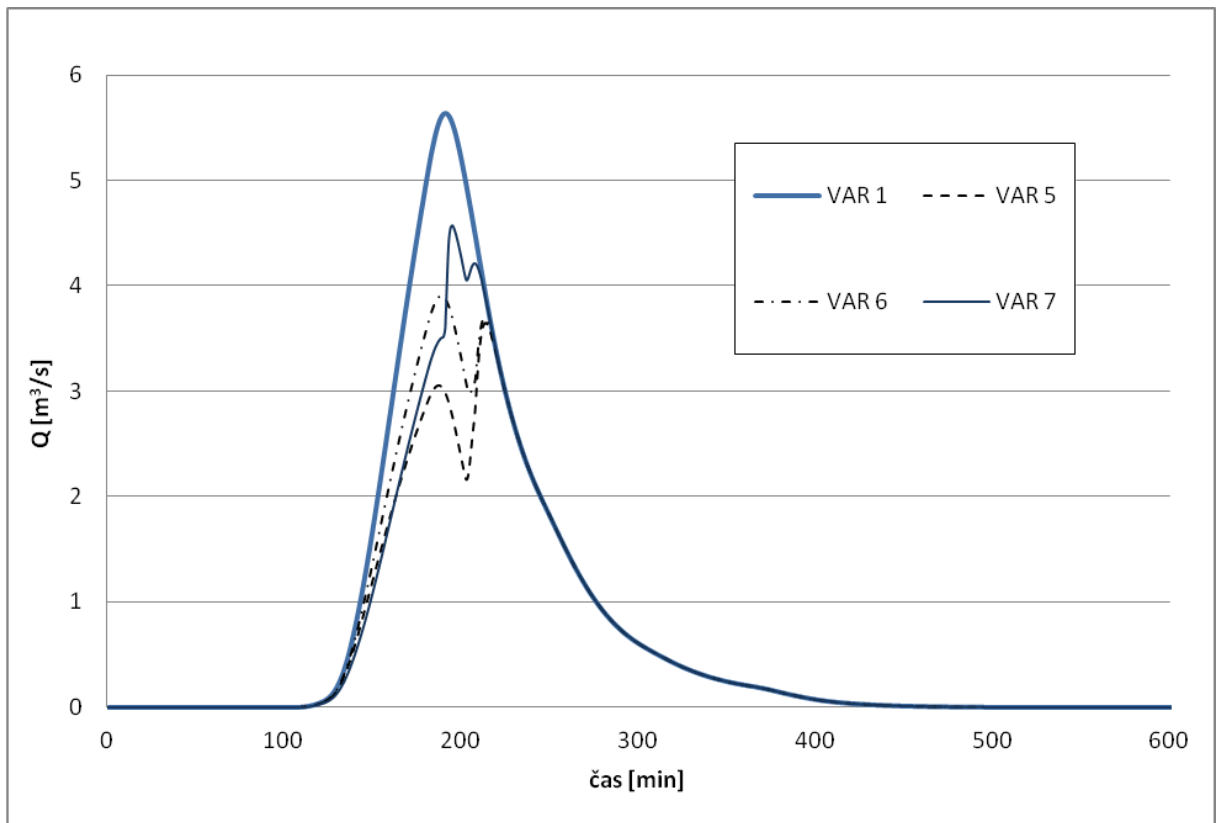
Po nastavení základních parametrů srážko-odtokového modelu proběhlo srovnání všech možných kombinací zapojení 4 navrhovaných průlehů. Ty jsou přehledně zobrazeny v následující tabulce a pro přehlednost vždy po třech variantách v samostatném grafu na následujících obrázcích.

Příloha tab. 24 Účinnost navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku v jednotlivých uvažovaných variantách

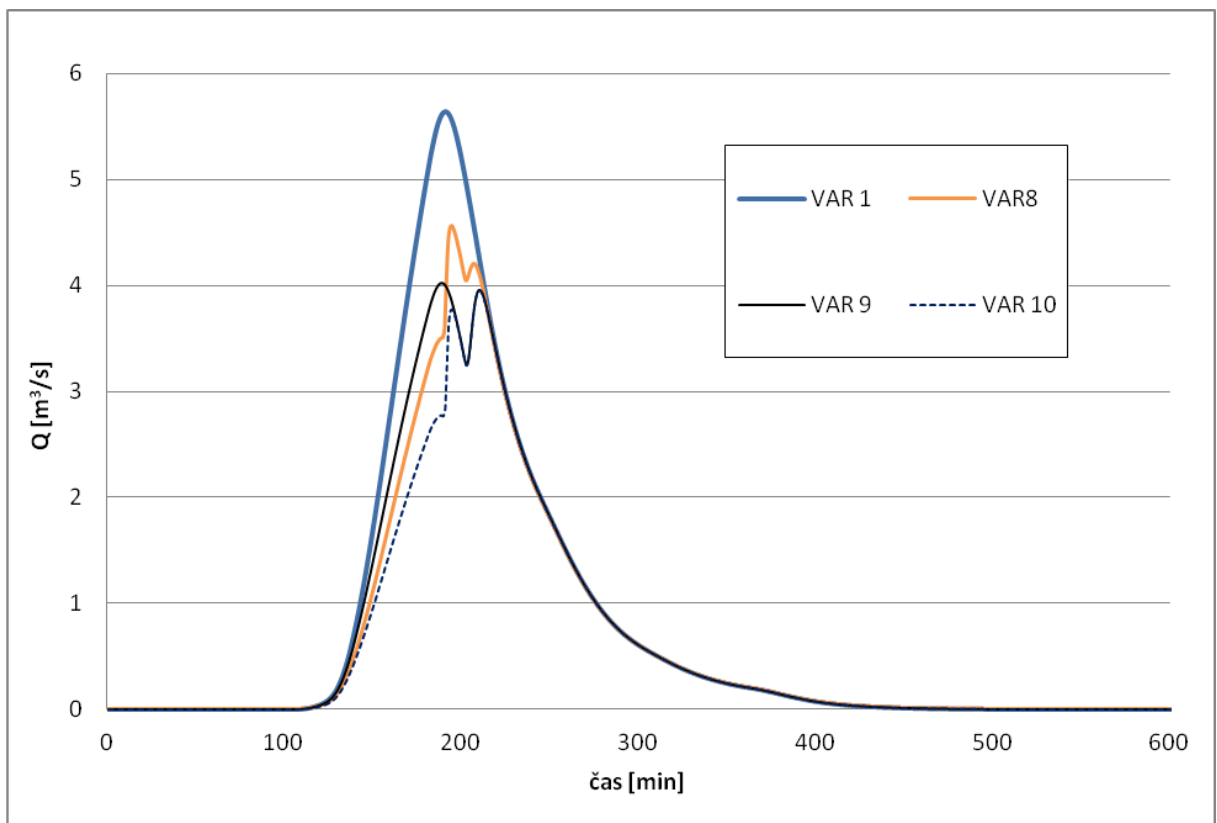
Varianta	popis	Q [m ³ /s]	účinnost
VAR 1	Q ₁₀₀ - neovlivněný	5,642	0
VAR 2	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "C"	5,497	2,57%
VAR 3	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "A"	4,892	13,30%
VAR 4	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "D"	4,758	15,67%
VAR 5	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "C"	4,706	16,58%
VAR 6	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehem "B"	4,636	17,82%
VAR 7	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "C", "D"	4,568	19,04%
VAR 8	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "C"	4,433	21,43%
VAR 9	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "D"	4,021	28,73%
VAR 10	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "C", "D"	3,953	29,93%
VAR 11	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B"	3,902	30,84%
VAR 12	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "D"	3,770	33,17%
VAR 13	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "B", "C", "D"	3,708	34,28%
VAR 14	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B", "C"	3,689	34,62%
VAR 15	Q ₁₀₀ (ovl.) - všechny průlehy	3,646	35,38%
VAR 16	Q ₁₀₀ (ovl.) - průlehy "A", "B", "D"	3,646	35,38%



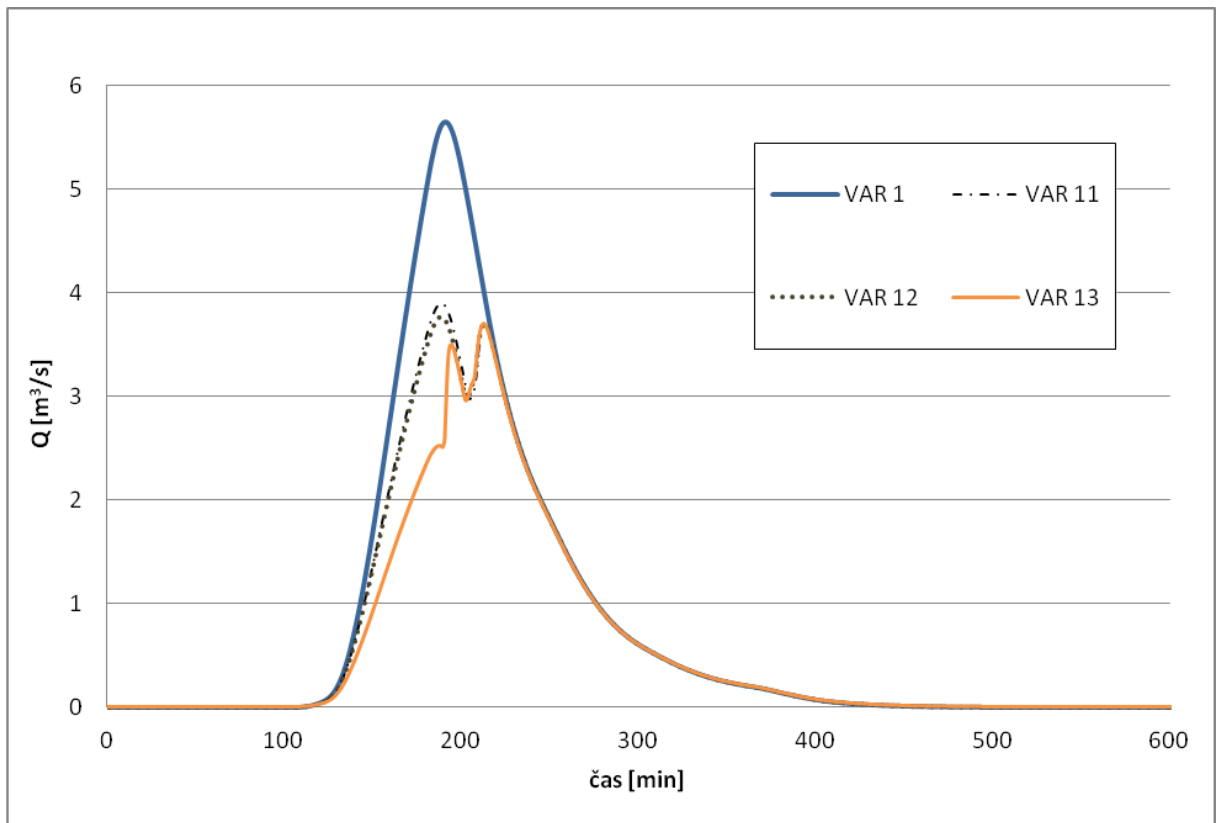
Příloha obr. 34 Ovlivněný hydrogram Q₁₀₀ ve variantách 2 – 4



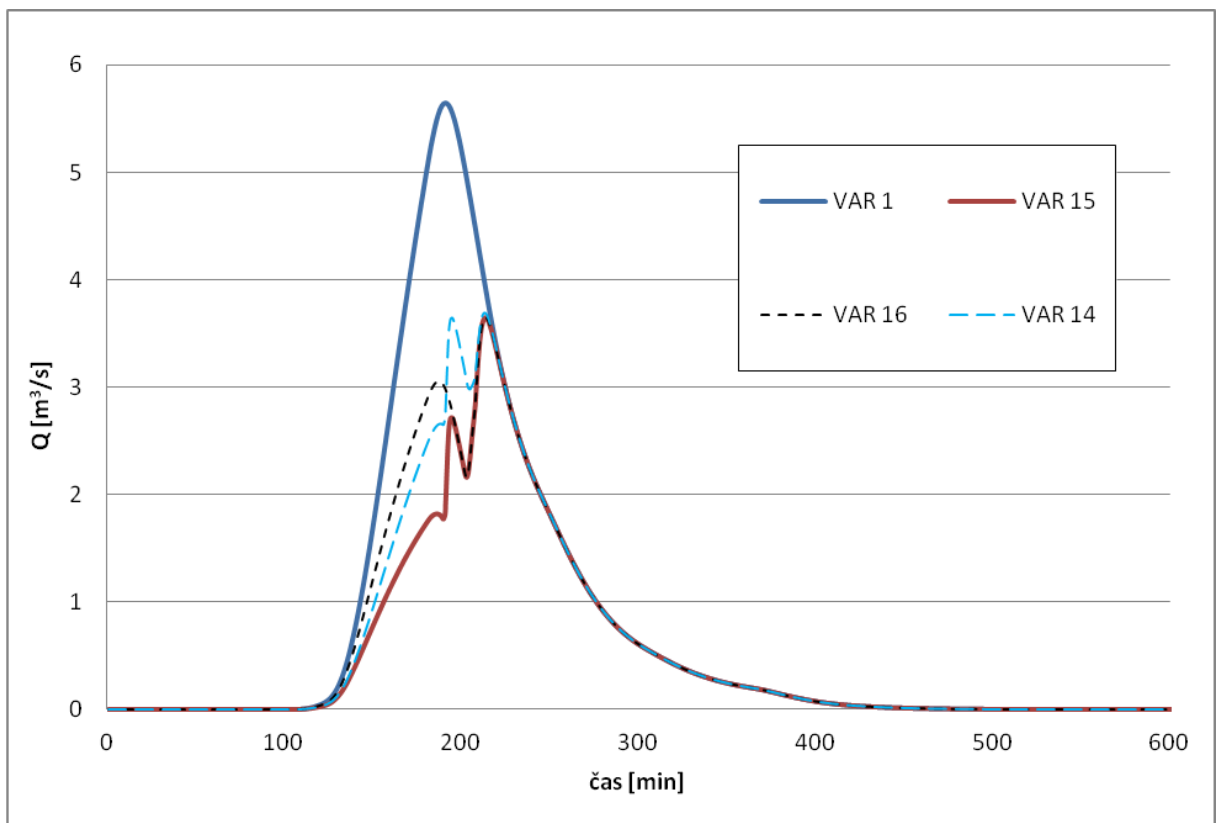
Příloha obr. 35 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 5 – 7



Příloha obr. 36 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 8 – 10



Příloha obr. 37 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 11 – 13



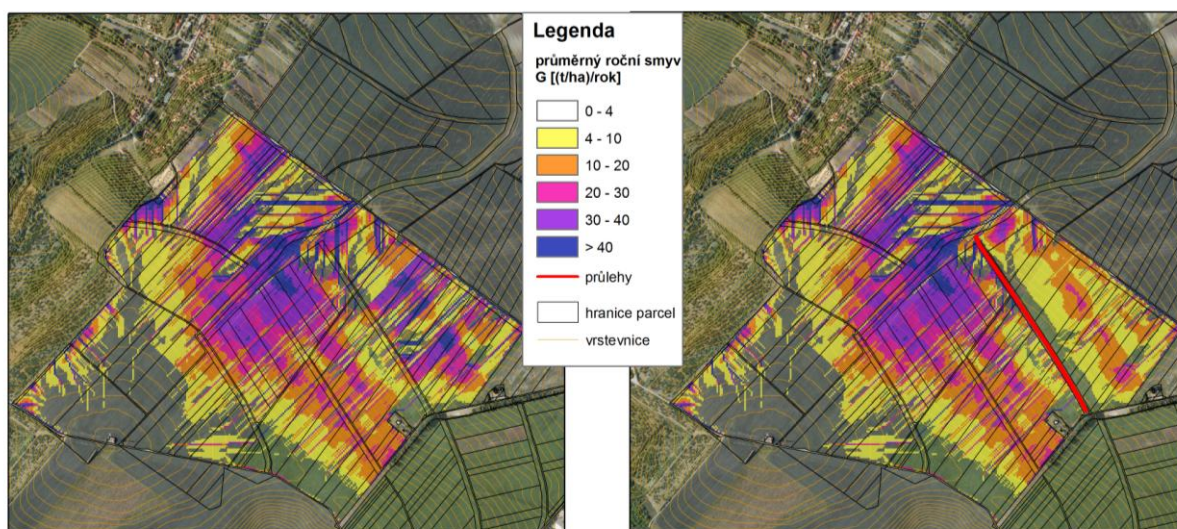
Příloha obr. 38 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 14 – 16

3.3 VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ PROTIEROZNÍHO EFEKTU

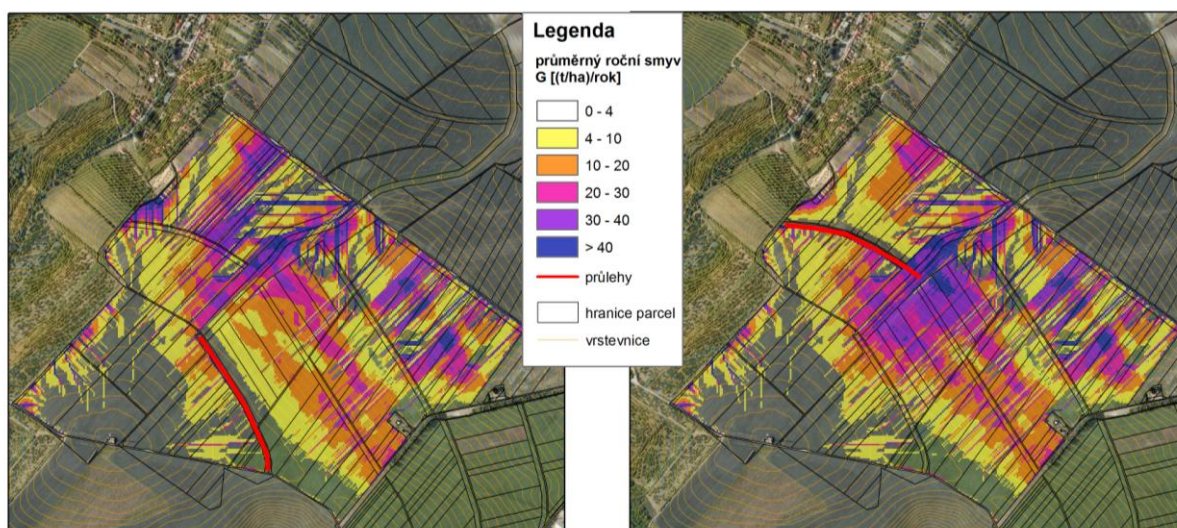
V následující kapitole jsou uvedeny výsledky všech prověřovaných variantních řešení hodnotících vliv liniových protierozních opatření na hodnoty dlouhodobého průměrného erozního smyvu v povodí Starovického potoka. Číslování jednotlivých variant včetně celkového vyhodnocení protierozního efektu je uvedeno v tabulce níže.

Příloha tab. 25 Vyhodnocení účinnosti navržených opatření z hlediska snížení erozního smyvu

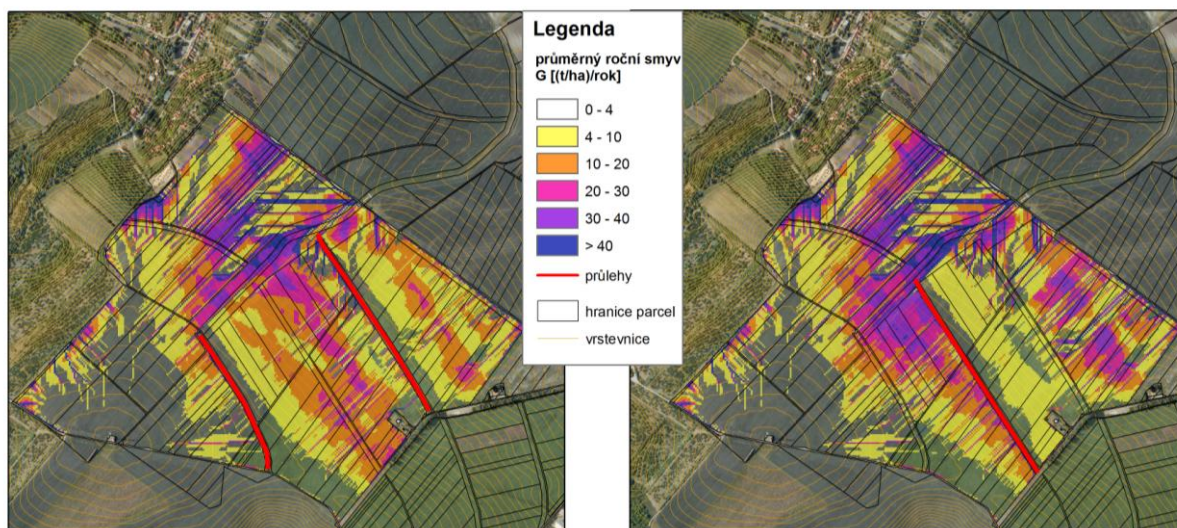
Varianta	popis	G [t/rok]	účinnost
VAR 1	G - neovlivněný	1 384	0
VAR 2	G _(ovl.) - průlehem "C"	1 221	11,79%
VAR 3	G _(ovl.) - průlehem "A"	1 226	11,46%
VAR 4	G _(ovl.) - průlehem "D"	1 299	6,14%
VAR 5	G _(ovl.) - průlehy "A","C"	1 079	22,06%
VAR 6	G _(ovl.) - průlehem "B"	1 141	17,56%
VAR 7	G _(ovl.) - průlehy "C","D"	1 136	17,93%
VAR 8	G _(ovl.) - průlehy "B","C"	1 048	24,30%
VAR 9	G _(ovl.) - průlehy "A","D"	1 141	17,58%
VAR 10	G _(ovl.) - průlehy "A","C","D"	994	28,19%
VAR 11	G _(ovl.) - průlehy "A","B"	1 053	23,94%
VAR 12	G _(ovl.) - průlehy "B","D"	1 056	23,68%
VAR 13	G _(ovl.) - průlehy "B","C","D"	963	30,43%
VAR 14	G _(ovl.) - průlehy "A","B","C"	960	30,69%
VAR 15	G _(ovl.) - všechny průlehy	875	36,81%
VAR 16	G _(ovl.) - průlehy "A","B","D"	968	30,06%



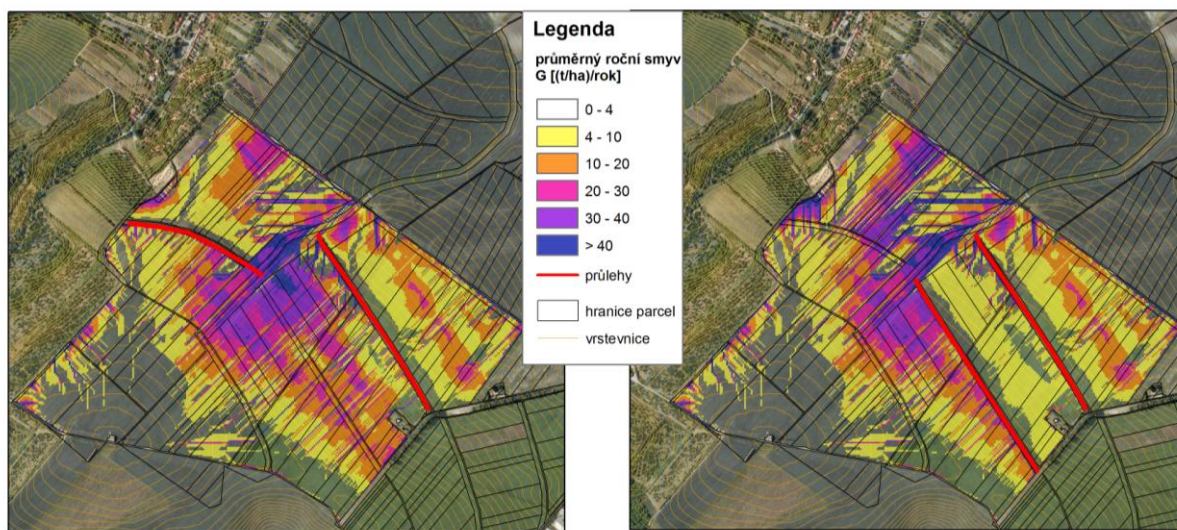
Příloha obr. 39 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 1, vpravo je varianta VAR 2



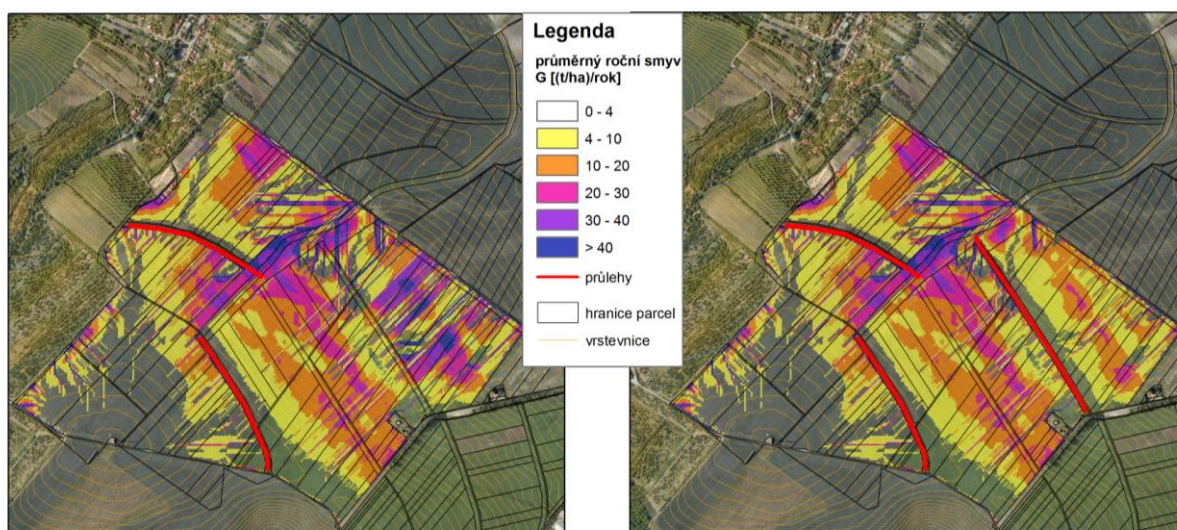
Příloha obr. 40 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 3, vpravo je varianta VAR 4



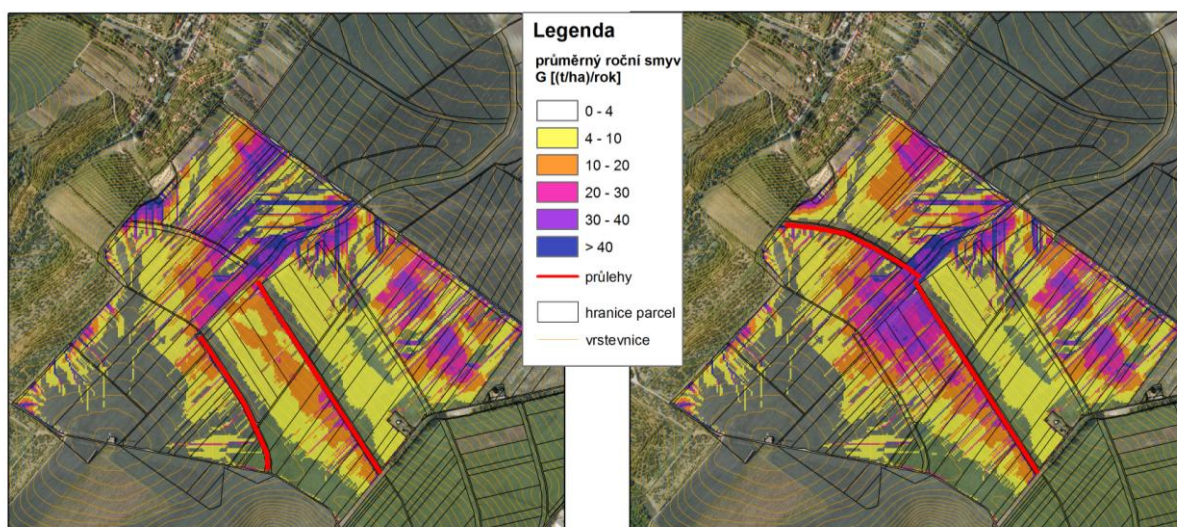
Příloha obr. 41 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 5, vpravo je varianta VAR 6



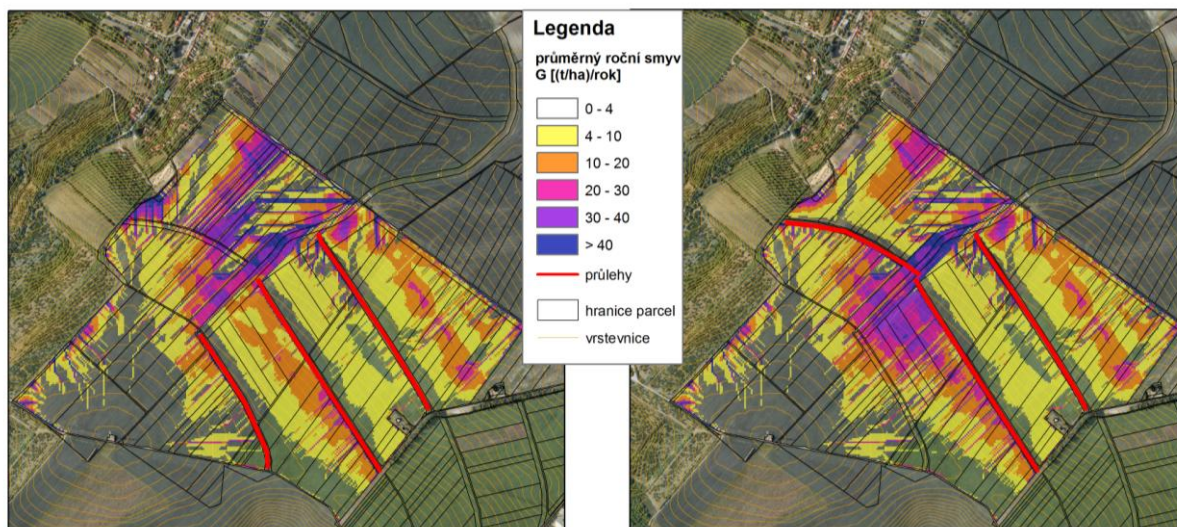
Příloha obr. 42 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 7, vpravo je varianta VAR 8



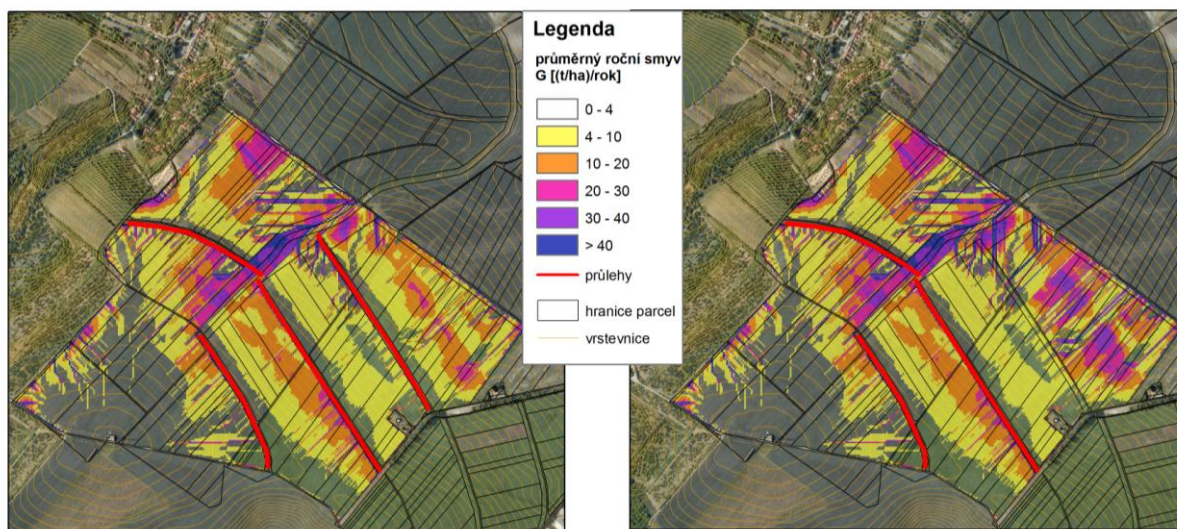
Příloha obr. 43 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 9, vpravo je varianta VAR 10



Příloha obr. 44 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 11, vpravo je varianta VAR 12



Příloha obr. 45 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 13, vpravo je varianta VAR 14



Příloha obr. 46 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 15, vpravo je varianta VAR 16

4 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Příloha obr. 1 Měrný profil - celkový pohled	4
Příloha obr. 2 Měrný profil - detail přelivné hrany.....	4
Příloha obr. 3 Měrný profil - detail měření vodního stavu (polohy hladiny).....	5
Příloha obr. 4 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 15.8.2005	8
Příloha obr. 5 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 12.9.2005	9
Příloha obr. 6 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 29.9.2005	9
Příloha obr. 7 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 1.5.2006	10
Příloha obr. 8 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 22.6.2006	10
Příloha obr. 9 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 7.8.2006	11
Příloha obr. 10 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 24.3.2007	11
Příloha obr. 11 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 20.8.2007.....	12
Příloha obr. 12 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 22.4.2008.....	12
Příloha obr. 13 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 7.7.2008.....	13
Příloha obr. 14 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 23.6.2009.....	13
Příloha obr. 15 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 3.7.2009.....	14
Příloha obr. 16 Srovnání hodnot měřených a modelovaných průtoků. Srážková epizoda ze dne 15.7.2009.....	14
Příloha obr. 17 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,100}$ v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně je neovlivněný hydrogram. Modře je znázorněn ovlivněný hydrogram soustavou dvou liniových prvků. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}	24
Příloha obr. 18 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,20}$ v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně je neovlivněný hydrogram. Modře je znázorněn ovlivněný hydrogram soustavou dvou liniových prvků. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}	25
Příloha obr. 19 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,10}$ v závěrovém profilu povodí. Černě čárkovaně je neovlivněný hydrogram. Modře je znázorněn ovlivněný hydrogram soustavou dvou liniových prvků. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}	25

Příloha obr. 20 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,100}$ v závěrovém profilu povodí. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}	26
Příloha obr. 21 Hydrogram vyvolaný srážkou $H_{S,10}$ v závěrovém profilu povodí. Záchytné průlehy jsou navrženy na Q_{10}	26
Příloha obr. 22 Situační vymezení erozně uzavřených celků v povodí Němčického potoka.....	27
Příloha obr. 23 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vlevo varianta se všemi navrženými průlehy (VAR 2,) vpravo je varianta bez průlehu (VAR 1).....	28
Příloha obr. 24 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vlevo varianta se třemi navrženými průlehy v horní části povodí (VAR 3), vpravo je varianta bez průlehu (VAR 1).....	29
Příloha obr. 25 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích, vlevo varianta s navrženým průlehem "F" (VAR 5), vpravo je varianta bez průlehu (VAR 1).....	30
Příloha obr. 26 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na vybraných erozně uzavřených celcích,), vlevo varianta s navrženým průlehem „E“ (VAR 7), vpravo je varianta bez průlehu (VAR 1).....	31
Příloha obr. 27 Srovnání naměřených (černý hydrogram) a modelovaných (modrá plná linie) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 18.6.2010.....	33
Příloha obr. 28 Srovnání naměřených (černý hydrogram) a modelovaných (modrá plná linie) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 6.7.2010.....	33
Příloha obr. 29 Srovnání naměřených (černý hydrogram) a modelovaných (modrá plná linie) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 17.7.2010.....	34
Příloha obr. 30 Srovnání naměřených (červený hydrogram) a modelovaných (modrý hydrogram) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 18.6.2010 v případě redukované plochy zasažené příčinnou srážkou.....	34
Příloha obr. 31 Srovnání naměřených (červený hydrogram) a modelovaných (modrý hydrogram) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 6.7.2010 v případě redukované plochy zasažené příčinnou srážkou.....	35
Příloha obr. 32 Srovnání naměřených (červený hydrogram) a modelovaných (modrý hydrogram) hodnot srážko – odtokové epizody ze dne 17.7.2010 v případě redukované plochy zasažené příčinnou srážkou.....	35
Příloha obr. 33 Ukázka výstupu z modelu HEC – HMS pro dvě hodnocené červencové srážkové epizody. Měřený hyetogram v horní části, průběh měřeného a modelovaného průtoku v dolní části.....	36
Příloha obr. 34 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 2 – 4.....	37
Příloha obr. 35 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 5 – 7.....	38
Příloha obr. 36 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 8 – 10.....	38
Příloha obr. 37 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 11 – 13.....	39
Příloha obr. 38 Ovlivněný hydrogram Q_{100} ve variantách 14 – 16.....	39

Příloha obr. 39 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 1, vpravo je varianta VAR 2.....	41
Příloha obr. 40 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 3, vpravo je varianta VAR 4.....	41
Příloha obr. 41 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 5, vpravo je varianta VAR 6.....	42
Příloha obr. 42 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 7, vpravo je varianta VAR 8.....	42
Příloha obr. 43 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 9, vpravo je varianta VAR 10.....	43
Příloha obr. 44 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 11, vpravo je varianta VAR 12.....	43
Příloha obr. 45 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 13, vpravo je varianta VAR 14.....	44
Příloha obr. 46 Výstup z výpočtu erozního smyvu v prostředí GIS na erozně hodnocené ploše, vlevo varianta VAR 15, vpravo je varianta VAR 16.....	44
Příloha tab. 1 Maximální průtoky a transport látek během stoupající vlny extrémních srážko-odtokových situací v povodí Němčického potoka[VÚMOP, v.v.i.].....	5
Příloha tab. 2 Srovnání měřených a modelovaných průtoků v období mezi lety 2005 - 2007.....	15
Příloha tab. 3 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování N = 2 roky.....	16
Příloha tab. 4 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování N = 5 let.....	17
Příloha tab. 5 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování N = 10 let.....	18
Příloha tab. 6 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování N = 20 let.....	19
Příloha tab. 7 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování N = 50 let.....	20
Příloha tab. 8 Ovlivnění parametrů N-letých průtoků vlivem liniových opatření navržených na zachycení objemu přímého odtoku s průměrnou dobou opakování N = 100 let.....	21
Příloha tab. 9 Souhrnné srovnání vlivu liniových opatření na parametry kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí.....	22
Příloha tab. 10 Souhrnné procentuální srovnání vlivu liniových opatření na parametry kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí.....	22
Příloha tab. 11 Souhrnné srovnání vlivu liniových opatření na parametry objemu odtoku v závěrovém profilu povodí.....	23
Příloha tab. 12 Souhrnné procentuální srovnání vlivu liniových opatření na parametry objemu odtoku v závěrovém profilu povodí.....	23
Příloha tab. 13 Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 1.....	28

Příloha tab. 14	Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 2.....	28
Příloha tab. 15	Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 3.....	29
Příloha tab. 16	Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 4.....	29
Příloha tab. 17	Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 5.....	30
Příloha tab. 18	Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 6.....	30
Příloha tab. 19	Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 7.....	31
Příloha tab. 20	Hodnota celkového průměrného dlouhodobého erozního smyvu – VAR 8.....	31
Příloha tab. 21	Hodnoty kulminačního průtoku a objemu odtoku v jednotlivých hodnocených epizodách	32
Příloha tab. 22	Srovnání kulminačních průtoků a objemů odtoku mezi měřenými a modelovanými hodnotami v případě, teoretického zasažení celé plochy povodí příčinnou srážkou s intenzitou měřenou v ombrografu.....	32
Příloha tab. 23	Srovnání měřených a modelovaných hodnot povrchového odtoku ve třech	36
Příloha tab. 24	Účinnost navrhovaných opatření na parametry povrchového odtoku v jednotlivých uvažovaných variantách	37
Příloha tab. 25	Vyhodnocení účinnosti navržených opatření z hlediska snížení erozního smyvu	40