

TAČR - TA02020402:

Optimalizace vodního režimu krajiny ke snižování dopadů hydrologických extrémů

**CERTIFIKOVANÁ METODIKA OPTIMALIZACE VODNÍHO
REŽIMU KRAJINY KE SNIŽOVÁNÍ DOPADŮ HYDROLOGICKÝCH
EXTRÉMŮ**



Poskytovatel: Technologická agentura České republiky

Veřejná soutěž: ALFA 2

Doba řešení: 1. 1. 2012 – 31. 12. 2015

Koordinátor: prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc.



září 2015

CERTIFIKOVANÁ METODIKA OPTIMALIZACE VODNÍHO REŽIMU KRAJINY KE SNIŽOVÁNÍ DOPADŮ HYDROLOGICKÝCH EXTRÉMŮ

Koordinátor: prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc.

Řešitelé:

prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc.

Ing. Hana Bačinová

Ing. Darina Heřmanovská, Ph.D.

Ing. Michaela Hrabalíková

doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

Ing. Milan Kasl

Ing. Šárka Dvořáková, Ph.D.

Mgr. Josef Zeman, Ph.D.

Ing. František Křovák, CSc.

Ing. Jana Šimková

Ing. Václav Pondělíček

Ing. Stanislav Veselý

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA ČESKÉ
ZEMĚDĚLSKÉ UNIVERZITĚ V PRAZE**

září 2015

Dedikace:

Certifikovaná Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu **TAČR-TA02020402**
„Optimalizace vodního režimu krajiny ke snižování dopadů hydrologických extrémů“

Oponenti:

Doc. Ing. Karel Vrána, CSc., Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Ing. Václav Kadlec, Ph.D, Odbor ochrany půdy, Ministerstvo zemědělství ČR

Za obsah publikace odpovídají autoři

© prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc. a kolektiv

**CERTIFIKOVANÁ METODIKA OPTIMALIZACE VODNÍHO REŽIMU KRAJINY KE
SNIŽOVÁNÍ DOPADŮ HYDROLOGICKÝCH EXTRÉMŮ**

OBSAH:

I	Cíle metodiky	6
II	Vlastní popis metodiky	7
1.	V001 Metodický postup identifikace ohroženosti povodí N- letými povodňovými průtoky a vodní erozí stejné periodicity výskytu	7
1.1	Nástroje identifikace ohroženosti povodí: N-leté návrhové deště: DES_RAIN_Constant a DES_RAIN_Variable: ANOTACE + PŘÍLOHA A (VLASTNÍ METODIKA)	7
1.2	Výpočetní metodiky simulace srážko-odtokových procesů	12
1.2.1	Metodika HEC-HMS Model: ANOTACE (USACE) + PŘÍLOHA B, Povodně: Povodí Jílovského potoka (Upravená Metodika)	12
1.2.2	Metodika KINFIL Model: ANOTACE + PŘÍLOHA C, Povodně: Povodí Smědé (VLASTNÍ METODIKA)	15
1.2.3	Metodika NRCS (dříve SCS) – Metoda CN křivek: ANOTACE + PŘÍLOHA D, Povodně: Jílovský potok, Smědá, Němčický potok, Černičí, Starosuchdolský potok, Dubská Bystřice (ZZ) a EOP: Verneřice, Knínice, Třebsín (ZZ), (Upravená Metodika)	19
1.2.4	Metodika FOURIER Model: ANOTACE + PŘÍLOHA E, Sucha: Povodí Starosuchdolského potoka (VLASTNÍ METODIKA)	21
1.2.5	Metodika WBCM Modelu: ANOTACE + PŘÍLOHA F (Hydrologická bilance povodí Jílovského potoka), (VLASTNÍ METODIKA)	24
2.	V002 Metodické postupy pro výběr účinných biotechnických opatření pro snížení rizika hydrologických extrémů	28
2.1	Vliv hospodaření na pozemcích: PŘÍPADOVÁ STUDIE Povodí Černičí, změna druhů užívání půdy (land use change)	28
2.2	Účinek retenčních příkopů (odvádějící část povrchového odtoku): PŘÍPADOVÁ STUDIE Povodí Jílovského potoka (Model HEC-HMS)	36
2.3	Biotechnické opatření ke snížení účinků povodí (Modely KINFIL,	

	CN): Terasy, hrázky: PŘÍPADOVÁ STUDIE Povodí Smědé.....	43
2.4	Biotechnická opatření ke snížení účinků eroze (Model KINFIL):	
	Terasy: PŘÍPADOVÁ STUDIE EOP Knínice	55
3.	V003 Metodický postup optimalizace vodního režimu krajiny se zaměřením na snižování extrémních hydrologických dopadů na malých povodích.....	65
3.1	Vliv biotechnických opatření hrází a poldrů na malých povodích, v dolních urbanizovaných tratích. Povodí Němčického potoka a Smědé. ANOTACE MODELU FLOOD_V (Upravená metodika FLOOD_V: Poldry a nádrže + PŘÍLOHA G.....	65
3.2	Aplikace multikriteriální metody při optimalizaci vodního režimu krajiny	69
3.2.1	Základní principy.....	70
3.2.2	Varianta optimálního hospodaření na pozemcích.....	79
3.2.3	Varianta systémů s příkopy a terasami	84
3.2.4	Celkové zhodnocení Multikriteriální analýzy.....	97
III	Srovnání novosti postupů	97
IV	Popis uplatnění Certifikované Metodiky	99
V	Ekonomické aspekty.....	100
VI	Seznam použité související literatury	100
VII	Seznam publikací předcházejících metodice	106

Příloha A: Identifikace ohroženosti povodí *N*-letými návrhovými dešti „DES_RAIN“

Příloha B: Manuál metody HEC – HMS

Příloha C: Manuál modelu KINFIL

Příloha D: Manuál metody čísel odtokových křivek – CN

Příloha E: Metodický postup analýzy sucha

Příloha F: Manuál metodiky WBCM modelu vodní bilance

Příloha G: Program Flood_V výpočet objemu *N*-letých povodňových vln

I Cíle metodiky

Tradiční protipovodňové a protierozní postupy měly obvykle charakter nápravy již způsobených škod, zejména v urbanizovaných územích na majetku obyvatel, tj. obytných domů, ale komunikačních objektů, vodohospodářských objektů aj. Tato „ex-post“ strategie od let 1977 až 2002 se změnila ve snaze budoucích náprav příštích možných škod, kdy předcházením evidentních srážko-odtokových katastrof od zanedbání údržby dříve fungujících opatření až po jejich absenci představuje tato strategie širokou škálu ochrany zdraví obyvatel a škod na majetku. Ve Výroční zprávě tohoto projektu, viz Výroční zpráva 2012 str. 5 – 10, je zpracován přehled legislativy evropské i české s důrazem na základní předpoklad vyrovnaných režimů hydrologické bilance a přijatelných extrémů režimů (povodní a sucha), včetně nežádoucích doprovodných extrémních jevů. Tato legislativa vyplývající z členství ČR v EU přináší skutečnost, že evropské směrnice zabývající se vodním hospodářstvím jsou implementovány do legislativy ČR. Základní normou ČR v problematice snižování dopadů hydrologických extrémů zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a vyhláška č. 178/2012 Sb. o vodních tocích, 24/2011 Sb. o plánech povodí a plánech zvládnutí povodňových rizik. Dále to jsou vyhlášky č. 203/2009 Sb. o řízených rozlivech povodí a č. 590/2002 Sb. o technických požadavcích pro vodní díla. Z klimatických faktorů především srážky, jejich návrhové výšky a intenzity, z fyzicko-geografických faktorů fyzicko-geometrické faktory povodí. Jejich způsob určení obsahují příslušné české hydrologické a vodohospodářské normy (ČSN 75 1400, ČSN 75 2340, ČSN 75 2310, ČSN 75 2405, ČSN 75 2410, TNV 75 2415), standardy mezinárodní (např. WMO–Guide to Hydrological Practices, 2008) a četná odborná literatura (např. Beven, 2006; Ashley et al., 2007) aj.

Zákon o pozemkových úpravách č. 139/2002 Sb. byl v loňském roce (2014) doplněn vyhláškou č. 13, která se týká i postupů protipovodňových a protierozních opatření při provádění pozemkových úprav v rámci společných opatření. Podrobná metodika je předmětem Metodiky protierozní opatření, viz Janeček a kol., 2012. Zde je možnost srovnání kap. III. Certifikované Metodiky „Srovnávání novosti postupů“. Cílem metodiky **obecně** je v rámci platnosti zákonů a vyhlášek, řešit ve vzájemném kontextu následující vazby hydrologie a vodního hospodářství:

- Možnosti zvýšení retence a akumulace vody
- Snižování rizika povodí a sucha a návrhy příslušných opatření
- Snižování dopadů vodní eroze a volba vhodných protierozních opatření v příslušné lokalitě
- Návrhy multikriteriální optimalizace navržených variant biotechnických opatření zvažující i různé kombinace protipovodňových a protierozních opatření a zařízení.

Tyto čtyři cíle však tvoří pouze **obecný rámec výsledků** výzkumné činnosti projektu TAČR TA 02020402 (2012 – 15). Proto je důležitější **konkrétní evidence dosažených cílů** čtyřletého výzkumu. Tyto konkrétní cíle jsou:

- 1. Nástroje identifikace ohroženosti povodí**, což je výčet metodického postupu zpracování návrhových (přívalových) srážek buď s konstantním průběhem srážek během časového kroku, nebo s variabilním průběhem hyetogramu, tj. dle DES_RAIN_constant, nebo DES_RAIN_variable.

2. Výpočetní metody simulace srážko-odtokových procesů

- 2.1 **KINFIL Model:** vlastní manuál i software – k simulaci průtoků včetně vlivu biotechnických opatření
- 2.2 **HEC-HMS Model:** převzatý software – k simulaci průtoků včetně vlivu biotechnických opatření
- 2.3 **CN-Metoda:** převzatá metoda „Curve Number“, podstatně upravená – k simulaci průtoků včetně vlivu biotechnických opatření
- 2.4 **FOURIER Model:** vlastní originální metodika i software k simulaci průtoků a aktuální evapotranspirace (řešení sucha)
- 2.5 **WBCM Model:** Vlastní software ke kontrole funkce vodní bilance a simulaci vztahů mezi komponenty rovnice vodní bilance

3. Biotechnická opatření ke snížení dopadů hydrologických extrémů

- 3.1 **Hospodářské využívání pozemků:** Vliv změny využití (Land use) na vodní režimy: **KINFIL Model**
- 3.2 **Retenční příkopy:** **HEC-HMS Model**
- 3.3 **Účinek hrázek a teras:** **KINFIL Model**
- 3.4 **Účinek hrází a poldrů:** **FLOOD_V Model**, vlastní Program (vč. software)
- 3.5 **Aplikace multikriteriální analýzy při optimalizaci vodního režimu krajiny:** vlastní Program

II Vlastní popis metodiky

1. V001 Metodický postup identifikace ohroženosti povodí N-letými povodňovými průtoky a vodní erozí stejné periodicity výskytu

1.1 Nástroje identifikace ohroženosti povodí: N-leté návrhové deště: **DES_RAIN_Constant** a **DES_RAIN_Variable**: ANOTACE + PŘÍLOHA A (VLASTNÍ METODIKA)

Povodňové odtoky způsobené N-letými srážkami, tj. **návrhovými dešti**, které jsou vybrány z katalogů pozorování (Trupl, 1959; Šamaj et al. 1983, aj.) pro přednostní aplikaci různých biotechnických opatření se zavedením redukce 24 hod jejich trvání. K tomu byly zpracovány softwary: **DES_RAIN_Constant** a **DES_RAIN_Variable**. Rozdíly mezi nimi jsou ovšem malé, hyetogramy trvání dešťů v časovém kroku jsou buď konstantní výšky, nebo proměnlivé výšky. Lze je snadno najít ve dvou softwarech, oba pod: <http://fzp.czu.cz/vyzkum/> nebo v publikaci Kovář et al. 2013 ve **Vodním hospodářství**, 63, 12/2013, 416–420.

Návrhové deště

Pro určení krátkých přívalových dešťů byla ponechána metoda redukce jednodenních maximálních úhrnů $P_{1d,N}$ (Hrádek & Kovář, 1994) nejbližší srážkoměrné stanice povodí (Šamaj et al., 1983). S hodnotami těchto úhrnů pro dobu opakování $N = 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let se v první uživatelské fázi pracuje stejně jako v dřívějším programu, kde po celou dobu trvání návrhového deště je jeho intenzita konstantní. Je tedy stejná procedura jako v **DES_RAIN (Constant)** (Vaššová & Kovář, 2011). Z maximálních

denních srážkových úhrnů jsou tímto programem za použití vztahů (1-1) a (1-2) vypočteny redukované srážkové úhrny pro krátké doby trvání dešťů a různé doby opakování:

Výška deště:

$$H_{t,N} = H_{1d,N} \cdot a \cdot t^{1-c} \quad (1-1)$$

Intenzita deště:

$$i_{t,N} = H_{1d,N} \cdot a \cdot t^{-c} \quad (1-2)$$

Redukční regionální koeficienty a , c byly odvozeny podle metodiky (Hrádek & Kovář, 1994). Inovace dřívější verze programu **DES_RAIN_Constant** do nové verze **DES_RAIN_Variable**. Jak již název napovídá, byla zpracována s proměnlivou intenzitou návrhového deště. Tyto deště, které trvají krátkou dobu, již nemívají konstantní intenzitu v době svého trvání, byly proto přerozděleny do variabilních intenzit podle syntetického hyetogramu, navrženého Ústavem fyziky atmosféry (ÚFA AV ČR, Kalvová et al., 2010). Postup spočívá v simulaci asymetrického tvaru hyetogramu s decilovou časovou základnou, kdy jeho nejpravděpodobnější kulminace se objevují vpravo a vlevo od kulminační pořadnice. Grafické znázornění průběhu pro celkový syntetický hyetogram ÚFA s vyjádřením redukováných 24 hodinových N-letých dešťů je zobrazeno níže (str. 9), průběh srážky v Příloze A. Nový software byl použit v již zmíněném publikovaném časopise Vodní hospodářství (Kovář et al., 2013).

Standardní malá hydrologická povodí, nebo elementární odtokové plochy EOP mají rozsahy opakování v letech N a doby trvání návrhového přívalového deště t_d :

$N = 2, 5, 10, 20, 50, 100$ let

$t_d = 10, 30, 60, 120, 180, 300$ min

podle velikosti experimentálního povodí, nebo EOP.

Vybraná hydrologická povodí v Certifikované metodice:

- **Smědá:** stanice Bílý Potok pod Smrkem (+data ČHMÚ)
- **Jílovský potok:** stanice Jílové (+data ČHMÚ)
- **Dubská Bystřice:** stanice Všechlapy (data hydrologické bilance)
- **Černíčí:** stanice Dolní Kralovice
- **Starosuchdolský potok:** stanice Praha – Dejvice VÚV
- **Němčický potok:** stanice Boskovice (okr. Blansko)

Vybrané Elementární odtokové plochy EOP (výzkum eroze):

- **Verneřice, Knínice,** (ve Výročních zprávách i **Adolfov** a **Libouchec**): stanice Ústí nad Labem – Kočkov
- **Třebsín:** stanice Benešov

Porovnání rozdílů mezi konstantní a variabilní verzí DES_RAIN.

Komentář k porovnání Metodiky DES_RAIN_Constant a DES_RAIN_Variable

Návrhové deště, které trvají delší dobu, již nemívají konstantní intenzitu v době svého trvání, proto byly přerozděleny do variabilních intenzit. Časové přerozdělení dešťových oddílů proměnné srážky bylo zpracováno podle syntetického hyetogramu ÚFA (Ústav fyziky atmosféry AV ČR). Lze použít i návrhový hyetogram ČHMÚ (Vološ, 2006), ale to by

již překročilo rozsah příspěvku). Hodnoty poměrů jednotlivých dešťových oddílů pro déšť o variabilní intenzitě ukazuje Tab. 1 a hyetogram na str. 9.

Tab. 1: Hodnoty poměru jednotlivých časových kroků proměnného redukovaného deště dle DES_RAIN (ÚFA, AV ČR)

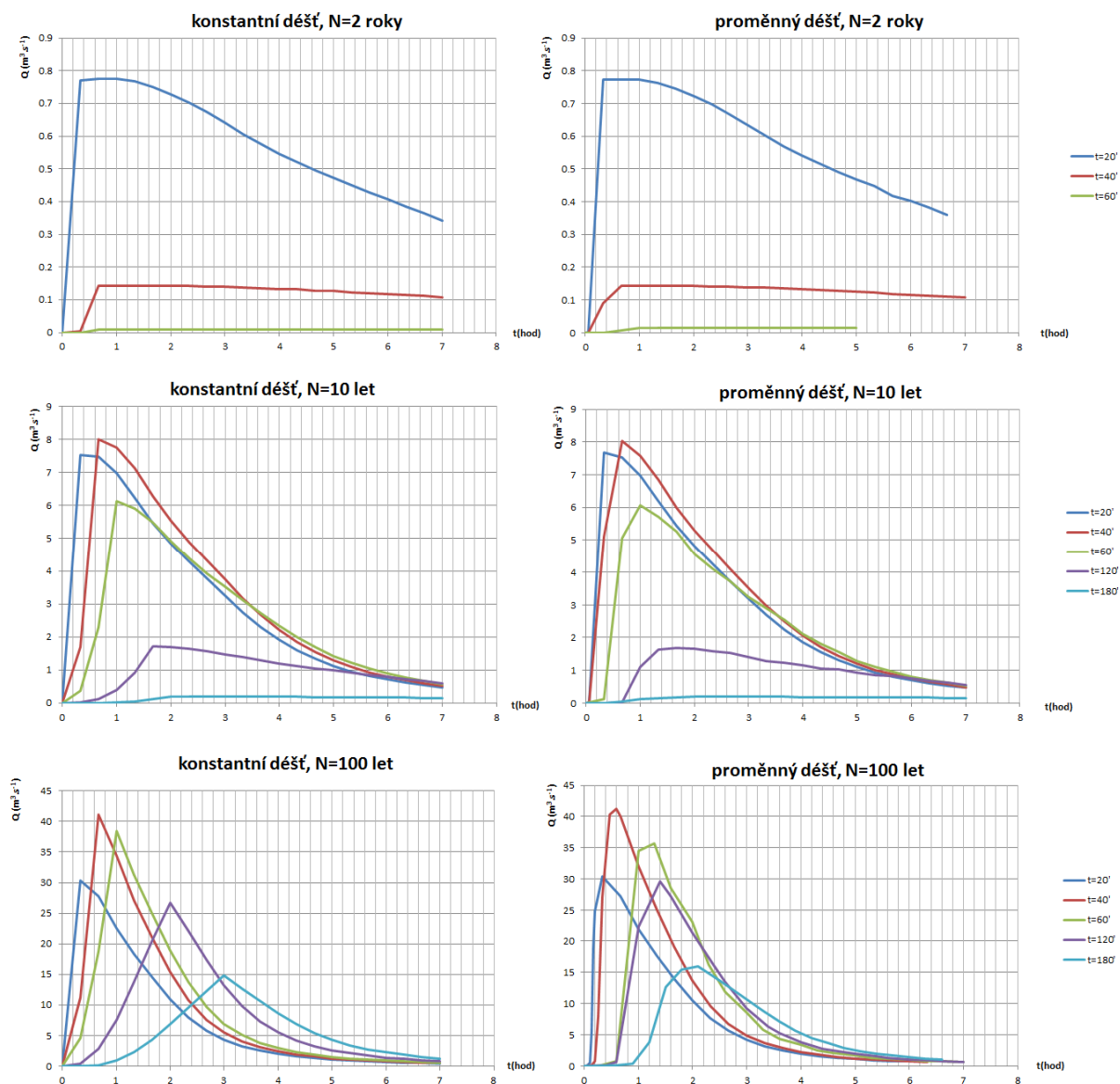
pořadnice	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
hodnota poměru	0	0,03	0,06	0,28	0,4	0,12	0,08	0,02	0,01	0

Návrhové průtoky vycházejí z předpokladu stejné periodicity výskytu návrhových průtoků jako návrhových dešťů, což nemusí být za všech okolností správný předpoklad. Vždy záleží na obdobných podmínkách předchozí saturace povodí před návrhovou epizodou. Jako vzorové povodí, sloužící k analýze porovnání obou metodik návrhových dešťů (DES_RAIN_Constant a DES_RAIN_Variable bylo vybráno povodí Černého potoka, okr. Ústí n. L. (Kovář et al., 2013). Na řadě dalších malých povodí bylo dosaženo obdobných výsledků (Smědá, Jílovský potok, Bystřice aj.). Potvrdila se tak správnost hypotézy z povodí Černého potoka, že výsledky nebudou příliš rozdílné.

Model KINFIL (Kovář & Vaššová, 2011) je založen na kombinaci teorie infiltrace a transformace přímého odtoku “kinematickou vlnou” (Beven, 2006; Overton & Meadows, 1976; Stephenson & Meadows, 1986), což se osvědčilo na řadě experimentálních povodí při rekonstrukci historických povodňových případů. Tab. 2 poskytuje efektivní návrhové deště a návrhové průtoky s kulminacemi. Obr. 1 ukazuje grafické zpracování těchto hydrogramů, vypočtených modelem KINFIL. Výsledné hydrogramy konstantní srážky se nijak výrazně neliší od hydrogramů srážky s proměnnou intenzitou, jak ukazuje Obr. 1 a Tab. 2.

Tab. 2 Návrhové průtoky Q_{max} ($m^3 \cdot s^{-1}$) a doby kulminace T_p (hod) vypočtené modelem KINFIL pro povodí Černého potoka pro redukovaný návrhový déšť P o konstantní i proměnné intenzitě.

Efektivní návrhový déšť P	Q_{max} (m^3/s)			Doba kulminace T_p (hod)			
	N = 2 roky	N = 10 let	N = 100 let	N = 2 roky	N = 10 let	N = 100 let	
P konstantní	t = 20'	0,777	7,540	30,300	0,667	0,333	0,333
	t = 40'	0,142	8,016	41,068	0,667	0,667	0,667
	t = 60'	0,010	6,143	38,449	1,000	1,000	1,000
	t = 120'	-	1,705	26,727	-	2,000	2,000
	t = 180'	-	0,193	14,836	-	3,000	3,000
P proměnný	t = 20'	0,774	7,674	30,330	0,333	0,333	0,333
	t = 40'	0,142	8,025	41,180	0,667	0,667	0,667
	t = 60'	0,015	6,057	35,692	1,000	1,000	1,000
	t = 120'	-	1,673	29,579	-	1,600	1,400
	t = 180'	-	0,192	15,950	-	2,700	2,100



Obr. 1: Hydrogramy odtoku dle modelu KINFIL pro konstantní a proměnný déšť o době trvání $t = 20, 40, 60, 120, 180$ min. s dobou opakování $N = 2, 10, 100$ let

Tato analýza je zaměřena nejen na data vstupní, která jako prioritní údaje umožňují přípravu dat výstupních, pro etapu modelové simulace. Simulace dále slouží pro studium vlivu návrhových dešťů a jejich časového tvaru (hyetogramu) na povodňové průtoky.

Dosažené výsledky (Obr. 1 a Tab. 2) pro porovnání návrhových hydrogramů, vypočtených z návrhových dešťů konstantní a proměnné intenzity jsou téměř shodné, zejména u krátkých intenzivních dešťů do 60 minut trvání. Je to dáno samozřejmě stejným objemem konstantních a proměnlivých dešťů, nicméně jsme očekávali větší rozdíly. Ty se zvyšují u návrhových dešťů s trváním 120 a 180 minut u povodí nad cca 30 km². Transformační proces odtoku využívající rovnice kinematické vlny (ve tvaru konečných diferencí) ovlivňuje finální tvar hydrogramu již méně. Příspěvek na výsledcích případové studie Černého potoka uvádí možnosti využití dat v různých alternativách pro účely vodohospodářských studií. Cílem bylo zjištění, do jaké míry může tvar vstupního návrhového hyetogramu ovlivňovat tvar finálního návrhového hydrogramu. Postup, který byl použit, tj. metoda redukce denních přívalových dešťů

a 2D-model KINFIL, je jednou z metod pro zjištění vlivu konstantního a proměnlivého průběhu deště na simulaci kulminačních průtoků. Vliv na tvar hydrogramu je vzrůstající se zvyšující se dobou opakování výskytu (N – v letech). Naším cílem však bylo pouze určení tohoto vlivu na kulminační průtoky. Vliv hodnotíme jako málo významný, i když připouštíme ovlivnění nejistot, způsobených implementací různých modelů, kdy použitý model KINFIL byl pouze jedním z nich.

Vlastní metodiku vybraných hydrologických povodí obsahuje Příloha A. Zde, v textu anotace je pouze stručný popis principu metodiky.

1. 2 Výpočetní metodiky simulace srážko-odtokových procesů

1. 2. 1 Metodika HEC-HMS Model: ANOTACE (USACE) + PŘÍLOHA B, Povodně: Povodí Jílovského potoka (Upravená Metodika)

Program HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling Systém) je volně dostupný software vytvořený k simulaci srážko-odtokových vztahů v povodích. Jeho použití je velmi široké; výstupy modelu je možné aplikovat ve studiích dostupnosti vodních zdrojů, odvodnění antropogenně ovlivněných území, předpovědích průtoků či efektů urbanizace, snižování povodňových škod nebo úprav říčních niv atd.

Aktuální verze programu HEC-HMS 4.1 (stav k 23. 9. 2015) umožňuje sestavit model povodí z několika různých komponent, aby struktura co nejlépe odpovídala požadovanému účelu:

- subpovodí (Subbasin),
- říční koryto (Reach),
- nádrž (Reservoir),
- pramen (Source),
- soutok (Junction),
- bifurkace (Diversion),
- ponor (Sink).

Software je možné použít jak k sestavení epizodního srážko-odtokového modelu, tak ke kontinuální simulaci hydrologické bilance povodí, to vše prostřednictvím širokého spektra výpočetních metod [podrobněji viz uživatelský manuál k programu (USACE, 2015) či technická příručka (USACE, 2000)].

V rámci tohoto projektu TAČR byly použity zejména moduly subpovodí, které obsahovaly model pro výpočet objemu přímého odtoku „SCS Curve Number Loss“, transformaci přímého odtoku pomocí Snyderova jednotkového hydrogramu nebo jednotkového hydrogramu SCS, základní odtok byl simulován metodou „baseflow recession“.

Metoda NRCS

Výpočet efektivního deště, tj. přímého odtoku, metodou NRCS (dříve SCS) Curve Number (NRCS, 2004a) je řešen podle vzorce:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1-3)$$

kde P_e je kumulativní efektivní dešť v čase t , P je kumulativní srážka v čase t , I_a je počáteční ztráta (často udávaná jako $I_a = 0,2 S$) a S je maximální potenciální retence, která je určena číslem odtokové křivky CN (NRCS, 2004a):

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (1-4)$$

Číslo odtokové křivky CN se stanoví na základě metodiky NRCS (NRCS, 2004b) zejména podle půdních a vegetačních podmínek povodí. Parametry tohoto modelu v HEC-HMS jsou číslo odtokové křivky CN , počáteční ztráta I_a (pokud není zadána, předpokládá se $I_a = 0,2S$), případně procentické zastoupení nepropustných ploch.

Snyderův jednotkový hydrogram

Transformace přímého odtoku Snyderovým jednotkovým hydrogramem je definována vztahem mezi trváním příčinné srážky t_r a dobou mezi jejím těžištěm a kulminací jednotkového hydrogramu, tj. dobou zpoždění t_p (USACE, 2000):

$$t_p = 5,5t_r \quad (1-5)$$

Parametry Snyderova jednotkového hydrogramu jsou vztaženy k měřitelným charakteristikám povodí – doba zpoždění je funkcí velikosti povodí a jeho tvaru (USACE, 2000):

$$t_p = 0,75 \cdot C_t \sqrt{L \cdot L_c} \quad (1-6)$$

kde t_p je doba zpoždění (h), L je délka údolnice (km), L_c je vzdálenost uzávěrového profilu od bodu údolnice, který je nejbliž těžišti povodí (km), C_t je koeficient povodí (obvykle se pohybuje mezi 1,8 a 2,2). V běžných případech je specifický kulminační průtok q_p ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$) vypočítán ze vztahu (USACE, 2000):

$$q_p = \frac{U_p}{A} = \frac{2,75C_p}{t_p} \quad (1-7)$$

kde U_p je kulminační průtok standardního hydrogramu, A je plocha povodí, C_p je kulminační koeficient hydrogramu (většinou v rozmezí 0,4 až 0,8) a t_p je doba zpoždění. Pro jiné doby trvání t_r odlišné od doby standardní ($t_r = 0,18 t_p$) jsou používány vztahy (USACE, 2000):

$$t_{pR} = t_p + \frac{t_R - t_r}{4} \quad (1-8)$$

$$q_{pR} = \frac{U_{pR}}{A} = \frac{2,75C_p}{t_{pR}} \quad (1-9)$$

Kalkulace Snyderova hydrogramu v softwaru HEC-HMS probíhá na základě dvou parametrů – standardního zpoždění t_p a kulminačního koeficientu C_p .

Jednotkový hydrogram NRCS

Jednotkový hydrogram SCS je bezrozměrný hydrogram s jednou kulminací. Průtok je vyjádřen poměrově ke kulminačnímu průtoku jednotkového hydrogramu Q_P (Q/Q_P) pro jakýkoliv čas t normalizovaný dobou do kulminace T_P (t/T_P). Tento hydrogram má následující vazbu kulminačního průtoku Q_P ($m^3 s^{-1}$) a dobou do kulminace T_P (h) (NRCS, 2007; USACE 2000):

$$Q_P = 2,08 \frac{F}{T_P} \quad (1-10)$$

kde F je plocha povodí (km^2). Doba do kulminace T_P (h) má následující vztah k trvání jednotkového efektivního deště (NRCS, 2007; USACE 2000):

$$T_P = \frac{\Delta t}{2} + 0,6 \cdot t_c \quad (1-11)$$

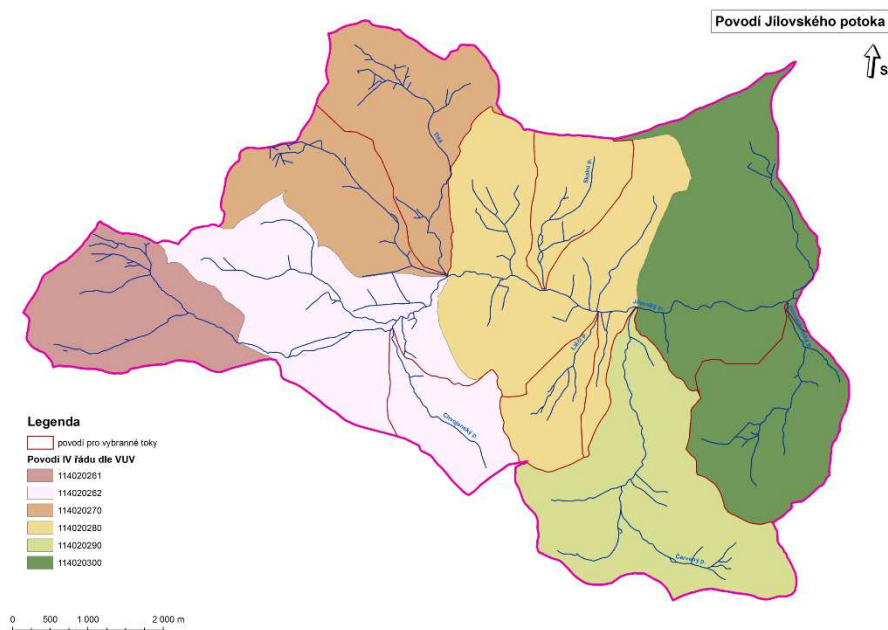
kde Δt je trvání jednotkového efektivního deště (h) a t_c je doba koncentrace povodí (h), která je definována jako čas potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu v povodí do uzávěrového profilu povodí (NRCS, 2010). Stanovení doby koncentrace je možné podle metodiky NRCS (NRCS, 2010).

Model exponenciálního poklesu základního odtoku

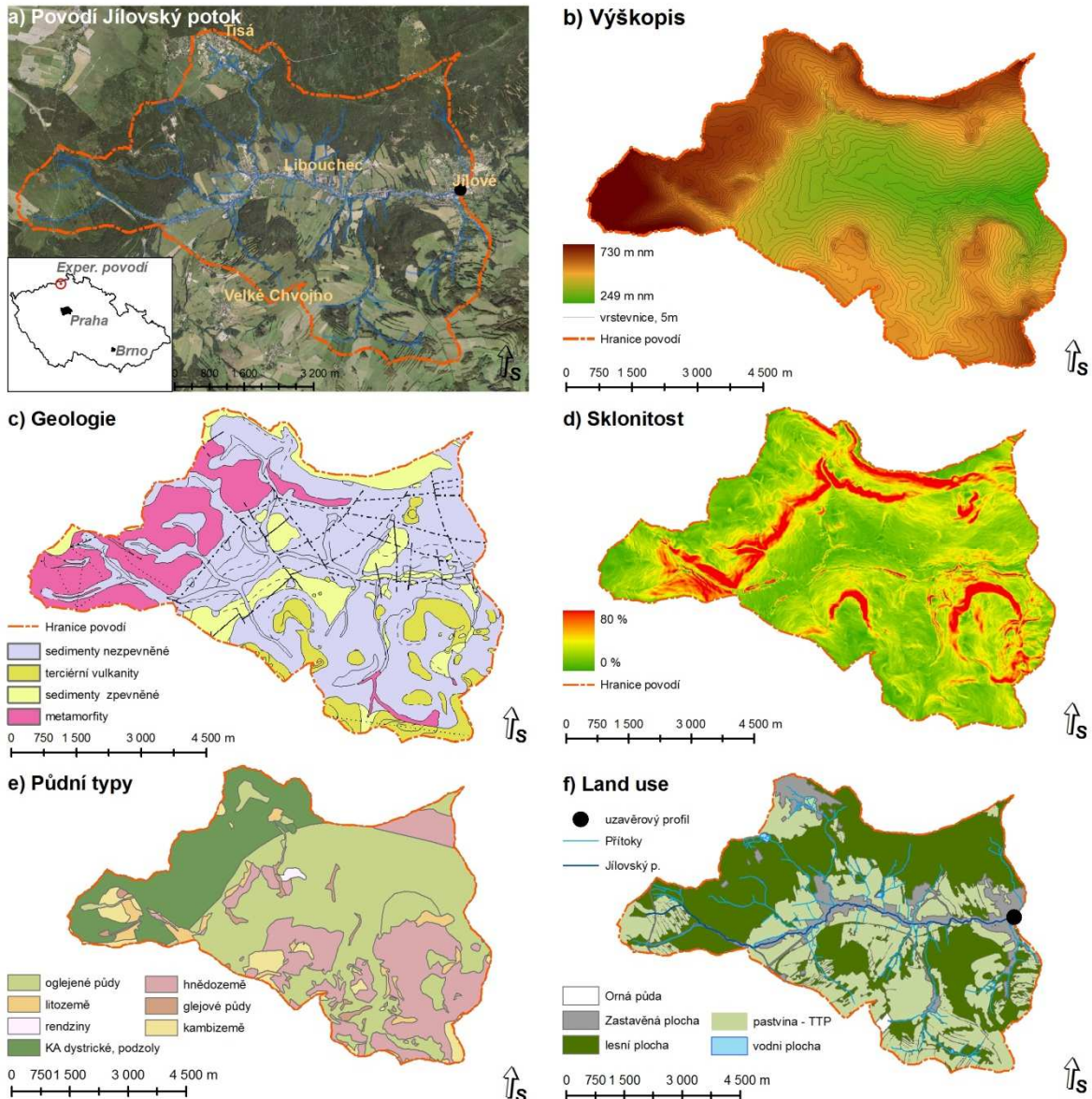
Model definuje vztah průtoku Q_t v čase t a počátečního průtoku Q_0 (USACE, 2000):

$$Q_t = Q_0 \cdot k^t \quad (1-12)$$

kde k je exponenciální poklesová konstanta. Tato konstanta je v programu HEC-HMS dána poměrem základního odtoku v čase t a základního odtoku v čase $(t - 1)$. Q_0 je počáteční podmínka modelu, po dosažení kulminace je uživatelem zadána prahová hodnota, kdy již základní odtok tvoří odtok celkový.



Obr. 2: Členění povodí IV. řádu v povodí Jílovského potoka s uzávěrovým profilem v Jílovém (ř. km 8,92)



Obr. 3 :Hlavní charakteristiky povodí Jílovského potoka

1. 2. 2 Metodika KINFIL Model: ANOTACE + PŘÍLOHA C, Povodně: Povodí Smědé (VLASTNÍ METODIKA)

Anotace

Model KINFIL je založen na kombinaci teorie infiltrace a transformace přímého odtoku "kinematickou vlnou", který se osvědčil na řadě experimentálních povodí při rekonstrukci historických povodňových případů. Tento model používá fyzikálně-geometrické (fyziografické), hydraulické a klimatické parametry povodí, které se dají určit z mapových a jiných podkladů při absenci přímých pozorování a při zohlednění důsledků antropogenní činnosti v povodí. Model je určen přednostně pro stanovení návrhových průtoků pro různé „scénářové situace“ dané touto činností, jako je změna kultur, odlesnění, urbanizace aj. Současná verze modelu KINFIL je založena na infiltrační teorii Greena a Ampta se zavedením koncepce výtopy podle Meina & Larsona (1973)

a Morel-Seytoux (Morel-Seytoux & Verdin, 1981; Morel-Seytoux, 1982):

$$K_s \left(\frac{z_f + H_f}{z_f} \right) = (\theta_s - \theta_i) \frac{dz_f}{dt} \quad (1-13)$$

$$S_f = (\theta_s - \theta_i) \cdot H_f \quad (1-14)$$

$$t_p = \frac{S_f}{i \left(\frac{i}{K_s} - 1 \right)} \quad (1-15)$$

kde K_s je nasycená hydraulická vodivost (m/s), z_f hloubka infiltrační fronty (m), θ_s nasycená půdní vlhkost (-), θ_i počáteční půdní vlhkost (-), H_f sací tlak pod infiltrační frontou (m), i intenzita deště (m/s), S_f retenční součinitel sacího tlaku (m), t_p doba výtopy (s) a t čas (s).

Základním úkolem je určení parametrů nasycené hydraulické vodivosti K_s a retenčního součinitele sacího tlaku S_f (při stavu polní vodní kapacity - PVK). Řešením je využití dříve odvozených vztahů mezi těmito parametry a hodnotami čísel odtokových křivek CN (Curve Number), dnes dobře propracované metody a ve světě široce používané (US SCS, 1986). Indexové hodnoty CN korespondují s konceptuálními hodnotami půdních parametrů K_s a S_f (PVK): $CN = f(K_s, S_f)$. Pro stanovení těchto vzájemných (párových), vztahů mezi CN a (K_s, S_f) jsou použita data maximálních jednodenních srážkových úhrnů 62 stanic České republiky, přepočtených pro trvání 30, 60, 90, 120, 180 a 300 min., každý po dobu opakování 1, 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let, implementovaných infiltračním submoduleem pro 10 základních skupin půd podle US klasifikace, která je však kompatibilní s naší klasifikací dle Nováka (Kovář, 1992).

Druhým komponentem modelu KINFIL je jeho část, simulující postup a transformaci přímého odtoku. Řešená parciální diferenciální rovnice popisuje neustálený pohyb, aproximativně popsany kinematickou vlnou (po zanedbání nevýznamných rychlostních členů dynamické St. Venantovy rovnice) po ploše různě uspořádaných a dle topografických podmínek různě skloněných rovinných „desek“ a jiných geometrických rovinných útvarů. Tato rovnice je převedena do tvaru konečných diferencí a řešena explicitním numerickým schématem (Lax-Wendroff):

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \alpha m y^{m-1} \frac{\partial y}{\partial x} = i_e(t) \quad (1-16)$$

kde x, y, t jsou souřadnice délky, hloubky, času (m, m, s), α, m hydraulické parametry a $i_e(t)$ je intenzita efektivního deště (m/s). Pro praktické řešení je povodí geometrizováno rozdělením do tří komponent: kaskády desek, konvergentních a divergentních segmentů a úseků koryta toku tak, aby simulace topografických ploch povodí byla dostatečně reprezentativní. Počáteční podmínky řešení diferenčního schématu jsou zadány pro pro tzv. nulové hodnoty hloubek vody (tj. jestliže $h(x, 0) = 0$ pro všechny souřadnice polohy x). Horní okrajová podmínka je dána polohou každé rovinné desky v kaskádě, případně horní hranou segmentu. Pro soustředěné neustálené proudění v korytě bývá používáno submodule Muskingum-Cunge, jehož autoři zavedli zjednodušující předpoklady do rovnice kinematické vlny transformované korytem toku.

Infiltrační přístup

Řešení vychází z teorie Greena a Ampta v úpravě Morel-Seytoux, založené na výpočtu tzv. doby výtopy. V rovnicích se uplatňují 2 parametry:

- nasycená hydraulická vodivost K_S
- retenční součinitel sacího tlaku S_f :

$$S_f = (\theta_S - \theta_i) \cdot H_f \quad (1-17)$$

Sorptivita půdy (při polní vodní kapacitě)

$$S(\theta_{FC}) = \sqrt{2K_S \cdot S_f} \quad (1-18)$$

kde: θ_S ... vlhkost půdy při nasycení

θ_S ... počáteční vlhkost, θ_{FC} ... vlhkost při polní vodní kapacitě FC

H_f ... sací tlak na infiltrační frontě

Z rovnice Greena a Ampta je rychlost infiltrace v_f :

$$v_f = K_S \left[i + \frac{(\theta_S - \theta_i) \cdot H_f}{W} \right] \quad (1-19)$$

z teorie Meina a Larsona o stanovení doby výtopy byly Morel-Seytouxem odvozeny infiltrační rovnice. Pro dešť o konstantní intenzitě:

$$W = W_P + S(\theta_i) \cdot AR \left[\sqrt{t - t_p + \frac{t_p}{2} (AR)^3} - \sqrt{\frac{t_p}{2} (AR)^3} \right] + K_S (t - t_p) \quad (1-20)$$

kde: $t_p < t < t_D$

$$AR = \frac{i_+}{i_+ - 1}, \quad i_+ = \frac{i}{K_S}, \quad W_P = i \cdot t_p \quad (1-21)$$

Doba výtopy: (Mein & Larson, 1971)

$$t = t_p \quad \theta_j \rightarrow \theta_S \quad v_f = i \quad (1-22)$$

Kumulativní infiltrace v čase t_p :

$$W_P = v_f \cdot t_p = i \cdot t_p \quad (1-23)$$

i_p ... intenzita deště v době výtopy

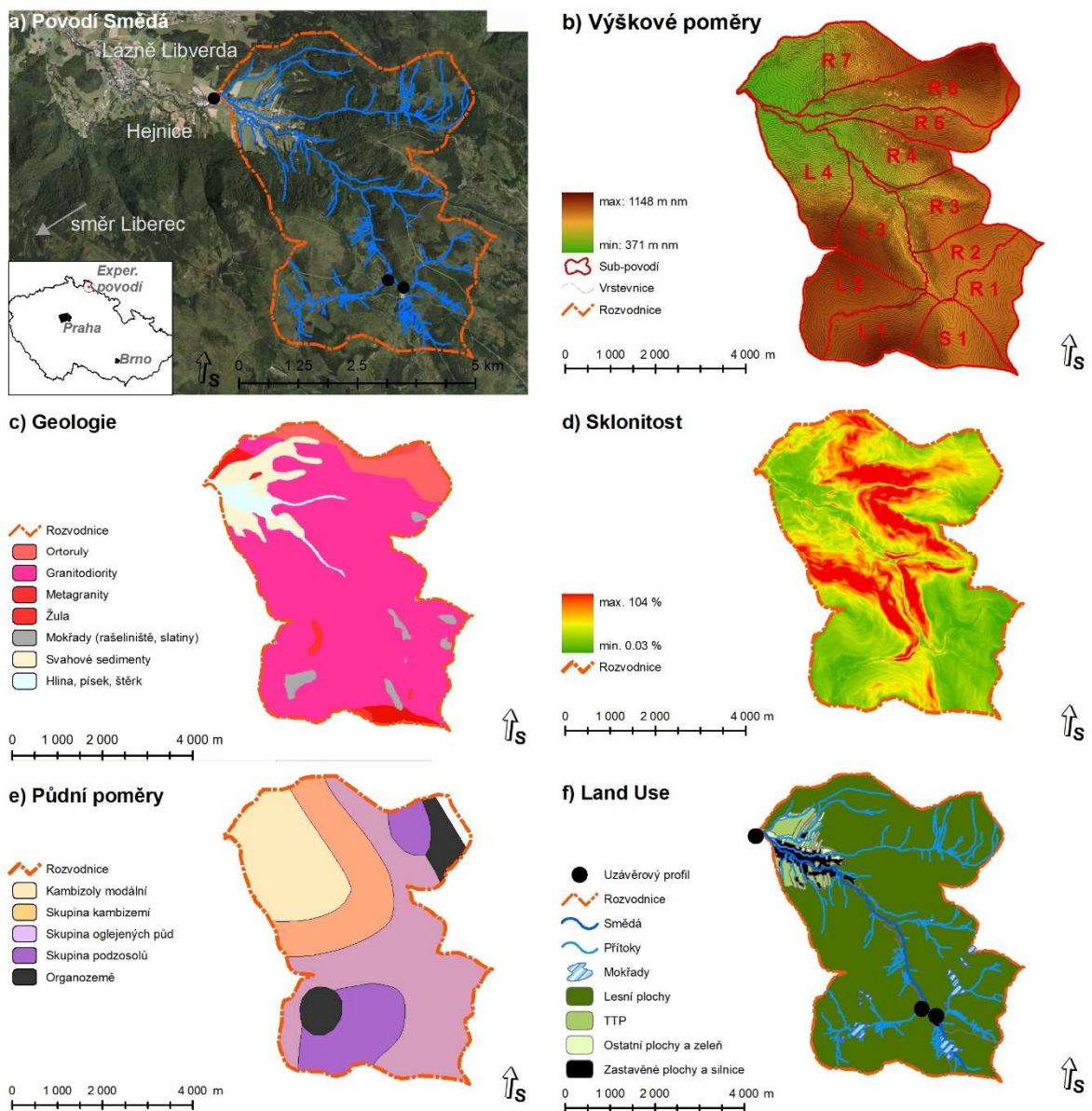
obdobně pro případ deště s proměnlivou intenzitou:

$$W = W_p + S(W_p \cdot \theta_i) + [\sqrt{t - t_p + BR} - \sqrt{BR}] + K_S (t - t_p) \quad (1-24)$$

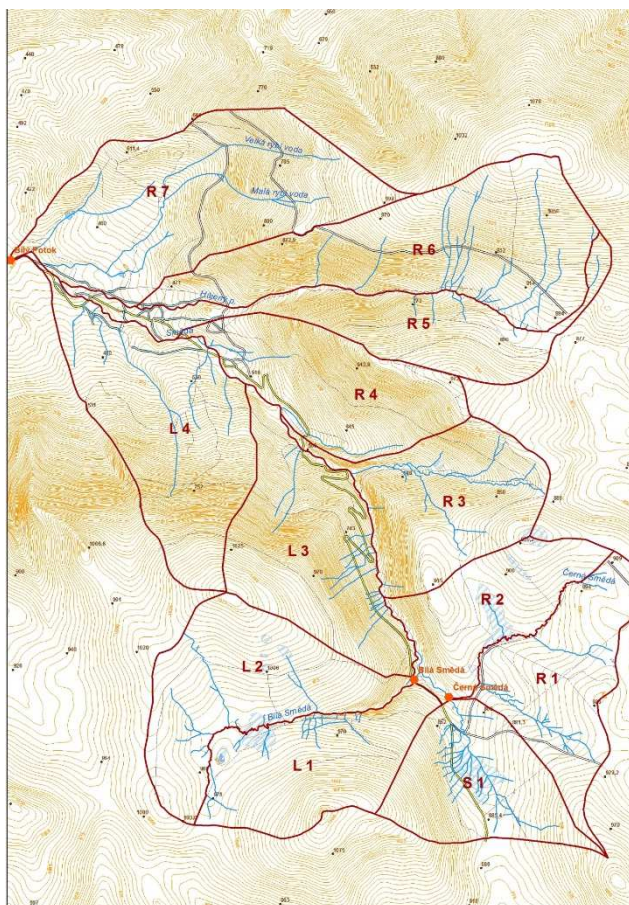
kde

$$S(W_p \theta_i) = \sqrt{\frac{2K_S(S_F + W_p)^2}{S_F}} \quad (BR) = \frac{1}{2} \frac{(S_F + W_p)^2}{K_S S_f \left(\frac{i_p}{K_S} - 1\right)^2} \quad (1-15)$$

Manuál modelu KINFIL obsahuje Příloha C.



Obr. 4: Hlavní charakteristiky povodí Smědé



Obr. 5: Povodí Smědé – rozdělení na subpovodí

1. 2. 3 Metodika NRCS (dříve SCS) – Metoda CN křivek: ANOTACE + PŘÍLOHA D, Povodně: Jílovský potok, Smědá, Němčický potok, Černičí, Starosuchdolský potok, Dubská Bystřice (ZZ) a EOP: Verneřice, Knínice, Třebsín (ZZ), (Upravená Metodika)

Anotace

Metoda čísel odtokových křivek (dále jen CN), odvozená SCS USDA (Služba ochrany půdy Federálního ministerstva zemědělství USA), slouží kurčování přímých odtoků z přívalových dešťů v malých nepozorovaných povodích. Je založena na převodu výšky přívalové srážky na přímý odtok na základě tzv. čísel odtokových křivek (CN), charakterizujících hydrologické vlastnosti půd, jejich využití a obhospodařování, vlastnosti povrchu a předchozí vlhkostní podmínky. Zpětný výpočet čísel odtokových křivek (CN) ukazuje na jejich úzkou souvislost s příčinnými srážkovými úhrny.

Její světová popularita je založena především na jednoduchosti, spočívající v reakci odtoku z přívalového deště na čtyři snadno pochopitelné vlastnosti povodí: Půdní hydrologické charakteristiky, využití a obhospodařování půdy, vlastnosti povrchu a předchozí podmínky (Ponce et al., 1996). Důvodem jejího rozšíření je i snadná aplikovatelnost metody pro nesledovaná malá povodí. Metoda je modelem infiltrační ztráty a byla původně vytvořena jako celkový model (tedy prostorový i časový) pro převod výšky přívalové srážky na objem přímého odtoku. Nedostatkem tohoto modelu

je, že nepopisuje prostorové a časové variability a její použitelnost je omezena na modelování ztrát při přívalových deštích. Co se týče teoretické koncepce, je obecně konstatováno, že odtokový vztah metody *CN* byl vypracován na základě předpokladu, že podíl odtoku k přebytku srážek se rovná podílu vody zadržené při přívalovém dešti k potenciálnímu objemu, který může být zadržen během extrémně dlouhého přívalového deště. Potenciální maximální retence *S* závisí na půdě, pokryvu, způsobu obdělávání a předchozích podmínkách vlhkosti půdy.

Klasická metoda *CN* předpokládá proporcionalitu mezi retencí a odtokem

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} [mm] \quad (1-26)$$

kde $F = P - Q$ = aktuální retence

S potenciální maximální retence

Q celková výška přímého odtoku z přívalového deště P

P potenciální maximální odtok = celková výška přívalového deště

Jisté množství srážky, tzv. počáteční ztráta (I_a) se odečítá jako intercepce, infiltrace a povrchová retence před začátkem odtoku:

$$\frac{P - I_a - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (1-27)$$

Řešení pro Q za podmínky $P > I_a$

$$(P - I_a - Q) \cdot (P - I_a) = QS$$

$$(P - I_a)^2 - QP + QI_a = QS$$

$$(P - I_a)^2 = QS + QP - QI_a$$

$$\frac{(P - I_a)^2}{S + (P - I_a)} = Q \quad (1-28)$$

Souhrn

Metoda čísel odtokových křivek - *CN* je používána v mnoha zemích světa, včetně České republiky. V souvislosti s tím se i rozrůstá příslušný okruh literatury (Kovář, 1994) shrnující výhody a nevýhody této metody:

Výhody

- a) Jedná se o jednoduchou předvídatelnou a stabilní metodu pro odhad výšky přímého odtoku, založenou na přívalové srážce a podporovanou empiricky zjišťovanými údaji.
- b) Závisí na jediném parametru - číslu odtokové křivky - *CN*, který se měří jako funkce čtyř hlavních vlastností ovlivňujících odtok:
 - hydrologické skupiny půd: A, B, C, D,

- třídy využívání a obhospodařování pozemků: zemědělské, pastevní, lesní a zastavěné,
- hydrologické podmínky povrchu: špatné, uspokojivé, dobré,
- předchozí vlhkosti, včetně dalších zdrojů variability: I, II, III.

Nevýhody

- Metoda byla vytvořena s použitím regionálních údajů, většinou na středozápadu USA a rozšířena na celé USA a jiné země. Proto se doporučuje jistá obezřetnost při jejím používání v jiných geografických nebo klimatických oblastech.
- Pro nižší *CN* a srážky může být metoda velmi citlivá na *CN* a předchozí podmínky.
- Metoda se nejlépe hodí pro zemědělské lokality, pro které byla původně určena a pro odhady odtoků z přívalových srážek v tocích se zanedbatelným základním odtokem, tj. tam, kde poměr přímého odtoku k celkovému odtoku se blíží jedné.
- Předpokládá se, že metoda *CN* se hodí pro aplikaci v malých a středně velkých povodích. Pro aplikaci ve velkých povodích je třeba jisté opatrnosti.
- Podíl počáteční retence $\lambda = 0,2$ je nutné interpretovat jako regionální parametr reagující na různé geologické a klimatické poměry.

Cílem našich úprav této metody jsou následující možnosti dalšího využití:

- **Využití analýzy citlivosti výpočtů počáteční retence (lineární vztah počáteční retence $I_a = \lambda S$), kde λ je lineární koeficient $0,0 \leq \lambda \leq 0,3$**
- **Využití flexibilní variability hodnot CN_I, CN_{II}, CN_{III} .**
- **Zpětné určení *CN***
- **Změny retence a odtoku při změnách využití pozemků**
- **Vztahy mezi *CN* a půdními hydraulickými parametry**

Tyto uvedené postupy v **upravené Metodice *CN* křivek** jsou v Příloze C. Tato rozšířená metoda není Metodikou k certifikaci, protože není naším produktem, nabízí však nebývalé možnosti dalšího použití, zejména v aplikaci biotechnických opatření.

1. 2. 4 Metodika FOURIER Model: ANOTACE + PŘÍLOHA E, Sucha: Povodí Starosuchdolského potoka (VLASTNÍ METODIKA)

Anotace

Interakce mezi vegetací a hypodermickou zónou nebo zónou mělkých podzemních vod tvoří důležité vztahy mezi dynamikou ekosystému. První příznaky kolísání stavů průtoků vody v důsledku sucha na malém povodí byly výborně popsány pro suchý rok 1976 (Burt, 1979). Zpoždování základního odtoku za přímým odtokem s rozlišením režimů dne a noci bylo rovněž detailně popsáno (Bond et al., 2002). Další hydrologové (Loheide et al., 2005) uveřejnili podobná data kolísání průtoků režimu den/noc, jiní

sledovali tvary výtokových čar na malých povodích (Fenicia et al., 2006; Winsemius et al., 2006; Mul et al., 2007; Dvořáková et al., 2014).

V poslední dekádě, díky extrémě přesnému tlakovému měřicímu zařízení vodní hladiny (na základě principu "high resolution", tj. vysoká rozeznatelnost) byla publikována řada článků, popisujících podle zvlněné výtokové čáry povodí průtoky, měnící se ve 24 hodinách podle průběhu vlivu evapotranspirace na průtoky během den a noci (Zhang et al., 2001; Brown et al., 2004; Loheide et al., 2005; Winsemius et al., 2006; Fenicia et al., 2006). Zejména J. W. Kirchner (2006; 2009) ve své studii "Catchment as simple dynamic systems", formuloval rovnici, vyjadřující změny bilance objemu vody v povodí (mass-conservation equation):

$$\frac{dS}{dt} = P - E - Q \quad (1-29)$$

kde S je zásoba vody v povodí, P jsou srážky, E evapotranspirace a Q je odtok. V této rovnici (1-29) je pouze odtok agregovaná veličina povodí. V případě studia suchého stavu povodí je možno zanedbat srážky, abychom dostali na pravé straně rov. (1-29) odečet $E - Q$, vyjadřující zásobu vody jako časovou řadu procesu sucha na levé straně rovnice (1-29).

Hydrologické procesy na malých povodích byly poprvé analyzovány a popsány moderními metodami systémového inženýrství na konci dekády šedesátých let (1966) a jejich výsledky publikovány následně (Kraijenhoff & O'Donnell, 1966). Systémové inženýrství v hydrologii v dnešní době ale nachází stále nové uplatnění. Nejsou to jen analýzy srážkoodtokových procesů jako v minulosti, ale vztahy mezi odtokem ovlivňovaným výparem (Kirchner, 2009), dnes velmi aktuální problematikou v době nastávající klimatické změny. Rozvoji této problematiky vděčíme, jak bylo již výše řečeno, měřicí přístrojové technice typu „high resolution“. Oba dva směry výzkumu, tj. měření citlivých dat průtoků, ovlivňovaných podmínkami evapotranspirace metodami matematického modelování hydrologických procesů jsou ve vzájemném analytickém vztahu tak, aby byla nalezena a použita adekvátní matematická metoda simulace vypočtených a měřených dat „do jaké míry“ můžeme kvantifikovat simulační shodu. Touto metodou je nesporně aproximace Fourierova rozvoje, tj. Fourierových řad (Hardy & Roginski, 1971; Kovar et al., 2014).

Extrémní sucha jsou často určována podle trendu výtokové čáry povodí. Tato čára svými výkyvy v denních a nočních hodinách vykazuje časovou harmonickou řadu způsobenou aktuální evapotranspirací obvykle menšího řádu než u středně velkých povodí (Kirchner, 2006; 2009; Deutscher & Kupec, 2014; Langhammer & Vilímek, 2008). U malých povodí, obvykle do 10 km², jsou tyto vlny dobře řešitelné Fourierovou řadou, založenou na systémové teorii a na teorii ortogonálních goniometrických řad.

Teorie Fourierovy řady pro hydrologickou aplikaci, jak evapotranspirace ovlivňuje průtoky, vychází z rov. (1-29), která se převádí do rov. (1-30):

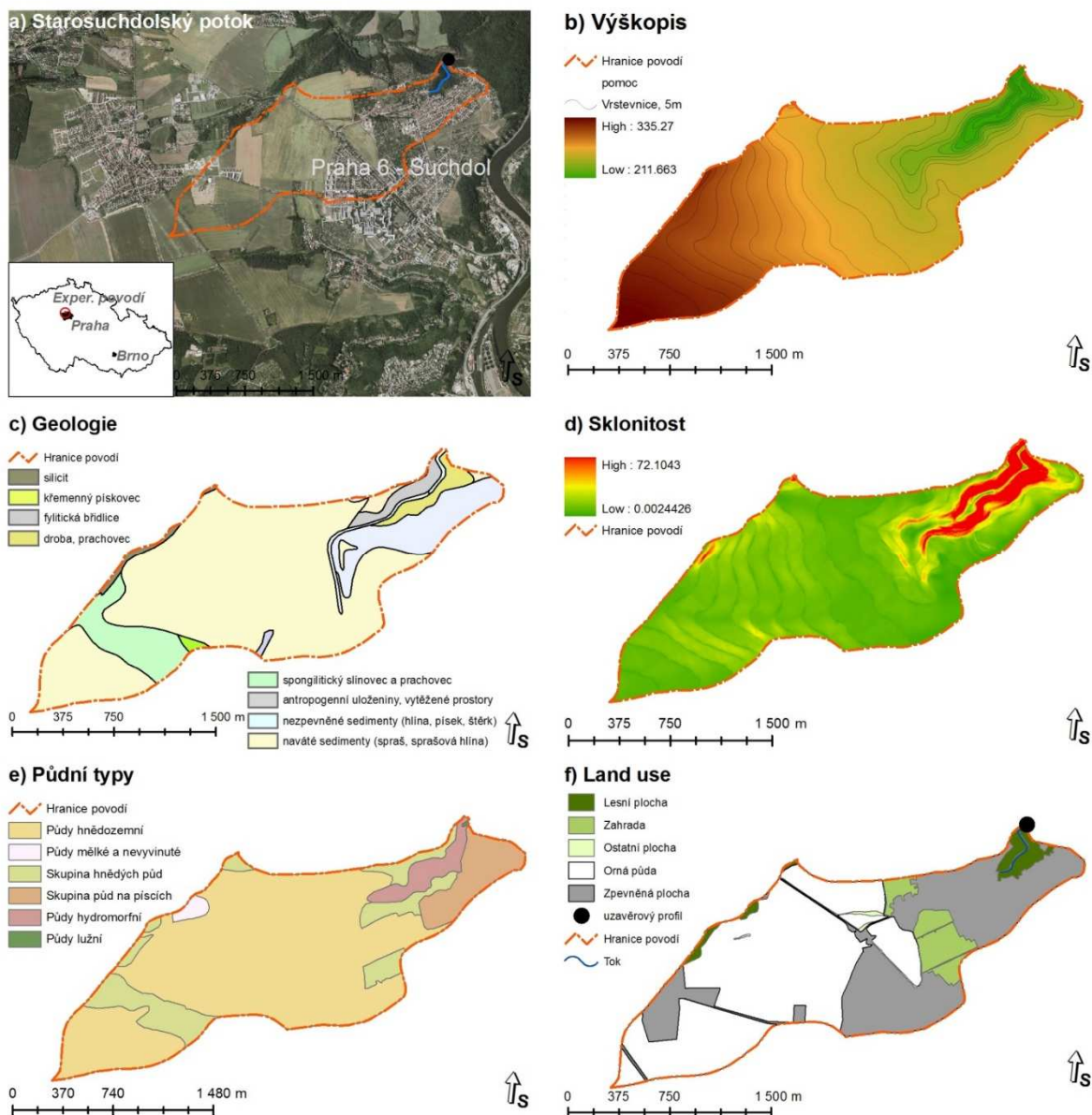
$$\frac{dS}{dt} + y(t) = x(t) \quad (1-30)$$

V rov. (1-30) je $x(t)$ přímý vstup výtokové čáry povodí a $y(t)$ je výstup v podobě vlnité křivky průtoků, vzniklých evapotranspiračním procesem, blížícím se ortogonální $\sin \alpha / \cos \alpha$ křivce v průběhu jedné periody o 24 hod trvání. Pro vypočtené průtoky $y_c(t)$ v rov. (1-31) z měřených vstupů $x(t)$ a výstupů $y(t)$ během bezdešťového období potřebujeme použít transformační funkci $u(t - \tau)$ v konvolučním integrálu, vyjadřovaném rovnicí (1-31). Zde je třeba zdůraznit, že nejde o výpočet výstupních průtoků ze vstupních dešťů, ale výstupních průtoků redukováných evapotranspirací. Racionální výpočet suchého období vyžaduje dosazení do konvolučního integrálu součtu násobků " $x(t) * u(t - \tau)$ " v délce trvání období sucha do teoretického konvolučního integrálu rov. (1-31), či lépe do konvoluční sumace rov. (1-32):

$$y_c(t) = \int_0^t x(\tau) \cdot u(t - \tau) d\tau \quad (1-31)$$

$$y_c(t) = \Delta t \sum_{i=1}^n (x(i) \cdot u(n - i)) \quad (1-32)$$

Na konvoluční sumaci (rov. 1-22) již pokračuje Přílohou E, popisující vlastní **Metodiku modelu Fourier** včetně software, zdůrazňujeme, že dosud podceňovaný hydrologický extrém „**sucho**“, který má nesporně obtížnější řešení, než povodně, je třeba brát vážně a věnovat maximální pozornost jeho škodlivým dopadům. Retence a akumulace vody v krajině je problematika, která bude vyžadovat zvýšenou pozornost, stejně jako šetření vodou a nutnost výstavby vodních prostor nádrží, včetně vodárenských, podzemních nádrží svádějících relativně čistou vodu ze střech objektů a zajišťování rozvoje závlah.



Obr. 6: Hlavní charakteristiky povodí Starosuchdolského potoka

1. 2. 5 Metodika WBCM Modelu: ANOTACE + PŘÍLOHA F (Hydrologická bilance povodí Jílovského potoka), (VLASTNÍ METODIKA)

Anotace

Bilanční modely jsou vytvářeny zejména pro simulaci nejen povrchového odtoku, ale také dalších procesů probíhajících v povodí v dlouhém časovém intervalu. Modely jsou nejčastěji fyzikálně založené, ze kterých lze jmenovat např. **DHSVM** (Wigmosta et al., 2002), nebo konceptuální, jako např. např. **SWAT** (Arnold et al., 1998), či **AFFDEF** (Moretti & Montanari, 2007), nebo **SIMHYD** (Chiew et al., 2002).

Model **WBCM** (Kulhavý & Kovář 2000; Kovář & Štibinger, 2007; Kovář et al., 2015) je deterministický, patří do kategorie modelů koncepčních, celistvých (lumped) a nelineárních s pravděpodobnostně rozdělenými parametry po ploše modelovaného povodí tak, aby mohla být zachována jejich plošná variabilita. Každý kapacitní element modelu reprezentuje přirozenou zásobu vody v jednotlivých vertikálních subsystémech hydrologického profilu. Verze **WBCM-5** byla koncipována pro simulaci denních bilančních hodnot ve vegetačním období s optimalizací parametrů dle metody součtu odchylek nejmenších čtverců dekádních odtoků, verze **WBCM-7** obdobně, ale součtu čtverců odchylek dekádních hladin podzemních vod. Model uvažuje všechny podstatné interakce mezi jednotlivými zónami. Cílem modelu je simulace dynamiky půdní vlhkosti v aktivní a nenasycené zóně, územního výparu a denních odtoků. Změny zásob podzemních vod jsou simulovány koncepčně, zvláště pak s ohledem na tvorbu základního odtoku (WBCM-5) nebo na kolísání hladiny podzemní vody (WBCM-7).

Kapacity všech zón respektují různorodost přirozených hydrologických podmínek povodí. Struktura modelu uvažuje fyzikální principy, podle nichž dochází k evapotranspiraci, intercepci, infiltraci a k tvorbě přímého i základního odtoku. Nedílnou součástí modelů WBCM je automatická optimalizace parametrů v jeho identifikační fázi. Jeho verze WBCM-5 (obdobně jako verze 6 a 7) optimalizuje 3 parametry (SMAX, GWM, BK, viz níže). Používá denních hydrometeorologických dat. Ve vzájemné vazbě řeší následující dílčí hydrologické procesy:

- potenciální evapotranspirace
- intercepce
- tvorba povrchového odtoku a jeho transformace
- vláhová dynamika aktivní zóny a povrchová retence
- dynamika nenasycené zóny a skutečná evapotranspirace
- dynamika nasycené zóny a celkový odtok.

Objemovou shodu složek bilance zabezpečuje sledování kontinuity dle bilanční rovnice:

$$SRAIN = AE + STF \pm (\Delta WP + \Delta WZ) \quad (1-33)$$

$$SRAIN = AE + STF \pm \Delta W \quad (1-34)$$

kde $SRAIN$ je výška srážek (mm), STF je výška celkového odtoku (mm), AE je skutečný (aktuální) výpar (mm), ΔWP je změna vlhkosti nenasycené zóny (mm), ΔWZ je změna objemu nasycené zóny (mm), ΔW je výsledná změna objemu podpovrchových vod (mm).

Nejdůležitější částí modelu je řešení dynamiky nenasycené zóny (tj. její sycení a čerpání výparem), což je popsáno Richardsovou jednorozměrnou rovnicí pro vertikální půdní profil:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial H}{\partial z} - 1 \right) \right] \quad (1-35)$$

kde θ vlhkost půdy (-)
 H tlaková výška (m)
 t časová souřadnice (S)
 z pořadnice hloubky sycení (m)

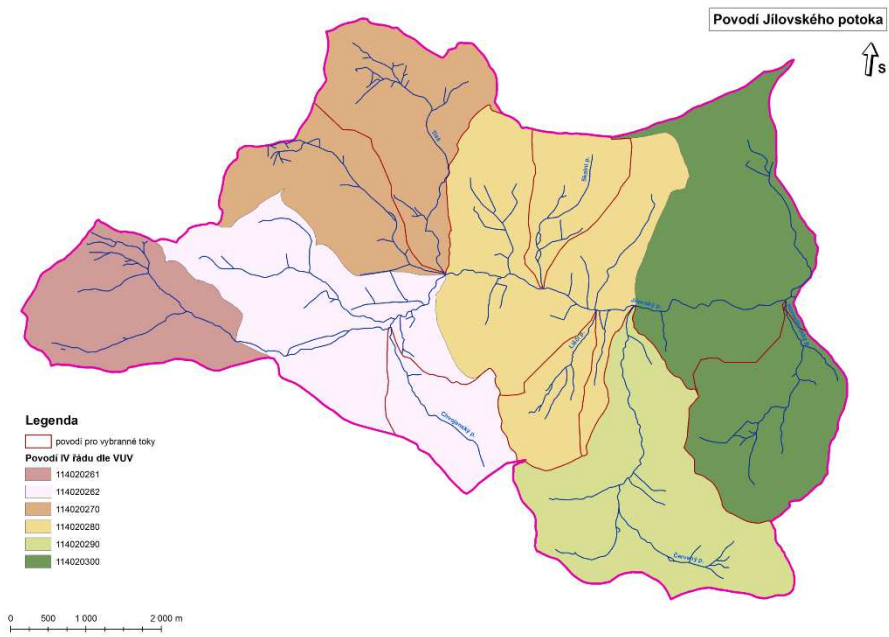
$K(\theta)$ součinitel nenasycené hydraulické vodivosti (m.s⁻¹)

Tato rovnice je převedena do tvaru konečných diferencí a řešena numericky. To je ovšem prakticky proveditelné jen v případě malých povodí, nebo jen pro elementární odtokové plochy, protože pro větší povodí bychom potřebovali velké množství měřených dat. Proces je popsán rekursivními vztahy, respektujícími plošnou proměnlivost lokálních hodnot parametrů pórovitosti (POR) a polní vodní kapacity (FC) nenasycené zóny.

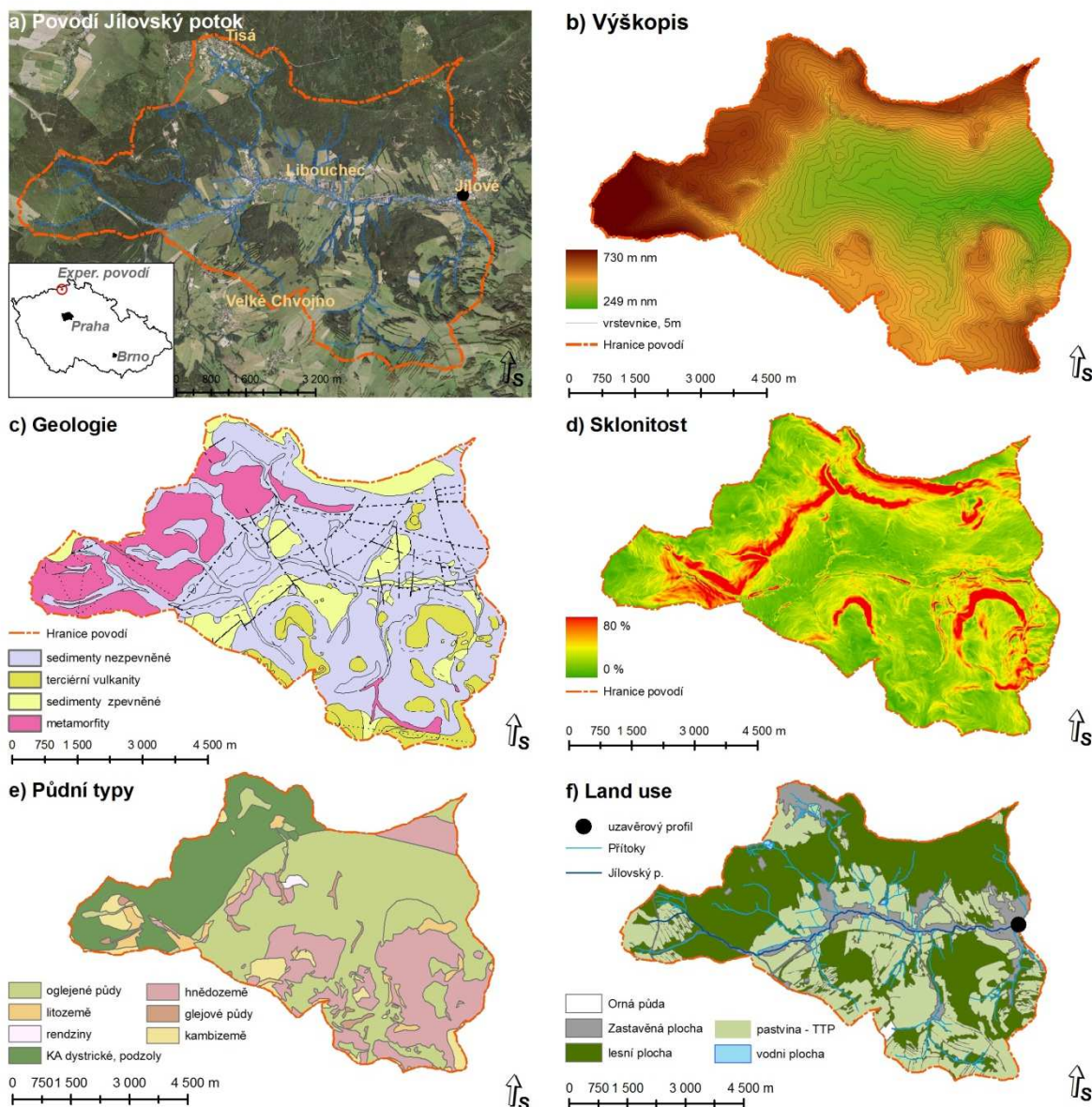
Jednotlivé parametry modelu **WBCM** mají následující fyzikální význam:

AREA	plocha povodí (km ²)
FC	parametr charakterizující „průměrnou“ hodnotu PoVK (retenční vodní kapacitu) nenasycené zóny (-)
POR	parametr charakterizující hodnotu celkové pórovitosti nenasycené zóny
DROT	průměrná tloušťka aktivní zóny (mm)
WIC	horní limit kapacity intercepce (mm)
ALPHA	parametr „nonlinearity“ sycení nenasycené zóny (-)
SMAX	parametr reprezentující maximální kapacitu nenasycené zóny (mm)
GWM	parametr reprezentující potenciální kapacitu zvodně (mm)
CN	číslo odtokové křivky (-)
P1, P2, P7	parametry ovlivňující dynamiku nenasycené zóny (-)
BK	parametr transformace základního odtoku (den)

Znalost variability komponent hydrologické bilance daného území v dlouhodobém časovém horizontu je významná pro udržitelný management vodních zdrojů, zejména z důvodu očekávané klimatické změny. Vývoj simulačního modelu, který je schopen tuto změnu, případně i změnu hospodářského využití půdy, zohlednit, může přispět k optimalizaci využívání vodních zdrojů v zájmové oblasti. Model WBCM je díky svému fyzikálnímu základu schopen tyto požadavky splnit a být tak vhodným pomocným nástrojem pro vodohospodářské plánování v krajině.



Obr. 7: Členění povodí IV. řádu v povodí Jílovského potoka s uzávěrovým profilem v Jílovém (ř. km 8,92)



Obr. 8 :Hlavní charakteristiky povodí Jílovského potoka

2. V002 Metodické postupy pro výběr účinných biotechnických opatření pro snížení rizika hydrologických extrémů

2.1 Vliv hospodaření na pozemcích: PŘÍPADOVÁ STUDIE Povodí Černičí, změna druhů užívání půdy (land use change)

Nepříznivé důsledky změny klimatu přináší stále častější důsledky v podobě hydrologických extrémů, tj. povodní a sucha. Cílem řešení povrchového odtoku z povodí i experimentálních ploch byl také výzkum účinnosti změn hospodaření na pozemcích. Proto bylo navázáno na analýzy dešťových srážek odvozením návrhových srážek metodou redukce N -letých jednodenních dešťů pro různé doby trvání pro výzkumné lokality povodí Černičí, okr. Benešov. Hlavním cílem bylo opět prověření implementací matematického modelu KINFIL (Kovář et al., 2004; Kovář & Vaššová, 2012) s aplikacemi návrhových dešťů a vybraných měřených srážkoodtokových případů, s využitím

výsledků polních měření půdních parametrů a dále vlivu hospodaření a managementu povodí (land use) i parametrů modelu KINFIL. Charakteristiky výzkumného povodí Černičí jsou stručně uvedeny níže.

Experimentální povodí se nachází u obce Čechtice – část Černičí (okres Benešov) v povodí vodárenské nádrže na Želivce a má rozlohu 139,8 ha. Bezejmenný tok je přítokem Čechtického potoka (číslo povodí 1-09-02-107), jenž je přítokem Sedlického potoka (1-09-02-108), který ústí nedaleko od odběrného objektu vodárenské nádrže. Povodí se nachází v III. ochranném pásmu vodárenské nádrže.

Povodí se rozprostírá na Vlašimsko-Humpolecké pahorkatině. Z geologického hlediska tvoří území pararuly s pláštěm zvětralin. Půdy jsou hnědé, illimerizované až oglejené, středně hluboké. Část plochy povodí je odvodněna. Nachází se v klimatické oblasti mírně teplé, s průměrnou roční teplotou 6–7°C a průměrným ročním úhrnem srážek 650–750 mm. Další charakteristiky povodí jsou uvedeny v Tab. 3, Tab. 4 a Tab. 5.

Tab. 3: Charakteristiky povodí Černičí

Charakteristika	Hodnota
Plocha povodí	139,8 ha
Délka toku	2,17 km
Průměrný sklon toku	4,4 %
Minimální nadmořská výška	448 m n. m.
Maximální nadmořská výška	543 m n. m.
Střední nadmořská výška	489 m n. m.
Obvod povodí	5,9 km

Tab. 4: Plošné zastoupení kultur v povodí Černičí

Kultura	Plocha (ha)	Plocha (%)
Orná půda	88,3	63,2
Louky, trvalé travní porosty	26,3	18,8
Lesy	25,0	17,9
Ostatní	0,2	0,1

Tab. 5: Hydrologické skupiny půd a zastoupení kultur na povodí Černičí

Skupiny půd	B			C		
	Plocha (ha)	Plocha (%)	CN	Plocha (ha)	Plocha (%)	CN
Orná půda	74,50	53,00	78	13,8	10,00	85
Trvalé travní porosty	–	–	–	26,3	19,00	72
Lesy	25,00	18,00	63	–	–	–

Průměrná hodnota čísla odtokových křivek na povodí je $CN_{II} = 75,0$ a $CN_{III} = 88,0$.

Simulace povrchového odtoku byla řešena modelem kinematické vlny při respektování podrobné topografie povodí. Topografické vlastnosti terénu jsou zpracovány softwarem ARC/INFO. Model KINFIL byl použit pro rekonstrukci srážko-odtokového případu povodí Černičí z května 2001. Na základě této rekonstrukce byly kalibrovány modelové parametry a model byl dále použit pro simulaci *N*-letých průtoků z návrhových dešťů, zpracovaných pro srážkoměrnou stanici Dolní Kralovice.

V době vzniku povodňové vlny (před 05/05/2001) bylo povodí značně nasyceno předcházejícími srážkami, kdy za předchozích 30 dnů spadlo 58,8 mm deště, což je stav PVP III (tj. stav předchozích vláhových poměrů PVP-III. stupeň nasycení). Náhlý intenzivní noční déšť 5. května 2001, kdy napadlo za pět hodin (od 19:00 do 24:00) 16,2 mm, vyvolal povodňový odtok na nechráněném povrchu povodí, který svým kulminačním průtokem $4,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ je možno zařadit do kategorie průtoků o době opakování $N = 2$ až 3 roky. Tab. 6 uvádí základní charakteristiky této povodňové vlny.

Tab. 6: Charakteristiky povodňové vlny 5. května 2001 na povodí Černičí

Charakteristika	Hodnota
Začátek příčinného deště	05/05/2001, 19 ⁰⁰ hod
Konec příčinného deště	05/05/2001, 24 ⁰⁰ hod
Max. intenzita příčinného deště	0,3 mm min ⁻¹
Celková výška předchozích dešťů za 30 dnů	58,8 mm
Celková výška příčinného deště H_s	16,2 mm
Celková výška efektivního deště H_o	9,3 mm
Kulminační průtok Q_{max}	4,2 m ³ s ⁻¹ ve 20 ⁵⁰ hod
Trvání zvýšených průtoků t_o	cca 4 hod
Doba koncentrace t_k	cca 40 min

Vypočtené hodnoty, potřebné pro schematizaci povodí (viz Tab. 6) byly provedeny v ArcInfo včetně vykreslení Obr. 9. Z tohoto obrázku jsou patrné hranice mezi sousedními kaskádami tvořené rozvodnicemi. Hranice mezi „deskami“ v rámci jedné kaskády jsou odvozeny z „vrstvy svažitosti“, případně „vrstvy land use“. Všechna subpovodí byla převedena na rovnoploché obdélníkové prvky kaskády. U každé kaskády byla vyjádřena její střední šířka a podle této šířky a skutečné plochy byla vypočtena délka jednotlivých desek (tj. dráhy odtoku) viz Tab. 7.

Princip číslování desek je následující

- 1xxlevá část (DL 1 xx),
- 2xxpravá část (DP 2 xx),
- x1x – x4xčíslo kaskády,
- xx1 – xx3číslo desky v kaskádě (číslování po svahu).

Tato schematizace na jednotlivé útvary je dobře patrná z Obr. 9 a Tab. 7, která přehledně uvádí geometrické parametry jednotlivých subpovodí. Pro rekonstrukci povodňové vlny byly použity proměnlivé hydraulické drsnosti, charakterizující výrazně turbulentní svahové proudění, Manningova drsnost n se pohybuje v mezích 0,1–0,3 podle „land use“. Výsledky rekonstrukce jsou vyhodnoceny v Tab. 8, vlastní rekonstrukce na Obr. 10.

Tab. 7: Schematizace povodí Černičí pro model KINFIL

Deska	Plocha (km ²)	Průměrná šířka (km)	Délka (km)	Sklon (-)	Kultura (% plochy)			
					Pole	Louka	Les	Zástavba
111	0,183	1,093	0,167	0,051	1	0	99	0
112	0,053		0,048	0,074	56	30	14	0
113	0,016		0,015	0,111	0	100	0	0
121	0,079	1,076	0,073	0,057	59	1	40	0
122	0,127		0,118	0,097	84	16	0	0
123	0,190		0,177	0,085	41	59	0	0
211	0,105	0,845	0,124	0,032	68	4	28	0
212	0,071		0,084	0,074	81	18	0	1
213	0,013		0,015	0,103	32	67	0	1
221	0,049	0,436	0,112	0,056	99	1	0	0
222	0,038		0,087	0,106	98	2	0	0
223	0,022		0,050	0,138	32	68	0	0
231	0,127	0,284	0,447	0,073	99	1	0	0
232	0,063		0,222	0,091	56	44	0	0
241	0,139	0,604	0,230	0,036	99	0	0	1
242	0,124		0,205	0,096	78	22	0	0

Tab. 8: Statistické vyhodnocení shody měřených a vypočtených údajů

Vlna: Černičí	Koef. determinace RE (-)	chyba v objemu TVOL (%)	chyba v kulminaci PEAK (%)
05/05/2001	0,75	0,20	0,70

Pozn.: Pro nejlepší shodu pořadnic průtoku platí $RE = 1,0$.

Po rekonstrukčních výpočtech povodňové události z 5. května 2001 bylo přistoupeno k simulaci scénáře povodňových odtoků z N -letých návrhových dešťů periodicity výskytu: $p = 0,1$ ($N = 10$ let) a $p = 0,02$ ($N = 50$ let). Výpočet těchto dešťů byl proveden z hodnot maximálních denních srážkových úhrnů (Šamaj et al., 1983) pro nejbližší stanici Dolní Kralovice se vztahy odvozenými pro trvání dešťů $t_d = 20, 40, 60$ a 120 min.

Tab. Tab. 9 obsahuje výpočet i hodnoty jednotlivých „scénářových“ návrhových dešťů, které byly použity modelem KINFIL pro simulaci návrhových průtoků stejné periodicity výskytu $N = 10$ a 50 let a doby trvání 20–120 min (tj. 20, 40, 60, 120). Tyto scénářové simulace jsou zpracovány do simulovaných scénářových hydrogramů (viz Obr. 11). Z výsledků vyplývá, že nejnebezpečnější doba trvání dešťů pro obě periodicity výskytu je kolem 40 min, což odpovídá době koncentrace zjištěné dle Metodiky protierozní ochrany půdy (Janeček a kol., 2012) $t_c = 42$ min.

Co se týče parcelace úbytku $0,28$ km² OP ve prospěch TTP, bude optimální převod TTP na ornou půdu u pozemků 113, 122, 213, 223 a 242 (viz Tab. 7).

Tab. 10 poskytuje výsledky scénářových průtoků ve srovnání se stávajícím stavem a je podkladem pro porovnávání hydrogramů v závěrečném Obr. 12.

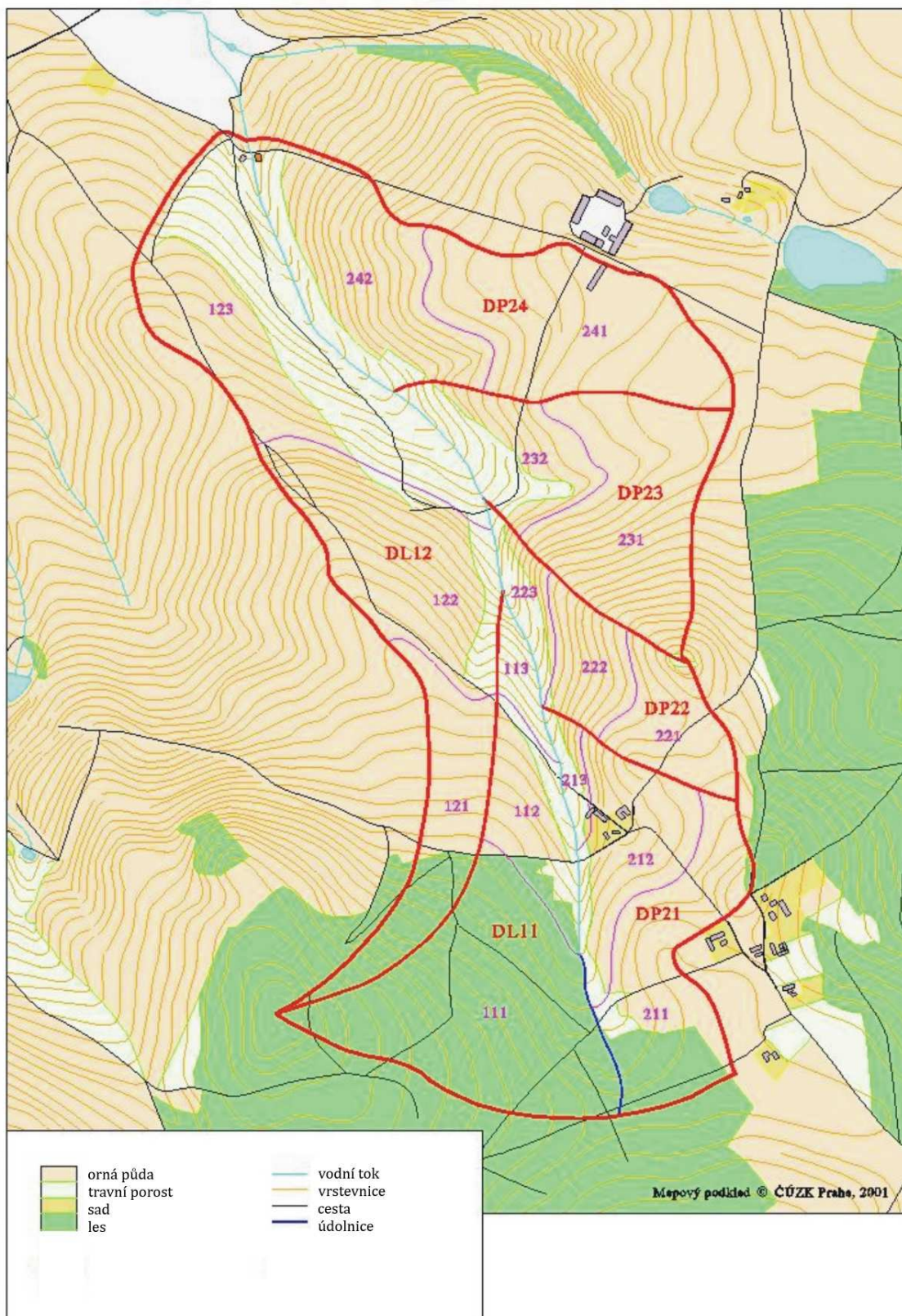
Tab. 9: Výpočet návrhových dešťů $H_{td,N}$ pro stanici Dolní Kralovice pro $t_d = 20, 40, 60$ a 120 min a $N = 10$ a 50 let

Doba opakování N (roky)	Trvání deště (min)	Úhrn deště t $H_{td,N}$ (mm)	Intenzita deště (mm min ⁻¹)	Intenzita deště v časovém kroku 20 min (mm (Δt) ⁻¹)	Intenzita efektivního deště (CN _{II} = 75) v časovém kroku 20 min (mm (Δt) ⁻¹)
10	20	29,2	1,460	29,20	25,5
	40	38,5	0,963	19,35	15,8
	60	40,1	0,668	13,37	10,1
	120	46,5	0,388	7,75	4,8
50	20	45,2	2,260	45,20	41,4
	40	61,2	1,530	30,60	26,9
	60	63,5	1,058	21,17	17,6
	120	76,1	0,634	12,68	9,4

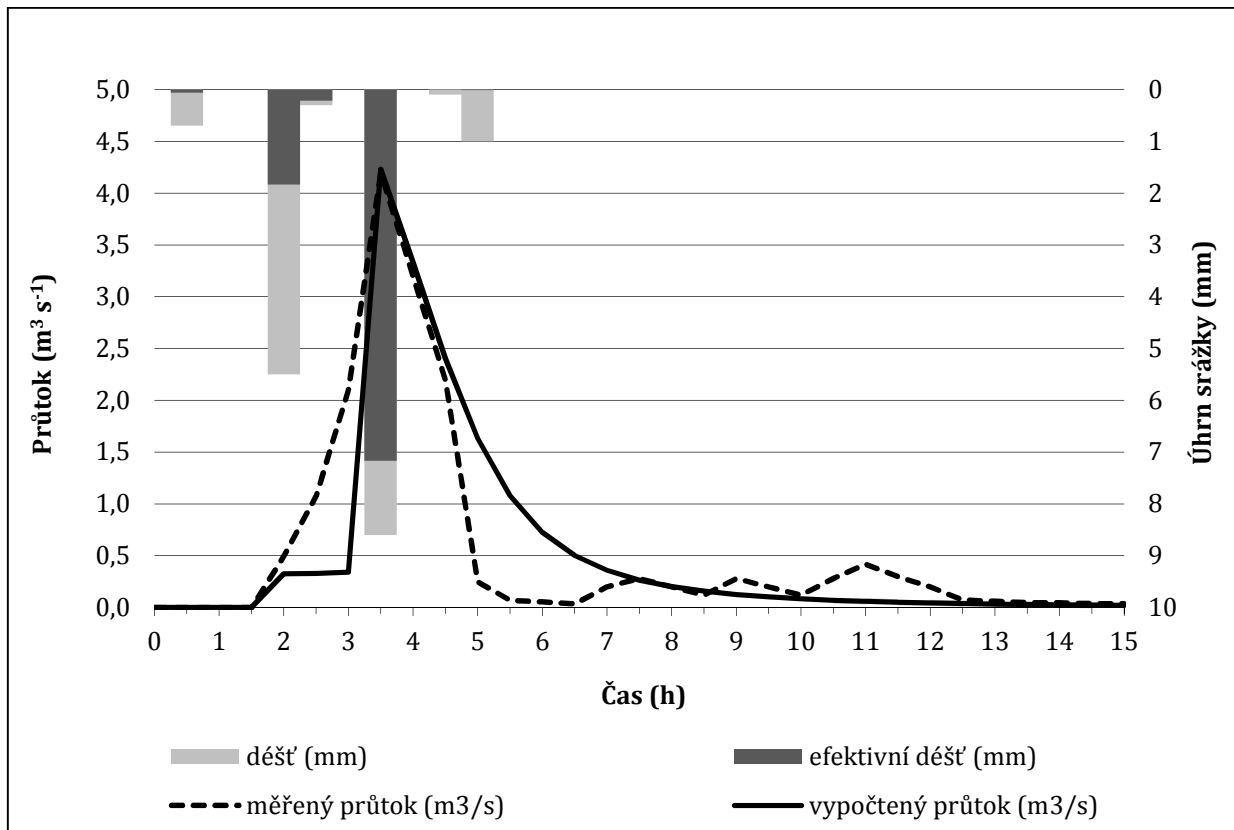
Dalším krokem implementace modelu KINFIL bylo **vytvoření scénáře využití pozemků, kdy 20% orné půdy (OP) bylo nahrazeno trvalým travním porostem (TTP). Tento scénář způsobil snížení kulminace průtoku do 10,0 %.**

Scénářové simulace N -letých průtoků poskytují poměrně spolehlivé prognostické představy o těchto povodňových vlnách, jejich tvaru, kulminaci a době trvání. Implementace tohoto modelu nabízí také solidní, fyzikálně podložený nástroj k určení doby koncentrace a doby doběhu na malých i středně velkých povodích. V době, kdy je české zemědělství a lesnictví závislé na Společné zemědělské politice EU (Common Agricultural EU Policy) a kdy rozloha orné půdy dosud převyšuje průměrné hodnoty členských zemí, které vstoupily do EU před rokem 2004, je transfer orné půdy do kategorie TTP nebo lesních půd stále diskutovaná otázka. Tento transfer je sice zemědělsko-ekonomicky méně výhodný, ale co se týče ochrany životního prostředí, zejména protierozní a protipovodňové ochrany, stojí regionálně vždy za úvahu. V našem případě, plocha orné půdy přesahující na povodí Černičí 60 %, je výzvou k přehodnocení. V dalším výzkumu hydrologických extrémů je třeba zvažovat zjišťování stupně ovlivnění odtokových procesů změnami „land use“, které přinášejí užitek **změny 20 % OP za TTP** (nebo lesa), kdy konkrétně pro návrhové deště $N = 10$ let, **klesají nebezpečné průtoky o 6% a při $N = 50$ let, dokonce o 9 % (viz Obr. 12)**. Je pozoruhodné, že i ostatní scénáře využití půdy (i když poměrně drastických: redukce plochy orné půdy o 40 %, z nich polovina ve prospěch TTP a polovina ve prospěch lesa) nepřinesly snížení kulminace větší než max. o 12 %. I tak jsou ovšem změny pozitivní a nepochybně přispívají ke zmírnění škod při povodních.

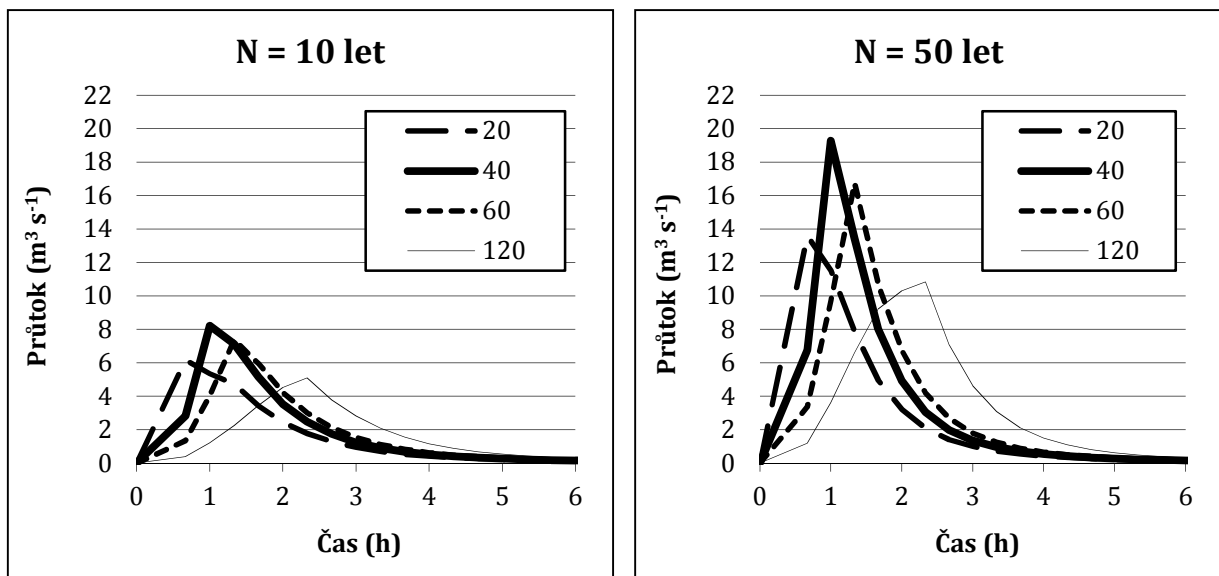
Tato analýza je předmětem neinvestičního rozboru Multikriteriální metodiky, varianty optimálního hospodaření na pozemcích, v Kapitole 6.



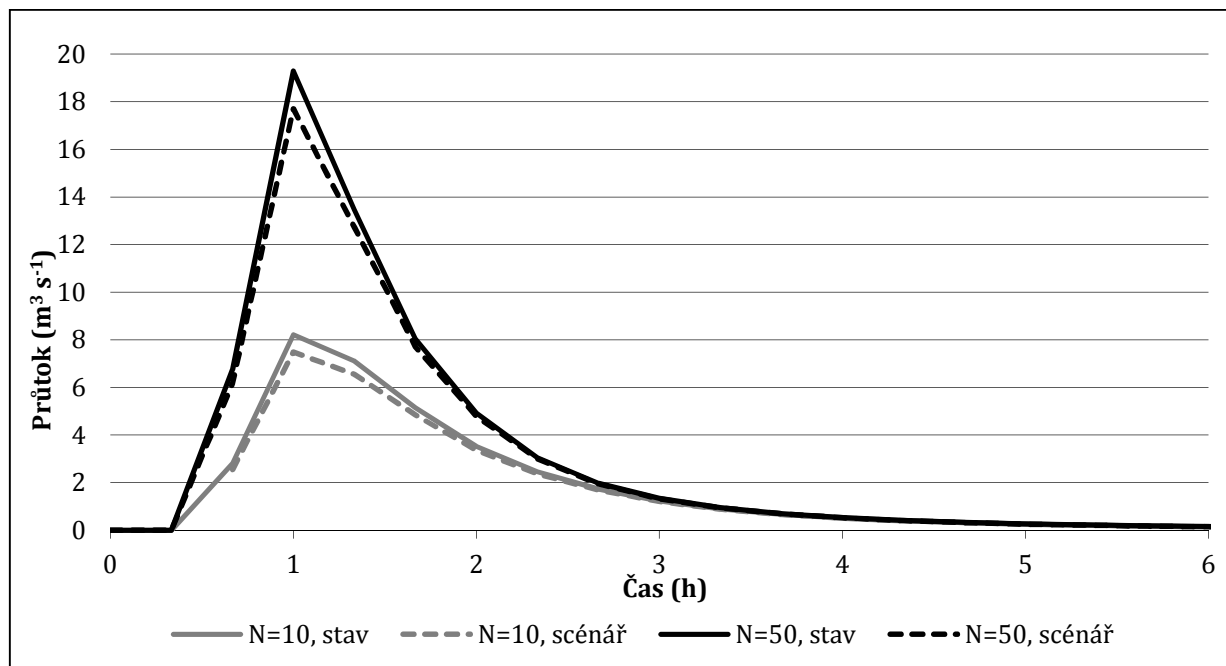
Obr. 9: Topografická mapa povodí Černičí s využitím pozemků a rozdělením na geometrická subpovodí pro laterální přítoky do koryta toku



Obr. 10: Průtoky měřené v uzávěrovém profilu povodí Černičí 5. května 2001 a průtoky simulované modelem KINFIL



Obr. 11: Návrhové průtoky na povodí Černičí pro déšť trvající 20, 40, 60 a 120 minut s dobou opakování $N = 10$ let (vlevo) a $N = 50$ let (vpravo)



Obr. 12: Simulace průtoků na povodí Černičí vyvolaných návrhovým deštěm s $DT=40$ min a dobou opakování $N=10$ a 50 let při změně využití pozemků (zatravnění 20 % OP)

Tab. 10: Pořadnice hydrogramů v časovém kroku $DT=20$ min na povodí Černičí

Pořadnice	Čas (h)	Doba opakování			
		N = 10 let		N = 50 let	
		Stávající	Scénář	Stávající	Scénář
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,333	1,408	1,278	3,376	3,093
2	0,667	2,816	2,556	6,751	6,185
3	1,000	8,211	7,492	19,286	17,710
4	1,333	7,116	6,551	13,467	12,727
5	1,667	5,143	4,850	8,033	7,699
6	2,000	3,518	3,362	4,924	4,795
7	2,333	2,463	2,376	3,048	3,004
8	2,667	1,740	1,700	1,970	1,952
9	3,000	1,236	1,220	1,338	1,329
10	3,333	0,899	0,892	0,951	0,947
11	3,667	0,672	0,669	0,702	0,699
12	4,000	0,516	0,514	0,533	0,532
13	4,333	0,405	0,404	0,415	0,414
14	4,667	0,324	0,324	0,331	0,330
15	5,000	0,264	0,264	0,269	0,268
16	5,333	0,215	0,218	0,222	0,221
17	5,667	0,182	0,182	0,185	0,185
18	6,000	0,154	0,154	0,156	0,156
19	6,333	0,131	0,132	0,134	0,134
20	6,667	0,113	0,114	0,115	0,115
21	7,000	0,099	0,099	0,100	0,100

2.2 Účinek retenčních příkopů (odvádějící část povrchového odtoku): PŘÍPADOVÁ STUDIE Povodí Jílovského potoka (Model HEC-HMS)

Obsah a rozsah podkladů pro simulaci povrchového odtoku na povodí nebo jeho experimentální části je určen jak evropskou legislativou, tak našimi zákonnými normami. Stupeň ochrany a prevence před povodněmi je dán především Rámcovou směrnicí EU pro vodní politiku (EU WFD 2000/60/ES), její transpozicí do Směrnice vyhodnocování zvládání povodňových rizik (EU 2007/60/ES), zákona 254/2001 Sb. o vodách (s dodatky), zákona 118/2008 Sb., o řízených rozlivech povodní a některých dalších. K těmto zákonům byla vydána řada prováděcích vyhlášek. Z klimatických faktorů jsou uváděny především srážky, jejich návrhové výšky a intenzity, z fyzicko-geografických faktorů fyzicko-geometrické faktory povodí. Jejich způsob určení obsahují příslušné české hydrologické a vodohospodářské normy (ČSN 75 1400, ČSN 75 2340, ČSN 75 2310, ČSN 75 2405, ČSN 75 2410, TNV 75 2415), standardy mezinárodní (např. WMO –Guide to Hydrological Practices, 2008) a četná odborná literatura (např. Beven, 2006; Ashley et al., 2007) aj. Legislativu ČR a EU v oblasti vodního hospodářství obsahuje Výroční zpráva tohoto projektu, 2012, str. 5 – 10. U maximálních povodňových průtoků je důležité znát kulminační průtoky pro příslušnou periodicitu jejich výskytu p , nebo dobu opakování $1x N$ let, Q_N (tzv. N -leté průtoky), kdy doba opakování N je reciproční hodnotou periodicity p . Kurčení hodnot Q_N má v ČR autorizaci Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), u malých povodí (do 5 km²) mohou toto určovat experti v oboru hydrologie na základě konzultací s ČHMÚ.

Zásadní vliv na kulminaci a objem povrchového odtoku mají především atmosférické srážky, zejména hodnoty srážkových úhrnů vypočítaných opět na základě maximálních denních srážkových úhrnů (např. Šamaj et al., 1983) nebo jiného katalogu srážek. K tomu, jak bylo v této Zprávě již řečeno, se používá metoda redukce náhradních intenzit přívalových dešťů (Hrádek & Kovář, 1994) s využitím regionálních parametrů a , c . V hydrologii používané modely **HEC-HMS** (USACE 2000), **KINFIL** (Kovář, 1994; Kovář, 2000; Kovář et al., 2002; Kovář & Kadlec, 2009), **metoda odtokových křivek CN** (USDA SCS, 1985; USDA SCS, 1986, USDA NRCS, 2010) a model **povodňových objemů FLOOD_V**, **poldr** nebo **retenční nádrž** (Kovář & Pleštilová, 2009, Kovář & Zezulák, 2010) využívají fyzicko-geometrické, hydraulické, půdní a klimatické parametry povodí, které se dají určit z měřených mapových nebo jiných podkladů při absenci přímých hydrometrických pozorování. Zmíněné modely umožňují též zohlednit důsledky antropogenní činnosti v povodí.

V současné době jsou jedním z účinných praktických nástrojů řešení delimitace pozemků a nemovitostí komplexní pozemkové úpravy. Součástí generelu KPÚ musí být návrh delimitace kultur spolu s vymezením kostry **společných opatření** (cestní síť, ÚSES, protierozní a protipovodňová opatření) Aktuálním úkolem v tomto směru zůstávají metodické úpravy povodněmi ohrožených území v procesu KPÚ. Filosofický, a zejména právní aspekt budou mít návazné nutné úvahy o případné vynutitelnosti těchto kritérií na vlastních půdy.

Pokud se týká soustředěného odtoku v korytech malých vodních toků, současný revitalizační trend podřizuje účelovost dřívějších úprav požadavkům ekologickým, což má mimo jiné i ten důsledek, že se snižuje návrhový průtok v některých tratích extravilánu až na Q_{30d} . To by samo nepředstavovalo problém, pokud bude vybřežená voda při průtoku vyšším odvedena neškodně údolní nivou. Dalším výrazným prvkem je

vkládání příčných prvků do koryta s účelem zvětšit podélnou a příčnou členitost koryta se snahou vytvořit co nejpříznivější podmínky pro rozvoj bioty. Konečně třetím prvkem je doplňování vegetačních doprovodů „co nejbliže k vodě“. Tyto, z hlediska ekologických požadavků jistě žádoucí zásahy, jsou ale v přímém protikladu s řešením kapacity a stability koryta. Proudění v malém vodním toku je charakterizováno relativně malým hydraulickým poloměrem, kde režim proudění tak podstatně více ovlivňuje břehy u toků větších. To má za následek velmi nepravidelné rozdělení rychlostí v profilu, a tím i větší namáhání koryta v proudnici (Kovar et al., 2014). Problémem je, že většina modelových výpočtových postupů, a to včetně sofistikovaných matematických modelů s mnoha parametry je tak obtížně aplikovatelných. V dnešní době, kdy již řadu let probíhají práce na revitalizačních studiích v minulosti nevhodně upravených drobných vodních toků, je nezbytné, aby po nedávných trpkých povodňových zkušenostech, byly nekompromisně vyžadovány v rámci těchto studií také návrhy protipovodňových opatření. Tyto návrhy by měly respektovat pokud možno i výhledové (scénářové) stavy změn hospodářského využití pozemků (land use) na povodí a předpokládané vlivy těchto změn na hydrologický režim, zvláště pak na režim návrhových průtoků. Je zřejmé, že návrhy úprav a biotechnických opatření v korytě vodního toku v otevřené krajině (extravilánu) a v zastavěném území (intravilánu) budou mnohdy velmi rozdílné. To, co je v otevřené krajině vyžadováno v rámci hydroekologických požadavků, je v intravilánech obcí mnohdy nemožné. Tyto rozdílné koncepce biotechnických opatření jsou uvedeny v příložené tabulce 11.

Tab. 11: Rozdílné pojetí biotechnických opatření na (malých) vodních tocích

Extravilán (otevřená krajina)	Parametr toku	Intravilán (zastavěná území)
Protisměrné vinutí trasy (meandry) otevřené koryto	TRASA TOKU	Úseky ovlivněné urbanizačními principy vč. přímé trasy (pokud možno nezatrubněné)
Možnost vybřežení do inundace (nivy) bifurkace toku (dělení, ramena)	KAPACITA KORYTA	Max. ochrana přilehlého území, kapacitní koryto, ohrázování, poldry
Diverzifikovaný úsek, střídání tůňek a peřejí, samočištění vody	PODÉLNÝ PROFIL	Sklonové poměry v souladu se systémem srážkové kanalizace, zrychlený odtok
Diverzifikované tratě (konkáva, konvexa), spojení s inundací (nívou)	PŘÍČNÉ PROFILY	Velmi kapacitní vč. uzavřených profilů a kapacitních objektů
Priorita vegetačních opatření před technickými, umožnění migrace bioty, nízké příčné objekty, břehové porosty	OPEVNĚNÍ KORYTA A OBJEKTY	Priorita technických řešení (biotech., kde je možné), objekty hydrotechnické (migrace bezobratlých, obojživl. a ryb), komunikační, robustní opatření, břehové porosty (kde je možné)

Levostranný přítok Labe s názvem Jílovský potok (číslo hydrologického pořadí 1-14-02-0300) je tok bystrinného charakteru, jehož povodí se rozkládá v oblasti Krušných hor. V této studii je zkoumána pouze část povodí od pramene po uzávěrový profil v ř. km 8,92 v Jílovém, která má výměru 45,57 km².

Jílovský potok pramení v nadmořské výšce kolem 710 m n. m., povodí se vyznačuje širokým údolím hlavního toku s prudkými svahy k rozvodnici o sklonu 12–40 %.

V povodí se vyskytují různě oglejené formy kambizemí a v lesních porostech kambizemě dystrické nebo podzoly až kryptopodzoly. Na strmých svazích se nacházejí litozemě, v jižní až jihovýchodní části povodí se vyskytují hnědozemní půdy.

Klimaticky je povodí možné zařadit do mírně teplého, vlhkého regionu, vyšší polohy pak do regionu chladného, vlhkého. Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí je 746 mm.

Základní geometrické a další charakteristiky zájmového povodí uvádí Tab. 12, hospodářské využití pozemků poskytuje Tab. 13. Dlouhodobý průměrný průtok v uzávěrovém profilu Jílové je 396 l s^{-1} , hydrologické údaje v podobě N -letých průtoků jsou zaznamenány v Tab. 14.

Tab. 12: Základní geometrické charakteristiky povodí Jílovského potoka s uzávěrovým profilem v Jílovém

Parametry povodí	Jednotky	Hodnota
Číslo hydrologického pořadí III. řádu	-	1-14-02
Plocha povodí	km ²	45,6
Nejvyšší kóta povodí	m n. m.	730,0
Nejnižší kóta povodí	m n. m.	249,0
Střední výška povodí	m n. m.	464,0
Výška pramene toku	m n. m.	710,0
Délka údolí toku	km	11,8
Délka hlavního toku	km	11,1
Délka rozvodnice	km	82,4
Sklon údolí toku	%	10,3
Střední sklon povodí	%	14,2

Tab. 13: Využití pozemků v povodí Jílovského potoka

Využití půdy	Plocha (km ²)
Orná půda	0,12
Trvalé travní porosty	16,89
Les	24,08
Intravilán	4,29
Vodní plochy	0,26

Tab. 14: N -leté průtoky pro stanici Jílové (zdroj: ČHMÚ)

N (roky)	1	2	5	10	20	50	100
Q_N (m ³ s ⁻¹)	6,0	12,0	22,4	32,7	44,7	66,2	86,0

Návrhové deště pro povodí Jílovského potoka byly odvozeny na základě údajů srážkoměrné stanice Jílové (310 m n. m.) v okrese Děčín. Maximální jednodenní srážky různé periodicity v této stanici byly dále upraveny pro kratší doby trvání metodou redukce maximálních jednodenních úhrnů. Výsledné návrhové deště krátké doby trvání ($t_d = 20, 40, 60, 120, 180$ a 300 min, $N = 2, 10$ a 100 roků) jsou uspořádány v Tab. 15.

Tab. 15: Úhrny návrhových dešťů (mm) s krátkou dobou trvání pro stanici Jílové (zdroj maximálních jednodenních srážek: ČHMÚ)

Doba opakování N (roky)	Maximální srážka $H_{1d,N}$ (mm)	jednodenní Doba trvání srážky t_d (min)					
		20	40	60	120	180	300
2	35,0	14,23	17,16	18,58	21,33	23,12	25,59
10	48,6	26,45	33,53	36,32	41,59	43,89	46,98
100	87,9	46,77	60,90	65,97	75,57	77,46	79,91

Simulace odtoku vyvolaného návrhovými dešti byla provedena v programu HEC-HMS. Konceptuální model sestavený v tomto programu se skládal z výpočtu přímého odtoku metodou CN, transformace efektivního deště na přímý odtok Snyderovým jednotkovým hydrogramem a základního odtoku metodou exponenciálního poklesu „baseflow recession“. Parametry modelu pro povodí Jílovského potoka byly v roce 2013 stanoveny kalibrací na reálných srážko-odtokových událostech (Kovář et al., 2013).

Simulace odtoků v uzávěrovém profilu povodí z návrhových srážek krátkého trvání proběhla pro stávající situaci a pro variantu s aplikovaným biotechnickým opatřením, kterým je v případě této studie příkop. Tento prvek je navržen severně od zastavěného území obce Jílové v délce 2,026 km (Obr. 13) a má lichoběžníkový příčný řez s těmito parametry (Obr. 14):

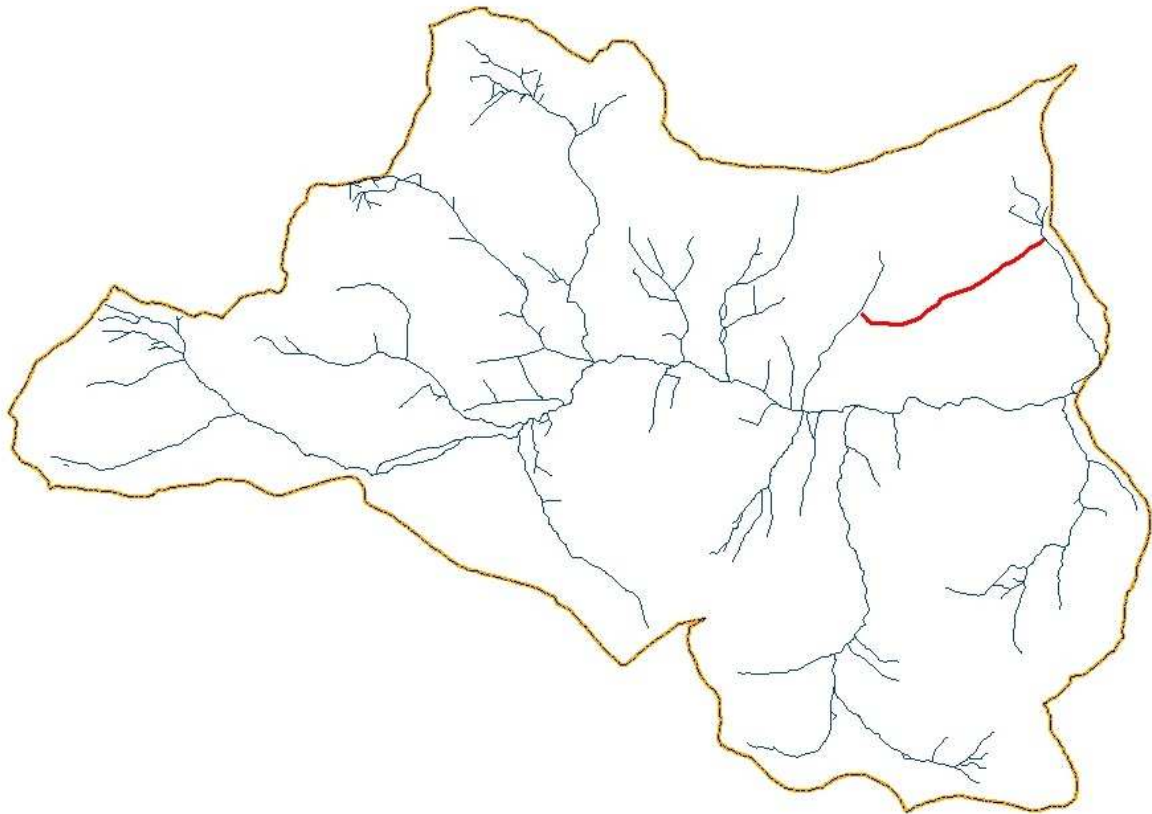
- šířka dna příkopu: $b = 0,40$ m,
- hloubka příkopu: $h = 0,50$ m,
- sklon svahů příkopu: $1 : m = 1 : 1$,
- sklon dna: $l = 0,01$.

Profil je uvažován s drnem (drsnost $n = 0,025$). Kapacita koryta byla stanovena na $Q = 0,72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na základě rovnice kontinuity a Chézyho rovnice s Manningovým rychlostním součinitelem. Součástí studie nebylo řešení zaústění příkopu a odvedení jeho průtoků mimo povodí.

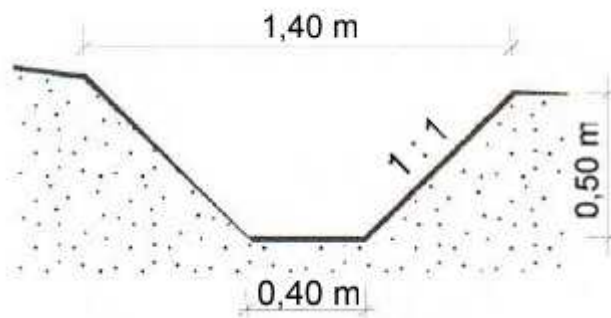
Vliv příkopu na velikost povrchového odtoku z Jílovského potoka byl řešen pomocí subpovodí s nastavením metody CN pro řešení velikosti přímého odtoku a jednotkového hydrogramu SCS pro jeho transformaci. Redukce objemu odtoku vlivem příkopu je patrná z Obr. 15 (návrhové deště doby opakování $N = 2$ roky), Obr. 16 ($N = 10$ let) a Obr. 17 ($N = 100$ let).

Závěry

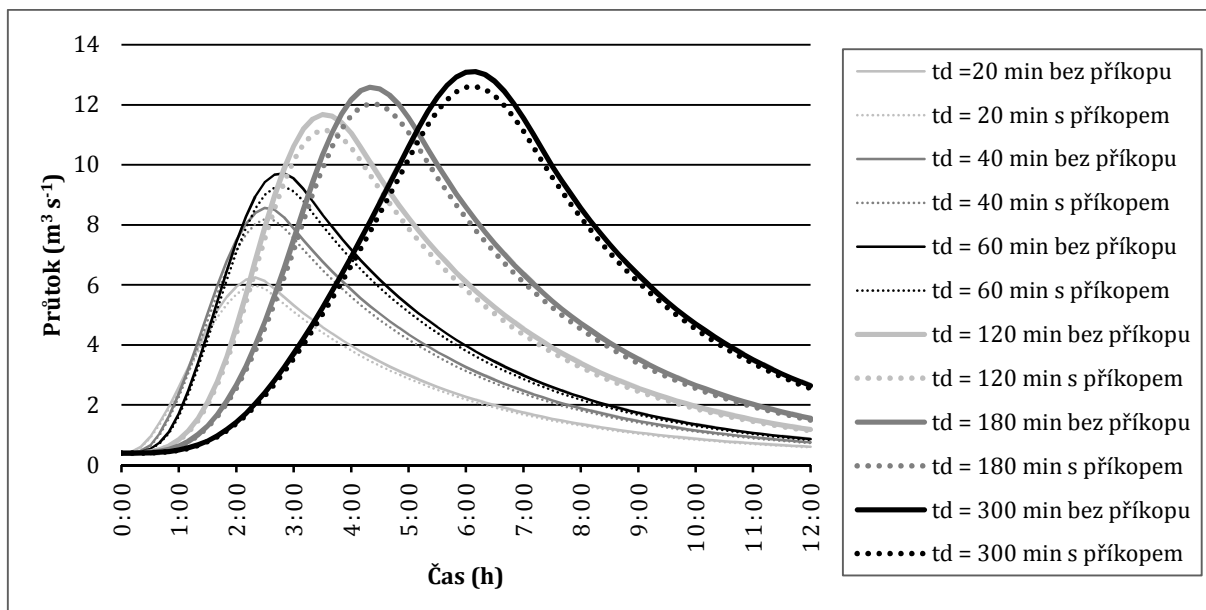
Z Tab. 16, která obsahuje souhrn simulovaných kulminačních průtoků pro variantu bez opatření a s příkopem, vyplývá, že jeden prvek biotechnického opatření má pouze velmi malý vliv na velikost kulminačního průtoku v uzávěrovém profilu povodí. Zejména u stoletých návrhových dešťů se jedná o snížení kulminačního průtoku pohybující se od 0,2 % do 1,8 %. Proto je nutné pro dosažení protipovodňové ochrany intravilánu navrhovat tento typ opatření v rámci celých systémů příkopů, případně je kombinovat s dalšími prvky snižujícími velikost povrchového odtoku.



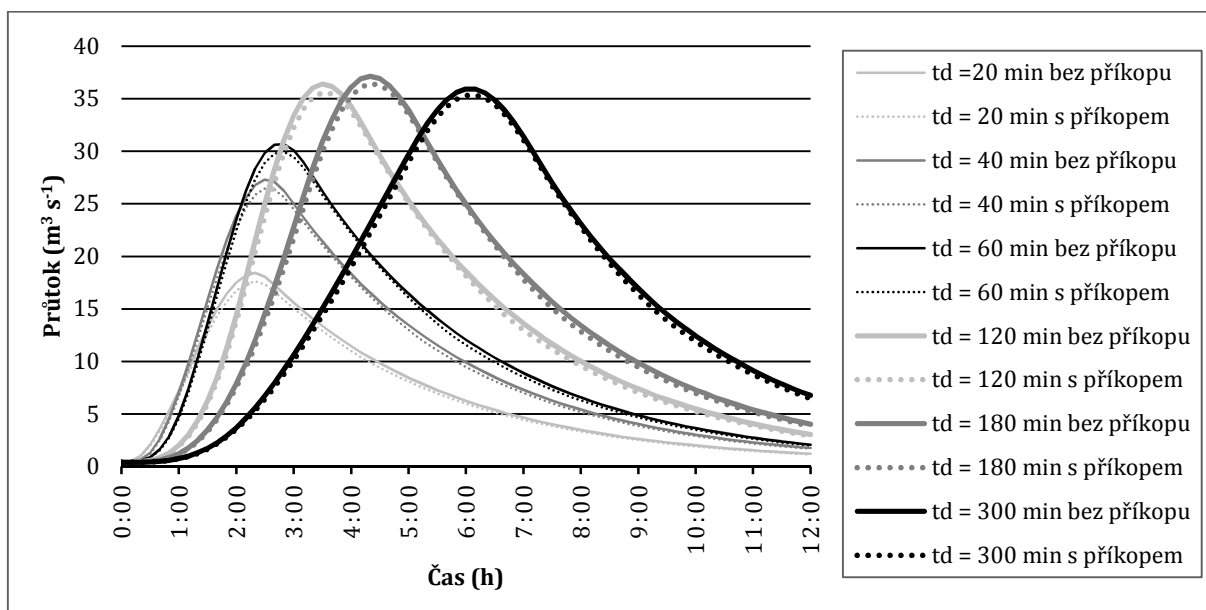
Obr. 13: Trasa navrhovaného příkopu (červeně) na povodí Jílovského potoka



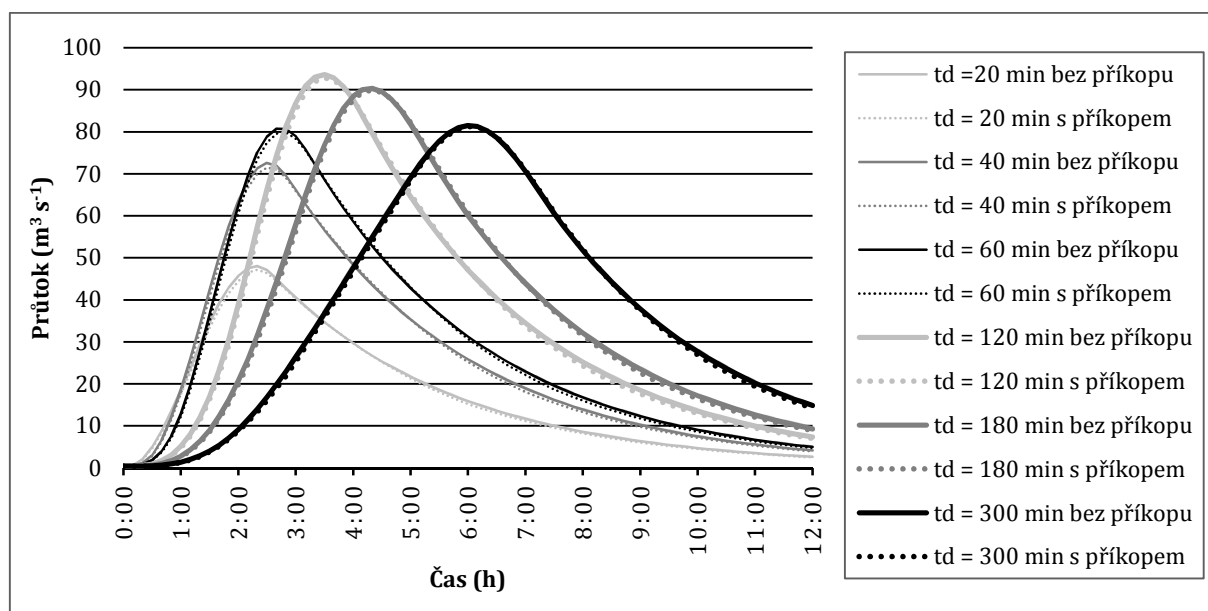
Obr. 14: Příčný profil příkopu ve studii na povodí Jílovského potoka



Obr. 15: Simulované průtoky vyvolané dešti s dobou opakování $N = 2$ roky v uzávěrovém profilu Jílovského potoka pro variantu bez biotechnických opatření na povodí a variantu s příkopem



Obr. 16: Simulované průtoky vyvolané dešti s dobou opakování $N = 10$ let v uzávěrovém profilu Jílovského potoka pro variantu bez biotechnických opatření na povodí a variantu s příkopem



Obr. 17: Simulované průtoky vyvolané dešti s dobou opakování $N = 100$ let v uzávěrovém profilu Jílovského potoka pro variantu bez biotechnických opatření na povodí a variantu s příkopem

Tab. 16: Porovnání kulminačních průtoků simulovaných modelem HEC-HMS v uzávěrovém profilu Jílovského potoka pro deště různých charakteristik

Doba opakování deště N (roky)	Trvání příčinného deště t_a (min)	Kulminační průtok ($m^3 s^{-1}$)		Snížení kulminace (%)
		bez opatření	s příkopem	
2	20	6,243	5,983	4,2
	40	8,562	8,199	4,2
	60	9,709	9,278	4,4
	120	11,671	11,165	4,3
	180	12,580	12,046	4,2
	300	13,107	12,611	3,8
10	20	18,418	17,641	4,2
	40	27,293	26,477	3,0
	60	30,690	29,954	2,4
	120	36,407	35,591	2,2
	180	37,145	36,459	1,8
	300	35,924	35,373	1,5
100	20	48,083	47,197	1,8
	40	72,546	71,510	1,4
	60	80,693	79,806	1,1
	120	93,619	92,844	0,8
	180	90,326	89,967	0,4
	300	81,465	81,266	0,2

2.3 Biotechnické opatření ke snížení účinků povodí (Modely KINFIL, CN): Terasy, hrázky: PŘÍPADOVÁ STUDIE Povodí Smědé

Na povodí Smědé a jejím limnigrafickém profilu Bílý Potok se provádí měření od roku 1957. Fyzicko-geometrické charakteristiky povodí poskytuje Tab. 12 Plocha povodí (profil Bílý Potok) měří 26,13 km². Hydrologické poměry a *N*-leté průtoky poskytuje Tab. 13. Tabulka 14 uvádí výpočet průměrné hodnoty odtokové křivky CN_{II} = 77,5. Je to hodnota poměrně vysoká, což svědčí o malé propustnosti s většinovým zastoupením hydrologickou půdní skupinou C (77 %), zbytek půd pak patří do skupiny B. Jedná se o půdy sorpčně málo nasycené (oligo-mezotrofní a podzolové rašelinné hnědé půdy a oglejené rašelinné půdy). Poměrné zastoupení I. zrnitostní kategorie je 20–25 %, koeficient nasycené hydraulické vodivosti $K_s < 10$ mm/hod. Vzhledem k třídě ulehlosti lesní hrabanky TU = 1 (hloubka < 5 cm) lze povrch zalesněné části povodí (88 %) zařadit do třídy lesních hydrologických podmínek TLHP = 2.

Tab. 12: Fyzicko-geometrické charakteristiky povodí Smědá, profil Bílý Potok

Plocha povodí (AR)	26,13	(km ²)
Délka údolnice (L)	13 300	(m)
Sklon údolnice (J₀)	6,9	(%)
Potenc. retence (A)	74,0	(mm)
Nadmořská výška	403–990	(m n. m.)
Střední šířka povodí	1,96	(km)
Sklon povodí (Herbst)	22,2	(%)

Tab. 13: *N*-leté průtoky povodí Smědé, profil Bílý Potok (nová data 2015)

<i>N</i> (roky)	1	2	5	10	20	50	100
<i>Q_N</i> (m ³ /s)	21	33	54	74	97	132	162

Tab. 14: Číslo odtokové křivky (CN) pro povodí Smědá, profil Bílý potok

Kultura	% plochy	HSP	CN	Vážený průměr CN
Lesy	70	C	79	55,3
	18	B	69	12,4
Pastviny (holiny)	7	C	79	5,5
Orná půda	3	B	79	2,4
Zastavěné území	2	–	98	1,9
Celkem	100	–	–	77,5

Výpočty bez návrhu biotechnických opatření byly již provedeny v kapitole 2.2. Závěrečné zprávy projektu (2015). Použili jsme k nim krátkých přívalových dešťů pro opakování *N* = 2, 10, a 100 let – viz Tab. 15 pro dobu trvání 40 a 60 minut, což je doba, kdy jsou dosahovány kritické kulminace průtoků 2,3.

Časová translace odtoku je závislá na době dobíhání t_L , která je určena dle metodiky US SCS (US SCS, 1992), nebo Fergusonsona (1998), následně:

$$t_L = \frac{(3,28 L)^{0,8}}{1900 J_0^{0,5}} \quad (2-1)$$

kde L je hydraulická délka údolnice (m), J_0 sklon údolnice (%), A potenciální retence povodí (mm), (pro: $CN = 77,5$ je $A = 74,0$), kde Δt je délka časového kroku.

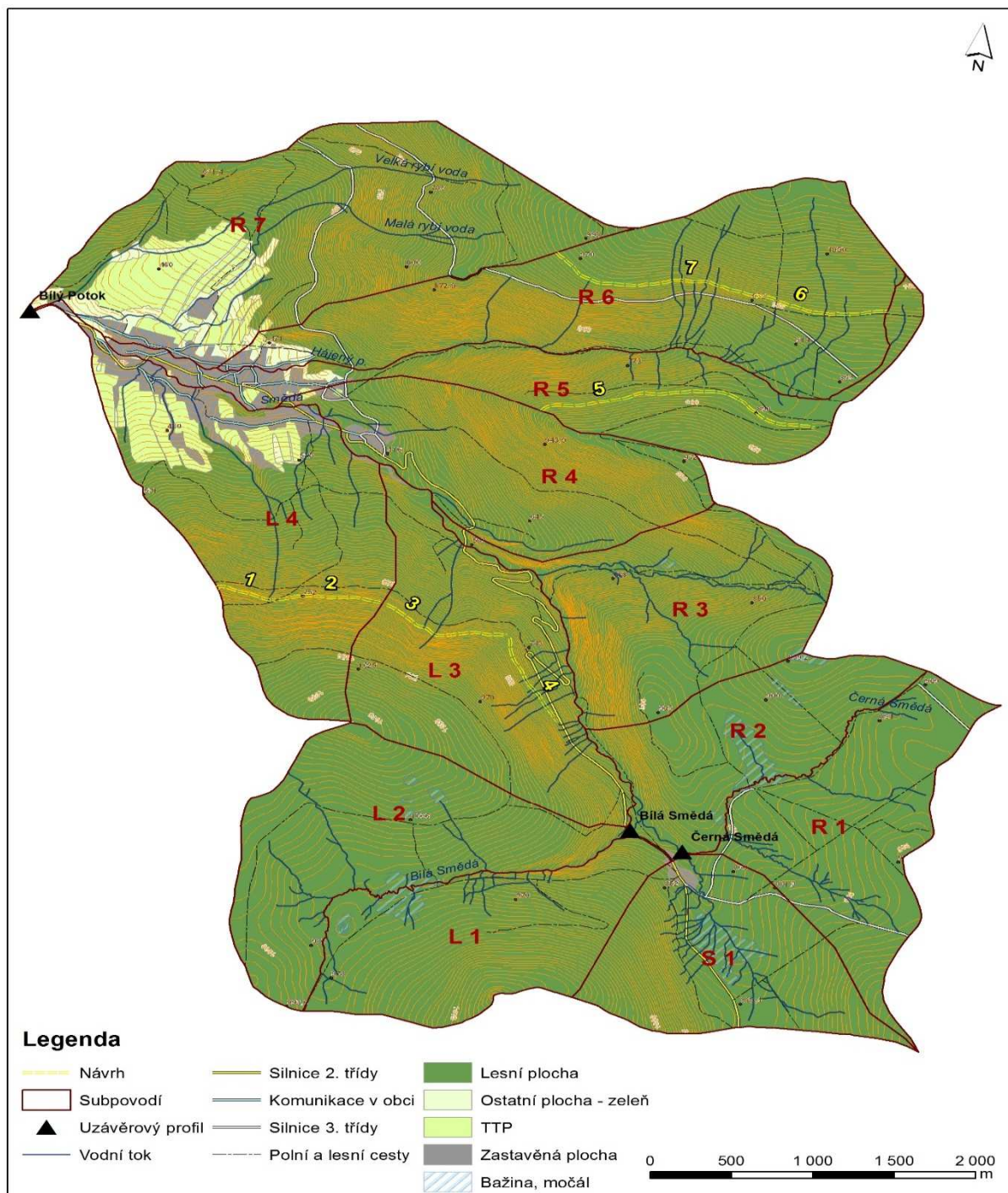
K výpočtům jsme použili opět softwaru DES_RAIN (Vaššová & Kovář, 2011): <http://fzp.czu.cz/vyzkum/>.

Tab. 15: Srážkové úhrny $P_{t,N}$ (mm), stanice Bílý Potok:

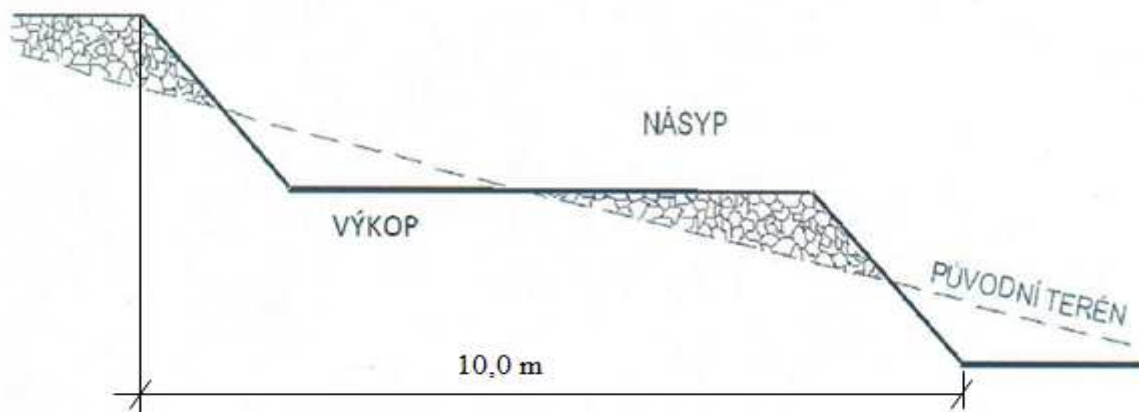
N (roky)	doba trvání srážky t (min)				
	24 h	20'	40'	60'	120'
2	66,8	27,16	32,74	35,47	40,70
5	95,0	41,37	52,07	56,40	64,65
10	113,1	51,67	65,50	70,94	81,24
20	132,0	64,04	81,90	88,71	101,52
50	155,1	79,82	103,61	112,23	128,82
100	173,2	92,15	120,00	129,98	148,91

Dále jsme se důkladně zabývali optimálním návrhem teras, v co možná nejjednodušší trase paralelně s trasou vrstevnic a to na subpovodích, která jsou nejkritičtější, což jsou evidentně dle předchozích experimentálních výpočtů (bez teras) subpovodí R5, R6, R7, L2, L3 a L4. Zde dosahovaly dílčí průtoky z hlediska protipovodňové ochrany urbanizovaného území obce Bílý Potok „vysokých hodnot“.

Obr. 13 poskytuje mapu návrhu uspořádání jedné řady teras ve vrstevnicovém uspořádání jedné řady teras ve vrstevnicovém uspořádání. Obr. 14 ukazuje příčný profil terasy.



Obr. 13: Návrh uspořádání jednořadé terasy na povodí Smědé (1-7), subpovodí R5, R6, R7, L2, L3, L4



Obr. 14: Terasy (Smědá)

Tab. 16: Parametry standardních protipovodňových teras na povodí Smědé.

Terasa č.	Sub-povodí č.	Délka (m)	Celk. délka (m)	Šířka (m)	Sklon (-)	Drsnost - Manning n (-)
5	R5	1 794	1 794	10,0	0,01	0,150
6+7	R6	684 + 1 468	2 152	10,0	0,01	0,150
3+4	L3	821 + 696	1 517	10,0	0,01	0,150
1+2	L4	391 + 634	1 025	10,0	0,01	0,150
		Suma délek =	6 488			

Komentář pro Tab. 16: Pro protipovodňovou ochranu urbanizovaného území Bílého potoka byla vybrána sub-povodí potoka Smědé R5, R6, L3 a L4, kde dosahovaly dílčí N -leté průtoky (území bez teras, $N= 2, 10$ a 20 let) nejvyšších hodnot. R7 a L2 jsou náhradní subpovodí.

Tab. 16 poskytuje parametry standardních povodňových teras (viz Obr. 13) o celkové šířce cca 10 m, centrální část o délce 5 – 7 m a malém sklonu 1,0 – 3,0 % (tj. 0,01- 0,03). Celková délka teras v jednořadovém provedení dosahuje 6 488 m.

Proudění vody z efektivního deště po přímém svahu simulovaného rovinnou deskou (resp. segmentem) je možno vyjádřit rovnicí kinematické vlny jako:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i_e(t) \quad (2-2)$$

$$q = \alpha \cdot y^m \quad (2-3)$$

kde q je průtok na jednotkovou šířku svahu (m^2/s), $i_e(t)$ je intenzita efektivního deště (+laterální přítok) v m/s , α, m jsou hydraulické parametry, t a x jsou souřadnice času (s) a polohy (m). Spojením rovnic dostáváme:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + m \cdot \alpha \cdot y^{m-1} \frac{\partial y}{\partial x} = i_e(t) \quad (2-4)$$

což je obvyklý výraz pro klasickou kinematickou vlnu. Tato rovnice se nedá řešit přímou integrací pouze numerickým schématem (explicitním) má poměrně přesné řešení podle Lax-Wendroffa (1960) pro hloubky vodního proudu:

$$\begin{aligned}
 y_j^{i+1} &= y_j - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \cdot \left[\alpha y_{j+1}^m - \alpha y_{j-1}^m - 2\Delta x (i_e)_j \right] + \\
 &+ \frac{(\Delta t)^2}{4(\Delta x)^2} \cdot \left(\alpha m y_{j+1}^{m-1} + \alpha m y_j^{m-1} \right) \left[\alpha y_{j+1}^m - \alpha y_j^m - \Delta x \cdot (i_e)_j \right] - \\
 &- \frac{(\Delta t)^2}{4(\Delta x)^2} \cdot \left(\alpha m y_j^{m-1} + \alpha m y_{j-1}^{m-1} \right) \left[\alpha y_j^m - \alpha y_{j-1}^m - \Delta x \cdot (i_e)_j \right] + \\
 &+ \frac{\Delta t}{2} \cdot \left[(i_e)_j^{i+1} - (i_e)_j \right]
 \end{aligned}
 \tag{2-5}$$

V této rovnici jsou všechny proměnné, které nejsou označeny horním indexem $i + 1$, považovány za probíhající v časovém kroku i ($i + \Delta t = t + \Delta t$). Dolní index j označuje plošný krok x ($j + \Delta x = x + \Delta x$).

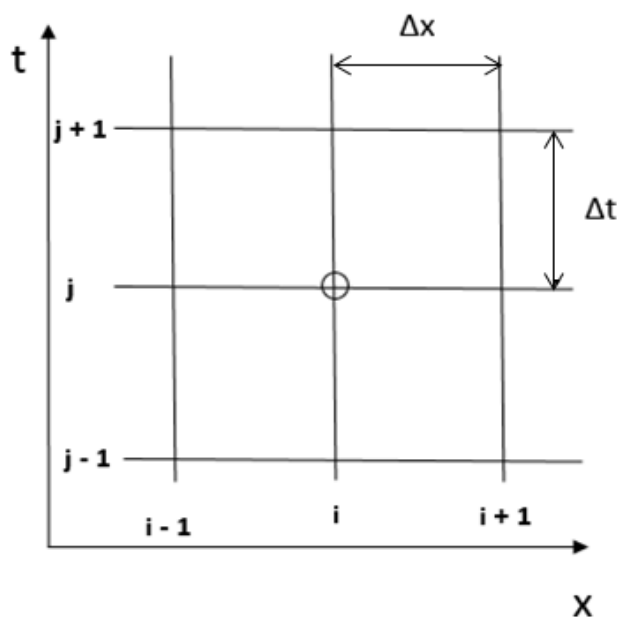
Numerická stabilita řešení je zajištěna, pokud pro časový a polohový krok platí:

$$c \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1
 \tag{2-6}$$

kde pro desku je c rychlost postupivosti vlny

$$c = m \cdot y^{m-1}
 \tag{2-7}$$

Pro orientaci os t (čas) a x (poloha) slouží indexy j (pro t) a i (pro x), jak je uvedeno na geometrické síti Obr. 14.



Obr. 14: Geometrická síť pro numerické schéma

Pro většinu explicitních výpočetních numerických schémat platí tzv. Courant-Léwy podmínka stability, tj. rov. (2-6), kdy c je přibližně:

$$c \cong \sqrt{g \cdot y} \quad (2-8)$$

Explicitní schéma (tj. neznámá je na L. S. rovnice) jsou sice softwarové poměrně rychlá, ale citlivá na stabilitu výpočtu, jestliže je větší rozdíl ve velikosti časového (Δt) a polohového kroku (Δx). Náš software modelu KINFIL, viz numerická schéma rov. 2-5 (také Metodika Příloha B), poskytuje možnost měnit délku výpočtového kroku Δt přímo z klávesnice PC, což je praktické.

Kromě řešení následných hloubek y_j^{i+1} řeší model KINFIL i ostatní proměnné procesu tvorby a transformace povrchového odtoku, především hydraulické rychlosti v_j^i :

$$v_j^i = \alpha_j \cdot (y_j^i)^{m_j-1} \quad (2-9)$$

dále třetí rychlosti $(v^*)_j^i$:

$$(v^*)_j^i = \sqrt{g \cdot Y_j \cdot y_j^i} \quad (2-10)$$

a tangenciální napětí τ_j^i :

$$\tau_j^i = \rho \cdot g \cdot Y_j \cdot y_j^i \quad (2-11)$$

kde α_j , m_j jsou hydraulické parametry, Y_j sklon pozemku (-), g gravitační zrychlení (m/s^2) a ρ hustota vody (kg/m^3). Tato řešení jsou velmi praktická zejména pro výpočty eroze (tangenciální napětí) a pro hydraulické poměry revitalizace vodních toků (hydraulické hloubky, rychlost a tangenciálního napětí), (Kovář et al., 2014).

Je zajímavé, že historické terasy (Verneřice a Knínice) zajišťují i několikanásobně vyšší retenci vody (do hloubky až 0,6 – 0,7 m) s tím, že mocnost teras byla způsobena mnohaletým snosem kamenného materiálu z okolních polí a luk. V současné době jsou nové terasy méně hluboké (cca do 0,3-0,4 m) a tím mají i menší retenci. Proto je třeba pro bezpečná biotechnická opatření je stavět jako vícenásobné řady ve vrstevnicovém uspořádání. Na povodí Smědé byla řešena zpočátku jedna řada teras o šířce 10 m na 4 subpovodí, R5, R6, L3, L4 a marginální plochy subpovodí: R7 a L2 (nejsou zahrnuty ve výpočtu). Každé subpovodí snižuje kulminaci N -letých vod o 1,0 až 2,0 m^3/s (dle velikosti N). Pro vyšší zabezpečení obce Bílý Potok, ležící na povodí o ploše $AR = 26,13$ km^2 , bude třeba postavit alespoň 3 až 5 řad pro snížení kulminaci při $N = 100$ let alespoň o cca 10 m^3/s . Tabulky a grafy představují výsledky výpočtů, snižujících kulminace N -letých průtoků ($N = 2, 10, 100$ let).

Pro názorné porovnání N -letých průtoků na povodí Smědé uvádíme následující sled tabulek a obrázků s krátkým komentářem. Tab. 17 schematizuje mapu povodí z Obr. 13, kde jsou uvedeny geometrické faktory sub-povodí a jejich druh pozemku (landuse).

Tab. 17: Schematizace povodí Smědé pro model KINFIL

Kaskáda/ subpovodí	Plocha (km ²)	Délka povodí (km)	Deska	Plocha (km ²)	Prům. šířka (km)	Délka (km)	Sklon (-)	TTP (%)	Les (%)	Ostatní plocha (%)	Zast. plocha (%)
S1	1,64	1,86	S 11	1,12	0,88	1,26	0,178	0,00	99,30	0,00	0,70
			S 12	0,53		0,60	0,114	0,00	94,60	0,00	5,40
R1	1,84	1,35	R 1	1,84	1,36	1,35	0,070	0,00	99,60	0,00	0,40
R2	1,44	0,75	R 21	0,96	1,93	0,50	0,097	0,00	99,60	0,00	0,40
			R 22	0,48		0,25	0,204	0,00	99,90	0,00	0,10
R3	1,99	1,80	R 31	1,08	1,10	0,98	0,213	0,00	100,00	0,00	0,00
			R 32	0,91		0,83	0,394	0,00	99,90	0,00	0,10
R4	1,91	1,75	R 41	0,97	1,09	0,89	0,243	0,80	91,50	0,00	7,80
			R 42	0,95		0,87	0,424	0,00	100,00	0,00	0,00
R5	1,79	0,78	R 51	0,10	2,29	0,05	0,119	0,00	100,00	0,00	0,00
			R 52	0,41		0,18	0,216	0,00	100,00	0,00	0,00
R6	3,3	1,49	R 53	1,27	2,22	0,56	0,269	1,10	81,10	1,70	16,10
			R 61	0,50		0,23	0,156	0,00	100,00	0,00	0,00
			R 62	1,33		0,60	0,218	0,00	100,00	0,00	0,00
R7	3,46	3,50	R 63	1,47	0,99	0,66	0,380	0,65	93,75	3,06	2,54
			R 71	0,40		0,41	0,180	0,00	100,00	0,00	0,00
			R 72	1,68		1,70	0,317	2,90	95,40	1,70	0,00
L1	1,79	1,18	R 73	1,38	1,51	1,40	0,147	34,70	42,50	15,00	7,80
			L 11	0,62		0,41	0,193	0,00	100,00	0,00	0,00
			L 12	1,17		0,77	0,147	0,00	99,70	0,00	0,30
L2	2,25	1,23	L 21	1,34	1,83	0,73	0,086	0,00	100,00	0,00	0,00
			L 22	0,91		0,50	0,154	0,00	99,93	0,00	0,07
L3	2,33	1,48	L 31	0,36	1,58	0,23	0,157	0,00	100,00	0,00	0,00
			L 32	1,61		1,02	0,415	0,00	98,40	0,00	1,60
			L 33	0,36		0,23	0,273	0,00	94,60	0,00	5,40
L4	2,75	2,67	L 41	0,23	1,03	0,23	0,171	0,00	100,00	0,00	0,00
			L 42	1,03		1,00	0,403	0,00	100,00	0,00	0,00
			L 43	1,49		1,45	0,164	24,70	52,00	2,00	21,30

Řadové terasy, jako ochrana urbanizovaného území, které bývá již v okolí uzavěrového profilu, pokud zaujímají příčné profily svahového odtoku, jsou vrstevnicového směru a menší na povodí Smědé téměř 6,5 km v jednořadovém provedení. To při ploše povodí 26,13 km² zaujímá plochu 0,423 km², což činí 1,6 % plochy povodí. Tato plocha podle CN praktik může snížit bodovou hodnotu CN-křivky o 1,5 – 2 body, ale na druhé straně je 1,6 % plochy málo k tomu, aby podstatně snížilo bezpečnost protipovodňové ochrany. Proto se většinou počítá se 3 – 5 řadovou konfigurací teras. Tab. 18 uvádí snížení hodnot CN a současně dle Metodiky CN-křivek (viz Příloha D: viz Manuál metodiky CN-křivek)

a přináší zvýšení hodnot hydraulické vodivosti K_s a retenčního sacího tlaku S_f (+ sorptivity při PVK), viz Tab. 18).

Tab. 18: Výsledné regresní vztahy $CN = f(K_s, S_f)$, uspořádání a plochy teras

STAV	POČET ŘAD	CN	K_s	S_f	PLOCHA TERAS	
		-	mm.h ⁻¹	mm	km ²	%
bez teras	-	77	1,86	22,60	-	-
s terasami	1	75	2,02	20,75	0,423	1,61
	3	71	3,63	18,34	1,270	4,86
	5	67	5,20	16,60	2,120	8,11

Tabulka 18 také reflektuje výsledné regresní vztahy $CN = f(K_s, S_o, S_f)$ viz Příloha D. Následují tabulky s grafy, porovnávající nejkritičtější N -leté průtoky ve škále $N = 2$, $N = 10$ a $N = 100$ let. Jednoznačně se ukázaly deště s trváním $TD = 40$ min, jako nejnebezpečnější. Jen o méně kritické jsou vzhledem k velikosti plochy povodí deště o délce $TD = 60$ min. Tři grafy na následujících obrázcích jsou $N = 2$, 10 a 100 leté průtoky ze 40 min dešťů, vždy bez teras a současně srovnatelné s 5-řadovou terasovou ochranou na Tab. 19 až Tab. 24. Porovnáním situace bez teras a s 5-řadými terasami lze dosáhnout protipovodňové ochrany povodí, včetně obce Bílý Potok. Dále jsou zařazeny v této studii ještě tři další grafy na Obr. 16 až 18 se všemi třemi alternativami, tj. 1, 3 až 5-řadými terasovými stavbami.

Tab. 19: Maximální 2 - leté průtoky (40 min) bez teras a s 5-řadými terasami

Pořadí	čas	Q - bez teras	Q - 5 řad teras
	h	m ³ /s	m ³ /s
1	0,333	0,444	0,359
2	0,666	6,076	5,765
3	1,000	16,400	15,742
4	1,333	29,585	28,999
5	1,666	27,029	26,629
6	2,000	23,718	23,473
7	2,333	18,881	18,726
8	2,666	14,414	14,311
9	3,000	11,181	11,110
10	3,333	8,912	8,861
11	3,666	7,263	7,225
12	4,000	6,008	5,979
13	4,333	5,067	5,044
14	4,666	4,324	4,306
15	5,000	3,667	3,652
16	5,333	3,088	3,076
17	5,666	2,602	2,592
18	6,000	2,204	2,195
19	6,333	1,879	1,872
20	6,666	1,615	1,609
21	7,000	1,401	1,396
22	7,333	1,224	1,219
23	7,666	1,076	1,072
24	8,000	0,951	0,947
25	8,333	0,845	0,842
26	8,666	0,756	0,753
27	9,000	0,680	0,677
28	9,333	0,614	0,612

29	9,666	0,556	0,554
30	10,000	0,506	0,504

Tab. 20: Průtoky z jednotlivých subpovodí Smědě (bez teras) $N = 2$, $TD = 40$ min, Q m³/s)

S-1	R1-1	R2-2	R3-2	R4-2	R5-3	R6-3	R7-3	L1-2	L2-2	L3-3	L4-3
0,020	0,024	0,029	0,023	0,024	0,080	0,046	0,026	0,039	0,048	0,056	0,028
0,276	0,334	0,405	0,320	0,329	1,098	0,635	0,352	0,537	0,667	0,749	0,374
0,766	0,928	1,155	0,890	0,915	3,033	1,764	0,979	1,493	1,842	1,603	1,033
1,401	1,767	2,633	1,692	1,751	4,866	3,448	1,864	2,873	3,165	2,783	1,342
1,139	1,769	2,604	1,626	1,953	2,726	4,409	1,859	2,951	2,795	2,511	0,687
0,964	1,746	1,757	1,422	2,453	1,474	4,524	1,792	2,232	2,498	2,519	0,338
0,904	1,647	1,114	1,254	2,139	0,827	3,434	1,627	1,450	2,021	2,287	0,176
0,911	1,437	0,727	1,206	1,565	0,496	2,351	1,445	0,967	1,460	1,749	0,100
0,879	1,163	0,491	1,180	1,110	0,317	1,674	1,355	0,661	1,041	1,249	0,062
0,812	0,902	0,344	1,085	0,812	0,214	1,210	1,363	0,467	0,758	0,904	0,041
0,710	0,692	0,250	0,935	0,614	0,151	0,905	1,394	0,340	0,566	0,676	0,029
0,598	0,537	0,187	0,778	0,469	0,111	0,692	1,408	0,255	0,433	0,520	0,021
0,495	0,423	0,143	0,638	0,365	0,084	0,539	1,424	0,196	0,338	0,407	0,016
0,408	0,339	0,112	0,522	0,291	0,066	0,430	1,397	0,154	0,269	0,324	0,012
0,337	0,276	0,090	0,430	0,236	0,052	0,348	1,284	0,124	0,217	0,262	0,010
0,281	0,228	0,073	0,358	0,194	0,042	0,285	1,124	0,101	0,178	0,215	0,008
0,237	0,190	0,060	0,302	0,161	0,035	0,235	0,965	0,083	0,148	0,179	0,006
0,202	0,161	0,051	0,256	0,136	0,029	0,197	0,823	0,070	0,125	0,150	0,005
0,173	0,137	0,043	0,220	0,116	0,024	0,167	0,701	0,059	0,106	0,128	0,005
0,149	0,117	0,037	0,191	0,101	0,021	0,144	0,601	0,051	0,091	0,110	0,004
0,130	0,102	0,032	0,167	0,088	0,018	0,124	0,520	0,044	0,079	0,095	0,003
0,114	0,089	0,028	0,146	0,077	0,016	0,108	0,455	0,038	0,069	0,082	0,003
0,101	0,078	0,024	0,129	0,067	0,014	0,095	0,401	0,034	0,060	0,072	0,003
0,089	0,069	0,021	0,114	0,059	0,012	0,083	0,355	0,030	0,053	0,063	0,002
0,079	0,061	0,019	0,102	0,052	0,011	0,074	0,317	0,027	0,047	0,056	0,002
0,071	0,055	0,017	0,091	0,045	0,009	0,066	0,284	0,024	0,042	0,050	0,002
0,064	0,049	0,015	0,082	0,040	0,008	0,059	0,256	0,021	0,038	0,044	0,002
0,058	0,045	0,014	0,074	0,036	0,008	0,053	0,232	0,019	0,034	0,040	0,001
0,052	0,041	0,012	0,067	0,033	0,007	0,048	0,211	0,017	0,031	0,036	0,001
0,047	0,037	0,011	0,061	0,030	0,006	0,044	0,192	0,015	0,028	0,033	0,001

Tab. 21: Maximální 10-ti leté průtoky (40 min) bez teras a s 5-řadými terasami

Pořadí	čas		Q - bez teras		Q - 5 řad teras	
	h		m ³ /s		m ³ /s	
1	0,333		4,461		4,252	
2	0,666		20,023		18,913	
3	1,000		42,347		40,005	
4	1,333		67,069		64,454	
5	1,666		53,926		52,618	
6	2,000		38,737		38,091	
7	2,333		27,635		27,296	
8	2,666		20,400		20,205	
9	3,000		15,540		15,419	
10	3,333		12,181		12,101	
11	3,666		9,580		9,524	
12	4,000		7,507		7,466	
13	4,333		5,920		5,889	
14	4,666		4,735		4,711	
15	5,000		3,843		3,824	
16	5,333		3,164		3,149	
17	5,666		2,643		2,631	
18	6,000		2,235		2,225	
19	6,333		1,909		1,900	
20	6,666		1,644		1,637	
21	7,000		1,427		1,421	
22	7,333		1,248		1,242	
23	7,666		1,097		1,092	

24	8,000	0,970	0,966
25	8,333	0,862	0,858
26	8,666	0,769	0,766
27	9,000	0,690	0,687
28	9,333	0,622	0,619
29	9,666	0,563	0,561
30	10,000	0,512	0,510

Tab. 22: Průtoky z jednotlivých subpovodí Smědé (bez teras) $N = 10$, $TD = 40$ min, Q m³/s)

S1-2	R1-1	R2-2	R3-2	R4-2	R5-3	R6-3	R7-3	L1-2	L2-2	L3-3	L4-3
0,201	0,244	0,296	0,234	0,241	0,802	0,464	0,257	0,393	0,487	0,559	0,282
0,932	1,128	1,380	1,083	1,113	3,704	2,146	1,190	1,815	2,248	2,041	1,243
2,006	2,516	3,735	2,410	2,491	7,061	4,890	2,654	4,085	4,549	3,979	1,971
2,884	4,334	5,836	3,958	4,863	7,460	10,448	4,548	6,985	7,155	6,578	2,021
2,453	4,199	3,802	3,407	5,417	3,675	9,522	4,253	4,619	5,718	5,954	0,908
2,220	3,615	2,227	3,079	4,055	1,788	6,475	3,726	2,856	3,864	4,434	0,398
2,116	2,717	1,327	2,810	2,700	0,937	4,184	3,431	1,753	2,535	2,932	0,194
1,820	1,923	0,824	2,407	1,828	0,538	2,772	3,375	1,104	1,701	2,003	0,106
1,446	1,365	0,537	1,875	1,264	0,334	1,889	3,456	0,727	1,174	1,409	0,065
1,115	0,994	0,368	1,436	0,904	0,222	1,336	3,418	0,501	0,835	1,011	0,042
0,860	0,743	0,262	1,103	0,664	0,155	0,975	3,075	0,359	0,612	0,741	0,029
0,673	0,569	0,194	0,862	0,500	0,113	0,732	2,557	0,266	0,461	0,558	0,021
0,534	0,444	0,148	0,686	0,388	0,086	0,565	2,066	0,203	0,356	0,429	0,016
0,431	0,353	0,115	0,554	0,307	0,066	0,445	1,675	0,159	0,280	0,337	0,012
0,353	0,285	0,092	0,453	0,246	0,053	0,356	1,373	0,127	0,225	0,270	0,010
0,293	0,234	0,074	0,376	0,200	0,043	0,289	1,141	0,103	0,184	0,219	0,008
0,245	0,195	0,061	0,315	0,165	0,035	0,239	0,964	0,085	0,152	0,181	0,006
0,207	0,165	0,051	0,267	0,138	0,029	0,200	0,823	0,070	0,127	0,151	0,005
0,177	0,140	0,043	0,228	0,117	0,025	0,170	0,709	0,059	0,108	0,128	0,005
0,153	0,121	0,037	0,196	0,101	0,021	0,145	0,615	0,051	0,092	0,110	0,004
0,133	0,105	0,032	0,170	0,087	0,018	0,125	0,537	0,043	0,080	0,095	0,003
0,116	0,091	0,028	0,148	0,076	0,016	0,109	0,471	0,038	0,070	0,083	0,003
0,102	0,080	0,024	0,131	0,066	0,014	0,095	0,416	0,033	0,061	0,073	0,003
0,091	0,070	0,021	0,116	0,058	0,012	0,084	0,368	0,029	0,054	0,064	0,002
0,081	0,062	0,019	0,103	0,051	0,011	0,074	0,327	0,026	0,048	0,057	0,002
0,072	0,055	0,017	0,093	0,046	0,009	0,066	0,292	0,023	0,043	0,051	0,002
0,065	0,050	0,015	0,083	0,041	0,008	0,059	0,263	0,021	0,038	0,045	0,002
0,059	0,044	0,014	0,075	0,037	0,008	0,054	0,237	0,019	0,035	0,041	0,001
0,053	0,040	0,012	0,068	0,033	0,007	0,048	0,215	0,017	0,031	0,037	0,001
0,048	0,036	0,011	0,062	0,030	0,006	0,044	0,196	0,015	0,028	0,033	0,001

Tab. 23: Maximální 100 - leté průtoky (40 min) bez teras a s 5-řadými terasami

Pořadí	čas		Q - bez teras		Q - 5 řad teras
	h	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
1	0,333	19,226			17,906
2	0,666	69,224			64,570
3	1,000	129,138			123,765
4	1,333	167,356			161,927
5	1,666	105,956			103,828
6	2,000	67,480			66,622
7	2,333	44,925			44,524
8	2,666	30,333			30,117
9	3,000	20,845			20,715
10	3,333	14,843			14,759
11	3,666	10,963			10,905
12	4,000	8,332			8,290
13	4,333	6,476			6,444
14	4,666	5,127			5,103
15	5,000	4,125			4,106
16	5,333	3,368			3,353
17	5,666	2,789			2,776
18	6,000	2,339			2,329

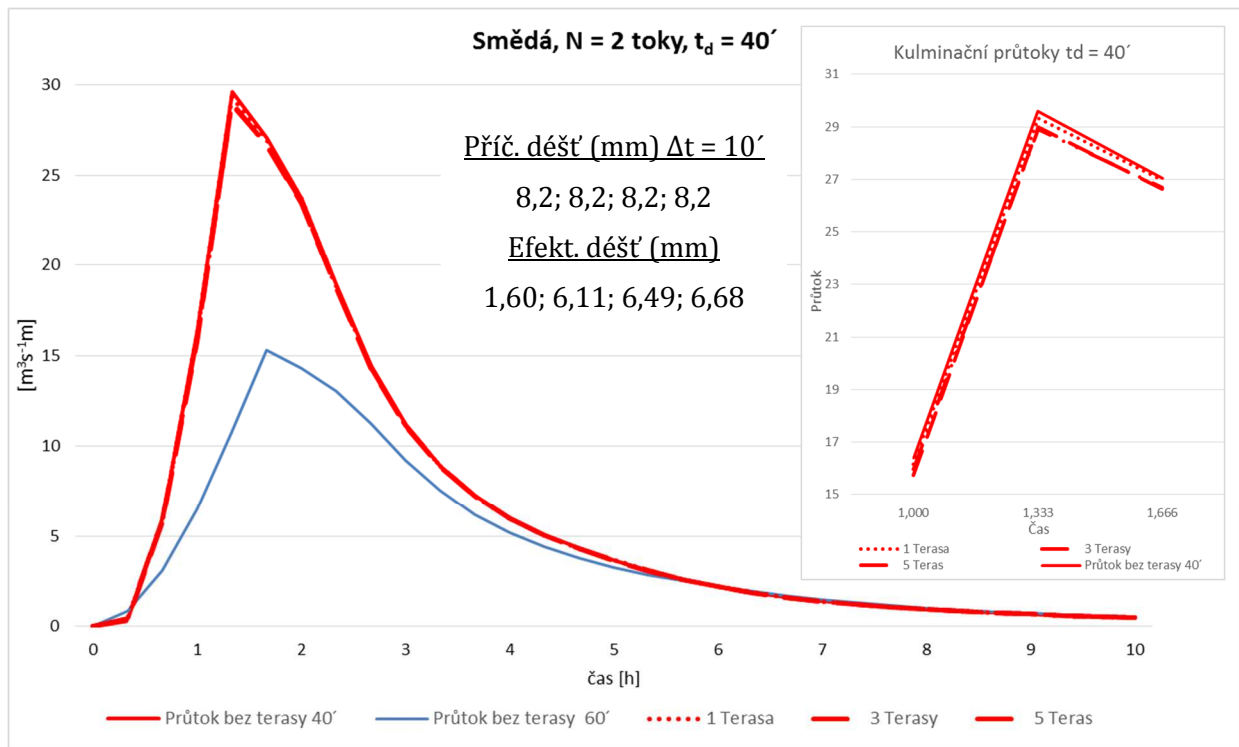
19	6,333	1,983	1,974
20	6,666	1,698	1,690
21	7,000	1,466	1,460
22	7,333	1,275	1,269
23	7,666	1,117	1,112
24	8,000	0,985	0,981
25	8,333	0,874	0,870
26	8,666	0,779	0,776
27	9,000	0,699	0,696
28	9,333	0,629	0,626
29	9,666	0,569	0,567
30	10,000	0,517	0,515

Tab. 24 : Průtoky z jednotlivých subpovodí Smědé (bez teras) $N = 100$, $TD = 40$ min, Q m³/s)

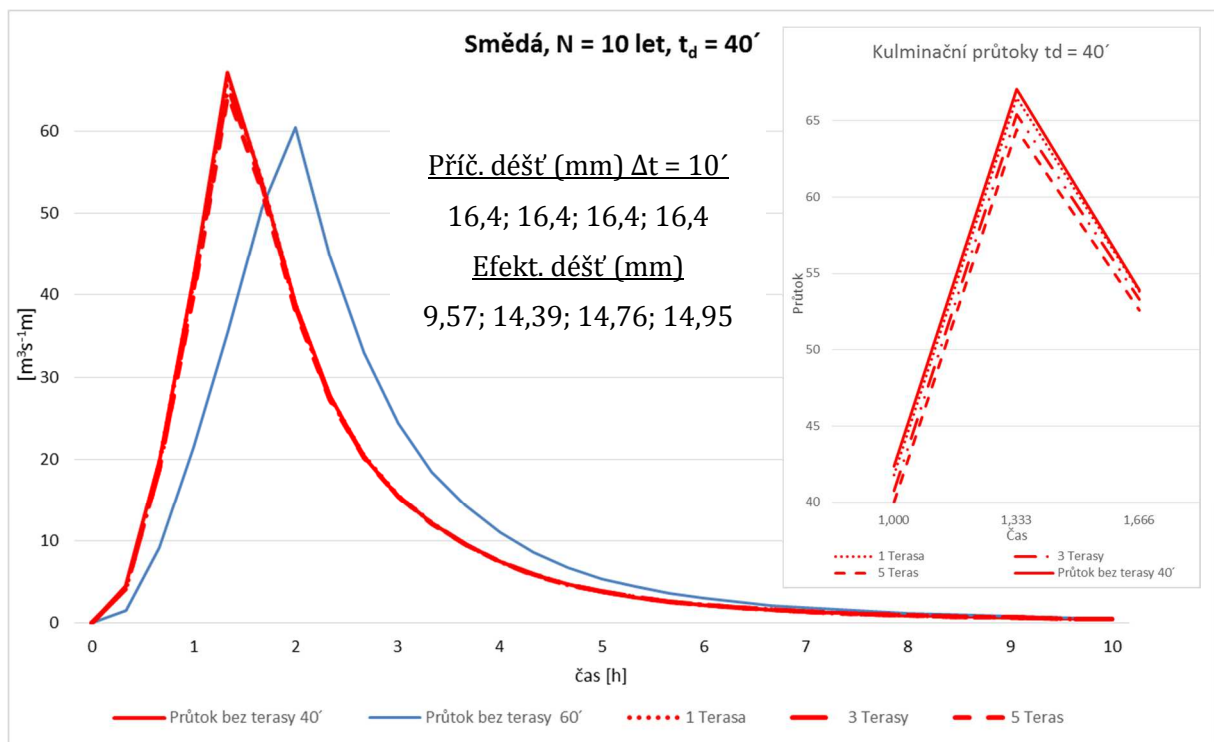
S1-2	R1-1	R2-2	R3-2	R4-2	R5-3	R6-3	R7-3	L1-2	L2-2	L3-3	L4-3
0,877	1,062	1,287	1,019	1,048	3,493	2,020	1,121	1,709	2,120	2,317	1,153
3,268	4,008	5,767	3,844	3,957	12,294	7,670	4,228	6,468	7,571	6,486	3,664
5,556	8,368	11,138	7,618	9,490	14,215	20,231	8,777	13,384	13,496	12,711	3,954
8,380	13,102	11,455	11,178	15,085	14,356	26,099	13,347	14,083	17,831	18,556	3,884
6,945	9,489	6,230	9,571	9,879	5,669	16,535	11,851	7,712	9,868	10,862	1,347
5,391	5,927	3,123	7,031	6,118	2,305	9,584	11,081	4,091	5,736	6,605	0,488
3,757	3,734	1,657	4,863	3,647	1,089	5,539	10,776	2,220	3,401	4,026	0,216
2,600	2,432	0,955	3,363	2,274	0,590	3,374	8,705	1,295	2,104	2,527	0,114
1,844	1,642	0,595	2,386	1,484	0,355	2,181	6,457	0,811	1,370	1,653	0,067
1,341	1,151	0,396	1,732	1,014	0,232	1,487	4,837	0,541	0,937	1,130	0,044
1,000	0,837	0,277	1,289	0,724	0,161	1,058	3,735	0,379	0,668	0,804	0,030
0,762	0,626	0,203	0,981	0,535	0,116	0,780	2,942	0,277	0,494	0,593	0,022
0,594	0,481	0,153	0,764	0,407	0,087	0,592	2,347	0,209	0,376	0,450	0,016
0,472	0,377	0,118	0,606	0,318	0,067	0,461	1,890	0,162	0,293	0,350	0,012
0,382	0,301	0,094	0,489	0,254	0,053	0,366	1,537	0,129	0,233	0,278	0,010
0,313	0,245	0,076	0,401	0,206	0,043	0,297	1,263	0,104	0,189	0,225	0,008
0,260	0,202	0,062	0,332	0,170	0,035	0,244	1,051	0,086	0,156	0,185	0,006
0,219	0,169	0,052	0,279	0,142	0,029	0,204	0,885	0,071	0,130	0,154	0,005
0,186	0,143	0,044	0,237	0,119	0,025	0,172	0,753	0,060	0,110	0,131	0,005
0,159	0,123	0,037	0,203	0,102	0,021	0,147	0,646	0,051	0,094	0,112	0,004
0,137	0,106	0,032	0,175	0,088	0,018	0,126	0,558	0,044	0,081	0,097	0,003
0,119	0,093	0,028	0,153	0,076	0,016	0,110	0,485	0,038	0,070	0,084	0,003
0,105	0,081	0,024	0,134	0,067	0,014	0,096	0,425	0,033	0,061	0,074	0,003
0,092	0,072	0,021	0,118	0,059	0,012	0,084	0,375	0,029	0,054	0,066	0,002
0,082	0,064	0,019	0,105	0,052	0,011	0,075	0,332	0,026	0,048	0,058	0,002
0,073	0,057	0,017	0,094	0,046	0,009	0,067	0,296	0,023	0,043	0,052	0,002
0,066	0,052	0,015	0,084	0,041	0,008	0,060	0,265	0,021	0,038	0,047	0,002
0,059	0,047	0,014	0,076	0,037	0,007	0,054	0,239	0,019	0,034	0,042	0,001
0,054	0,042	0,012	0,069	0,034	0,007	0,049	0,216	0,017	0,031	0,038	0,001
0,049	0,038	0,011	0,063	0,031	0,006	0,044	0,197	0,015	0,028	0,034	0,001

Tab. 25: Účinek teras na povodí Smědé, $N = 2, 10$ a 100 , $TD = 40$ a 60 min: Efektivní dešť: 5-řadové terasy

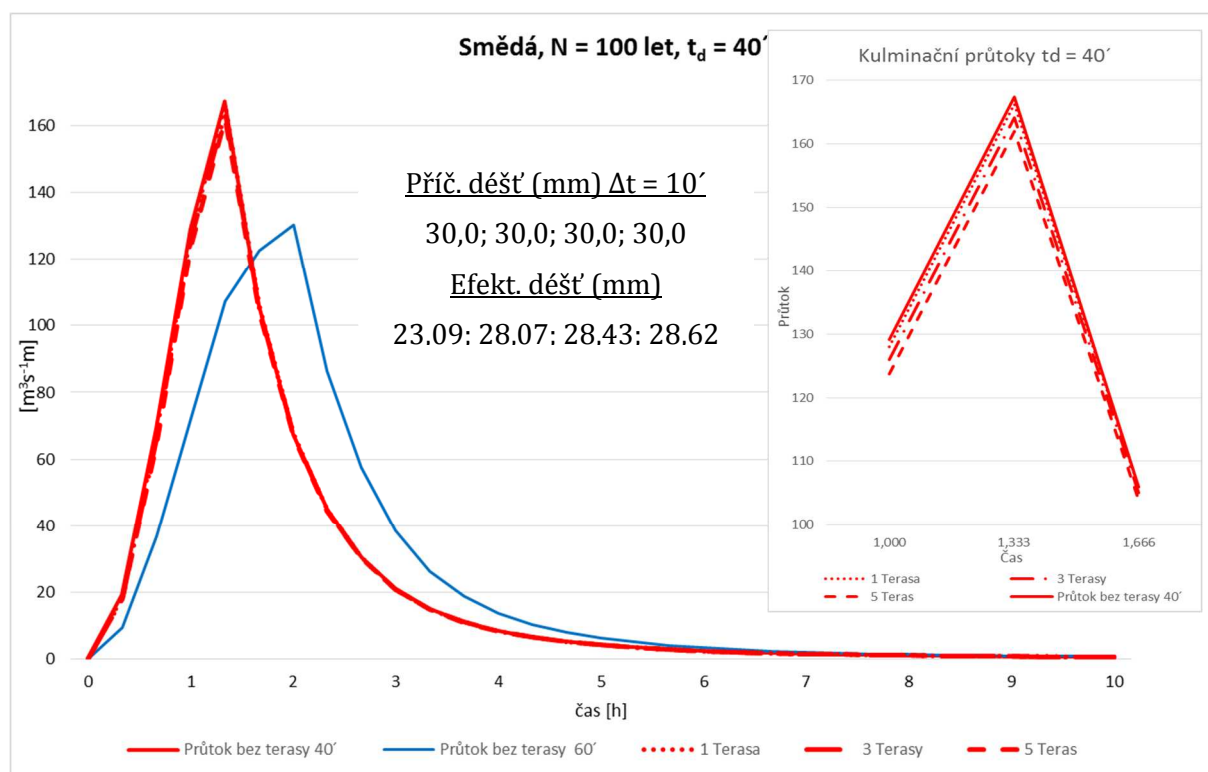
Doba opakování N (roky)	Trvání deště t_d (min)	Efektivní dešť	
		bez teras RER (mm)	s terasami RER_T (mm)
2	40	23,9	23,1
	60	24,2	23,2
10	40	56,7	55,9
	60	59,7	58,7
100	40	112,2	110,4
	60	118,8	117,8



Obr. 16: Smědá, N = 2 toky, $t_d = 40'$



Obr. 17: Smědá, N = 10 let, $t_d = 40'$



Obr. 18: Smědá, $N = 100$ let, $t_d = 40'$

Závěry

Protipovodňová ochrana terasami, jako biotechnickým opatřením, se v hydraulické analýze neukázala jako příliš účinná vzhledem ke skutečnosti, že pro zabezpečení obce Bílý Potok by bylo třeba 5 řad terasového uspořádání, což je náročné ekonomicky i technicky. Porovnání tabelárních výsledků Tab. 19 a Tab. 25 sice ukazuje „výpočetní“ správnost této ochrany, nicméně kombinace 3 řad teras se dvěma poldry by zřejmě byla účinnější a finančně příznivější (viz kapitola 6).

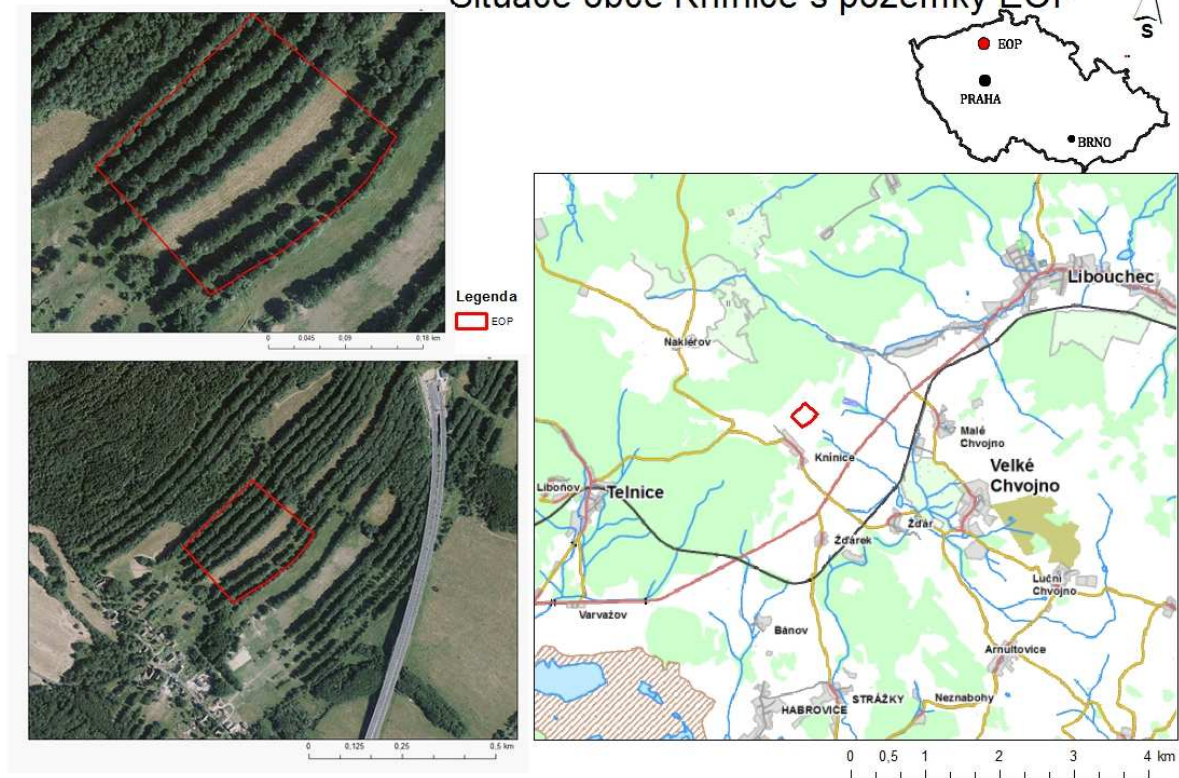
2.4 Biotechnická opatření ke snížení účinků eroze (Model KINFIL): Terasy: PŘÍPADOVÁ STUDIE EOP Knínice

Struktura krajiny je jedním z významných faktorů ovlivňujících geomorfologickou diverzitu, biodiverzitu a tím i ekologickou hodnotu krajiny (Langlois et al., 2001). Tyto faktory krajiny se mění v čase a prostoru jak přírodními vlivy, tak i hospodářskou činností. V některých příhraničních oblastech České republiky (zejména SZ) je možno pozorovat v krajině prvky s převládajícím parametrem délky, jejichž původ je antropogenní a sahá od středověku, do období kolonizace země (Lów & Míchal, 2003). Příkré svahy, které jsou opatřeny terasami vytvořenými snosem kamene z polí po dobu života řady generací po staletí od začátku kolonizace až do téměř poloviny 20. století. Tvořily tak důmyslný protierozní systém ochrany polí. Rozměry těchto teras se pohybují v různých hodnotách výšky, šířky a délky, zejména v závislostech na sklonu a délce svahu, blíže v popisu lokality. Všechny tyto historické pozůstatky středověké krajiny však mají důležité krajinotvorné a stabilizační vlastnosti (Mérot, 1999; Marshal & Moonen, 2002). Bohužel tyto zajímavé a důležité prvky z dnešní krajiny poměrně rychle mizí a jejich estetická, ekologická a stabilizační funkce krajiny se tak rychle vytrácí (Sklenička et al., 2009).

Způsob využití krajiny (land use) je významnou charakteristikou a značně ovlivňuje její hydrologické vlastnosti, zvláště retenci a akumulaci vody i retardaci odtoku. V případě výstavby a údržby teras, vytvářených snosem kamenů a balvanů z vlastních i přilehlých pozemků jde o historický proces, vyvolaný nutností obživy rodin majitelů pozemků, podporujících zemědělskou činnost, bez které by tehdejší obyvatelstvo nemohlo přežít. Význam teras autorky studijních prací Machová a Elznicová (2009; 2010) hodnotí velmi pozitivně a označují je termínem „agrární valy“. Jejich výskyt zaznamenávají zejména v Krušnohoří (Adolfov, Fojtovice, Knínice, Libouchec, aj.) a v severní části Českého středohoří (Oblík, Verneřice, aj.). Na terasách těchto lokalit je bohaté druhové zastoupení stromů, keřů i bylinného patra. Ze stromů a keřů to jsou zejména *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, *Tilia cordata*, *Corylus avellana*, *Primus avium*, *Prunus spinosa* a *Carpinus betulus*. Z dominantních bylin (celkem asi 60 druhů) jsou převážně zastoupeny *Impatiens parviflora* a *Geranium Robertianum* (Machová & Elznicová, 2010). Ze zajímavých terasových území jsme vybrali pro Závěrečnou zprávu 2015 lokalitu **Verneřice**, které má nižší a užší terasy, vzájemně dále od sebe. V Krušnohoří jsme vyhodnotili jako velmi zajímavé terasy v lokalitě **Knínice**, se značným převýšením objektů, hustě uspořádaných tak, že tvoří celou třetinu situační plochy svažitého území dřívějšího pole a nynější pastviny pro skot a koně. Lokalita Knínice byla vybrána pro Certifikovanou Metodiku, jako historickou, velmi dobře protierozně chráněnou lokalitu.

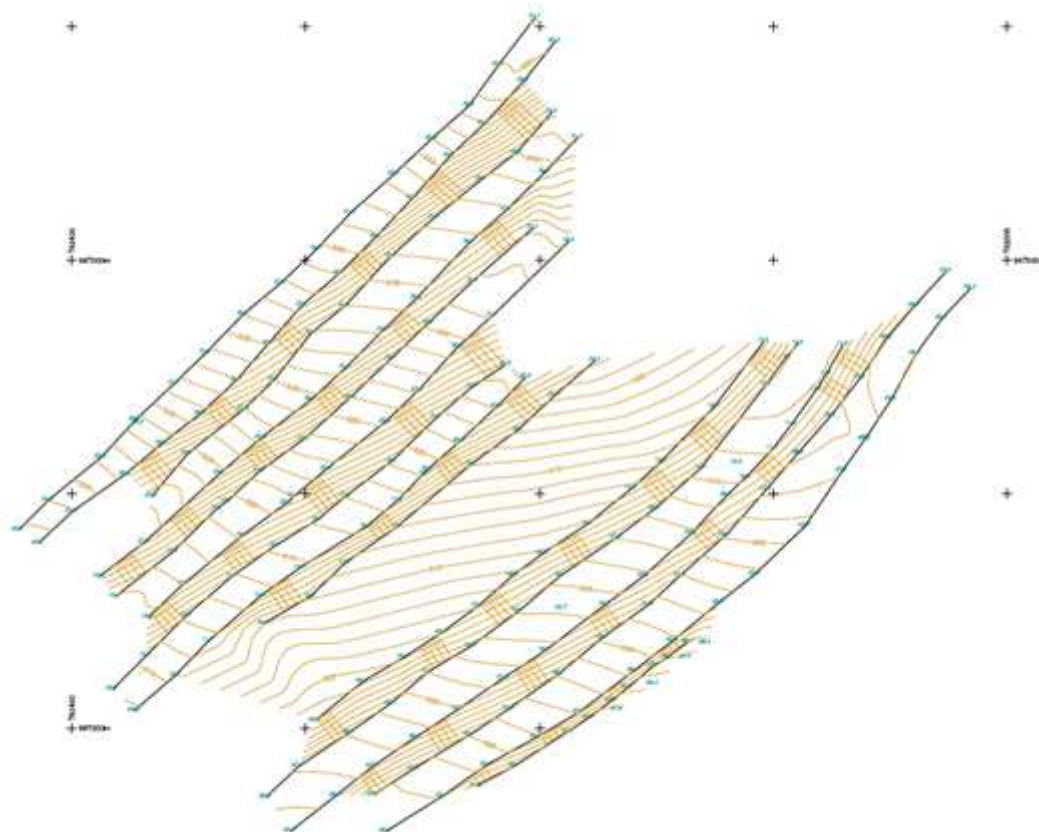
Experimentální odtoková plocha Knínice je zřejmě historicky nejlépe chráněná lokalita s terasami na území Českého středohoří (oblast Libouchec), zaujímá plochu 2,207 ha, která je cca 20krát menší, než plocha EOP Verneřice (40,02 ha). Byla tedy vybrána pro detailnější studium a je rovněž ukázkou velmi dobře protierozně chráněné ještě orné půdy (nyní TTP na orné půdě) systémem 7 stabilních teras. Historicky to svědčí o cílevědomé a vícegenerační snaze zdejší úrodnou půdu chránit terasami proti půdnímu splachu erozními dešti. Výřez z mapy na Ob. 19 ukazuje situaci obce Knínice s pozemkem EOP. Obr. 20 poskytuje naše vlastní (KBÚK FŽP ČZU v Praze) zaměření tohoto pozemku, kde 1/3 výměry z celkové plochy je „využita“ na terasy s příkrým sklonem a překvapující skladbou pečlivě rovných kamenů (snosem z polí) podobně jako se v dnešní době rovnají gabionové konstrukce (za účelem stabilních náspů silnic a železnic). Podélný profil (ve směru odtoku vody) se sklony 0,35–0,61 a sklonu pásů orné půdy 0,04–0,12 je ukázkou intuitivního zabezpečení alespoň proti 20letým povrchovým odtokům z návrhových dešťů stejné periodicity. Převýšení tohoto území na délku 221 m je $H = 537,33 \text{ m n. m.} - 497,31 \text{ m n. m.} = 40,02 \text{ m}$. V dnešní době se pěstuje trvalý travní porost (TTP) na orné půdě, který bývá pravidelně spásán, nebo sečen jako zimní zásoba pro skot a koně. Na Obr. 21 je vykreslen podélný profil, který v obvyklém měřítku výšek ilustruje převýšení.

Situace obce Knínice s pozemky EOP

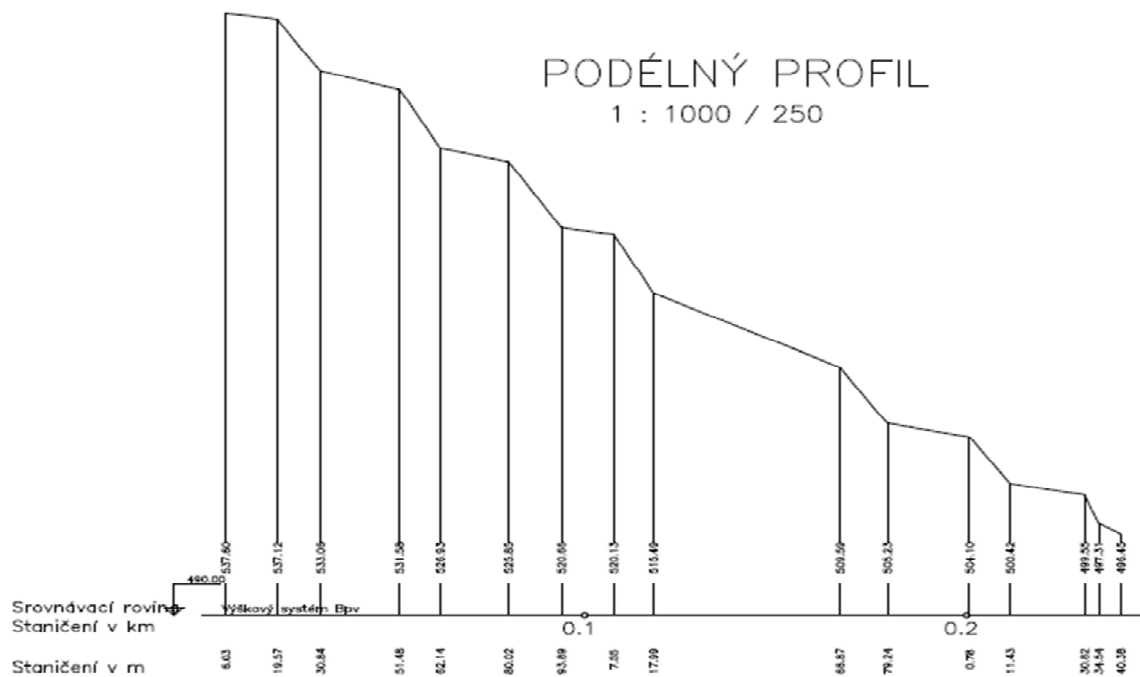


Obr. 19: Situace obce Knínice s pozemky EOP

Zpracování N-letých srážek bylo opět provedeno metodickým postupem redukce 1-denních srážek (Hrádek & Kovář, 1994) s určením lokálních parametrů a , c srážkoměrné stanice Ústí n. L., Kočkov a dále softwarem, který je součástí navrhovaného softwaru DES_RAIN (Kovář et al., 2014), viz na <http://fzp.czu.cz/vyzkum/>. Za obligátního předpokladu stejné periodicity výskytu srážka versus odtok byl opět použit model KINFIL (Kovář & Vaššová, 2012) pro simulaci průtoků N-letých srážek (Kovář et al., 2012).



Obr. 20: Zaměření EOP Knínice (původní měřítko 1 : 1 000)



Obr. 21: Podélný profil (pův. měřítko 1 : 1 000/1 : 250)

Měření půdních hydraulických parametrů nasycené hydraulické vodivosti K_s a sorptivity S při hodnotě polní vodní kapacity (PVK) bylo poměrně pracné, zejména na terasách, kde skladba kamenů vyžadovala nejen jejich stabilitu (odhad šířky terasy), ale i homogenitu, kde záleželo na průměrné velikosti mezer kamenů (makropórů). Tyto hydraulické parametry teras byly měřeny infiltrometrem třikrát na každé terase, TTP pásy mezi nimi pouze dvakrát pro poměrnou shodu výsledků z obou parametrů K_s a S (infiltrometr typ Sůva, 2015), softwarový program počítal retenční součinitele sacího tlaku S_f (Verdin & Morel-Seytoux, 1981). Výsledky poskytuje Tab. 25. Dále Tab. 26 ukazuje strukturu a rozměry pásů TTP a ochranných teras s délkou, šířkou, sklonem a Manningovými drsnostmi. Spádnicové délky TTP vykazaly v součtu svých průměrů 147,6 m s průměrným sklonem 6 %, terasy 73,1 m s průměrným sklonem 42 %. Celkový horizontální průmět spádnice činí 220,7 m (zaokrouhlo 221 m). Z toho vyplývá téměř přesný poměr odtokových délek, které zauímají pásy TTP (2/3) a terasy (1/3). Pro plochu TTP a teras při určování infiltrace příčných návrhových N -letých dešťů tak, abychom vypočítali N -leté efektivní deště (tj. ty, které vytvářejí povrchový odtok), je třeba vypočítat vážený průměr „kombinovaných“ parametrů K_s a S (včetně S_f) i sklonu vážených průměrů pásů TTP a teras. Návodem je skutečnost, že při celkovém průměrném sklonu pozemku téměř 20 %, je třeba počítat s tím, že na 1/3 spádnicové délky pozemku je třeba zbudovat terasy, které jsou s to zbývající 2/3 délky pozemku protierozně ochránit. Někteří místní obyvatelé potvrzují, že takto chráněný pozemek je na místě již po řadu století.

Tab. 25: Hodnoty hydraulické vodivosti K_s a sorptivity S na EOP Knínice

Parametr	Měření mimo terasy	Měření na terase
Hydraulická vodivost K_s ($m h^{-1}$)	7,0	30,0
Sorptivita S ($mm h^{0,5}$)	19,8	34,6
Součinitel sacího tlaku S_f (mm)	28,0	20,0

Tab. 26: Schematizace povodí Knínice pro model KINFIL

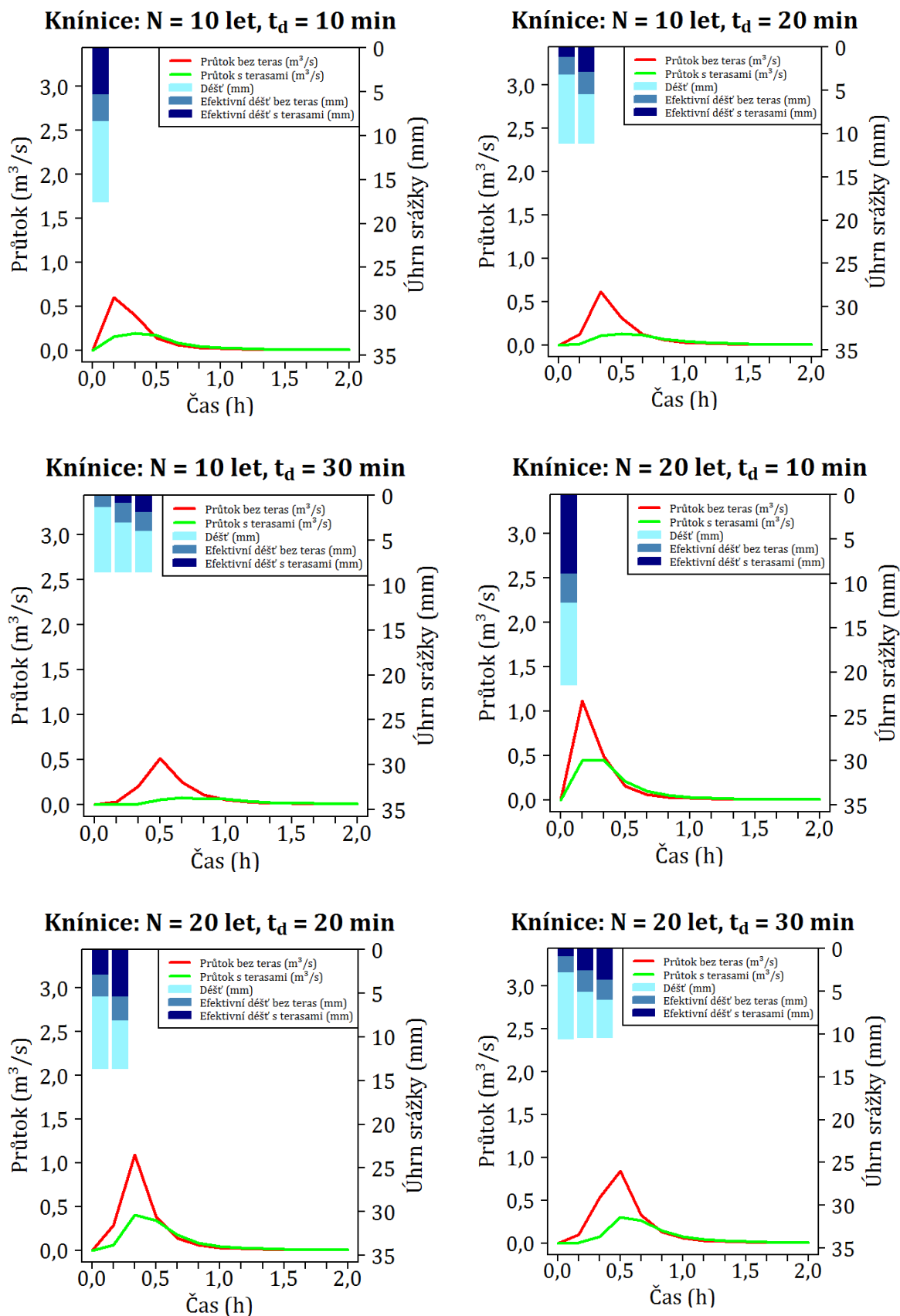
LOUKA				TERASY			
Délka (m)	Šířka (m)	Sklonitost (-)	Drsnost Manning	Délka (m)	Šířka (m)	Sklonitost (-)	Drsnost Manning
6,00	400,00	0,04	0,10	11,30	400,00	0,36	0,15
20,60	400,00	0,07	0,10	10,70	400,00	0,43	0,15
17,90	400,00	0,06	0,10	13,90	400,00	0,37	0,15
13,70	400,00	0,04	0,10	10,40	400,00	0,45	0,15
48,50	400,00	0,12	0,10	12,40	400,00	0,35	0,15
21,50	400,00	0,05	0,10	10,70	400,00	0,34	0,15
19,40	400,00	0,04	0,10	3,70	400,00	0,61	0,15
$\Sigma = 147,6$				$\Sigma = 73,1$			

Simulační výpočty modelem KINFIL opět prokázaly, že v důsledku příznivých infiltračních vlastností půd na povodí Knínice jsou výšky povrchových odtoků (efektivní deště) opět $N = 2$ -, 5-, a 10letých dešťů, stejně jako u EOP Verneřice, zanedbatelné. U dešťů s dobou opakování $N = 20$, 50 a 100 let by již tyto deště a průtoky z nich bez ochranného účinku teras byly nebezpečné, ale terasy je svou infiltrační kapacitou a hydraulickou drsností efektivně redukují. U nejnebezpečnějších průtoků Q_{100} (10', 20') je průtok z návrhového deště redukován terasami z hodnoty $3,0 m^3 s^{-1}$ na $1,8 m^3 s^{-1}$ (tj.

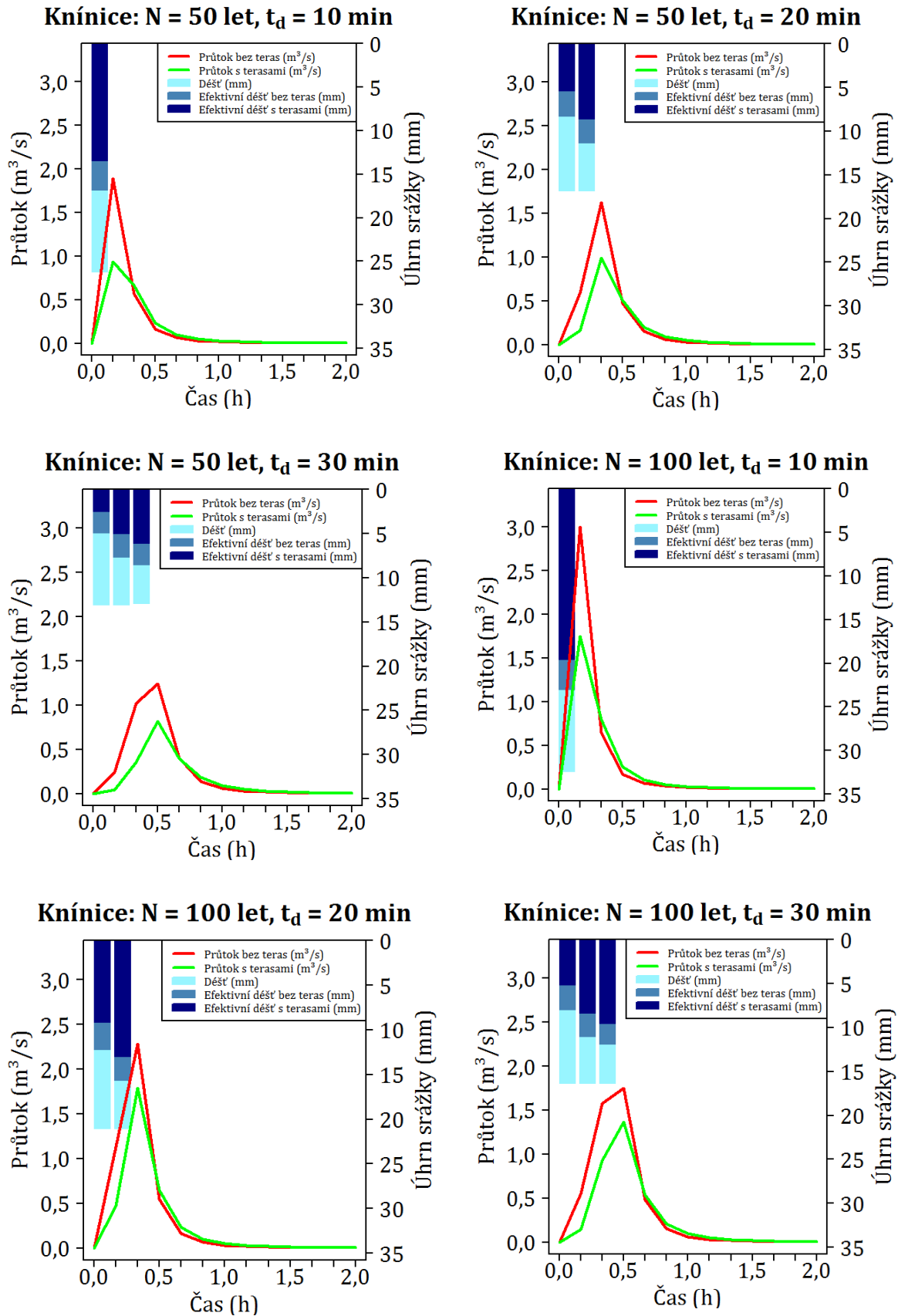
pro $N = 10$ let je průtok s terasami snížen o cca 60 %, u $N = 20$ a $N = 50$ let je průtok nižší o 40 % a u $N = 100$ let je to o 20 %). Tab. 27 obsahuje hlavní parametry příčných i efektivních dešťů a kulminační průtoky, podle kterých jsou zpracovány modelem KINFIL grafy na Obr. 22 a Obr. 23, dokazující stupeň ochrany proti erozi půdy. Do $N = 10$ let je současná ochrana, kdy se již nepěstují na EOP okopaniny, vlastně zaručena a TTP snáší tangenciální napětí proudící vody až do cca 60 Pa, kdy jsou už kulminační průtoky v hodnotách $50 \text{ let} < N < 100 \text{ let}$. Redukce průtoků takto navrženými a zhotovenými terasami poskytuje velmi dobrý historický příklad ochrany půdy. Pokud by se tyto pozemky měly změnit zpět na ornou půdu, v důsledku změny kritických tangenciálních napětí půdy nekryté trvalým travním porostem by to nebylo možné bez dalšího ochranného opatření.

Tab. 27: Hlavní parametry dešťů a kulminačních průtoků na odtokové ploše Knínice bez teras a s terasami

Návrhový déšť		Výška R (mm)	Efektivní déšť		Kulminace povrch. odtoku	
Doba opakování N (roky)	Doba trvání t_d (min)		bez teras RE (mm)	s terasami REH (mm)	bez teras Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	s terasami QH ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
2	10	10,1	1,70	0,24	–	–
2	20	12,4	0,78	–	–	–
2	30	14,0	0,28	–	–	–
2	60	16,3	–	–	–	–
5	10	14,7	5,63	2,89	–	–
5	20	18,2	4,93	1,36	–	–
5	30	20,7	4,15	0,50	–	–
5	60	24,8	1,57	–	–	–
10	10	17,6	8,38	5,31	0,599	0,194
10	20	22,4	8,71	4,08	0,613	0,130
10	30	25,7	8,39	2,78	0,515	0,076
10	60	30,7	5,21	0,18	0,231	0,056
20	10	21,5	12,18	8,89	1,113	0,451
20	20	27,4	13,49	8,23	1,092	0,407
20	30	31,6	13,90	7,07	0,845	0,307
20	60	38,0	11,19	2,32	0,433	0,086
50	10	26,3	16,94	13,52	1,894	0,940
50	20	33,8	19,78	14,17	1,628	0,994
50	30	39,2	21,30	13,77	1,241	0,823
50	60	47,5	20,00	8,28	0,686	0,333
100	10	32,5	23,12	19,65	3,004	1,750
100	20	42,1	28,03	22,27	2,278	1,791
100	30	49,1	31,12	23,26	1,752	1,366
100	60	59,4	31,62	18,41	0,994	0,659



Obr. 22: Porovnání hyetogramů a hydrogramů EOP Knínice bez teras a s terasami pro doby opakování deště N = 10 a 20 let



Obr. 23: Porovnání hyetogramů a hydrogramů EOP Knínice bez teras a s terasami pro doby opakování deště N = 50 a 100 let

Závěry

Měřené hodnoty hydraulické vodivosti K_s a retenčního sacího tlaku S_f byly použity pro řešení infiltrace, po odečtení od příčných srážek, jako vstupu do procesu povrchového odtoku kinematické vlny. Simulace srážko-odtokových epizod byly vypočteny modelem KINFIL pro $N= 10, 20$ a 100 let (viz Obr. 2.2 a Obr. 2.3).



Obr. 24 : Lokalita Knínice (duben 2015)



Obr. 25: Lokalita Knínice – povrch teras (květen 2015)

V současné době vzrůstajících hydrologických extrémů, jakými jsou přívalové srážky, je využívání systému teras a parcel s trvalým travním porostem mezi nimi naprosto pozitivním trendem, směřujícím k ochraně krajiny a jejího vodního režimu. Pro optimální využití území, výběr plodin, jejich rotaci a ochranu pozemků byl v nedávné době (2009–2011) vypracován pro členské země EU **Systém GAEC** („Good Agricultural and Ecological Conditions“) dle společných zásad agrární politiky. Tento systém dbá o zajištění podmínek „dobrého“ zemědělského a environmentálního stavu pro zemědělské a lesnické hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí. Podmínky GAEC jsou definovány pro členské státy EU na základě rámce stanoveného v příloze č. III nařízení Rady (ES) č. 73/2009, který obsahuje pět následujících tematických okruhů:

- 1) Eroze půdy (GAEC1 a 2),
- 2) Organické složky půdy (GAEC3 a 4),
- 3) Struktura půdy (GAEC 5),
- 4) Minimální úroveň péče (GAEC6, 7, 8 a 9),
- 5) Ochrana vody a hospodaření s ní (GAEC10 a 11).

Pro experimentální území Verneřice a Knínice je nutno uplatňovat především zásady okruhů 1 (Eroze půdy), 4 (Minimální úroveň péče) a 5 (Ochrana vody a hospodaření s ní). Okruhy vymezené pro protierozní ochranu půdy (GAEC1 a 2) budou vyžadovat pro silně erozně ohrožená území přednostně trvalé travní porosty. Vymezení erozně ohrožených ploch bude uvedeno v evidenci uživatelských vztahů k pozemkům (LPIS), kde si bude moci každý uživatel zkontrolovat, zda se ho tato podmínka týká, či nikoliv.

Pro území s terasami (např. Verneřice i Knínice) bude důležité dodržení požadavků pro minimální úroveň péče, zvláště pak podle GAEC6 o krajinných prvcích. Tyto prvky se podílejí na rozhodování o biodiverzitě, mají významnou protierozní funkci, jsou nedílnou součástí krajiny, člení ji a spoluvytvářejí její ráz. Jako krajinný prvek je v LPIS evidován útvar, který odpovídá definici ustanovené Nařízením vlády ČR č. 335/2009 Sb. o stanovení druhů krajinných prvků (v platném znění), tedy i území teras. Nepovolené kácení dřevinné vegetace terasy je již v současné době posuzováno jako porušení krajinného prvku.

GAEC7 uvádí standard zabránění šíření nežádoucích invazních rostlin na zemědělskou půdu (zvláště pak netýkavky žláznaté a bolševníku velkolepého). GAEC8 vyžaduje ochranu travních porostů v souvislosti se zachováním poměru stálých pastvin vůči zemědělské půdě. Citace vysvětlení působnosti tohoto standardu je v naprostém souladu s ochranou a údržbou území teras: *„Travní porosty chrání půdu proti erozi, příznivě ovlivňují množství a kvalitu povrchové i podzemní vody, napomáhají zadržování srážek a zpomalení jejich odtoku, akumulují půdní organickou hmotu a mají velký význam v ochraně biodiverzity“.*

Obdobně GAEC9 vyžaduje pravidelnou seč nebo spásání travních porostů tak, aby po 31. říjnu každého roku nedosahovala výše TTP přes 30 cm, což opět potvrzuje nutnost jejich řádné údržby a podporu i jejich mimoprodukční funkce. To vyžaduje i zákon č. 114/1992 Sb. ochrany přírody a krajiny, v platném znění, a nařízení vlády č. 79/2007 Sb. o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření. Standard GAEC10 upřesňující podmínky závlah nebude v případě péče o agrární valy aktuální, nicméně GAEC11 o zákazu aplikace hnojení a podmínkách hnojení při zabránění kontaminace

podpovrchových vod musí být přísně dodržován v duchu zákona č. 254/2001 Sb. o vodách a nařízení vlády č. 103/2003 Sb. o stanovení zranitelných oblastí.

Náklady zavedení postupu výpočtu N -letých povodňových průtoků Q_N jsou součástí hydrologických podkladů, žádaných od ČHMÚ. U malých povodí (odtokových ploch) se dají určit ze softwarových příloh projektu DES_RAIN a KINFIL (přístupné na <http://fzp.czu.cz/vyzkum/>). Údaje z ČHMÚ představují datový soubor, obsahující průměrné dlouhodobé hodnoty ročních srážek, průtoků, plochy povodí a jeho hlavních charakteristik, m -denních průtoků a N -letých průtoků. Tento soubor je třeba jako minimální rozsah údajů pro výpočet N -letých povodňových vln. Cena tohoto souboru je do 5 000 Kč.

Software DES_RAIN (návrhové deště) a KINFIL (matematický model povodňových odtoků) je zdarma a je k dispozici na webových stránkách ČZU (viz výše). Tento provozní „náklad“ je výsledkem metodiky a uživatel může ušetřit i mnohonásobek finančních prostředků robustním omezením povodňových a erozních škod.

3. V003 Metodický postup optimalizace vodního režimu krajiny se zaměřením na snižování extrémních hydrologických dopadů na malých povodích

3.1 Vliv biotechnických opatření hrází a poldrů na malých povodích, v dolních urbanizovaných tratích. Povodí Němčického potoka a Smědě. ANOTACE MODELU FLOOD_V (Upravená metodika FLOOD_V: Poldry a nádrže + PŘÍLOHA G

Případová studie Němčický potok a Smědá

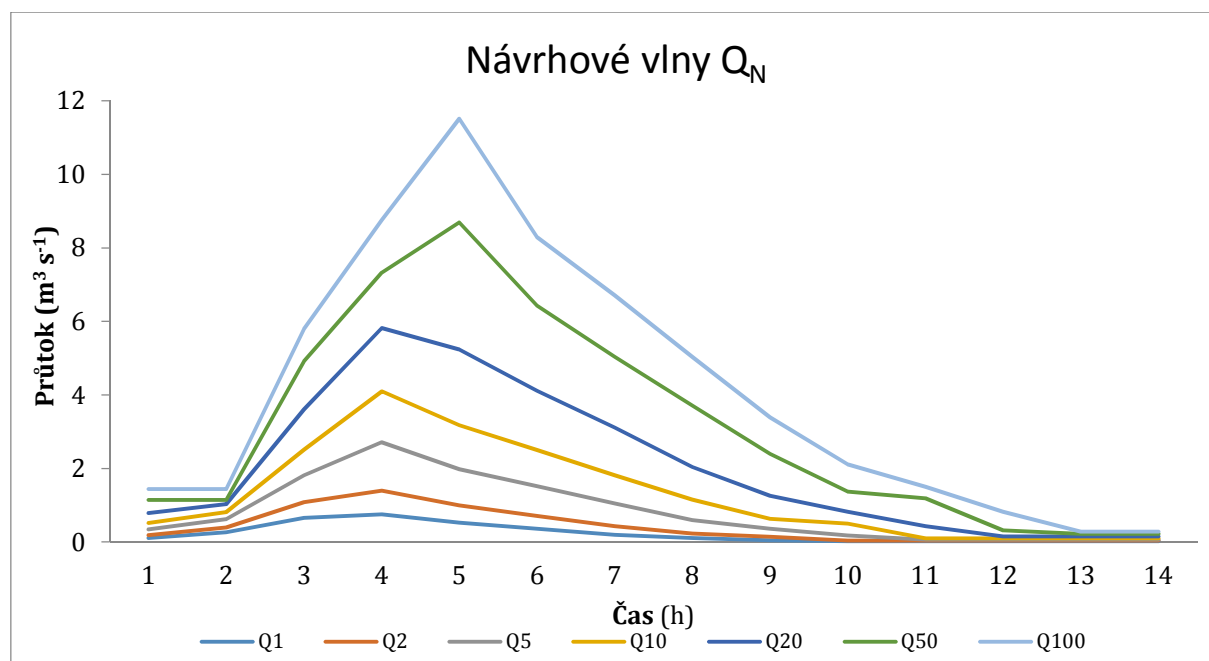
Velmi účinná protipovodňová opatření jsou poldry a malé nádrže pro ochranu urbanizovaných území proti povodním. Odvození maximálních průtoků na povodí je u nás autorizovanou záležitostí ČHMÚ, zatímco určení nejpravděpodobnějšího tvaru povodňové vlny a jejího objemu může řešit pro návrh kapacity poldrů nebo výškových parametrů hrází i zkušený projektant. V této kapitole uvádíme metodiku aplikace modelu FLOOD_V v ochraně obce Němčice na Němčickém potoce na Blanensku a ochraně obce Bílého Potoka na povodí Smědě v Jizerských horách. Obě území již byla v této metodice zmíněna, takže metodika je již stručná.

Návrh poldru na Němčickém potoce (Němčice)

Hlavním účelem poldru v katastrálním území Němčice je snížení povodňových průtoků a stabilizace koryta Němčického potoka při omezení transportu splavenin. Poldr slouží jako ochrana ohrožených obcí a pozemků v dolní části povodí. Pro situování poldru bylo vybráno místo dřívějšího rybníka na pravostranné větvi Němčického potoka, jehož hráz byla dříve protržena. Hráz je umístěna cca 70 m nad protrženou bývalou hrází. Objem povodňové vlny je 114 tis. m³ ($N = 20$ let). Maximální normální hladina (MAXNH) je na kótě 560,90 m n. m. což je úroveň koruny bezpečnostního přelivu. Přepadová výška 0,4 m, délka přelivné hrany činí 10 m. Zemní hráz je navržena homogenní s výpustným objektem. Hráz poldru je nižší, bez akumulčního prostoru, retenční prostor je obhospodařován jako trvalý travní porost s minimalizací provozních nákladů. Výsledné grafy aplikace této metodiky poskytuje Obr. 24, který uvádí jednotlivé návrhové povodňové vlny pro dobu opakování $N = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let. Hodnoty kulminací

a objemů těchto návrhových povodňových událostí stejné doby opakování v letech uvádí Tab. 28.

Suchá nádrž, která by měla sloužit k zadržení povodňových průtoků je vždy navrhována na určitý průtok vody. V tomto případě z batygrafických křivek (kapitola 3.2.4 Závěr. Zprávy) vyplývá, že nádrž je dimenzována na průtok 20leté vody. Objem vlny (po separaci) pro $N = 20$ let činí 114 tis. m^3 , kdy celkový objem poldru je 150 tis. m^3 , avšak objem pro $N = 50$ let by už nádrž nepojmula.



Obr. 24: Návrhové hydrogramy $N = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let pro poldr na Němčickém potoce

Tab. 28: Kulminace a objemy vody N -letých povodňových událostí

Doba opakování N (roky)	Kulminace ČHMÚ ($m^3 s^{-1}$)	Čistý objem vlny (tis. m^3)
1	0,75	12,86
2	1,40	24,40
5	2,70	49,94
10	4,10	82,02
20	5,80	113,98
50	8,70	196,64
100	11,50	250,35

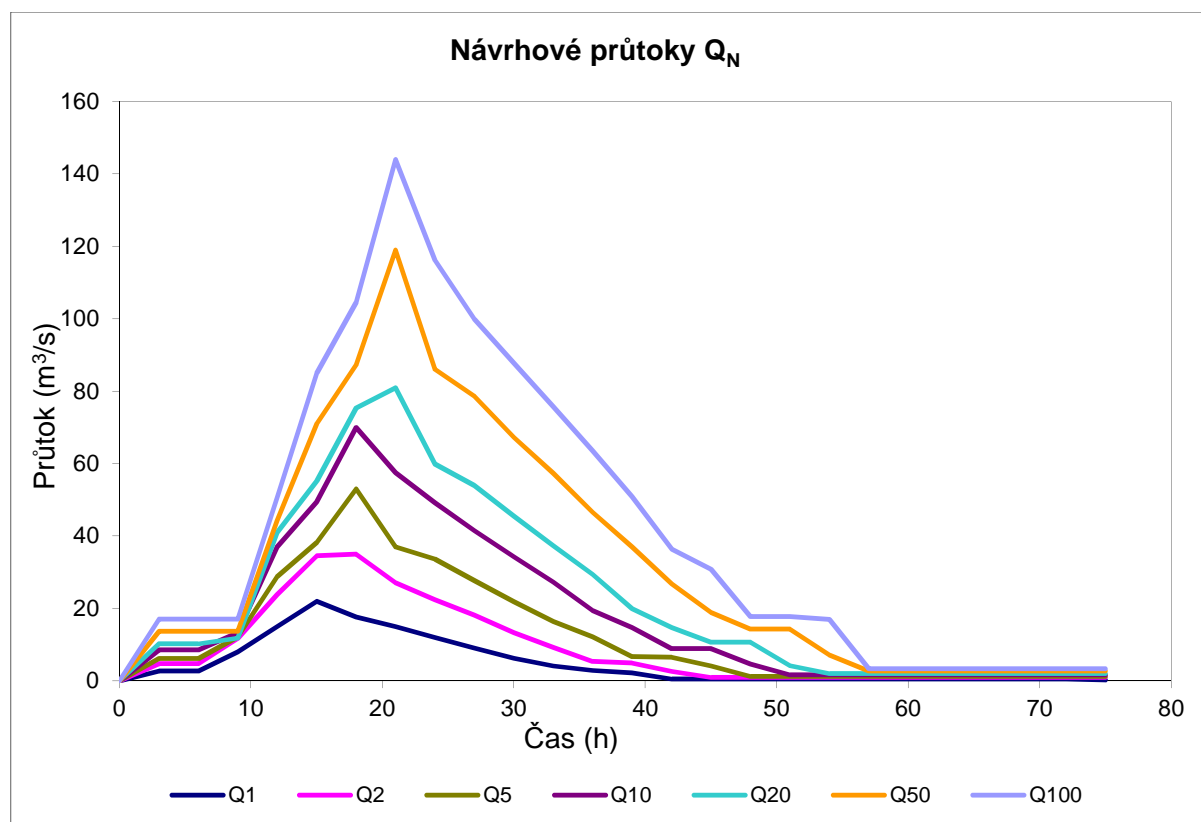
Principy výpočtů jsou popsány v Příloze G na konci této kapitoly a jsou založeny na principu vytváření odtoku soustavou genetických rovnic, které pomocí „S“ křivky, sestavené na základě fyziografických faktorů povodí:

L hydraulické délky údolnice, J_0 sklon údolnice, S potenciální retence povodí (CN). Kulminace N -letých odtoků je nutno vyžádat z ČHMÚ, ale plochy hydrogramů z nich odvozených na základě této metodiky jsou objemy vody, odpovídající N -letým průtokům.

Návrh poldru na Smědě (Bílý Potok)

Na několika experimentálních povodích Jizerských hor se prováděly simulace srážko-odtokových epizod matematickými modely (modely HEC-HMS a KINFIL) po řadu let (např. Kamenice – Josefův Důl, Smědá – Bílý Potok, Černá Nisa – Uhlířská, Černá Desná – Jezdecká aj.). Pro současné příklady zjištění retenčních kapacit N -letých průtoků jsme si vybrali povodí Smědě, profil Bílý potok. I když jsme řešili simulace významných srážko-odtokových případů (od roku 1970) na tomto povodí, zjišťovali jsme i maximální retence N -letých povodní.

Na povodí Smědě a jejím limnigrafickém profilu Bílý Potok se prováděla měření od konce padesátých let 20. století. Intravilán obce Bílý Potok trpí záplavami poměrně často, i když přirozená retence povodí vegetací, půdou a bezodtokovými depresemi může dosahovat místy 3-5 mm, je to pořád málo z hlediska porovnání s navrhovanou ochranou terasami i jinými biotechnickými opatřeními. Přistoupili jsme tedy k průzkumu aplikace ochrany poldry (1-2) a stejným softwarem FLOOD_V jako v případě Němčického potoka k ochraně obce Němčice. Zjišťovali jsme celkové kapacitní parametry návrhu poldru pro N -leté průtoky, získané již dříve z ČHMÚ pro doby opakování $N = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let. Vypočtené hydrogramy N -letých průtoků, jejichž plochy uvádějí objemy příslušných povodňových vln, které po separaci základního odtoku mohou dobře sloužit jako údaje **požadovaných kapacit povodí** pro ochranu níže ležících zastavěných území. Z nich nejžádanější je zcela evidentně intravilán obce Bílý Potok. Obr. 25 ukazuje hydrogramy návrhových průtoků a Tab. 29 poskytuje objemové kapacity N -letých povodní, které jsou až o 2 řády vyšší než kapacitní požadavky poldru v Němčicích.

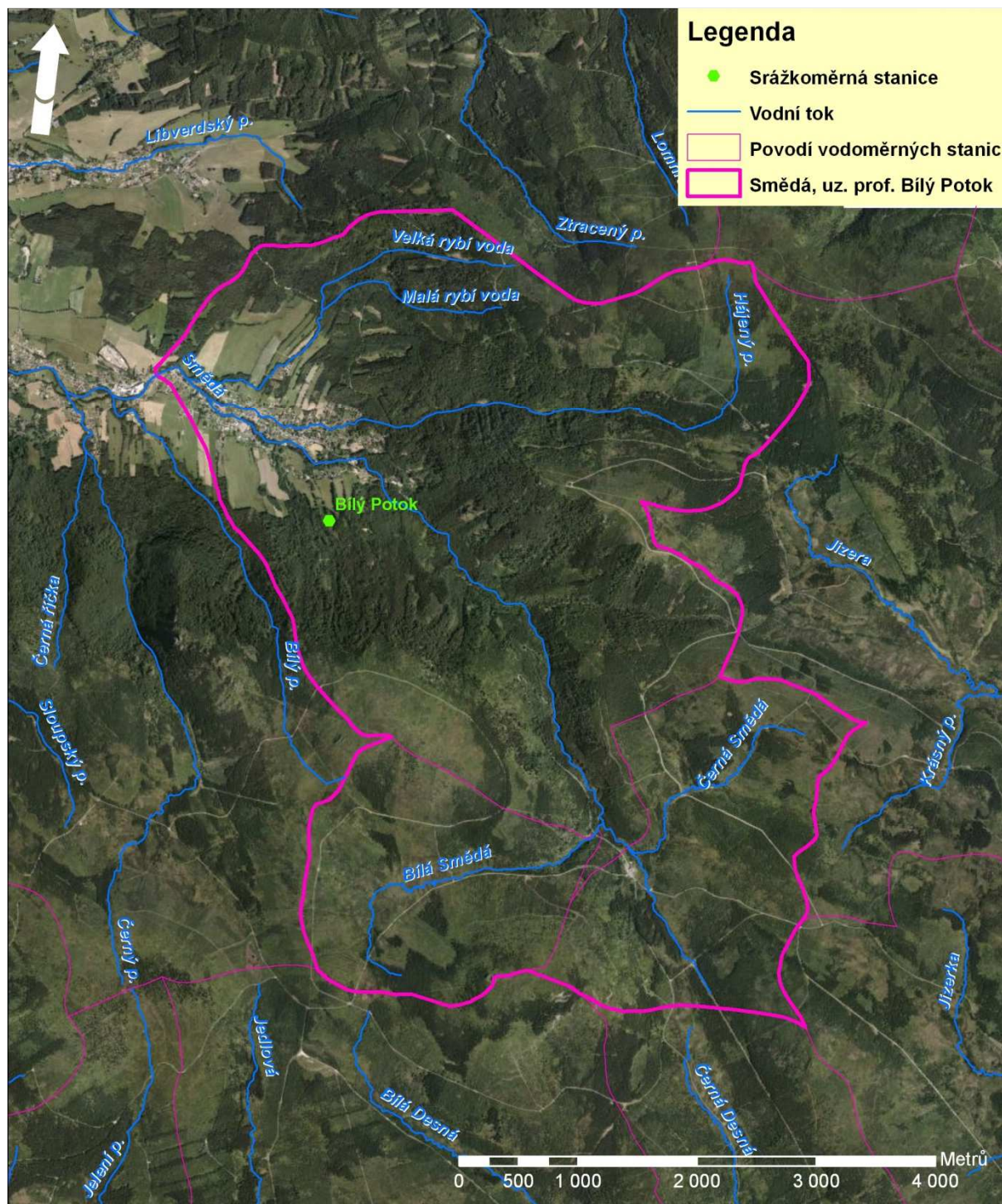


Obr. 25: Vypočtené hydrogramy N -letých průtoků

Tab. 29: *Objem povodňových vln vypočítaných programem FLOOD_V, Smědá, profil Bílý Potok*

<i>N</i> (roky)	<i>Q_N</i> (m³/s)	Objem (tis. m³)
1	22	1360,19
2	35	2470,06
5	53	3528,03
10	70	5143,23
20	81	6477,81
50	119	9269,77
100	144	11926,90

Použití softwaru FLOOD_V je jednoduché a je možno ho využít pro obě alternativy, kdy alternativa 1 předpokládá znalost návrhových průtoků Q_N od ČHMÚ a využití těchto hodnot jako kulminačních pořadnic povodňové vlny N -letého opakování (tvar jednotkového hydrogramu). Alternativa 2 je k použití pro zkušené projektanty, který u malých povodí se silným antropogenním ovlivněním použijí návrhové deště redukované na krátké doby trvání a využijí známých modelů (HEC-HMS nebo KINFIL apod.). Pro jednoduchost a méně zkušené uživatele doporučujeme alternativu 1. Ortofotomapa povodí Smědé je na Obr. 26, podrobný návod k využití Metodiky FLOOD_V obsahuje Příloha G.



Obr. 26: Ortofotomapa povodí Smědě, uzávěrový profil Bílý Potok

3.2 Aplikace multikriteriální metody při optimalizaci vodního režimu krajiny

V souladu s cíli grantu s názvem „Optimalizace vodního režimu krajiny ke snížení dopadů hydrologických extrémů TAČR TA02020420“ byly zpracovány podklady pro tvorbu metodiky navrhování a výstavby opatření vedoucích k optimalizaci vodního režimu krajiny a ke snížení rizik hydrologických extrémů.

Návrh systémového řešení je proveden standardním způsobem pomocí jednoduché maticové tabulky interakcí. Analýza se opírá o axiomatickou teorii kardinálního užitku MUT (*Multiattribute Utility Theory*). Stěžejní výstup představuje *komplexní indikátor opatření pro optimalizaci vodního režimu* a podrobný popis doporučeného postupu řešení „krok za krokem“.

Metodiku doplňují přílohy s obsáhlým souborem potenciálně vhodných kritérií pro praktické řešení výše zmiňované problematiky.

3.2.1 Základní principy

(a) Základní principy a metodické pokyny pro tvorbu *komplexního indikátoru opatření pro optimalizaci vodního režimu* tvoří součást systému rozhodování ve prospěch výběru optimální navrhované varianty (scénáře).

(b) Předmětem předpokládaného posouzení je návrh záměru (projektu) ve větším počtu reálných a vzájemně porovnatelných navrhovaných opatření.

(c) Příklady konkrétních opatření:

Protipovodňová a protierozní opatření se rozdělují na opatření organizačního, agrotechnického a biotechnického charakteru. Z biotechnických opatření byla vybrána ta neúčinnější z nich. Jedná se o první tři, resp. čtyři opatření:

- **protipovodňové a protierozní příkopy (záchytné – obvodové, sběrné a svodné),**
- **protipovodňové a protierozní terasy a hrázky,**
- **změna druhu využití půdy, eventuálně,**
- **protierozní a retenční poldry nádrže.**

Tato biotechnická opatření byla použita ve výzkumném projektu multikriteriální analýzy.

Dále to jsou:

- průlehy (záchytné, sběrné a svodné),
- vrstevnicové meze,
- ostatní – např. urovnávky, terasy, cesty s protierozní funkcí, zatravněné údolnice,
- hrazení bystřin a úpravy toků, záplavová území a aktivní zóny v záplavových územích, infiltrační zóny, přehrážky mobilní protipovodňové bariéry apod.,
- podzemní (odvodňovací) systémy na likvidaci tlakových vod, zvyšování retence,
- rainfall harvesting („Depozice dešťových srážek“),
- neopominutelné provozní aktivity např. způsoby využití (hospodaření), odbahňování rybníků a (malých) vodních nádrží apod.

Budování biotechnických opatření může mít příznivý krátkodobý dopad na sociální oblast (možnost zapojení místní pracovní síly do výstavby technických opatření). Dlouhodobější efekt lze spatřovat při zapojení pracovních sil do projekce komplexních pozemkových úprav. Ekonomický dopad budování technických opatření souvisí s nároky na státní rozpočet.

Technická a biotechnická opatření pro optimalizaci vodního režimu budou v každém případě reagovat na vývoj dynamiky klimatu s tím, že budou zmírňovat negativní dopady hydrologických extrémů, jako jsou povodně, záplavy, extrémní déle trávající sucha a budou chránit půdu před degradací a přispívat ke zvýšení její úrodnosti. Výstup je určen pracovníkům státní a municipální správy, kteří se zabývají zadáváním a vyhodnocováním veřejných zakázek v oboru technických protierozních opatření a vodního hospodářství.

(1) Metodické pokyny slouží pro určení číselné hodnoty souhrnné funkce užitku U_i pro každou posuzovanou variantu opatření pro úpravu vodního režimu. Vychází z teoretických předpokladů rozhodovací analýzy a *axiomatické teorie kardinálního užitku* (MUT), které metodika plně vyhovuje.

(2) Nedílnou součástí metodických pokynů je *referenční katalog kritérií a ukazatelů* pro navrhovaná opatření. Podrobná charakteristika kritérií bude uvedena.

(3) Hodnocení variant je prováděno v rámci čtyř základních hledisek. V souladu s touto zásadou jsou kritéria členěna do čtyř kategorií, v rámci kterých jsou vzájemně porovnatelná co do jejich vzájemného relativního významu, tj. váhy. Kategorie tvoří

- A – Pořizovací (investiční) náklady na výstavbu
- B – Provozní náklady (údržba, opravy, hospodaření)
- C – Ekologická ochrana půdy a vegetace
- D – Vodohospodářská ochrana povodí

(4) Struktura katalogu je pokládána za otevřený systém, který musí přihlížet ke konkrétnímu případu podle lokality, účelu, citlivosti území apod. Z tohoto pohledu je účelné seznam kritérií a ukazatelů vždy individuálně volit a upravit tak, aby se zvýraznil rozdíl vlastností posuzovaných variant, při respektování požadavku zachování *vzájemné užitkové nezávislosti* kritérií a dodržení *principu disjunkce*.

(5) Obligatorní požadavek správné a korektní aplikace spočívá v zastoupení všech čtyř hledisek (kategorií) kritérií A, B, C a D při libovolném počtu neopominutelných (relevantních) kritérií pro posuzovaný záměr a specifické vlastnosti krajiny.

(6) Aplikace metodického postupu vyžaduje pracovní postup metodou „krok za krokem“.

Postupné kroky řešení

Krok 1

První krok aplikace optimalizačního procesu představuje stručná charakteristika zadaného souboru variant, aktuální soubor použitých kritérií a sestavení tabulky vstupních údajů kvantifikovaných hodnot jednotlivých kritérií pro posuzované varianty ve formátu maticové tabulky. Výběr kritérií musí pokrývat prostor hodnocení a zároveň musí splňovat požadavek disjunkce. Vhodná kritéria budou uvedena jako referenční katalog kritérií.

Numerická kvantifikace parametrů se provádí v objektivních jednotkách SI nebo v relativních jednotkách [R].

Stěžejním výstupem prvního kroku řešení je tzv. *maticová tabulka vstupních údajů* pro množinu V_i a parametry P_j .

Krok 2

Pro každý parametr P_j se určí hodnota kvalitativního multiplikátoru U_j komparativní metodou ze vstupních údajů jako transformovaná hodnota dílčí funkce užitku $f_j(P_j)$ podle teorie MUT a metody Totálního ukazatele kvality prostředí (Říha, 2001). S ohledem na použité parametry je transformace prováděna standardně podle mocinného vztahu pro přímou $\{+\}$ a nepřímou $\{-\}$ funkční závislost. Transformace je prováděna v pravoúhlém souřadnicovém systému.

Za předpokladu, že posuzované parametry budou prohlášeny za rovnocenné z hlediska vzájemné relativní důležitosti ($w = \text{konst.}$), potom výstup druhého kroku vyjadřuje výsledné určení pořadí posuzovaných variant. Formulace výstupu je „*Hierarchizace variant pro rovnocenný význam kritérií*“.

Výsledkem druhého kroku řešení je *tabulka transformovaných hodnot dílčí funkce užitku* U_j pro soubor variant V_i včetně vizualizace *transformačních křivek (přímek)*; vyhodnocovací křivky nesou označené pořadí V_i podle dílčí funkce užitku $f_j(P_i)$.

Krok 3

Pro každý parametr P_j se stanoví hodnota kvantitativního multiplikátoru w_j . Hodnoty jsou určovány pomocí *duální metody* ALO-FUL (alokace a Fulerova metoda). Spočívá ve dvou krocích řešení, tj. v generování dvousložkové váhy nejdříve *metodou alokace* (1. krok) pro vymezené hlavní skupiny kritérií $w[\text{KAT}]_j$ a následně ve skórování významu kritérií (ukazatelů kritérií) jinou běžnou metodou, např. *metodou párového hodnocení* (2. krok), uvnitř těchto skupin kritérií.

Zachování aditivnosti úlohy vyžaduje pracovat s *normovanými vahami*. Normování umožňuje názorně posoudit těsnost vztahu (odchylku) mezi vahami přisouzenými různým ukazatelům.

Výsledkem třetího kroku řešení je *tabulka normovaných hodnot relativní důležitosti kritérií* w_j pro soubor parametrů P_j . Jejich součet musí být vždy roven jedné!

Krok 4

Pro každou posuzovanou variantu V_i se definuje hodnota souhrnné funkce užitku U_i . Vypočítá se podle algoritmu aditivního modelu optimalizačního modelu jako hodnota mnoharozměrného parametru U_i podle rovnice (3-1).

Formulace výstupu je „*Hierarchizace variant pro diferencovaný význam kritérií (standardní řešení)*“.

Výsledkem čtvrtého kroku je *tabulka hodnot souhrnných hodnot funkce užitku* U_i pro všechny posuzované varianty V_i .

Krok 5

Pátý krok spočívá v provedení výsledné hierarchizace souboru posuzovaných variant V_i . Preferované pořadí je určeno sestupným pořadím podle vyčíslených numerických hodnot vektoru U_i podle zásady „*čím vyšší, tím lepší*“ Jinými slovy celospolečensky maximální preferenci získává ta varianta, pro kterou tento vektor nabývá nejvyšší hodnoty. Formálně je účelné výslednou hierarchizaci znázornit sloupcovým diagramem hodnot vektorů U_i .

Výsledkem pátého kroku je *výsledná preference variant* podle společenské funkce užítku.

Krok 6

Šestý krok tvoří komentář k analytické části předcházejících kroků řešení. Verbálně objasňuje příčiny obdrženého výsledku, který tímto obhájí. Zahrnuje a popisuje faktory nejistoty, rizika, nedostatečných informací, včetně námětů pro generování nových („lepší“) variant. Upozorňuje na slabá místa provedené rozhodovací analýzy a naopak zdůrazňuje významné nezpochybnitelné skutečnosti pro rozhodovací proces. V souladu s platnými předpisy lze doporučit zveřejnění výsledku multikriteriální analýzy, informovat veřejnost a iniciovat veřejné zájmy v dotčené krajině.

Předpoklady použití

V případě zadání projektu nebo záměru ve více variantách (scénářích) řeší zpracovatel dokumentace standardní úkol *multikriteriální rozhodovací analýzy* s cílem určit nejvýhodnější (optimální) variantu pro zadaný soubor kritérií. Po metodické stránce může být tato úloha řešena libovolně při různé míře uplatnění subjektivního faktoru. Z hlediska požadavku dosáhnout co největší míry objektivizace podkladů pro rozhodovací proces však musí být vliv subjektu (jednotlivce) co nejvíce omezen. Tohoto cíle lze dosáhnout aplikací *axiomatické teorie kardinálního užítku* MUT s využitím vhodné formalizované metodiky, která umožní stanovit a vyjádřit číselné hodnoty *souhrnné funkce užítku* U . Souhrnná funkce užítku je určována jako mnoharozměrný vektor v závislosti na počtu použitých kritérií (resp. ukazatelů kritérií, parametrů, indikátorů, charakteristik aj.), a tomu odpovídajícímu počtu dílčích transformačních funkcí užítku.

Společnou zásadou pro uplatnění vícekriteriálních metod zůstává požadavek zřetelně a technicky formulovat jednotlivé varianty řešení ve srovnatelných parametrech. Z této obecné zásady vyplývá, že základním předpokladem pro vícekriteriální analýzu a rozhodování je vypracování (existence) navrhovaného záměru (projektu, rozvojové činnosti) ve více variantách v časovém období předprojektové studie (pre-project studies). Tyto varianty V_i (pro $i = 1, 2, \dots, m$) se musí od sebe lišit v profilu celospolečenského užítku v souladu s axiomatickou teorií kardinálního užítku MUT.

Vychází z filozofického předpokladu, že souhrnná kvalita životní pro daný územní region je určena podstatnými (kardinálními) vlastnostmi jednotlivých složek životního prostředí, jejichž kvalitu lze posoudit dostupnými analyticko-diagnostickými ukazateli. Soubor těchto dílčích ukazatelů vytvoří *katalog ukazatelů kritérií* (znaků), u kterých se hodnoty stanoví exaktně analyticky (tzn. výpočtem, změřením), nebo s využitím vědeckých základů prognostiky a expertním odhadem. Různorodost vlastností však běžně znemožňuje převedení na společné hodnotové měřítko, což naopak umožňuje formalizovaný pracovní postup.

Koncepce metodických pokynů (Říha, 2001) byla aplikována pro problematiku optimalizace vodního režimu v krajině.

Pro tyto pokyny mají jednotlivé parametry následující význam:

- V_i – varianta řešení pro $i = 1, 2, \dots, m$, kde m je celkový počet předem vypracovaných odlišných posuzovaných variant;

- P_y – podstatný parametr, který lze použít jako kritérium pro kvalitativní posouzení, když $y = 1, 2, \dots, z$, kde z je celkový počet vybraných kritérií;
- $P_j^{(y)}$ – ukazatel kritéria jako hodnota analyticky zjištěného popř. odhadnutého parametru pro $j = 1, 2, \dots, n(y)$, kde n je celkový počet ukazatelů v objektivních či subjektivních jednotkách, jako j -tý dílčí důsledek varianty V_i , nebo pro zjednodušení zkráceně P_j ;
- P – celkový důsledek V_i , pro který je $P = [P_1 \dots P_n]$;
- w_j – váhový či kvantitativní multiplikátor, tj. relativní význam vyšetřovaného $P_j^{(y)}$ v rámci celého souboru $j = 1, 2, \dots, n(y)$;
- U_j – dílčí funkce užitku jako kvalitativní multiplikátor mající charakter transformační funkce (vyhodnocovací křivky) $f_j(P_j^{(y)})$, nabývající hodnoty v intervalu $0 \leq U_j \leq 1$;
- U_i – celková funkce užitku.

Současně se předpokládá, že pro daný počet variant V_i a pro množinu indexů j lze stanovit všechny hodnoty $P_j^{(y)}$ a U_j , pro které platí vztah

$$U_j = f_j(P_j^{(y)}) \quad (3-1)$$

který vyjadřuje matematickou formu dílčí funkce užitku. Celková funkce užitku U je závislá na celkovém důsledku P a pro její konstrukci slouží množina dílčích funkcí užitku U_j .

Předpokládá se dodržení podmínek preferenční a užitkové nezávislosti ukazatelů kritérií $f_j(P_j^{(y)})$. Dále je arbitrárně stanovena podmínka, že pro celý soubor posuzovaných variant V_j je

$$w_j = \text{konst.} \quad (3-2)$$

Hodnota souhrnné funkce pro určitou variantu je dána hodnotou mnoha rozměrného vektoru U_i podle schématu na Obr. 27 a vztahu 6-3:

$$U_i = \sum_{j=1}^n U_j w_j^{(N)} \quad (3-3)$$

Uvedený tvar funkce lze použít pouze v tom případě, že pro množinu w_j platí

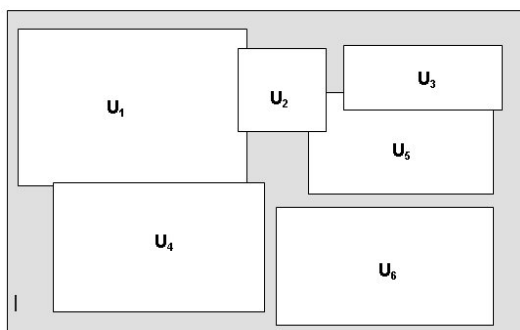
$$0 \leq w_j^{(N)} \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3-4)$$

a současně

$$\sum_{j=1}^n w_j^{(N)} = 1 \quad (3-5)$$

Protože je určení potřebných parametrů metodou postupné iterace při velkém počtu $P_j^{(v)}$ pracovně náročné, doporučuje se dodržet podmínky definované rovnicemi (3-4) a (6-5) a omezit se na používání výhodného aditivního tvaru podle rovnice (3-2). V těchto případech je však třeba důsledně parametr w_j kvantifikovat metodou normované stupnice. Metoda se opírá o katalog individuálně vybraných ukazatelů kritérií $P_j^{(v)}$.

Výsledná hierarchizace souboru V_i (ranking) je určena sestupným pořadím podle vyčíslených numerických hodnot vektoru U_i podle zásady „čím vyšší, tím lepší“



Obr. 27: Schéma pro kvantifikaci souhrnné funkce užitku U pomocí dílčích funkcí U_j

Jinými slovy celospolečensky maximální preferenci získává takové řešení (scénář, varianta), pro které vektor U_i nabývá nejvyšší hodnoty.

Rovnice (3-3) definuje aditivní model, který lze použít pro řešení výhradně za předpokladu platnosti uvedených podmínek. V opačném případě je nutno použít multiplikativní model. Výraz $w_j^{(N)}$ vyjadřuje tzv. váhu normalizovanou.

Za předpokladu, že ukazatelé kritérií $P_1, P_2, \dots, P_n^{(v)}$ neprokazují vzájemnou užítkovou závislost, lze multiplikativní model vyjádřit vztahem

$$\begin{aligned}
 U_i = & \sum_{j=1}^n U_j w_j + K \sum_{j=1}^n \sum_{j^+>j}^n U_j U_{j^+} + w_j w_{j^+} + \\
 & + K^2 \sum_{j=1}^n \sum_{j^+>j}^n \sum_{j^{++}>j^+}^n U_j U_{j^+} U_{j^{++}} + w_j w_{j^+} w_{j^{++}} + \\
 & + \dots + \\
 & + K^{n-1} U_1 U_2 \dots U_n \dots w_1 w_2 \dots w_n
 \end{aligned} \tag{3-6}$$

kde $j^{++} > j^+ > j$

Jestliže se obě strany rovnice vynásobí konstantou K a připočte se 1, je pro rovnici (3-6) ekvivalentní vztah

$$1 + K U_i = \prod_{j=1}^n (1 + K U_j w_j) \tag{3-7}$$

Funkce U_j nabývá hodnoty v intervalu $[0; 1]$ a konstanta K je řešením rovnice

$$1 + K = \prod_{j=n}^n (1 + Kw_j) \quad (3-8)$$

Poznámka

Princip disjunkce je omezení, že určité hledisko – dílčí aspekt – nesmí být hodnoceno vícekrát. Při sestavování katalogu kritérií je třeba sledovat *vzájemnou preferenční a užitkovou nezávislost kritérií*. Současně se obecně uznává požadavek, že *prostor hodnocení musí být úplný a disjunktní*. Striktní dodržení tohoto požadavku je možné a žádoucí u homogenních technických (popř. ekonomických) úloh; naopak je obtížné a zpravidla jej nelze dodržet u heterogenního komplexního systému životního prostředí a ekonomické aktivity.

Podmínka užitkové nezávislosti parametrů $P_j^{(y)}$ je splněna pouze tehdy, platí-li $1 < K < \infty$ pro případ $\sum w_j > 1$ a $K > 0$ pro případ $\sum w_j < 1$. Numerické řešení rovnice (3-8), tj. nalezení reálného kořene K^* v intervalu $(-1, 0)$ nebo $(0, +\infty)$ se řeší iterační metodou.

Pracovní postup pro přesný výpočet hodnoty K je uveden v odborné literatuře, viz Keeney & Raiffa (1976). V případě, že $K = 0$, přechází rovnice (3-6) na rovnici (3-3) a multiplikativní model se transformuje na aditivní. Současně je třeba mít na zřeteli, že mezi jednotlivými kritérii mohou existovat čtyři zásadně odlišné druhy interakcí (komplementarita, konkurence, indiference, variabilita).

Potenciální vlastnosti jednotlivých variant V_i pro $i = 1, 2, \dots, m$ lze posoudit z hlediska časového faktoru, tj. $P_j^{(y)}$ po dobu stavební realizace a v období trvalého provozu stavebního a technologického souboru. Připouští se aditivní vztah

$$P_j^{(y)} = P_j^{(y)} \text{VÝSTAVBA} + P_j^{(y)} \text{PROVOZ} \quad (3-9)$$

který se použije jako vstup do výchozí rovnice.

Při aplikaci formalizované metody se využívá plná šíře znalostí a pomocných nástrojů z oblasti systémového inženýrství, multikriteriální analýzy, rizikové analýzy, citlivostní analýzy, zvládnutí nejistoty, prediktivních metod, teorie rozhodování apod. Běžně se předpokládá znalost a aplikace různých metod pro určování relativní důležitosti kritérií vč. expertních systémů, organizování a vyhodnocení ankety respondentů. S výhodou se uplatňuje modifikovaná metoda DELFY. Plné využití výhod teorie MUT předpokládá definování hypotetických a reálných variant záměru, umožňující zavedení referenční úrovně pro proces rozhodování. Náročnější a originální (původní) část metody tvoří generování kvalitativních multiplikátorů (vyhodnocovacích křivek), pro které existují různé pracovní způsoby.

Poznámka

Počátečním krokem aplikace je sestavení *tabulky vstupních údajů*, tj. pro posuzovaný projekt (varianty V_i) se číselně kvantifikují hodnoty ukazatelů kritérií P_j . Tím se vytvoří *katalog kritérií a ukazatelů*, který se někdy označuje jako *referenční katalog*. V případech, kdy je použita verbálně-numerická stupnice (relativní jednotky [RJ]), je kvantifikace prováděna formalizovanou verbálně numerickou stupnicí, kterou řešitel

předem závazně definuje v tabulkové úpravě. Výsledkem prvního kroku řešení je tzv. *maticová tabulka vstupních údajů* pro množinu V_i a parametry P_j .

Kritéria pro řešení Multikriteriální analýzy v rámci „Optimalizace vodního režimu krajiny ke snižování dopadů hydrologických extrémů TAČR TA02020420“

- **Kritérium č. 1**

Název: Jednorázové (investiční) náklady – celkové náklady na výstavbu

Popis: Jedná se o jednorázovou investici potřebnou na realizaci (a na projekt) příslušné varianty. Výstavba vybraných biotechnických opatření patří mezi investice. Změny hospodaření (změna druhu parcely v katastru) bereme také jako jednorázovou investici.

Jednotky: Kč

- **Kritérium č. 2**

Název: Údržba TTP (trvalého travního porostu)

Popis: Údržba, náklady na údržbu (včetně lesního hospodářství), náklady na provoz navrženého optimálního hospodaření včetně biotechnických úprav (resp. náklady na provoz dané hodnocené varianty). Jedná se o sečení varianty 2 krát ročně.

Jednotky: Kč/rok

- **Kritérium č. 3**

Název: Ekologická ochrana půdy a vegetace

Popis: Obsahuje geomorfologické a fyto-logické přírodní podmínky, jako jsou sklony svahů a jejich délky, které ovlivňují dobu koncentrace odtoku (dobíhání vody do uzávěrového profilu). Tyto podmínky zahrnují rovněž druhy rostlin a jejich zastoupení ve fyto-technických patrech, určujících biodiverzitu vegetačního pokryvu, Zahrnuje také lesnické úpravy. Z pedologického hlediska, kritérium ochrany půdy klasifikuje půdní druhy a jejich fyzikální vlastnosti, zejména její propustnost a infiltrační kapacitu, případně další proměnné, charakterizující důležité hydrolimity, hydraulickou vodivost a sorptivitu (při polní vodní kapacitě). Z hlediska geologického se posuzuje zvláště vliv na stabilitu svahů.

Jednotky: (RJ)

- **Kritérium č. 4**

Název: Vodohospodářská ochrana povodí

Popis: Jaká je schopnost (potenciál) navrženého optimálního hospodaření včetně biotechnických úprav snížit dopady hydrologických extrémů a nakládat s vodou na dané lokalitě. Jaká bude schopnost zadržet a infiltrovat vodu podle srážek a parametrů infiltrace, omezit a případně regulovat povrchové a podpovrchové odtoky, chránit vodní zdroje, jaká je schopnost reagovat na přívalové srážky, povodně a déle trvající sucha. Protože bezprostředně po realizaci projektu nebude možno provést odhad

hydrologických parametrů, doporučujeme návrh scénáře průtoků provést procentuálně, u povodní jejich snížení a u sucha rovněž jeho snížení vyjádřit v procentech.

Jednotky: (RJ)

Verbálně numerická stupnice (RJ), RJ – relativní jednotky

Hodnocení podle verbálně numerické stupnice se používá v případě, kde se obtížně hodnotí pomocí veličin, jako jsou např. rychlost (m/s), náklady (Kč), objem odtoku (m³) nebo průtok (m³/s). Hodnocení podle verbálně numerické stupnice.

- **5 (RJ) Vynikající až výborná zabezpečení varianty (systému)**
- **4 (RJ) Velmi dobrá spolehlivost varianty (systému)**
- **3 (RJ) Bezpečnost, spolehlivost varianty (systému) je průměrná**
- **2 (RJ) Uspokojivá či dostatečná zabezpečení varianty (systému)**
- **1 (RJ) Zabezpečení, spolehlivost varianty je nedostatečná (neuspokojivá)**

Tab. 30: Označení přímé a nepřímé závislosti transformace míry užítka

Kritérium	Závislost	Kritérium/Parametr	Jednotky
K1	nepřímá	Požizovací náklady	Jednorázové (investiční) náklady [Kč]
K2	nepřímá	Údržba TTP	Sečení za rok [Kč]
K3	přímá	Ekologická ochrana půdy a vegetace	Případná infiltrace [RJ]
K4	přímá	Vodohospodářská ochrana povodí	Snížení kulminačního průtoku (množství zadržení vody) [RJ]

Např. pro kritérium K4 „**Vodohospodářská ochrana povodí**“ platí zásada „*čím vyšší, tím lepší*“, tj. čím bude větší snížení kulminačního průtoku, tím bude navrhovaná varianta z tohoto úhlu pohledu prospěšnější.

Jedná se tedy v tomto případě o závislost **přímou**, charakterizovanou rovnicí typu

$$U = \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-10)$$

Naproti tomu např. pro kritérium K1 „**Požizovací náklady**“ nemůže platit zásada „*čím vyšší, tím lepší*“. Naopak, čím vyšší bude cena výstavby navrhované varianty, tím bude tato varianta méně výhodná z tohoto úhlu pohledu.

V tomto případě se tedy jedná o závislost **nepřímou**, charakterizovanou rovnicí typu pro nepřímou závislost.

$$U = 1 - \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-11)$$

3. 2. 2 Varianta optimálního hospodaření na pozemcích

Na povodí Černičí byly vybrány 3 varianty pro výběr neoptimálnější varianty hospodaření na pozemcích. Zadaný soubor variant (scénářů) V je označen V1 až V3:

- V1 = land use ponechán – OP (orná půda) = 88,3 ha (63,2%) a TTP (trvalý travní porost) = 26,3 ha (17,9%) – pouze dosev
- V2 = land use změna (zvýšení plochy trvalého travního porostu na úkor plochy orné půdy - zatravnění 28 ha) – OP = 60,3 ha (43,2%) a TTP = 54,3 ha (37,9%)
- V3 = průlehy (výstavba průlehů na úkor plochy orné půdy se záběrem 28 ha)

Pro multikriteriální posouzení variant byla stanovena 4 relevantní kritéria, viz kapitola 3.1. Tab. 31 popisuje vstupní hodnoty pro výpočet Multikriteriální analýzy pro soubor vybraných kritérií v ověřovacím projektu.

Tab. 31: Souhrnné hodnoty pro výpočet Multikriteriální analýzy pro povodí Černičí

Kritéria	V1 = land use ponechán	V2 = land use změna	V3 = průlehy	Jednotky
K1	8 700	371 896	2 368 800	[Kč]
K2	26 300	54 300	65 160	[Kč]
K3	1	5	3	[R]
K4	1	3	5	[R]

Tab. 32 až 35 popisují vstupní a výstupní data při výpočtu.

Kritérium č. 1: Pořizovací náklady – celkové náklady na výstavbu

Tab. 32: Vstupní a výstupní data

K1	V1 = land use ponechán	V2 = land use změna	V3 = průlehy	Jednotky
K1	8 700	371 896	2 368 800	[Kč]
U	0,960	0,860	0,004	

Postup výpočtu pro kritérium č. 1 nepřímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 8\,700$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 2\,368\,800$)

$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (2\,368\,800 - 8\,700) / 10 = 236\,010$

$P_p = P_{\min} - d = -227\,310$ $P_k = P_{\max} + d = 2\,604\,810$

platí rovnice

$$U = 1 - \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-12)$$

V rovnici (3-12) je neznámou exponent k, který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P, tedy

$$P_{\text{prům.}} = (8\,700 + 371\,896 + 2\,368\,800)/3 = 916\,465$$

$$\text{Platí pak: } 0,5 = 1 - \left[\frac{916\,465 + 227\,310}{2\,604\,810 + 227\,310} \right]^k, \text{ tedy platí vztah } 0,5 = 1 - 0,40^k$$

$$\text{odtud pro } k \text{ pak: } k = \ln 0,5 / \ln 0,596 = 1,34$$

$$U = \left[\frac{P + 227\,310}{2\,604\,810 + 227\,310} \right]^{1,34} \quad (3-13)$$

Rovnice (3-13) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Černičí a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 32.

Kritérium č. 2: Údržba TTP (trvalých travních porostů)

Tab. 33: Vstupní a výstupní data

K2	V1 = land use ponechán	V2 = land use změna	V3 = průlehy	Jednotky
K2	26 300	54 300	65 160	[Kč]
U	0,973	0,782	0,721	

Postup výpočtu pro kritérium č. 2, nepřímá závislost

$$P_p \text{ je } P \text{ počáteční } P_p = P_{\min} - d \text{ (} P_{\min} \text{ je } P \text{ minimální, } P_{\min} = 26\,300)$$

$$P_k \text{ je } P \text{ koncové } P_k = P_{\max} + d \text{ (} P_{\max} \text{ je } P \text{ maximální, } P_{\max} = 65\,160)$$

$$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (65\,160 - 26\,300) / 10 = 3\,886$$

$$P_p = P_{\min} - d = 22\,414 \quad P_k = P_{\max} + d = 69\,046$$

platí rovnice

$$U = 1 - \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-14)$$

V rovnici (3-14) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5. \text{ Této hodnotě pak bude odpovídat průměr } P, \text{ tedy}$$

$$P_{\text{prům.}} = (26\,300 + 54\,300 + 65\,160)/3 = 48\,587$$

$$\text{Platí pak: } 0,5 = 1 - \left[\frac{48\,587 - 22\,414}{69\,046 - 22\,414} \right]^k, \text{ tedy platí vztah } 0,5 = 1 - 0,56^k$$

$$\text{odtud pro } k \text{ pak: } k = \ln 0,5 / \ln 0,44 = 0,84$$

$$U = 1 - \left[\frac{P - 22\,414}{69\,046 - 22\,414} \right]^{0,84} \quad (3-15)$$

Rovnice (3-15) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Černičí a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 33.

Kritérium č. 3: Ekologická ochrana půdy a vegetace

Tab. 34: Vstupní a výstupní data

K3	V1 = land use ponechán	V2 = land use změna	V3 = průlehy	Jednotky
K3	1	5	3	[R]
U	0,074	0,815	0,444	

Postup výpočtu pro kritérium č. 3, přímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 1$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 5$)

$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (5 - 1) / 10 = 0,4$

$P_p = P_{\min} - d = 0,6$ $P_k = P_{\max} + d = 5,4$

platí rovnice

$$U = \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-16)$$

V rovnici (3-16) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P , tedy

$P_{\text{prům.}} = (1+5+3) / 3 = 3$

Platí pak: $0,5 = \left[\frac{3-0,6}{5,4-0,6} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 0,5^k$

odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,5 = 1$

$$U = \left[\frac{P - 0,6}{5,4 - 0,6} \right]^1 \quad (3-17)$$

Rovnice (3-17) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Černičí a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 34.

Kritérium č. 4: Vodohospodářská ochrana povodí

Tab. 35: Vstupní a výstupní data

K4	V1 = land use ponechán	V2 = land use změna	V3 = průlehy	Jednotky
K4	1	3	5	[R]
U	0,074	0,444	0,815	

Postup výpočtu pro kritérium č. 4, přímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 1$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 5$)

$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (5 - 1) / 10 = 0,4$

$P_p = P_{\min} - d = 0,6$ $P_k = P_{\max} + d = 5,4$

platí rovnice

$$U = \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-18)$$

V rovnici (3-18) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P , tedy

$P_{\text{prům.}} = (1+5+3) / 3 = 3$

Platí pak: $0,5 = \left[\frac{3-0,6}{5,4-0,6} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 0,5^k$

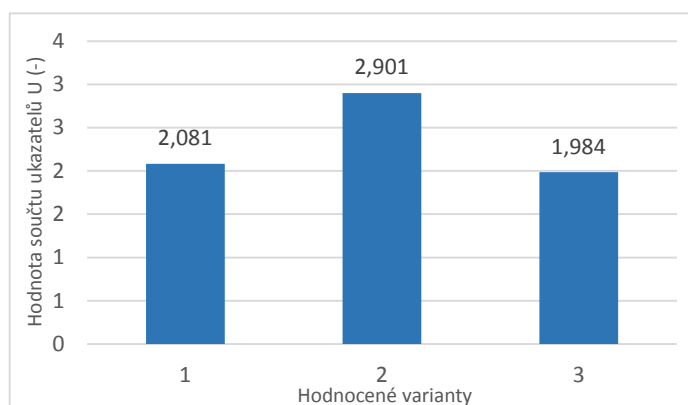
odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,5 = 1$

$$U = \left[\frac{P - 0,6}{5,4 - 0,6} \right]^1 \quad (3-19)$$

Rovnice (3-19) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Černičí a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 35.

Tab. 36 : Dílčí funkce užitku U pro varianty V hodnocené souborem kritérií se stejným významem (nevážený výstup) - povodí Černičí

POVODÍ ČERNIČÍ			
Funkce užitku	Varianty		
U1	0,960	0,860	0,004
U2	0,973	0,782	0,721
U3	0,074	0,815	0,444
U4	0,074	0,444	0,815
Celkem součet:	2,081	2,901	1,984
Pořadí:	2.	1.	3.



Obr. 28: Hodnocení variant bez významu kritérií (nevážený výstup) pro povodí Černičí

Pořadí variant V (1, 2, 3) v modelu kde kritéria P mají stejný význam, stejnou váhu (hodnoty vektorů $U_j = f_j(P_j)$) pro nevážený výstup, Tab. 36) se získá tak, že pro každou variantu V se postupně sečtou vektory U, získané pomocí transformačních mocninných funkcí.

Např. pro variantu V (3) průlehy bude platit

$$U = (U_1 + U_2 + U_3 \dots + U_i)$$

$$U = (0,004 + 0,721 + 0,444 + 0,815) = 1,984, \text{ (viz Tabulka 36)}$$

Pořadí variant V (1, 2, 3) se stejným významem kritérií podle zásady „čím vyšší, tím lepší“ je přehledně uvedeno v Tabulce 36.

Další postup spočíval ve stanovení hodnoty kvantitativního multiplikátoru w_j pro každý parametr. Váha kritérií byla stanovena přímo pomocí souhrnného párového hodnocení zjištěním počtu získaných předností a následně výpočtem w_j .

Výsledkem třetího kroku řešení jsou normované hodnoty relativní důležitosti kritérií w_j pro soubor parametrů K viz první sloupec v tabulce schématu Fullerova trojúhelníku.

Tab. 37: Diagram Fullerova trojúhelníka s hodnotami kvantitativních multiplikátorů $w_j(-)$

Kritéria	Varianty			Počet preferencí
K1 - Pořizovací náklady	1	1	1	0
$w_1 = 0$	2	3	4	
K2 - Údržba		2	2	1
$w_2 = 0,167$		3	4	
K3 - Ochrana prostředí			3	2
$w_3 = 0,334$			4	
K4 - Vod. hos. a hydrologie				3
$w_4 = 0,5$ -> největší váha				
Počet preferencí celkem:				6

Největší váha byla přisouzena kritériu č. 4 Vodohospodářská ochrana povodí a na posledním místě s hodnotou $w = 0$ se umístilo kritérium Pořizovací náklady.

Důležitost, význam kritérií, vyjádřený hodnotou $w_j^{(N)}$ byl stanoven Fullerovou metodou párového porovnání. Pracovní schéma Fullerova trojúhelníku je uvedeno v Tabulce 37.

Ukazatele (vektory) U_j , zohledňující význam kritérií získáme z rovnice

$$U_j = w_j^{(N)} \cdot U$$

kde U jsou ukazatele získané pomocí transformačních mocninných funkcí $U = f(P)$ (viz Tabulka 36). Např. pro kritérium K4 „Vodní hospodářství a hydrologie“ platí $w_4^{(N)} = 0,5$ viz pracovní schéma Fullerova trojúhelníku v Tabulce 37. Platí tedy

$$U_4 = 0,5 \cdot U_4 \quad (\text{a to pro každou variantu V})$$

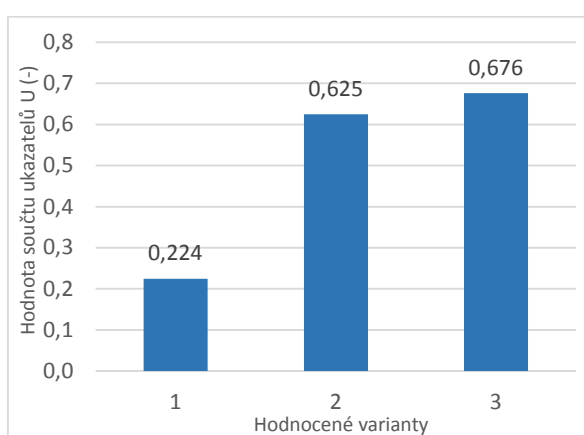
Tímto způsobem získáme pro jednotlivá kritéria P1, P2, ... až Pj odpovídající hodnotu ukazatelů (vektorů) U_j (viz Tabulka 37).

Ukazatele (vektory) U_j se potom ve sloupcích pro jednotlivé hodnocené varianty V(1), V(2) a V(3) postupně sečtou a podle zásady „čím vyšší, tím lepší“ se stanoví pořadí

variant (standardní řešení), které je přehledně uvedeno v Tabulce 38 a graficky znázorněno na Obr. 29.

Tab. 38: Dílčí funkce užitku U pro soubor variant V hodnocený kritérii s rozdílným významem (w) – povodí Černičí

Funkce užitku	Povodí Černičí		
U1	0,000	0,000	0,000
U2	0,162	0,131	0,120
U3	0,025	0,272	0,148
U4	0,037	0,222	0,408
Celkem součet:	0,224	0,625	0,676
Pořadí:	3.	2.	1.



Obr. 29: Hodnocení variant s významem kritérií (vážený výstup) pro povodí Černičí

Z rozboru výsledků vyplývá, že varianty se liší při zvažování významu kritérií. V(1) změna land use je jednoznačně, výrazně upřednostněna před variantami V(3) průleh a to pro stejný význam kritérií (nevážený výstup). V případě zohlednění důležitosti, významu kritérií (vážený výstup, standardní řešení) vyplývá, že nejlepší je výstavba průlehu. Pro model diferencovaného významu kritérií (vážený výstup, standardní řešení) je hodnota variant V(2) a V(3) skoro srovnatelná, rozdíl mezi těmito variantami je pouhých 7 %. Mezi „vítěznou“ variantou V(3) průleh a variantou V(1), kdy land use zůstává ponechán stejný, je už rozdíl markantnější.

3. 2. 3 Varianta systémů s příkopy a terasami

Na povodí Smědá (povodí horského typu) byly vybrány 3 varianty pro výběr neoptimalnější varianty hospodaření na pozemcích. Zadaný soubor variant (scénářů) V je označen V1 až V3:

- V1: 1 řada teras
- V2: 3 řady teras
- V3: 5 řad teras

Pro multikriteriální posouzení variant byla stanovena 4 relevantní kritéria, viz kapitola 3.1. Tab. 39 popisuje vstupní hodnoty pro výpočet Multikriteriální analýzy pro soubor vybraných kritérií v ověřovacím projektu.

Tab. 39: Označení přímé a nepřímé závislosti transformace míry užítka

Kritéria	V1 = 1 terasa	V2 = 3 terasy	V3 = 5 teras	Jednotky
K1	1 362 500	4 088 000	5 450 000	[Kč]
K2	158 956	476 868	784 780	[Kč]
K3	2	3	4	[R]
K4	1	3	5	[R]

Tab. 40 až 43 popisují vstupní a výstupní data při výpočtu.

Kritrium č. 1: Pořizovací náklady – celkové náklady na výstavbu

Tab. 40: Vstupní a výstupní data

K1	V1 = 1 terasa	V2 = 3 terasy	V3 = 5 teras	Jednotky
K1	6 488	19 464	32 440	[m]
K1	1 362 500	4 088 000	5 450 000	[Kč]
U	0,909	0,456	0,254	

Postup výpočtu pro kritérium č. 2, nepřímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 1\,362\,500$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 5\,450\,000$)

$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (5\,450\,000 - 1\,362\,500) / 10 = 408\,750$

$P_p = P_{\min} - d = 953\,750$

$P_k = P_{\max} + d = 5\,858\,750$

platí rovnice

$$U = 1 - \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-20)$$

vV rovnici (3-20) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P , tedy

$P_{\text{prům.}} = (1\,362\,500 + 4\,088\,000 + 5\,450\,000) / 3 = 3\,633\,500$

Platí pak: $0,5 = 1 - \left[\frac{2\,820\,347 - 953\,750}{5\,858\,750 - 953\,750} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 1 - 0,55^k$

odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,45 = 0,88$

$$U = 1 - \left[\frac{P - 953\,750}{5\,858\,750 - 953\,750} \right]^{0,88} \quad (3-21)$$

Rovnice (3-21) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Smědé a Jílovského potoka a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 40.

Kritérium č. 2: Údržba TTP

Tab. 41: Vstupní a výstupní data

K2	V1 = 1 terasa	V2 = 3 terasy	V3 = 5 teras	Jednotky
K2	158 956	476 868	784 780	[Kč]
U	0,915	0,491	0,083	

Postup výpočtu pro kritérium č. 2, nepřímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 158\,956$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 784\,780$)

$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (784\,780 - 158\,956) / 10 = 62\,582,4$

$P_p = P_{\min} - d = 96\,373,6$ $P_k = P_{\max} + d = 874\,362,4$

platí rovnice

$$U = 1 - \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-22)$$

V rovnici (3-22) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P , tedy

$P_{\text{prům.}} = (158\,956 + 476\,868 + 784\,780) / 3 = 473\,535$

Platí pak: $0,5 = 1 - \left[\frac{473\,535 - 96\,373,6}{874\,362,4 - 96\,373,6} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 1 - 0,50^k$

odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,50 = 0,99$

$$U = 1 - \left[\frac{P - 96\,373,6}{874\,362,4 - 96\,373,6} \right]^{0,99} \quad (3-23)$$

Rovnice (3-23) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Smědé a Jílovského potoka a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 41.

Kritérium č. 3: Ekologická ochrana půdy a vegetace

Tab. 42: Vstupní a výstupní data

K3	V1 = 1 terasa	V2 = 3 terasy	V3 = 5 teras	Jednotky
K3	2	3	4	[R]
U	0,083	0,500	0,917	

Postup výpočtu pro kritérium č. 4, přímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 2$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 4$)

$$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (4 - 2) / 10 = 0,2$$

$$P_p = P_{\min} - d = 1,8 \quad P_k = P_{\max} + d = 4,2$$

platí rovnice

$$U = \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-24)$$

V rovnici (3-24) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P , tedy

$$P_{\text{prům.}} = (2+3+4)/3 = 3$$

Platí pak: $0,5 = \left[\frac{3-2}{4-2} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 0,5^k$

odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,5 = 1$

$$U = \left[\frac{P - 1,8}{4,2 - 1,8} \right]^1 \quad (3-25)$$

Rovnice (3-25) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Smědé a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 42.

Kritérium č. 4: Vodohospodářská ochrana povodí

Tab. 43 : Vstupní a výstupní data

K4	V1 = 1 terasa	V2 = 3 terasy	V3 = 5 teras	Jednotky
K4	0,65	1,92	3,25	[%]
K4	1	3	5	[R]
U	0,055	0,445	0,903	

Postup výpočtu pro kritérium č. 4, přímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 1$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 5$)

$$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (5 - 1) / 10 = 0,4$$

$$P_p = P_{\min} - d = 0,6 \quad P_k = P_{\max} + d = 5,4$$

platí rovnice

$$U = \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-26)$$

V rovnici (3-26) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P, tedy

$P_{\text{prům.}} = (1+5+3) / 3 = 3$

Platí pak: $0,5 = \left[\frac{3-0,6}{5,4-0,6} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 0,5^k$

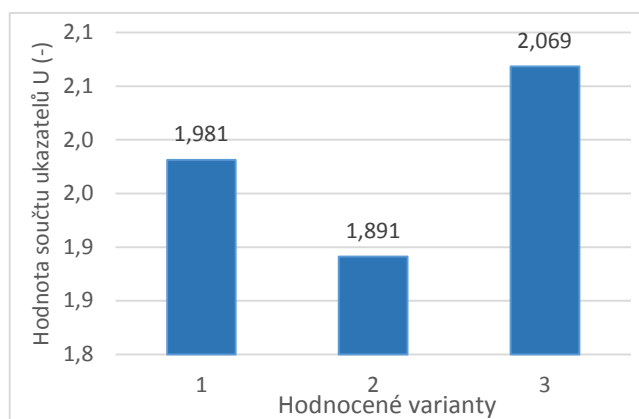
odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,5 = 1$

$$U = \left[\frac{P - 0,6}{5,4 - 0,6} \right]^1 \quad (3-27)$$

Rovnice (3-27) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Smědá a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 43.

Tab. 44: Dílčí funkce užitku U pro varianty V hodnocené souborem kritérií se stejným významem (nevážený výstup) – povodí Smědá

Povodí Smědá			
U1	0,909	0,456	0,254
U2	0,915	0,491	0,083
U3	0,083	0,500	0,917
U4	0,074	0,444	0,815
Celkem	1,981	1,891	2,069
Pořadí:	2.	3.	1.



Obr. 30: Hodnocení variant bez významu kritérií (nevážený výstup) pro povodí Smědá

Pořadí variant V (1, 2 a 3) v modelu kde kritéria P mají stejný význam, stejnou váhu (hodnoty vektorů $U_j = f_j(P_j)$ pro nevážený výstup, Tab. 44) se získá tak, že se pro každou variantu V se postupně sečtou vektory U, získané pomocí transformačních mocninných funkcí.

Např. pro variantu V (3) 3 terasy, bude platit

$U = (U1 + U2 + U3 \dots + Ui)$

$U = (0,254 + 0,083 + 0,917 + 0,815) = 2,069$ (viz Tabulka 44)

Pořadí variant V (1, 2 a 3) se stejným významem kritérií podle zásady „čím vyšší, tím lepší“ je přehledně uvedeno v Tabulka 44.

Další postup spočíval ve stanovení hodnoty kvantitativního multiplikátoru w_j pro každý parametr. Váha kritérií byla stanovena přímo pomocí souhrnného párového hodnocení zjištěním počtu získaných předností a následně výpočtem w_j .

Výsledkem třetího kroku řešení jsou normované hodnoty relativní důležitosti kritérií w_j pro soubor parametrů K viz první sloupec v tabulce schématu Fullerova trojúhelníku.

Tab. 45: Diagram Fullerova trojúhelníka s hodnotami kvantitativních multiplikátorů w_j (-) – povodí Smědá

Kritéria	Varianty			Počet preferencí
K1 - Pořizovací náklady	1	1	1	0
$w_1 = 0$	2	3	4	
K2 - Údržba		2	2	1
$w_2 = 0,167$		3	4	
K3 - Ochrana prostředí			3	2
$w_3 = 0,334$			4	
K4 - Vod. hos. a hydrologie				3
$w_4 = 0,5$ -> největší váha				
Počet preferencí celkem:				6

Největší váha byla přisouzena kritériu č. 4 Vodohospodářská ochrana povodí a na posledním místě s hodnotou $w = 0$ se umístilo kritérium Pořizovací náklady.

Důležitost, význam kritérií, vyjádřený hodnotou $w_j^{(N)}$ byl stanoven Fullerovou metodou párového porovnání. Pracovní schéma Fullerova trojúhelníku je uvedeno v Tabulce 45.

Ukazatele (vektory) U_j , zohledňující význam kritérií získáme z rovnice

$$U_j = w_j^{(N)} \cdot U$$

kde U jsou ukazatele získané pomocí transformačních mocninných funkcí $U = f(P)$ (viz Tabulka 44). Např. pro kritérium K4 „Vodní hospodářství a hydrologie“ platí $w_4^{(N)} = 0,5$, viz pracovní schéma Fullerova trojúhelníku v Tabulce 45. Platí tedy

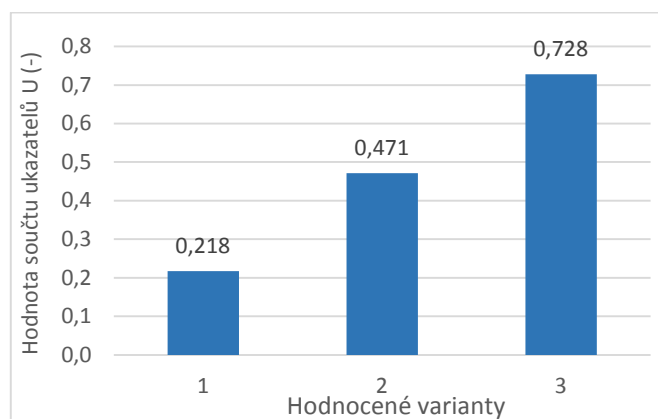
$$U_3 = 0,5 \cdot U_3 \quad (\text{a to pro každou variantu } V)$$

Tímto způsobem získáme pro jednotlivá kritéria P_1, P_2, \dots až P_j (odpovídající hodnotu ukazatelů (vektorů) U_j (viz Tabulka 45).

Ukazatele (vektory) U_j se potom ve sloupcích pro jednotlivé hodnocené varianty $V(1), V(2)$ a $V(3)$ postupně sečtou a podle zásady „čím vyšší, tím lepší“ se stanoví pořadí variant (standardní řešení), které je přehledně uvedeno v Tabulce 46 a graficky znázorněno na Obr. 32.

Tab. 46: Dílčí funkce užitku U pro soubor variant V hodnocený kritérii s rozdílným významem (w)

Povodí Smědá			
U1	0,000	0,000	0,000
U2	0,153	0,082	0,014
U3	0,028	0,167	0,306
U4	0,037	0,222	0,408
Celkem	0,218	0,471	0,728
Pořadí:	3.	2.	1.



Obr. 32: Hodnocení variant s významem kritérií (vážený výstup) pro povodí Smědá

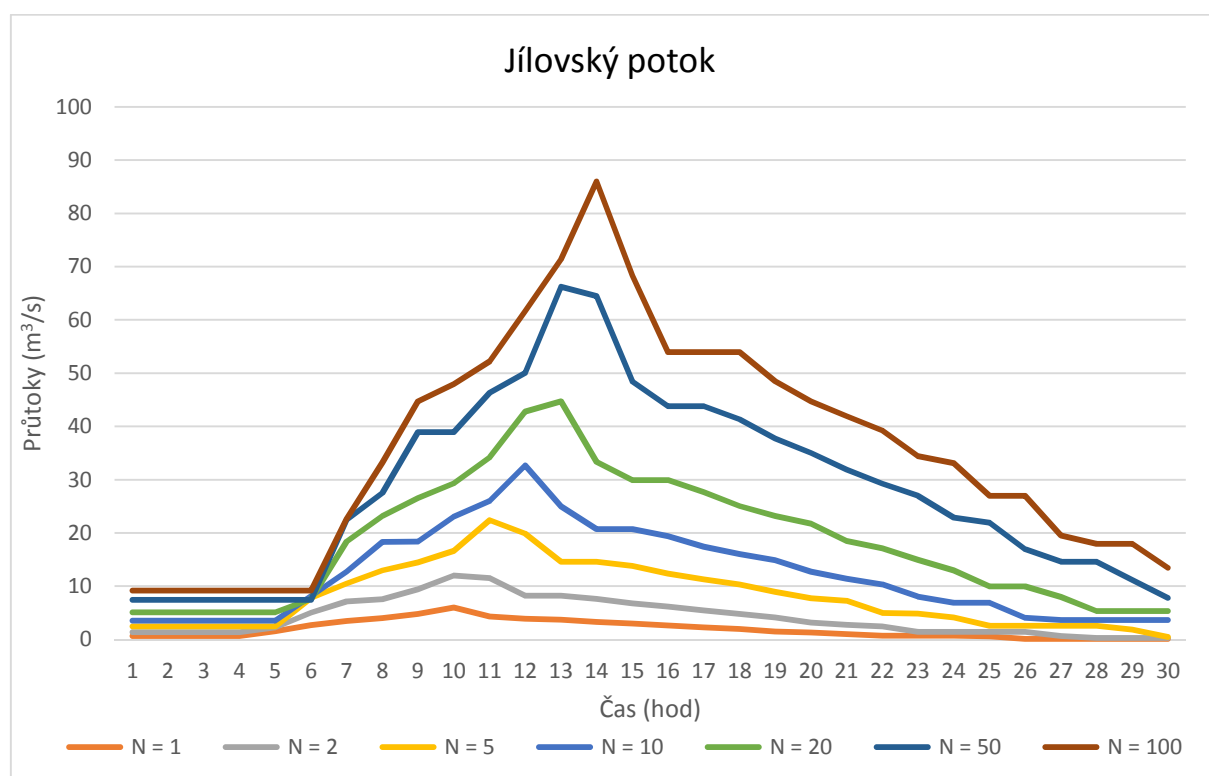
Z rozboru výsledků vyplývá, že varianty se příliš neliší při zvažování významu kritérií. V(3) 5 teras je upřednostněna před ostatními variantami a to pro stejný význam kritérií (nevážený výstup). Tento rozdíl je tedy skoro minimální. Pro model se stejným významem kritérií (nevážený výstup) je hodnota variant V(1) 1 terasa a V(2) 3 terasy skoro srovnatelná, rozdíl mezi těmito variantami je pouhých 4,3 %. V případě zohlednění důležitosti, významu kritérií (vážený výstup, standardní řešení) vyplývá, že nejlepší je výstavba 5-teras. „Vítěznou“ variantou je tedy V(3) 5 teras pro oba dva výpočty.

Na povodí Jílovského potoka (povodí horského typu) byly vybrány 3 varianty pro výběr neoptimálnější varianty hospodaření na pozemcích. Zadaný soubor variant (scénářů) V je označen V1 až V3:

- V1 = příkop a poldr $N = 10$ let
- V2 = příkop a poldr $N = 20$ let
- V3 = příkop a poldr $N = 50$ let

Tab. 47: Kulminace a objemy vody $N =$ letých povodňových událostí pro povodí Jílovského potoka, Poldru Jílové

Doba opakování N (roky)	Kulminace ČHMÚ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Čistý objem vlny (KBÚK) $\times 10^3$ (m^3)
1	6,0	145,0
2	12,0	323,0
5	22,4	622,0
10	32,7	938,0
20	44,7	1433,0
50	66,2	2252,0
100	86,0	2867,0



Obr. 33: Objemy vody $N =$ letých povodňových událostí pro povodí Jílovského potoka, Poldru Jílové

Pro multikriteriální posouzení variant byla stanovena 4 relevantní kritéria, viz kapitola 3.1. Tab. 48 popisuje vstupní hodnoty pro výpočet Multikriteriální analýzy pro soubor vybraných kritérií v ověřovacím projektu.

Tab. 48: Souhrnné hodnoty pro výpočet Multikriteriální analýzy pro povodí Jílovského potoka

Kritéria	V1 = příkop a poldr $N = 10$ let	V2 = příkop a poldr $N = 20$ let	V3 = příkop a poldr $N = 50$ let	Jednotky
K1	551 140	640 780	789 630	[Kč]
K2	30 039	30 922	32 385	[Kč]
K3	3	3	2	[R]
K4	3	4	5	[R]

Tab. 49 až 52 popisují vstupní a výstupní data při výpočtu.

Kritérium č. 1: Pořizovací náklady – celkové náklady na výstavbu

Tab. 49: Vstupní a výstupní data

K1	V1 = příkop a poldr N = 10 let	V2 = příkop a poldr N = 20 let	V3 = příkop a poldr N = 50 let	Jednotky
K1	551 140	640 780	789 630	[Kč]
U	0,936	0,641	0,092	

Postup výpočtu pro kritérium č. 1, nepřímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 551\,140$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 789\,630$)

$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (789\,630 - 551\,140) / 10 = 23\,849$

$P_p = P_{\min} - d = 527\,291$ $P_k = P_{\max} + d = 813\,479$

platí rovnice

$$U = 1 - \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-28)$$

V rovnici (3-28) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P , tedy

$P_{\text{prům.}} = (551\,140 + 640\,780 + 789\,630) / 3 = 660\,517$

Platí pak: $0,5 = 1 - \left[\frac{660\,517 - 527\,291}{813\,479 - 527\,291} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 1 - 0,47^k$

odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,47 = 1,11$

$$U = \left[\frac{P - 527\,291}{813\,479 - 527\,291} \right]^{1,11} \quad (3-29)$$

Rovnice (3-29) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Jílovského potoka a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 49.

Kritérium č. 2: Údržba TTP

Tab. 50: Vstupní a výstupní data

K2	V1 = příkop a poldr N = 10 let	V2 = příkop a poldr N = 20 let	V3 = příkop a poldr N = 50 let	Jednotky
K2	30 039	30 922	32 385	[Kč]
U	0,936	0,640	0,092	

Postup výpočtu pro kritérium č. 2, nepřímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 30\,039$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 32\ 385$)

$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (32\ 385 - 30\ 039) / 10 = 234,6$

$P_p = P_{\min} - d = 29\ 804,4$ $P_k = P_{\max} + d = 32\ 619,6$

platí rovnice

$$U = 1 - \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-30)$$

V rovnici (3-30) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P , tedy

$P_{\text{prům.}} = (30\ 039 + 30\ 922 + 32\ 385) / 3 = 31\ 115$

Platí pak: $0,5 = 1 - \left[\frac{31\ 115 - 29\ 804,4}{32\ 619,6 - 29\ 804,4} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 1 - 0,47^k$

odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,47 = 0,53$

$$U = 1 - \left[\frac{P - 29\ 804,4}{32\ 619,6 - 29\ 804,4} \right]^{0,53} \quad (3-31)$$

Rovnice (3-31) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Jílovského potoka a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 50.

Kritérium č. 3: Ekologická ochrana půdy a vegetace

Tab. 51: Vstupní a výstupní data

K3	V1 = příkop a poldr N = 10 let	V2 = příkop a poldr N = 20 let	V3 = příkop a poldr N = 50 let	Jednotky
K3	3	3	2	[R]
U	0,943	0,943	0,184	

Postup výpočtu pro kritérium č. 3, přímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 3$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 2$)

$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (3 - 2) / 10 = 0,1$

$P_p = P_{\min} - d = 1,9$ $P_k = P_{\max} + d = 3,1$

platí rovnice

$$U = \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-32)$$

V rovnici (3-32) je neznámou exponent k , který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P, tedy

$$P_{\text{prům.}} = (3 + 3 + 2) / 3 = 3$$

Platí pak: $0,5 = \left[\frac{3-1,9}{3,1-1,9} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 0,5^k$

odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,5 = 1$

$$U = \left[\frac{P - 1,9}{3,1 - 1,9} \right]^1 \quad (3-33)$$

Rovnice (3-33) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Jílovského potoka a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 51.

Kritérium č. 4: Vodohospodářská ochrana povodí

Tab. 52: Vstupní a výstupní data

K4	V1 = příkop a poldr N = 10 let	V2 = příkop a poldr N = 20 let	V3 = příkop a poldr N = 50 let	Jednotky
K4	3	4	5	[R]
U	0,083	0,500	0,917	

Postup výpočtu pro kritérium č. 4, přímá závislost

P_p je P počáteční $P_p = P_{\min} - d$ (P_{\min} je P minimální, $P_{\min} = 3$)

P_k je P koncové $P_k = P_{\max} + d$ (P_{\max} je P maximální, $P_{\max} = 5$)

$$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10 = (5 - 3) / 10 = 0,2$$

$$P_p = P_{\min} - d = 2,8 \quad P_k = P_{\max} + d = 5,2$$

platí rovnice

$$U = \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (3-34)$$

V rovnici (3-34) je neznámou exponent k, který určíme takto:

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat

$U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr P, tedy

$$P_{\text{prům.}} = (3 + 4 + 5) / 3 = 4$$

Platí pak: $0,5 = \left[\frac{4-2,8}{5,2-2,8} \right]^k$, tedy platí vztah $0,5 = 0,5^k$

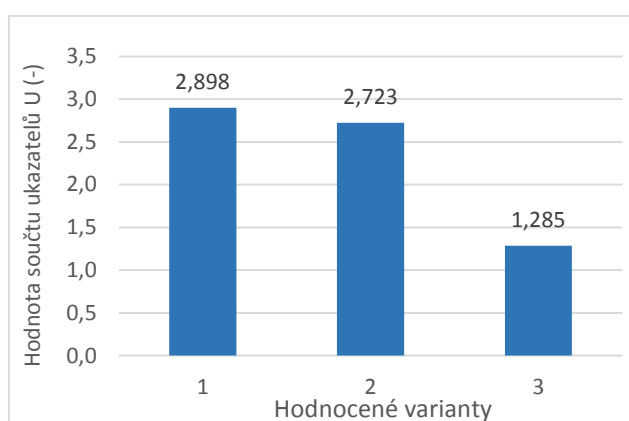
odtud pro k pak: $k = \ln 0,5 / \ln 0,5 = 1$

$$U = \left[\frac{P - 2,8}{5,2 - 2,8} \right]^1 \quad (3-35)$$

Rovnice (3-35) je výsledná rovnice pro výpočet neváženého výstupu pro povodí Jílovského potoka a výstupem Multikriteriální analýzy je Tab. 52.

Tab. 53 : Dílčí funkce užítka U pro varianty V hodnocené souborem kritérií se stejným významem (nevážený výstup) – povodí Jílovského potoka

Povodí Jílovský potok			
U1	0,936	0,641	0,092
U2	0,936	0,640	0,092
U3	0,943	0,943	0,184
U4	0,083	0,500	0,917
Celkem	2,898	2,723	1,285
Pořadí:	1.	2.	3.



Obr. 33.:Hodnocení variant bez významu kritérií (nevážený výstup) pro povodí Jílovského potoka

Pořadí variant V (1, 2, 3) v modelu kde kritéria P mají stejný význam, stejnou váhu (hodnoty vektorů $U_j = f_j(P_j)$ pro nevážený výstup, Tab. 53) se získá tak, že se pro každou variantu V se postupně sečtou vektory U , získané pomocí transformačních mocninných funkcí.

Např. pro variantu V (3), příkop a poldr $N = 50$ let bude platit

$$U = (U_1 + U_2 + U_3 \dots + U_i)$$

$$U = (0,092 + 0,092 + 0,184 + 0,917) = 1,285 \text{ (viz Tabulka 53)}$$

Pořadí variant V (1, 2, 3) se stejným významem kritérií podle zásady „čím vyšší, tím lepší“ je přehledně uvedeno v Tabulce 53.

Další postup spočíval ve stanovení hodnoty kvantitativního multiplikátoru w_j pro každý parametr. Váha kritérií byla stanovena přímo pomocí souhrnného párového hodnocení zjištěním počtu získaných předností a následně výpočtem w_j .

Výsledkem třetího kroku řešení jsou normované hodnoty relativní důležitosti kritérií w_j pro soubor parametrů K viz první sloupec v tabulce schématu Fullerova trojúhelníku.

Tab. 54: Diagram Fullerova trojúhelníka s hodnotami kvantitativních multiplikátorů w_j (-)

Kritéria	Varianty			Počet preferencí
K1 - Pořizovací náklady	1	1	1	0
$w_1 = 0$	2	3	4	
K2 - Údržba		2	2	1
$w_2 = 0,167$		3	4	
K3 - Ochrana prostředí			3	2
$w_3 = 0,334$			4	
K4 - Vod. hos. a hydrologie				3
$w_4 = 0,5$ -> největší váha				
Počet preferencí celkem:				6

Největší váha byla přisouzena kritériu č. 4 Vodohospodářská ochrana povodí a na posledním místě s hodnotou $w = 0$ se umístilo kritérium Pořizovací náklady.

Důležitost, význam kritérií, vyjádřený hodnotou $w_j^{(N)}$ byl stanoven Fullerovou metodou párového porovnání. Pracovní schéma Fullerova trojúhelníku je uvedeno v Tabulce 54.

Ukazatele (vektory) U_j , zohledňující význam kritérií získáme z rovnice

$$U_j = w_j^{(N)} \cdot U$$

kde U jsou ukazatele získané pomocí transformačních mocninných funkcí $U = f(P)$ (viz Tabulka 53). Např. pro kritérium K4 „Vodní hospodářství a hydrologie“ platí $w_4^{(N)} = 0,5$ viz pracovní schéma Fullerova trojúhelníku v Tabulce 54. Platí tedy

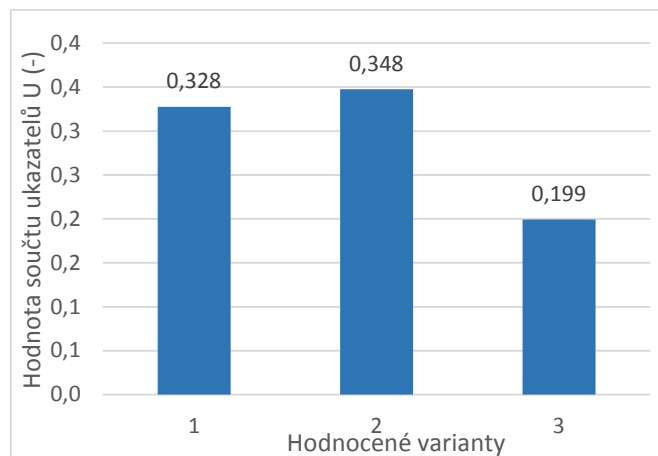
$$U_4 = 0,5 \cdot U_3 \quad (\text{a to pro každou variantu } V)$$

Tímto způsobem získáme pro jednotlivá kritéria P_1, P_2, \dots až P_j odpovídající hodnotu ukazatelů (vektorů) U_j (viz Tabulka 54).

Ukazatele (vektory) U_j se potom ve sloupcích pro jednotlivé hodnocené varianty $V(1), V(2)$ a $V(3)$ postupně sečtou a podle zásady „čím vyšší, tím lepší“ se stanoví pořadí variant (standardní řešení), které je přehledně uvedeno v Tabulce 55 a graficky znázorněno na Obr. 34.

Tab. 55: Dílčí funkce užítku U pro soubor variant V hodnocený kritérii s rozdílným významem (w) – povodí Jílovského potoka

Povodí Jílovský potok			
U1	0,000	0,000	0,000
U2	0,156	0,107	0,015
U3	0,157	0,157	0,031
U4	0,014	0,084	0,153
Celkem	0,328	0,348	0,199
Pořadí:	2.	1.	3.



Obr. 35: Hodnocení variant s významem kritérií (vážený výstup) pro povodí Jílovského potoka

Z výsledků vyplývá, že varianta V(1) příkop a poldr $N = 10$ let je upřednostněna před ostatními variantami a to pro stejný význam kritérií (nevážený výstup). Na druhém místě je V (2) příkop a poldr $N = 20$ let. A na posledním místě je příkop s poldrem $N = 50$ let. Hodnota varianty V (3) je o 56 % menší než hodnota pro V (1). Pro model se stejným významem kritérií (nevážený výstup) je hodnota variant V(2) příkop a poldr $N = 20$ let a V(1) příkop a poldr $N = 10$ let skoro srovnatelná, rozdíl mezi těmito variantami je pouhých 6 %. V případě zohlednění důležitosti, významu kritérií (vážený výstup, standardní řešení) vyplývá, že nejlepší je výstavba příkopu s poldrem $N = 20$ let.

3. 2. 4 Celkové zhodnocení Multikriteriální analýzy

Multikriteriální analýza dotváří Metodiku, která je finančně závislá zejména na výši pořizovacích nákladů na výstavbu biotechnických protipovodňových opatření. Tato opatření je třeba vybrat pečlivě v souladu s geomorfologickými faktory povodí podle sklonů a délek svahů, charakteru krajiny způsobu její ochrany. Je třeba také počítat s údržbou těchto opatření, opravami staveb, vyžínáním travních a dosadbami lesních porostů. Souhrnně řečeno, náklady investiční a provozní (údržba) jsou hlavními položkami budování protipovodňových a protierozních systémů. Nejúčinnější druhy těchto systémů jsou nesporně odvodňovací a vsakovací příkopy, terasy, hrázky a poldry. Ty všechny jsou v této Metodice zahrnuty. Státní správa a samosprávy obcí však nedisponují velkými finančními prostředky. Proto se většinou investice řeší v rámci komplexních pozemkových úprav, jako společná opatření vodohospodářská a komunikační, která jsou dotována státem.

III Srovnání novosti postupů

V kapitole I. **Cíle metodiky** byly jmenovány všechny metodické postupy, které byly v Projektu TAČR TA 02020402 použity. Z nich původní části metodických postupů však tvoří součásti Certifikované metodiky pouze následující postupy, které jsou buďto originální postupy autorské, nebo jejichž úprava je podstatná, znamenající zásadní metodický vliv nového přínosu podle posouzení dle zákona č. 130/2002 Sb., § 2, odst. 1,

písm. b) a písm. c). Naše označení na **nové postupy autorské (NPA)** a **podstatně upravené postupy (PUP)** je ve zkratce **NPA** a **PUP** identifikujeme srovnání novosti.

Rozdělení novosti postupů:

1. Nástroje identifikace ohroženosti povodí

Principem je predikce trvání 1- denních (24 hod) dešťů dosáhnout jejich katastrofických povodňových dopadů uvnitř této 24 hod periody. Jsou to dva softwary určující metodiku zpracování srážko-odtokových případů „Design_Rain_Constant: **DES_RAIN_Constant** a Design_Rain_Variable: **DES_RAIN_Variable**, klasifikace: **oba postupy NPA**. Web link ČZU/FŽP: <http://fzp.czu.cz/vyzkum/> .

2. Výpočetní metody simulace srážko-odtokových procesů

- **KINFIL Model** je vlastní částí metodiky a softwarem (autor: P. Kovář) pro řešení infiltrace (část INFIL) a povrchového odtoku kinematickou vlnou (část KINF).
Klasifikace: NPA.
- **HEC-HMS** je převzatý model, který je softwarem z U. S. Army Corps of Engineering jako Hydrologic Modeling System. Je veřejně dostupný, představuje ve své verzi USACE 2010 6 dílčích modelů pro matematický popis chování povodí. Je v úpravě D. Vaššové-Heřmanovské. **Klasifikace PUP.**
- **CN-Methodology** je produktem U. S. Natural Resources Conservation Service (NRCS) v naší vlastní úpravě, která může dobře určovat vztahy mezi CN (Curve Number) a KINFIL v problematice hydrologických odtokových parametrů. Je to úprava, která přináší velmi dobré výsledky, zejména v hydrologii půd. **Klasifikace PUP.**
- **FOURIER Model** je perspektivní simulace vlivu aktuální evapotranspirace na průtokový režim 24 hod-cyklu, kdy rozdílné podmínky den/noc zásadně mění cyklus průtoků. Systém měření průtoků citlivými čidly (typu „high resolution“) odpovídá tvaru křivky Fourierova rozvoje. Použitý model (autor: P. Kovář) lze uplatnit, jsou-li k dispozici měřená data průtoků, pokud došlo místy ke kolapsu měření, je možné doplnit chybějící data průtoků zpětnou simulací. Jsou-li k dispozici i data výparu z volné vodní hladiny a data půdních vlhkostí, dá se dobře usuzovat i na hodnoty aktuální evapotranspirace, tj. územní výpar, což je velkým přínosem tohoto projektu. **Klasifikace NPA.**
- **WBCM Model** (Water Balance Conceptual Model, autor: P. Kovář) je vlastním bilančním modelem, který v této době má 7 variant (včetně varianty kolísání HPV). Zahrnuje všechny podstatné interace mezi jednotlivými komponenty bilanční rovnice, tj. vegetační a kořenovou zónou i celkovou nenasycenou půdní zónou a nasycenou zónou podzemních vod. Použitá verze WBCM-5 optimalizuje tři parametry: SMAX = max. kapacita nenasycené zóny, GWM = max. kapacita nasycené zóny a BK = parametr časové translace základního odtoku. Model WBCM umožňuje scénářové využití změny „landuse“. **Klasifikace NPA.**
- **FLOOD_V Model** je aplikovaný metodický postup (autor: P. Kovář), který umožňuje na základě N-letého návrhového průtoku Q_N (ČHMÚ) vypočítat objem

vody (FLOOD_Volume) tak, abychom mohli usuzovat na objem povodně, tj. na objem poldru, nebo na kapacitu Q_N hrází pro nádrž. K výpočtu je třeba použít software FLOOD_V; jako data je možno využít (v software již uplatněnou metodiku) v CN křivce, obsahující standardní parametry jednotkového hydrogramu dané plochou povodí, délkou a sklonem hlavního toku a číslem odtokové křivky CN. **Klasifikace PUP.**

IV Popis uplatnění Certifikované Metodiky

Uplatnění Certifikované Metodiky, která přináší nástroje identifikace o ohroženosti povodí, výpočetní metody simulace povodní, sucha i eroze a návrhy biotechnických opatření ke snížení hydrologických extrémů, jistě nebude obtížné prosadit. Na trhu práce se objeví ucelená metodika, obsahující všechny tři stupně řešení:

- Identifikace problému (zpracování dešťů)
- Výpočetní metody (modely) simulace srážko-odtokových procesů
- Zhodnocení a výběr vhodných biotechnických opatření ke snížení dopadů hydrologických extrémů.

Zřejmě logicky bude největší zájem z oblasti státní správy, tedy z resortu exekutivy vodního hospodářství, tj. Ministerstva zemědělství ČR a předpokládáme rovněž z partnerské strany kontrolního orgánu vodního hospodářství, tj. Ministerstva životního prostředí ČR. Toto je klíčová záležitost z hlediska investic, které je lépe řešit „apriori“, než „ex-post“. Zde i komplexní pozemkové úpravy hrají svou roli zvláště v otázce společných opatření výstavby účelné cestní sítě a protierozních i protipovodňových opatření ve venkovské krajině.

Druhou instancí jsou zřejmě dotace EU k předcházení povodňových katastrof a hydrologického sucha zejména při rozdělování těchto dotací státní správě a samosprávě. Třetí skupinou zájemců by měli být vykonavatelé těchto vodohospodářských staveb a staveb k ochraně krajiny. Domníváme se, že především to budou projektanti, zejména soukromé firmy, dále zhotovitelé, kteří svými dodávkami zabezpečí výstavbu technických opatření a v neposlední řadě investoři, asi více státní či krajské, než soukromí.

Rovněž se domníváme, že 1. - 2. skupina aktivit, tj. Nástroje identifikace ohroženosti povodí a Výpočetní metody, tj. hydrologické modely budou více doménou projektantů a konzultantů, zatímco 3. skupina, což jsou realizace biotechnických opatření, bude směřovat své zájmy do dodavatelské činnosti.

Zvláště očekáváme z možné reakce nástrojů vlády ČR, zejména finančních možností k momentálnímu řešení sucha, že zájem bude jak o praktické možnosti řešení, jako jsou zvýšení cen pitné vody, nutnost výstavby podzemních nádrží k akumulaci dešťové vody ze střech budov, ale také k podpoře výstavby retenčních nádrží, poldrů i akumulace

pitné vody v podzemních tancích, tzv. „rainfall harvesting“. Naši partneři v tomto projektu, firmy „Vodní stavby“ a „Vestado“ nás o tom přesvědčují. Doufáme, že i akademický univerzitní svět bude dobře i nadále spolupracovat při výchově nové generace absolventů hydrologického a vodohospodářského vzdělávání a vzájemné otevřené konkurenci publikování výsledků výzkumu.

V Ekonomické aspekty

Náklady zavedení postupu výpočtu N -letých povodňových průtoků Q_N jsou součástí hydrologických podkladů, žádaných od ČHMÚ, nebo u malých povodí (odtokových ploch) se dají určit ze softwarových příloh projektu DES_RAIN a KINFIL (přístupné na <http://fzp.czu.cz/vyzkum/>). Údaje ČHMÚ představují datový soubor, obsahující průměrné dlouhodobé hodnoty ročních srážek, průtoků, plochy povodí a jeho hlavních charakteristik, m -denních průtoků a N -letých průtoků. Tento soubor je třeba využít jako minimální rozsah údajů pro výpočet N -letých průtoků. Cena tohoto souboru je do 5 tisíc Kč. Software FLOOD_V (Excel) pro výpočet objemů povodňových vln je za režijní poplatek ČZU. Cena ČHMÚ je vyšší.

Software DES_RAIN (návrhové deště) a KINFIL (matematický model povodňových odtoků) je zdarma a je k dispozici na web-stránkách ČZU (viz výše). Tento provozní „náklad“ je výsledkem metodiky a uživatel může ušetřit i mnohonásobek finančních prostředků robustním omezením povodňových a erozních škod. Model FOURIER je zatím v konzultační verzi, do konce roku 2016 za něj bude rovněž režijní poplatek. Jeho hodnota je spíše vědecká, přináší solidní odhad aktuální evapotranspirace, neboli územní výpar, který je důležitý pro předpovědi sucha. Pokud bude třeba seznámení se s teorií programu, autoři metodiky jsou ochotni pořádat semináře za režijní ceny.

VI Seznam použité související literatury

- Arnold J. G., R. Srinivasan R. S. Muttiah and J. R. Williams (1998): *Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development*. J. American Water Resour. Assoc. 34(1): 73-89.
- Ashley R., Gardin S., Pasce E., Vassilopoulos A., Zevenbergen C. (2007): *Advances in Urban Flood Management*. Taylor and Francis, London, ISBN 978-0-415-43662-5, 499 s.
- Beven K. J. (2006): *Rainfall-Runoff Modelling*. J. Wiley & Sons, Inc. 2006, ISBN 13 978-0-471-98553-2, 360 s.
- Bond, B. J., Jones, J. A., Moore, G., Phillips, N., Post, D., McDonnell, J. J. (2002): The zone of vegetation on baseflow revealed by diel patterns of streamflow and vegetation water use in a headwater basin. *Hydrol. Process.* 16, s. 1671–1677.
- Brown, E. A., Zhang, L., McMahon, A. T., Western, W. A., Vertessy, A. R. (2004): A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology* 310, s. 28–61.

- Burt T. P. (1979): Diurnal variations in stream discharge and throughflow during a period of low flow. *Journal of Hydrology* 41 (3-4), s. 291–301.
- Deutscher J., Kupec P. (2014): Monitoring and validating the temporal dynamics of interday streamflow from two upland head micro-watersheds with different vegetative conditions during dry periods of growing season on the Bohemian Massif, Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment* 186 (6), s. 3837–3846.
- Dvořáková Š., Kovář P., Zeman J. (2012): *Implementation of conceptual linear storage model of runoff with diurnal fluctuation of discharges in rainless periods*. Journal of Hydrology and Hydromechanics. Vol. 60, No. 4, 217- 226, doi: 10.2478/v10098-012-0019-y.
- Dvořáková Š., Kovář P., Zeman J. (2014): *Impact of Evapotranspiration on Discharge in Small Catchments*. Journal of Hydrology and Hydromechanics. Vol. 62, No. 4, 285 – 292, doi: 10.2478/v10098-012-0022-3.
- EU Flood Directive: Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.
- EU Water Framework Directive: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, Strasbourg, 23. 10. 2000: 96 s.
- Fenicia F., Savenije, H. H. G., Matgen, P., Pfister, L. (2006): Is the groundwater reservoir linear? Learning from data in hydrological modelling. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 10, s. 139–150.
- Ferguson B. K. (1998): *Introduction to Stormwater*. J.Wiley & Sons, Inc., 1998, ISBN: 0-471-16528-X, New York, USA.
- Hardy G. H., Rogosinski W. W. (1971): *Fourier series, Fourierovy řady*. SNTL/ALFA, 3. vydání, 04-005-71.
- Hrádek F., Kovář P. (1994): *Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů*. Vodní hospodářství str. 49 – 53, ISSN 1211-0760
- Chiew F. H. S., Peel M. C., Western A. W. (2002): *Application and testing of the simple rainfall-runoff model SIMHYD*, In: *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications* (Editors: V. P. Singh and D.K. Frevert), Water Resources Publication, Littleton, Colorado, USA, 335-367.
- Janeček M., et al. (2002): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV nakladatelství Praha, ISBN 85866-85-8. 254 s.
- Janeček M. et al. (2007): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. VÚMOP, ISBN 978-80-254-0973-2, 76 s.
- Janeček, M., a kol. (2012): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ČZU Praha. 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.
- Kalvová J., Metelka L (2010): *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektoru vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV)*, Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV – SP/1a6/108/07.
- Keeney, R. L., Raiffa, H. (1976): *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley, New York.

- Kirchner, J. W. (2006): Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses and models to advance the science of hydrology. *Water Resources Research* 42, W03S04, doi: 10.1029/2005WR004362.
- Kirchner, J. W. (2009): Catchment as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward. *Water Resources Research* 45, W02429, doi: 10.1029/2008WR006912.
- Kovář P. (1992): *Možnosti určování návrhových průtoků na malých povodích modelem KINFIL*. Vodohospodářský časopis 40(2), 197–220.
- Kovář P. (1994): *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích*. Doktorská disertační práce (DrSc.), ČZU v Praze.
- Kovář P. (2000): *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích*. SIC ČZU, 2000, ISBN 80-213-0088-4.
- Kovář P., Cudlín P., Heřman M., Zemek F., Korytář M. (2002): *Analysis of Flood Events on Small River Catchments using the KINFIL Model*. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 50(2), 157–171.
- Kovář, P., Janeček, M., Tippl, M., Vetišková, D. (2004): Analýza příčin a projevů povodní na malých povodích v České republice. *Soil and Water* 3, s. 109–123. ISSN 1213-8673.
- Kovář P., Dvořáková Š., Kubátová E. (2006): *Possibilities of the Using the Direct Runoff Model KINFIL for a Road Network Design*. *Soil and Water Research* 1(2), 49–56.
- Kovář P., Kadlec V. (2009): *Use of the KINFIL rainfall-runoff model on the Hukava catchment*. *Soil and Water Research* 4(1): 1–9. ISSN 1801-5395.
- Kovář P., Pleštilová R. (2009): *Metodika odvození objemu návrhových povodňových odtoků pro určování parametrů staveb protipovodňové ochrany na malých povodích*. Konference krajinné inženýrství 2009, ISBN 978-80-903258-8-3, ČSKI, Praha.
- Kovář P., Zezulák J. (2010): *FLOOD_V* [počítačový program]. FŽP ČZU Praha. Dostupné z <<http://fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>>. Program pro výpočet objemu povodňové vlny.
- Kovář P., Vaššová D., Hrabalíková M. (2011): *Mitigation of surface runoff and erosion impacts on catchment by stone hedgerows*. *Soil and Water Research*, No. 4, 153-164.
- Kovář P. (2012): *Malé vodní toky*. Učební texty FŽP ČZU v Praze, (CD ROM, ppt prezentace).
- Kovář P., Štibinger J., Kasl M., Pondělíček V., Křovák F., Veselý S., Janeček M., Vaššová D., Hrabalíková M., Dvořáková Š., Zeman J., Kubátová E., Pešková J., Kudrnáčová M., Chlupsová J. (2012): *Optimalizace vodního režimu krajiny ke snižování dopadů hydrologických extrémů* (Projekt Technologické agentury ČR TA02020402). Periodická výzkumná zpráva 2012, 55 s.
- Kovář, P., Vaššová, D. (2012) *The KINFIL Model Manual*. FŽP ČZU v Praze. 17 s.
- Kovář P., Vaššová D., Hrabalíková M. (2012): *Hydrologické a protierozní funkce agrárních valů*. *Stavební obzor* 4., 2012.
- Kovář P., Janeček M., Kasl M., Dvořáková Š., Zeman J., Heřmanovská D., Hrabalíková M. (2013): *Optimalizace vodního režimu krajiny ke snižování dopadů hydrologických*

- extrémů* (Projekt Technologické agentury ČR TA02020402). Periodická výzkumná zpráva 2013, 49 s.
- Kovář P., Šimková J., Rous V. (2013): *Možnosti využití modelové simulace hydrologických dat pro vodohospodářské studie a projekty*. Vodní hospodářství 63, 12/2013, 416–420.
- Kovář P., Heřmanovská D. (2014): *The KINFIL Model Manuál*. FŽP ČZU v Praze.
- Kovář P., Heřmanovská D., Sůva M. (2014): *DES_RAIN_Variable*, Software <http://fzp.czu.cz/vyzkum/>
- Kovář P., Křovák F., Rous V., Bílý M., Šálek M., Vaššová D., Hrabalíková M., Tejnecký V., Drábek O., Bažatová T., Pešková J. (2014): *An appraisal of the effectiveness of nature-close torrent control methods – Jindřichovický Brook case study*. Ecohydrology, 2014, roč. 7, č. 5, s. 1281-1296. ISSN: 1936-0584.
- Kovář P., Štibinger J., Kasl M., Dvořáková Š., Zeman J., Heřmanovská D., Šimková J., Pondělíček V., Křovák F., Veselý S., Procházková E., Novotná J., Bačtinová H., Hadaš P., Prax A., Hrabalíková M. (2014): *Optimalizace vodního režimu krajiny ke snižování dopadů hydrologických extrémů* (Projekt Technologické agentury ČR TA02020402). Periodická výzkumná zpráva 2014, 118 s.
- Kovář P., Hrabalíková M., Neruda M., Neruda R., Šrejber J., Jelínková A., Bačtinová H., 2015: *Choosing an appropriate hydrological models for rainfall- runoff extremes in small catchments*. Soil and Water Research. Vol. 10, No. 3: 137–146. WOS: 000359331100001
- Kraijenhoff van de Leur, D. A., Schulze, F. E., O'Donnell, T. O. (1966): *Recent Trends in Hydrograph Synthesis*. TNO 13., The Hague.
- Kulhavý Z., Kovář P. (2000): *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. VÚMOP Praha, ISSN 1211-3972, 123 s.
- Kutílek M., Nielsen D. R. (1994): *Soil hydrology. Geo-ecology textbook*. Cremlingen Destedt, Catena Verlag, ISBN 3-923381-26-3, 98–102.
- Lal R. (2000): *Integrated Watershed Management in the Global Ecosystem*. Publ.CRC, ISBN 0-8493-0702-3/00.
- Langhammer, J., Vilímek, V. (2008): *Landscape changes as a factor affecting the course and consequences of extreme floods in the Otava river basin. Czech Republic. Environmental Monitoring and Assessment* 144, s. 53–66.
- Langlois J. P., Fahrig L., Merriam G., Artsob H. (2001): *Landscape structure influences continental distribution of hantavirus in deer mice*. Landscape Ecology 16, s. 255–266.
- Lax P. D., Wendroff B. (1960): *Systems of conservation laws*. Commun. Pure Appl Math. 13(2), s. 217–237.
- Loheide, S. P., Butler, J. R. J., Gorelick, S. M. (2005): *Estimation of groundwater consumption by phreatophytes using diurnal water table fluctuations: A saturated-unsaturated flow assessment*. *Water Resources Research* 41, W07030. doi:10.1029/2005WR003942.
- Löw J., Míchal I. (2003): *Krajinný ráz*. Lesnická práce, Kostelec n. Černými Lesy.

- Machová, I., Elznicová, J. (2009): *Identifikace změn rozšíření agrárních valů*. Sborník konference MU Brno Geosférické aspekty střeoevropského prostoru, ISBN 978-80-210-4947-5, s. 13.
- Machová, I., Elznicová, J. (2010): *Identifikace změn rozšíření agrárních valů*. *Studia Oecologica* 4(4), s. 10.
- Marquardt D. W. (1963): *An algorithm for least square estimation of nonlinear parameters*. *Journal of Society of Industrial Applied Mathematics* 11, 431–441.
- Marshall E. J. P., Moonen A. C. (2002): *Field margins in Northern Europe: their functions and interactions with agriculture*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89, 5–21.
- Mein R. G., Larson C. L. (1973): *Modelling infiltration during a steady rain*. *Water Resources Research*, 9 (2), 384–394.
- Mérot P. (1999): *The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in a temperate climate*. *Agronomie* 19, 655–669.
- Miles L. D. (1967): *Value analysis: Decision Makers' route to profits*. Feature article exploring how VA leads to increased profits and interviewing leaders in the field. Discusses. STEEL Magazine, USA.
- Morel-Seytoux, H. J., Verdin, J. P. (1981): *Extension of the SCS Rainfall Runoff Methodology for ungaged Watersheds*. Report FHWA/RD-81/060, Colorado State University, Fort Collins. 79 s.
- Morel-Seytoux H. J. (1982): *Analytical results for predictions of variable rainfall infiltration*. *Journal of Hydrology* 59, 209–230.
- Meretti G., Montanari A. (2007): *AFFDEF: A spatially distributed grid based rainfall-runoff model for continuous time simulations of river discharge*. *Environmental Modelling & Software* 22, 823–836.
- Mul, M. L., Savenije, H. H. G., Uhlenbrook, S. (2007): *Base flow fluctuations from a forested and a cultivated hill slope in northern Tanzania*. *Conference proceedings (CD-Rom) of the 8th WATERNET/WARFSA/GWP-SA Symposium*, Lusaka, Zambia, 31 Oct – 2 Nov 2007, 9 s.
- Natural Resources Conservation Service (2004a): Chapter 10 Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. U. S. Department of Agriculture, Washington D. C.
- Natural Resources Conservation Service (2004b): Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. U. S. Department of Agriculture, Washington D. C.
- Natural Resources Conservation Service (2007): Chapter 16 Hydrographs. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. U. S. Department of Agriculture, Washington D. C.
- Natural Resources Conservation Service (2010): Chapter 15 Time of Concentration. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. U. S. Department of Agriculture, Washington D. C.

- Overton D. E., Meadows M. E (1976): *Stormwater Modeling*. New Modeling. New York, Academic Press. 358 s. ISBN 0-12-531550-3.
- Philip J. R. (1957): *Numerical solution of equations of the diffusion type with diffusivity concentration-dependent*. II. Australian Journals of Physics 10, 29–42.
- Ponce V. M., Hawkins R. H. (1996): *Runoff curve number: Has it reached maturity?* Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 1, No. 1, ASCE, 11-19.
- Říha, J. (2001) *Posuzování vlivů na životní prostředí. Metody pro předběžnou rozhodovací analýzu EIA*. Vydavatelství ČVUT, Praha. 477 s. ISBN 80-01-02353-2.
- Sklenička P., Molnárová K., Brabec E., Kumble P., Pittnerová B., Pixová K., Šálek M. (2009): *Remnants of medieval field patterns in the Czech Republic: Analysis of driving forces behind their disappearance with special attention to the role of hedgerows*. Agriculture Ecosystems & Environment 129, 465–473.
- Stephenson D., Meadows M. E.(1986): *Kinematic Hydrology and Modelling*. Elsevir.
- Šamaj F., Brázdil R., Valovič J. (1983): *Denné úhrny zrážok s mimoriadnou vydatnosťou v ČSSR v období 1901 – 1980*. In: Sborník práce SHMÚ. ALFA, Bratislava, 19 – 112
- Štibinger J. (2011): *Infiltrační schopnosti agrárních valů*. Stavební obzor 2, 78-83.
- Trupl J. (1959): *Intenzity krátkodobých dešťů v povodí Labe, Odry a Moravy*. Práce a studie VÚV Praha – Podbaba. Sešit 97.
- US SCS (1992): *Urban Hydrology for Small Watersheds*. U.S. Soil Conservation Service Technical Release 77, 2004, USDA Washington D.C.
- U.S. Army Corps of Engineers (2000): *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers, Davis, CA. 155 s.
- U.S. Army Corps of Engineers (2015): *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – User's Manual, Version 4.1*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 606 s.
- USDA SCS (1985): *National Engineering Handbook*, Section 4: Hydrology. U. S. Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- USDA SCS (1986): *Urban hydrology for small watersheds*. U. S. Soil Conservation Technical Release 55(13), Washington, D.C.
- Vaššová D., Kovář P. (2011): *DES_RAIN* [počítačový program]. FŽP ČZU Praha. Dostupné z <<http://fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>>. Program pro výpočet redukováných výšek deště s dobou opakování N let.
- Verdin J. P., Morel-Seytoux H. J. (1981): *Extension of the Soil Conservation Service Rainfall-Runoff methodology for ungauged watersheds*. NTIS, Springfield, Virginia, 22161.
- Vološ B. (2006): *Nejistoty způsobené vstupním zátěžovým hyetogramem při odvozování teoretických povodňových vln v malých povodích deterministickým přístupem*. Centre for Integrated Design of Advanced Structures, ČVUT v Praze. Praha, dostupné z: (navštíveno 17. 9. 2013)
- http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/3tlv/TL06CZ_3112-2.pdf.

Vrána K. et al. (1996): *Krajinné inženýrství*, TK 13 ČKAIT, Praha, 198 s.

Wigmosta M. S., Nijssen B., Storck P., Lettenmaier D.P. (2002): *The Distributed Hydrology Soil Vegetation Model, In Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*, VP Singh and DK Frevert (eds), Water Resource Publications, Littleton, CO, 7 - 42.

Winsemius, H. C., Savenije, H. H. G., Gerrits, A. M. J., Zapreeva, E. A., Kless, R. (2006): *Comparison of two model approaches in the Zambezi river basin with regard to model reliability and identifiability*, Hydrol. Earth Syst. Sci. 10, s. 339–352.

Zhang, L., Dawes, W. R., Walker, G. R. (2001): Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* 37, s. 7001–7708.

VII Seznam publikací předcházejících metodice

Před rokem 2012:

J_{rec} Štibinger J. (2011): *Infiltrační schopnosti agrárních valů*. Stavební obzor 2, s. 78–83.

J_{rec} Kovář P., Vaššová D., Hrabalíková M. (2011): *Snižování povodňových a erozních účinků povrchového odtoku agrárními valy v krajině*. Stavební obzor 10, 2011 roč. 20, s. 309–314.

J_{neimp} Kovář P., Vaššová D., Hrabalíková M. (2011): *Mitigation of Surface Runoff and Erosion Impacts on Catchment by Stone Hedgerows*. Soil and Water Research, Vol. 6, No. 4, s. 153–164.

N Kovář P., Štibinger J., Hrabalíková M., Vaššová D. (2011): *Soubor účelových map k metodice hospodářského využití pozemků s agrárními valy pro vytváření vhodného vodního režimu a pro snižování povodňového a erozního nebezpečí*. <http://fzp.czu.cz/vyzkum/maps.html>.

S Štibinger J., Kovář P., Křovák F. (2011): *Hodnocení variant agrárních valů*. <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software>.

O Kovář P., Vaššová D. (2010): *Modelling surface runoff to mitigate harmful impact of soil erosion*. Conference IAHS HydroPredict, ČZU Praha.

O Kovář P., Vaššová D. (2011): *How to mitigate harmful impact of floods – Case study of the Němčický catchment*. Conference CASEE “Water Sciences”, Gödöllő 04/2011, Proceedings, Hungary.

N Kovář P., Janeček M., Hrabalíková M. (2010): *Soubor účelových map k metodice stanovení vybraných faktorů tvorby povrchového odtoku v podmínkách malých povodí*. (<http://fzp.czu.cz/vyzkum/maps.html>)

R Kovář P., Zezulák J. (2010): *Software “Program Flood_V: Výpočet objemu N-letých povodňových vln v podmínkách malých povodí”*. (<http://fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>)

V letech 2012 - 2015:

- J_{imp} Dvořáková Š., Kovář P., Zeman J. (2012): *Implementation of conceptual linear storage model of runoff with diurnal fluctuation of discharges in rainless periods*. Journal of Hydrology and Hydromechanics. Vol. 60 (2012), No.4, 217-226. DOI: 10.2478/v10098-012-0019-y.
- J_{imp} Kovář P., Vrana I., Vaššová D. (2012): *Stakeholder Group Consensus Based on Multi-Aspect Hydrology Decision Making*. Journal of Hydrology and Hydromechanics. 60 (2012) 4, 242-264. DOI 10.2478/v10098-012-0022-3.
- J_{imp} Kovář P., Vaššová D., Janeček M. (2012): *Surface runoff simulation to mitigate impact of soil erosion*. Case study Trebsin, Czech Republic. Soil and Water Research. Vol. 7 (2012) No. 3 pages: 85 -96. WOS: 000305549700001.
- J_{imp} Kovář P., Pelikán M., Heřmanovská D., Vrana I. (2014): *How to reach compromise solution on technical and non-structural flood control measures*. Soil and Water Research. Vol. 9, No. 4: 143-152, WOS: 000347270600001.
- J_{imp} Kovář P., Hrabalíková M., Neruda M., Neruda R., Šrejber J., Jelínková A., Bačínová H., 2015: *Choosing an appropriate hydrological models for rainfall- runoff extremes in small catchments*. Soil and Water Research. Vol. 10, No. 3: 137–146. WOS: 000359331100001
- J_{imp} Dvořáková Š., Kovář P., Zeman J. (2014): *Impact of Evapotranspiration on Discharge in Small Catchments*. Journal of Hydrology and Hydromechanics. Vol. 62, No. 4, 285–292, doi: 10.2478/v10098-012-0022-3.
- J_{imp} Kovář P., Pešková J., Doležal F., Bačínová H., Miháliková M. (2015): *Implementation of the harmonic series model to study the impact of actual evapotranspiration on small catchment in dry periods*. Environmental Monitoring and Assessment. (in print)
- J_{imp} Kovář P., Bačínová H. (2015): *Impact of evapotranspiration on diurnal discharge fluctuation determined by the Fourier series model in dry periods*. Soil and Water Research. Vol. 10, No. 4 (in print).
- J_{rec} Kovář P., Šimková J., Rous V. (2013): *Možnosti využití modelové simulace hydrologických dat pro vodohospodářské studie a projekty*. Vodní hospodářství 63, 12 (2013), 24-28.
- J_{rec} Kovář P., Heřmanovská D., Neruda M., Neruda R., Šrejber J., Jelínková A. (2013): *Možnosti vzájemného využití v řešení srážko-odtokových extrémů na malých povodích*. Studia Oecologica, Roč. VII/2013, č. 2, ISSN 1802-212X.
- O Kovář P., Dvořáková Š., Pešková J., Zeman J., Doležal F., Sůva M. (2014): *Aplikace harmonické analýzy pro studium evapotranspirace břehových porostů v suchém období*. Sborník konference „Hydrologie malého povodí“, 22. - 24. 4. 2014, Novotného lávka 5, Praha 1

- O Kovar P., Dvorakova S., Peskova J., Zeman J., Dolezal F., Bacinova H., Suva M. (2015): *Implementation of the Fourier series model to study impact of evapotranspiration on runoff*. IUGG Conference Prague 23/06-02/07/2015. in Confer. Proceedings.
- O Kovář P., Kulhavý Z. (2014): *Využívání biotechnických opatření ke zvýšení retence a akumulace říční krajiny*. Sborník konference „Vodní toky a retence vody v krajině“. Praha 15. 10. 2014.
- N Kovář P., Hrabalíková M., Vaššová D., Dvořáková Š. (2012): *Soubor účelových map povodí Starosuchdolského a Teplého potoka pro simulaci odtokového procesu v suchém období*, <http://fzp.czu.cz/vyzkum/mapy>
- N Kovář P., Hrabalíková, Heřmanovská D. (2015): *Soubor účelových map povodí Smědé a Jílovského potoka v řešení srážko-odtokových extrémů na malých horských povodích*, <http://fzp.czu.cz/vyzkum/mapy>
- N Kovář P., Hrabalíková M. (2014): *Soubor speciálních map povodí potoka Prysk pro simulaci sucha*, <http://fzp.czu.cz/vyzkum/mapy>
- R Kovář P., Heřmanovská D., Sůva M. (2014): *Design Rainfall DES_RAIN_Variable*. Verze modelu nelineárního rozdělení hyetogramu, (program Excel) <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software>
- R Kovář P. (2012): *Manuál modelu KINFIL a software INFIL/KINFIL* (zdrojový program Fortran), <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software>
- R Kovář P. (2014): *Manuál modelu FOURIER* (se softwarem zdrojového programu Fortran), <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software>
- R Kovář P., Zezulák J.): *Manuál modelu FLOOD_V pro výpočet objemů povodňových vln a objemů suchých poldrů*. (zdrojový program Excel).

TAČR - TA02020402:

Optimalizace vodního režimu krajiny ke snižování dopadů hydrologických extrémů

CERTIFIKOVANÁ METODIKA OPTIMALIZACE VODNÍHO REŽIMU KRAJINY KE SNIŽOVÁNÍ DOPADŮ HYDROLOGICKÝCH EXTRÉMŮ

PŘÍLOHY



Poskytovatel: Technologická agentura České republiky

Veřejná soutěž: ALFA 2

Doba řešení: 1. 1. 2012 – 31. 12. 2015

Koordinátor: prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc.



září 2015

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Identifikace ohroženosti povodí N -letými návrhovými dešti „DES_RAIN“

Příloha B: Manuál metody HEC – HMS

Příloha C: Manuál modelu KINFIL

Příloha D: Manuál metody čísel odtokových křivek – CN

Příloha E: Metodický postup analýzy sucha

Příloha F: Manuál metodiky WBCM modelu vodní bilance

Příloha G: Program Flood_V výpočet objemu N -letých povodňových vln



PŘÍLOHA A:

**IDENTIFIKACE OHROŽENOSTI POVODÍ
N-LETÝMI NÁVRHOVÝMI DEŠTI „DES_RAIN“
(DES_RAIN_Constant a DES_RAIN_Variable)
CERTIFIKOVANÁ METODIKA 2015 TAČR TA02020402**

PROF. ING. P. KOVÁŘ, DRSc.

ING. M. SŮVA

ING. H. BAČINOVÁ

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA ČESKÉ
ZEMĚDĚLSKÉ UNIVERZITĚ V PRAZE**

září 2015

Obsah

1. Vybraná hydrologická povodí v Certifikované metodice	3
1.1 Stanice Bílý potok pod Smrkem: povodí Smědá.....	3
1.2 Stanice Jílové, povodí Jílovský potok	5
1.3 Stanice Všechlapy, povodí Dubská Bystřice	6
1.4 Stanice Dolní Kralovice, povodí Černičí.....	8
1.5 Stanice Praha – Dejvice (VÚV), povodí Starosuchdolský potok.....	9
1.6 Stanice Boskovice (okr. Blansko), povodí Němčický potok.....	11
2. Vybrané elementární odtokové plochy EOP (výzkum eroze)	13
2.1 Stanice Benešov, EOP Třebsín	13
2.2 Stanice Ústí nad Labem-Kočkov (EOP Verneřice, Knínice).....	15
3. Program DES_RAIN_VARIABLE	17

1. Vybraná hydrologická povodí v Certifikované metodice

Povodňové odtoky způsobené N-letými návrhovými dešti:

Přednostní používání softwaru DES_RAIN_CONST

Standardní rozsah povodí:

$N = 2, 5, 10, 20, 50, 100$ let

$T_d = 10, 30, 60, 120, 180, 300$ min

1.1 Stanice Bílý potok pod Smrkem: povodí Smědá

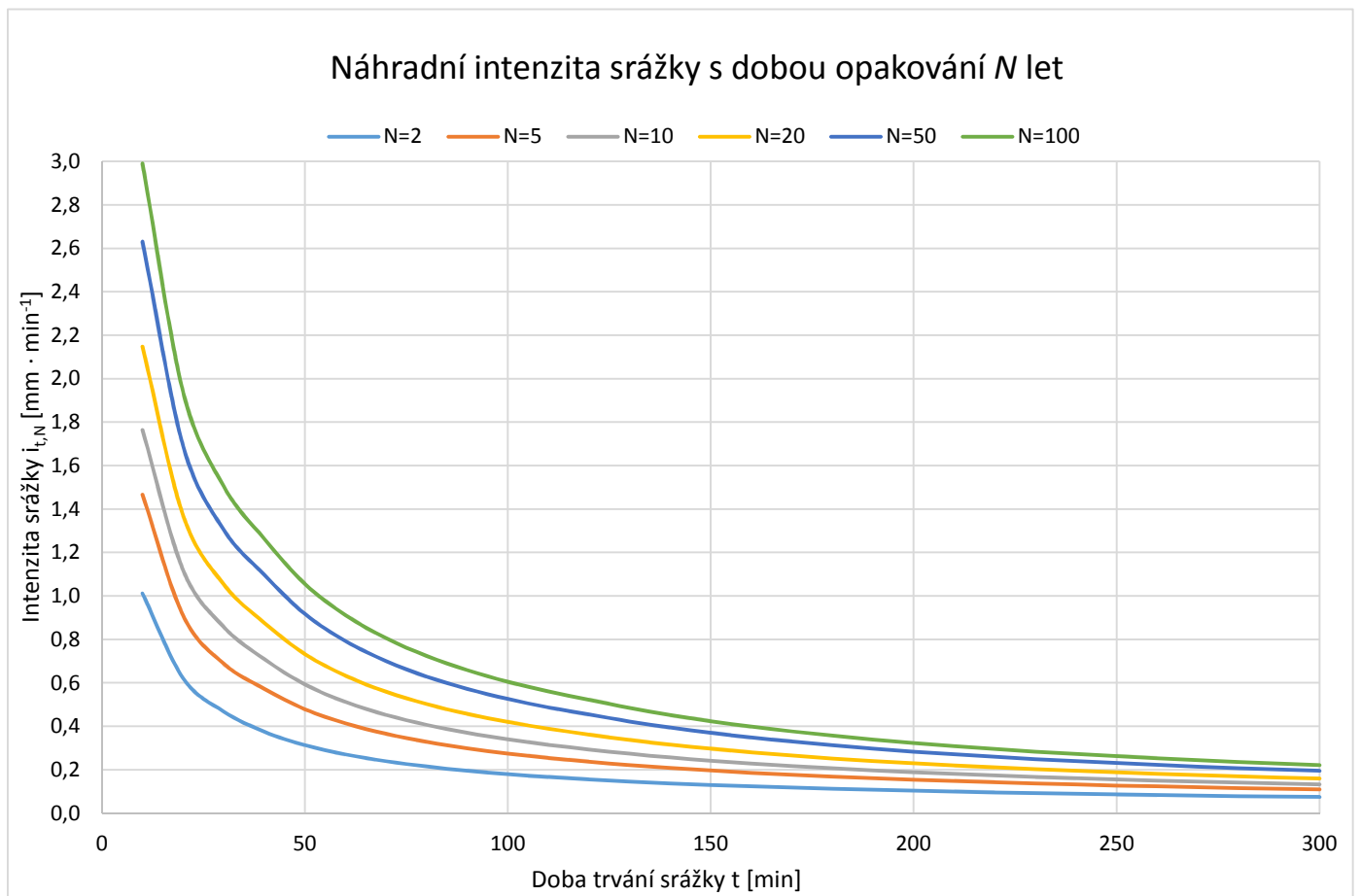
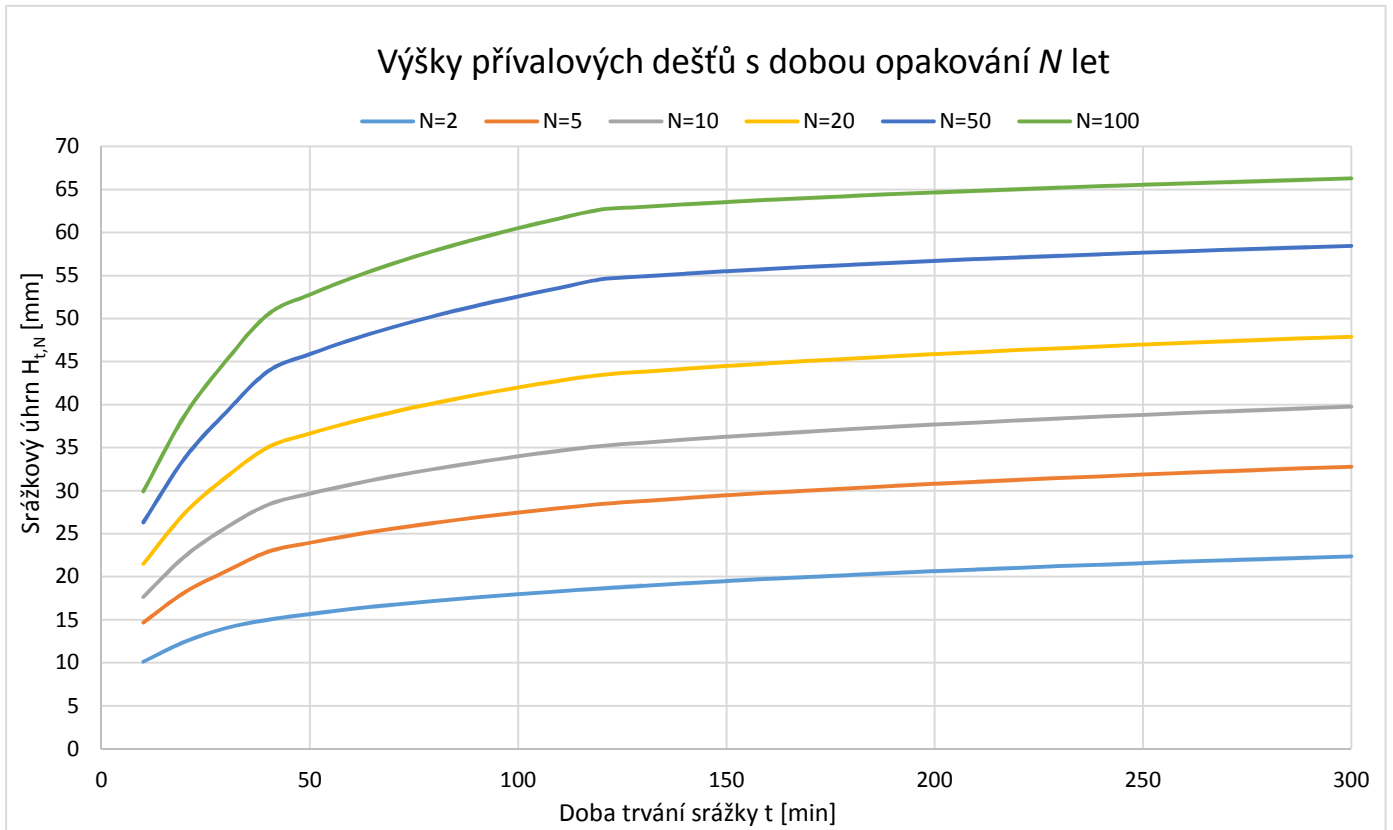
N (roky)	2	5	10	20	50	100
$P_{1d,N}$ (mm)	66,8	95,00	113,10	132,00	155,10	173,20

Srážkové úhrny $H_{t,N}$

Doba trvání srážky t (min)	10	30	60	120	180	300
$N = 2$ roky	22,07	30,66	35,47	40,70	44,12	48,84
$N = 5$ let	33,32	46,94	56,40	64,65	68,84	74,51
$N = 10$ let	40,71	59,40	70,94	81,24	85,74	91,77
$N = 20$ let	50,17	73,86	88,71	101,52	105,98	111,87
$N = 50$ let	62,11	92,44	112,23	128,82	132,80	137,98
$N = 100$ let	71,05	107,28	129,98	148,91	152,64	157,47

Náhradní intenzity deště $i_{t,N}$

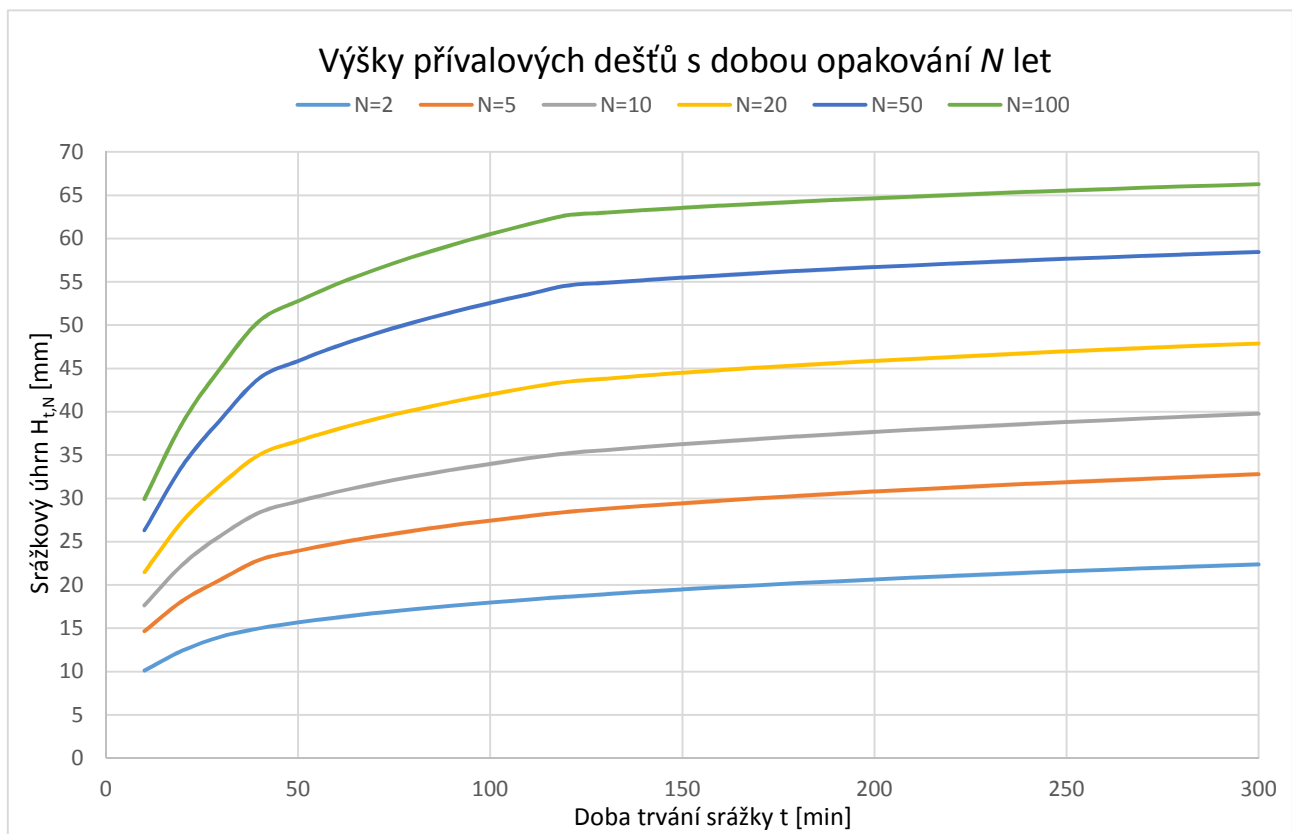
Doba trvání srážky t (min)	10	30	60	120	180	300
$N = 2$ roky	2,21	1,02	0,59	0,34	0,25	0,16
$N = 5$ let	3,33	1,56	0,94	0,54	0,38	0,25
$N = 10$ let	4,07	1,98	1,18	0,68	0,48	0,31
$N = 20$ let	5,02	2,46	1,48	0,85	0,59	0,37
$N = 50$ let	6,21	3,08	1,87	1,07	0,74	0,46
$N = 100$ let	7,11	3,58	2,17	1,24	0,85	0,52

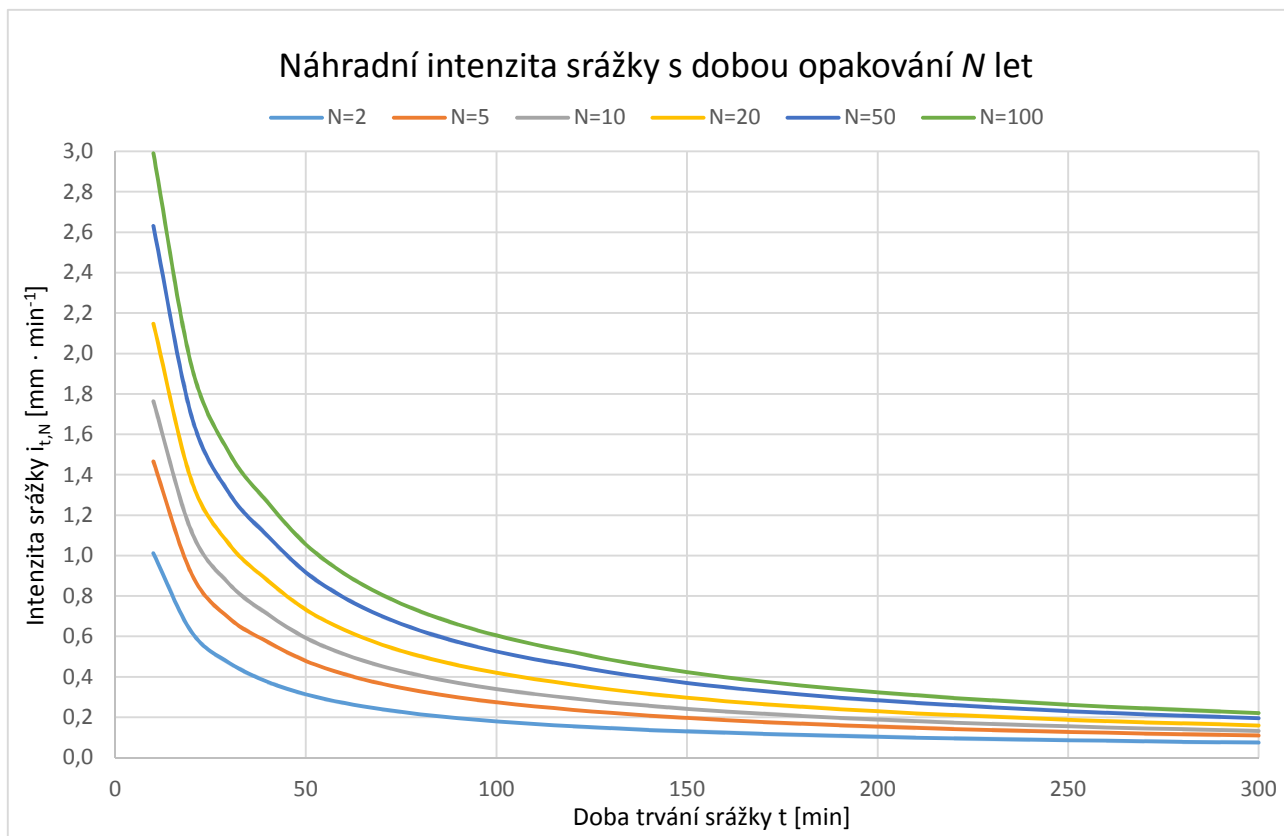


1.2 Stanice Jílové, povodí Jílovský potok

N (roky)	2	5	10	20	50	100
P_{1d,N} (mm)	35,0	48,6	57,9	66,9	78,8	87,9

Doba opakování <i>N</i> (roky)	Doba trvání srážky <i>t_d</i> (min)					
	20	40	60	120	180	300
2	14,23	17,16	18,58	21,33	23,12	25,59
10	26,45	33,53	36,32	41,59	43,89	46,98
100	46,77	60,90	65,97	75,57	77,46	79,91





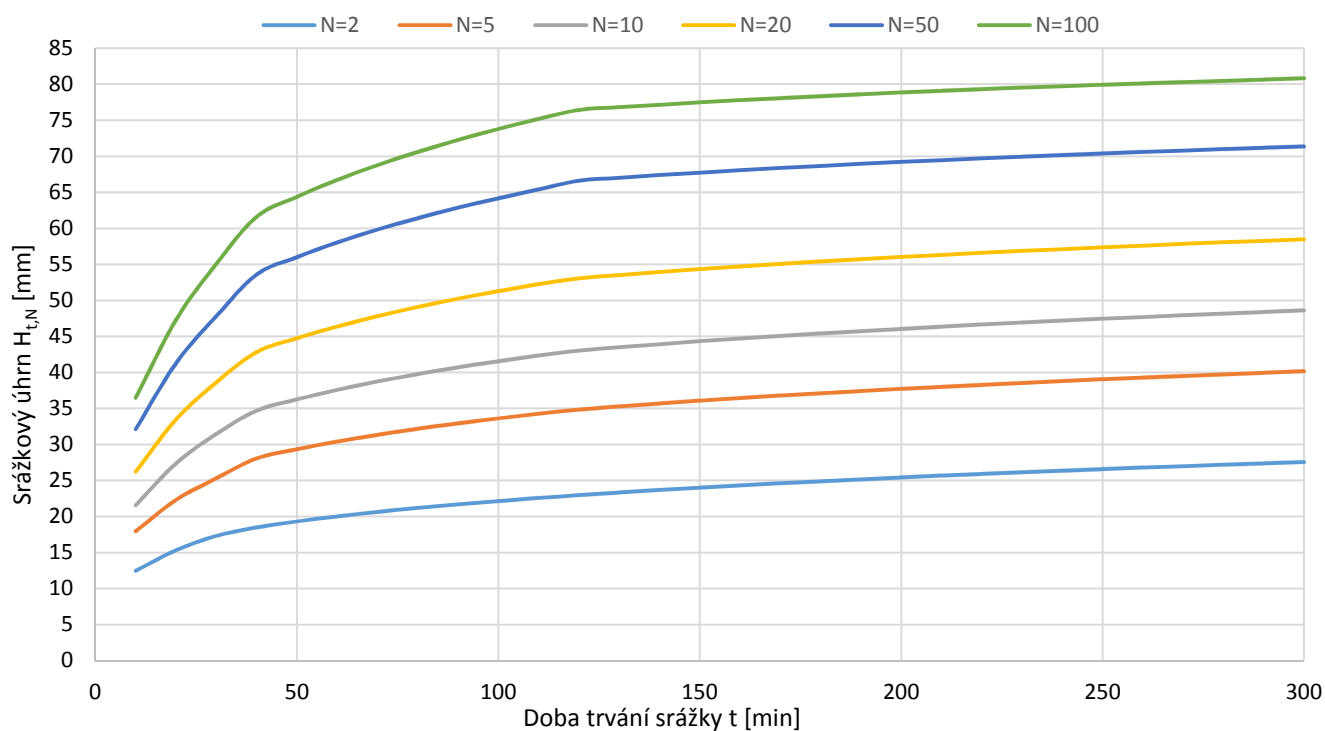
1.3 Stanice Všechlapy, povodí Dubská Bystřice

N (roky)	2	5	10	20	50	100
$P_{1d,N}$ (mm)	37,7	51,2	59,9	69,0	80,2	88,9

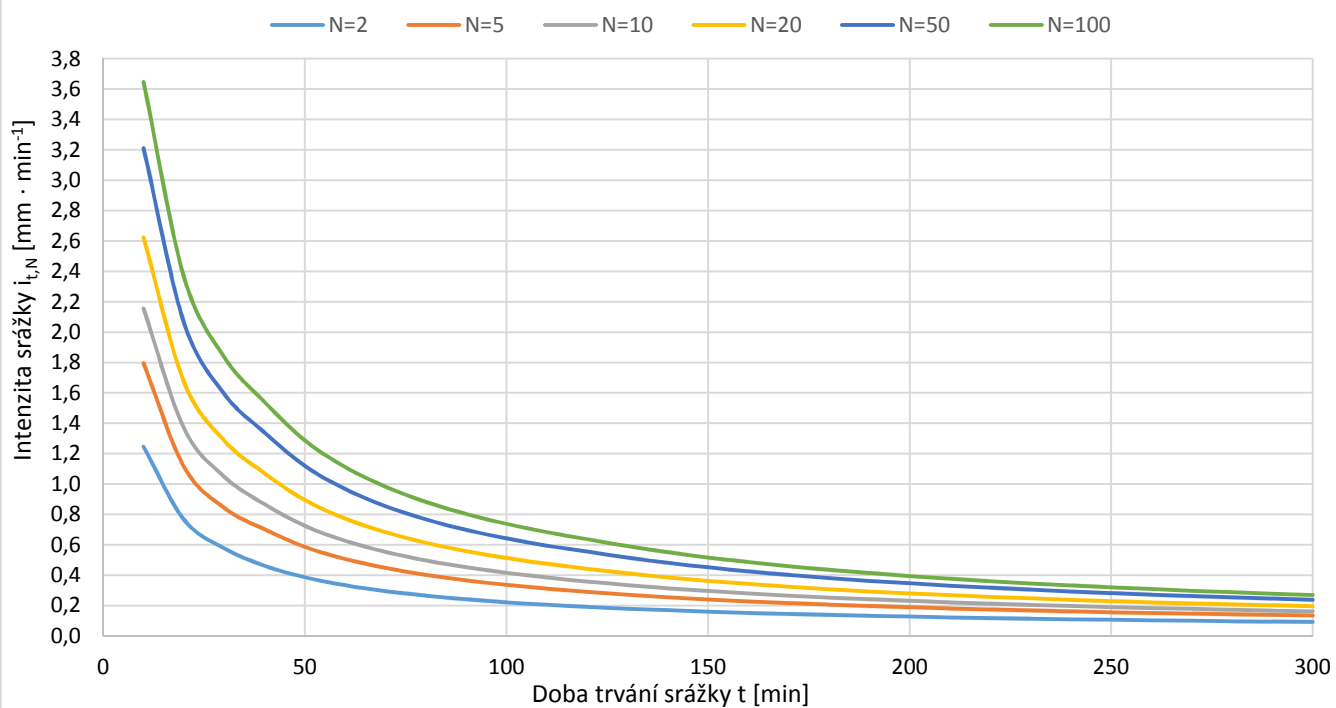
Srážkové úhrny $H_{t,N}$						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
$N = 2$ roky	12,46	15,33	17,30	20,02	22,97	27,56
$N = 5$ let	17,96	22,29	25,30	30,40	34,84	40,16
$N = 10$ let	21,56	27,36	31,46	37,57	43,03	48,60
$N = 20$ let	26,23	33,47	38,61	46,37	53,07	58,48
$N = 50$ let	32,12	41,28	47,80	58,03	66,61	71,35
$N = 100$ let	36,47	47,30	55,06	66,72	76,43	80,82

Náhradní intenzity deště $i_{t,N}$						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
$N = 2$ roky	1,25	0,77	0,58	0,33	0,19	0,09
$N = 5$ let	1,80	1,11	0,84	0,51	0,29	0,13
$N = 10$ let	2,16	1,37	1,05	0,63	0,36	0,16
$N = 20$ let	2,62	1,67	1,29	0,77	0,44	0,19
$N = 50$ let	3,21	2,06	1,59	0,97	0,56	0,24
$N = 100$ let	3,65	2,36	1,84	1,11	0,64	0,27

Výšky přívalových dešťů s dobou opakování N let



Náhradní intenzita srážky s dobou opakování N let



1.4 Stanice Dolní Kralovice, povodí Černičí

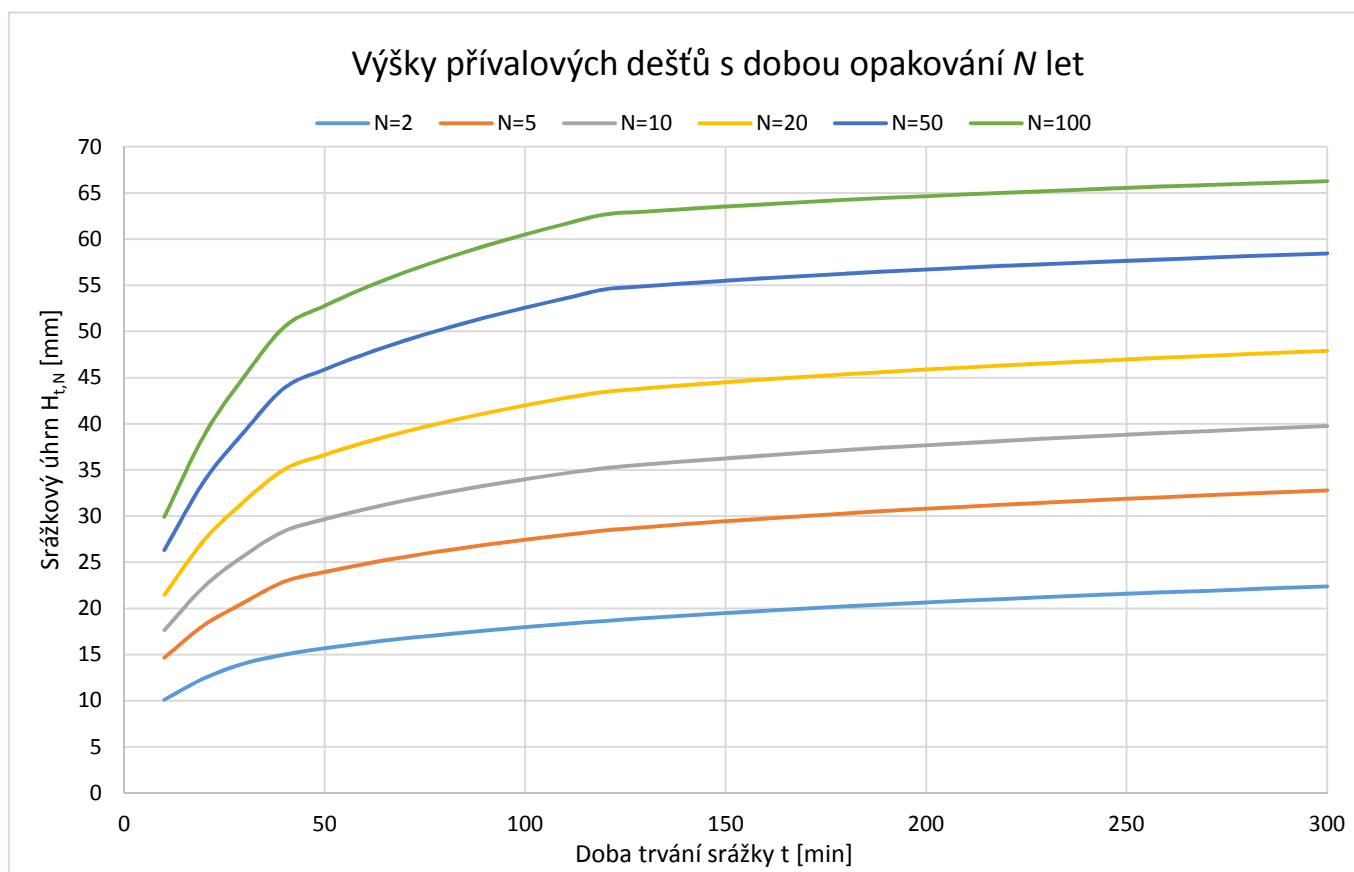
N (roky)	2	5	10	20	50	100
P_{1d,N} (mm)	37,8	53,70	64,00	74,70	87,80	98,00

Srážkové úhrny $H_{t,N}$

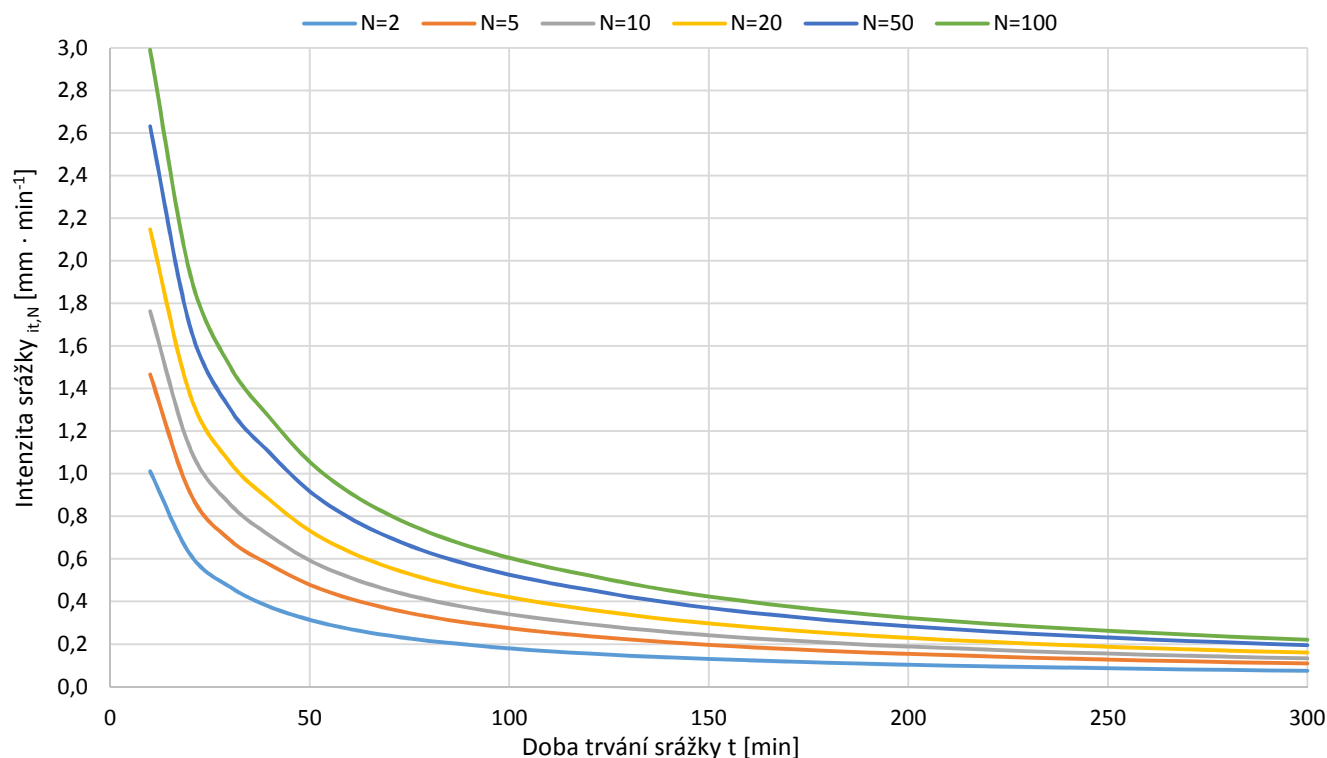
Doba trvání srážky t (min)	10	30	60	120	180	300
$N = 2$ roky	12,49	17,35	20,07	23,03	24,97	27,64
$N = 5$ let	18,84	26,54	31,88	36,54	38,91	42,12
$N = 10$ let	23,03	33,61	40,15	45,97	48,52	51,93
$N = 20$ let	28,39	41,80	50,20	57,45	59,97	63,31
$N = 50$ let	35,16	52,33	63,53	72,92	75,17	78,11
$N = 100$ let	40,20	60,70	73,55	84,25	86,36	89,10

Náhradní intenzity deště $i_{t,N}$

Doba trvání srážky t (min)	10	30	60	120	180	300
$N = 2$ roky	1,25	0,58	0,33	0,19	0,14	0,09
$N = 5$ let	1,88	0,88	0,53	0,30	0,22	0,14
$N = 10$ let	2,30	1,12	0,67	0,38	0,27	0,17
$N = 20$ let	2,84	1,39	0,84	0,48	0,33	0,21
$N = 50$ let	3,52	1,74	1,06	0,61	0,42	0,26
$N = 100$ let	4,02	2,02	1,23	0,70	0,48	0,30



Náhradní intenzita srážky s dobou opakování N let



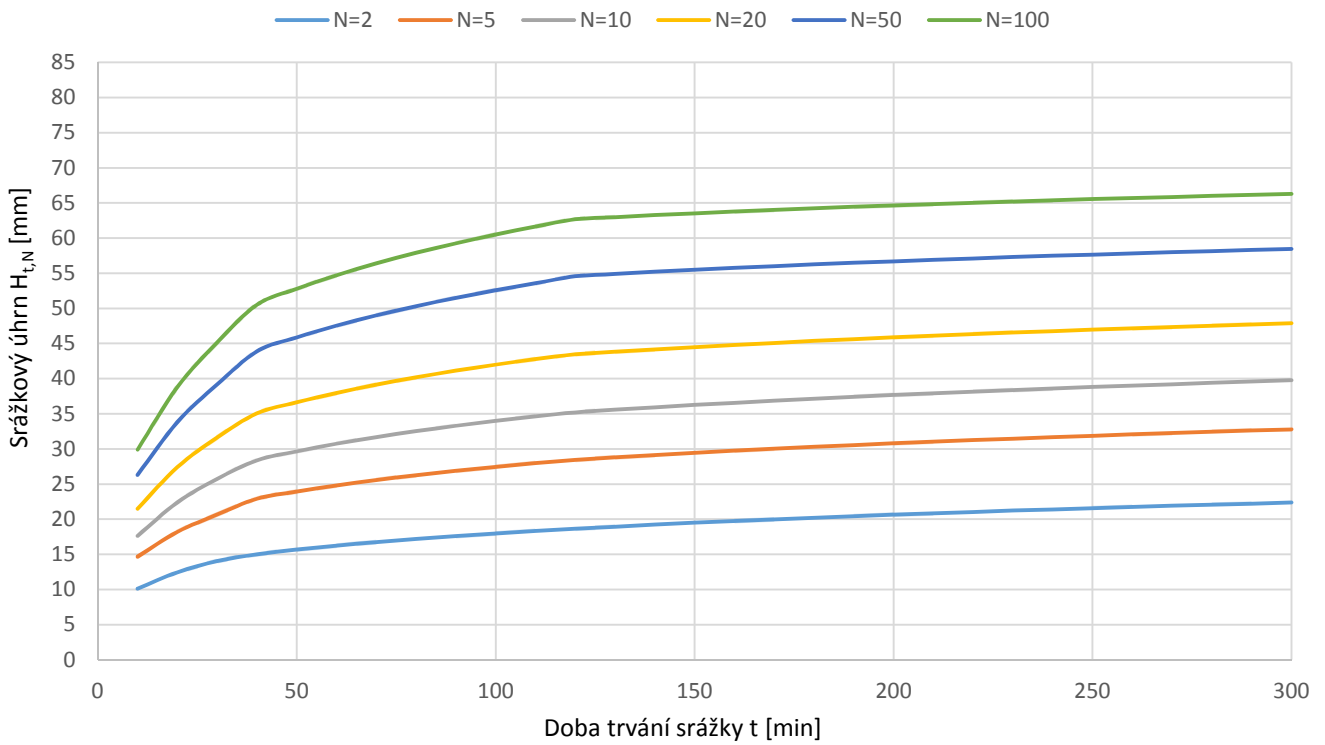
1.5 Stanice Praha - Dejvice (VÚV), povodí Starosuchdolský potok

N (roky)	2	5	10	20	50	100
$P_{1d,N}$ (mm)	37,6	52,1	61,4	71,1	83,0	92,3

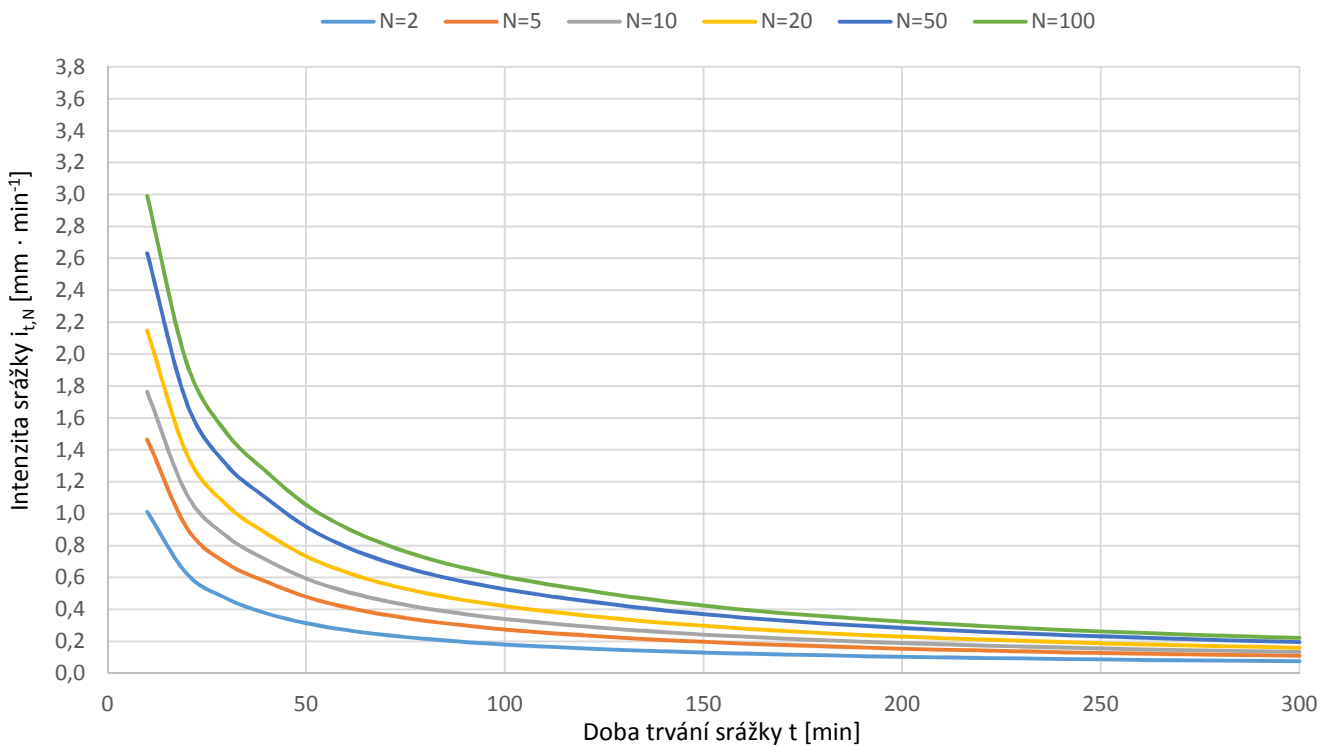
Srážkové úhrny $H_{t,N}$						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
$N = 2$ roky	12,42	15,29	17,26	19,96	22,91	27,49
$N = 5$ let	18,27	22,69	25,75	30,93	35,45	40,86
$N = 10$ let	22,10	28,05	32,25	38,51	44,10	49,82
$N = 20$ let	27,02	34,49	39,78	47,78	54,68	60,26
$N = 50$ let	33,24	42,72	49,47	60,06	68,94	73,84
$N = 100$ let	37,87	49,11	57,17	69,27	79,35	83,92

Náhradní intenzity deště $i_{t,N}$						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
$N = 2$ roky	1,24	0,76	0,58	0,33	0,19	0,09
$N = 5$ let	1,83	1,13	0,86	0,52	0,30	0,14
$N = 10$ let	2,21	1,40	1,07	0,64	0,37	0,17
$N = 20$ let	2,70	1,72	1,33	0,80	0,46	0,20
$N = 50$ let	3,32	2,14	1,65	1,00	0,57	0,25
$N = 100$ let	3,79	2,46	1,91	1,15	0,66	0,28

Výšky přívalových dešťů s dobou opakování N let



Náhradní intenzita srážky s dobou opakování N let



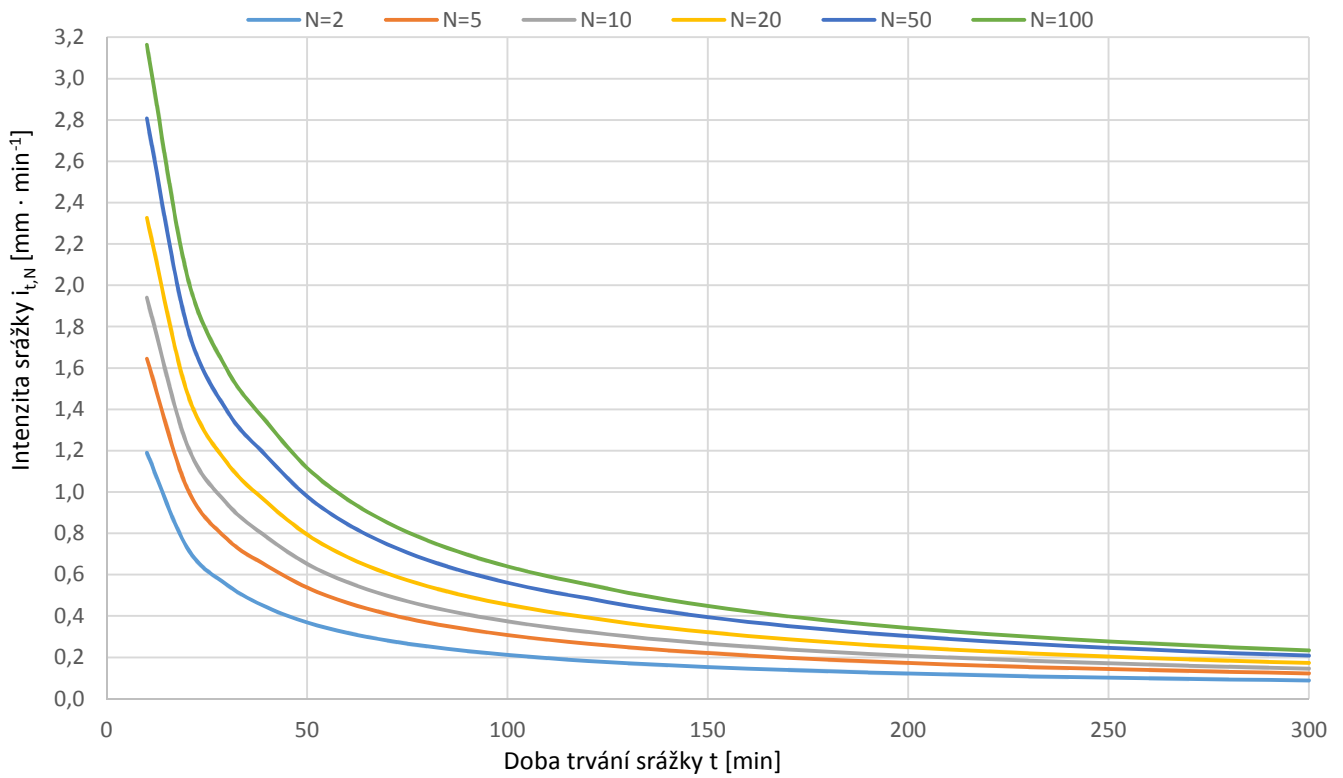
1.6 Stanice Boskovice (okr. Blansko), povodí Němčický potok

N (roky)	2	5	10	20	50	100
$P_{1d,N}$ (mm)	36,0	46,9	53,9	61,2	70,1	77,1

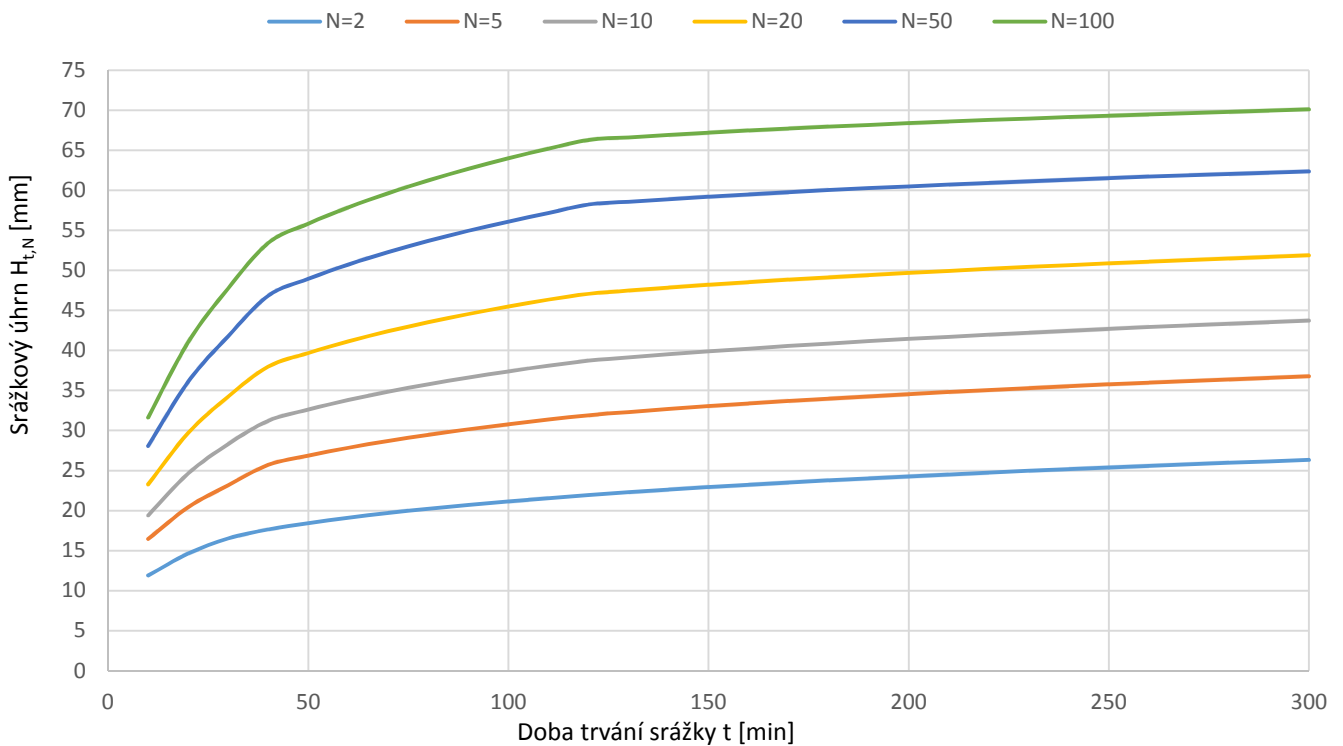
Srážkové úhrny $H_{t,N}$						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
$N = 2$ roky	11,90	14,64	16,52	19,11	21,93	26,32
$N = 5$ let	16,45	20,42	23,18	27,84	31,91	36,79
$N = 10$ let	19,40	24,62	28,31	33,81	38,72	43,74
$N = 20$ let	23,26	29,69	34,24	41,13	47,07	51,87
$N = 50$ let	28,07	36,08	41,78	50,72	58,22	62,36
$N = 100$ let	31,63	41,02	47,76	57,86	66,29	70,10

Náhradní intenzity deště $i_{t,N}$						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
$N = 2$ roky	1,19	0,73	0,55	0,32	0,18	0,09
$N = 5$ let	1,65	1,02	0,77	0,46	0,27	0,12
$N = 10$ let	1,94	1,23	0,94	0,56	0,32	0,15
$N = 20$ let	2,33	1,48	1,14	0,69	0,39	0,17
$N = 50$ let	2,81	1,80	1,39	0,85	0,49	0,21
$N = 100$ let	3,16	2,05	1,59	0,96	0,55	0,23

Náhradní intenzita srážky s dobou opakování N let



Výšky přívalových dešťů s dobou opakování N let



2. Vybrané elementární odtokové plochy EOP (výzkum eroze)

Experimentální erozní odtokové plochy (EOP)

Používání obou softwarů DES_RAIN_Constant i DES_RAIN_Variable

Standardní rozsah EOP:

$N = 2, 5, 10, 100$ let

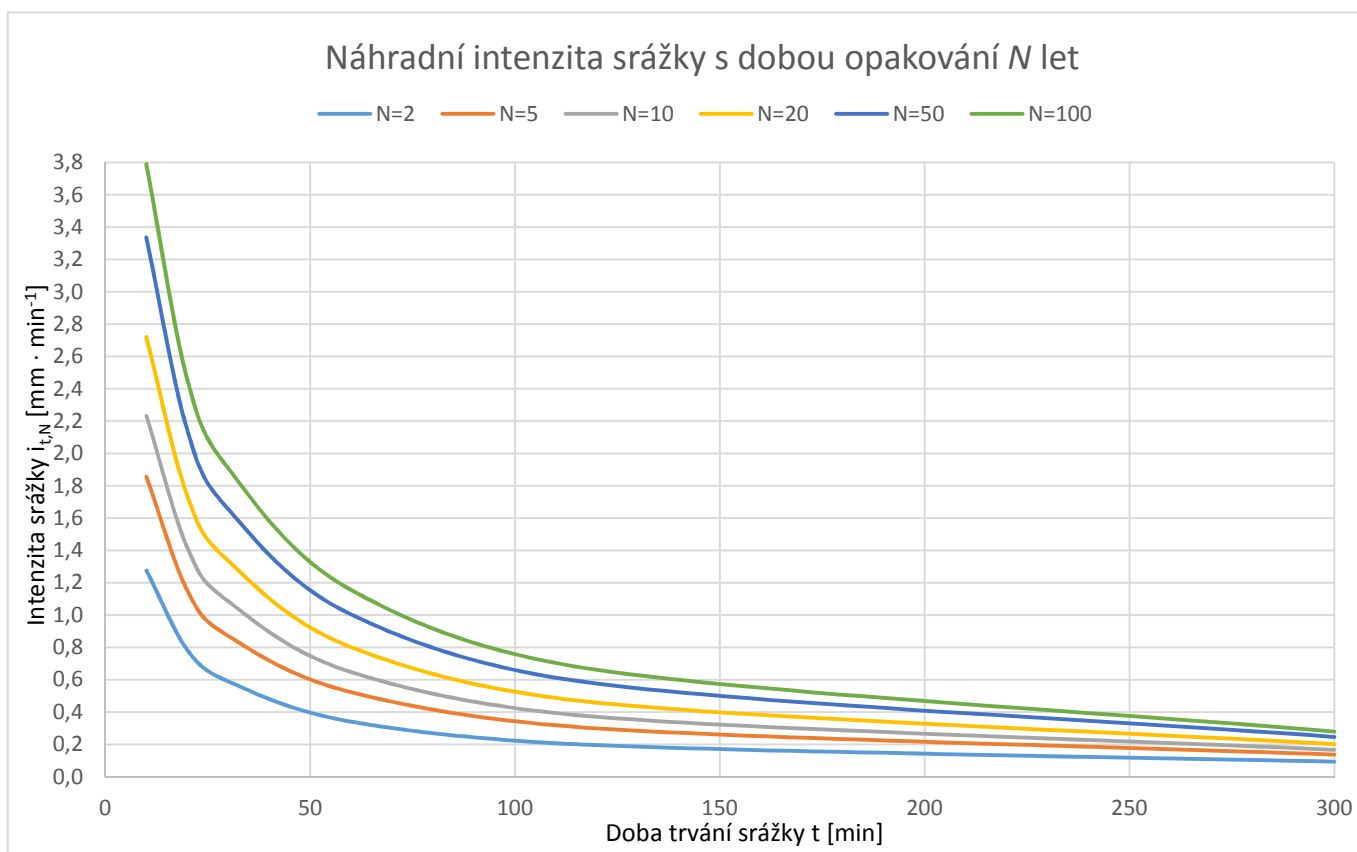
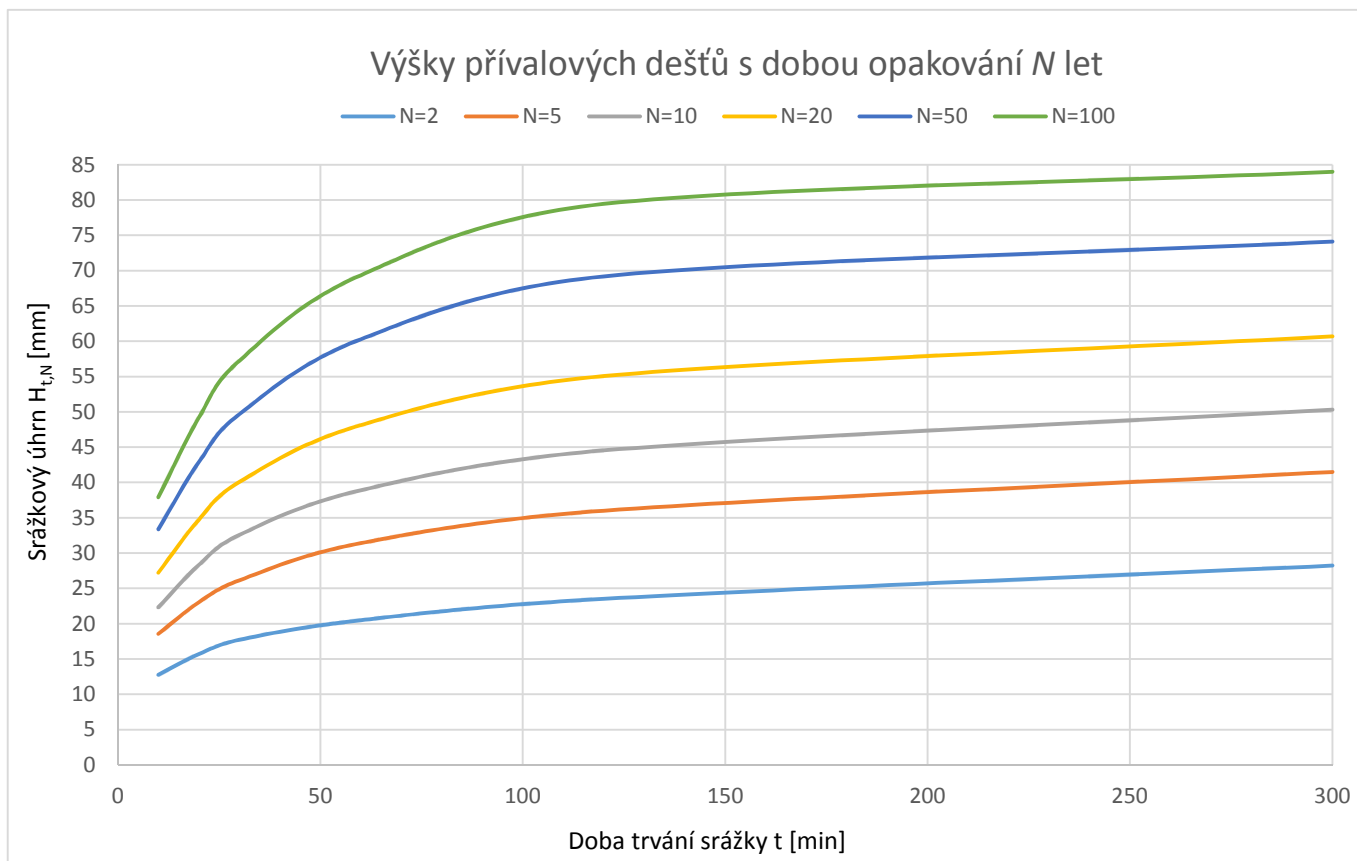
$T_d = 10, 20, 30, 60$ min

2.1 Stanice Benešov, EOP Třebsín

N (roky)	2	5	10	20	50	100
$P_{1d,N}$ (mm)	38,6	52,90	62,00	71,60	83,30	92,40

Srážkové úhrny $H_{t,N}$						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
$N = 2$ roky	12,76	15,69	17,72	20,49	23,52	28,22
$N = 5$ let	18,55	23,03	26,14	31,40	36,00	41,49
$N = 10$ let	22,31	28,32	32,56	38,89	44,54	50,31
$N = 20$ let	27,21	34,73	40,06	48,12	55,07	60,68
$N = 50$ let	33,36	42,87	49,65	60,28	69,18	74,11
$N = 100$ let	37,91	49,16	57,23	69,34	79,44	84,01

Náhradní intenzity deště $i_{t,N}$						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
$N = 2$ roky	1,28	0,78	0,59	0,34	0,20	0,09
$N = 5$ let	1,86	1,15	0,87	0,52	0,30	0,14
$N = 10$ let	2,23	1,42	1,09	0,65	0,37	0,17
$N = 20$ let	2,72	1,74	1,34	0,80	0,46	0,20
$N = 50$ let	3,34	2,14	1,65	1,00	0,58	0,25
$N = 100$ let	3,79	2,46	1,91	1,16	0,66	0,28





1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00	0,03	0,06	0,28	0,40	0,12	0,08	0,02	0,01	0,00

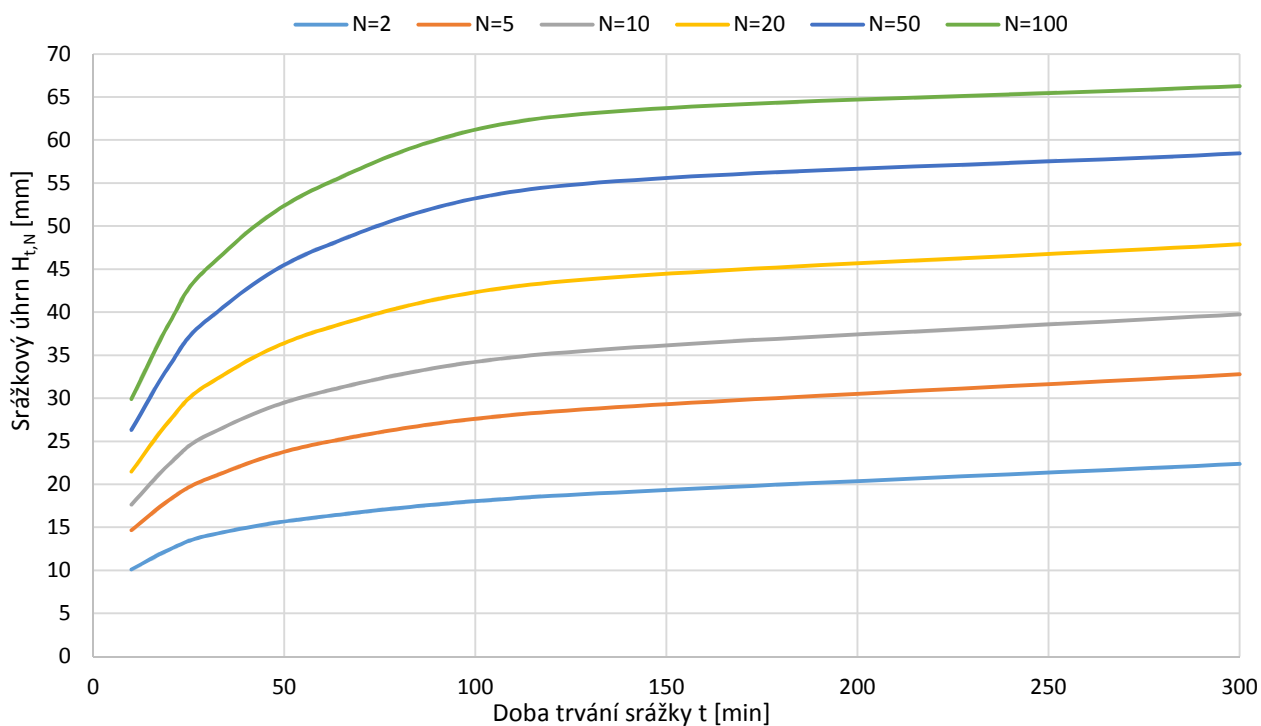
2.2 Stanice Ústí nad Labem-Kočkov (EOP Verneřice, Knínice)

N (roky)	2	5	10	20	50	100
P_{1d,N} (mm)	30,6	41,80	49,00	56,50	65,70	72,90

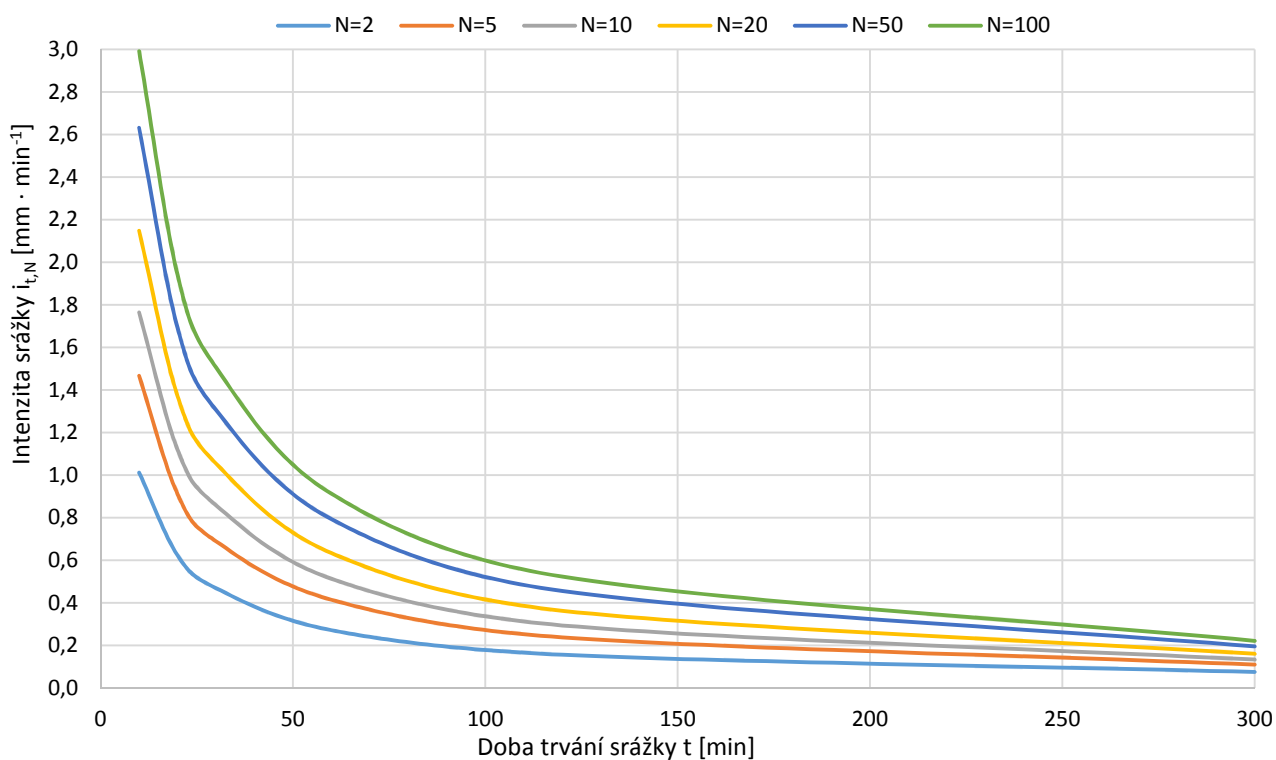
Srážkové úhrny H_{t,N}						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
N = 2 roky	10,11	12,44	14,04	16,25	18,64	22,37
N = 5 let	14,66	18,20	20,66	24,82	28,44	32,78
N = 10 let	17,64	22,38	25,73	30,74	35,20	39,76
N = 20 let	21,48	27,41	31,61	37,97	43,45	47,89
N = 50 let	26,31	33,81	39,16	47,54	54,57	58,45
N = 100 let	29,91	38,78	45,15	54,71	62,67	66,28

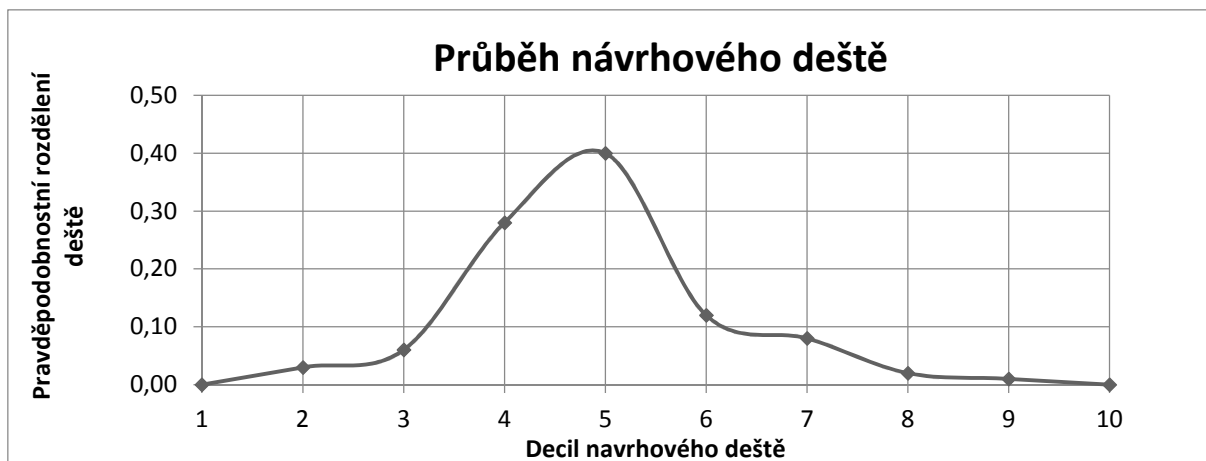
Náhradní intenzity deště i_{t,N}						
Doba trvání srážky t (min)	10	20	30	60	120	300
N = 2 roky	1,01	0,62	0,47	0,27	0,16	0,07
N = 5 let	1,47	0,91	0,69	0,41	0,24	0,11
N = 10 let	1,76	1,12	0,86	0,51	0,29	0,13
N = 20 let	2,15	1,37	1,05	0,63	0,36	0,16
N = 50 let	2,63	1,69	1,31	0,79	0,45	0,19
N = 100 let	2,99	1,94	1,51	0,91	0,52	0,22

Výšky přívalových dešťů s dobou opakování N let



Náhradní intenzita srážky s dobou opakování N let





1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00	0,03	0,06	0,28	0,40	0,12	0,08	0,02	0,01	0,00

3. Program DES_RAIN_VARIABLE

Tento software slouží k výpočtu výšek přívalových dešťů různých dob trvání s pravděpodobností opakování jednou za N let a náhradních intenzit těchto dešťů metodou redukce jednodenních maximálních srážkových úhrnu. Deště, které trvají déle než několik málo minut, již nemívají konstantní intenzitu v době svého trvání, byly proto přerozděleny do variabilních intenzit podle syntetického hyetogramu.

Program se spouští v prostředí Microsoft Office Excel verze 2003 a vyšší. Strukturou programu DES_RAIN_VARIABLE je sešit MS Office, který obsahuje pět listů:

- Výpočet
- Průběh srážky
- Uživatelský průběh srážky
- Srážkové úhrny
- Intenzity srážek.

Do prvního listu je možné zadávat data, další čtyři listy obsahují grafické zpracování výsledku pro danou stanicí.

Pro výpočet srážkových úhrnu a jejich intenzit je nutné zvolit nejbližší srážkoměrnou stanicí pro dané území z rozevíracího seznamu a délku časového kroku pro dobu trvání deště pomocí přepínačů. Poté hodnoty redukovaných výšek srážek $P_{t,N}$ a náhradních intenzit deště $i_{t,N}$ jsou uvedeny v tabulkách na listu Výpočty pro jednotlivé doby trvání (podle délky časového kroku) a doby opakování $N = 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let. Přepočítávají se automaticky po výběru srážkoměrné stanice a délky časového kroku. Vypočtené hodnoty jsou taktéž zobrazeny v grafech – výšky srážek na listu Srážkové úhrny a intenzity deště na listu Intenzity srážek.

Tento software je k dispozici na webových stránkách České zemědělské univerzity v Praze: <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>.



PŘÍLOHA B:

MANUÁL METODY HEC - HMS UPRAVENÁ METODIKA 2015 TAČR TA02020402

ING. DARINA HEŘMANOVSKÁ, PH.D.

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA ČESKÉ
ZEMĚDĚLSKÉ UNIVERZITĚ V PRAZE**

září 2015

Osnova

1. Metoda NRCS	3
2. Snyderův jednotkový hydrogram	4
3. Jednotkový hydrogram NRCS	4
4. Model exponenciálního poklesu základního odtoku	6
5. Literatura	6

Program HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) je volně dostupný software vytvořený k simulaci srážko-odtokových vztahů v povodích. Jeho použití je velmi široké; výstupy modelu je možné aplikovat ve studiích dostupnosti vodních zdrojů, odvodnění antropogenně ovlivněných území, předpovědích průtoků či efektů urbanizace, snižování povodňových škod nebo úprav říčních niv atd.

Aktuální verze programu HEC-HMS 4.1 (stav k 23. 9. 2015) umožňuje sestavit model povodí z několika různých komponent, aby struktura co nejlépe odpovídala požadovanému účelu:

- subpovodí (Subbasin),
- říční koryto (Reach),
- nádrž (Reservoir),
- pramen (Source),
- soutok (Junction),
- bifurkace (Diversion),
- ponor (Sink).

Software je možné použít jak k sestavení epizodního srážko-odtokového modelu, tak ke kontinuální simulaci hydrologické bilance povodí, to vše prostřednictvím širokého spektra výpočetních metod [podrobněji viz uživatelský manuál k programu (USACE, 2015) či technická příručka (USACE, 2000)].

V rámci tohoto projektu TAČR byly použity zejména moduly subpovodí, které obsahovaly model pro výpočet objemu přímého odtoku „SCS Curve Number Loss“, transformaci přímého odtoku pomocí Snyderova jednotkového hydrogramu nebo jednotkového hydrogramu SCS, základní odtok byl simulován metodou „baseflow recession“.

1. Metoda NRCS

Výpočet efektivního deště, tj. přímého odtoku, metodou NRCS (dříve SCS) Curve Number (NRCS, 2004a) je řešen podle vzorce:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

kde P_e je kumulativní efektivní dešť v čase t , P je kumulativní srážka v čase t , I_a je počáteční ztráta (často udávaná jako $I_a = 0,2 S$) a S je maximální potenciální retence, která je určena číslem odtokové křivky CN (NRCS, 2004a):

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (2)$$

Číslo odtokové křivky CN se stanoví na základě metodiky NRCS (NRCS, 2004b) zejména podle půdních a vegetačních podmínek povodí. Parametry tohoto modelu v HEC-HMS jsou číslo odtokové křivky CN, počáteční ztráta I_a (pokud není zadána, předpokládá se $I_a = 0,2S$), případně procentické zastoupení nepropustných ploch.

2. Snyderův jednotkový hydrogram

Transformace přímého odtoku Snyderovým jednotkovým hydrogramem je definována vztahem mezi trváním příčné srážky t_r a dobou mezi jejím těžištěm a kulminací jednotkového hydrogramu, tj. dobou zpoždění t_p (USACE, 2000):

$$t_p = 5,5t_r \quad (3)$$

Parametry Snyderova jednotkového hydrogramu jsou vztaženy k měřitelným charakteristikám povodí – doba zpoždění je funkcí velikosti povodí a jeho tvaru (USACE, 2000):

$$t_p = 0,75 \cdot C_t \sqrt{L \cdot L_c} \quad (4)$$

kde t_p je doba zpoždění (h), L je délka údolnice (km), L_c je vzdálenost uzávěrového profilu od bodu údolnice, který je nejbliž těžišti povodí (km), C_t je koeficient povodí (obvykle se pohybuje mezi 1,8 a 2,2). V běžných případech je specifický kulminační průtok q_p ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$) vypočítán ze vztahu (USACE, 2000):

$$q_p = \frac{U_p}{A} = \frac{2,75C_p}{t_p} \quad (5)$$

kde U_p je kulminační průtok standardního hydrogramu, A je plocha povodí, C_p je kulminační koeficient hydrogramu (většinou v rozmezí 0,4 až 0,8) a t_p je doba zpoždění. Pro jiné doby trvání t_R odlišné od doby standardní ($t_r = 0,18 t_p$) jsou používány vztahy (USACE, 2000):

$$t_{pR} = t_p + \frac{t_R - t_r}{4} \quad (6)$$

$$q_{pR} = \frac{U_{pR}}{A} = \frac{2,75C_p}{t_{pR}} \quad (7)$$

Kalkulace Snyderova hydrogramu v softwaru HEC-HMS probíhá na základě dvou parametrů – standardního zpoždění t_p a kulminačního koeficientu C_p .

3. Jednotkový hydrogram NRCS

Jednotkový hydrogram SCS je bezrozměrný hydrogram s jednou kulminací. Průtok je vyjádřen poměrově ke kulminačnímu průtoku jednotkového hydrogramu Q_P (Q/Q_P) pro jakýkoliv čas t normalizovaný dobou do kulminace T_P (t/T_P). Tento hydrogram má následující vazbu kulminačního průtoku Q_P ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) a dobou do kulminace T_P (h) (NRCS, 2007; USACE 2000):

$$Q_P = 2,08 \frac{F}{T_P} \quad (8)$$

kde F je plocha povodí (km^2). Doba do kulminace T_P (h) má následující vztah k trvání jednotkového efektivního deště (NRCS, 2007; USACE 2000):

$$T_P = \frac{\Delta t}{2} + 0,6 \cdot t_c \quad (9)$$

kde Δt je trvání jednotkového efektivního deště (h) a t_c je doba koncentrace povodí (h), která je definována jako čas potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu v povodí do uzávěrového profilu povodí (NRCS, 2010). Jednou z možností stanovení doby koncentrace je tzv. metoda rychlostí (NRCS, 2010). Metoda předpokládá, že doba koncentrace je suma dob doběhu jednotlivých segmentů hydraulicky nejdelší dráhy odtoku:

$$t_c = T_{t1} + T_{t2} + \dots + T_{tn} \quad (10)$$

kde t_c je doba koncentrace (h), T_{tn} je doba doběhu daného segmentu (h) a n je počet segmentů hydraulicky nejdelší dráhy.

Segmenty jsou obvykle tří typů: plošný povrchový odtok soustředěný odtok o malé hloubce a odtok v otevřeném korytě:

Plošný povrchový odtok se vyskytuje v blízkosti rozvodnice, zpravidla nepřekračuje vzdálenost 30 m, pak se již odtok začíná soustřeďovat (NRCS, 2010). Pro výpočet doby doběhu tohoto typu odtoku se používá zjednodušené Manningovo kinematické řešení (NRCS, 2010):

$$T_{ta} = \frac{0,007 \cdot \left(n \frac{l}{0,3048}\right)^{0,8}}{\left(\frac{P_{1d,2}}{25,4}\right)^{0,5} s^{0,4}} \quad (11)$$

kde T_{ta} je doba doběhu plošného povrchového odtoku (h), n je Manningův drsnostní součinitel pro plošný povrchový odtok (-), l je délka proudění (m), $P_{1d,2}$ je jednodenní maximální dešť s dobou opakování 2 roky (mm) a s je sklon povrchu (-).

Soustředěný odtok o malé hloubce se začíná tvořit přibližně po 30 m plošného proudění. Toto proudění je typické tím, že nemá přesně definované koryto, jeho hloubka se pohybuje mezi 3 a 15 cm. Doba doběhu tohoto typu proudění je podílem jeho délky k rychlosti (NRCS, 2010):

$$T_{tb} = \frac{l}{3600v} \quad (12)$$

kde T_{tb} je doba doběhu soustředěného odtoku o malé hloubce (h), l je délka proudění (m) a v je průměrná rychlost proudění (m s^{-1}), kterou je možno určit na základě typu povrchu a sklonu svahu z grafů a vztahů uvedených příručce NRCS (NRCS, 2010).

Odtok v otevřených korytech je předpokládán v místech, kde je jasně vytvořené koryto. V těchto profilech se k výpočtu rychlosti proudění používá Manningova rovnice, doba doběhu je pak (NRCS, 2010):

$$T_{tc} = \frac{l}{3600 \frac{R^{2/3} I^{1/2}}{n}} \quad (13)$$

kde l je délka proudění (m), n je Manningův drsnostní součinitel pro proudění v otevřeném korytě (-), R je hydraulický poloměr (m), kdy $R = F/O$, F je plocha příčného profilu (m^2), O je omočený obvod (m), a I je sklon dna toku (-).

4. Model exponenciálního poklesu základního odtoku

Model definuje vztah průtoku Q_t v čase t a počátečního průtoku Q_0 (USACE, 2000):

$$Q_t = Q_0 k^t \quad (14)$$

kde k je exponenciální poklesová konstanta. Tato konstanta je v programu HEC-HMS dána poměrem základního odtoku v čase t a základního odtoku v čase $(t - 1)$. Q_0 je počáteční podmínka modelu, po dosažení kulminace je uživatelem zadána prahová hodnota, kdy již základní odtok tvoří odtok celkový.

5. Literatura

- Natural Resources Conservation Service (2004a): Chapter 10 Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
- Natural Resources Conservation Service (2004b): Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
- Natural Resources Conservation Service (2007): Chapter 16 Hydrographs. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
- Natural Resources Conservation Service (2010): Chapter 15 Time of Concentration. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
- U.S. Army Corps of Engineers (2000): *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 155 s.
- U.S. Army Corps of Engineers (2015): *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – User's Manual, Version 4.1*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 606 s.



PŘÍLOHA C:

MANUÁL MODELU KINFIL

CERTIFIKOVANÁ METODIKA 2015 TAČR TA02020402

PROF. ING. P. KOVÁŘ, DRSC.

ING. DARINA HEŘMANOVSKÁ, PH.D.

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA ČESKÉ
ZEMĚDĚLSKÉ UNIVERZITĚ V PRAZE**

září 2015

Obsah

1. Úvod	3
2. Infiltrační přístup	4
3. Transformace přímého odtoku	5
4. Struktura modelu KINFIL.....	6
5. Literatura	8
6. Software - zdrojový program modelu KINFIL (FORTRAN).....	19

Anotace

Model KINFIL je určen pro stanovení návrhových průtoků ovlivněných antropogenní činností, jako např. změna kultur, odlesnění nebo urbanizace, a simulaci významných odtokových procesů.

1. Úvod

Model KINFIL je založen na kombinaci teorie infiltrace a transformace přímého odtoku kinematickou vlnou (Overton, Meadows, 1976; Stephenson, Meadows, 1986; Beven, 1986, 2006). Osvědčil se na řadě experimentálních povodí při rekonstrukci historických povodňových případů a osvědčuje se, podobně jako ostatní modely kinematické vlny, v řadě případů simulace povrchového odtoku, způsobujícího erozi půdy (Kovář, 1992, 2000). Tento model používá fyzikálně-geometrické (fyziografické), hydraulické a klimatické parametry povodí, které se dají určit z mapových a jiných podkladů při absenci přímých pozorování a při zohlednění důsledku antropogenní činnosti v povodí (Morgan, Nearing, 2011). Model je určen přednostně pro stanovení návrhových průtoků pro různé „scénářové situace dané touto činností, jako je změna kultur, odlesnění, urbanizace aj. Současná verze modelu KINFIL je založena na infiltrační teorii Greena a Ampta se zavedením koncepce výtopy podle Meina a Larsona (1973) a Morel-Seytoux (Morel-Seytoux, Verdin, 1981; Morel-Seytoux, 1982):

$$K_s \left(\frac{z_f + H_f}{z_f} \right) = (\theta_s - \theta_i) \frac{dz_f}{dt} \quad (1)$$

$$S_f = (\theta_s - \theta_i) \cdot H_f \quad (2)$$

$$t_p = \frac{S_f}{i \left(\frac{i}{K_s} - 1 \right)} \quad (3)$$

kde K_s je nasycená hydraulická vodivost (m/s), z_f hloubka infiltrační fronty (m), θ_s nasycená půdní vlhkost (-), θ_i počáteční půdní vlhkost (-), H_f sací tlak pod infiltrační frontou (m), i intenzita deště (m/s), S_f retenční součinitel sacího tlaku (m), t_p doba výtopy (s) a t čas (s).

Základním úkolem je určení parametru nasycené hydraulické vodivosti K_s a retenčního součinitele sacího tlaku S_f (při stavu polní vodní kapacity – PVK). Přímým řešením na malých je experimentálních plochách je měření těchto parametru. Na větších povodích je to pak využití dříve odvozených vztahu mezi těmito parametry a hodnotami čísel odtokových křivek CN (Curve Number), dnes dobře propracované metody a ve světě široce používané (US SCS, 1972, 1986). Indexové hodnoty CN korespondují s konceptuálními hodnotami půdních parametru K_s a S_f (PVK): $CN = f(K_s, S_f)$. Druhým komponentem modelu KINFIL je jeho část simulující propagaci a transformaci přímého odtoku (Beven, 2006). Řešená parciální diferenciální rovnice popisuje neustálený pohyb, aproximovaný kinematickou vlnou (po zanedbání nevýznamných rychlostních členu dynamické St. Venantovy rovnice) po ploše různě uspořádaných a podle topografických podmínek různě skloněných rovinných desek:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \alpha y^{m-1} \frac{\partial y}{\partial x} = i_e(t) \quad (4)$$

kde x, y, t jsou souřadnice délky, hloubky, času (m, m, s), α, m hydraulické parametry a $i_e(t)$ je intenzita efektivního deště (m/s).

Tato rovnice je převedena do tvaru konečných diferencí a řešena explicitním numerickým schématem. Pro praktické řešení je povodí geometrizováno rozdělením do tří komponent: kaskády desek, konvergentních a divergentních segmentů a úseku koryta toku tak, aby simulace topografických ploch povodí byla dostatečně reprezentativní. Počáteční podmínky řešení diferenčního schématu jsou zadány pro tzv. nulové hodnoty hloubek vody (tj. jestliže $y(x, 0) = 0$ pro všechny souřadnice polohy x). Horní okrajová podmínka je dána polohou každé rovinné desky v kaskádě, případně horní hranou segmentu. Pro soustředěné neustálené proudění v korytě bývá používáno submodelu Muskingum-Cunge (Cunge, 1969), jehož autoři zavedli zjednodušující předpoklady do rovnice kinematické vlny transformované korytem toku.

2. Infiltrační přístup

Řešení vychází z teorie Greena a Ampta v úpravě Morel-Seytoux, založené na výpočtu tzv. doby výtopy t_p . V rovnicích se uplatňují dva parametry:

- nasycená hydraulická vodivost K_s (m/s),
- retenční součinitel sacího tlaku S_f (m): $S_f = (\theta_s - \theta_i) \cdot H_f$, kde θ_s je vlhkost pudy při nasycení (-), θ_i počáteční vlhkost (-), θ_{FC} vlhkost při polní vodní kapacitě (-) a H_f sací tlak na infiltrační frontě.

Sorptivita pudy při polní vodní kapacitě (m/s^{0,5}) je pak dána vztahem:

$$S(\theta_{FC}) = S(\theta_{FC}) = \sqrt{2K_s \cdot S_f} \quad (5)$$

Z rovnice Greena a Ampta:

$$v_f = K_s \cdot \left[i + \frac{(\theta_s - \theta_i) \cdot H_f}{W} \right] \quad (6)$$

kde W je kumulativní infiltrace (m), a z teorie Meina a Larsona (1973) o stanovení doby výtopy byly Morel-Seytouxem odvozeny infiltrační rovnice (Morel-Seytoux, 1976). Pro dešť o konstantní intenzitě se kumulativní infiltrace W v case $t_p < t < t_D$, vypočítá ze vztahu:

$$W = W_p + S(\theta_i)AR \left[\sqrt{t - t_p + \frac{t_p}{2}(AR)^3} - \sqrt{\frac{t_p}{2}(AR)^3} \right] + K_s(t - t_p) \quad (7)$$

kde

$$AR = \frac{i_+}{i_+ - 1}, \quad i_+ = \frac{i}{K_s}, \quad W_p = i \cdot t_p \quad (8)$$

Počátek výtopy ($t = t_p$) pro dešť s konstantní intenzitou se stanoví z podmínek (Mein, Larson, 1973) $\theta_i \rightarrow \theta_s$ a $v_f = i$. Kumulativní infiltrace v době výtopy t_p je pak:

$$W_p = v_f \cdot t_p = i_p \cdot t_p \quad (9)$$

kde i_p je intenzita deště v době výtopy (pro dešť s konstantní intenzitou $i_p = i$).

Obdobně pro případ deště s proměnlivou intenzitou platí:

$$W = W_p + S(W_p, \theta_i) + \left[\sqrt{t - t_p + BR} - \sqrt{BR} \right] + K_s(t - t_p) \quad (10)$$

kde

$$S(W_p, \theta_i) = \sqrt{\frac{2K_s(S_F + W_p)^2}{S_F}} \quad (BR) = \frac{1}{2} \frac{(S_F + W_p)^2}{K_s S_f \left(\frac{i_p}{K_s} - 1\right)} \quad (11)$$

3. Transformace přímého odtoku

Model kinematické vlny je model s rozdělenými parametry (distributed model), je možné ho použít na různých geometrických útvarech, jako:

- kaskáda rovinných desek,
- konvergentní nebo divergentní segmenty,
- soustředěný odtok v úsecích říčních koryt.

Proudění vody po přímém nepropustném svahu simulovaného širokou rovinnou deskou (resp. konvergentním segmentem) je možné vyjádřit rovnicí kinematické vlny jako

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i_e(t) \left(+ \frac{q}{L-x} \right) \quad (12)$$

$$q = \alpha \cdot y^m \quad (13)$$

kde q je průtok na jednotkovou šíři svahu (m^2/s), $i_e(t)$ je laterální přítok, neboli intenzita, efektivního deště (m/s), α , m jsou hydraulické parametry, L je poloměr konvergentního segmentu, t a x jsou souřadnice času (s) a polohy (m). Spojením rovnic dostáváme

$$\frac{\partial y}{\partial t} + m\alpha y^{m-1} \frac{\partial y}{\partial x} = i_e(t) \left(+ \frac{\alpha y^m}{L-x} \right) \quad (14)$$

Soustředěný odtok v říčních korytech je řešen metodou Muskingum-Cunge (Cunge, 1969):

$$K \frac{d}{dt} (XQ_j) + (1-X)Q_{j+1} = Q_j - Q_{j+1} \quad (15)$$

Model kinematické vlny podle explicitního numerického schématu má řešení (Lax, Wendroff, 1960) pro hloubky vodního proudu:

$$\begin{aligned} y_j^{i+1} = & y_j - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \cdot (\alpha y_{j+1}^m - \alpha y_{j-1}^m - 2\Delta x (i_e)_j) \\ & + \frac{(\Delta t)^2}{4(\Delta x)^2} \cdot (\alpha y_{j+1}^{m-1} + \alpha y_{j-1}^{m-1})(\alpha y_{j+1}^m - \alpha y_j^m - \Delta x \cdot (i_e)_j) \\ & - \frac{(\Delta t)^2}{4(\Delta x)^2} \cdot (\alpha y_j^{m-1} + \alpha y_{j-1}^{m-1} - \Delta x \cdot (i_e)_j) + \frac{\Delta t}{2} [(i_e)_j^{i+1} - (i_e)_j] \end{aligned} \quad (16)$$

V této rovnici jsou všechny proměnné, které nejsou označeny horním indexem $i + 1$, považovány za probíhající v časovém kroku i ($i + \Delta t = t + \Delta t$). Dolní index j označuje plošný krok x ($j + \Delta x = x + \Delta x$).

Numerická stabilita řešení je zajištěna, pokud pro časový a polohový krok platí:

$$c \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (17)$$

kde pro desku

$$c = m \cdot y^{m-1} \quad (18)$$

Kromě řešení následných hloubek y_j^{i+1} řeší model KINFIL i ostatní proměnné procesu tvorby a transformace povrchového odtoku, především hydraulické rychlosti v_j^i :

$$v_j^i = \alpha_j \cdot (y_j^i)^{m_j-1} \quad (19)$$

dále třecí rychlosti $(v^*)^i_j$:

$$(v^*)^i_j = \sqrt{g \cdot Y_j \cdot y_j^i} \quad (20)$$

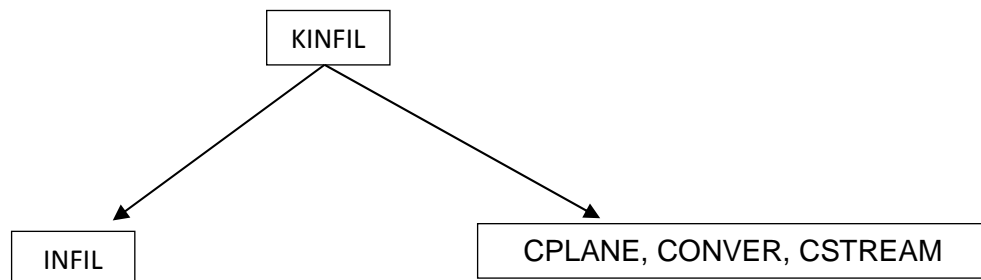
a tangenciální napětí τ_j^i :

$$\tau_j^i = \rho \cdot g \cdot Y_j \cdot y_j^i \quad (21)$$

kde α_j , m_j jsou hydraulické parametry, Y_j sklon pozemku (-), g gravitační zrychlení (m/s^2) a ρ hustota vody (kg/m^3).

4. Struktura modelu KINFIL

Model KINFIL se skládá ze dvou základních částí:

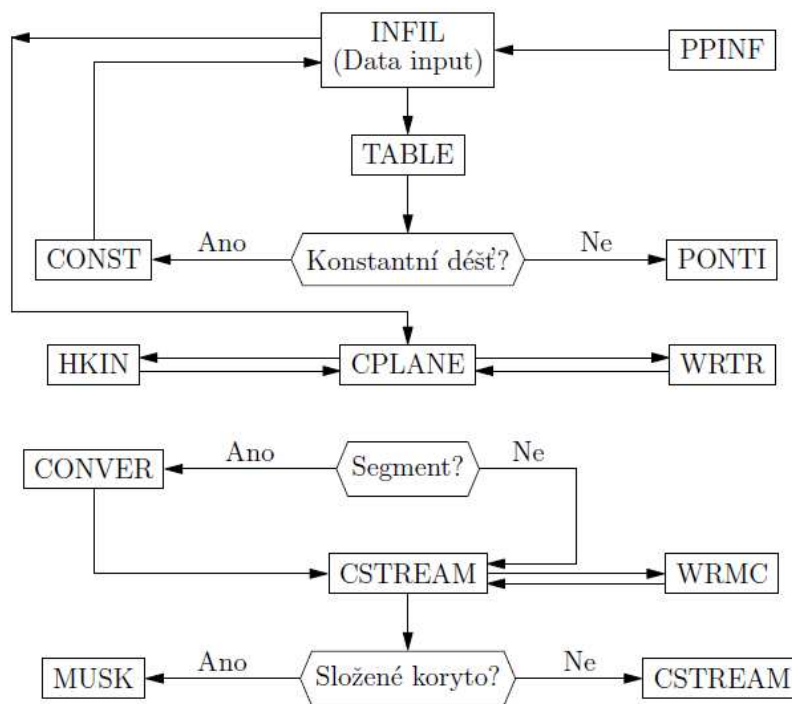


První část modelu je infiltrační submodel INFIL (celistvý modul), obsahující řešení infiltračního procesu, založeného na teorii Greena a Ampta, jak je výše popsáno. Součástí řešení je nalezení ekvivalence $CN = f(K_s, S_f)$. Dílčí podprogramy části INFIL jsou:

- PONTI: výpočet doby výtopy,
- CONST: infiltrace z deště o konstantní intenzitě,
- PPFIND: infiltrace z deště o proměnlivé intenzitě,
- TABLE: přiřazení parametru dle $CN = f(K_s, S_f)$.

Druhou částí je transformační submodel KINFIL, který řeší transformaci přímého odtoku. Procedura CPLANE je určena k simulaci odtoku po geometrizované kaskádě desek, procedura CONVER po segmentech, CSTREAM říční úseky. Numerické schéma řešení je explicitní, Laxe-Wendroffa. Pro řešení soustředěného odtoku po říčních úsecích s laterálními přítoky (CPLANE, CONVER) je možno alternativně řešit metodou MUSKINGUM-CUNGE, která je rovněž obsahem modelu KINFIL, jako samostatná procedura. Všechny tyto zmíněné procedury jsou vzájemně kompatibilní a tvoří model KINFIL. Přidružené pomocné procedury a funkce jsou:

- WRTR: pro tisk mezivýsledků CPLANE a CONVER
- WRMC: pro tisk mezivýsledků CSTREAM
- HKIN: pro řešení numerického schématu Lax-Wendroff



Popsaný model KINFIL je typickým příkladem modelu simulačního typu, popisující významný srážko-odtokový případ a nikoliv empirický model erozního procesu typu univerzální rovnice ztráty pudy (Wischmeier, Smith, 1978; Váška, 2000; Janeček et al., 2002).

Potřeba vstupních dat modelu je v následujících tabulkách, rozlišujících model KINFIL na část INFIL a část KIN. Popis parametru i proměnných je stručně v tabulkách uveden. Vzory vstupních dat jsou poskytnuty v přílohách A a B, jednotlivé symboly v nich značí

- část INFIL:

SUBOPT1, 2, 3, 4	logické proměnné (0 nebo 1)
QO	počáteční průtok (m^3/s)
KT	koefficient nasycené hydraulické vodivosti (mm/hod)
SO	koefficient sorptivity ($\text{mm}/\text{hod}^{0.5}$)
P	celková výška srážky (mm)
TD	doba trvání deště (hod)
CN	číslo odtokové křivky (není nutné)
N	počet pořadnic deště (-)
JJ	počet pořadnic hydrogramu (-)
DELT	délka časového kroku (hod)
RAIN (I)	výšky deště v časových krocích – pořadnic hyetogramu (mm)
FLAG	návěští zda pokračovat (1), nebo zastavit (2)

- část KIN:

NPL	počet soustav desek/segmentu (-)
PP	počet desek/segmentu v kaskádě jedné soustavy (-)
SLOPE	sklon svahu (-)
LENGTH	délka svahu (m)
WIDTH	šířka svahu (m)
OBST	překážka na svahu – relativně v desetinném zlomku záběru (-)
MAN	Manningova drsnost n (-)
FRIC	hydraulická turbulence (0.6)

TYPF	typ proudění (1.67)
DELT	délka časového kroku KIN (s)
TDELT	celková doba trvání případu (s)
NN	počet poradnic efektivního deště (-)
EFF RAIN (I)	pořadnice efektivního deště z části INFIL (mm)
FLAG	návěští zda pokračovat (1), nebo zastavit (0)

Posledními dvěma přílohami jsou ukázky výpočtu obou částí modelu KINFIL (INFIL a KIN).

5. Literatura

- Beven K. J. (1986): Runoff production and flood frequency in catchments of order n: An alternative approach. In: Gupta, V. K. (ed.): Scale Problems in Hydrology. D. Riedel Publishing Comp., s. 107–131.
- Beven K. J. (2006): Rainfall–Runoff Modelling. The Primer. John Willey & Sons, Chichester.
- Janeček M., a kol. (2002): Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha, ISBN 85866-85-8, 201 s.
- Cunge J. A. (1969): On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). Journal of Hydraulic Research, 7(2): 205–230.
- Kovář P. (1992): Možnosti stanovení návrhových průtoků na malých povodích modelem KINFIL. Vodohospodářský časopis, 40(2): 197–220.
- Kovář P. (2000): Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. SIC CZU, Praha.
- Lax P. D., Wendroff B. (1960): System of Conservation Laws. Communication on Pure and Applied Mathematics, 13(2): 217–237.
- Mein R. G., Larson C. L. (1973): Modelling infiltration during a steady rain. Water Resources Research, 9(2): 384–394.
- Morel-Seytoux H. J. (1976): Derivation of equations for rainfall infiltration. Journal of Hydrology, 31: 203–219.
- Morel-Seytoux H. J. (1982): Analytical results for prediction of variable rainfall infiltration. Journal of Hydrology, 59: 209–230.
- Morel-Seytoux H. J., VERDIN J. P. (1981): Extension of the Soil Conservation Service Rainfall–runoff methodology for ungauged watersheds. Colorado State University.
- Morgan, R. P. C., Nearing, M. A. (2011): Handbook of Erosion Modelling. Wiley & Blackwell, ISBN 978-1-4051-9010-7, 401 s.
- Overton D. E., Meadows M. E. (1976): Stormwater Modelling. Academic Press New York.
- US SOIL CONSERVATION SERVICE (1972): National Engineering Handbook. Section 4, Hydrology. Washington, D. C.
- US SOIL CONSERVATION SERVICE (1986): Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55 (updated), USA.
- Stephenson D., Meadows M. E. (1986): Kinematic Hydrology and Modelling. Elsevier.
- VÁŠKA, J. (2000): Hydromeliorace. ČKAIT, ISBN 80 86426-01-7, 220 s.
- Wischmeier W. H., Smith D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide Book to Conservation Planning. Agrarian Handbook No. 537, US Dept. of Agriculture, Washington.

A Vzor vstupních dat – část INFIL

```
TREBSIN, Locality 6, 23.7.2008 AREA=30m2, DRY, DT=1min, maize (Info-hlavička)
0 0 0 0 (SUBPT1, 2, 3, 4)
0 (QO)
7.84 15.21 16.10 0.250 80.00 (KT, SO, P, TD, CN)
15 20 0.0167 (N, JJ, DELT)
0.98 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08
1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 (EFF RAIN (I), I = 1,NN)
1 (FLAG)
TREBSIN, Locality , 23.7.2008 AREA=30m2, WET, DT=1min, maize (dtto)
0 0 0 0
0
7.84 8.21 16.17 0.250 80.00
16 20 0.0167
0.05 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08 1.08
1.08 1.08 1.08 1.08 1.08
0
```

B Vzor vstupních dat – část KIN

```
0.0 (QO)
TREBSIN, Locality 6,23.7.2008,DT=1min,AREA=30m2,DRY,maize (Info-hlavička)
1 (NPL)
1 (PP)
0.128 10.0 3.0 0.0 0.10 0.6 1.67 (SLOPE, LENGHT, WIDTH, OBST,
MAN, FRIC, TYPF)
60.0 1200.0 (DELT, TDELT)
16 (NN)
0.000 0.000 0.016 0.147 0.296 0.384 0.444 0.487 0.2117 0.549
0.571 0.591 0.607 0.621 0.634 0.645 (EFF RAIN (I), I = 1,NN)
1 (FLAG)
TREBSIN, Locality 6,23.7.2008,DT=1min,AREA=30m2,WET,maize (dtto)
1
1
0.128 10.0 3.0 0.0 0.10 0.6 1.67
60.0 1200.0
16
0.000 0.176 0.421 0.554 0.619 0.660 0.688 0.710 0.727 0.740
0.752 0.762 0.770 0.777 0.784 0.790
0
```

C Výstup z části INFIL

T H E I N F I L T R A T I O N M O D E L

```
*****
THE KW-INFILTRATION MODEL COMPUTES NET RAINFALL FROM GROSS ONE USING
MEIN - LARSON AND MOREL - SEYTOUX INFILTRATION FORMULAE
FLOOD HYDROGRAPH CAN BE COMPUTED USING UH CONVOLUTION
```

```
IF SUBOPT1=1, VARIABLE RAINFALL RATES IS USED
IF SUBPT1=0, CONSTANT RAINFALL IS USED
IF SUBPT2=0, USER INPUTS KT AND SFFC
IF SUBPT2=1, KT AND SFFC ARE COMPUTED FROM CN
IF SUBPT3=1, MEASURED DISCHARGES SHOULD BE READ
IF SUBPT4=0, EROSION PROGRAM IS IMPLEMENTED
```

NAME OF CATCHMENT:

```
TREBSIN, Locality 6 23.7.2008 AREA=30 m2 DRY DT=1min maize
*****
SUBOPT1= 0 SUBOPT2= 0 SUBOPT3= 0
SUBOPT4= 0
```

```
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, KT = 7.840 MM/HR
SORPTIVITY, SO = 15.210 MM/HR**0.5
STORAGE SUCTION FACTOR, SFFC = 14.754 MM
TOTAL PRECIP, P = 16.100 MM
DURATION TIME,TD = .250 HR
```

OUTPUT OF SUBROUTINE CONST, CONSTANT RAINFALL

BY INFILTRATION APPROACH

PONDING TIME TP= .032 HR

T(HR)	W(MM)	DELW(MM)	IR(MM/HR)	R(MM/HR)	RE(MM/HR)	RER(MM/HR)
.032	2.045	2.045				
.017	.000	.000	.000	.980	.000	.000
.033	2.149	.104	63.442	1.080	.016	.016
.050	3.078	.928	55.578	1.080	.147	.147
.067	3.857	.779	46.650	1.080	.296	.296
.083	4.548	.691	41.401	1.080	.384	.384
.100	5.180	.632	37.838	1.080	.444	.444
.117	5.768	.588	35.215	1.080	.487	.487
.134	6.322	.554	33.179	1.080	.521	.521
.150	6.849	.527	31.539	1.080	.549	.549
.167	7.353	.504	30.182	1.080	.571	.571
.184	7.838	.485	29.034	1.080	.591	.591
.200	8.306	.468	28.047	1.080	.607	.607
.217	8.760	.454	27.186	1.080	.621	.621
.234	9.201	.441	26.426	1.080	.634	.634
.250	9.631	.430	25.750	1.080	.645	.645
.267	.000	.000	.000	.000	.000	.000

MASS BALANCE CHECK

EXCESS PRECIP= 6.469 MM
 CUMULATIVE INFILTRATION= 9.631 MM
 RETENTION= .000 MM
 TOTAL PRECIP= 16.100 MM

NAME OF CATCHMENT:

TREBSIN, Locality 6 23.7.2008 AREA=30 m2 WET DT=1min maize

 SUBOPT1= 0 SUBOPT2= 0 SUBOPT3= 0
 SUBOPT4= 0

HYDRAULIC CONDUCTIVITY, KT = 7.840 MM/HR
 SORPTIVITY, SO = 8.210 MM/HR**0.5
 STORAGE SUCTION FACTOR, SFFC = 4.299 MM
 TOTAL PRECIP, P = 16.170 MM
 DURATION TIME,TD = .250 HR

OUTPUT OF SUBROUTINE CONST, CONSTANT RAINFALL

BY INFILTRATION APPROACH

PONDING TIME TP= .009 HR

T(HR)	W(MM)	DELW(MM)	IR(MM/HR)	R(MM/HR)	RE(MM/HR)	RER(MM/HR)
.009	.593	.593				
.017	1.001	.408	54.156	.050	.176	.176
.033	1.660	.659	39.449	1.080	.421	.421
.050	2.186	.527	31.527	1.080	.554	.554
.067	2.648	.461	27.628	1.080	.619	.619
.083	3.068	.421	25.189	1.080	.660	.660
.100	3.460	.392	23.477	1.080	.688	.688
.117	3.831	.371	22.189	1.080	.710	.710
.134	4.185	.354	21.176	1.080	.727	.727
.150	4.524	.340	20.351	1.080	.740	.740
.167	4.853	.328	19.662	1.080	.752	.752
.184	5.171	.319	19.076	1.080	.762	.762
.200	5.481	.310	18.569	1.080	.770	.770
.217	5.784	.303	18.126	1.080	.777	.777
.234	6.080	.296	17.733	1.080	.784	.784
.250	6.371	.290	17.382	1.080	.790	.790
.267	.000	.000	.000	.000	.000	.000

MASS BALANCE CHECK

EXCESS PRECIP= 9.799 MM
 CUMULATIVE INFILTRATION= 6.371 MM
 RETENTION= .000 MM
 TOTAL PRECIP= 16.170 MM

D Výstup z části KIN

MODEL KINFIL: HYDRAULIC VARIABLES,
FINAL HYDROGRAPH

LEGEND:

H(J,I) ... Depth of water (m)
VE(J,I) ... Velocity of water flow (m/s)
TAU(J,I) ... Shear stress (Pa)
VSTAR(J,I) ... Shear velocity (m/s)

NAME OF CATCHMENT: TREBSIN, Locality 6,30.7.2008,DT=1min,AREA=30m2,DRY,maize

DESCRIPTION OF PLANES:

SLOPES(-) LENGTHS(M) WIDTHS(M) MAN.ROUGHNESS M-FLOWTYPE
.128 10.000 3.000 .1000 1.6700

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 2
J= 1 T= 2
H(J,I): .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000
VE(J,I): .0000 .0007 .0007 .0007 .0007 .0007
TAU(J,I): .0000 .0035 .0035 .0035 .0035 .0035
VSTR(J,I): .0000 .0019 .0019 .0019 .0019 .0019

1 2 .03 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 3
J= 1 T= 3
H(J,I): .0000 .0001 .0001 .0001 .0001 .0001
VE(J,I): .0000 .0055 .0055 .0055 .0055 .0055
TAU(J,I): .0000 .0795 .0798 .0798 .0798 .0798
VSTR(J,I): .0000 .0089 .0089 .0089 .0089 .0089

2 3 .05 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 4
J= 1 T= 4
H(J,I): .0000 .0002 .0003 .0003 .0003 .0003
VE(J,I): .0000 .0138 .0143 .0143 .0143 .0143
TAU(J,I): .0000 .3125 .3307 .3310 .3310 .3310
VSTR(J,I): .0000 .0177 .0182 .0182 .0182 .0182

3 4 .07 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 5
J= 1 T= 5
H(J,I): .0000 .0004 .0006 .0006 .0006 .0006
VE(J,I): .0000 .0203 .0237 .0244 .0244 .0244
TAU(J,I): .0000 .5559 .7041 .7325 .7345 .7346
VSTR(J,I): .0000 .0236 .0265 .0271 .0271 .0271

4 5 .08 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 6
J= 1 T= 6

H(J,I):	.0000	.0005	.0008	.0009	.0010	.0010
VE(J,I):	.0000	.0232	.0295	.0328	.0342	.0345
TAU(J,I):	.0000	.6787	.9741	1.1433	1.2152	1.2298
VSTR(J,I):	.0000	.0261	.0312	.0338	.0349	.0351

5 6 .10 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE	1	AT TIME	7			
J= 1	T=	7				
H(J,I):	.0000	.0006	.0009	.0011	.0012	.0013
VE(J,I):	.0000	.0246	.0320	.0370	.0405	.0424
TAU(J,I):	.0000	.7424	1.1011	1.3654	1.5615	1.6768
VSTR(J,I):	.0000	.0272	.0332	.0370	.0395	.0409

6 7 .12 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE	1	AT TIME	8			
J= 1	T=	8				
H(J,I):	.0000	.0006	.0009	.0012	.0014	.0015
VE(J,I):	.0000	.0255	.0334	.0390	.0433	.0466
TAU(J,I):	.0000	.7845	1.1744	1.4777	1.7284	1.9263
VSTR(J,I):	.0000	.0280	.0343	.0384	.0416	.0439

7 8 .13 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE	1	AT TIME	9			
J= 1	T=	9				
H(J,I):	.0000	.0006	.0010	.0012	.0015	.0016
VE(J,I):	.0000	.0262	.0344	.0402	.0449	.0487
TAU(J,I):	.0000	.8147	1.2246	1.5488	1.8242	2.0603
VSTR(J,I):	.0000	.0285	.0350	.0394	.0427	.0454

8 9 .15 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE	1	AT TIME	10			
J= 1	T=	10				
H(J,I):	.0000	.0007	.0010	.0013	.0015	.0017
VE(J,I):	.0000	.0267	.0351	.0411	.0460	.0501
TAU(J,I):	.0000	.8382	1.2626	1.6006	1.8907	2.1459
VSTR(J,I):	.0000	.0290	.0355	.0400	.0435	.0463

9 10 .17 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE	1	AT TIME	11			
J= 1	T=	11				
H(J,I):	.0000	.0007	.0010	.0013	.0015	.0018
VE(J,I):	.0000	.0271	.0357	.0418	.0468	.0510
TAU(J,I):	.0000	.8572	1.2928	1.6411	1.9415	2.2083
VSTR(J,I):	.0000	.0293	.0360	.0405	.0441	.0470

10 11 .18 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE	1	AT TIME	12			
-------	---	---------	----	--	--	--

```

J= 1   T=    12
  H(J,I): .0000 .0007 .0010 .0013 .0016 .0018
  VE(J,I): .0000 .0274 .0361 .0424 .0475 .0518
  TAU(J,I): .0000 .8727 1.3174 1.6739 1.9822 2.2573
  VSTR(J,I): .0000 .0295 .0363 .0409 .0445 .0475

```

```
-----
      11          12          .20          .000
-----
```

```
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
```

```
-----
      .0076      .0380      .1900      1.6700
-----
```

```
PLANE 1 AT TIME 13
```

```

J= 1   T=    13
  H(J,I): .0000 .0007 .0011 .0014 .0016 .0018
  VE(J,I): .0000 .0277 .0365 .0429 .0480 .0524
  TAU(J,I): .0000 .8861 1.3383 1.7014 2.0160 2.2976
  VSTR(J,I): .0000 .0298 .0366 .0412 .0449 .0479

```

```
-----
      12          13          .22          .000
-----
```

```
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
```

```
-----
      .0076      .0380      .1900      1.6700
-----
```

```
PLANE 1 AT TIME 14
```

```

J= 1   T=    14
  H(J,I): .0000 .0007 .0011 .0014 .0016 .0019
  VE(J,I): .0000 .0279 .0368 .0432 .0485 .0529
  TAU(J,I): .0000 .8974 1.3560 1.7248 2.0446 2.3314
  VSTR(J,I): .0000 .0300 .0368 .0415 .0452 .0483

```

```
-----
      13          14          .23          .000
-----
```

```
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
```

```
-----
      .0076      .0380      .1900      1.6700
-----
```

```
PLANE 1 AT TIME 15
```

```

J= 1   T=    15
  H(J,I): .0000 .0007 .0011 .0014 .0016 .0019
  VE(J,I): .0000 .0281 .0371 .0436 .0489 .0534
  TAU(J,I): .0000 .9075 1.3717 1.7453 2.0696 2.3607
  VSTR(J,I): .0000 .0301 .0370 .0418 .0455 .0486

```

```
-----
      14          15          .25          .000
-----
```

```
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
```

```
-----
      .0076      .0380      .1900      1.6700
-----
```

```
PLANE 1 AT TIME 16
```

```

J= 1   T=    16
  H(J,I): .0000 .0007 .0011 .0014 .0017 .0019
  VE(J,I): .0000 .0283 .0374 .0439 .0492 .0538
  TAU(J,I): .0000 .9167 1.3859 1.7637 2.0919 2.3868
  VSTR(J,I): .0000 .0303 .0372 .0420 .0457 .0489

```

```
-----
      15          16          .27          .000
-----
```

```
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
```

```
-----
      .0076      .0380      .1900      1.6700
-----
```

```
PLANE 1 AT TIME 17
```

```

J= 1   T=    17
  H(J,I): .0000 .0004 .0007 .0009 .0012 .0014
  VE(J,I): .0000 .0176 .0265 .0334 .0391 .0441
  TAU(J,I): .0000 .4520 .8309 1.1751 1.4863 1.7737
  VSTR(J,I): .0000 .0213 .0288 .0343 .0386 .0421

```

```
-----
      16          17          .28          .000
-----
```

```
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
```

```
-----
      .0076      .0380      .1900      1.6700
-----
```

```

PLANE 1 AT TIME 18
J= 1 T= 18
H(J,I): .0000 .0002 .0004 .0006 .0008 .0010
VE(J,I): .0000 .0117 .0189 .0251 .0305 .0353
TAU(J,I): .0000 .2466 .5030 .7648 1.0221 1.2761
VSTR(J,I): .0000 .0157 .0224 .0277 .0320 .0357

```

```
-----
17 18 .30 .000
-----
```

```
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
-----
```

```
.0076 .0380 .1900 1.6700
-----
```

```

PLANE 1 AT TIME 19
J= 1 T= 19
H(J,I): .0000 .0001 .0003 .0004 .0006 .0007
VE(J,I): .0000 .0085 .0143 .0195 .0242 .0287
TAU(J,I): .0000 .1523 .3306 .5242 .7249 .9342
VSTR(J,I): .0000 .0123 .0182 .0229 .0269 .0306

```

```
-----
18 19 .32 .000
-----
```

```
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
-----
```

```
.0076 .0380 .1900 1.6700
-----
```

```

PLANE 1 AT TIME 20
J= 1 T= 20
H(J,I): .0000 .0001 .0002 .0003 .0004 .0006
VE(J,I): .0000 .0065 .0113 .0157 .0197 .0237
TAU(J,I): .0000 .1028 .2326 .3789 .5353 .7039
VSTR(J,I): .0000 .0101 .0153 .0195 .0231 .0265

```

```
-----
19 20 .33 .000
-----
```

```
-----
THE OVERLAND FLOW HYDROGRAPH:

```

```
ORDIN.NO. TIME(HOURS) DISCHARGE Q (L/S)
```

```

1 .033 .000
2 .050 .001
3 .067 .011
4 .083 .043
5 .100 .101
6 .117 .170
7 .133 .214
8 .150 .240
9 .167 .257
10 .183 .269
11 .200 .279
12 .217 .288
13 .233 .295
14 .250 .301
15 .267 .307
16 .283 .187
17 .300 .108
18 .317 .064
19 .333 .040

```

```
-----
THE MASS BALANCE CHECK:

```

```
-----
TOTAL INFLOW DEPTH: 6.58 MM
TOTAL OUTFLOW DEPTH: 6.35 MM

```

```
NAME OF CATCHMENT: TREBSIN, Locality 6,30.7.2008,DT=1min,AREA=30m2,WET,maize
```

```
*****
```

```
DESCRIPTION OF PLANES:
```

```
-----
SLOPES(-) LENGTHS(M) WIDTHS(M) MAN.ROUGHNESS M-FLOWTYPE
.128 10.000 3.000 .1000 1.6700
-----
```

```
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
-----
```

```

.0076      .0380      .1900      1.6700

PLANE 1 AT TIME 2
J= 1 T= 2
  H(J,I): .0000 .0001 .0001 .0001 .0001 .0001
  VE(J,I): .0000 .0097 .0098 .0098 .0098 .0098
  TAU(J,I): .0000 .1855 .1879 .1879 .1879 .1879
  VSTR(J,I): .0000 .0136 .0137 .0137 .0137 .0137
-----
      1          2          .03          .000
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
-----
.0076      .0380      .1900      1.6700

PLANE 1 AT TIME 3
J= 1 T= 3
  H(J,I): .0000 .0005 .0005 .0005 .0005 .0005
  VE(J,I): .0000 .0208 .0228 .0229 .0229 .0229
  TAU(J,I): .0000 .5783 .6627 .6693 .6695 .6695
  VSTR(J,I): .0000 .0240 .0257 .0259 .0259 .0259
-----
      2          3          .05          .000
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
-----
.0076      .0380      .1900      1.6700

PLANE 1 AT TIME 4
J= 1 T= 4
  H(J,I): .0000 .0006 .0009 .0010 .0010 .0011
  VE(J,I): .0000 .0260 .0327 .0354 .0361 .0362
  TAU(J,I): .0000 .8074 1.1354 1.2802 1.3182 1.3229
  VSTR(J,I): .0000 .0284 .0337 .0358 .0363 .0364
-----
      3          4          .07          .000
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
-----
.0076      .0380      .1900      1.6700

PLANE 1 AT TIME 5
J= 1 T= 5
  H(J,I): .0000 .0007 .0010 .0013 .0015 .0016
  VE(J,I): .0000 .0276 .0361 .0417 .0455 .0474
  TAU(J,I): .0000 .8818 1.3149 1.6350 1.8612 1.9801
  VSTR(J,I): .0000 .0297 .0363 .0404 .0431 .0445
-----
      4          5          .08          .000
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
-----
.0076      .0380      .1900      1.6700

PLANE 1 AT TIME 6
J= 1 T= 6
  H(J,I): .0000 .0007 .0011 .0014 .0016 .0018
  VE(J,I): .0000 .0284 .0373 .0437 .0487 .0526
  TAU(J,I): .0000 .9220 1.3855 1.7514 2.0596 2.3127
  VSTR(J,I): .0000 .0304 .0372 .0418 .0454 .0481
-----
      5          6          .10          .000
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):
-----
.0076      .0380      .1900      1.6700

PLANE 1 AT TIME 7
J= 1 T= 7
  H(J,I): .0000 .0008 .0011 .0014 .0017 .0019
  VE(J,I): .0000 .0290 .0382 .0447 .0500 .0545
  TAU(J,I): .0000 .9491 1.4304 1.8141 2.1439 2.4347
  VSTR(J,I): .0000 .0308 .0378 .0426 .0463 .0493
-----
      6          7          .12          .000
-----
LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

```

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 8
J= 1 T= 8
H(J,I): .0000 .0008 .0012 .0015 .0018 .0020
VE(J,I): .0000 .0294 .0387 .0455 .0509 .0555
TAU(J,I): .0000 .9691 1.4626 1.8580 2.1996 2.5042
VSTR(J,I): .0000 .0311 .0382 .0431 .0469 .0500

7 8 .13 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 9
J= 1 T= 9
H(J,I): .0000 .0008 .0012 .0015 .0018 .0020
VE(J,I): .0000 .0297 .0392 .0460 .0515 .0563
TAU(J,I): .0000 .9842 1.4867 1.8905 2.2403 2.5536
VSTR(J,I): .0000 .0314 .0386 .0435 .0473 .0505

8 9 .15 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 10
J= 1 T= 10
H(J,I): .0000 .0008 .0012 .0015 .0018 .0021
VE(J,I): .0000 .0299 .0395 .0464 .0520 .0568
TAU(J,I): .0000 .9956 1.5050 1.9150 2.2708 2.5903
VSTR(J,I): .0000 .0316 .0388 .0438 .0477 .0509

9 10 .17 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 11
J= 1 T= 11
H(J,I): .0000 .0008 .0012 .0015 .0018 .0021
VE(J,I): .0000 .0301 .0398 .0467 .0524 .0572
TAU(J,I): .0000 1.0058 1.5208 1.9356 2.2960 2.6202
VSTR(J,I): .0000 .0317 .0390 .0440 .0479 .0512

10 11 .18 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 12
J= 1 T= 12
H(J,I): .0000 .0008 .0012 .0016 .0018 .0021
VE(J,I): .0000 .0303 .0400 .0470 .0527 .0576
TAU(J,I): .0000 1.0143 1.5341 1.9531 2.3174 2.6452
VSTR(J,I): .0000 .0318 .0392 .0442 .0481 .0514

11 12 .20 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076 .0380 .1900 1.6700

PLANE 1 AT TIME 13
J= 1 T= 13
H(J,I): .0000 .0008 .0012 .0016 .0019 .0021
VE(J,I): .0000 .0304 .0402 .0472 .0530 .0579
TAU(J,I): .0000 1.0212 1.5449 1.9674 2.3349 2.6658
VSTR(J,I): .0000 .0320 .0393 .0444 .0483 .0516

12 13 .22 .000

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076	.0380	.1900	1.6700			

PLANE	1	AT TIME	14			
J= 1	T=	14				
H(J,I):	.0000	.0008	.0012	.0016	.0019	.0021
VE(J,I):	.0000	.0306	.0403	.0474	.0532	.0582
TAU(J,I):	.0000	1.0278	1.5549	1.9803	2.3505	2.6841
VSTR(J,I):	.0000	.0321	.0394	.0445	.0485	.0518

13	14	.23	.000			

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076	.0380	.1900	1.6700			

PLANE	1	AT TIME	15			
J= 1	T=	15				
H(J,I):	.0000	.0008	.0012	.0016	.0019	.0021
VE(J,I):	.0000	.0307	.0405	.0476	.0534	.0584
TAU(J,I):	.0000	1.0329	1.5631	1.9911	2.3636	2.6994
VSTR(J,I):	.0000	.0321	.0395	.0446	.0486	.0520

14	15	.25	.000			

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076	.0380	.1900	1.6700			

PLANE	1	AT TIME	16			
J= 1	T=	16				
H(J,I):	.0000	.0008	.0013	.0016	.0019	.0022
VE(J,I):	.0000	.0308	.0406	.0478	.0536	.0586
TAU(J,I):	.0000	1.0378	1.5706	2.0007	2.3753	2.7130
VSTR(J,I):	.0000	.0322	.0396	.0447	.0487	.0521

15	16	.27	.000			

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076	.0380	.1900	1.6700			

PLANE	1	AT TIME	17			
J= 1	T=	17				
H(J,I):	.0000	.0004	.0007	.0010	.0013	.0015
VE(J,I):	.0000	.0176	.0273	.0349	.0411	.0465
TAU(J,I):	.0000	.4511	.8675	1.2498	1.5985	1.9219
VSTR(J,I):	.0000	.0212	.0295	.0354	.0400	.0438

16	17	.28	.000			

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076	.0380	.1900	1.6700			

PLANE	1	AT TIME	18			
J= 1	T=	18				
H(J,I):	.0000	.0002	.0004	.0006	.0008	.0011
VE(J,I):	.0000	.0112	.0188	.0253	.0311	.0364
TAU(J,I):	.0000	.2282	.4960	.7766	1.0563	1.3329
VSTR(J,I):	.0000	.0151	.0223	.0279	.0325	.0365

17	18	.30	.000			

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa):

.0076	.0380	.1900	1.6700			

PLANE	1	AT TIME	19			
J= 1	T=	19				
H(J,I):	.0000	.0001	.0003	.0004	.0006	.0008
VE(J,I):	.0000	.0079	.0138	.0192	.0242	.0289
TAU(J,I):	.0000	.1356	.3144	.5145	.7262	.9464
VSTR(J,I):	.0000	.0116	.0177	.0227	.0269	.0308

18	19	.32	.000			

LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS τ_{Ucr} (Pa):

	.0076	.0380	.1900	1.6700		
PLANE 1						
J= 1						
AT TIME						
T= 20						
H(J,I):	.0000	.0001	.0002	.0003	.0004	.0006
VE(J,I):	.0000	.0060	.0108	.0153	.0195	.0236
TAU(J,I):	.0000	.0899	.2168	.3641	.5252	.6974
VSTR(J,I):	.0000	.0095	.0147	.0191	.0229	.0264
	19	20	.33	.000		

THE OVERLAND FLOW HYDROGRAPH:

ORDIN.NO. TIME(HOURS) DISCHARGE Q (L/S)

1	.033	.004
2	.050	.037
3	.067	.114
4	.083	.224
5	.100	.291
6	.117	.317
7	.133	.332
8	.150	.343
9	.167	.351
10	.183	.358
11	.200	.364
12	.217	.369
13	.233	.373
14	.250	.377
15	.267	.380
16	.283	.214
17	.300	.116
18	.317	.065
19	.333	.039

THE MASS BALANCE CHECK:

TOTAL INFLOW DEPTH:	9.54	MM
TOTAL OUTFLOW DEPTH:	9.34	MM

6. Software - zdrojový program modelu KINFIL (FORTRAN)

INFIL – data TŘEBSÍN

```
$DEBUG
$NOTRUNCATE
PROGRAM EINFIL
C VERSION OF INFIL MODEL FOR EROSION
C - KBUK FES CULS PRAGUE, 2014
C NAME OF FILE EINFIL.FOR
COMMON/A1/DELT,QU,N,P,TD,CN,II
COMMON/A2/KT,TP,RP,WP,K
COMMON/A3/MO,DAY,YEAR,SFFC,S,SO
COMMON/A4/T(250),R(250),RE(250),RER(250)
COMMON/A5/AR(5)
COMMON/A6/SF,RETEN
COMMON/A7/CUMP(250)
COMMON/A8/AREA,L,Y,NN,NF
COMMON/A9/DELTA(250),CNM
COMMON/A10/DELP(250),QA(250),TM(250),QM(250)
COMMON/A11/SUBPT1,SUBPT2,SUBPT3,SUBPT4
COMMON/A12/TL
COMMON/A13/CNAME(20)
INTEGER QU,SUBPT1,SUBPT2,SUBPT3,SUBPT4,DAY,YEAR
REAL KT,L
CHARACTER*12 NDFILE
CHARACTER*8 FNAME$
OPEN(UNIT=5,FILE='treb4sim.dta',STATUS='OLD')
OPEN(UNIT=7,FILE='treb4sim.out',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(UNIT=1,FILE='NDFILE',STATUS='UNKNOWN')
62 FORMAT(2X,56(1H*))
C
63 FORMAT(2X,'THE INFILTRATION MODEL '/')
64 FORMAT(2X,'THE KW-INFILTRATION MODEL COMPUTES NET RAINFALL FROM GR
*OSS ONE USING'/2X,'MEIN - LARSON AND MOREL - SEYTOUX INFILTRATION
*FORMULAE')
61 FORMAT(2X,'FLOOD HYDROGRAPH CAN BE COMPUTED USING UH CONVOLUTION')
WRITE(6,63)
WRITE(6,62)
WRITE(6,64)
WRITE(6,61)
WRITE(6,51)
WRITE(7,63)
WRITE(7,62)
WRITE(7,64)
WRITE(7,61)
WRITE(7,51)
51 FORMAT(//,2X,'IF SUBOPT1=1, VARIABLE RAINFALL RATES IS USED',/
*2X,'IF SUBPT1=0, CONSTANT RAINFALL IS USED',
*/,2X,'IF SUBPT2=0, USER INPUTS KT AND SFFC'/
*2X,'IF SUBPT2=1, KT AND SFFC ARE COMPUTED FROM CN'/
*2X,'IF SUBPT3=1, MEASURED DISCHARGES SHOULD BE READ'/
*2X,'IF SUBPT4=0, EROSION PROGRAM IS IMPLEMENTED'//)
C
76 FORMAT(20A4)
100 READ(5,76)CNAME
C
65 FORMAT(2X,'NAME OF CATCHMENT:'/2X,20A4/2X,60(1H*))
WRITE(6,65)CNAME
WRITE(7,65)CNAME
READ(5,38)SUBPT1,SUBPT2,SUBPT3,SUBPT4
38 FORMAT(I2,2X,I2,2X,I2,2X,I2)
READ(5,72)IDENT
72 FORMAT(I1)
WRITE(6,39)SUBPT1,SUBPT2,SUBPT3,SUBPT4
WRITE(7,39)SUBPT1,SUBPT2,SUBPT3,SUBPT4
39 FORMAT(2X,'SUBOPT1=',I2,3X,'SUBOPT2=',I2,3X,'SUBOPT3=',I2/
*2X,'SUBOPT4=',I2)
IF(SUBPT2.EQ.0)GO TO 40
READ(5,41)P,TD,CN,CNM
41 FORMAT(4F10.3)
WRITE(6,42)P,TD,CN
WRITE(7,42)P,TD,CN
42 FORMAT(2X,'STORM DEPTH P =',F10.3,2X,'MM'/2X,'STORM DURATION TD ='
*,F10.3,2X,'HR'/2X,'CURVE NUMBER CN=',F10.3,2X,'(-)')
```

```

C      READ '(A12)',NDFILE
      CALL TABLE
      GO TO 43
40 READ(5,2)KT,SO,P,TD,CN
   2 FORMAT(5F10.3)
      SFFC=(SO**2)/(2.0*KT)
      WRITE(6,15)KT,SO,SFFC,P,TD
      WRITE(7,15)KT,SO,SFFC,P,TD
15 FORMAT(/,2X,'HYDRAULIC CONDUCTIVITY, KT =',F8.3,1X,'MM/HR',/,2X,
*'SORPTIVITY, SO =',F8.3,1X,'MM/HR**0.5',/2X,
*'STORAGE SUCTION FACTOR, SFFC =',F8.3,1X,'MM',/,
*2X,'TOTAL PRECIP, P =',F8.3,1X,'MM',/,2X,'DURATION TIME,TD =',F8.3
*,1X,'HR',)
      GO TO 8
43 READ(5,27)AREA,L,Y,RETEN
27 FORMAT(4F10.5)
      WRITE(6,28)AREA,L,Y
      WRITE(7,28)AREA,L,Y
28 FORMAT(2X,'AREA=',F10.5,2X,'KM2',
*/,2X,'LENGTH TO DIVIDE=',F10.2,2X,'M'/2X,
*'AVG CATCHMENT SLOPE=',F10.2,2X,'PERCENT')
   8 READ(5,9)N,II,DELT
   9 FORMAT(I3,2X,I3,2X,F10.5)
c     WRITE(6,20)N,II,DELT
c     WRITE(7,20)N,II,DELT
20 FORMAT(/,2X,'N=',I3,5X,'II =',I3,5X,'DELT =',F10.5/)
C
C     WRITE(6,49)
C     WRITE(7,49)
49 FORMAT(2X,'N IS NUMBER OF TIME STEPS IN USERS STORM'/
*2X,'II IS NUMBER OF TIME STEPS IN REQUIRED HYDROGRAPH' /
*2X,'DELT IS LENGHT OF TIME STEP IN HR' /
*2X,'INPUT RAIN IS IN MM/HR',/)
C
      IF(IDENT.NE.1)GOTO 33
C
      READ(5,11)DAY,MO,YEAR
11 FORMAT(I2,2X,I2,2X,I2)
      READ(5,16)(AR(I),I=1,5)
16 FORMAT(5F8.0)
C
      WRITE(6,13)DAY,MO,YEAR
      WRITE(7,13)DAY,MO,YEAR
13 FORMAT(2X,'DATE OF EVENT:',I2,'/',I2,'/','19',I2,/)
14 FORMAT(2X,'ANTECEDENT DAILY RAIN AR(I):'/2X,5F7.1/)
      WRITE(6,14)(AR(I),I=1,5)
      WRITE(7,14)(AR(I),I=1,5)
      READ(5,31)QM(1)
31 FORMAT(F10.3)
      WRITE(6,48)QM(1)
      WRITE(7,48)QM(1)
48 FORMAT(2X,'INITIAL DISCHARGE OBSERVED: QM(1)=' ,F10.3,1X,'M3/S',/)
33 CONTINUE
C     SCREEN CONTROL
C     READ '(A12)',NDFILE
99 T(1)=DELT
   DO 22 I=2,II
22 T(I)=T(I-1)+DELT
      READ(5,10)(R(I),I=1,N)
10 FORMAT(10F8.0)
   3 FORMAT(2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,
*2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,
*/2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/,2X,10F7.2,/)
32 FORMAT(2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,
*2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,
*/2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/,2X,10F6.3,/)
52 CONTINUE
C     WRITE(6,36)
C     WRITE(7,36)
36 FORMAT(2X,'TIME STEPS, HOURS')
C     WRITE(6,3) (T(I),I=1,II)
45 CONTINUE
C     WRITE(6,23)
C     WRITE(7,3) (T(I),I=1,II)
C     WRITE(7,23)
23 FORMAT(2X,'RAINFALL INTENSITIES, MM/HR')
C     WRITE(6,3)(R(I),I=1,N)

```

```

C      WRITE(7,3)(R(I),I=1,N)
C      COMPUTE CUMULATIVE STEP PRECIP, CUMP
      DO 24 I=1,N
      IF(I.EQ.1)GO TO 25
      CUMP(I)=CUMP(I-1)+R(I)*(T(I)-T(I-1))
      GO TO 24
25     CUMP(I)=R(I)*T(I)
24     CONTINUE
C      WRITE(6,26)
C      WRITE(7,26)
26     FORMAT(2X,'STEPS OF CUMULATIVE PRECIP (MM)')
C      WRITE(6,3)(CUMP(I),I=1,N)
C      WRITE(7,3)(CUMP(I),I=1,N)
      IF(SUBPT3.EQ.0)GO TO 80
      READ(5,56)(QM(I),I=1,II)
56     FORMAT(10F8.0)
      WRITE(6,57)
      WRITE(7,57)
57     FORMAT(2X,'THE OBSERVED DISCHARGE VALUES IN M3/S',/)
C      IF(IDENT.EQ.0)GO TO 74
C      DO 75 I=1,II
C      75 QM(I)=QM(I)*0.001
74     CONTINUE
      WRITE(6,32)(QM(I),I=1,II)
      WRITE(7,32)(QM(I),I=1,II)
80     CONTINUE
      5 READ(5,73)NEXT
73     FORMAT(I1)
      SF=SF*FC
C      SCREEN CONTROL
C      READ '(A12)',NDFILE
      IF(SUBPT1.EQ.1)GO TO 30      !
      CALL CONST
      GO TO 66
30     CONTINUE
      CALL PONTI
C      READ '(A12)',NDFILE
      CALL PPINF
66     CONTINUE
      PRINT *,'**** END OF INFILTRATION PART OF MODEL ****'
      IF(SUBPT4.EQ.0)GO TO 6
      PRINT *,'**** BEGINING OF ROUTING PART OF MODEL ****'
      SRER=0.0
      DO 7 I=1,N
      7 SRER=SRER+RER(I)
      IF(SRER.LE.0.0)GO TO 6
12     CALL UH
C      SCREEN CONTROL
C      READ '(A12)',NDFILE
      CALL ROUTE
C      SCREEN CONTROL
C      READ '(A12)',NDFILE
      IF(IDENT.EQ.1)CALL GODFI
C      SCREEN CONTROL
      READ '(A12)',NDFILE
      write(*,'(A\)' )' NAME OF EVENT DATA:'
      read(*,'(A)')FNAME$
      open(unit=8,file=FNAME$)
C      write(8,'(2x,i3,3f8.3)')(i,r(i),rer(i),qa(i),i=1,ii)
      write(8,'(2x,i3,f8.3)')(i,qa(i),i=1,ii)
      DO 4 I=1,II
      4 QA(I)=0.0
      close(8)
      6 CONTINUE
      IF(NEXT.NE.0) GO TO 100
70     STOP
      END
      SUBROUTINE PONTI
      COMMON/A1/DELT,QU,N,P,TD,CN,II
      COMMON/A2/KT,TP,RP,WP,K
      COMMON/A4/T(250),R(250),RE(250),RER(250)
      COMMON/A6/SF,RETN
      DIMENSION PT(250)
      REAL KT
C
C      THIS SUBROUTINE CALCULATES PONDING TIME FOR A VARIABLE RAINFALL
C      INTENSITY EVENT

```

```

c      WRITE(6,33)
c      WRITE(7,33)
33  FORMAT(/2X,60(1H*),/)
      WRITE(6,27)
      WRITE(7,27)
27  FORMAT(/,2X,'OUTPUT OF SUBROUTINE PONTI',/)
      I=0
10  I=I+1
      IF(I.GT.N)GOTO 18
      IF(R(I).LE.KT)GOTO 10
      IF(I.EQ.1)GOTO 11
      II=I-1
      SUMP=0.
      DO 12 J=1,II
      IF(J.EQ.1)GOTO 14
      SUMP=SUMP+R(J)*(T(J)-T(J-1))
      GOTO 12
14  SUMP=SUMP+R(J)+T(J)
12  CONTINUE
      PT(I)=T(I-1)+(1./R(I))*((SF/((R(I)/KT)-1.))-SUMP)
C      TEST COMPUTED PONDING TIME AGAINST PREVIOUS TIME STEP
      IF(PT(I)-T(I-1))13,13,17
13  TP=T(I-1)
      RP=R(I)
      GOTO 23
C      TEST COMPUTED PONDING TIME AGAINST TIME STEP OF CONSIDERATION
17  IF(PT(I)-T(I))15,15,10
11  PT(I)=(1./R(I))*((SF/((R(I)/KT)-1.)))
      IF(PT(I).GT.T(I))GO TO 10
15  TP=PT(I)
      RP=R(I)
23  K=0
      WP=0.0
      DO 20 J=1,N
      IF(T(J).GT.TP)GO TO 20
      IF(J.EQ.1)GO TO 21
      WP=WP+R(J)*(T(J)-T(J-1))
      GO TO 22
21  WP=WP+R(J)*T(J)
22  K=K+1
20  CONTINUE
      IF(K.EQ.0)GO TO 25
      WP=WP+RP*(TP-T(K))
      GO TO 26
25  WP=RP*TP
26  WRITE(6,24)TP,RP,WP
      WRITE(7,24)TP,RP,WP
24  FORMAT(2X,'PONDING TIME=',F8.3,1X,'HR',5X,'PONDING RAINFALL=',
      *F8.3,2X,'MM/HR'/2X,'DEPTH OF RAIN INFILTRATED PREVIOUS TO PONDING=
      *',F8.3,1X,'MM')
      IF(K.GT.0)GO TO 28
      GO TO 16
28  WRITE(6,29)K,T(K)
      WRITE(7,29)K,T(K)
29  FORMAT(2X,'LAST FULL TIME STEP T(',I3,')=',F8.3,1X,'HR')
      GO TO 16
18  WRITE(6,19)
      WRITE(7,19)
19  FORMAT(2X,'PONDING NEVER OCCURS')
16  continue
      RETURN
      END
      SUBROUTINE CONST
      COMMON/A1/DELT,QU,N,P,TD,CN,II
      COMMON/A2/KT,TP,RP,WP,K
      COMMON/A4/T(250),R(250),RE(250),RER(250)
      COMMON/A6/SF,RETEN
      COMMON/A8/AREA,L,Y,NN,NF
      COMMON/A10/DELP(250),QA(250),TM(250),QM(250)
      DIMENSION W(250),DELW(250),IR(250)
      REAL KT,IR
C
C      THIS SUBROUTINE COMPUTES EXCESS RAINFALL BY INFILTRATION EQUATION
C      FOR A CONSTANT INTENSITY EVENT
C
c      WRITE(6,33)
c      WRITE(7,33)

```

```

33 FORMAT(/2X,60(1H*),/)
WRITE(6,21)
WRITE(7,21)
21 FORMAT(/,2X,'OUTPUT OF SUBROUTINE CONST, CONSTANT RAINFALL '/
*2X,'BY INFILTRATION APPROACH',)
CR=P/TD
SORP =SQRT(2.*KT*SF)
RSTAR=CR/KT
IF(RSTAR.LE.1.)GO TO 4
C COMPUTE MEIN AND LARSON PONDING TIME
TP=SF/(CR*(RSTAR-1.0))
Write(6,35)TP
Write(7,35)TP
35 format(2x,'PONDING TIME TP= ',2X,f8.3,2X,'HR')
IF(TP.GE.TD)GO TO 4
KK=0
DO 22 I=1,N
IF(T(I).GE.TP)GO TO 22
KK=KK+1
22 CONTINUE
M=KK+1
RATIO=RSTAR/(RSTAR-1.0)
WP=CR*TP
B=0.5*TP*(RATIO**3)
DO 20 I=M,N
W(I)=WP+SORP*RATIO*(SQRT(T(I)-TP+B)-SQRT(B))+KT*(T(I)-TP)
IF(I.EQ.M)GO TO 11
DELW(I)=W(I)-W(I-1)
IR(I)=DELW(I)/(T(I)-T(I-1))
GO TO 12
11 DELW(I)=W(I)-WP
IR(I)=DELW(I)/(T(I)-TP)
12 CONTINUE
IF(CR-IR(I))13,13,14
13 IR(I)=CR
RE(I)=0.0
IF(I.EQ.M)GO TO 15
DELW(I)=CR*(T(I)-T(I-1))
W(I)=W(I-1)+DELW(I)
GO TO 20
15 DELW(I)=CR*(T(I)-TP)
W(I)=W(I-1)+DELW(I)
GO TO 20
14 RE(I)=CR-IR(I)
20 CONTINUE
C SUBTRACT RETENTION
RET=RETEN
DO 27 I=M,N
IF(I.EQ.M)GO TO 23
PS=RE(I)*(T(I)-T(I-1))
IF(RET-PS)26,25,25
26 RER(I)=(PS-RET)/(T(I)-T(I-1))
RET=0.0
GO TO 27
23 PS=RE(I)*(T(I)-TP)
IF(RET-PS)24,25,25
24 RER(I)=(PS-RET)/(T(I)-TP)
RET=0.0
GO TO 27
25 RER(I)=0.0
RET=RET-PS
27 CONTINUE
5 IFLAG=0
DO 28 I=M,N
IF(RER(I).EQ.0.0.AND.IFLAG.EQ.0)GO TO 28
IFLAG=IFLAG+1
DELP(IFLAG)=RER(I)*DELT
TM(IFLAG)=T(I)
28 CONTINUE
NK=N+1 !
DO 36 I=1,NK
RE(I)=RE(I)*DELT
RER(I)=RER(I)*DELT
36 CONTINUE
NIN=INT(TD/DELT)+1
c DO 1 I=NIN,N
c R(I)=0.0

```

```

c      RE(I)=0.0
c      RER(I)=0.0
1  CONTINUE
C      READ  '(A12)',NDFILE
      NF=IFLAG
      WRITE(6,17)
      WRITE(7,17)
17  FORMAT(5X,'T(HR)',6X,'W(MM)',3X,'DELW(MM)',1X,'IR(MM/HR)',2X,'R(MM
* /HR)',5X,'RE(MM/HR)',2X,'RER(MM/HR)',/)
      WRITE(6,18)TP,WP,WP
      WRITE(7,18)TP,WP,WP
18  FORMAT(1X,3F10.3)
      DO 16 I=1,NK
      WRITE(6,19)T(I),W(I),DELW(I),IR(I),R(I),RE(I),RER(I)
      WRITE(7,19)T(I),W(I),DELW(I),IR(I),R(I),RE(I),RER(I)
19  FORMAT(1X,7F10.3)
16  CONTINUE
C      READ  '(A12)',NDFILE
C      CHECK MASS BALANCE
      WRITE(6,7)
      WRITE(7,7)
7  FORMAT(/,2X,'MASS BALANCE CHECK',)
      PECONS=P-W(N)
6  RET=RETEN-RET
      WRITE(6,10)PECONS,W(N),RET,P
      WRITE(7,10)PECONS,W(N),RET,P
10  FORMAT(2X,'EXCESS PRECIP=',F8.3,2X,'MM',/,2X,
* 'CUMULATIVE INFILTRATION=',F8.3,2X,'MM',/,
* 2X,'RETENTION=',F8.3,2X,'MM',/,
* 2X,'TOTAL PRECIP=',F8.3,2X,'MM'//)
      IF(NF.EQ.0)GO TO 4
      GO TO 2
4  WRITE(6,3)
      WRITE(7,3)
3  FORMAT(/,5X,'ALL RAINFALL INFILTRATES - NO RUNOFF IS PRODUCED',/)
C  SCREEN CONTROL
2  CONTINUE
C  READ  '(A12)',NDFILE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE TABLE
      COMMON/A1/DELT,QU,N,P,TD,CN,II
      COMMON/A2/KT,TP,RP,WP,K
      COMMON/A3/MO,DAY,YEAR,SFFC,S,SO
      COMMON/A11/SUBPT1,SUBPT2,SUBPT3,SUBPT4
      INTEGER DAY,YEAR
      REAL KT
      WRITE(6,33)
      WRITE(7,33)
33  FORMAT(/2X,60(1H*),/)
      WRITE(6,28)
      WRITE(7,28)
28  FORMAT(/,2X,'OUTPUT OF SUBROUTINE TABLE',/)
      IF(CN.LE.75.)GO TO 11
      KT=(100.-CN)/12.4
      GO TO 12
11  IF(CN.LE.36.)GO TO 13
      KT=31.394-0.391*CN
      GO TO 12
13  KT=47.066-0.823*CN
12  CONTINUE
      IF(CN.LE.65.)GOTO 14
      SORP=(100.-CN)/2.512
      GO TO 15
14  SORP=30.251-0.146*CN
15  CONTINUE
      SFFC=(SORP**2)/(2.*KT)
      WRITE(6,19)KT,SFFC
      WRITE(7,19)KT,SFFC
19  FORMAT(2X,'HYDRAULIC CONDUCTIVITY KT=',F10.3,2X,'MM/HR',/,2X,'STOR
* AGE SUCTION FACTOR AT FIELD CAPACITY SFFC=',F10.3,2X,'MM',/)
      WRITE(6,33)
      WRITE(7,33)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE PPFNF
      COMMON/A1/DELT,QU,N,P,TD,CN,II

```

```

COMMON/A2/KT,TP,RP,WP,K
COMMON/A3/MO,DAY,YEAR,SFFC,S,SO
COMMON/A4/T(250),R(250),RE(250),RER(250)
COMMON/A6/SF,RETEN
COMMON/A8/AREA,L,Y,NN,NF
COMMON/A10/DELP(250),QA(250),TM(250),QM(250)
DIMENSION W(250),DELW(250),IR(250)
INTEGER DAY,YEAR
REAL IR,KT

C
C THIS SUBROUTINE COMPUTES POST-PONDING INFILTRATION FOR A VARIABLE
C INTENSITY RAINFALL EVENT
WRITE(6,33)
WRITE(7,33)
33 FORMAT(/2X,60(1H*),/)
WRITE(6,21)
WRITE(7,21)
21 FORMAT(/2X,'OUTPUT OF SUBROUTINE PPFINF, VARIABLE RAINFALL'/
*2X,'INFILTRATION APPROACH'/)
RSORP=SQRT(2.*KT*((SF+WP)**2)/SF)
RSTARP=RP/KT
B=0.5*((SF+WP)**2)/(KT*SF*((RSTARP-1.))**2)
M=K+1
DO 10 I=M,N
W(I)=WP+RSORP*(SQRT(T(I)-TP+B)-SQRT(B))+KT*(T(I)-TP)
IF(I.EQ.M)GO TO 11
DELW(I)=W(I)-W(I-1)
IR(I)=DELW(I)/(T(I)-T(I-1))
GO TO 12
11 DELW(I)=W(I)-WP
IR(I)=DELW(I)/(T(I)-TP)
12 CONTINUE
IF(R(I)-IR(I))13,13,14
13 IR(I)=R(I)
RE(I)=0.0
IF(I.EQ.M)GO TO 15
DELW(I)=R(I)*(T(I)-T(I-1))
W(I)=W(I-1)+DELW(I)
GO TO 10
15 DELW(I)=R(I)*(T(I)-TP)
W(I)=W(I-1)+DELW(I)
GO TO 10
14 RE(I)=R(I)-IR(I)
10 CONTINUE
C SUBTRACT RETENTION
RET=RETEN
DO 27 I=M,N
IF(I.EQ.M)GO TO 23
PS=RE(I)*(T(I)-T(I-1))
IF(RET-PS)26,25,25
26 RER(I)=(PS-RET)/(T(I)-T(I-1))
RET=0.0
GO TO 27
23 PS=RE(I)*(T(I)-TP)
IF(RET-PS)24,25,25
24 RER(I)=(PS-RET)/(T(I)-TP)
RET=0.0
GO TO 27
25 RER(I)=0.0
RET=RET-PS
27 CONTINUE
IFLAG=0
DO 28 I=M,N
IF(RER(I).EQ.0.0.AND.IFLAG.EQ.0)GO TO 28
IFLAG=IFLAG+1
DELP(IFLAG)=RER(I)*DELT
TM(IFLAG)=T(I)
28 CONTINUE
C READ '(A12)',NDFILE
NF=IFLAG
WRITE(6,9)
WRITE(7,9)
9 FORMAT(5X,'T(HR) = TIME'//,15X,'W(MM) = CUMULATIVE INFILTRATION'//,
*15X,'DELW(MM) = INCREMENTAL INFILTRATION'//,
*15X,'IR(MM/HR) = INFILTRATION RATE'//,
*15X,'R(MM/HR) = RAINFALL RATE'//,
*15X,'RE(MM/HR) = RAINFALL RATE AFTER INFILTR. SUBTRACTED'//,

```

```

*15X,'RER(MM/HR) = NET RAINFALL AFTER RETENTION SUBTRACTED' /)
WRITE(6,17)
WRITE(7,17)
17 FORMAT(5X,'T(HR) ',6X,'W(MM) ',3X,'DELW(MM) ',1X,'IR(MM/HR) ', 'R(MM/
*HR) ',5X,'RE(MM/HR) ',2X,'RER(MM/HR) ', /)
WRITE(6,18)TP,WP,WP
WRITE(7,18)TP,WP,WP
18 FORMAT(1X,3F10.3)
DO 16 I=M,N
WRITE(6,19)T(I),W(I),DELW(I),IR(I),R(I),RE(I),RER(I)
WRITE(7,19)T(I),W(I),DELW(I),IR(I),R(I),RE(I),RER(I)
19 FORMAT(1X,7F10.3)
16 CONTINUE
C READ '(A12)',NDFILE
C CHECK MASS BALANCE
WRITE(6,7)
WRITE(7,7)
7 FORMAT(/,2X,'MASS BALANCE CHECK', /)
PE=0.0
IF(NF.EQ.0)GO TO 6
DO 8 I=1,NF
8 PE=PE+DELP(I)
6 RET=RETEN-RET
WRITE(6,20)PE,W(N),RET,P
WRITE(7,20)PE,W(N),RET,P
20 FORMAT(2X,'EXCESS PRECIP=' ,F8.3,2X,'MM' , / ,
*2X,'CUMULATIVE INFILTRATION=' ,F8.3,2X,'MM' , / ,
*2X,'RETENTION=' ,F8.3,2X,'MM' , / ,
*2X,'TOTAL PRECIP=' ,F8.3,2X,'MM' , /)
IF(NF.EQ.0)GO TO 5
GO TO 3
5 WRITE(6,4)
WRITE(7,4)
4 FORMAT(5X,'ALL RAINFALL INFILTRATES - NO RUNOFF IS PRODUCED', /)
C SCREEN CONTROL
3 CONTINUE
C READ '(A12)',NDFILE
RETURN
END
SUBROUTINE UH
COMMON/A1/DELT,QU,N,P,TD,CN,II
COMMON/A4/T(250),R(250),RE(250),RER(250)
COMMON/A8/AREA,L,Y,NN,NF
COMMON/A9/DELTA(250),CNM
COMMON/A10/DELP(250),QA(250),TM(250),QM(250)
COMMON/A12/TL
DIMENSION RATIOQ(20),RATIOQ(20),QQT(250)
REAL L
C
WRITE(6,33)
WRITE(7,33)
33 FORMAT(2X,60(1H*), /)
WRITE(6,20)
20 FORMAT(/,2X,'OUTPUT OF SUBROUTINE UH', /)
C
S=25.4*((1000./(CN-5.0))-10.)
TL=(( (3.28*L)**0.8)*((0.04*S)+1.0)**0.7)/(1900.0*(Y**0.5))
5 TTP=(DELT/2.)+TL
D=0.25*TTP
IF(DELT.LE.D)GO TO 9
WRITE(6,6)DELT,D
WRITE(7,6)DELT,D
6 FORMAT(2X,'THE TIME STEP OF',F5.2,1X,
*'HR IS GREATER THAN 0.25 TIME TO PEAK',/2X,' WHICH IS',F5.2,
*1X,'HR',2X,'SO THE RESULTING HYDROGRAPH MAY BE JAGGED', /)
9 CONTINUE
WRITE(6,24)TL,TTP
WRITE(7,24)TL,TTP
24 FORMAT(2X,'WATERSHED LAG TIME =' ,F8.3,'HR' , / ,2X,'TIME TO PEAK=' ,
*F8.3,'HR')
DO 10 I=1,20
IF(I.EQ.1)GO TO 11
RATIOQ(I)=RATIOQ(I-1)+0.05
GO TO 10
11 RATIOQ(I)=0.05
10 CONTINUE
RATIOQ(1)=.47

```



```

RATIOT(2)=.60
RATIOT(3)=.69
RATIOT(4)=.78
RATIOT(5)=.85
RATIOT(6)=.92
RATIOT(7)=.97
RATIOT(8)=1.02
RATIOT(9)=1.08
RATIOT(10)=1.16
RATIOT(11)=1.24
RATIOT(12)=1.32
RATIOT(13)=1.41
RATIOT(14)=1.51
RATIOT(15)=1.62
RATIOT(16)=1.75
RATIOT(17)=1.91
RATIOT(18)=2.15
RATIOT(19)=2.60
RATIOT(20)=5.00
NN=INT(5*TTP/DELT)
XNN=5*TTP/DELT
IF(XNN.GT.FLOAT(NN))NN=NN+1
IF(NN.LE.N)GO TO 27
NPLUS=N+1
DO 28 I=NPLUS,NN
28 T(I)=T(I-1)+DELT
27 CONTINUE
DO 12 I=1,NN
TTTP=T(I)/TTP
IF(TTTP.GE.5.)GO TO 15
IFLAG=1
DO 13 J=1,20
IF(TTTP.LE.RATIOT(J))GO TO 13
IFLAG=IFLAG+1
13 CONTINUE
IF(IFLAG.GT.1)GO TO 14
QQT(I)=(TTTP/RATIOT(1))*RATIOQ(1)
GO TO 12
14 QQT(I)=((TTTP-RATIOT(IFLAG-1))/(RATIOT(IFLAG)-RATIOT(IFLAG-1)))
QQT(I)=QQT(I)*(RATIOQ(IFLAG)-RATIOQ(IFLAG-1))
QQT(I)=QQT(I)+RATIOQ(IFLAG-1)
GO TO 12
15 QQT(I)=1.0
12 CONTINUE
DO 16 I=1,NN
IF(I.EQ.1)GO TO 25
DELTA(I)=(QQT(I)-QQT(I-1))
GO TO 16
25 DELTA(I)=QQT(I)
16 CONTINUE
SUMDEL=0.0
DO 21 I=1,NN
21 SUMDEL=SUMDEL+DELTA(I)
DO 23 I=1,NN
23 DELTA(I)=DELTA(I)/SUMDEL
WRITE(6,8)
WRITE(7,8)
8 FORMAT(/,10X,'UNIT HYDROGRAPH',/,3X,'TIME(HR)',10X,'DIMENSIONLESS
*ORDINATES'/)
DO 22 I=1,NN
WRITE(6,17)T(I),DELTA(I)
WRITE(7,17)T(I),DELTA(I)
17 FORMAT(1X,F10.3,17X,F10.3)
22 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE ROUTE
COMMON/A1/DELT,QU,N,P,TD,CN,II
COMMON/A2/KT,TP,RP,WP,K
COMMON/A4/T(250),R(250),RE(250),RER(250)
COMMON/A8/AREA,L,Y,NN,NF
COMMON/A9/DELTA(250),CNM
COMMON/A10/DELP(250),QA(250),TM(250),QM(250)
COMMON/A11/SUBPT1,SUBPT2,SUBPT3,SUBPT4
COMMON/A12/TL
DIMENSION DD(250)
MM=NN+NF-1

```

```

NPLUS=NF+1
IF(NPLUS.LE.1)NPLUS=2
IF(MM.LE.1)MM=3
DO 10 I=NPLUS,MM
TM(I)=TM(I-1)+DELT
10 DELP(I)=0.0
NPLUS=NN+1
IF(MM.LT.150)GOTO 25
MM=150
NPLUS=149
25 CONTINUE
DO 11 I=NPLUS,MM
11 DELTA(I)=0.0
WRITE(6,17)
WRITE(7,17)
17 FORMAT(/,1X,'FLOOD HYDROGRAPH COMPUTATION
*' /10X,' BY CN - INFIL MODEL ',/)
WRITE(6,20)
WRITE(7,20)
20 FORMAT(1X,65(1H*))
WRITE(6,21)
WRITE(7,21)
21 FORMAT(/,2X,'T(HR) = TIME AT THE END OF EACH STEP'/
*2X,'DD(MM/HR) = RATE OF RAINFALL EXCESS'/
*2X,'DELP(MM) = INCREMENTAL DEPTH OF EXCESS RAINFALL'/
*2X,'QA(M3/S) = DISCHARGES COMPUTED'/
*2X,'QM(M3/S) = DISCHARGES OBSERVED (IF SO)')///)
WRITE(6,40)
WRITE(7,40)
22 FORMAT(1X,F5.2,4X,F8.2,4X,F8.2,4X,F8.3,4X,F8.3)
23 FORMAT(1X,F5.2,4X,F8.2,4X,F8.2,4X,F8.3)
24 FORMAT(1X,60(1H-))
WRITE(6,24)
WRITE(7,24)
IF(SUBPT3.EQ.0)GO TO 29
IF(II.LT.MM)GO TO 29
DO 27 I=II,MM
27 QM(I)=QM(II)
29 CONTINUE
DO 14 I=1,MM
14 DD(I)=DELP(I)/DELT
C CONVOLUTION OPERATION
DO 13 I=1,MM
QA(I)=0.0
DO 13 J=1,I
QA(I)=QA(I)+DELP(J)*DELTA(I-J+1)
13 CONTINUE
C CONVERT FROM MM/HR TO M3/S
DO 30 I=1,MM
QA(I)=(AREA/3.6)*QA(I)/DELT
QA(I)=QA(I)*CNM
30 CONTINUE
IF(SUBPT3.EQ.0)GO TO 31
40 FORMAT(2X,'T(HR)',3X,'DD(MM/HR)',3X,'DELP(MM)',4X,'QA(M3/S)',4X,
*'QM(M3/S)')/ )
DO 2 I=1,MM
2 QM(I)=QM(I)-QM(1)
DO 9 I=1,MM
IJ=K+I
QM(I)=QM(IJ)
IF(QM(I).LE.0.0)QM(I)=0.0
WRITE(6,22)TM(I),DD(I),DELP(I),QA(I),QM(I)
WRITE(7,22)TM(I),DD(I),DELP(I),QA(I),QM(I)
9 CONTINUE
GO TO 42
31 CONTINUE
DO 8 I=1,MM
WRITE(6,23)TM(I),DD(I),DELP(I),QA(I)
WRITE(7,23)TM(I),DD(I),DELP(I),QA(I)
8 CONTINUE
42 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE GODFI
COMMON/A1/DELT,QU,N,P,TD,CN,II
COMMON/A4/T(250),R(250),RE(250),RER(250)
COMMON/A7/CUMP(250)

```

```

COMMON/A8/AREA,L,Y,NN,NF
COMMON/A10/DELP(250),QA(250),TM(250),QM(250)
COMMON/A13/CNAME(20)
INTEGER QU
REAL L
C
C      EVALUATION OF RESULTS
C
      II=N
      SQ2=0.
      SQM2=0.
      SUMC=0.
      SUMQ=0.
      SMQ=0.
      DO 1 I=1,N
1     SMQ=SMQ+QM(I)
      SMQ=SMQ/N
      DO 2 I=1,N
      SQ2=SQ2+(QM(I)-QA(I))**2
      SQM2=SQM2+(QM(I)-SMQ)**2
2     CONTINUE
      RI=(SQM2-SQ2)/SQM2
      PE=(SQRT(SQ2/N))/SMQ
      F1=0.
      F2=0.
      QMAX=0.
      QAMAX=0.
      DO 3 I=1,N
      F2=QA(I)-QM(I)
      F2=ABS(F2)*QM(I)
      F1=F1+F2
3     CONTINUE
      DO 4 I=1,N
      IF(QM(I).GT.QMAX)QMAX=QM(I)
      IF(QA(I).GT.QAMAX)QAMAX=QA(I)
      SUMQ=SUMQ+QM(I)
      SUMC=SUMC+QA(I)
4     CONTINUE
      DEV=(F1*200.0)/(FLOAT(N)*(QMAX*QMAX))
      PEAK=(QMAX-QAMAX)/QMAX
      PEAK=PEAK*100.
      TVOL=(SUMQ-SUMC)/SUMQ
      TVOL=TVOL*100.
C      PRINT EVALUATION OF RESULTS
      WRITE(6,20)
20     FORMAT(2X//)
      WRITE(6,21)
      WRITE(7,21)
21     FORMAT(2X,'THE GOODNES OF FITTING CRITERIA',/2X,32(1H-)/)
22     FORMAT(2X,'COEFFICIENT OF DETERMINATION RE=',F7.2/
*2X,'COEFFICIENT OF VARIATION PE=',F7.2/
*2X,'SCHULTZE HYDROL.DEVIATION DEV=',F7.2/
*2X,'PEAK ERROR PEAK(PERC)=',F7.2/
*2X,'TOTAL RUNOFF ERROR TVOL(PERC)=',F7.2//)
      WRITE(6,22)RI,PE,DEV,PEAK,TVOL
      WRITE(6,20)
      WRITE(7,22)RI,PE,DEV,PEAK,TVOL
      WRITE(7,20)
      RETURN
      END

```

KIN - data TŘEBSÍN

```

$DEBUG
$NOTRUNCATE
      PROGRAM CPLANEKS
C      PROGRAM PLANEK SERVES FOR DESIGN DISCHARGES COMPUTATION
C      IT IS A VERSION OF CPLANE WITH SUMMATION OF PARTIAL PLANES
C      AND SEGMENTS AS AN INPUT TO CSTREAM OR MUSK PROGRAMMES
C      NAME OF FILE: CPLANEKS.FOR
COMMON/A1/DELT,PP,N,P,TD,CN,II,IT,IL,IK,TTM,TDR
COMMON/A4/T(150),R(150),RE(150),RER(150),QAB(150)
COMMON/A5/SO(10),DLN(10),WI(10),WID(10),AK1(10),ALPHA(10),AM(10)
COMMON/A8/AREA,L,Y,NN,NF,TIM,DT
COMMON/A9/FRNM(10),FRIC(10),DX(10),PBAC(10),AR(10),AL(10),PR(10)
COMMON/A10/DELP(150),QA(150),TM(150),QM(150),TIND(150),QAA(150)

```

```

COMMON/A12/H(11,150),VE(11,150),TAU(11,150),VSTR(11,150)
COMMON/A13/CNAME(20)
COMMON/A14/NPL,QAW(20,150),qcw(20,150)
INTEGER PP,PPP,PM,FLAG,J,I,IT,IL,N,II,NPL,K
REAL HKIN,HBAC,HCEN,HFOR,RO,GA,DEL,TIME,QL,AK11,AM1,PBAC1,PR1
REAL PEFF,EFR,Q0
DIMENSION QC(150)
PARAMETER(PM=150)
PARAMETER(PPP=10)
C PARAMETER(PP=3)
C CHARACTER*12 NDFILE
C CHARACTER*30 START
C CHARACTER*8 FNAME$
C
C PURPOSE: TO SOLVE THE KINEMATIC WAVE EQUATION FOR OVERLAND FLOW
C ON A CASCADE OF PLANES UNDER RAINFALL, USING THE SECOND
C ORDER EXPLICIT FINITE-DIFFERENCE LAX-WENDROFF SCHEME.
C THE BACKWARDS FINITE DIFFERENCE SCHEME IS USED AT THE
C END OF EACH PLANE. THE VARIABLE WIDTHS OF PLANES CAN
C ALSO BE USED FOR A SEGMENT FLOW SIMULATION.
C
C
RO=1000.0
GA=9.81
K=0
OPEN(UNIT=5,FILE='TREB9.DTA',STATUS='OLD')
OPEN(UNIT=7,FILE='TREB9.OUT',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(UNIT=1,FILE='NDFILE',STATUS='UNKNOWN')
C INPUT OF DATA
C READ INITIAL DISCHARGE (for design discharges obviously Q0=0.0)
97 FORMAT(F10.4)
READ(5,97)Q0
C beginning of cycle data reading
100 PRINT *, 'GIVE THE NAME OF DATA FILE: '
C READ '(A12)',NDFILE
C READ IN DATA FILE
99 FORMAT(20A4)
READ(5,99)CNAME
98 FORMAT(2X,60(1H*))
C READ NUMBER OF GEOMETRIC ELEMENTS (PLANES, SEGMENTS) TO BE SUMMED
READ(5,105)NPL
C READ THE NUMBER OF PLANES IN A CASCADE, PP
READ(5,105)PP
C READ THE PLANE PARAMETERS:
C SLOPE SO(J), LENGTH DLN(J), WIDTH WID(J), OBSTACKLES AR(J),
C MANNING ROUGHNESS FRNM(J), FRICTION FRIC(J), FLOW TYPE AM(J).
101 FORMAT(7F10.4)
DO 2 J=1,PP
READ(5,101)SO(J),DLN(J),WID(J),AR(J),FRNM(J),FRIC(J),AM(J)
2 CONTINUE
102 FORMAT(2F10.2)
103 FORMAT(10F8.3)
READ(5,102)DELT,TTM
RCO=3600.
105 FORMAT(I3)
READ(5,105)N
READ(5,103)(RER(I),I=1,N)
TDLN=0.
SI=0.
DO 17 I=1,N
RER(I)=RER(I)/0.01665 ! 1 min
C RER(I)=RER(I)/0.08325 ! 5 min
C RER(I)=RER(I)/0.1665 ! 10 min
C RER(I)=RER(I)/0.5 ! 30 min
SI=SI+RER(I)
17 CONTINUE
SI=SI*(DELT/RCO)
DO 18 J=1,PP
18 TDLN=TDLN+DLN(J)
PAR=(TDLN/1000.)*(WID(1)/1000.)
C TRANSFER FROM MM/HR TO M/S
RER(1)=RER(1)/RCO/1000.0
T(1)=DELT
DO 3 I=2,N
RER(I)=RER(I)/RCO/1000.0
T(I)=T(I-1)+DELT
3 CONTINUE

```

```

112 FORMAT(I1)
    READ(5,112)NEXT
C
4 PRINT *, 'GIVE TIME INCREMENT (DT):      '
    READ *,DT
C PRINT *, 'GIVE TIME INTERVAL FOR WRITING INTERMEDIATE RESULTS:      '
C PRINT *, 'RECOMMENDATION:TIM SHOULD EQUAL PREFERABLY TO DELT, '
C PRINT *, 'BUT NOT NECESSARILLY'
C READ *,TIM
C
C INITIAL CONDITIONS
TIM=DELT
TIME=TIM
TTIM=30.0
IL=11
IK=0
DO 6 J=1,PP
FRNM(J)=FRNM(J)*1.0      !
AL(J)=ATAN(SO(J))
AK1(J)=SQRT(8.0*GA*SO(J)/FRIC(J))
ALPHA(J)=SQRT(SO(J))/FRNM(J)
DX(J)=DLN(J)/10.0
FRNM(J)=FRNM(J)/1.0      !
IF(AR(J).LE.1.0)THEN
WI(J)=1.0-AR(J)
ELSE
WI(J)=1.0*AR(J)
ENDIF
DO 5 I=1,IL
H(J,I)=0.0
5 CONTINUE
6 CONTINUE
IT=0
C WRITING INITIAL DATA
113 FORMAT(2X, 'NAME OF CATCHMENT: ', 2X, 20A4/2X, 60(1H*))
    WRITE(6,113)CNAME
    WRITE(7,113)CNAME
107 FORMAT(2X, 'OUTPUT OF SUBROUTINE CPLANE: '/2X, 28(1H*))
C WRITE(6,107)
C WRITE(7,107)
104 FORMAT(2X, 'SIMULATION OF OVERLAND FLOW IN THE CASCADE OF PLANES' /
*2X, '(EXPLICIT FINITE DIFFERENCE SCHEME OF LAX-WENDROFF): '/')
C
C PRINTING DETAILED SUBHEADINGS
106 FORMAT(2X, 'INTERIM RESULTS OF SIMULATION: '/2X, 30(1H-))
C WRITE(6,104)
C WRITE(7,104)
108 FORMAT(2X, 'NUMBER OF PLANES IN A CASCADE: ', 3X, I2)
109 FORMAT(2X, 'DESCRIPTION OF PLANES: '/2X, 22(1H-)/2X, 'SLOPES(-)', 5X,
* 'LENGTHS(M)', 5X, 'WIDTHS(M)', 5X, 'MAN.ROUGHNESS', 5X, 'M-FLOWTYPE')
110 FORMAT(4X, F6.3, 5X, F9.3, 6X, F9.3, 8X, F7.4, 10X, F7.4)
111 FORMAT(2X, 70(1H-))
C WRITE(6,108)PP
C WRITE(7,108)PP
    WRITE(6,109)
    WRITE(7,109)
    DO 16 J=1,PP
    WRITE(6,110)SO(J),DLN(J),WID(J),FRNM(J),AM(J)
    WRITE(7,110)SO(J),DLN(J),WID(J),FRNM(J),AM(J)
16 CONTINUE
    WRITE(6,111)
    WRITE(7,111)
C WRITE(6,106)
C WRITE(7,106)
C
C START OF SIMULATION
DO 1 TD=DT,TTM,DT
DO 7 I=1,N
    IF(TD.LE.T(1))THEN
        EFR=RER(1)
    ELSE IF(TD.GT.T(N))THEN
        EFR=0.0
    ELSE IF(TD.LE.T(I).AND.TD.GT.T(I-1))THEN
        EFR=RER(I)
        GO TO 7
    ENDF
7 CONTINUE

```

```

C     PREPARATION OF EFFECTIVE RAIN (PEFF) FOR EACH SLOPE
DO 8 J=1,PP
PEFF=EFR*WI(J)
DDT=TD-DT
IF(DDT.LT.0.001) PR(J)=PEFF
PBAC(J)=PR(J)
PR(J)=PEFF
8 CONTINUE
C     START OF SPACE SIMULATION FOR DIFFERENT SLOPES
DO 10 J=1,PP
C     RESET VALUES FOR THE NEXT TIME STEP
I=2
HBAC=H(J,I-1)
HCEN=H(J,I)
HFOR=H(J,I+1)
C     COMPUTATION PROCEDURE
DO 9 I=2,IL
FLAG=0
IF(I.EQ.IL)FLAG=1
DX1=DX(J)
AK11=AK1(J)
ALP=ALPHA(J)
AM1=AM(J)
PBAC1=PBAC(J)
PR1=PR(J)
H(J,I)=HKIN(HBAC,HCEN,HFOR,DT,DX1,ALP,AK11,AM1,PBAC1,PR1,FLAG)
IF(H(J,I).LT.0.0)THEN
H(J,I)=0.
IF(H(PP,IL).LE.0.)THEN
IT=INT(TD+0.01)
CALL WRTR
PRINT *, '----->COMPUTATIONAL BLOCK '
GOTO 20
ENDIF
CONTINUE
ENDIF
C     RESET VALUES FOR CALCULATION ON THE NEXT GRIDPOINT
IF(I.GT.1.AND.I.LT.IL-1)THEN
HBAC=HCEN
HCEN=HFOR
HFOR=H(J,I+2)
ENDIF
9 CONTINUE
C     TEST OF STABILITY
IF(H(J,IL).GT.0.)DEL=DX(J)/(AM(J)*ALPHA(J)*H(J,IL)**(AM(J)-1.0))
IF(DT.GT.DEL.AND.DEL.GT.0.0)THEN
PRINT *, 'STABILITY CONDITIONS ARE NOT FULFILLED AT T '
ENDIF
IF(J.NE.PP)THEN
QL=ALPHA(J)*H(J,IL)**AM(J)*WI(J)*WID(J)
H(J+1,1)=(QL/WI(J+1)/WID(J+1)/ALPHA(J+1))**(1.0/AM(J+1))
ENDIF
10 CONTINUE
C     TEST WHETHER TO WRITE INTERIM RESULTS
C
11 IT=INT(TD+0.01)
IF(ABS(IT-TIME).LT.0.01)THEN
IF(H(PP,IL).GT.2E-6)THEN
CALL WRTR
ENDIF
TIME=TIME+TIM
ENDIF
C     END OF THE TIME CYCLE
1 CONTINUE
WRITE(6,'(A)')' '
WRITE(7,'(A)')' '
13 FORMAT(2X,'THE OVERLAND FLOW HYDROGRAPH: '/
*      2X,'ORDIN.NO.',6X,'TIME(HOURS)',2X,'DISCHARGE Q (L/S)')
WRITE(6,13)
WRITE(7,13)
DO 15 JK=1,IK
QAB(JK)=QAA(JK)*1000.0
WRITE(6,14)JK,TIND(JK),QAB(JK)
WRITE(7,14)JK,TIND(JK),QAB(JK)
14 FORMAT(2X,I3,8X,F10.3,8X,F10.3)
15 CONTINUE
C     MASS BALANCE CHECK

```

```

DELE=DELT/3600.
SQ=0.
DO 19 I=1,IK
19 SQ=SQ+QAA(I)
SQ=SQ*DELE*3.6/PAR
114 FORMAT(2X,'THE MASS BALANCE CHECK: '/2X,25(1H-),/
*2X,'TOTAL INFLOW DEPTH: ',4X,F8.2,2X,'MM',/,
*2X,'TOTAL OUTFLOW DEPTH: ',3X,F8.2,2X,'MM',///// )
WRITE(6,114)SI,SQ
WRITE(7,114)SI,SQ
GOTO 120
C SUMMATION OF OUTFLOW DEPTH FROM ALL AREAS (PLANES +SEGMENTS)
K=K+1
DO 25 I=1,IK
IF(K.EQ.1)THEN
QAW(K,I)=QAA(I)
ELSE
QAW(K,I)=QAW(K-1,I)+QAA(I)
ENDIF
25 CONTINUE
IF(NEXT.NE.0) GO TO 100
WRITE(6,116)
WRITE(7,116)
WRITE(6,117)K,NPL
WRITE(7,117)K,NPL
DO 26 I=1,IK
QAW(K,I)=Q0+QAW(K,I)
WRITE(6,115)I,TIND(I),QAW(K,I)
WRITE(7,115)I,TIND(I),QAW(K,I)
QC(I)=QAW(K,I)
26 CONTINUE
c qaw(k,i) values are up to now summative, which means that
c qaw(npl,i) values are equal to total values qc(i).
c next procedure computes outflow qcw from partial ares k=1,npl.
do 27 k=1,npl
do 27 i=1,ik
if(k.eq.1)then
qcw(k,i)=qaw(1,i)
else
qcw(k,i)=qaw(k,i)-qaw(k-1,i)
endif
27 continue
116 FORMAT(2X,'SUM OF THE HYDROGRAPH ORDINATES FROM ALL PARTIAL AREAS'
*/2X,60(1H*))
115 FORMAT(2X,I3,6X,F10.3,6X,F10.3)
117 FORMAT(2X,'K= ',I3,5X,'NPL= ',I3)
20 CONTINUE
C SCREEN CONTROL
READ '(A12)',NDFILE
C Data for graphs preparation
write*,'(A\)' NAME OF EVENT DATA:'
read*,'(A)'fname$
open(unit=8,file=fname$)
write(8,'(2x,i3,2f8.3)')(i,tind(i),qaa(i),i=1,ik)
c output data for all planes
c READ '(A12)',NDFILE
c write*,'(A\)' NAME OF DETAILED EVENT DATA:'
c read*,'(A)'fname$
c Pozor na formatovani tabulky- max.pocet sloupcu =12(12f6.3)
c write(8,'(1x,6f10.3)')(qcw(k,i),k=1,npl),i=1,ik) !
120 CONTINUE
CLOSE (8)
PRINT *, '*****END OF CASCADE OF PLANES*****'
if(next.eq.1)goto 100
12 STOP
END
FUNCTION HKIN(HBAC,HCEN,HFOR,DT,DX1,ALP,AK11,AM1,PBAC1,PR1,FLAG)
INTEGER FLAG
REAL HN1,HN2,HN3,HN4,DT,DX1,ALP,AK11,AM1,PBAC1,PR1
IF(FLAG.EQ.0)THEN
HN1=DT/2.0/DX1*(ALP*HFOR**AM1-ALP*HBAC**AM1-2.0*DX1*PBAC1)
HN2=(DT/DX1)**2.0/2.0*(ALP*AM1*HFOR** (AM1-1.)+ALP*AM1*HCEN**
*(AM1-1.))*(ALP*HFOR**AM1-ALP*HCEN**AM1-DX1*PBAC1)
HN3=(DT/DX1)**2.0/2.0*(ALP*AM1*HCEN** (AM1-1.)+ALP*AM1*HBAC**
*(AM1-1.))*(ALP*HCEN**AM1-ALP*HBAC**AM1-DX1*PBAC1)
HN4=DT/2.0*(PR1-PBAC1)
HKIN=HCEN-HN1+HN2-HN3+HN4

```

```

ELSE IF(FLAG.EQ.1)THEN
HN1=DT/DX1*(ALP*HFOR**AM1-ALP*HCEN**AM1-DX1*PBAC1)
HN2=(DT/DX1)**2.0/2.0*(ALP*AM1*HFOR**(AM1-1.)+ALP*AM1*HCEN**
*(AM1-1.))*(ALP*HFOR**AM1-ALP*HCEN**AM1-DX1*PBAC1)
HN3=(DT/DX1)**2.0/2.0*(ALP*AM1*HCEN**(AM1-1.)+ALP*AM1*HBAC**
*(AM1-1.))*(ALP*HCEN**AM1-ALP*HBAC**AM1-DX1*PBAC1)
HN4=DT/2.0*(PR1-PBAC1)
HKIN=HFOR-HN1+HN2-HN3+HN4
ENDIF
AK11=ALP
RETURN
END
SUBROUTINE WRTR
COMMON/A1/DELT,PP,N,P,TD,CN,II,IT,IL,IK,TTM,TDR
COMMON/A4/T(150),R(150),RE(150),RER(150),QAB(150)
COMMON/A5/SO(10),DLN(10),WI(10),WID(10),AK1(10),ALPHA(10),AM(10)
COMMON/A8/AREA,L,Y,NN,NF,TIM,DT
COMMON/A9/FRNM(10),FRIC(10),DX(10),PBAC(10),AR(10),AL(10),PR(10)
COMMON/A10/DELP(150),QA(150),TM(150),QM(150),TIND(150),QAA(150)
COMMON/A12/H(11,150),VE(11,150),TAU(11,150),VSTR(11,150)
INTEGER J,I,IL,IT,PM,PP
REAL X1,TK1,TK2,TK3,TK4
PARAMETER(PM=150)
C PARAMETER(PP=3)
C CHARACTER*12 NDFILE
C
C WRITING RESULTS
C
C LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TK
TK1=0.0076
TK2=0.038
TK3=0.19
TK4=1.67
IT=IT/60
32 FORMAT(2X,'LIMITS FOR CRITICAL SHEAR STRESS TAUcr(Pa): '/
*2X,60(1H-))
WRITE(6,32)
WRITE(7,32)
33 FORMAT(2X,F7.4,3X,F7.4,3X,F7.4,3X,F7.4/)
WRITE(6,33)TK1,TK2,TK3,TK4
WRITE(7,33)TK1,TK2,TK3,TK4
DO 21 J=1,PP
DO 22 I=1,IL
VE(J,I)=ALPHA(J)*H(J,I)**(AM(J)-1.)
TAU(J,I)=9810.0*SO(J)*H(J,I)
X1=9.81*SO(J)*H(J,I)
VSTR(J,I)=SQRT(X1)
22 CONTINUE
QA(J)=ALPHA(J)*H(J,IL)**AM(J)*WI(J)*WID(J)
C PRINT INTERIM RESULTS
C DISCHARGE AT L IN L/S
23 FORMAT(2X,'J=' ,I2,' T= ' ,I5,/
*2X,' H(J,I): ' ,6F8.4,/
*2X,' VE(J,I): ' ,6F8.4)
34 FORMAT(2X,' TAU(J,I): ' ,6F8.4/
*2X,'VSTR(J,I): ' ,6F8.4/2X,60(1H-))
WRITE(6,'(2X,A,I2,3X,A,I4)') 'PLANE ',J, 'AT TIME ',IT
WRITE(7,'(2X,A,I2,3X,A,I4)') 'PLANE ',J, 'AT TIME ',IT
WRITE(6,23)J,IT,(H(J,I),I=1,11,2),(VE(J,I),I=1,11,2)
WRITE(7,23)J,IT,(H(J,I),I=1,11,2),(VE(J,I),I=1,11,2)
WRITE(6,34)(TAU(J,I),I=1,11,2),(VSTR(J,I),I=1,11,2)
WRITE(7,34)(TAU(J,I),I=1,11,2),(VSTR(J,I),I=1,11,2)
21 CONTINUE
C WRITE(6,'(I5,10F6.3)')IT,(QA(J),J=1,PP)
C WRITE(7,'(A)')' '
C WRITE(7,'(I5,10F6.3)')IT,(QA(J),J=1,PP)
C WRITE(6,27)
C WRITE(7,27)
27 FORMAT(2X,60(1H-))
C WRITE(6,'(A)')' '
C WRITE(7,'(A)')' '
29 SIT=0.0
DO 30 J=1,PP
IF(J.EQ.PP) THEN
JK=INT(J/PP)
IK=IK+JK
QAA(IK)=QA(J)

```



```
SIT=SIT+IT
TIND(IK)=SIT/60.0
WRITE(6,24)IK,IT,TIND(IK),QAA(IK)
WRITE(7,24)IK,IT,TIND(IK),QAA(IK)
24 FORMAT(3X,I4,9X,I4,6X,F7.2,7X,F7.3)
ENDIF
30 CONTINUE
WRITE(6,27)
WRITE(7,27)
31 RETURN
END
```




PŘÍLOHA D:

MANUÁL METODY ČÍSEL ODTOKOVÝCH KŘIVEK – CN UPRAVENÁ METODIKA 2015 TAČR TA02020402 Základní postup práce v prostředí GIS

PROF. ING. P. KOVÁŘ, DRSC.

PROF. ING. M. JANEČEK, DRSC.

ING. M. HRABALÍKOVÁ

ING. H. BAČINOVÁ

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA ČESKÉ
ZEMĚDĚLSKÉ UNIVERZITĚ V PRAZE**

září 2015

Obsah

1. Metoda čísel odtokových křivek (CN)	1
1.1 Popis metody.....	1
1.2 Objem přímého odtoku.....	2
1.3 Čísla odtokových křivek.....	2
2. Vyhodnocení CN z vektorových dat v prostředí GIS	10
2.1 Podklady, zdroj dat	10
2.2 Základní postup práce v GIS	10
3. Nové úpravy (2015)	11
3.1 Využití analýzy citlivosti	11
3.2 Využití flexibilní variability hodnot CN	13
3.3 Zpětné určení CN	14
3.4 Změny retence a odtoku při změnách využití pozemků.....	16
3.5 Vztahy CN a půdních hydraulických parametrů	18
4. Literatura	20

1. Metoda čísel odtokových křivek (CN)

Metoda čísel odtokových křivek (CN – Curve Number) byla odvozena v USA pro potřeby Služby na ochranu půdy (SCS – Soil Conservation Service) a představuje jednoduchý srážko-odtokový model se snadno zjistitelnými vstupy a použitelný pro stanovení objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm o zvolené pravděpodobnosti výskytu v zemědělsky využívaných povodích, či jejich částech do 10 km².

Přednosti metody CN-křivek 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, a 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 (odtokové ztráty) na nepozorovaných povodích.

V projekční praxi může být metoda CN-křivek použita v navrhování a posuzování technických protierozních opatření, jako jsou dráhy soustředěného povrchového odtoku, zatravněné údolnice, průlehy, záchytné příkopy, zasakovací pásy a malé vodní nádrže, ale pouze v souladu s ČSN 75 1300 "Hydrologické údaje povrchových vod". Metodu nelze použít pro výpočet odtoku z tání sněhu.

1.1 Popis metody

Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a odtok hypodermický. Podíly tohoto typu odtoku na celkovém odtoku se stanovují pomocí tzv. čísel odtokových křivek - CN. K hypodermickému odtoku, podílejícímu se na přímém odtoku, dochází tehdy, když do půdy infiltrovaná voda stéká po mělce uložené, málo propustné vrstvě a vyvěrá opět na povrch, bez kontaktu s nasycenou zónou podzemní vody. Je tomu tak na rozdíl od základního odtoku, na jehož tvorbě se podílí voda, která infiltruje až k hladině podzemní vody, plní její zásoby a vtéká do koryt toků. Tento základní odtok se objevuje zřídka natolik brzo po přívalovém dešti, aby měl vliv na velikost povodňové vlny z přívalu. CN je tedy současně i svým způsobem transformovaným součinitelem odtoku a ukazatelem pravděpodobnosti typu odtoku.

Čím větší CN, tím je pravděpodobnější, že se přímý odtok týká povrchového odtoku. Hodnota CN se pohybuje v rozsahu (0-100) pro dané povodí. Hodnota blízká 100 je u téměř nepropustných povodí. Běžné hodnoty se pohybují v rozmezí 55 – 85, někdy i výše.

Odtok je především určen množstvím srážek, infiltrací vody do půdy, vlhkostí půdy, porostem, nepropustnými plochami a retencí povrchu. Základním vstupem metody CN - křivek je srážkový úhrn o určitém časovém rozdělení, za předpokladu jeho stejnoměrného rozdělení po ploše povodí. Objem srážek je přeměněn na objem odtoku pomocí čísel odtokových křivek- CN. Jejich hodnoty jsou závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové akumulaci.

Metodika vznikla pro použití na zemědělsky využívaných povodích, ale lze ji použít s určitými omezeními i na nezemědělskou půdu.

1.2 Objem přímého odtoku

Metoda *CN* -křivek vychází z předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadrženo. Odtok zpravidla začíná až po určité akumulaci srážek, tedy po určité počáteční ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové akumulace. Tato počáteční ztráta byla stanovena na základě experimentálních měření na 20 % potenciální retence ($I_a = 0,2S$). K odhadu návrhového objemu přímého odtoku pro místa na území ČR lze využít *N*-leté jednodenní srážkové úhrny (Šamaj et al., 1983). Z uvedených souvislostí byl odvozen základní vztah:

$$Q = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S) \quad \text{pro } P \geq 0,2S \quad (1)$$

kde: Q je přímý odtok (mm)

P úhrn návrhového deště (mm)

S potenciální retence (mm), vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek (*CN*)

$0,2S = I_a$ počáteční ztráta vyjádřená v úbytku potenciální retence

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2)$$

Objem přímého odtoku O (m³) je dán vztahem

$$O = 1000 \cdot A \cdot Q \quad (3)$$

kde: A je plocha povodí (km²)

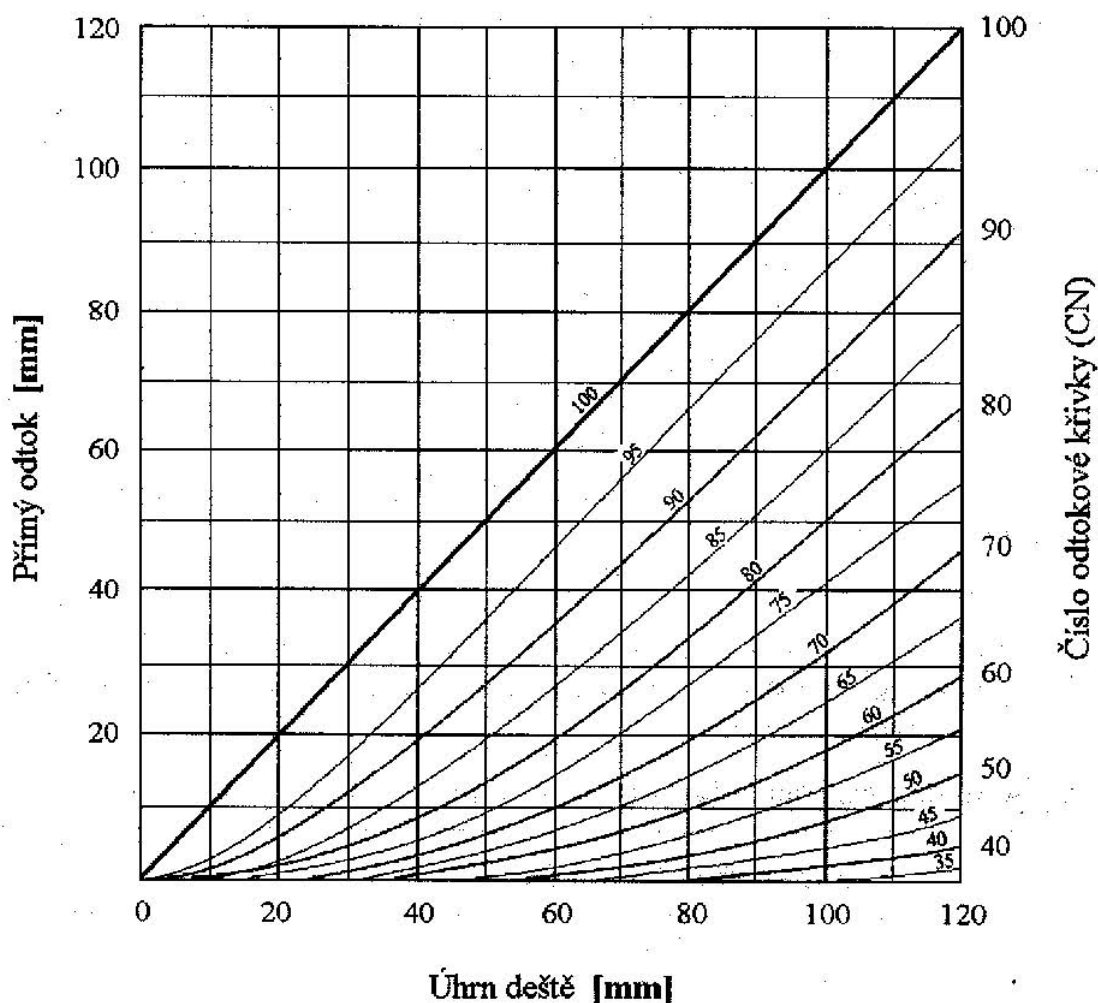
1.3 Čísla odtokových křivek

Čísla odtokových křivek (*CN*) jsou určena podle:

a) hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin - A, B, C, D, na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení (Tab. 1). Pro přibližnou orientaci při zařazování půd do hydrologických skupin je možné použít Tab. 2.

b) vlhkosti půdy určované na základě 5-ti denního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) ve 3 stupních, kdy IPS I odpovídá takovému minimálnímu obsahu vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání, při IPS III je půda přesycena vodou z předcházejících dešťů. Pro návrhové účely se uvažuje IPS II (Obr. 1, Obr. 2) pro střední nasycení půdy vodou.

c) využití půdy, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření (Tab. 3), (Mašát et al., 2002).



Obr. 1: Závislost výšky přímého odtoku (H_o) na úhrnu deště (H_s) a číslech odtokových křivek (CN)

Tab. 1: Hydrologické skupiny půd

Hydrologická skupina	Charakteristika hydrologických vlastností půd
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ($> 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrné odvodněné písiky nebo šterky
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,06 - 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ($0,02 - 0,06 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ($< 0,02 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.

Tab. 2: Hydrologické skupiny zemědělských půd podle BPEJ, resp. HPj

HPJ (2. a 3. číslo kódu BPEJ)	Hydrologická skupina	půdní	HPJ (2. a 3. číslo kódu BPEJ)	Hydrologická skupina	půdní
1	B		40	B	
2	B		41	B	
3	C		42	B	
4	A		43	B	
5	A		44	C	
6	C		45	C	
7	D		46	C	
8	B		47	C	
9	B		48	C	
10	B		49	D	
11	B		50	C	
12	B		51	C	
13	B		52	C	
14	B		53	D	
15	B		54	D	
16	B		55	A	
17	A		56	B	
18	B		57	C	
19	B		58	C	
20	D		59	D	
21	A		60	B	
22	B		61	D	
23	C		62	C	
24	B		63	D	
25	B		64	C	
26	B		65	C	
27	B		66	D	
28	B		67	D	
29	B		68	D	
30	B		69	D	
31	A		70	D	
32	A		71	D	
33	B		72	D	
34	B		73	D	
35	B		74	D	
36	B		75	C	

37	B	76	D
38	B	77	C
39	C	78	C
40	B		

Tab. 3: Průměrná čísla odtokových křivek – CN pro IPS

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek – CN podle hydrologických skupin půd			
			A	B	C	D
Úhor, čerstvě zkyplený	Pz	Šp	77	86	91	94
		Dp	76	85	90	93
			74	83	88	90
Širokořádkové plodiny (okopaniny)	Př	Šp	72	81	88	91
	Př	Db	67	78	85	89
	Př + Pz	Šp	71	80	87	90
	Př + Pz	Db	64	75	82	85
	Vř	Šp	70	79	84	88
	Vř	Db	65	75	82	86
	Vř + Pz	Šp	69	78	83	87
	Vř + Pz	Db	64	74	81	85
	Vř + Pr	Sp	66	74	80	82
	Vř + Pr	Db	62	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	65	73	79	81
	Vř + Pr + Pz	Db	61	70	77	80
Úzkořádkové plodiny (obilniny)	Př	Šp	65	76	84	88
	Př	Db	63	75	83	87
	Př + Pz	Šp	64	75	83	86
	Př + Pz	Db	60	72	80	84
	Vř	Šp	63	74	82	85
	Vř	Db	61	73	81	84
	Vř + Pz	Šp	62	73	81	84
	Vř + Pz	Db	60	72	80	83
	Vř + Pr	Sp	61	72	79	82
	Vř + Pr	Db	59	70	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	60	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Db	58	69	77	80
Víceleté píce, luštěniny	Př	Šp	66	77	85	89
	Př	Db	58	72	81	85
	Vř	Šp	64	75	83	85

	Vř	Db	55	69	78	83
	Vř + Pz	Šp	63	73	80	83
	Vř + Pz	Db	51	67	76	80
Pastviny s pokryvem	< 50 %	-	68	79	86	89
	50 - 75 %	-	49	69	79	84
	> 75 %	-	39	61	74	80
Louky	Sklizené	-	30	58	71	78
Křoviny s pokryvem	< 50 %	-	48	67	77	83
	50 - 75 %	-	35	56	70	77
	> 75 %	-	30	48	65	73
Sady se zatravněným meziřadím		Šp	57	73	82	86
		Stř.	43	65	76	82
		Db	32	58	72	79
Lesy		Šp	45	66	77	83
		Stř	36	60	73	79
		Db	30	55	70	77
Zemědělské dvory		-	59	74	82	86
Komunikace s přikopy		dlážděné, živičné,	83	89	92	93
		makadamové, šterkové,	76	85	89	91
		nezpevněné, hliněné	72	82	87	89
Nepropustné plochy			98	98	98	98

Poznámka:

Pz posklizňové zbytky nejméně na 5 % povrchu po celý rok.

Př přímé řádky vedené bez ohledu na sklon pozemku, tedy i po spádnicí.

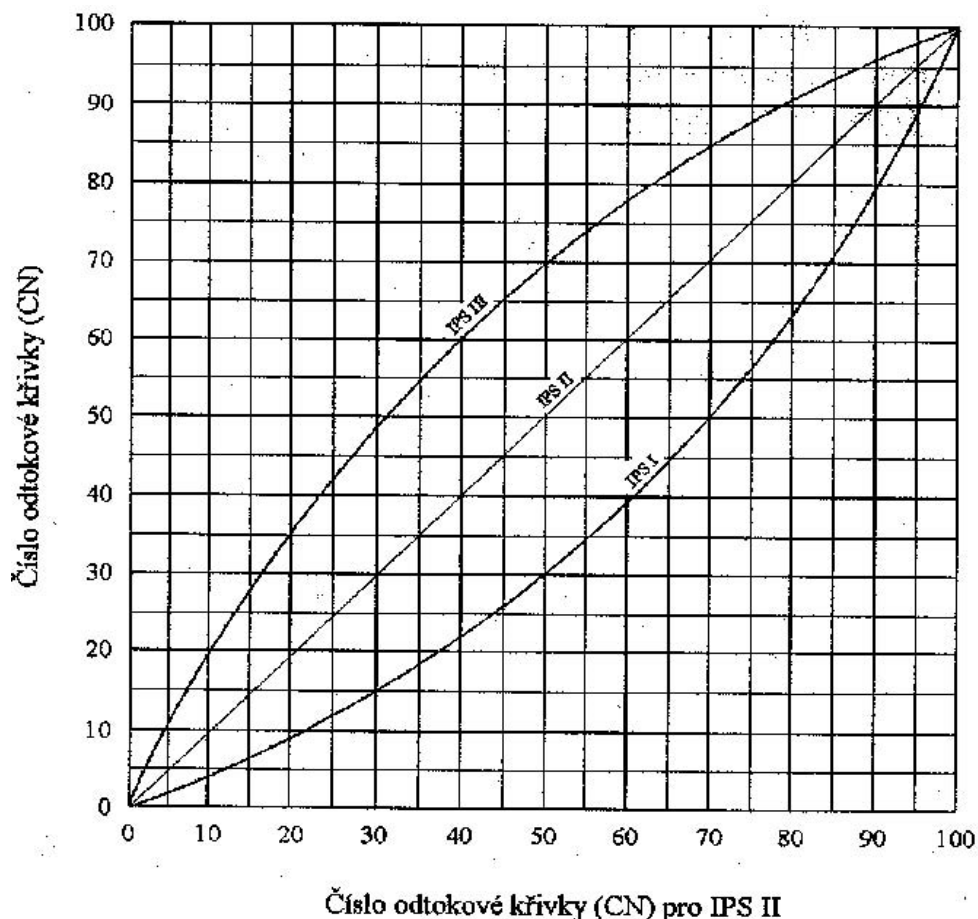
Vř vrstevnicové řádky vedené přesně ve směru vrstevnic – konturově, při sklonu pozemku menším než 2 % je obdělávání napříč svahu v přímých řádcích rovnocenně vrstevnicověm.

Pr pásově pěstované plodiny a příčně situované průlehy na pozemku.

Db dobré hydrologické podmínky zvyšující infiltraci a snižující odtok, kdy je více než 20 % povrchu pokryto zbytky rostlin, tj. více než 850 kg.ha⁻¹ u širokořádkových plodin nebo 350 kg.ha⁻¹ u úzkořádkových plodin.

Stř střední hydrologické podmínky.

Šp špatné hydrologické podmínky omezující infiltraci vody do půdy a zvyšující odtok, s menším množstvím posklizňových zbytků než při *Db*.



Obr. 2: Vliv obsahu vody v půdě (IPS I – suchá, IPS II – střední, IPS III – nasycená) na změnu čísla odtokové křivky (CN)

Dobré nebo špatné hydrologické podmínky na zemědělské půdě závisí především na hustotě zapojení porostu během roku, procentuálním zastoupení jetelotrav v osevním postupu, množství posklizňových zbytků na povrchu půdy (> 20 % Db) a na drsnosti povrchu. V lesích špatné hydrologické podmínky znamenají, že lesní hrabanka, stromy a keře jsou nedostatečně zastoupeny nebo poškozeny; dobré podmínky znamenají, že hrabanka nebo bylinné patro dobře kryje půdu.

Průměrná čísla křivek odtoku – CN (Tab. 3) odpovídají průměrným hospodářským podmínkám během vegetačního období. Sezónní změny CN lze vyjadřovat tak, že pro období orání a setí (sázení) CN odpovídá úhoru. Mezi výsevem (výsadbou) a před vrcholovým růstem odpovídají CN průměrům. V období vrcholového růstu, zpravidla před sklizní, je $CN = 2 CN_{\emptyset} - CN_{\text{úhor}}$. Po sklizni závisí CN na zakrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky. Pokud je 2/3 povrchu půdy bez pokryvu, pak CN odpovídá úhoru, pokud je 1/3 bez pokryvu, odpovídá průměrnému CN.

Hydrologické podmínky lesních porostů jsou závislé především na hustotě pokryvu, vegetace, hrabanky apod. Nerozložené listí, jehličí, větévky, kůra a jiné zbytky vegetace na lesní půdě tvoří hrabanku, ze které vzniká vrstva nadložního humusu. Nadložní humus se podle metody CN – křivek hodnotí podle Tab. 4. Při dobrém obhospodařování je nadložní humus pórovitý a má velkou vsakovací a akumulaci schopnost. Pro určení hydrologických podmínek lesa je zpravidla nutné pomocí sond zjistit skupinu půdy,

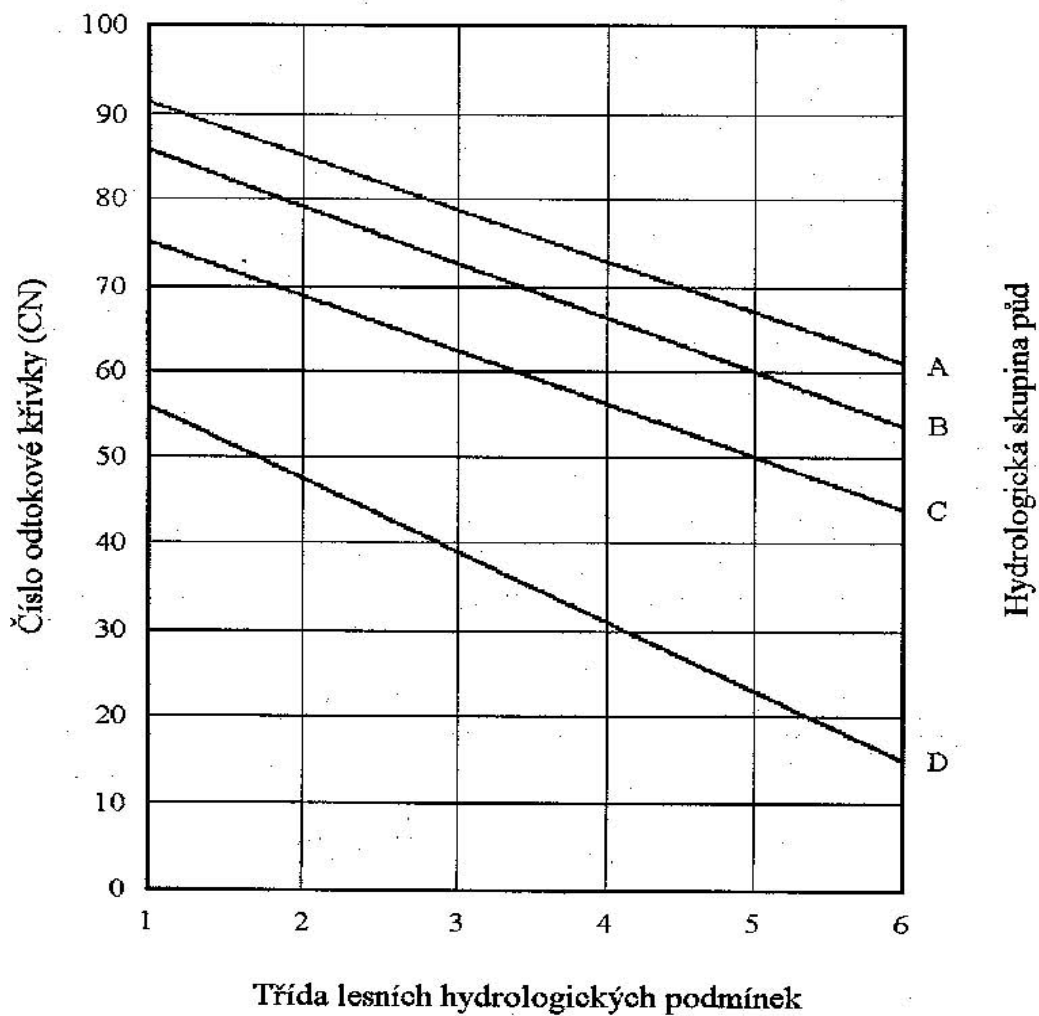
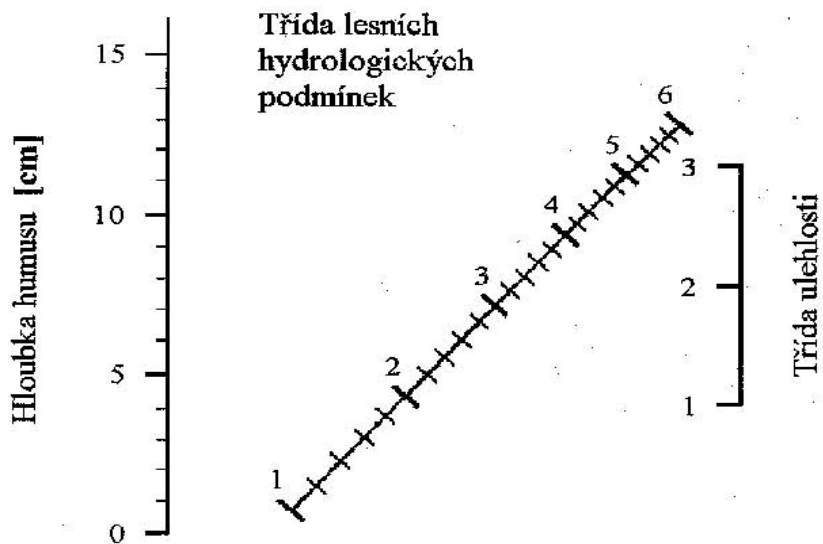
hloubku hrabanky, typ a hloubku humusu a z Obr. 3 odečíst příslušné číslo křivky *CN*. Je-li vrstva hrabanky menší než 1 cm, pak se nadložní humus považuje za nechránící a třída hydrologických podmínek se redukuje koeficientem 0,5. Při kombinovaném využití území (plochy propustné, nepropustné) se hodnota odtokové křivky stanoví jako vážený průměr z čísel odtokových křivek jednotlivých ploch.

Tab. 4: Hodnocení nadložního humusu podle metody CN – křivek

Humus	Třída ulehlosti
zcela slehlý	1
málo slehlý	2
kyprý a sypký	3

U nás se nejvíce zabýval metodou *CN* M. Janeček, který sledoval vývoj této U. S metody a poskytoval postupně komentáře a poskytoval postupně komentáře a diskuzní odbornou literaturu a zahrnoval tyto postupy do článků a metodik protierozní ochrany půdy (Janeček 1982 – 2007).

Originální literaturu poskytuje USDA NWR (dříve SCS), Federální Ministerstvo zemědělství USA (SCS NEH, 1985; SCS NEH, 1997).



Obr. 3: Nomogramy pro určení čísla odtokové křivky (CN) v závislosti na skupině půd a lesních hydrologických podmínkách

2. Vyhodnocení CN z vektorových dat v prostředí GIS

Ke stanovení CN se na zemědělské části povodí využijí digitální vrstvy BPEJ, LPIS a na lesní části povodí OPRL a SLT, na základě kterých se stanoví plošné zastoupení jednotlivých druhů pozemků. Nebo (pokud je k dispozici) se využije přímo vrstva hospodářské využití půd. Další postup práce s podklady je závislý, zda jsou data ve vektorové podobě nebo rastrové, popř. v jaké podobě chceme mít výslednou vrstvu.

K práci se může využít různých programů, např. IDRISI, ArcGIS, Janitor.

2.1 Podklady, zdroj dat

Za poplatek:

ZABAGED – polohopis, po vymezení orné půdy a TTP na základě LPIS (půdních bloků) lze bez větších problémů využít jako Land Use, možnosti většího výběru formátu, poskytuje ČÚZK

BPEJ – bonitované půdně ekologické jednotky, poskytuje VÚMOP v.v.i.

Volně stažitelné podklady:

LPIS – půdní bloky, formát: *.shp

VÚV T.G.M. – informace o vodních tocích; formát: *.shp

LHP, na základě domluvy s příslušnou institucí

WMS server:

<http://wms.cuzk.cz/wms-new.asp> - Katastrální mapa digitalizovaná;

http://geoportal2.uhul.cz/wms_oprl?SERVICE=WMS – Oblastní plány rozvoje lesů;

http://ms.vumop.cz/wms_vumop/wms_zchbpej.asp - Půdní typy;

<http://wms.geology.cz/wmsconnector/com.esri.wms.Esrimap> - Geologická mapa ČR 1:50000;

http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/<nazev_sluzby>/mapserver/WMSServer - dostupné jsou tyto služby: ortofoto, podkladové mapy, Corine (land use).

Dalším možným zdrojem informací o zájmové lokalitě mohou být letecké a satelitní snímky, z nichž se na základě jejich analýzy vytvoří vrstva hospodářského využití (Land Use). Cena se odvíjí podle různých kritérií.

2.2 Základní postup práce v GIS

a) Hydrologická skupina půd

Hydrologická skupina půd se doplní v atributové tabulce digitální vrstvy BPEJ podle Tab. 2 pro zemědělskou půdu. Pro lesní půdu se využije lesotypologického značení a geologických map, kde podle metodiky Vymezování a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek (2002) se odhadne HPJ a další postup je stejný jako u vrstvy BPEJ. K další práci je vhodné sloučit vrstvu BPEJ a vrstvu získanou na základě lesotypologických jednotek.

Další možností pro vytvoření vrstvy hydrologické skupiny půd je použití pedologických podkladů, resp. Pedologická mapa a databáze s půdními vlastnostmi půd, kde na základě infiltrace si atributy pomocí SQL dotazů roztřídíme do 4 skupin dle Tab. 1.

Pro práci v rastrové prezentaci využijeme reklasifikaci rastru a jednotlivým skupinám pixelům přiřazujeme číselné hodnoty. Princip je stejný jako u vektorové prezentace, která je popsána výše.

b) CN

Průnikem hodnot z vrstev využití půd (Land Use) a hydrologické skupiny půd získáme vrstvu do níž na základě Tab. 3 doplníme hodnoty CN. Pro lesní plochy stanovíme hodnoty CN na základě Obr. 3.

3. Nové úpravy (2015)

3.1 Využití analýzy citlivosti

$$\frac{dCN}{CN} = \frac{0,00193 CN \left(\frac{1000}{CN} - 10\right)}{0,4036 + 0,00596 CN} \cdot (2,234 - 0,033 CN) \quad (4)$$

Následující hodnoty dCN/CN byly získány tabelací funkce (4) pro dekadní hodnoty CN – Tab. 5.

Tab. 5: Hodnoty CN a dCN/CN

CN	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
dCN/CN	2,05	1,7	1,43	1,2	1	0,83	0,66	0,5	0,35	0,18	0

Je tedy možno soudit, že chyba vzniklá skokovou změnou vlhkostní kategorie půdy u hodnot CN není významná, z tabulky je zřejmé, že max. chyba pro CN = 0 je 2,05 a nulová pro CN = 100. Rovnice má 2 parametry S a I_a a aby se odstranila nutnost nezávislého odhadu počáteční ztráty, byl navržen lineární vztah mezi S a I_a jako:

$$I_a = \lambda S \quad (5)$$

Geografické a jiné odlišnosti mohou vyžadovat, aby podíl počáteční retence λ byl upraven

$$0,0 \leq \lambda \leq 0,3 \text{ pak}$$

$$Q = \frac{[CN(P + 10\lambda) - 1000\lambda]^2}{CN\{CN[P - 10(1 - \lambda)] + 1000(1 - \lambda)\}} \quad (6)$$

kde λ je podíl počáteční ztráty zjišťovaný na základě experimentálních měření na velmi malých povodích, kde se zjistilo, že 50 % hodnot λ leží v rozsahu 0,1 až 0,4, což vedlo SCS k přijetí standardní hodnoty $\lambda = 0,2$ a rovnice přešla do tvaru kdy $I_a = 0,2S$.

$$\frac{(P - 0,2)^2}{S + P - 0,2S} = Q \quad (7)$$

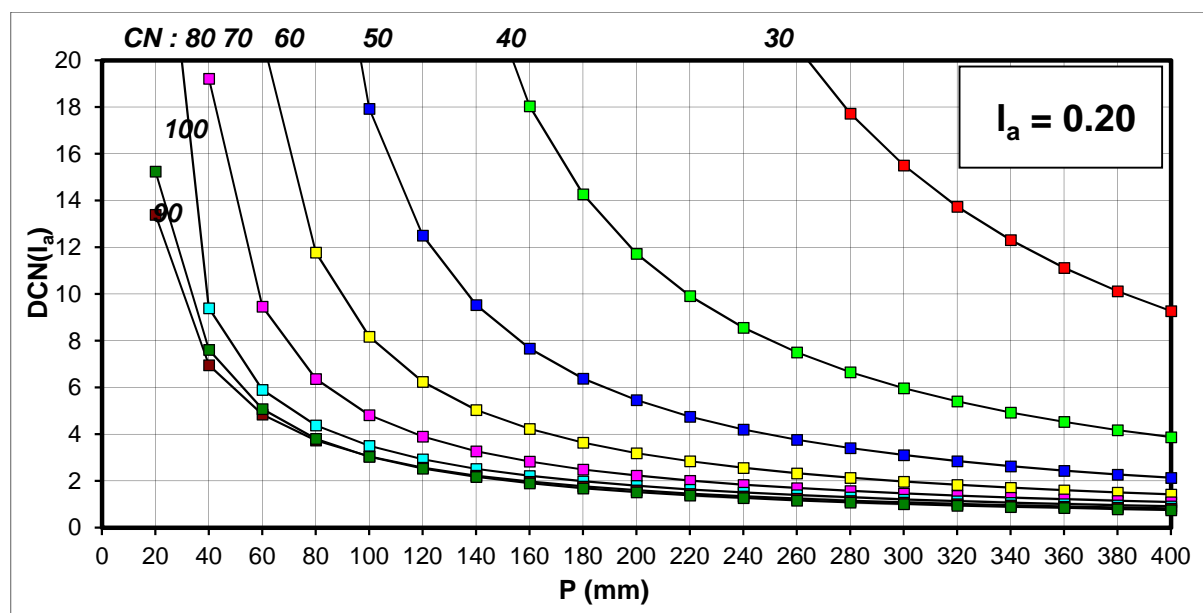
$$\frac{(P - 0,2)^2}{P + 0,8S} = Q \quad \text{pro } P \geq 0,2S \quad (8)$$

Pro obecný případ, kdy $\lambda > 0$, jsme provedli analýzu citlivosti λ na změnu potenciální retence S , výšku deště P a přímého odtoku Q (Kovář, 1994) pomocí odtokového součinitele

$C = Q/P$ jako vyjádření jeho změny:

$$dC = \frac{\partial C}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial C}{\partial P} dP + \frac{\partial C}{\partial CN} dCN \quad (9)$$

Z těchto analýz pro hodnoty $\lambda = 0,2$, $\lambda = 0,25$ a $\lambda = 0,3$ vyplynulo, že vliv λ na C je reciproční, čím větší λ , tím menší C . Ze vztahů dále vyplývá, že čím větší jsou hodnoty CN a P , tím větší jsou hodnoty odtokového součinitele C , které však postupně přestávají být na další (vyšší) změny citlivé. To ilustrativně dokumentují grafy na Obr. 4.



Obr. 4: Analýza citlivosti odtokového součinitele (C) na číse odtokové křivky (CN) při různých způsobech využití povodí.

Z praktických důvodů se S uvádí jako bezrozměrný parametr CN v rozsahu $100 \geq S \geq 0$:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (10)$$

a z toho

$$CN = \frac{1000}{S + 10} \quad (11)$$

$CN = 100$ představuje podmínku nulového potenciálu retence ($S = 0$), t.j. nepropustné povodí. Obráceně $CN = 0$ představuje teoretickou horní hranici potenciální retence ($S = \infty$), tzn. nekonečně propustného povodí.

Základním principem metody CN je asymptotické chování aktuální retence k potenciální retenci pro dostatečně velké hodnoty potenciálního odtoku. Toto chování vhodně simuluje saturační způsob povrchového odtoku.

3.2 Využití flexibilní variability hodnot CN

Metoda CN křivek sice používá zpravidla středních hodnot s předpokladem, že umožňují určitou variabilitu. Počáteční vývoj této metody totiž potvrdil, že tato variabilita je skutečně reálná a že totéž povodí může mít i více než jednu CN. Mezi pravděpodobné zdroje této variability podle (Ponce & Hawkins, 1996) patří:

- a) účinek plošné variability přívalových dešťů a vlastností povodí,
- b) účinek časové variability přívalových dešťů, tj. jejich intenzit,
- c) kvalita zjištěných údajů, resp. vztahů $P - Q$,
- d) účinek předchozích srážek a s nimi spojených půdních vlhkostí.

Poslední zdroj (d) byl velmi brzo rozpoznán jako primární a také lehce ovladatelný zdroj variability a tak vznikl koncept předchozích vlhkostních podmínek.

Čísla odtokových křivek v původní příručce (SCS National Engineering Handbook, 1985) byla odvozena z měřených údajů srážek a odtoků, kde byly známy hydrologické skupiny půd, třídy obhospodařování pozemků a vlastnosti povrchů. Při vývoji metody byly použity denní údaje o srážce a odtoku, korespondující se sériemi ročních povodní (Rallison & Cronshey, 1979). Údaje byly vymezeny v grafu jako úsečky pro srážky P a souřadnice pro přímý odtok Q . Číslo křivky CN odpovídající křivce oddělující polovinu vnesených údajů od druhé poloviny je považováno za medián CN pro danou lokalitu.

Hodnoty CN uvedené v NEH - 4 představují průměr hodnot mediánů CN pro dané podmínky půdy, pokryvu a povrchu. Průměrná podmínka byla vzata jako medián průměrné reakce, která byla extrapolována pro vyjádření průměrné podmínky půdní vlhkosti (Miller & Cronshey, 1989). Přirozený rozptyl bodů kolem mediánu CN byl interpretován jako míra přirozené variability půdní vlhkosti a s tím spojeného vztahu mezi srážkou a odtokem. CN ležící uprostřed rozložení je mediánové číslo křivky, odpovídající AMC_I , tedy průměrnému potenciálu odtoku. Horním mezím CN odpovídající AMC_{III} , tedy nasycené s vysokým potenciálem odtoku, nízkým mezím CN odpovídající AMC_{II} (suché) s nízkým potenciálem odtoku. Korelace mezi suchým a nasyceným potenciálem retence a průměrným potenciálem retence odpovídá:

$$CN_I = CN_{II} / (2,334 - 0,011334 CN_{II}) \quad (12a)$$

$$CN_{III} = CN_{II} / (0,4036 + 0,005964 CN_{II}) \quad (12b)$$

pro rozsah $55 \leq CN \leq 95$

Obsah vody v půdě působí jako náhrada za všechny ostatní zdroje variability, kromě těch, které mohou být přisouzeny vlastnostem půdy, způsobu využívání pozemků a podmínkám povrchu. Nespojitost těchto tří vlhkostních kategorií a tím i skoková změna hodnot CN pro tyto kategorie AMC je evidentním nedostatkem metody. Provedli jsme tedy další analýzu (Kovář, 1994) za účelem zjištění velikosti možných chyb v hodnotách CN při náhlém přechodu mezi kategoriemi AMC_I , až AMC_{III} .

Považujeme-li CN_{II} za „střední“ hodnoty CN, potom největší možná chyba v určení CN, dCN/CN bude:

$$\frac{dCN}{CN} = \frac{CN_{III} - CN_I}{CN_{II}} \quad (13)$$

Po dosazení rovnice (12) do rovnice (13) po úpravě dostaneme, jestliže $CN_{II} = CN: 100$.

3.3 Zpětné určení CN

Od zavedení této metody byla snaha určit čísla odtokových křivek (CN) z údajů o srážkách a odtocích z malých povodí za účelem ověření hodnot CN nebo získání těchto hodnot CN pro podmínky zatím neurčené. Postup výpočtu uvádí (Hawkins, 1973; Hawkins, 1979a; Hawkins, 1979b).

$$S = 5 \left[P + 2Q - \sqrt{(AQ^2 + 5PQ)} \right] \quad (14)$$

kdy

$$CN = \frac{1000}{S + 10} \quad (15)$$

Při znalosti konkrétního srážkového úhrnu příčinného přivalového deště (P) a jemu odpovídajícího odtoku (Q) lze tedy usuzovat na velikost čísla CN . Právě z tohoto vztahu také vyplývá jednoznačná souvislost, resp. závislost CN na P . Pokud tuto závislost vyjádříme mezní hodnotou nulového odtoku ($Q = 0$) přejde uvedený vztah do tvaru:

$$CN_0 = \frac{100}{1 + 0,02 P} \quad (16)$$

pak tedy názorně platí (Tab. 6).

Tab. 6: Hodnoty přivalového deště a klesající hodnoty CN_0

je-li P (mm)	0	1	5	10	20	50	100	200
pak CN_0	100	98	91	83	71	50	33	20

Vzrůstajícímu P odpovídá klesající CN a naopak, čím menší P , tím větší je CN . Body vyjadřující závislost CN na P leží nad CN_0 (což je číslo odtokové křivky pro P při němž nedochází k odtoku) v konstantním poměru „ k “, rozdílu mezi $CN = 100$ a CN_0 , takže platí, že:

$$CN_p = CN_0 + k(100 - CN_0) \quad (17)$$

z toho

$$k = \frac{CN_p - CN_0}{100 - CN_0} \quad (18)$$

S touto proměnlivostí hodnot CN pro stejnou charakteristiku povodí, ale při různých úhrnech příčinných srážek je nutné počítat. Tato závislost hodnot čísel odtokových křivek na velikosti příčinných srážek (P) je dle (Hawkins, 1973; Hawkins, 1979a; Rallison, 1980; Hjelmfelt & Burnwell, 1982) způsobena existencí nepropustných ploch v povodí. Poměr velikosti nepropustné plochy (f) k celkové ploše povodí (F) vyjadřuje faktor C (odtokový součinitel) a pak:

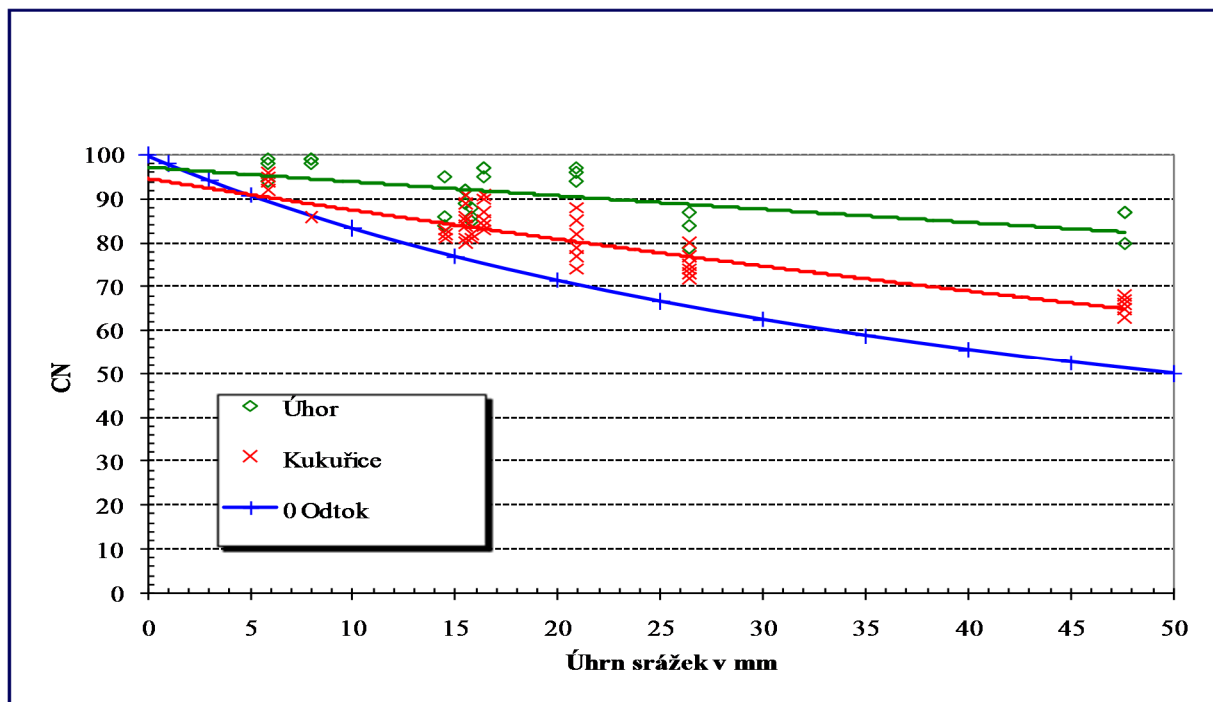
$$Q = C \cdot P \quad \text{při } C = \frac{f}{F} \quad (19)$$

CN je pak možné po dosazení do vztahu vypočítat pro jakékoliv P :

$$CN = \frac{100}{1 + 0,02P (1 + 2C - \sqrt{4C^2 + 5C})} \quad (20)$$

Podle tohoto postupu s využitím poměru C vycházejí hodnoty CN při vyšších P poněkud nižší, než-li při použití parametru „ k “.

K praktickému ověření platnosti uvedených vztahů jsme využili výsledků přesných měření povrchových odtoků a ztrát půdy erozí na pokusných svažitých parcelkách s agrotechnicky variantním pěstováním kukuřice a úhoru za podmínek přirozených a simulovaných přívalových dešťů. Výsledky (viz Obr. 5) zřetelně vyjadřují závislost velikosti čísel odtokových křivek na úhrnu srážek při odlišení variant kukuřice od úhoru a teoretické čáry odpovídající nulovému odtoku.



Obr. 5: Vliv srážkového úhrnu přívalového deště (P mm) na číslo odtokové křivky CN

Z uvedených důvodů je zřejmé, že hodnoty čísel odtokových křivek v NEH – 4 (1997), odpovídají určitým srážkovým úhrnům, které odtok způsobily a pro jiné srážkové úhrny jsou hodnoty čísel odtokových křivek jiné. Při nízkých srážkových úhrnech navíc nemůže docházet k žádoucí diferenciaci čísel CN podle způsobu využívání, neboť prostor je vymezován CN pro $Q = 0$.

Objemy odtoků získané metodou CN křivek se tedy přibližují realitě pro vysoké srážkové úhrny, tedy s nižší periodicitou, resp. pravděpodobností výskytu (1x za 50, 100 a více let). Pro srážkové úhrny nižší, s vyšší četností výskytu, je dle našeho názoru tato metoda méně vhodná, což již vyplývá ze základního předpokladu, resp. podmínky použitelnosti metody, že $P \geq 0,2A$. Čím více se srážkový úhrn blíží hodnotě $0,2 S$, tím více je výsledek ve srovnání s realitou zkreslenější. Z uvedeného pak rezultuje závěr, že při určování CN ze změřených srážko-odtokových údajů při nízkých úhrnech nutně dostáváme vyšší čísla CN . Tento fakt podporuje argumentaci, že použití metody CN křivek je proto vhodné směřovat pouze na určování návrhových objemů a odtoků

z malých povodí způsobovaných přívalovými dešti s periodicitou výskytu minimálně 1x za 50, lépe 100 let.

Někteří uživatelé metody *CN* přehlédli skutečnost, že její použití je omezeno pouze pro příčinný déšť o konstantní intenzitě v celém průběhu trvání. Jestliže by se jeho intenzita měnila, lineárně by se měnila i rychlost infiltrace, což neodpovídá fyzikální podstatě jevu.

Pro simulaci přímého odtoku z variabilního deště je však možno využít hydrologické informace „zakódované“ v hodnotě *CN*, avšak s implementací jiných hydrologických modelů, využívajících vztahů hodnot *CN* a hydraulických půdních parametrů (Kovář, 1992; Kovář, 1994; Kovář, 1997; Heřman et al., 2001; Kovář et al., 2004; Kovář & Kadlec, 2009).

Vzhledem k tomu, že metoda *CN* je používána v mnoha zemích světa, bylo nutné zavést i její vyjádření v jednotkách SI jako:

$$Q = \frac{R \left\{ CN \left[\left(\frac{P}{R} \right) + 2 \right] - 200 \right\}^2}{CN \left\{ CN \left[\left(\frac{P}{R} \right) - 8 \right] + 800 \right\}} \quad (21)$$

kde P (cm) je děleno $R=25,4$ (cm/in.) a výsledek je násoben R , což dává Q v cm.

Celkově lze konstatovat, že metoda čísel odtokových křivek - *CN* je pojmový model hydrologické abstrakce přívalového deště, podporovaný empirickými údaji pro stanovení objemu přímého odtoku s malou četností výskytu v podmínkách malých povodí, doznávající stále většího rozšíření a uplatnění. O tom, že použití Metody čísel odtokových křivek - *CN* k určování objemu odtoku a kulminačních průtoků pro malá povodí v USA je stále aktuální svědčí i v poslední době rozšiřovaný hydrologicko-hydraulický model, resp. program americké firmy „Applied Microcomputer Systems - HydroCAD vyvinutý „Službou ochrany půdy“ (US SCS), nyní „Službou ochrany přírodních zdrojů“ (US NRCS), založený právě na metodě čísel odtokových křivek - *CN*. Tento model nejen, že umožňuje simulaci významných srážko-odtokových situací v malém povodí, včetně generování výsledného hydrogramu, ale umožňuje i posuzovat průtočné kapacity odtokového systému v povodí a variantně předvídat velikosti povodňových událostí (blíže viz www.hydrocad.net).

3.4 Změny retence a odtoku při změnách využití pozemků

Metoda *CN* křivek je stále častěji využívána i pro posuzování vlivu změn využití pozemků na velikost přímého odtoku. Pro stanovení rozdílů mezi kategoriemi využívání pozemků jsou použity hodnoty *CN* podle zdroje NEH – 4 (1997), který je v souladu se zdrojem (Janeček a kol., 2005), viz Tab. 3. V této tabulce jsou rovněž uvedeny velikosti potenciální retence, odpovídající uvedeným *CN*. Rozbor je orientován na změny mezi kategoriemi využití pozemků Orná půda, Louky a pastviny, Přirozené louky a Les, uvedené v Tab. 7. To jsou změny, které se potenciálně mohou projevit na plochách, které v souhrnu tvoří rozhodující část území České republiky (Kašpárek & Peláková, 2014). V Tab. 8 jsou uvedeny změny retence v min a v % potenciální retence, která odpovídá využití pozemků před uvažovanou změnou.

Tab. 7: Hodnoty čísel odtokových křivek CN a jim odpovídající potenciální retence

Kategorie půd	A	B	C	D	A	B	C	D
Využití pozemků	CN				Potenciální retence (mm)			
Orná půda	64	73	83	87	143	94	52	38
Louky a pastviny	49	69	79	84	264	114	68	48
Přirozené louky	35	60	70	77	472	169	109	76
Les	30	55	70	77	593	208	109	76

Tab. 8: Poklesy CN a zvětšení potenciální retence při změnách využití pozemků

Kategorie půd	A	B	C	D	A	B	C	D
Změna využití pozemků	Poklesy CN				Zvětšení potenciální retence (mm) Zvětšení potenciální retence (%)			
Přirozené louky → Les	5	5	0	0	121	38,5	0	0
					25,6	22,7	0	0
Louky a pastviny → Les	19	14	9	7	328,3	93,7	41,3	27,5
					124	82,1	61,2	56,8
Orná půda → Les	34	18	13	10	449,8	113,9	56,8	37,9
					314	121	109	99,9
Orná půda → Přirozené louky	29	13	13	10	328,8	75,4	56,8	37,9
					230	80,2	109,2	99,9

Zvětšení retence vyjádřené v mm se od kategorie A, což jsou půdy s největší retenční kapacitou, zmenšuje až do kategorie D, která odpovídá půdám s nejmenší retenční kapacitou. Tento průběh je opodstatněný. Jestliže ale vegetace svou evapotranspirační úlohou není srovnatelná s infiltrací, ovlivňující potenciální retenci, pak by měly být geologické vlastnosti zásadním faktorem pro dynamiku podzemních vod, a to již vlastnosti vegetace neovlivňují. V tom je rozpor, takže se domníváme, že využití pozemků s působením vegetace má jen, marginální vliv, který formuloval Hatterman et al., 2012: „V podmínkách, kdy půda nepokrytá vegetačního krytu neměl být silnější než u půd málo propustných“.

Výpočty změn byly provedeny jen pro kategorie půd B a C, které pokrývají většinu území ČR. V levé části Tab. 8 jsou uvedeny rozdíly odtokových výšek v původním stavu využití pozemků a ve změněném stavu využití, vyjádřené v mm a v % hodnoty odtokové výšky za původního stavu pro srážky 50 a 100 mm. V pravé části tabulky jsou velikosti odtoku před změnou a po změně.

Tab. 8: Poklesy odtoku (v mm a v % půdní hodnoty) při změnách využití pozemků (včetně hodnot odtoku)

Kategorie půd	B	C	B	C	B	C	B	C
Změna využití pozemků	Poklesy odtoku (mm)		Poklesy odtoku (mm)		Původní odtok (mm)			
	Poklesy odtoku (%)		Poklesy odtoku (%)		Nový odtok (mm)			
Přírozené louky → Les	5,8	0	1,1	0	18,6	32,7	1,4	5,8
	31	0	78	0	12,8	32,7	0,3	5,8
Louky a pastviny → Les	18,4	15,9	4,9	6,9	31,2	48,6	5,2	12,7
	59	33	94	55	12,8	32,7	0,3	5,8
Orná půda → Les	24,8	24	7,5	11,3	37,6	56,7	7,8	17,1
	66	42	96	66	12,8	32,7	0,3	5,8
Orná půda → Přírozené louky	19	24	6,4	11,3	37,6	56,7	7,8	17,1
	51	42	82	66	18,6	32,7	1,4	5,8

Zmenšení odtokové výšky přímého odtoku nastává tím, že se více vody vsákne do půdy. Tím je nový přímý odtok nižší, než původní odtok.

3.5 Vztahy CN a půdních hydraulických parametrů

Nalezení vztahů mezi hodnotou CN a odpovídajícími hodnotami půdních hydraulických parametrů nasycené hydraulické vodivosti K_s a sorptivity S_o při polní vodní kapacitě PVK byl nesporně značným pokrokem v rozvoji metody CN v 90. letech (20. století) v USA i u nás. K tomu byl využíván ještě další koeficient, a to koeficient sacího tlaku S_f rovněž při PVK (SCS, 1972; Morel-Seytoux, 1981, 1982; Morel-Seytoux et al., 1982; Kovář, 1989; Kovář, 1990). Tyto vztahy byly řešeny položením ekvivalence mezi ztrátami deště, vyjádřenými metodou CN a infiltračními rovnicemi Morel-Seytoux (1981, 1982). Dosazením do rovnic, vyjadřující ztrátovou výšku deště $P - O$, dostáváme:

$$P - O = P - \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} = \frac{P(I_a + S) - I_a^2}{P - I_a + S} \quad (22)$$

Velikost infiltrace:

$$V = P - O - I_a \quad (23)$$

a její intenzita:

$$v_f = \frac{dV}{dt} = \frac{S^2 \cdot i}{(P - I_a + S)} \quad (24)$$

kde i je intenzita deště, ostatní symboly patří k rovnici (1), (2), (3), viz str. 2 této přílohy D. Dále byly Newtonovou interační metodou postupně vypočteny hodnoty ΔI_a pro jednotlivé srážko-odtokové případy a potom vypočteny pro tyto případy jednotlivé ΔS pro půdní druhy, charakterizované parametry K_s , S_0 , ($i S_f$), což umožnilo zjistit relace $CN = f(K_s, S_f)$. Tyto relace byly zjišťovány i v ČR pro řadu 42 případů pro každou ze 62 srážkoměrných stanic pro různé výšky, dobu trvání a intenzity příčinného deště i pro všechny druhy půd Novákovy klasifikace, která je kompatibilní s klasifikací US (Brakensiek & Rawls, 1981; Kovář, 1992). Celkem bylo tedy analyzováno 2604 případů a byly zjištěny vztahy mezi CN a hydraulickou vodivostí K_s (mm.h^{-1}) a sorptivitou S_0 ($\text{mm.h}^{-1/2}$). Chybějící hodnoty pro velmi propustné půdní druhy nebylo možno pro dané intenzity deště spočítat u důvodu nedostatečného stavu výtopy t_p .

Výsledné regresní vztahy:

HYDRAULICKÁ VODIVOST K_s (mm.h^{-1}):

$$K_s = \frac{100-CN}{12,4}, \text{ jestliže } CN \geq 75$$

$$K_s = 31,4 - (0,39 \cdot CN), \text{ jestliže } 74 > CN > 36$$

$$K_s = 47,1 - (0,82 \cdot CN), \text{ jestliže } CN < 35$$

SORPTIVITA S_0 ($\text{mm.h}^{-1/2}$) při PVK:

$$S_0 = \frac{100-CN}{2,5}, \text{ jestliže } CN \geq 65$$

$$S_0 = 30,25 - (0,15 \cdot CN), \text{ jestliže } CN < 64$$

Pro přepočítání na S_f (mm) je třeba použít vztah:

$$S_f = \frac{S_0^2}{2K_s} \tag{25}$$

Tento vztah byl použit při volbě biotechnických opatření na povodí Smědé jsme navrhovali varianty 1, 3 a 5 řad teras na subpovodích R5, R6 a L3, L4. Vzhledem k velké ploše povodí Smědé ani 4 subpovodí z 12 nebyla s 5 řadami dostatečné kapacitní, aby snížila průtoky o více než $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při stoletém průtoku o trvání návrhového deště 40 a 60 min. Obvykle tento typ technických opatření, jako jsou terasy a hrázky při jednořadové výstavbě sníží CN až o hodnotu 2 bodů.

4. Literatura

- Brakensiek D. L., Rawls W. J. (1981): An infiltration based on rainfall-runoff model for the SCS Type II distribution. Winter Meeting ASAE. Palmer House. Chicago, Illinois, USA.
- Hattermann F. et al. (2012): Flood risk from Holistic Perspective – Observed changes in Germany. In Kundzewitz, Z. W. ed. Changes in FloodRisk in Europe. IAHS Spetial Publication 10, IAHR Press, ISBN 978-1-907 161-28-5, 231-232.
- Hawkins R. H., (1973): Improved prediction of storm runoff from mountain waterheds. J. Irrig. and Drain. Div ASCE, 99, 4: 519 - 523.
- Hawkins R. H., (1979a): Runoff curve numbers from partial area waterheds. J. Irrig. and Drain, Div., ASCE, 105,4: 375 - 389.
- Hawkins R. H. (1979b): Inferring curve numbers from simulator data. Proc. of the Rainfall Simulator Workshop. Tuscon. Arizona. USDA, SEA, ARM-W-10/July, 65-78.
- Hjelmfelt A. T. Jr., K. A., Burnwell, R. E. (1982): Curve numbers as random variables. Proc., Int. Symposium on Rainfall-Runoff Modelling, Water Resources Publication, Littleton, Colorado, 365 – 373.
- Kašpárek L., Peláková M. (2014): Analýza citlivosti změn objemu přímého odtoku a infiltrace do půdy na změnách užívání pozemků. Vodní hospodářství, vol. č. 56, 8 – 12.
- Janeček M. (1982): Využití metody "čísel odtokových křivek" k určování přímého odtoku z malých zemědělských povodí. Vědecké práce VÚZZP, č. 1, 42 - 53.
- Janeček M. (1984): Odhad objemu přímého odtoku z malého zalesněného povodí "metodou čísel odtokových křivek". Sborník ze symposia: "Lesotechnické meliorácie v ČSSR". Brno - Zvolen - Ostrava, 156 -166.
- Janeček M. (1988): Überprüfung. der Methode der *CN*-kurven zur Schätzung und Projektierung der Volumina von Hochwasserückhaltebecken in kleinen Einzugsgebieten. In.: Internationales Symposion INTERPREVENT 1988, Graz, b. 5: 273-282.
- Janeček M. (1989): Verifikace metody *CN*-křivek podle vztahu *N*-letých maximálních denních srážkových úhrnů k *N*-letým průtokům. Vědecké práce VÚZZP, č. 6, 77- 88.
- Janeček M., Matula S. (1990): Výpočet přímého odtoku z přívalového deště metodou odtokových *CN* - křivek. Meliorace, 26, č. 1: 27 - 36.
- Janeček M. a kol. (1992): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodiky ÚVTIZ č. 5, 110 str.
- Janeček M. (1997): Hodnocení vlivu hydrologických vlastností půd a vegetačního pokryvu na povodňový odtok metodou *CN*-křivek. In: Sborník z konf. "Povodně a krajina 97". Brno: 48 - 53.
- Janeček M. (1998): Použití metody čísel odtokových křivek - *CN* k navrhování protierozních opatření. In: Sborník z konf. "Ochrana půdy před erozí". Dům techniky, s.r.o., Č. Budějovice: 1 - 49.
- Janeček M., Váška J. (2001): Hydrologické výpočty v protierozní ochraně. DOS T 4/06, ČKAIT Praha, ISBN 80-86364-40-2, 24 str.
- Janeček M. a kol. (2005): Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství Praha ISBN 85866-85-8: 254 str.
- Janeček M. a kol. (2007): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika, VÚMOP Praha, ISBN 978-80-254-0974-2.
- Janeček M., Kovář P. (2010): Aktuálnost „Metody čísel odtokových křivek - *CN*“ k určování přímého odtoku z malých povodí. Vodní hospodářství. Vol. 7, 8-11.

- Kovář P. (1994): Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. Doktorská disertační práce, SIC ČZU v Praze.
- Kovář P. (1992): Možnosti stanovení návrhových průtoků na malých povodích modelem KINFIL. Vodohospodářský časopis 40, 1992, č. 2, 197 – 220.
- Kovář P. (1994): Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. Doktorská disertační práce, SIC ČZU Prah.
- Kovář P. (1997): Modelling design discharges with support of GIS. Regionalization Hydrology, Mitteilungen, Technische Universität Braunschweig, Heft 126/1994, ISSN 0343-1223, 40 str.
- Heřman M., Zemek F., Cudlín P., Kovář P. (2001): Landscape Fragmentation for Flood Prevention: Approach Assessing Forested Landscape. Ekologia (Bratislava), vol. 20, Supplement 3/2001., 149 – 157.
- Kovář P. (1989): Aplikace adaptovaného modelu odtokových křivek pro oblast Jizerských hor. Celostátní konference Vodní toky, Most.
- Kovář P. (1990): Application of adapted curve number model on the Sputka catchment. Hydrology of Mountaineous Areas. IAHS Publication No. 190, Wallingford, U. K.
- Kovář P., Janeček M., Tippl M., Vetišková D. (2004): Analýza příčin a projevů povodní na malých povodích v České republice. Soil and Water, vědecký časopis VÚMOP Praha č. 3/2004, ISSN 1213-8673, 109 – 123.
- Kovář P., Kadlec V. (2009): Use rainfall-runoff model KINFIL on the Hukava catchment. Soil and Water Research 4,/2009 (1), ISSN 1801-5395, 1 - 9.
- Mašát K., Němeček J., Tomiška Z. 2002: Metodiky vymezování a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek, VÚMOP v.v.i., ISBN 80-238-9095-6.
- Miller N., Cronshey R. C. (1989): Runoff curve numbers the next step. Prac. Ing. Conf. on Channel Flow and Catchment Runoff. Univ. of Virginia Charlottesville, Va.
- Morel-Seytoux H. J. (1981): Application of infiltration theory for the soil determination of excess rainfall hyetograph. Wat. Res. Bull. AWRA, Vol. 17, No. 6.
- Morel-Seytoux H. J., Verdin J. P. (1981): Extension of the soil conservation service. Rainfall-runoff methodology for ungaged watersheds. Colorado.
- Morel-Seytoux H. J., Verdin J. P., Woo D. C. (1982): Methodology and evaluation of an extension of the SCS rainfall-runoff approach for urban watersheds. Colorado, Fort Collins.
- Ponce V. M., Hawkins R. H. (1996): Runoff Curve Number: Has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering, vol. 1, No 1., ASCE, 11 - 19.
- Rallison R. E., Cronshey R. C. (1979): Discussion to Runoff curve numbers with varying soil moisture. J. Irrig. and Drain. Div. Asce, 105 (4), 439 - 441.
- Rallison R. E. (1980): Origin and evolution of the SCS runoff equation. Proc., ASCE Irrig. and Drain, DIV. Symp. on Watershed Mgmt., ASCE, New York, N. 4., Vol. II, 912 - 924.
- Šamaj F., Brázdil R., Valovič J. (1983): Denné úhrny zrážok s mimoriadnou vydatnosťou v ČSSR v období 1901–1980. In: Sborník práce SHMÚ. ALFA, Bratislava, 19–112.
- Soil Conservation Service (1972): National engineering handbook, Section 4, Hydrology, Washington, D. C.
- SCS National Engineering Handbook (1985): Section 4: Hydrology. Soil Conservation Service, USDA, Washington, D. C.
- SCS NEH (1997): *National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. U. S. Soil Conservation Service, Washington, D.C., on-line zdroj (použito dne 11. 7. 2010): <http://policy.nrcs.usda.gov/ViewRollUp.aspx?hid=17092&sf=1>.



PŘÍLOHA E:

METODICKÝ POSTUP ANALÝZY SUCHA SOFTWARE MODELU, 2015 TAČR TA02020402 CERTIFIKOVANÁ METODIKA MODELU FOURIER

PROF. ING. P. KOVÁŘ, DRSC.

ING. Š. DVOŘÁKOVÁ, PH.D.

MGR. J. ZEMAN, PH.D.

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA ČESKÉ
ZEMĚDĚLSKÉ UNIVERZITĚ V PRAZE**

září 2015

Obsah

1. Popis Metodiky	3
2. Výsledky a diskuze	5
3. Literatura	12
4. Software (zdrojový program Fortran)	14

1. Popis Metodiky

Model Fourier byl původně odvozen pro účely srážko-odtokových procesů již v 70 letech minulého století, ale pro řešení opačného problému, tj. sucha, se začíná používat až nyní. Harmonické funkce vlastní vztahu srážka-odtok se v důsledku matematicky podobných vztahů evapotranspirace-odtok, neboli harmonické snižování odtoku územním výparem v cyklu den/noc se dají řešit analogicky. Proto lze navázat na anotaci v Metodice, která končí rovnicí (1), v principu použitelnou pro oba hydrologické procesy. Proto také použijeme systém číslování rovnic jako navazující. Rov. (2) navazuje na rov. (1) a v anotaci mají obě stejnou levou stranu, tj. explicitně definovaný výstup $yc(t)$.

Výraz v rov. (1): $x(i) \cdot u(n-1)$ v konečných mezích $(n-1)$ vyjadřuje konvoluční procedura, neboli sčítání násobků $x(i) \cdot u(n-1)$ jestliže $x(t)$ není rovno nule, potom vypočtené průtoky $yc(t)$ mohou být vyjádřené rov. (2), která je známá jako Fourierův rozvoj:

$$yc(t) = \Delta t \sum_{i=1}^n (x(i) \cdot u(n-i)) \quad (1)$$

$$yc(t) = g(t) = A_0 + \sum_{r=1}^{n-1} A_r \cdot \cos r \frac{2\pi t}{n} + B_r + B_r \sin \frac{2\pi t}{n} \quad (2)$$

Tato funkce je ortogonální (Hardy & Roginski, 1971; O'Donnell, 1960) a je známo, že platí v intervalu $0 \leq t \leq n$, tedy v každém časovém bodě t .

Touto výstupní funkcí $yc(t)$ je harmonická vlnová funkce transformovaná evapotranspirací s koeficienty A_r, B_r :

$$A_r = \frac{n}{2} (a_r \cdot \alpha_r - b_r \cdot \beta_r) \quad , \text{ avšak } A_0 = n \cdot a_0 \cdot \alpha_0$$

$$B_r = \frac{n}{2} (a_r \cdot \beta_r - b_r \cdot \alpha_r) \quad (3)$$

Vstupní funkcí je výtoková čára, tj. dolní část sestupné větve hydrogramu $x(t)$, buď již přímka, nebo plochá exponenciála (Boussinesq), aproximovaná Fourierovým rozvojem a_r, b_r , kde podobně jako v rov. (3) je r je index harmonických koeficientů, (r je počet těchto koeficientů). Kosinové a sinové funkce Fourierovy řady jsou navzájem ortogonální pro kteroukoliv dvojici, mimo $n = n/2$. Koeficienty a_r, b_r v rov. (4) jsou dány:

$$a_r = \frac{2}{n} \int_0^n g(t) \cdot \cos r \frac{2\pi t}{n} dt \quad , \text{ avšak: } a_0 = \frac{1}{n} \int_0^n g(t) dt$$

$$b_r = \frac{2}{n} \int_0^n g(t) \cdot \sin r \frac{2\pi t}{n} dt \quad (4)$$

Jestliže jsou dále časové funkce vstupu $x(t)$, výstupu $y(t)$ a transformační funkce $u(t)$ představovány Fourierovým rozvojem, a to nad stejnou časovou základnou n , použijeme-li součinitelů $[a, b]$ pro $x(t)$, $[A, B]$ pro $y(t)$ a $[\alpha, \beta]$ pro $u(t)$, dostaneme dosazením do konvolučního integrálu, což je vyjádření výstupu, potřebné algebraické součinitele.

Transformační proces byl opět lineární s použitím Fourierova rozvoje pro funkci $u(t)$ s koeficienty α_r, β_r . Řešíme-li pro tyto koeficienty:

$$a_r = \frac{2}{n} \cdot \frac{a_r \cdot A_r + b_r \cdot B_r}{a_r^2 + b_r^2}, \text{ avšak } \alpha_0 = \frac{1}{n} \cdot \frac{A_0}{a_0}$$

$$\beta_r = \frac{2}{n} \cdot \frac{a_r \cdot B_r - b_r \cdot A_r}{a_r^2 + b_r^2} \quad (5)$$

Tento transformační proces $x(t) \longrightarrow yc(t)$ je tedy opět založen na aproximaci Fourierovy řady s koeficienty $\alpha_0, \alpha_r, \beta_r$. Transformační funkcí $u(t)$ tedy je:

$$u(t) = \alpha_0 + \sum_{r=1}^{n-1} \left(\alpha_r \cdot \cos r \frac{2\pi t}{n} + \beta_r \cdot \sin r \frac{2\pi t}{n} \right) \quad (6)$$

Nyní, jestliže jsou všechny párové koeficienty vypočtené ($a, b; \alpha, \beta; A, B$) je žádoucí se vrátit k rovnici (1) a řešit ji s dosazením všech dříve vypočtených koeficientů:

$$g(t) = yc(t) = A_0 + \sum_{r=1}^{n-1} \left(A_r \cdot \cos r \frac{2\pi t}{n} + B_r \cdot \sin r \frac{2\pi t}{n} \right) \quad (7)$$

Řada $yc(t)$ je Fourierovým rozvojem $g(t)$ v interval $1 < t < n$ a reprezentuje každý časový krok Δt . Kosinové a sinové funkce $yc(t)$ jsou tedy navzájem k sobě ortogonální (kolmé) vyjadřují výsledné hodnoty.

Tento metodický postup vyžaduje dobré charakteristiky sucha, výrazné podmínky výparu i fyziologické podmínky transpirace. Malá povodí (do několika km²), kde rozdíly mezi průtoky v noci a ve dne mohou být výrazné, jsou také předpokladem získání kvalitních dat. Jedním z těchto povodí je nesporně Starosuchdolský potok. Z měření průtoků, datovaného od roku 2011, na tomto experimentálním povodí uvádíme Tab. 1, která poskytuje vybrané charakteristiky povodí. Pozemky jsou z 53 % užívány jako orná půda, 36 % zastavěná plocha a zbytek (11 %) lesní vegetace, zejména v nejnižších polohách povodí v okolí uzávěrového profilu povodí z obou stran toku. Z lesních druhů je nejvíce zastoupena olše (*Alnus glutinosa*), jasan (*Fraxinus excelsior*), dub (*Quercus robur*) a sporadicky habr (*Carpinus betulus*) vedle keřové a bylinné vegetace.

Starosuchdolský potok pramení v severní části starého Suchdola, části Prahy 6, v nadmořské výšce 230 m n. m. Délka toku k uzávěrovému profilu je zhruba 580 m a plocha povodí činí 2,95 km². Tvoří pravostranný přítok ve 2,3 km Únětického potoka, který se pak vlévá do Vltavy. Morfologie terénu povodí je převážně rovinného charakteru o sklonitosti do 5%, pouze v severní zalesněné části v okolí toku se vyskytují svahy s průměrným sklonem až do 36%. Po geomorfologické stránce povodí spadá do okrsku Turské plošiny, severní část Kladenské tabule, jež je utvářena převážně horninami svrchního proterozoika a je zpestřena zbytky cenomanských a spodnoturských slepenců, pískovců, jílovců a spongilitů.

Z pedologického hlediska je povodí rozděleno zhruba do tří základních geomorfologických formací, a to půdy rozlehlých plošin, niva toku a svažité pozemky přikloněné k toku potoka. Plošiny jsou představovány hnědozeměmi na spraši, převážně illimerizovanými, písčitohlinitými, jedná se tedy o ornou půdu spíše vyšší bonitace. Klimaticky se řadí povodí Starosuchdolského potoka do teplého, mírně suchého regionu. Průměrná roční teplota je 8,8 °C. Průměrný roční úhrn srážek pro povodí je pod 500 mm, v zimním období je úhrn srážek v rozmezí 200 – 300 mm. Povodí je z části

zemědělsky obhospodařováno (53%) a zastavěno (36%). Lesní plochy, nacházející se v severní části povodí okolo vodního toku, tvoří směs polopřírodních smíšených lesů.

Tab. 1: Fyzicko – geografické parametry povodí Starosuchdolského potoka

Parametry povodí	Jednotky	Označení	Celé povodí
Číslo hydrologického pořadí IV (Únětický potok)	-	-	1-12-02-014
Plocha povodí	km ²	F	2,946
Nejvyšší kóta povodí	m n.m.	H _{max}	335,000
Nejnižší kóta povodí	m n.m.	H _{min}	211,000
Absolutní výškový rozdíl	m	V _a	124,000
Výška pramene toku	m n.m.	H _{pr}	230,000
Délka údolí toku	km	L _ú	3,700
Délka hlavního toku	km	L _t	0,580
Délka rozvodnice	km	O	9,100
Sklon údolí toku	%	i _ú	5,400
Plocha lesů	km ²	S _l	0,104
Plocha orné půdy	km ²	S _{op}	1,564
Plocha luk a pastvin	km ²	S _{lp}	0,218
Plocha zahrad, ostatní zatravněná plocha	km ²	S _{za}	0,357
Plocha urbanizovaného intravilánu	km ²	IN	1,061

2. Výsledky a diskuze

Relativně nejdůležitějším a nejvíce vypovídajícím procesem v hydrologii jsou průtoky vody, které poskytují pohled na dynamiku odtoků z povodí a jsou poměrně přesně měřitelné (Kirchner, 2009). Proto řada příspěvků využívá těchto zkušeností (Beven, 2006; Tallaksen, 1995; aj.) a jako autoři této studie se k nim rádi připojujeme. Z řady epizod suchého období od roku 2011 na tomto povodí byla vybrána pouze 1 epizoda (z důvodu omezeného rozsahu příspěvku):

EPIZODA 1: 8. 8. 2 hod – 16. 8. 20 hod 2012

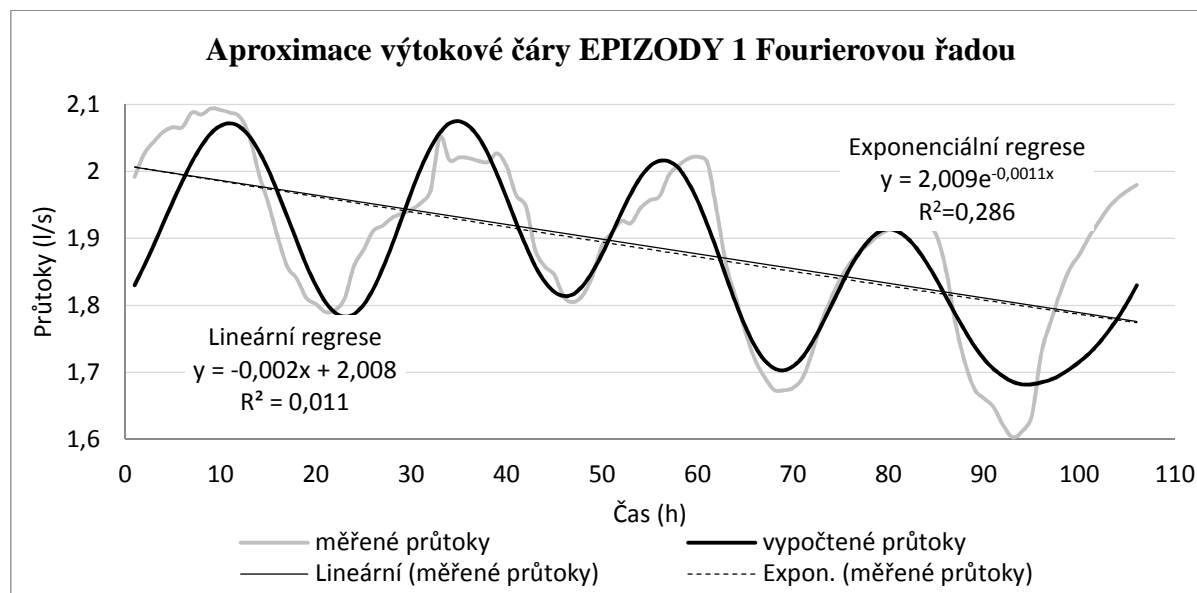
Časový krok Δt měření je flexibilní, pro tuto studii jsme vybrali $\Delta t = 1,0$ hod. Měřitelná výška vodní hladiny Thomsonova přelivu je od 0,0 m do 1,0 m, typ hladinoměru Vega Vegawell 71, k digitalizaci výsledků je použit AD konvertor DRAK3, data jsou k dispozici on-line na příslušných katedrách ČZU v Praze. Zatím bylo změřeno 7 bezdešťových období, nejdelší z nich třítýdenní.

Matematickým modelem FOURIER (Kovář, 2014), který považujeme za svůj originální projekt pro širší účelové spektrum, byly aproximovány vybrané epizody měřených průtoků Fourierovým rozvojem. Tři epizody, již výše zmíněné, doplněné lineární a exponenciální regresí byly použity k ilustraci metody aproximace experimentální průtokové řady. Tab. 2 poskytuje numerické hodnoty vypočtených regresí.

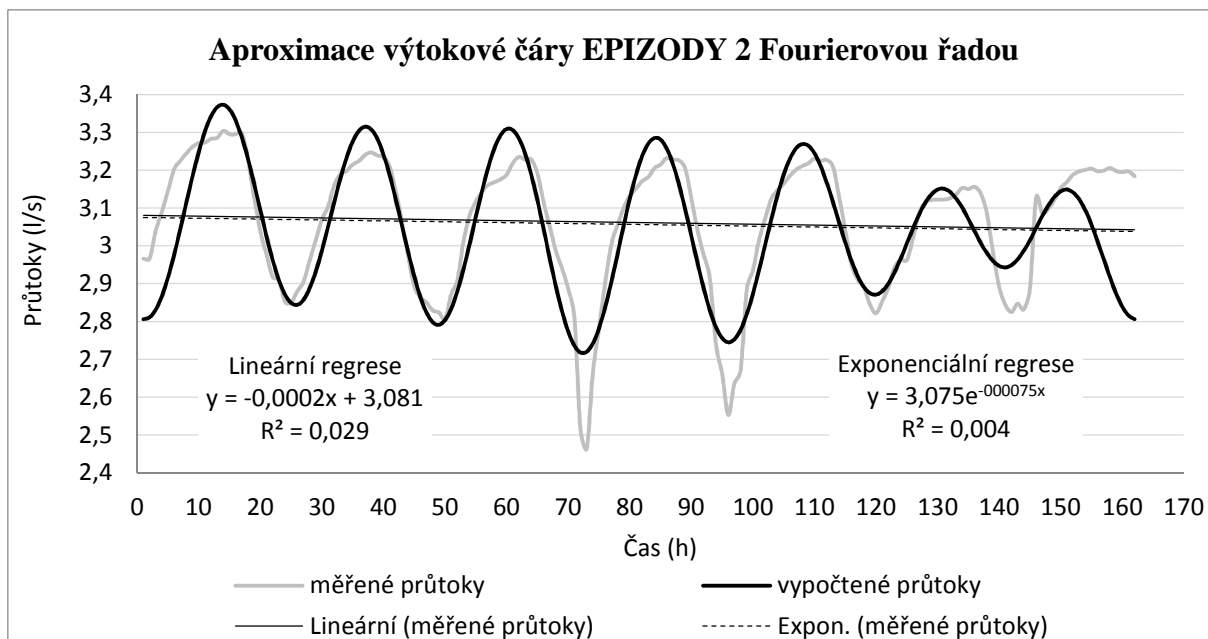
Tab. 2: Lineární a exponenciální regrese harmonické výtokové čáry povodí Starosuchdolského potoka v bezdešťovém období, EPIZODA 1, 2 a 3

LINEÁRNÍ REGRESE		EXPONENCIÁLNÍ KORELACE	
Aproximační rovnice: $y = a \cdot x + b$		Aproximační rovnice (Boussinesq): $y = y_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x}$	
EPIZODA 1	$a = -0,002195$ $b = 2,008608$ $R^2 = 0,011087$	EPIZODA 1	$y_0 = 2,012123$ $\alpha = -0,001173$ $y = 2,012123 \cdot e^{-0,001173 \cdot x}$ $R^2 = 0,293019$
EPIZODA 2	$a = -0,000240$ $b = 3,081071$ $R^2 = 0,029755$	EPIZODA 2	$y_0 = 3,081396$ $\alpha = -0,000075$ $y = 3,081396 \cdot e^{-0,000075 \cdot x}$ $R^2 = 0,004286$
EPIZODA 3	$a = -0,001822$ $b = 0,959497$ $R^2 = 0,022853$	EPIZODA 3	$y_0 = 0,900967$ $\alpha = -0,001064$ $y = 0,900967 \cdot e^{-0,001064 \cdot x}$ $R^2 = 0,044559$

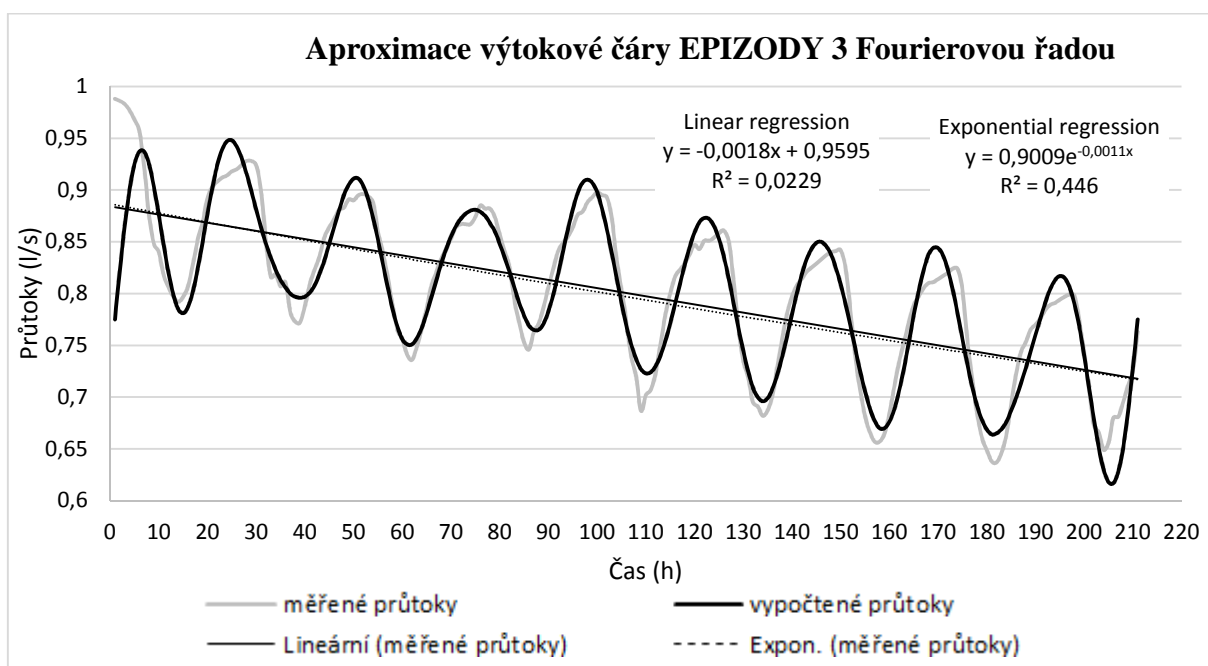
Obdobně Obr. 1, 2 a 3 s grafy vypočtených průtoků modelem FOURIER epizod 1, 2 a 3 (viz dále) byly vyneseny včetně přímkové a exponenciální výtokové čáry (dle Boussinesqa).



Obr. 1: Průtoky v suchém období 24. 6. – 29. 6. 2011 měřené na Starosuchdolském potoce (profil Spálený Mlýn), EPIZODA1



Obr. 2: Průtoky v suchém období 21. 5. – 29. 5. 2012 měřené na Starosuchdolském potoce (profil Spálený Mlýn), EPIZODA2



Obr. 3: Průtoky v suchém období 8. 8. 2012 – 16. 8. 2012 měřené na Starosuchdolském potoce, EPIZODA3

Optimální počty harmonických koeficientů RR Fourierových řad pro přijatelné hodnoty koeficientů determinace (EC) poskytují Tab. 3a, 3b.

Porovnání měřených průtoků a průtoků vypočtených aproximací Fourierovým rozvojem je však, co se týče shody, o něco horší než vyhlazení polynomem. Srovnávací grafy na Obr. 4 a 5 potvrzují jejich výbornou shodu s měřenými prototypy.

Koeficient determinace EC (EFFICIENCY COEFFICIENT) (-) je vyjádřen vztahem:

$$EC = 1 - \frac{\sum(Q_{mer} - Q_{vyp})^2}{\sum(Q_{mer} - \bar{Q})^2} \quad (8)$$

kde Q_{mer} pořadnice měřených průtoků (l.s⁻¹)
 Q_{vyp} pořadnice vypočtených průtoků (l.s⁻¹)
 \bar{Q} průměrná hodnota měřeného průtoků (l.s⁻¹)

Tab. 3a: Optimální počet harmonických koeficientů (RR) pro koeficienty nejlepší shody podle Nash-Sutcliffe (EC) (Nash-Sutcliffe, 1970)

EPIZODA 1 (N = 106)		EPIZODA 2 (N = 162)		EPIZODA 3 (N = 211)	
RR	EC	RR	EC	RR	EC
6	0,743	7	0,726	15	0,860
5	0,725	6	0,709	14	0,858
7	0,739	8	0,716	16	0,862

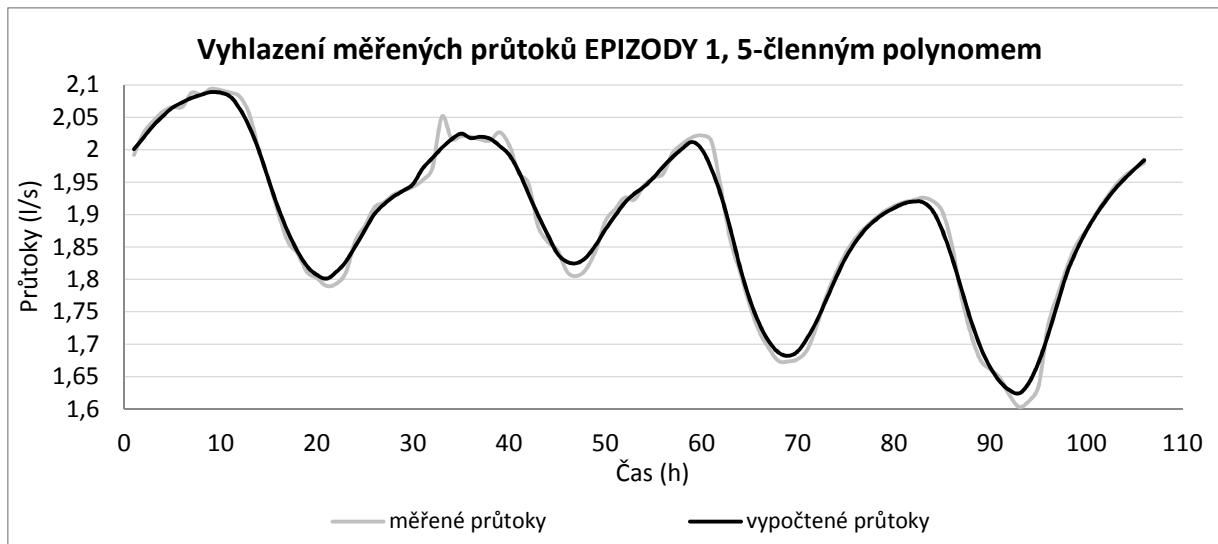
Tab. 3b: Korekce nepříznivého trendu Epizod 1 a 2 vyhlazením polynomem 5-řádu

EPIZODA 1 (N = 106)		EPIZODA 2 (N = 162)		NOVÁ LINEÁRNÍ REGRESE (Vyhlazení Polynomem)
RR	EC	RR	EC	
6	0,771	7	0,742	<ul style="list-style-type: none"> EPI 1: a = - 0,002160 b = 2,006650 EPI 2: a = - 0,000228 b = 3,079739
5	0,754	6	0,729	
7	0,748	8	0,733	

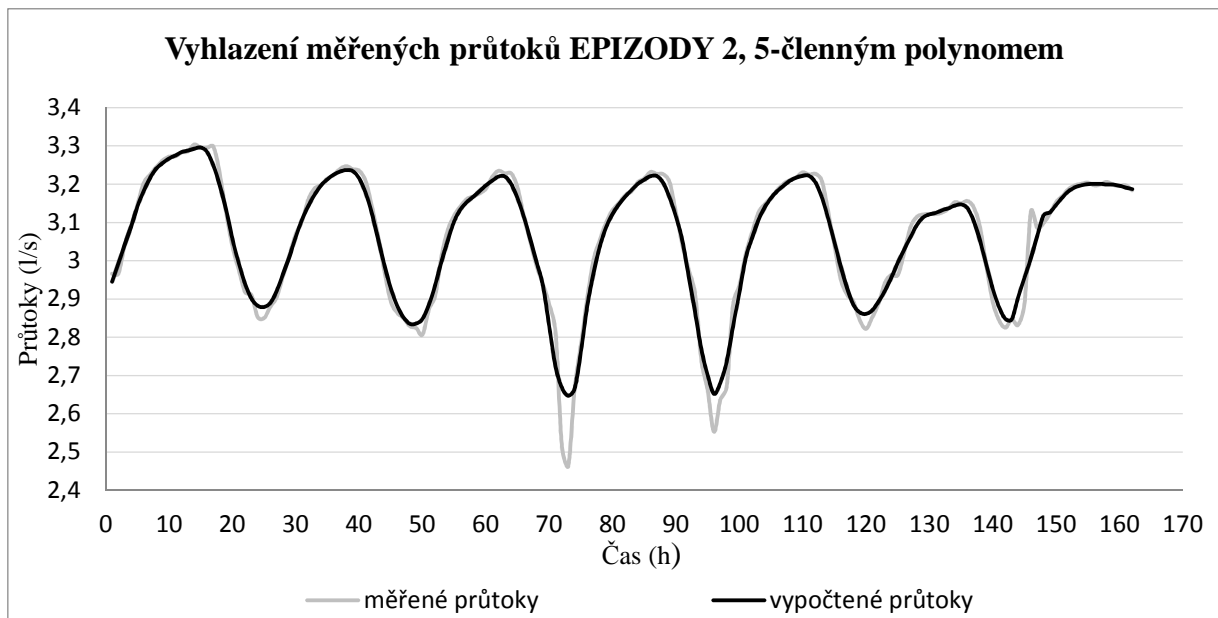
Tabulka 4 uvádí transformační koeficienty α_r a β_r Fourierových řad pro všechny tři epizody.

Tab. 4: Transformační koeficienty α_r a β_r Fourierových řad pro jednotlivé epizody.

Index	EPIZODA 1		EPIZODA 2		EPIZODA 3	
	N = 106, RR = 6		N = 162, RR = 10		N = 211, RR = 15	
	α	β	α	β	α	β
0	0,010		0,006		0,005	
1	0,021	-0,001	-0,005	-0,008	0,004	0,001
2	0,007	-0,009	0,007	-0,005	0,004	-0,001
3	0,018	-0,020	0,003	-0,005	0,005	0,001
4	0,019	-0,041	0,007	-0,002	0,003	0,002
5	0,003	0,033	0,014	-0,002	0,004	0,001
6			0,005	-0,026	0,002	0,003
7			0,043	0,053	0,001	0,004
8			0,016	0,000	-0,003	0,011
9			0,014	0,006	0,039	-0,026
10					0,009	-0,008
11					0,011	-0,003
12					0,008	0,000
13					0,010	-0,002
14					0,010	0,002



Obr. 4: Vyhlazení měřených průtoků 5-členným polynomem.



Obr. 5: Vyhlazení měřených průtoků 5-členným polynomem.

Paralelně s měřením průtoků v uzavřevém profilu povodí Starosuchdolského potoka jsou měřeny dalšími dvěma sensory teploty vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) a vlhkosti půdy v hloubce kořenové zóny (cca 30 cm pod povrchem). Dále je kontinuálně měřen výpar z volné hladiny automatickým zařízením EWM (v areálu ČZU v Praze – cca 1,5 km od plošného těžiště povodí) alternovaným GGI-3000 (citováno podle Brutsaerta, 1982). Obě měřící zařízení, tj. Vegawel71-AD DRAK3 a EWM jsou časově sledovány, aby poskytovala použitelné data k vyhodnocování posunů maxima a minima průtoků vzhledem k těmto extrémům evaporace z vody a rovněž vzhledem posunům ovlivněným hydraulickou rezisencí. Důraz je dále kladen na relativní vlhkost půdy, která je využívána k výpočtům kontinuálního sledování vztahu k polní vodní kapacitě (FC) a tak využita ke stanovení aktuální evapotranspirace, což je jedním z cílů tohoto výzkumu. Ke stanovení FC byla

využita její definice, že objem vody v půdě odpovídá průměru $0,371 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ se standardní odchylkou $0,063 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (Romano & Santini, 2002) a přístroje HYPROP (Schindler et al., 2010).

V této studii v rámci výzkumného projektu TAČR TA02020402 je to finální krok určení aktuální evapotranspirace na malém povodí, kterým se svou plochou, menší než 3 km^2 experimentální povodí Starosuchdolského potoka nesporně je. Postup je jednoduchý, aktuální evapotranspirace se dá vyjádřit redukcí výparu z volné vodní hladiny relativní půdní vlhkost.

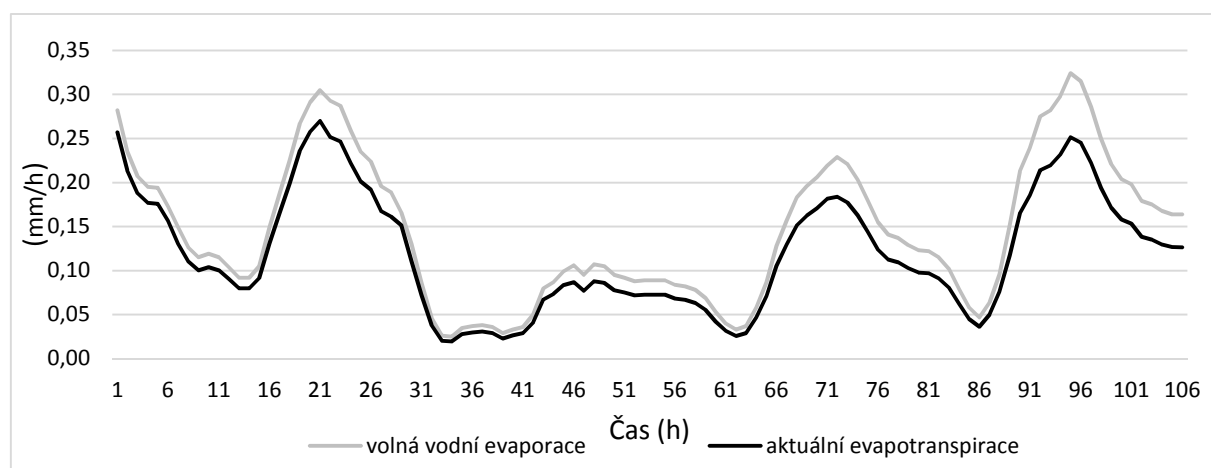
$$AE(i) = FWE(i) \cdot (SMC(i)/FC) \quad (9)$$

kde $AE(i)$... vypočtená aktuální evapotranspirace (územní výpar) ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

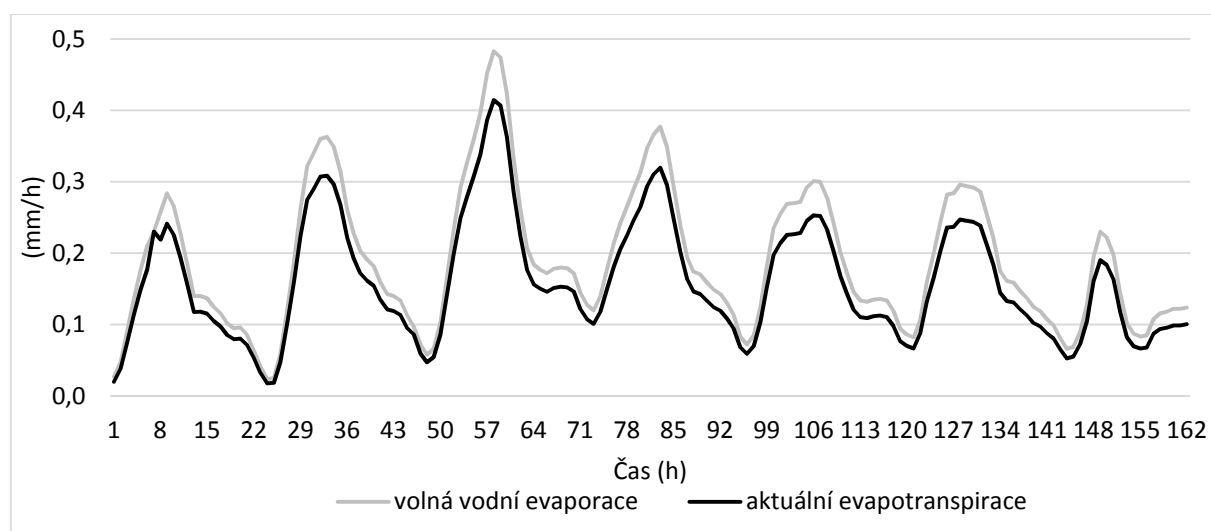
$FWE(i)$... měřený výpar z volné vodní hladiny ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

$SMC(i)$... měřená půdní vlhkost (-)

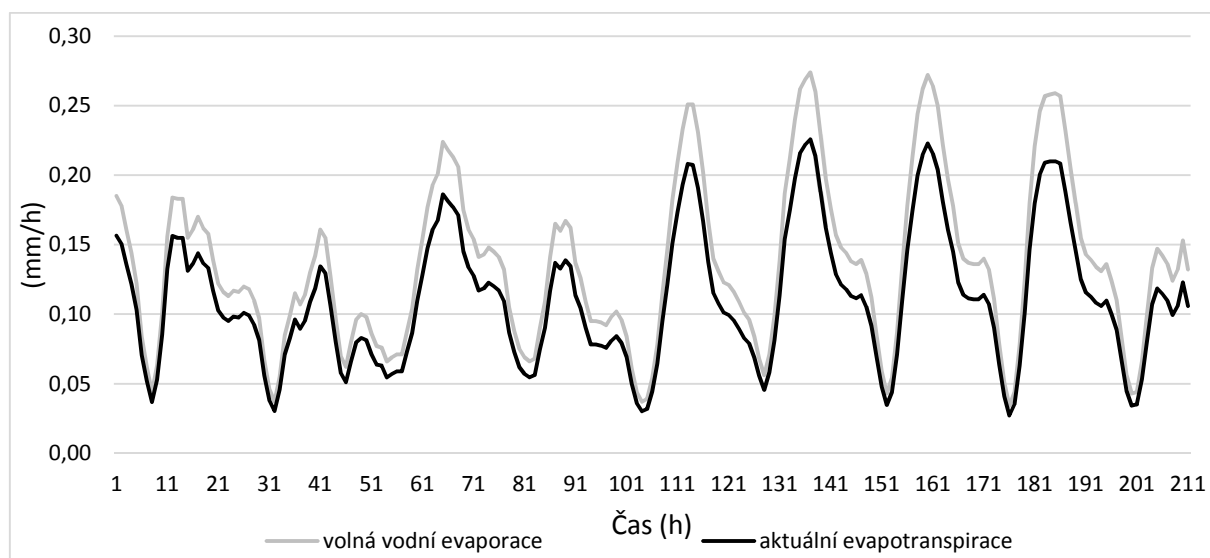
$FC(i)$... měřená polní vodní kapacita (-)



Obr. 6: Odhad územního výparu. EPIZODA 1.



Obr. 7: Odhad územního výparu. EPIZODA 2.



Obr. 8: Odhad územního výparu. EPIZODA 3.

Obr. 6, 7 a 8 ukazují odhad územního výparu u všech epizod, kde komponenty na pravé straně rov. (9) jsou měřeny. Pokud bychom počítali potenciální evapotranspirace (např. Penman-Monteith metoda), byly by hodnoty územního výparu poněkud nižší.

Závěrem je možno konstatovat, že využití Fourierových řad pro aproximace funkce vlivu aktuální evapotranspirace na odtokový proces je evidentně jednodušší s využitím transformace quasi-lineární konvolucí, než fyto-fyziologická řešení kapilárního proudění stomaty rostlin, abychom postihli vliv evapotranspirace na odtok. Nehledě ke skutečnosti potřeby drahých přístrojů. V procesu odtok-výpar, kde byla využita stejná metoda aproximace průtokové řady Fourierovým rozvojem, jsou důsledky quasi-linearit procesu více viditelné. Tento fakt tedy způsobuje sice o něco horší výsledky, ale ty jsou stále ještě dobře použitelné, viz hodnoty shody měřených a vypočtených průtoků, vyjádřené koeficientem determinace EC. Záleží také, dle našeho názoru, na výrazných odtokových epizodách, tj. na malé vlhkosti povodí v důsledku sucha, kdy výtoková čára má již velmi malý sklon, jako tomu bylo v případě epizody 2 a 3.

Velkou výhodou použití metody Fourierových řad však zůstává metoda substituce chybějících dat časové řady s harmonickými vlastnostmi (ortogonalita procesu). Tento výpočet je jednoduchý a doplňování řady často potřebné. Dokonce se zdá, že archivace dlouhých časových řad se dá, sice na úkor přesnosti, ale s úsporou kapacity medií zařídit nahrazením celé řady o vysokém počtu pořadnic n , hodnotou počtu harmonických koeficientů RR, kdy se pak dají zpětně vypočítat jednotlivé pořadnice, zatížené jen malou chybou ($DC > 0.80$).

Trendem dalšího studia poměrů sucha je řešení aktuální evapotranspirace povodí Starosuchdolského potoka, vycházející nejen z měření průtoků, ale i výparu z vodní hladiny výparoměru.

3. Literatura

- Beven K. J. (2006): Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. John Wiley & Sons.
- Bond B. J., Jones J. A., Moore G., Phillips N., Post D., McDonnell J. J. (2002): The zone of vegetation on baseflow revealed by diel patterns of streamflow and vegetation water use in a headwater basin, *Hydrol. Process* 16. 16, pp. 1671 – 1677
- Brown E. A., Zhang L., McMahon A. T., Western W. A., Vertessy A. R. (2004): A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology* 310: 28-61.
- Brutsaert W., Nieber J. L. (1977): Regionalized drought flow hydrographs from a mature glaciated plateau. *Water Resources Res.*, 13, 637-643, doi: 10.1029/WR013i003p00637.
- Burt T. P. (1979): Diurnal variations in stream discharge and throughflow during a period of low flow, *Journal of Hydrology.*, Vol. 41, issue 3-4: 291-301.
- Deutscher J., Kupec P. (2014): Monitoring and validating the temporal dynamics of interday streamflow from two upland head micro-watersheds with different vegetative conditions during dry periods of growing season on the Bohemian Massif, Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 186, No. 6: 3837-3846.
- Dvorakova S., Kovar P., Zeman J. (2014): Impact of evatranspiration on discharge in small catchments. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. Vol. 62, No. 4: 285-292. doi: 10.2478/johh-2014-0039.
- Fenicia F., Savenije H. H. G., Matgen P., Pfister L. (2006) Is the groundwater reservoir linear? Learning from data in hydrological modelling, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10: 139-150.
- Hardy G. H., Rogosinski W. W. (1971): Fourier series, *Fourierovy řady*, SNTL/ALFA, 3rd Issue, 04-005-71.
- Kirchner J. W. (2006): Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses and models to advance the science of hydrology, *Water Resources Research* 42, W03S04, doi: 10.1029/2005WR004362.
- Kirchner J. W. (2009): Catchment as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward. *Water Resources Research*, Vol. 45, W02429, doi: 10.1029/2008WR006912.
- Kovar P., Dvorakova S., Peskova J., Zeman J., Dolezal F., Suva M. (2014): Application of harmonic analysis for evapotranspiration of riparian vegetation in dry periods. *Proceedings of the Conference Hydrology of Small Catchments*. 2 volumes.
- Kraijenhoff van de Leur D. A., Schulze F. E., O'Donnell T. O. (1966): *Recent Trends in Hydrograph Synthesis*. TNO 13., The Hague.
- Langhammer J., Vilimek V. (2008): Landscape changes as a factor affecting the course and consequences of extreme floods in the Otava river basin. Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment* 144: 53-66.
- Loheide S. P., Butler, J. R. J., Gorelick S., M. (2005): Estimation of groundwater consumption by phreatophytes using diurnal water table fluctuations: A saturated-unsaturated flow assessment. *Water Resources Research*, vol. 41, W07030. doi:10.1029/2005WR003942.
- Mul M. L., Savenije H. H. G., Uhlenbrook S. (2007): Base flow fluctuations from a frested and a cultivated hill slope in nirthern Tanzania. *Conference proceesings (CD-Rom) of the 8th WATERNET/WARFSA/GWP-SA Symposium*, Lusaka, Zambia, 31 Oct – 2 Nov 2007, 9pp.

- Nash J. E., Sutcliffe J. V. (1970): River flow forecasting through conceptual models. *Journal of hydrology* 10: 282-290.
- O'Donnell T. O. (1960): Instantaneous unit hydrograph derivation by harmonic analysis. IAHS Publ. No. 51: 546-557. Vol III. Ashbrook catchment, Wallingford Research Station.
- Tallaksen L. M. (1995): A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology* 165: 349-370.
- Winsemius H. C., Savenije H. H. G., Gerrits A. M. J., Zapreeva E. A., Kless R. (2006): Comparison of two model approaches in the Zambezi river basin with regard to model reliability and identifiability, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10: 339-352.
- WMO (1992): Simulated real-time intercomparison of hydrological models. WMO No. 779, *Operational Hydrology* 38, Geneva.
- Zhang L., Dawes W. R., Walker G. R. (2001): Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* 37: 7001-7708.

4. Software (zdrojový program Fortran)

```

$DEBUG
$NOTRUNCATE
PROGRAM FOURIER
C FILENAME FOUR.FOR
LOGICAL FOUR,SEP,APIC,ADEQ,SIM,NEXT
INTEGER R,RR,CAT,NUM,N,JJ
REAL MQ,ISE,MAXI,K1,IA,IB,RDT,X1,T1
DIMENSION A(300),B(300),IA(300),IB(300),OA(300),OB(300)
DIMENSION ALPHA(300),BETA(300)
DIMENSION G(900),X(900),T(900),Y(900),YC(900),BF(900)
C DIMENSION E(900),EC(900)
DIMENSION CNAME(20)
CHARACTER*12 NDFILE
CHARACTER*8 FNAME$
C
OPEN(UNIT=5,FILE='qspl_f.dta',STATUS='OLD')
OPEN(UNIT=7,FILE='qspl_f.out',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(UNIT=1,FILE='NDFILE',STATUS='UNKNOWN')
500 FORMAT(20A4)
501 FORMAT(2I4)
502 FORMAT(6L1)
503 FORMAT(4F10.7)
504 FORMAT(3F8.3)
505 FORMAT(10F8.3)
506 FORMAT(F8.3)
600 FORMAT(1X,20A4)
601 FORMAT(1X,'THE FOURIER SERIES MODEL'/1X,44(1H*
*)/1X,'DEPARTMENT OF LAND USE AND IMPROVEMENT,'/1X,
*)/1X,'FACULTY OF ENVIRONMENTAL SCIENCES, CULS PRAGUE'/)
605 FORMAT(1X,17HCATCHMENT NUMBER:,I3/1X,17HCASE NUMBER : ,I3/
*)
1X,15HDECISION TESTS:/1X,15(1H-)/
*)
1X,7HFOUR = ,L1,2X,6HSEP = ,L1,2X,7HAPIC = ,L1,2X,7HADEQ =
*,L1,2X,6HSIM = ,L1,2X,7HNEXT = ,L1)
611 FORMAT(1X,38HTIME INTERVAL DURATION - RDT (HOURS) :,F7.2/
*)
1X, 38HNUMBER OF RUNOFF INTERVALS - JJ : ,I4/
*)
1X, 41HNUMBER OF HARMONIC COEFFICIENTS - RR : ,I4/
*)
1X, 38HCATCHMENT AREA - AREA (KM SQ.) : ,F7.2/)
632 FORMAT(1X,21HHARMONIC COEFFICIENTS/1X,18(1H-)/
*)
3X,1HR,28X,2HIA,30X,2HIB/1X,70(1H-)
672 FORMAT(1X,21HHARMONIC COEFFICIENTS/1X,18(1H-)/
*)
3X,1HR,28X,2HOA,30X,2HOB/1X,70(1H-)
673 FORMAT(1X,21HHARMONIC COEFFICIENTS/1X,18(1H-)/
*)
3X,1HR,27X,5HALPHA,25X,4HBETA/1X,70(1H-)
633 FORMAT(1X, 70(1H-)/)
635 FORMAT(1X,I3,26X,F6.3,26X,F6.3)
640 FORMAT(1X,44HHARMONIC COEFFICIENT CALCULATION IS FINISHED/
*)
1X, 32HGRAPH SIMULATION IS NOT REQUIRED)
642 FORMAT(1X,21HSYSTEM IDENTIFICATION/
*)
1X, 26HFOURIER GRAPH COMPUTATION/1X,31(1H-))
645 FORMAT(1X,53HEVAPOTRANSPIR. CONSTANT FOR REAL TIME INTERVAL RDT =
*)
,F7.3,11H (HOURS) : )
646 FORMAT(1X,1H+,70X,F8.3)
647 FORMAT(1X,1H+,70X,19H WAS NOT CALCULATED)
648 FORMAT(/1X,15HGODNESS OF FIT/
*)
1X,40HEFFICIENCY COEFFICIENT BY NASH EC(-) = ,F7.3/
*)
1X,32HINTEGRAL SQUARE ERROR ISE(-) = ,F7.3/
*)
1X, 50(1H-))
650 FORMAT( 1X,29HTHE HYDROGRAPH RECONSTRUCTION/1X,29(1H-)/
*)
1X,22HNUMBER OF HYDROGRAPH :,I4/)
654 FORMAT(1X,'TIME OBS.RUN COM.RUN'/
*)
1X,'T(HR) Q(L/DT) QC(L/DT)'/1X,50(1H-)/)
657 FORMAT(2X,F7.3,4X,F6.3,6X,F6.3)
C 658 FORMAT(1H+,5X,F7.3,7X,F7.3,20X,F7.3,3X,F7.3)
C 659 FORMAT(1H+,5X,F7.3,7X,F7.3,20X,F7.3,3X,1H-)
C 660 FORMAT(1H+,5X,F7.3,7X,F7.3,20X,1H-,3X,F7.3)
C 661 FORMAT(1H+,5X,F7.3,7X,F7.3,20X,1H-,3X,1H-)
C 662 FORMAT(1H+,5X,1H-,7X,1H-,20X,F7.3,5X,F7.3)
C 663 FORMAT(1H+,5X,1H-,7X,1H-,20X,F7.3,5X,1H-)
C 664 FORMAT(1H+,5X,1H-,7X,1H-,20X,1H-,5X,F7.3)
C 665 FORMAT(1H+,5X,1H-,7X,1H-,20X,1H-,5X,1H-)
C 666 FORMAT(1X/1X,'IF JJJ LE JJ THEN FOR EXTRAPOLATION EQ. Q(J)=KQ*EXP
C *(-BFC*J), BFC=',F6.4/)
C 667 FORMAT(1X,'SIMULATION OF SCENARIO/DESIGN DISCHARGES')

```



```

668 FORMAT(1X,30(1H-))
669 FORMAT(5X,'T(I)',7X,'X(I)'/1X,20(1H-)/)
670 FORMAT(2X,F7.3,7X,F7.3)
C BEGINNING OF COMPUTATION
100 WRITE(6,601)
WRITE(7,601)
READ(5,500)CNAME
WRITE(6,600)CNAME
WRITE(7,600)CNAME
READ(5,501)CAT,NUM
READ(5,503)T1,X1,AL,BL
READ(5,502)FOUR,SEP,APIC,ADEQ,SIM,NEXT
WRITE(6,605)CAT,NUM,FOUR,SEP,APIC,ADEQ,SIM,NEXT
WRITE(7,605)CAT,NUM,FOUR,SEP,APIC,ADEQ,SIM,NEXT
CALL LEGEND
c Logical variables used for simulation:
c FOUR=T, SEP=F, APIC=F, ADEQ=F(F), SIM=F, NEXT=T(F)
READ(5,501)RR,JJ
READ(5,505)RDT,AREA
WRITE(6,611)RDT,JJ,RR,AREA
WRITE(7,611)RDT,JJ,RR,AREA
RII=FLOAT(JJ-1)
C READING DISCHARGES
READ(5,505)(Y(J),J=1,JJ)
IF(.NOT.ADEQ) GOTO 8
DO 7 J=1,JJ
7 Y(J)=(3.6*RDT*Y(J))/AREA
8 CONTINUE
T(1)=T1
DO 50 I=2,JJ
50 T(I)=T(I-1)+RDT
X(1)=X1
DO 51 I=2,JJ
X(I)=BL+(AL*T(I))
51 CONTINUE
C Kontrolni tisk T(I) a X(I)
WRITE(6,669)
WRITE(7,669)
DO 52 I=1,JJ
WRITE(6,670)T(I),X(I)
WRITE(7,670)T(I),X(I)
52 CONTINUE
WRITE(6,632)
WRITE(7,632)
DO 53 I=1,JJ
53 G(I)=X(I)
CALL FCOEF(RR,RII,A,B,G)
DO 54 R=1,RR
IA(R)=A(R)
IB(R)=B(R)
N=R-1
WRITE(6,635)N,IA(R),IB(R)
WRITE(7,635)N,IA(R),IB(R)
54 CONTINUE
WRITE(6,672)
WRITE(7,672)
DO 22 I=1,JJ
22 G(I)=Y(I)
CALL FCOEF(RR,RII,A,B,G)
DO 23 R=1,RR
OA(R)=A(R)
OB(R)=B(R)
N=R-1
WRITE(6,635)N,OA(R),OB(R)
WRITE(7,635)N,OA(R),OB(R)
23 CONTINUE
WRITE(6,673)
WRITE(7,673)
DO 26 R=1,RR
ALPHA(R)=2.*(IA(R)*OA(R)+IB(R)*OB(R))/(IA(R)*IA(R)+IB(R)*IB(R))/
*RII
BETA(R)=2.*(IA(R)*OB(R)-IB(R)*OA(R))/(IA(R)*IA(R)+IB(R)*IB(R))/RII
26 CONTINUE
ALPHA(1)=ALPHA(1)/2.
WRITE(6,633)
WRITE(7,633)
DO 24 I=1,JJ

```

```

24 BF(I)=0.
DO 27 R=1,RR
N=R-1
WRITE(6,635)N,ALPHA(R),BETA(R)
WRITE(7,635)N,ALPHA(R),BETA(R)
27 CONTINUE
WRITE(6,633)
WRITE(7,633)
DO 31 I=1,JJ
RI=FLOAT(I-1)
DO 30 R=2,RR
RER=FLOAT(R-1)
ARG=(6.28318531/RII)*RI*RER
BF(I)=BF(I)+ALPHA(R)*COS(ARG)+BETA(R)*SIN(ARG)
30 CONTINUE
BF(I)=BF(I)+ALPHA(1)
31 CONTINUE
WRITE(6,642)
WRITE(7,642)
DO 32 I=1,JJ
32 G(I)=X(I)
CALL FCOEF(RR,RII,A,B,G)
DO 33 R=1,RR
OA(R)=RII*(ALPHA(R)*A(R)-BETA(R)*B(R))/2.
OB(R)=RII*(A(R)*BETA(R)+B(R)*ALPHA(R))/2.
33 CONTINUE
DO 34 I=2,JJ
34 YC(I)=0.
OA(1)=2.*OA(1)
DO 36 I=1,JJ
RI=FLOAT(I-1)
DO 35 R=2,RR
RER=FLOAT(R-1)
ARG=(6.28318531/RII)*RI*RER
YC(I)=YC(I)+OA(R)*COS(ARG)+OB(R)*SIN(ARG)
35 CONTINUE
YC(I)=YC(I)+OA(1)
36 CONTINUE
IF(.NOT.SIM)THEN
MQ=0.
SQ2=0.
SQM2=0.
DO 37 I=1,JJ
37 MQ=MQ+Y(I)
MQ=MQ/FLOAT(JJ)
DO 38 I=1,JJ
SQ2=SQ2+(Y(I)-YC(I))**2
SQM2=SQM2+(Y(I)-MQ)**2
38 CONTINUE
EC=SQ2/SQM2
K1=SQRT(SQ2)
EC=(1.0-EC)
ISE=K1/MQ
MAXI=0.
DO 39 I=1,JJ
39 MAXI=AMAX1(MAXI,Y(I))
SUM=0.
K1=0.
DO 40 I=1,JJ
K1=YC(I)-Y(I)
K1=ABS(K1)
K1=K1*Y(I)
SUM=SUM+K1
40 CONTINUE
DEV=SUM*200.
K1=FLOAT(JJ)*(MAXI**2)
DEV=DEV/K1
WRITE(6,648)EC,ISE
WRITE(7,648)EC,ISE
ELSE
ENDIF
WRITE(6,650)NUM
WRITE(7,650)NUM
WRITE(6,654)
WRITE(7,654)
DO 42 I=1,JJ
WRITE(6,657)T(I),Y(I),YC(I)

```

```

        WRITE(7,657)T(I),Y(I),YC(I)
42 CONTINUE
C      print on specified file (cname)
C      SCREEN CONTROL
      read '(A12)',ndfile
C      data pro pripravu grafu
      write(*,'(A\)' )' Nazev povodi nebo datoveho souboru:'
      read(*,'(A\)' )fname$
      open(unit=8,file=fname$)
      write(8,'(2x,i3,2f8.3)' )(i,y(i),yc(i),i=1,jj)
      close(8)
      IF(NEXT)GOTO 100
44 STOP
      END
      SUBROUTINE LEGEND
C
601 FORMAT(1X,'LEGEND TO THE DECISION TESTS:'/1X,28(1H-)/
*1X,'IF FOUR FALSE - ONLY HARMONIC COEFFICIENTS ARE CALCULATED'/
*1X,'IF FOUR TRUE - WHOLE PROGRAM IS EXECUTED'/
*1X,'IF SIM TRUE - ONLY SIMULATION IS PERFORMED'/
*1X,'IF SEP TRUE - SEPARATION OF BASE FLOW+NET RAINFALL'/
*1X,'IF ADEQ TRUE - RUNOFF WILL BE TRANSFERED TO MM/RDT'/
*1X,'IF APIC TRUE - ANTECEDENT PRECIPITATION INDEX IS CALCULATED'/
*1X,'IF NEXT TRUE - NEXT ANALYSIS IS PERFORMED'/)
602 FORMAT(1X,'NOTE: IF SIMULATION THEN SIM=T,SEP=F,ADEQ=F,FOUR=T')
      WRITE(6,601)
      WRITE(7,601)
      WRITE(6,602)
      WRITE(7,602)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE FCOEF(RR,RII,A,B,G)
      INTEGER R,RR
      REAL RI,RII
      DIMENSION A(900),B(900),G(900)
      JII=IFIX(RII)-1
      DO 1 R=1,RR
      A(R)=2.*G(1)/RII
      B(R)=0.
      RER=FLOAT(R-1)
      DO 1 I=2,JII
      RI=FLOAT(I-1)
      ARG=RER*RI/RII
      ARG=ARG*6.28318531
      A(R)=A(R)+2.*G(I)*COS(ARG)/RII
      B(R)=B(R)+2.*G(I)*SIN(ARG)/RII
1 CONTINUE
      A(1)=A(1)/2.
      B(1)=0.
      RETURN
      END

```




PŘÍLOHA F:

MANUÁL METODIKY WBCM MODELU VODNÍ BILANCE (WATER BALANCE CONCEPTUAL MODEL) UPRAVENÁ METODIKA 2015 TAČR TA02020402

PROF. ING. P. KOVÁŘ, DRSC.

ING. D. HEŘMANOVSKÁ, PH.D.

ING. M. HRABALÍKOVÁ,

ING. H. BAČINOVÁ

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA ČESKÉ
ZEMĚDĚLSKÉ UNIVERZITĚ V PRAZE**

září 2015

Obsah

1. Popis Metodiky	3
2. Aplikace na povodí Jílovského potoka	8
3. Literatura	12

1. Popis Metodiky

Řešenými procesy jsou potenciální evapotranspirace, intercese, tvorba povrchového odtoku a jeho transformace, dynamika aktivní zóny, nenasycené zóny a skutečná evapotranspirace. Dále dynamika nasycené zóny, základní odtok a celkový odtok.

Jednotlivé parametry modelu **WBCM** jsou uvedeny v anotaci, ale pro přehlednost je uvádíme i zde:

AREA	plocha povodí (km ²)
FC	parametr charakterizující „průměrnou“ hodnotu PVK (retenční vodní kapacitu) nenasycené zóny (-)
POR	parametr charakterizující hodnotu celkové pórovitosti nenasycené zóny
DROT	průměrná tloušťka aktivní zóny (mm)
WIC	horní limit kapacity intercepce (mm)
ALPHA	parametr „nonlinearity“ syčení nenasycené zóny (-)
SMAx	parametr reprezentující maximální kapacitu nenasycené zóny (mm)
GWM	parametr reprezentující potenciální kapacitu zvodně (mm)
CN	číslo odtokové křivky (-), <i>S</i> potenciální retence (mm)
P1, P2, P7	parametry ovlivňující dynamiku nenasycené zóny (-)
BK	parametr transformace základního odtoku (den).

Pro řešení denních hodnot **potenciální evapotranspirace** $PE(J)$ byla algoritmizována adaptovaná metoda Penmana (Penman, 1963), dále Priestley-Taylorova metoda (Priestley & Taylor, 1972) a postup dle Hamona (Hamon, 1982). Denní hodnoty nasycených vodních par (při dané teplotě) a Bowenův poměr je řešen analyticky Goff-Gratchovými rovnicemi. Modelová jednotka, řešící **intercepční proces** je založena na předpokladu simulování intercepční schopnosti vegetačního krytu povodí parametrem, jenž vyjadřuje průměrnou intercepci povodí. Předpokládá se též lineární rozdělení lokálních intercepací kolem této průměrné hodnoty po ploše povodí. Vstupem do této jednotky je dešť, výstupem propad deště, výška intercepce a část výparu vody zachycené vegetací. Parametr potenciální (tj. maximálně dosažitelné) intercepce **WIC** je lineárně rozdělen po povodí (od nulové hodnoty až do dvojnásobku **WIC**), jak je patrné ze schématu. Proces tvorby **povrchového odtoku** je řešen US SCS metodou (US SCS, 1992).

Potřebné parametry, zahrnující vliv fyziografických charakteristik a odtokové vlastnosti reliéfu aktivní zóny jsou hodnoceny číslem odtokové křivky **CN** (mohou být též získávány automatickou optimalizací).

Povrchový odtok $OF(J)$ (USDA Metoda odtokových křivek **CN**):

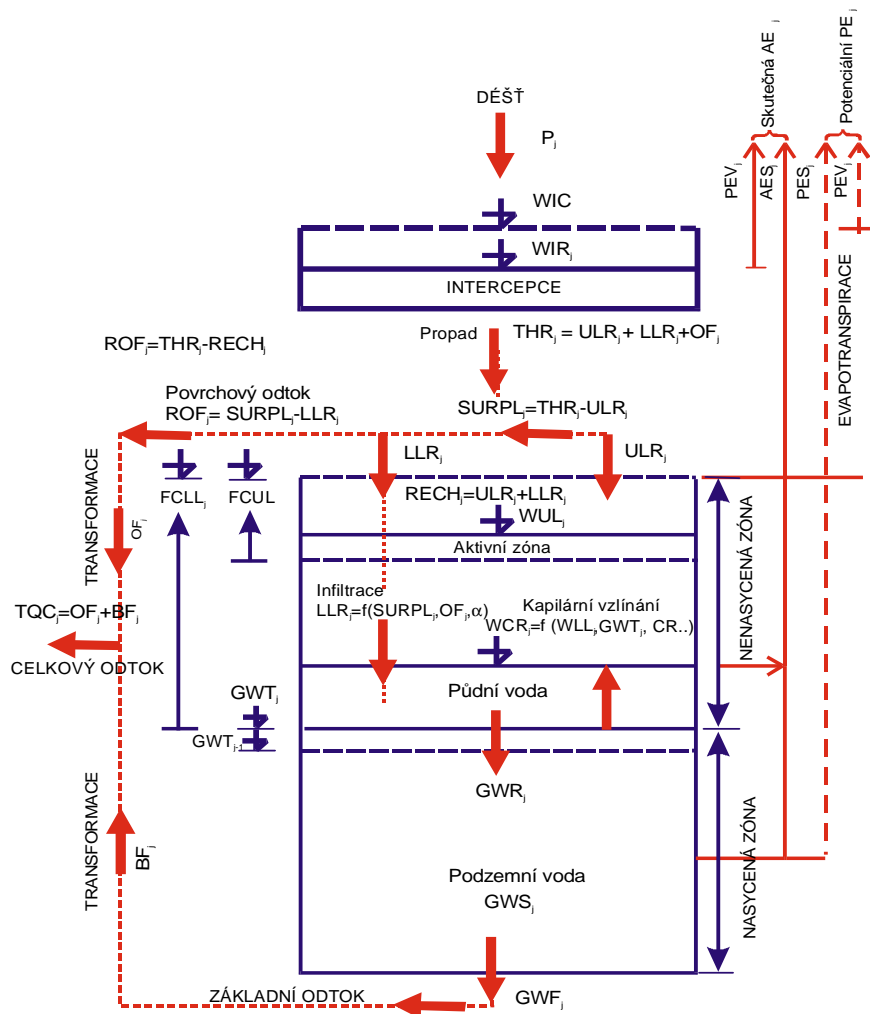
$$\frac{THR(J) - OF(J)}{A(J)} = \frac{OF(J)}{THR(J)} \quad (1)$$

$$S = 25,4 (1000 / (CN - 10)) \quad (2)$$

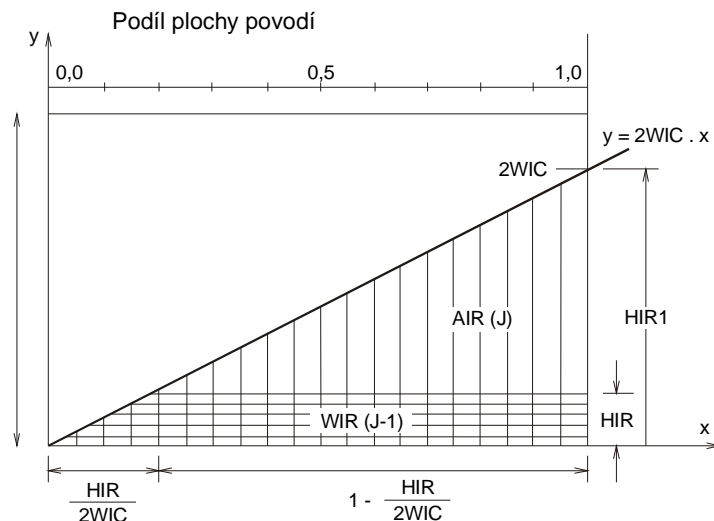
Význam symbolů v Tab. 1 je následující:

Tab. 1: Vysvětlení symbolů k obr. č. 1

P_j	výška deště /mm . den ⁻¹ /	OF_j	transformovaný přímý odtok /mm.den ⁻¹ /
PE_j	potenciální evapotranspirace /mm.den ⁻¹ /	WUL_j	obsah vody v aktivní zóně /mm/
PEV_j	evapotranspirace vody zachycené intercepčí /mm.den ⁻¹ /	$FCUL_j$	průměrná retenční kapacita aktivní zóny /mm/
PES_j	potenciální evapotranspirace z půdy /mm.den ⁻¹ /	WLL_j	obsah vody v celé nenasycené zóně /mm/
AES_j	skutečná evapotranspirace /mm.den ⁻¹ /	$FCLL_j$	průměrná retenční vodní kapacita nenasyc. zóny /mm/
THR_j	propad deště vegetačním krytem /mm.den ⁻¹ /	GWR_j	přírůstek objemu podzemní vody/mm.den ⁻¹ /
$SURPL_j$	povrchová retence /mm.den ⁻¹ /	GWS_j	akumulace podzemní vody /mm/
ULR_j	voda zadržaná vrchní zónou a voda zadržaná v mikrodepresích /mm.den ⁻¹ /	GWT_j	hladina podzemní vody pod úrovní terénu v měřeném representačním profilu /cm/
LLR_j	voda infiltrující během retenční fáze /mm.den ⁻¹ /	WCR_j	kapilární doplňování nenasycené zóny ze zásob podzemní vody /mm.den ⁻¹ /
$RECH_j$	velikost infiltrace /mm.den ⁻¹ /	BF_j	základní odtok /mm.den ⁻¹ /
ROF_j	výška přímého odtoku /mm.den ⁻¹ /	TQC_j	celkový odtok /mm.den ⁻¹ /



Obr. 1: Koncepte modelu WBCM



Lineární rozdělení kapacity intercepce

Obr. 2: Lineární rozdělení kapacity intercepce

Řešení dynamiky **nenasycené zóny** (tj. její sycení a čerpání) záleží především na výšce propadu deště (throughfall), deficitu půdní vlhkosti této zóny, potenciální evapotranspiraci a parametrech, vyjadřujících její nehomogenitu. Vstupem do této zóny je infiltrační podíl (po odečtení přímého odtoku), výstupem přítok do nasycené zóny, část skutečné evapotranspirace z této zóny a přírůstek její vlhkosti.

Sycení **kořenové (aktivní) zóny povodí** (tj. vrchní vrstvy nenasyčené zóny tl. 0,3 – 0,6 m, která nejvíce kvantitativně ovlivňuje tvorbu povrchového odtoku) je u větších povodí popsáno bilančně, kdy kritéria jsou kapilární nasycenosti jednotlivých zón vrchní nenasyčené zóny (kořenové) **FCUL** a potom zbytku nenasyčené zóny až k hladině podzemní vody **FCLL(J)**.

Složitý proces absorpce zóny pro výpočet dynamiky její vlhkosti, a tím i řešení územního výparu je popsán rekursivními vztahy, respektujícími plošnou proměnlivost lokálních hodnot parametrů POR a FC, vyjadřujících průměrnou pórovitost a retenční vodní kapacitu kořenové zóny. Platnost lokálních parametrů procesu je nutno rozšířit respektováním jejich proměnlivosti po ploše lineárně, kolem jejich průměrných hodnot.

Proces **“plnění”** této aktivní zóny závisí tedy především na stupni jejího nasycení, tzn. podílu vlhkosti WUL (J) na maximální udržitelné vlhkosti (retenční vodní kapacitě) FCUL. Tento podíl WUL (J) / FCUL je limitujícím, nicméně model dále respektuje heterogenitu lokálních hodnot FCUL po ploše povodí tak, že předpokládá jejich lineární rozdělení od nulové hodnoty do dvojnásobku hodnoty průměrně FCUL. Obdobně i pro funkci “vyčerpávání”, tj. územní výpar je tato koncepce akceptována s tím, že podíl aktuálního a potenciálního výparu se řídí hydro-pedologickými zákonitostmi, v modelu vyjadřovanými parametry (P1, P2, P7). Řešení procesu “sycení” a “čerpání” celé nenasyčené zóny je založeno na obdobném principu jako řešení aktivní zóny, jež je její součástí. Vzhledem k prostorové nestejnorodosti nenasyčené zóny je do řešení zaveden parametr, vyjadřující heterogenitu prostředí (parametr ALPHA). Procesy jsou obdobně řízeny podílem nasycení, tj. poměrem vlhkosti WLL (J) a retenční vodní kapacity FCLL (J): WLL (J) / FCLL (J). Je-li půdní vlhkost aktivní zóny WUL(J), potom je bilančním vstupem do kořenové zóny RUL(J),

$$RUL(J) = THR(J) - OF(J) - PES(J) \quad (3)$$

a deficit její vlhkosti:

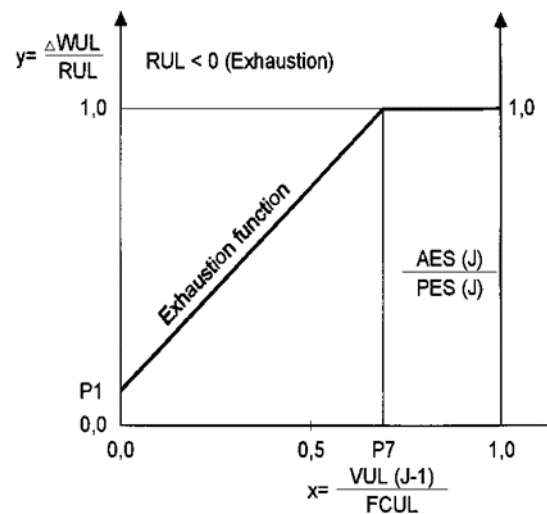
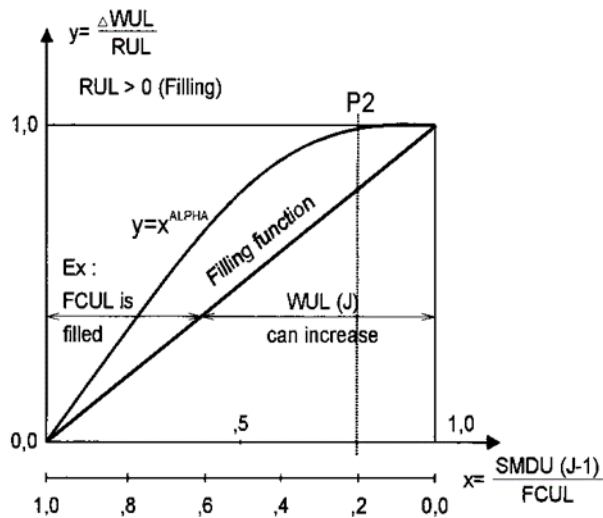
$$SMDU(J) = FCUL(J) - WUL(J) \quad (4)$$

Jestliže $RUL(J) > 0$ (sycení):

Lineární nebo nelineární rozdělení lokálních hodnot retenční vodní kapacity kolem jejich průměrné hodnoty FCUL na povodí. Křivka rozdělení definuje část povodí na kterém je již průměrné hodnoty FCUL dosaženo, kde přebytek vody infiltruje do hlubších vrstev a zbývajících povodí, kde je další sycení aktivní zóny možné.

Jestliže $RUL(J) < 0$ (čerpání):

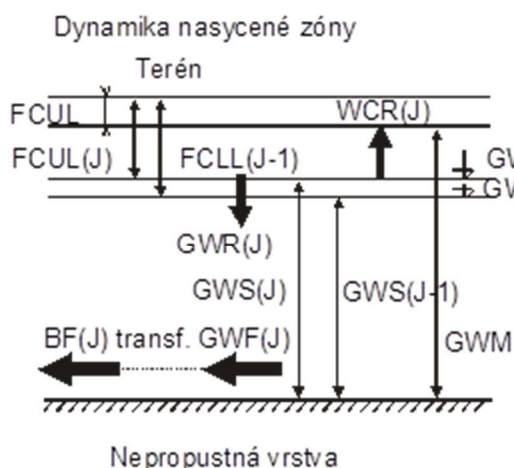
Funkce čerpání je přímková pro kořenovou zónu, parabolická (ALPHA) pro celkovou nenasycenou zónu.



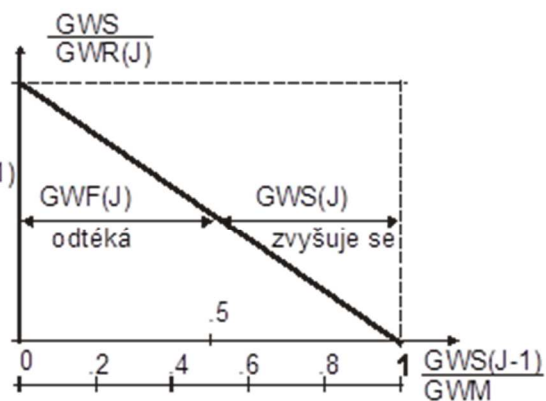
Obr. 3: Plocha povodí s kořenovou zónou naplněnou po FCUL

Obr. 4: Čerpání (výpar) kořenové zóny

Nasycená zóna WBCM je řešena pouze rámcově tak, aby poskytovala mechanismus vytváření základního odtoku bez bilancování zásob podzemní vody (při absenci pozorovaných dat). Vstupem do ní je hluboká infiltrace (perkolace), která je výstupem z nenasycené zóny. Maximální akumulace nasycené oblasti je vyjádřena parametrem GWM, vyjadřujícím maximální nasycení zvodně. Průběžná akumulace je doplňována perkolačním přítokem, prázdněna případným kapilárním vzlínáním a základním odtokem. Pro řešení průběžné **akumulace zvodně** bylo použito lineární pravděpodobnostní rozdělení kapacity zvodně v povodí tak, aby byla opět respektována její nehomogenita. Po výpočtu bilančních složek nenasycené zóny je modelem řešena skutečná evapotranspirace redukcí jejich potenciálních hodnot se zohledněním vlhkosti půdy v této zóně. Proces **transformace základního odtoku** je řešen alternativně buď lineárně, nebo nelineárně. Celkový odtok je získán superpozicí přímého základního odtoku (viz schéma).



Obr. 5: Nepropustná vrstva



Obr. 6: Relativní plocha s nasycenou zónou GWM

Parametry SMAX, GWM a BK se optimalizují dle pozorovaných dat denních (nebo dekádních) odtoků.

Objemovou shodu složek bilance zabezpečuje sledování kontinuity dle bilanční rovnice:

$$SRAIN = AE + STF + (\Delta WP + \Delta WZ) \quad (8)$$

$$SRAIN = AE + STF + \Delta W \quad (9)$$

kde:

$SRAIN$	výška srážek (mm)
STF	výška celkového odtoku (mm)
AE	skutečný (aktuální) územní výpar (mm)
ΔWP	změna vlhkosti nenasycené zóny (mm)
ΔWZ	změna objemu nenasycené zóny (mm)
ΔW	(tj. dotace podzemních vod)

Pro automatickou optimalizaci parametrů modelu byla použita metoda Rosenbrockova, založená na postupném určování lokálních minim objektivní funkce, hledáním nejprogresivnější délky kroku a jeho směru. Absolutní minimum objektivní funkce je dáno nulovou hodnotou součtu čtverců odchylek měřených a vypočtených kriteriálních proměnných. Jako kriteriální proměnné byly v modelu použity buď denní odtoky, nebo hladiny podzemní vody.

Potřeba dat pro implementaci modelu WBCM

Základní údaje: datum začátku bilancování, předchozí denní srážky aspoň 30 dnů před bilančním obdobím (je potřeba pro stanovení počáteční vlhkosti kořenové zóny).

Charakteristiky povodí: plocha povodí, sklon toku, zastoupení kultur a plodin, klasifikace půd dle BPEJ pro stanovení hydrologických skupin půd A, B, C, D pro finální stanovení křivek CN.

Hydrofyzikální vlastnosti půd: Celkové pórovitosti charakteristických lokalit (meze), jejich retenční vodní kapacity (meze), zrnitostní kategorie pro stanovení kapacitních transformačních parametrů. Základní hydrogeologický průzkum klasifikující parametry zvodně: koeficient nasycené hydraulické vodivosti a transmisivita.

Denní výšky srážek a denní hodnoty klimatických dat pro výpočet potenciální evapotranspirace: teploty, radiace, relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru (min. rozsah), nebo denní hodnoty výparu z volné vodní hladiny.

Denní nebo **dekádní odtokové výšky** v uzávěrovém profilu povodí, nebo kolísání **hladin podzemních vod** v charakteristickém profilu dolní inundace.

2. Aplikace na povodí Jílovského potoka

K simulaci hydrologické bilance vegetačního období srážkově podnormálního roku na povodí Jílovského potoka s uzávěrovým profilem v Jílovém (plocha povodí 45,6 km²) byl zvolen rok 2003. Denní meteorologické údaje tohoto období, které slouží jako vstup do modelu WBCM jsou uspořádány na Obr. 7. Celkové výsledky sezónní bilance jsou shrnuty v Tab. 2, detailní přehled jednotlivých komponent bilance v dekádách lze vidět v Tab. 3 a na Obr. 8, který je odečtovým grafem. Chyba v bilanci podle rovnice (10) činí v tomto případě 1,87 mm, což odpovídá 0,69 % celkového úhrnu srážek za vegetační období 2003.

Chyba v sezónní bilanci je hodnocena jako:

$$\Delta = SP - SAE - SQ - SNGWR \quad (10)$$

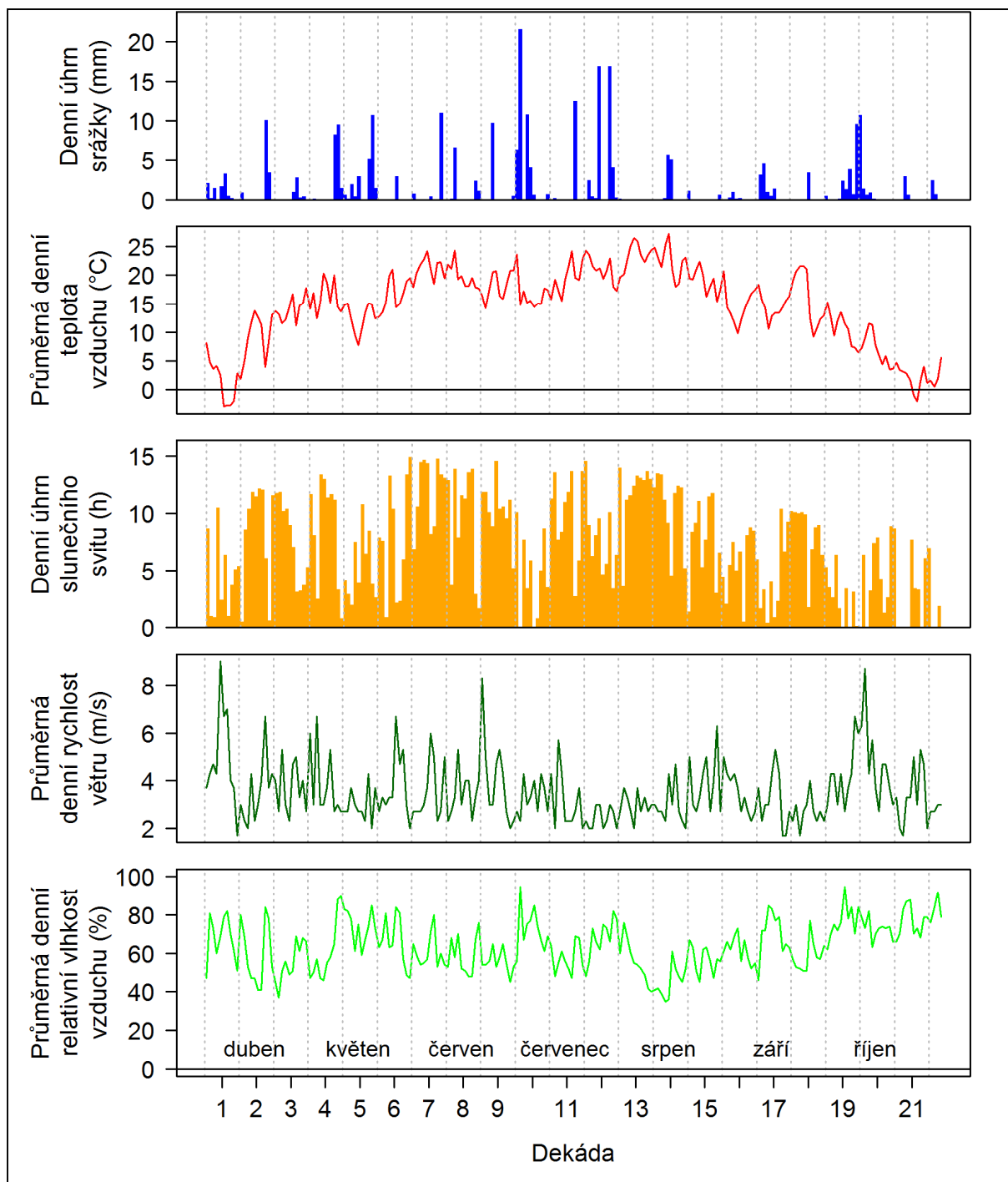
Hydrologická bilance vegetačního období roku 2003 je porovnána s bilancí téhož období roku 2009, která byla předmětem zájmu tohoto projektu v loňském roce (viz Kovář et al., 2013), v Tab. 2 a na Obr. 9. Ve vegetačním období roku 2009 spadlo dvojnásobné množství srážek než v témže období roku 2003, ovšem aktuální evapotranspirace byla jen asi o pětinu vyšší. Úhrn srážek nižší než hodnota aktuální evapotranspirace ve vegetačním období roku 2003 zapříčinil vznik vláhového deficitu, který musel být pokryt ze zásob podpovrchové vody, i bez působení dalších ztrátových komponent hydrologické bilance.

Tab. 2: Hydrologická bilance vegetačního období let 2003 a 2009 modelem WBCM na povodí Jílovského potoka

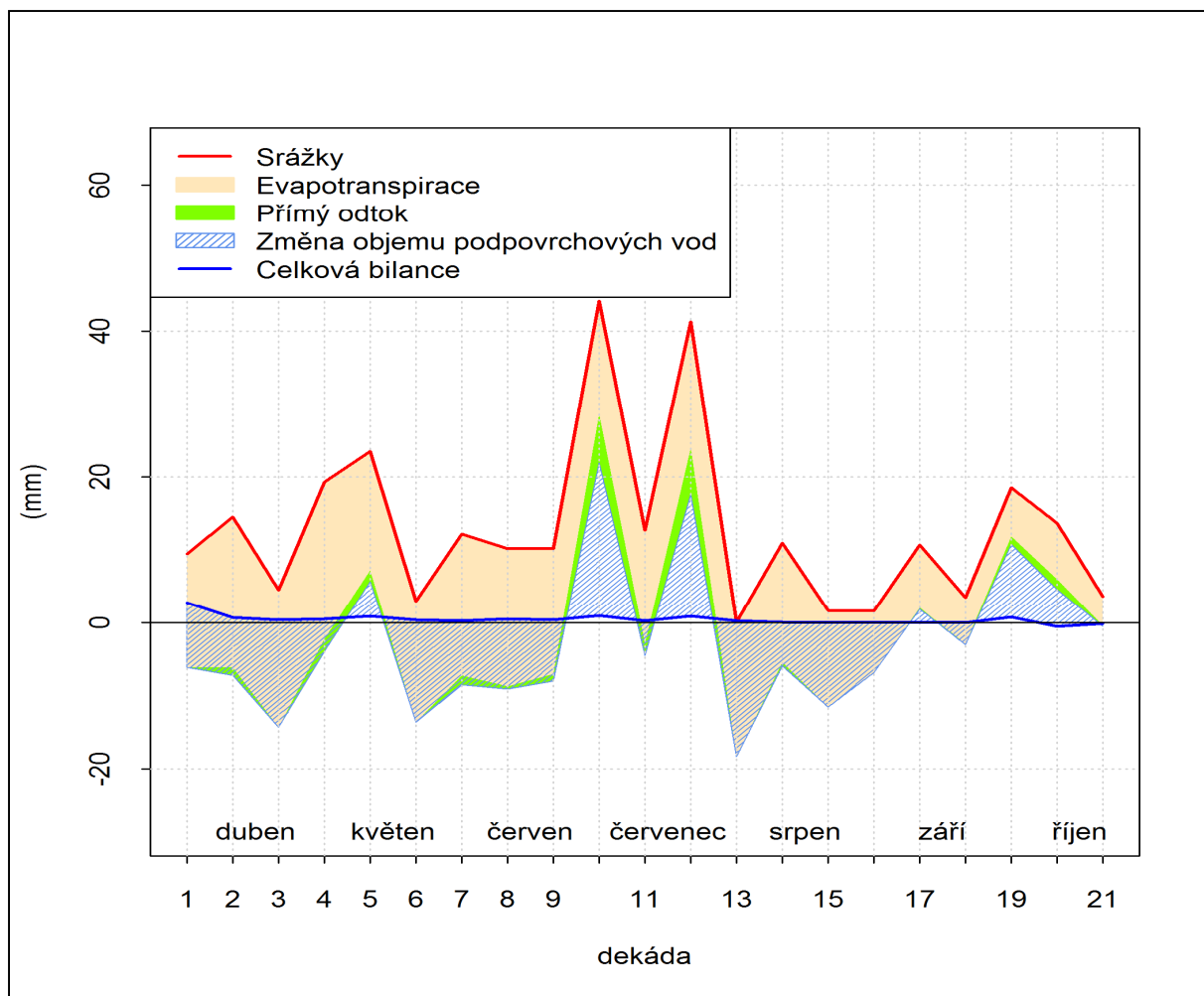
Komponenta hydrologické bilance	Sezónní hodnota 1. 4. - 31. 10. (mm)	
	rok 2003	rok 2009
Srážka <i>SP</i>	272,6	543,0
Celkový odtok <i>SQ</i>	32,6	115,8
Povrchový odtok <i>SOF</i>	25,1	88,6
Potenciální evapotranspirace <i>SPE</i>	555,1	501,1
Aktuální evapotranspirace <i>SAE</i>	305,1	368,3
Infiltrace <i>SRECH</i>	181,9	367,1
Změna půdní vlhkosti <i>ASM</i>	-91,7	-38,6
Změna zásoby podzemní vody <i>GWR</i>	32,2	125,2
Čistá změna zásoby podzemní vody <i>GWR - BF</i>	24,7	98,0

Tab. 3: Sezónní dekádní bilance komponent na povodí Jílovského potoka v roce 2003 (1. 4. – 31. 10.)

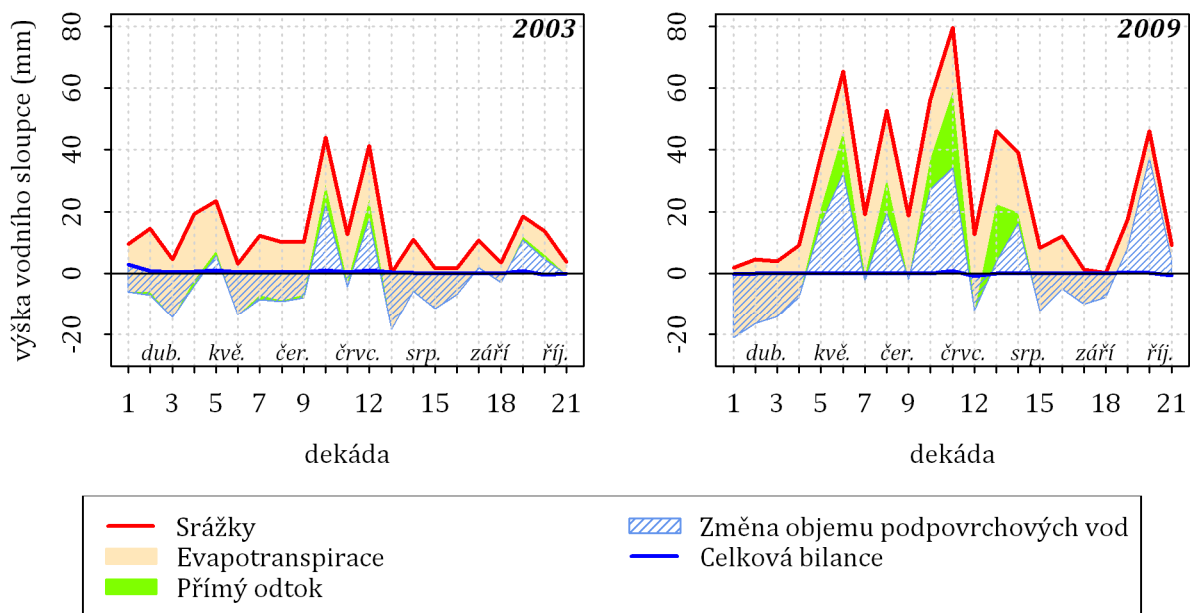
Číslo dekády	Srážka	Aktuální evapotranspirace	Přímý odtok	Rozdíl zásoby podpovrchové vody
	<i>SP</i> (mm)	<i>SAE</i> (mm)	<i>SOF</i> (mm)	<i>SNGWR</i> (mm)
1	9,5	15,6	0,0	-8,9
2	14,5	20,6	1,1	-7,9
3	4,5	18,8	0,0	-14,7
4	19,3	21,5	1,7	-4,4
5	23,5	16,3	1,5	4,8
6	3,0	16,6	0,0	-14,0
7	12,2	19,4	1,3	-8,8
8	10,2	18,9	0,4	-9,6
9	10,2	17,2	1,0	-8,4
10	44,1	15,5	6,7	20,9
11	12,7	15,5	1,7	-4,8
12	41,3	17,4	6,3	16,7
13	0,1	18,4	0,0	-18,6
14	11,0	16,4	0,5	-6,0
15	1,7	13,2	0,0	-11,5
16	1,6	8,4	0,0	-6,8
17	10,7	8,6	0,2	1,9
18	3,5	6,4	0,1	-3,0
19	18,5	6,6	1,1	10,0
20	13,7	7,7	1,4	5,1
21	3,6	4,0	0,1	-0,4



Obr. 7: Vstupní meteorologické údaje vegetačního období roku 2003 pro simulaci sezónní hydrologické bilance na povodí Jílovského potoka



Obr. 8: Dekádní hydrologická bilance vegetačního období roku 2003 (1. 4. – 31. 10.) na povodí Jílovského potoka



Obr. 9: Porovnání hydrologických bilancí vegetačních období let 2003 a 2009 simulovaných modelem WBCM na povodí Jílovského potoka

3. Literatura

- Arnold J. G., Srinivasan R., Muttiah R. S., Williams J. R. (1998): Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of American Water Resources Association* 34: 73–89.
- Hamon W. R. (1982): Computation of direct runoff amounts from storm rainfall. Publ. IAHS.
- Chiew F. H. S., Peel M. C., Western A. W. (2002): Application and testing of the simple rainfall-runoff model SIMHYD. In *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*. Chelsea, Michigan: Water Resources Publications, LLC. s. 335–368.
- Kovář P., Novotná J., Vaššová D. (2010): Using a Water Balance Model for Hydro-restoration of Mining Pits. *Scientia Agriculturae Bohemica* 41/4: 206 - 212. ISSN 1211-3174.
- Kovář P., Štibinger J. a kol. (2007): Modelování hydrologické bilance na experimentálním povodí Němčického potoka. Publikováno v: Kovář P., Štibinger J. a kol., 2007: Metodika návrhu výstavby optimálních protipovodňových a protierozních opatření (PPPO) pro zmírnění extrémních hydrologických jevů – povodní a sucha v krajině. Číslo grantu: NPV-MZe 2005. VRK1/TP3-DP6 (1G57040). Výroční zpráva za r. 2007. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kulhavý Z., Kovář P. (2002): Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha, 123 s.
- Moretti G., Montanari A. (2007): AFFDEF: A spatially distributed grid based rainfall-runoff model for continuous time simulations of river discharge. *Environmental Modelling & Software* 22: 823–836.
- Penman H. L. (1963): Vegetation and hydrology. Tech Comm 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden.
- Pristley C. H. B., Taylor R. J. (1972): On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, Vol. 100, USA.
- US SCS (1992): Soil Conservation Program Methodology, chapter 6.12. Runoff Curve Numbers.
- Wigmosta M. S., Nijssen B., Storck P. (2002): The distributed hydrology soil vegetation model. In *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*. Chelsea, Michigan: Water Resources Publications, LLC. s. 7–42.



PŘÍLOHA G:

PROGRAM FLOOD_V

VÝPOČET OBJEMU N-LETÝCH POVODŇOVÝCH VLN UPRAVENÁ METODIKA 2015 TAČR TA 02020402

Dokumentace (inovovaný software Excel)

Teoretický základ

Příručka uživatele

Případová studie Němčický potok

PROF. ING. P. KOVÁŘ, DRSc.

PROF. ING. JIŘÍ ZEZULÁK, DRSc.

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY, FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA ČESKÉ
ZEMĚĚLSKÉ UNIVERZITĚ V PRAZE**

září 2015

Obsah

1. Teoretický základ	3
2. Příručka uživatele	5
2.1 Úvod	5
2.2 Instalace programu Flood_V	5
2.3 Struktura programu	5
2.4 Přehled vstupních dat	5
2.5 Přehled výstupních dat	6
2.6 Dialogové řízení, uživatelský formulář	7
3. Případová studie: „Návrh poldru na Němčickém potoce v Němčicích“	8
3.1 Obecné charakteristiky lokality	8
3.2 Vstupní data programu Flood_V použité k výpočtu objemu a tvaru N -leté povodňové vlny ze známých fyzicko-geografických faktorů povodí a zadaných kulminací Q_{MAX} (ČHMÚ)	10
4. Literatura	10

1. Teoretický základ

Jednou ze základních syntetizovaných charakteristik povodí je jednotkový hydrogram UH, odvozený s použitím typové S-křivky (US SCS, 1992). Metoda jednotkového hydrogramu je založena na předpokladu rovnoměrného plošného rozložení jednotkového příčinného deště vysoké intenzity a krátké doby trvání na relativně malém povodí s lineárním srážko-odtokovým procesem, kdy platí tzv. princip superpozice. Tento princip předpokládá platnost lineárního vytváření odtoku, který lze popsat soustavou „genetických“ odtokových rovnic typu:

$$K \frac{dQ}{dt} + Q(t) = P(t) \quad (1)$$

kde K časová konstanta transformace (s)

$Q(t)$ výstupní průtoková pořadnice ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

$P(t)$ vstupní srážková pořadnice ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Pro diskrétní časovou pořadnici $t \rightarrow \Delta t$ lze obecně rovnici (1) zapsat jako:

$$Q(i, \Delta t) = \Delta t \sum_0^n (P(n) \cdot u(0, i - n)) \quad (2)$$

Kde $u(0, i - n)$ je pořadnice jednotkového hydrogramu $\Delta t \cdot \text{UH}$.

S-křivka označovaná jako $S(t)$ je součtovou čarou těchto pořadnic, když $t > t_k$, kde t_k je doba koncentrace na povodí:

$$S(t) = \sum_0^T u(0, i - n) \quad (3)$$

Výsledný jednotkový hydrogram je pak:

$$\Delta t \text{UH}(t) = S(t) - S(t - \Delta t) \quad (4)$$

Časová translace odtoku je závislá na době dobíhání, t_L . Ta je určena dle metodiky US SCS (US SCS, 1985; 1992), nebo (Ferguson, 1998), následně:

$$t_L = \frac{(3,28 \cdot L)^{0,8} \cdot (0,04A + 1)^{0,7}}{1900 J_0^{0,5}} \quad (5)$$

Kde L hydraulická délka údolnice (m)

J_0 sklon údolnice (%)

A potenciální retence povodí (mm), (pro: $50 < CN < 100$)

Časová souřadnice kulminace hydrogramu t_p (hod) je potom:

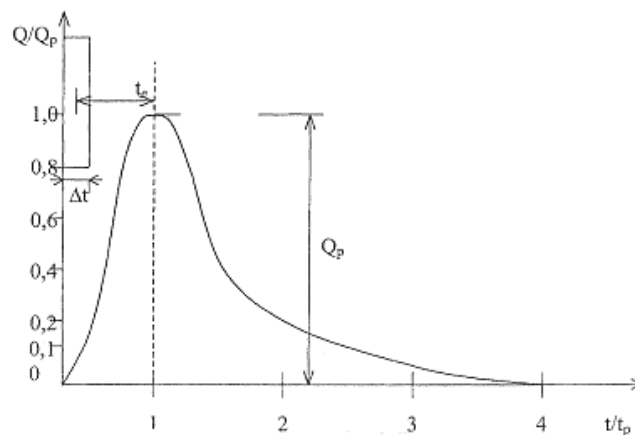
$$t_p = \frac{\Delta t}{2} t_L \quad (6)$$

kde Δt je délka časového kroku a současně doba trvání jednotkového efektivního deště, determinujícího UH. Hodnota t_p není tedy časovou souřadnicí kulminace obecného srážko-odtokového případu, ale je parametrem potřebným k určení UH z bezrozměrné typové S-křivky. Typová Δt UH a Q -pořadnice S-křivky jsou na Obr. 1. Tyto pořadnice, uvedené s diskretním krokem 5% se transformují podle skutečných parametrů povodí, tzn. v závislosti na t_L a t_p .

Q -pořadnice S-křivky vyplývají z úměry:

$$\frac{Q}{Q_p} = \alpha \frac{t}{t_p} \quad (7)$$

kde α je součinitel parametrické úměry. Skutečný TUH vzniká odečtením dvou S-křivek časově posunutých o Δt (Kovář & Pleštilová, 2009).



Obr. 1 Bezrozměrný jednotkový hydrogram UH

Tab. 1 Bezrozměrný jednotkový hydrogram UH

č. poř.	hodn. poř.	č. poř.	hodn. poř.
1	0,094	11	0,248
2	0,120	12	0,264
3	0,138	13	0,282
4	0,156	14	0,302
5	0,170	15	0,324
6	0,184	16	0,350
7	0,194	17	0,382
8	0,204	18	0,430
9	0,216	19	0,520
10	0,232	20	1,000

2. Příručka uživatele

2.1 Úvod

Program vypočte objem návrhové povodňové vlny, je-li zadána hodnota maximálního průtoku dle ČHMÚ a to buď podle proporcionality s TUH, nebo konvolucí návrhového deště s TUH. Jednotkový hydrogram je vypočten na základě transformace standardního TUH_SCS dle reálných fyziografických charakteristik povodí.

2.2 Instalace programu Flood_V

Program je vyvinut v prostředí MS Excel – VBA (Visual Basic for Applications). Vyžaduje proto instalaci systému MS Office a to od verze 2003 nebo vyšší. Z tohoto důvodu není třeba standardních postupů instalace.

Postup přidání programu **Flood_V** spočívá v pouhém vytvoření kopie souboru Flood_V.xls

(MS Office verze 2003) nebo Flood_V.xlsm (MS Office verze 2007 a vyšší) v libovolném adresáři Vašeho počítače.

Program je řešen jako otevřený systém, s dostupným zdrojovým kódem interpretu VBA. Upozorňujeme proto na možnost poruchy provozu systému při neoprávněném zásahu do zdrojového kódu. Otevírání programu v extenzi VBA aplikace MS Excel proto v žádném případě nedoporučujeme.

2.3 Struktura programu

Veškeré vstupně/výstupní operace jsou uloženy na dvou Listech MS Excelu a kryty Dialogovým prostředím vyvinutým formou formuláře VBA:

- List 1 Titul_Vstupy
- List2 Výstupy
- Formulář Flood_V (VBA UserForm)

Toto uspořádání přináší výhodu snadného vkládání vstupních dat dialogovou formou prostřednictvím formuláře a současně umožňuje i pohotové analýzy a zpracování výstupů programu jednoduchými prostředky MS Excel.

2.4 Přehled vstupních dat

Tab. 2: Vstupní data jsou zobrazena ve formě tabulky MS Excel na Listu „Titul_Vstupy“

Lokalita:	Cname=	
Scénár:	Ename=	
Adresár:	Fname=	
Plocha povodí:	Area=	(km²)
Délka hlavního toku (udolnice):	L=	(m)
Průmerný sklon udolnice:	Y=	(%)
Cislo odtokové krivky CN:	CN=	(-)
Cislo max. odtokové krivky CNM:	CNM=	(-)
Počáteční bezodtok. retence:	Reten=	(mm)

Pocet poradnic zadaného hydrogramu:	II=	(-)
Délka casového kroku:	Delt=	(hod)
Doba opakování, Qmax:	Qu, Qmax=	(roky) (m³/s)
		1
		2
		5
		10
		20
		50
		100

Vstupní data jsou do programu ukládána buď dialogovou formou prostřednictvím krycího formuláře nebo přímo v tabulkovém procesoru MS Excel.

2.5 Přehled výstupních dat

Tab. 3: Výstupní data jsou zobrazena ve formě tabulky MS Excel na Listu „Vstupy“ pro 7 hodnot dob opakování: 1-, 2-, 5-, 10-, 20-, 50- a 100-let.

	Výsledné hydrogramy (proporcionální s TUH_SCS)	
Vystup procedury Flood_V:		
Cetnost opakování:	N=	1 (let)
Hodnota kulminace (dle CHMU):	Qmax=	0.06 (m³/s)
Poradnice doby kulminace	IMAX=	4 (-)
Doba dobihani:	TL=	1.50 (hod)
Objem vlny:	VOL=	0.46 (tis. m³)

Současně je zobrazen průběh návrhových vln s uvedenou dobou opakování, např.:

index	čas	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
(-)	(hod)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
1	0.50	0.008	0.018	0.040	0.066	0.093	0.147	0.211
2	1.00	0.015	0.030	0.054	0.070	0.093	0.147	0.211
.
.
15	7.50	0.002	0.003	0.008	0.013	0.018	0.029	0.041
16	8.00	0.002	0.003	0.008	0.013	0.018	0.029	0.041
17	8.50	0.002	0.003	0.008	0.013	0.018	0.029	0.041
18	9.00	0.001	0.003	0.008	0.013	0.018	0.029	0.041
19	9.50		0.002	0.008	0.013	0.018	0.029	0.041
20	10.00			0.007	0.013	0.018	0.029	0.041
21	10.50				0.013	0.018	0.029	0.041
22	11.00				0.001	0.018	0.029	0.041
23	11.50					0.003	0.029	0.041
24	12.00						0.018	0.041
25	12.50							0.016

2.6 Dialogové řízení, uživatelský formulář

Formulář na Obr. 2 ukazuje uživatelský dialog programu Flood_V. Program se spouští příkazovým tlačítkem **start Flood_V** v levém horním rohu MS Excel Listu Titul_Vstupy. Využití je dle potřeby, příkladem je polder v Žarošicích

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Program Flood_V:	start Flood V											
2	Vývoj:												
3	Fakulta životního prostředí												
4	Česká zemědělská univerzita v Praze												
5	Katedra biotechnických úprav krajiny KBUK ad.												
6	Rešitelé: Pavel Kovář, Jiri Zezulák												
7	Metoda:												
8	Program vypočte objem a průběh návrhových povodňových vln												
9	proporcionálně s TUH, dle návrhových průtoků CHMU												

Flood_V: návrhové hydrogramy a objemy povodňových vln

Anotace programu

Program Flood_V je produkt
Fakulty životního prostředí
České zemědělské univerzity v Praze,
Katedra biotechnických úprav krajiny.

Řešitelé:
Pavel Kovář, Jiří Zezulák

Program Flood_V vypočte objem návrhové povodňové vlny proporcionálně s TUH, jestliže je zadána hodnota maximálních průtoků dle CHMU.

Jednotkový hydrogram TUH_SCS je vyjádřen na základě transformace standardního TUH_SCS dle reálných fyziografických charakteristik

Projekty a adresare

Lokalita: Adresář:

Scénář:

Výstup programu Flood_V (výsledné hydrogramy proporcionální s TUH_SCS):

N (-)	Qmax (m3/s)	Imax (-)	Tk (hod)	VOL (tis. m3)
1	0.06	4	1.50	0.46
2	0.14	4	1.60	1.10
5	0.3	4	1.74	2.72
10	0.49	5	1.85	4.71
20	0.75	5	1.97	7.01
50	1.2	5	2.11	11.73
100	1.7	5	2.19	17.42

Legenda:

Doba opakování: N (roky)

Hodnota kulminace (dle CHMU): Qmax (m3/s)

Poradnice doby kulminace: Imax (-)

Doba dobhání: Tk (hod)

Objem vlny: VOL (tis. m3)

Abnormality výpočtu a chyby:

casovy krok > 0.25*Tk -> možnost oscilace TUH pri výpočtu Qmax: 1-letá voda
casovy krok > 0.25*Tk -> možnost oscilace TUH pri výpočtu Qmax: 2-letá voda
casovy krok > 0.25*Tk -> možnost oscilace TUH pri výpočtu Qmax: 5-letá voda

Obr. 2 Dialogové řízení výpočtu programu Flood_V (př.: polder Žarošice)

3. Případová studie: „Návrh poldru na Němčickém potoce v Němčicích“

3.1 Obecné charakteristiky lokality

Protipovodňové opatření v katastrálním území obce Němčice (okr. Blansko) je řešeno poldrem nebo nádrží. Stavba slouží k zachycování vysokých průtoků z přívalových srážek a také k snížení transportu splavenin. Povodí poldru má charakteristiky uvedené v Tab. 3.

Tab. 4: Charakteristiky (faktory) povodí Němčický potok (profil Němčice)

Plocha povodí	F = 3,52 km ²
Průměrný sklon celého povodí:	ArcGIS: 8,57% Podle Herbsta: 8,41%
Průměrný sklon údolnice:	2,01 %
Délka údolnice:	1 900 m
	Reten = 3,0 mm
	N = 20
	II = 20

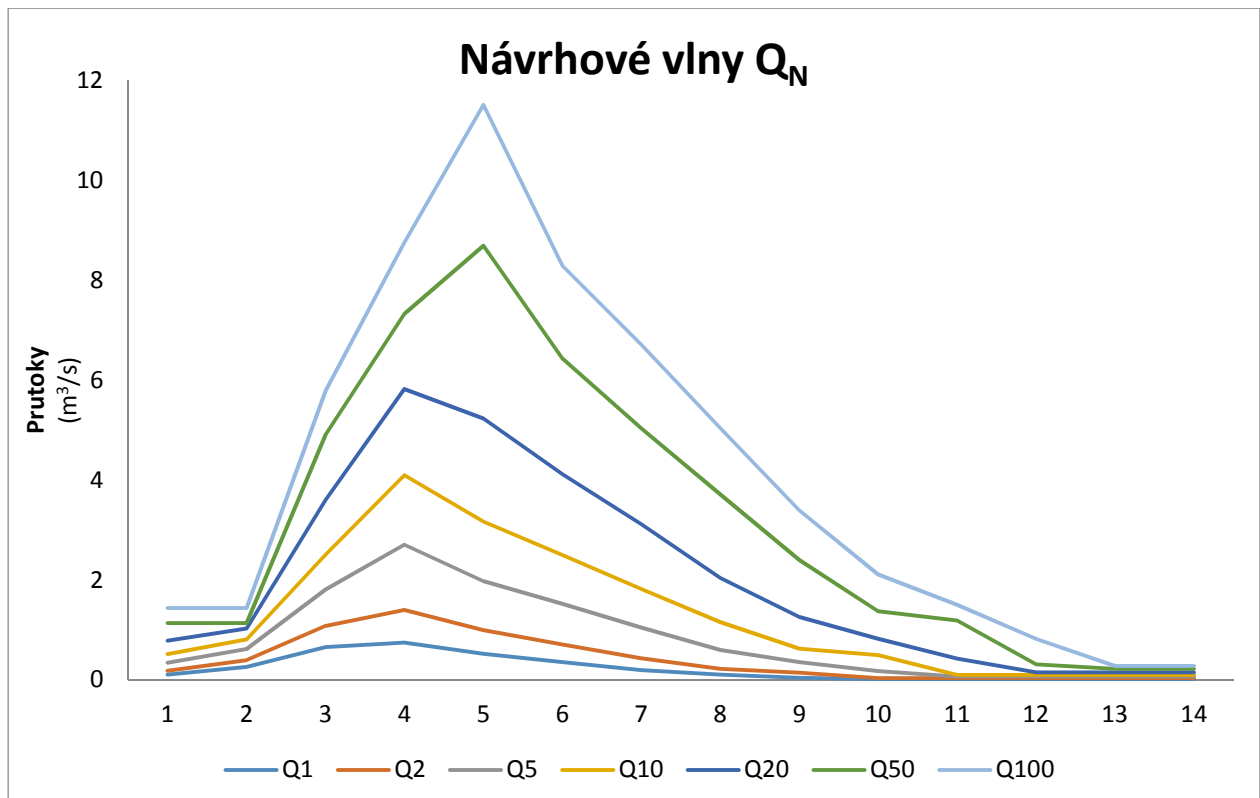
Hodnoty CN: $CN(II) = 75$ a $CN(III) = 88$

Technický popis:

Hráz poldru je situována na okraji obce Němčice. Je navržena jako zemní, homogenní o délce 163,5 m a šířce v koruně 3,0 m se spodní výpustí a bezpečnostním přelivem. Na násyp hráze byla použita zemina těžená v zátopě poldru. Korunový bezpečnostní přeliv je o šířce 17,0 m s přelivným paprskem o výšce 0,2 m. Dno i svahy nádrže jsou ohumusovány zeminou a osety travním semenem. Na západním okraji nádrže je proveden zatravněný sjezd pro možnost odtěžení sedimentů ze dna nádrže.

Výhodou hospodaření poldru je jednoduchá údržba spojená s uplatňováním zásad lučního hospodaření. Obecně je ale nutno upozornit na možnost usazování hrubých splavenin na dně poldru, které by mohlo mít negativní vliv na jeho obhospodařování a účinnost.

Návrhové povodňové vlny vypočtené z kulminačních průtoků poskytnutých ČHMÚ s dobou opakování $N = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let pro poldr v k. ú. Němčice jsou vykresleny na Obr. 3, objemy těchto vln a kulminační průtoky jsou pak uvedeny v Tab. 5.



Obr. 3: Návrhové hydrogramy graficky N = 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 let (Němčický Potok)

Tab. 5: Kulminace a objemy vody N-letých povodňových událostí pro povodí poldru Němčice

Doba opakování N	Kulminace (ČHMÚ)	Čistý objem vlny (KBÚK)
(rok)	($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$10^3 (\text{m}^3)$
1	0,75	22,95
2	1,40	41,90
5	2,70	83,87
10	4,10	131,33
20	5,80	204,29
50	8,70	334,94
100	11,50	429,29

3.2 Vstupní data programu Flood_V použité k výpočtu objemu a tvaru N -leté povodňové vlny ze známých fyzicko-geografických faktorů povodí a zadaných kulminací Q_{MAX} (ČHMÚ)

CNAME	název povodí	NĚMČICE
LSIMPLE	logická proměnná určující alternativu výpočtu:	TRUE
	LSIMPLE = T	jednodušší alternativa (TUH): Doporučujeme používat
	LSIMPLE = F	složitější alternativa (navrhovaný déšť+ konvoluce s TUH)
AREA	plocha povodí	3.52 (km ²)
L	délka údolnice (až k rozvodnici)	1900 (m)
Y	sklon údolnice	2.09 (%)
CN	číslo odtokové křivky (předchozí vláhové podmínky normální PVP II)	75
CNM	max. číslo odtokové křivky (vlhkost plně saturovaná PVP III)	88
RETEN	kapacita intercepce včetně objemu mikrodepresí (tj. počáteční bezodtoková retence deště (mm))	3.0
N	počet pořadnic návrhového deště (minimálně 1)	20
II	počet pořadnic zadaného hydrogramu (min. 20)	30
DELT	délka časového kroku (hod)	2.0
QU	doba opakování v letech (N let)	1-, 2-, 5-, 10-, 20-, 50- a 100 - let
QMAX	max. průtoky (dle (ČHMÚ))	0.75, 1.40, 2.70, 4.10, 5.80, 8.70, 11.50 (m ³ .s ⁻¹)

4. Literatura

- EU Flood Directive (2007): Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.
- EU Water Framework Directive (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, Strasbourg, 23. 10. 2000: 96 s.
- Ferguson B. K. (1998): Introduction to Stormwater. J.Wiley & Sons, Inc., 1998, ISBN: 0-471-16528-X, New York, USA.
- Kovář P., Pleštilová R. (2009): Metodika odvození objemu návrhových povodňových odtoků pro určování parametrů staveb protipovodňové ochrany na malých povodích. Konference krajinné inženýrství 2009, ISBN 978-80-903258-8-3, ČSKI, Praha.
- USDA SCS (1985): National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. U. S. Soil Conservation Service, Washington, D. C. USDA SCS, 1985: National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. U. S. Soil Conservation Service, Washington, D. C.
- US SCS (1992): Soil Conservation Service: Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 77, 2004, USDA Washington D. C.

Za obsah publikace odpovídají autoři
© prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc. a kolektiv