

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

KVANTIFIKACE PŘIROZENÉ VODNÍ RETENČNÍ SCHOPNOSTI KRAJINY VE VYBRANÝCH POVODÍCH

QUANTIFICATION OF NATURAL WATER RETENTION CAPACITY IN SELECTED WATERSHEDS

DISERTAČNÍ PRÁCE – ZKRÁCENÁ VERZE
DISSERTATION THESIS – SHORT VERSION

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. FRANTIŠEK PAVLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ, CSc.

BRNO 2014

KLÍČOVÁ SLOVA

Retence povodí, odtok, srážka, významnost, srážko-odtokový model, krajinný pokryv.

KEY WORDS

Watershed retention, runoff, precipitation, significance, rainfall-runoff model, land cover.

Práce je uložena v knihovnickém informačním centru, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno.

OBSAH

1 ÚVOD	5
2 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
2.1 Základní pojmy	6
2.2 Metody výpočtu retence vody v povodí.....	6
2.2.1 <i>Metoda stanovení efektivní retence povodí</i>	6
2.2.2 <i>Metoda stanovení retence povodí dle modelu lineárních nádrží</i>	7
3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	8
4 MATERIÁL A METODY ŘEŠENÍ.....	9
4.1 Charakteristiky řešených povodí.....	9
4.2 Výpočet retence povodí	11
4.2.1 <i>Metoda stanovení retence povodí dle modelu lineárních nádrží</i>	11
4.2.2 <i>Metoda stanovení efektivní retence povodí</i>	12
4.3 Srážko-odtokové modelování – HEC-HMS	14
4.3.1 <i>Simulace scénářů krajinného pokryvu v povodí Jičínky a Němčického potoka</i>	15
4.4 Metody statistické analýzy	16
5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUSE.....	16
5.1 Výsledky srážko-odtokového modelování.....	16
5.2 Vyhodnocení dosažených hodnot retence pro jednotlivá povodí	20
5.3 Statistické zpracování dosažených výsledků retence.....	23
5.3.1 <i>Korelační analýza</i>	23
5.3.2 <i>Vícenásobná lineární regrese</i>	25
6 ZÁVĚR A PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDNÍ DISCIPLÍNY	28
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	31

1 ÚVOD

Česká republika je významnou pramennou oblastí Evropy a z hydrologického hlediska ji lze označit za „střechu“ Evropy. V podstatě všechny významnější vodní toky odvádějí vodu mimo naše území. Důsledkem toho jsou naše vodní zdroje závislé výhradně na atmosférických srážkách (Starý, 2005). Tato skutečnost klade zvýšené nároky na celou oblast hospodaření s vodou.

Pojem vodní retence území se dostal výrazněji do popředí zájmů odborné veřejnosti až vlivem katastrofální povodně v roce 1997 (Dumbrovský a kol., 1998). Také ničivé povodně z roku 2002 a z června 2009 opět důrazně připomněly potřebu zabývat se protierozní a protipovodňovou ochranou, nejen při srážkách regionálních, ale také při srážkách přívalových, které se na území ČR vyskytují v podstatě každoročně. V diskuzi vodohospodářských a ekologických odborníků, jak nejlépe ochranu před těmito jevy zajistit, je jednou z otázek, zda preferovat řešení technická – výstavbou nebo rekonstrukcí nádrží, nebo přírodě blízká opatření zvyšující retenční schopnosti krajiny, či jejich vhodné kombinace.

Avšak povodňové situace nejsou jediným problémem, který vyžaduje podrobné studium vlivu jednotlivých parametrů povodí na retenci vody v povodí. S odhadem vývoje klimatického systému lze předpokládat snižování především minimálních, ale také dlouhodobých průměrných průtoků v říční síti (Kašpárek a kol., 2003) a tím i zásoby vody na našem území. Také se předpokládají změny v distribuci srážek v průběhu roku, odhadovány jsou četnější výskyty extrémních událostí, tj. na jedné straně zvýšení frekvence výskytu silných srážek, nebo podíl srážkových úhrnů ze silných dešťů (Došek a Hollan, 2008) a na druhé straně výskyt období sucha. Poroste množství srážek v obdobích přívalových srážek a poklesne mimo ně. Výsledkem budou silnější či častější povodně než v minulosti, nebo naopak budou období a regiony výrazněji postižené suchem (IPCC, 2007).

Podporou přirozené vodní retence vhodnými opatřeními v krajině je možno napomáhat ke snižování průtokových špiček za povodňových událostí a také k zvyšování zásob podzemních vod. V současné době převažuje velkoplošné pěstování monokultur jak v lesní, tak i v zemědělské části povodí. Problematika kvantifikace přirozené vodní retenční schopnosti krajiny za povodně je složitý fyzikální děj, přičemž konkrétní velikost retence v průběhu času povodňové události ovlivňuje mnoho faktorů spjatých s fyzikálními vlastnostmi povodí.

Předmětem práce je kvantifikovat přirozenou vodní retenční schopnost krajiny při povodních jak z přívalových, tak také z regionálních srážek ve vybraných povodích s využitím hydrologických metod popsanych Švihlou a kol. (2007a, 2007b) a Dumbrovským a kol. (1998). Metody pro stanovení retenční schopnosti povodí při extrémních srážkových událostech nejsou u nás příliš známy, včetně vymezení pojmů týkajících se retence povodí.

2 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Retence vody – dle ČSN 75 0101 lze retenci vody definovat takto:

- 1) dočasné přirozené nebo umělé zadržení vody na povrchu terénu, v půdě, v korytě toku, vodní nádrži apod.,
- 2) objem vody dočasně zadržené na povrchu terénu, v půdě, v korytě toku, vodní nádrži apod.,
- 3) rozdíl přítoku do uvažovaného prostoru a odtoku z něho za časovou jednotku.

Retence krátkodobá – odpovídá objemu povrchového a rychlého hypodermického odtoku.

Retence dlouhodobá – odpovídá objemu pomalého hypodermického odtoku, objemu podzemního odtoku a územního výparu.

Retence dynamická – akumulovaná zásoba vody v povodí v době kulminace průtoku.

Retence statická – voda, která zůstane v povodí po odtoku povodňové vlny.

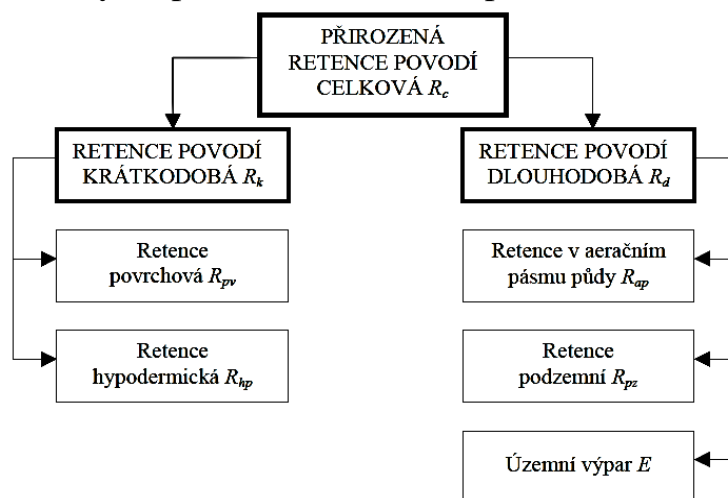
Erozní jevy způsobené povrchově stékající vodou jsou výsledkem složitých přírodních procesů. Stanovení jejich průběh.

2.2 METODY VÝPOČTU RETENCE VODY V POVODÍ

2.2.1 Metoda stanovení efektivní retence povodí

Tato metoda je podrobně popsána např. Dumbrovským a kol. (1998), nebo Spitzem a Prudkým (2000).

Autoři metody definují celkovou přirozenou vodní retenci povodí R_c jako vodu (bez retence v umělých vodních nádržích a v inundacích), která je dočasně zdržená na povrchu plochy povodí, v půdním pokryvu, v lokálních terénních depresích, v korytě toku aj. přirozeným způsobem a sestává z pěti složek viz obr. 1.



Obr. 1 Schéma rozdělení celkové přirozené retence povodí (Dumbrovský a kol., 1998)

Vztah mezi okamžitou celkovou přirozenou retencí povodí R_{ct} (m^3), součtem srážek ΣH_t (m^3) v t dílčích časových intervalech, součtovým průtokem v závěrovém profilu ΣQ_t (m^3) a popřípadě součtovým retenčním objemem v umělých nádržích a inundacích Σr_t (m^3) za čas t od začátku povodňové události je možné vyjádřit vztahem:

$$R_{ct} = \sum_{t=1}^n H_t - \sum_{t=1}^n Q_t - \sum_{t=1}^n r_t \quad (1)$$

přičemž v případě, že v povodí nejsou umělé vodní nádrže ani inundace je $\Sigma r_t = 0$. Celková přirozená retence povodí R_{ct} (m^3) v každém čase t je rovna součtu retence krátkodobé R_{kt} (m^3) a dlouhodobé R_{dt} (m^3):

$$R_{ct} = R_{kt} + R_{dt} \quad (2)$$

Průběh retence povodí při povodni je možno charakterizovat čtyřmi po sobě jdoucími fázemi:

1. Narůstání dlouhodobé retence povodí.
2. Vznik a vývoj krátkodobé retence povodí do její kulminace při současném pokračujícím narůstání dlouhodobé retence.
3. Postupný pokles krátkodobé retence povodí od její kulminace při současném dalším nárůstu dlouhodobé retence.
4. Konec krátkodobé retence a postupný pokles dlouhodobé retence.

2.2.2 Metoda stanovení retence povodí dle modelu lineárních nádrží

Řešení této metody popsané podrobně Švihlou a kol. (2007a, 2007b) vychází z hydrologické bilance (HB) a analýzy hydrogramu povodňových vln. Pro analýzu povodňových vln byla zvolena metoda lineárních nádrží (LN) (Wesseling, 1973; Chow a kol., 1988; Kraijenhoff a kol., 1966; Švihla a kol., 1992, 2007a) vycházející z rovnic pro jednotlivé složky odtoku. HB lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$HS = Q(z) + Q(p) + Q(pp) + E(t) + J(t) + R(st) \quad (3)$$

kde:

HS – objem ovzdušných srážek (mm),

$Q(z)$ – úhrn odtoku z lineární nádrže z – základního odtoku (mm),

$Q(p)$ – úhrn odtoku z lineární nádrže p – povrchového odtoku (mm),

$Q(pp)$ – úhrn odtoku z lineární nádrže pp – podpovrchového odtoku (mm),

$E(t)$ – evapotranspirace (mm),

$J(t)$ – intercepce (mm),

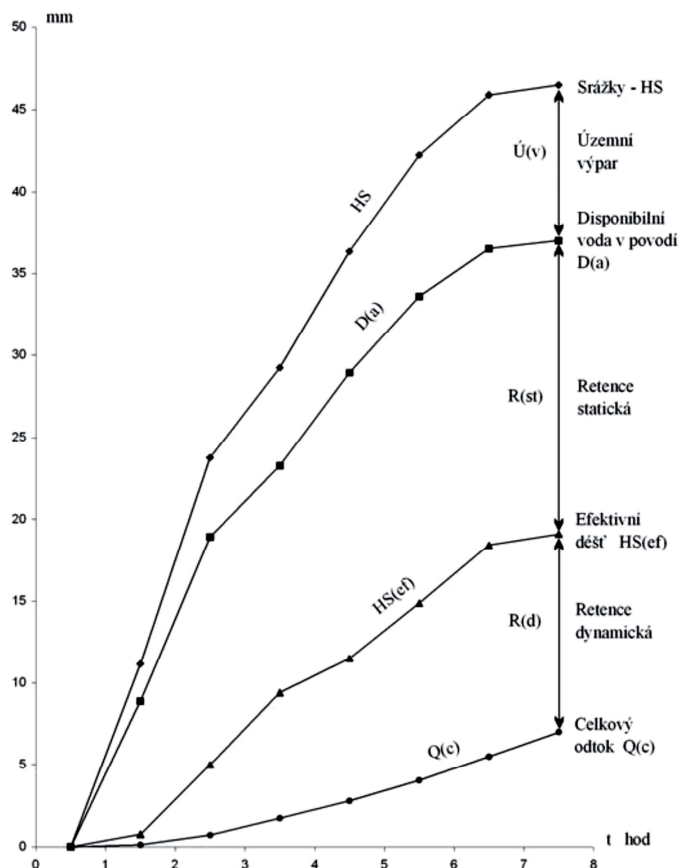
$R(st)$ – objem retence vody v povodí po odtoku povodňové vlny (mm).

V době do kulminace odtokové vlny spadne odpovídající objem srážek HS (mm), odečtou objemy odtokových složek vytvářejících vzestupnou větev hydrogramu odtoku (HO), projeví se bilančně přibližně objem územního výparu $E(t)$ (mm) + $J(t)$ (mm) a na povodí se akumuluje objem retenčně zadržené vody, tj. disponibilní vody v povodí $D(a)$ (mm) v době kulminace odtokového excesu. Protože je znám průběh ovzdušných srážek HS , odtoku Q (mm), evapotranspirace $E(t)$, intercepce $J(t)$

a efektivní srážky $HS(ef.)$, je možno určit základní parametry HB vybraných povodňových vln. Rovnice 3 se upraví na tvar, který určuje $D(a)$.

$$HS - E(t) - J(t) = \sum Q + R(st) = D(a) \quad (4)$$

V odtokovém procesu se projevuje retence dynamická $R(d)$ a retence statická $R(st)$ viz obr. 2.



Obr. 2 Hydrologická bilance povodňové vlny (Švihla a kol. 2007b)

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem této disertační práce je kvantifikovat přirozenou vodní retenci krajiny při povodni a její základní složky ve vybraných povodích. Problematika bude řešena jak u povodní z přívalových srážek, tak také u povodní ze srážek regionálních.

Cílem této práce je také provést analýzy nejvýznamnějších faktorů (s využitím nástrojů GIS) ovlivňujících průběh retence vody v povodí (morfologické, hydropedologické a hydrogeologické charakteristiky, či nasycenost povodí, parametry příčinného deště a krajinného pokryvu) a stanovit jejich významnost pro tvorbu jednotlivých složek retence.

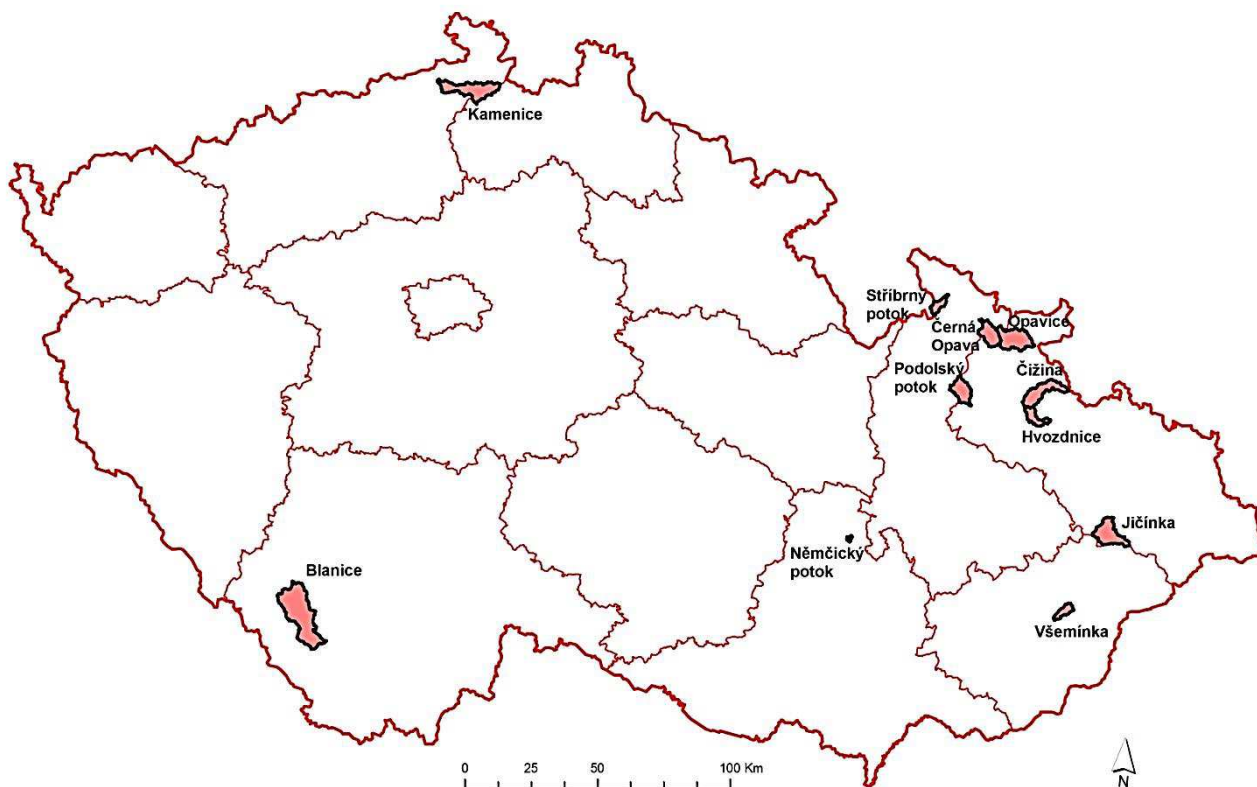
Dalším cílem práce je porovnání dvou různých způsobů hodnocení přirozené vodní retence krajiny a porovnání rozdílů ve významnostech jednotlivých fyzicko-geografických faktorů ovlivňujících průběh retence vody v povodí.

Dílním cílem práce je sestavení matematického srážko-odtokového modelu na dvou povodích a provedení simulace scénářů využívání krajiny a posouzení vlivu konkrétních změn v krajině na odtokové poměry retence povodí.

4 MATERIÁL A METODY ŘEŠENÍ

4.1 CHARAKTERISTIKY ŘEŠENÝCH POVODÍ

Pro naplnění cílů práce, uvedených výše bylo finálně vybráno 11 povodí, jejichž umístění v rámci ČR je patrné z obr. 3 a 18 srážko-odtokových (S-O) epizod. Seznam řešených povodí a S-O epizod včetně jejich charakteristik je zobrazen v tab. 1.



Obr. 3 Umístění řešených povodí v rámci ČR

Počáteční datový soubor však obsahoval řadu dalších S-O událostí v těchto (tab. 1), ale i dalších povodích. Tyto S-O události byly studovány, avšak pro další hodnocení již nebyly vhodné a nebyly tedy do finálního výběru vybrány. Nejčastějším důvodem pro vyřazení S-O události byl nevhodný průběh srážek a průtoků, který by v rámci rozboru hydrogramu bylo velmi obtížné hodnotit. Dalším důvodem vyřazení některých S-O událostí byla nespolehlivost měřených dat, kdy by bylo velmi obtížné nalézt příčiny nízkých či někdy naopak vysokých průtoků vyvolaných konkrétní srážkou.

Na retenční schopnost povodí má vliv více činitelů. Nejvýznamnější z nich byly v práci pro řešená povodí stanoveny a následně byla určena jejich významnost na tvorbu jednotlivých složek retence prostřednictvím statistické analýzy. Jedná se o morfologické poměry (plocha povodí, délka vodního toku, koeficient tvaru povodí a průměrný sklon povodí), krajinný pokryv, hydrologické poměry půd, celkový úhrn a intenzita příčinného deště a nasycenost povodí předchozími srážkami (tab. 1).

Tab. 1 Charakteristiky řešených povodí a jednotlivých S-O událostí

Vodní tok (závěrový profil)	Období povodňové události	Srážkoměrná stanice	Délka trvání děště t_d [min]	Celkový srážkový úhrn děště H_s [mm]	Intenzita příčinného děště i_d [mm.min ⁻¹]	Kulmi- nační průtok [m ³ .s ⁻¹]	Doba opaková- ní jevu [rok]	Plocha povodí P [km ²]	Délka toku L [km]	Kof. tvary povodí α [-]	Sklon povodí s [%]	HSP [%]				Land Use [%]			
												A	B	C	D	Orná půda	Lesy	Zast. plocha	
Černá Opava (Mnichov)	1997	Karlovice	8640	322.4	0.04	64.7	100*	51.3	15.4	0.2	18.6	6.0	81.3	2.1	8.6	1.1	8.2	90.4	0.3
	2007		5760	148.5	0.03	21.1	5-10*	51.3	15.4	0.2	18.6	6.0	81.3	2.1	8.6	0.0	7.3	92.1	0.3
Hvozdnice (Jakartovice)	1997	Slezská Harta	8640	162.4	0.02	11.9	10-20	30.9	14.1	0.2	7.9	2.0	52.0	44.3	1.5	54.6	6.1	33.1	3.1
Sitibný potok (Žulová)	2009	Šerák	480	52.4	0.11	29.4	< 50*	21.4	12.3	0.1	28.9	14.1	76.3	9.4	0.1	1.2	7.8	90.0	0.4
Podolský potok (Rýmařov)	1977	Rýmařov	1320	48.1	0.04	28.8	10-20**	50.7	14.5	0.2	17.1	33.0	46.5	12.8	6.2	10.0	6.0	80.0	4.0
Opavice (Město Albrechtice)	1967	Žáry	900	54.6	0.06	30.3	5-10**	83.9	21.0	0.2	21.9	4.1	87.5	3.6	2.1	16.3	25.3	54.3	4.1
	1968		2640	79.6	0.03	40.0	10-20**	83.9	21.0	0.2	21.9	4.1	87.5	3.6	2.1	16.3	25.3	54.3	4.1
Všemínka (Slušovice)	1965	Vizovice	900	25.6	0.03	9.0	2-5**	21.5	9.9	0.2	21.2	0.1	53.1	24.2	20.2	9.3	29.7	56.7	4.3
Kamenice (Srbská Kamenice)	2009	Chříbská	240	16.5	0.07	38.6	10-20*	97.3	23.8	0.2	16.9	23.4	41.6	27.5	6.9	5.4	26.2	59.6	8.3
Blanice (Podedvorský mlýn)	2009	Husinec	600	51.3	0.09	151.2	100*	202.8	34.8	0.2	13.8	27.5	41.5	22.4	8.6	2.7	35.9	61.0	0.4
Čížna (Pustý mlýn)	1997 H	Lichnov, Cvilín, Razová	2220	146.7	0.07	49.7	100	70.8	22.7	0.1	9.2	2.8	60.6	20.2	14.0	45.2	8.7	41.5	4.3
	1997		2580	188.6	0.07	72.5	> 100	70.8	22.7	0.1	9.2	2.8	60.6	20.2	14.0	45.2	8.7	41.5	4.3
Jičínka (Nový Jičín)	2007	Hodslavice, Veřovice	3120	162.8	0.05	98.0	< 50*	75.9	16.6	0.3	16.3	5.8	43.2	18.5	32.5	9.9	38.4	40.6	11.2
	2009		360	78.9	0.22	269.5	>> 100*	75.9	16.6	0.3	16.3	5.8	43.2	18.5	32.5	9.9	38.4	40.6	11.2
Němčický potok (N2)	Jul 2009	stanice VÚMOP	290	29.4	0.10	1.0	< 2	2.8	2.0	0.7	6.8	0.7	68.8	23.1	7.4	51.9	9.6	31.1	6.7
	Jun 2010		110	31.7	0.29	0.6	< 2	2.8	2.0	0.7	6.8	0.7	68.8	23.1	7.4	51.9	9.6	31.1	6.7
	May 2010		780	39.5	0.05	0.7	< 2	2.8	2.0	0.7	6.8	0.7	68.8	23.1	7.4	51.9	9.6	31.1	6.7
	Aug 2010		1620	44.6	0.03	0.4	< 2	2.8	2.0	0.7	6.8	0.7	68.8	23.1	7.4	51.9	9.6	31.1	6.7

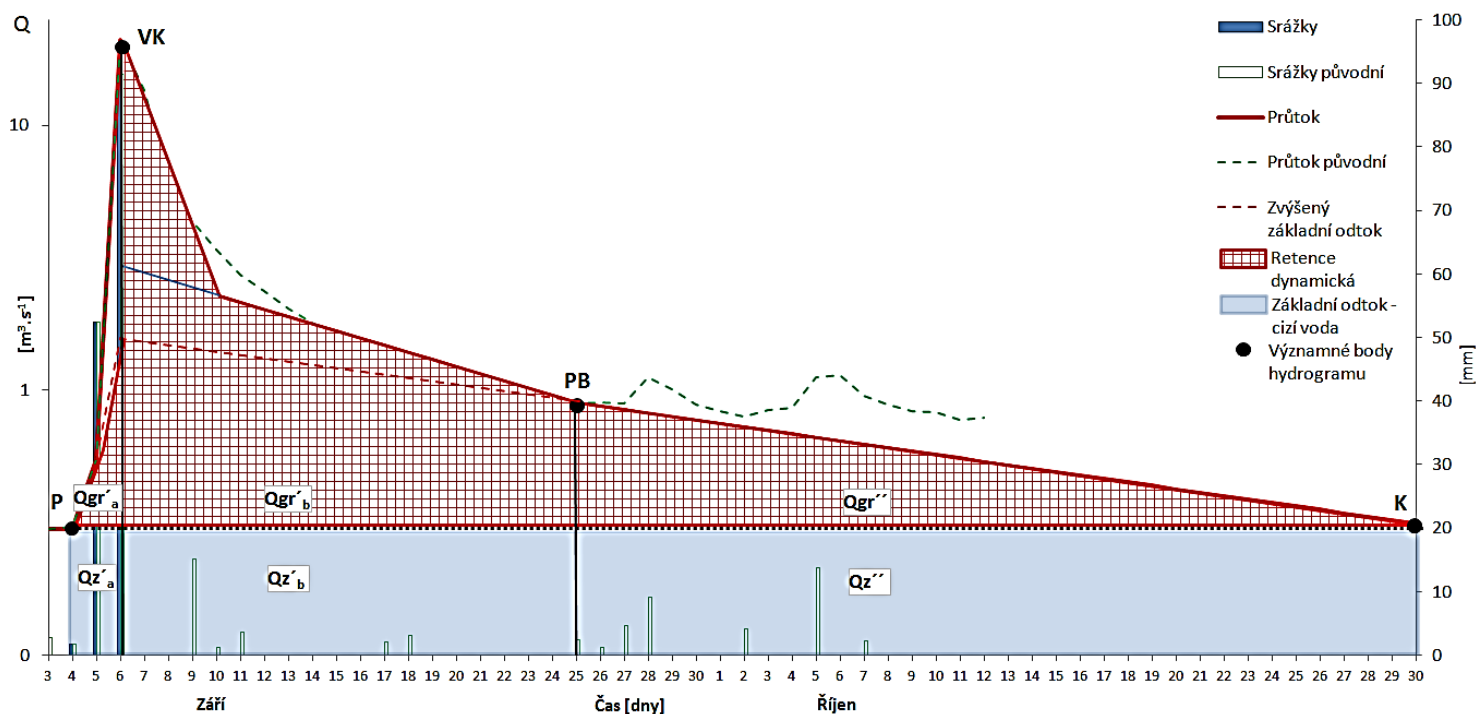
4.2 VÝPOČET RETENCE POVODÍ

Pro výpočet retence vody v povodí byly v této práci uplatněny tři metody výpočtu, kde dvě byly původní a jedna byla nově navržená. Jako první byla vybrána tzv. metoda stanovení retence povodí dle modelu lineárních nádrží, publikována Švihlou a kol. (2007a, 2007b), kterou autoři uplatnili při studiu odtokového procesu na malém lesním povodí. Jako druhá byla v této práci využita tzv. metoda stanovení efektivní retence, publikovaná v dílčí zprávě projektu „Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997“ Dumbrovským a kol. (1998). Jako třetí byla využita nově provedená modifikace metody druhé. V modifikaci původní metody je uvažováno s vývojem krátkodobé retence do okamžiku kulminace průtoku. To znamená, že v tento okamžik celková retence nemusí nabývat své maximální hodnoty. Dojde tedy ke změně doby trvání 2. a 3. fáze viz kap. 2.2.1.

4.2.1 Metoda stanovení retence povodí dle modelu lineárních nádrží

Pro stanovení celkové retence a jejích dvou hlavních složek bylo použito následujícího postupu:

- Vynesení příčných srážek a průtoků do grafu v semilogaritmickém měřítku (osa průtoku v logaritmickém měřítku).
- Úprava vstupních dat (obr. 4).
- Identifikace významných bodů hydrogramu viz obr. 4.



Obr. 4 Schéma významných bodů hydrogramu a označení složek odtoku

- Výpočet složek retence povodí při povodni – viz vzorce 5 a 6.

Retence dynamická:

Je to voda zadržaná v povodí v době kulminace velké vody, která v klesající větvi hydrogramu odtoku (HO) z povodí odteče. Je rovna sumě povodňového odtoku snížené o sumu odtoku do doby kulminace velké vody $t(k)$.

$$R(d) = \sum Q - \sum_{t=t(k)}^{t-1} Q \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

Retence statická:

Je voda, která zůstane v povodí po odtoku povodňové vlny. Jedná se tedy o vodu zachycenou převážně v kapilárních pórech půdního prostředí.

$$R(st) = D(a) - \sum Q \quad (\text{mm}) \quad (6)$$

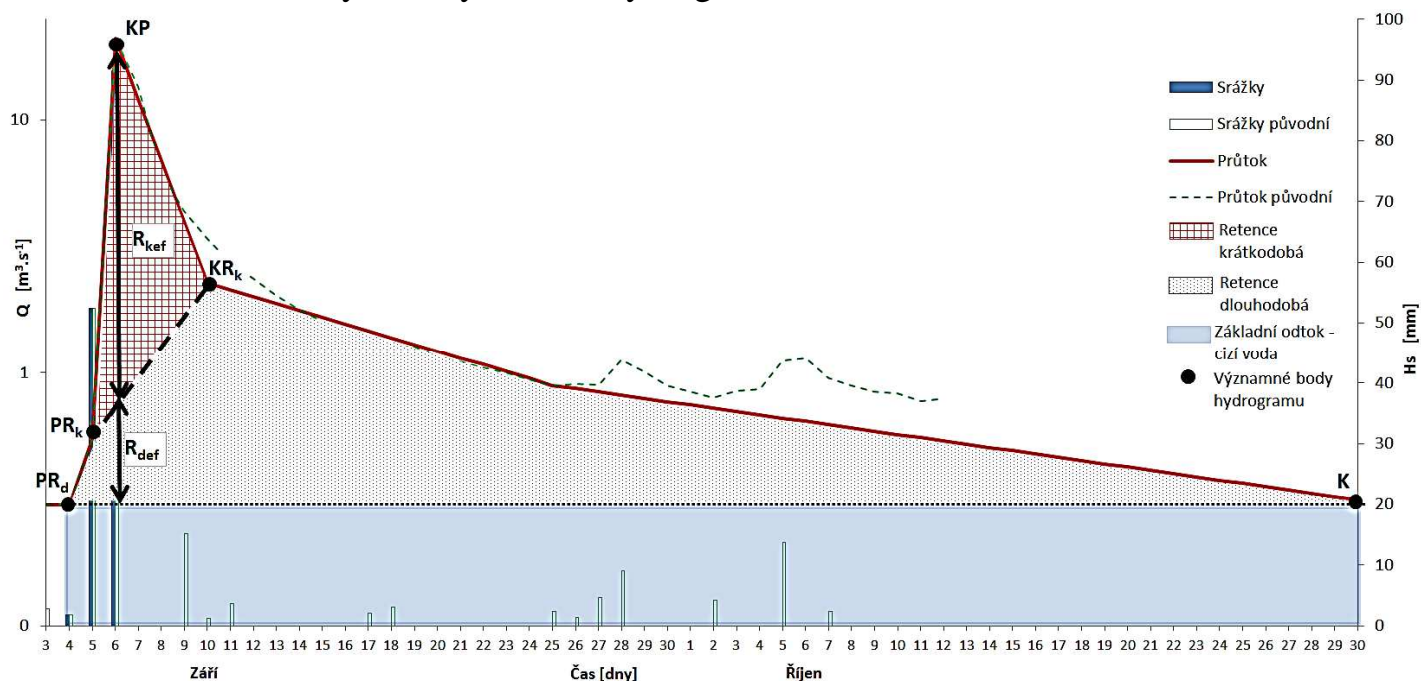
V této metodě stanovení efektivní retence je nově definován tzv. koeficient poměru retence δ_{ef} (-), který lze vyjádřit vztahem:

$$\delta = Rst / Rd \quad (7)$$

4.2.2 Metoda stanovení efektivní retence povodí

Tato kapitola popisuje pracovní postup dvou výše uvedených metod (druhé a třetí), jak metody původní, tak také metody modifikované. Pracovní postup obou metod se liší v posledním bodě z níže uvedených:

- Vynesení příčných srážek a průtoků do grafu v semilogaritmickém měřítku (osa průtoků v logaritmickém měřítku).
- Úprava vstupních dat (obr. 5).
- Identifikace významných bodů hydrogramu viz obr. 5.



Obr. 5 Schéma identifikace významných bodů hydrogramu

kde:

PR_d – Počátek retence dlouhodobé, je to okamžik počátku srážko-odtokové epizody kdy stav průtoků je v závěrovém profilu povodí setrvalý.

- PR_k – Počátek retence krátkodobé, je to okamžik výrazného zvýšení průtoku v závěrovém profilu povodí.
- KP – Kulminace průtoku.
- KR_k – Konec retence krátkodobé, je to okamžik výrazného poklesu průtoku v závěrovém profilu povodí.
- K – Konec srážko-odtokové epizody, průtok v závěrovém profilu povodí opět klesl na hodnotu počátečního (setrvalého) průtoku v bodě PR_d.

- Tvorba součtových čar srážky, průtoku a celkové retence.

Rozdílem součtových čar srážek a průtoku lze získat čaru celkové retence viz obr. 5, kterou lze vypočítat dle následujícího vzorce:

$$R_{cef} = \sum_{t=PR_d}^K H_{s_t} - \sum_{t=PR_d}^K Q_t \quad (8)$$

kde:

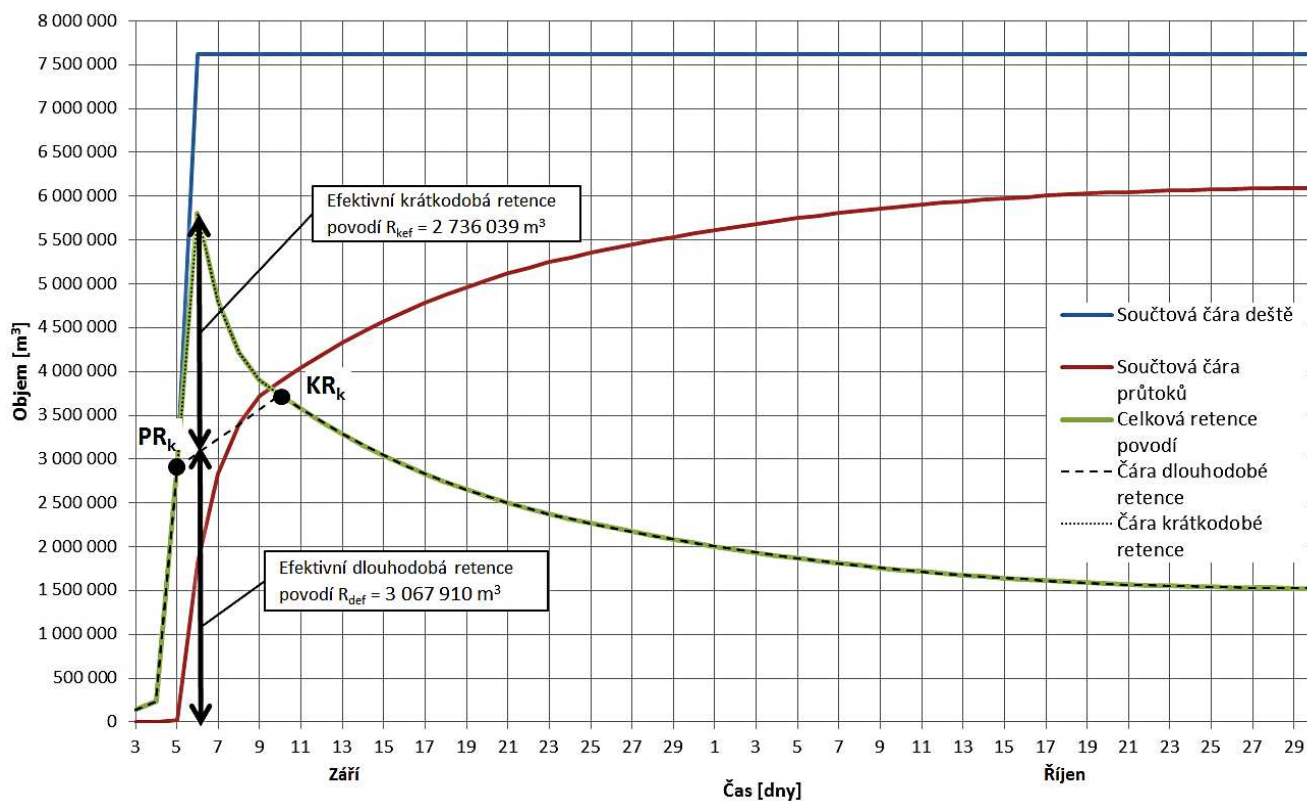
R_{cef} – celková efektivní retence (m³),

H_{s_t} – objem příčinného deště (m³),

Q_t – objem odtoku (m³).

- Rozdělení retence na retenci dlouhodobou a krátkodobou.

Při rozdělení celkové retence na její dvě hlavní složky, retenci krátkodobou a retenci dlouhodobou, se předpokládá lineární průběh retence dlouhodobé po dobu trvání retence krátkodobé viz obr. 6. Ta probíhá mezi body hydrogramu PR_k a KR_k, které byly identifikovány při rozboru hydrogramu (obr. 5).



Obr. 6 Schéma rozdělení celkové retence na retenci krátkodobou a retenci dlouhodobou

- Určení tzv. efektivní retence.

V modifikaci původní metody, postup a), je hodnocena celková efektivní retence a její složky v čase kulminace průtoku, který je považován za nejvýznamnější bod povodňové situace a právě v tomto bodě je žádoucí, aby retence povodí dosahovala, pokud možno, co nejvyšších hodnot.

- a) Určení efektivní dlouhodobé retence Rd_{ef} (m^3) a efektivní krátkodobé retence Rk_{ef} (m^3) v čase kulminace průtoku.
- b) Určení efektivní dlouhodobé retence Rd_{ef} (m^3) a efektivní krátkodobé retence Rk_{ef} (m^3) v čase kulminace celkové retence.

Také u těchto dvou metod stanovení retence povodí je v této práci nově definován tzv. koeficient poměru retence δ (-), který lze vyjádřit vztahem:

$$\delta_{ef} = Rd_{ef} / Rk_{ef} \quad (9)$$

4.3 SRÁŽKO-ODTOKOVÉ MODELOVÁNÍ – HEC-HMS

Pro možnost posouzení vlivu konkrétních změn krajiny na odtokové poměry a retenci povodí na vybraných povodích, bylo přistoupeno k vytvoření S-O modelu, jehož prostřednictvím byly následně simulovány umělé scénáře změn krajinného pokryvu. Byly simulovány jak scénáře pozitivní, tak také negativní. Simulace byly následně analyzovány z hlediska retence povodí a mohl tak být posouzen vliv konkrétních změn krajinného pokryvu na celkovou retenci povodí a její složky.

Při řešení této práce byly sestaveny 3 S-O modely. První model byl sestaven na povodí Jičínky, kde pro kalibraci byla využita povodňová situace z června 2009 a pro verifikaci byla použita povodňová situace ze září 2007. Druhý a třetí model byl sestaven na povodí Němčického potoka. Modely se liší typem srážek, které vyvolaly odtokovou situaci. Jeden z nich byl kalibrován a následně verifikován na situace vyvolané přívalovými dešti, druhý na situace vyvolané déle trvajících dešti.

V první fázi tvorby S-O modelu byla provedena v prostředí GIS schematizace řešeného povodí s využitím nástrojů HEC-GeoHMS (HEC, 2010) a ArcHydro tools (Scopel, 2011), které pracují nad hydrologicky korektním DMT. V další fázi přípravy dat pro sestavení S-O modelu byly s využitím nástrojů HEC-GeoHMS definovány vlastnosti ploch nově vzniklých dílčích povodí. Jedná se především o plochu dílčího povodí a další parametry dle zvolených výpočtových metod. V této práci byla pro výpočet přímého odtoku zvolena metoda SCS CN. Pro výpočet transformace přímého odtoku byla zvolena metoda Clarkova jednotkového hydrogramu, která je charakterizována parametry doby koncentrace T_c a retenční konstanty R . Další součástí S-O modelu, jehož parametry byly zadávány přímo v programu HEC-HMS byl způsob výpočtu podzemního odtoku (recesní metoda) a odtoku korytem (metoda Muskingum-Cunge). Ty je možné zadávat

prostřednictvím časových řad přímo v programu HEC-HMS, stejně jako data měřených průtoků.

4.3.1 Simulace scénářů krajinného pokryvu v povodí Jičínky a Němčického potoka

Pro možnost posouzení vlivu konkrétních změn krajinného pokryvu na jednotlivé složky odtoku a následně složek retence, byly na kalibrovaných a verifikovaných S-O modelech provedeny simulace scénářů krajinného pokryvu.

Povodí Jičínky

V povodí Jičínky byly sestaveny 3 scénáře krajinného pokryvu, dva příznivé a jeden nepříznivý.

Scénář – příznivý 1

Tento scénář spočíval v zalesnění veškerých trvalých travních porostů (TTP) s předpokladem dobrých hydrologických podmínek. Zalesněno bylo cca 38 % plochy povodí.

Scénář – příznivý 2

Tento scénář spočíval v zatravnění veškeré orné půdy, cca 10 % plochy povodí.

Scénář – nepříznivý

Tento scénář spočíval v zornění veškerých TTP (cca 32 % plochy povodí), s předpokladem pěstování širokořádkových kultur po spádnici u nově zorněných ploch.

Povodí Němčického potoka

V povodí Němčického potoka byly sestaveny 4 scénáře krajinného pokryvu, dva příznivé a dva nepříznivé pro každý S-O model.

Scénář – příznivý 1

Tento scénář spočíval v návrhu tzv. organizačních a agrotechnických opatření. Navrženo bylo vyloučení pěstování erozně nebezpečných plodin, tedy že veškerá orná půda cca 52 % bude oseta po vrstevnicích úzkořádkovými plodinami dostatečně kryjícími povrch půdy v období výskytu přívalových srážek. A dále byly navrženy agrotechnická opatření s ponecháváním posklizňových zbytků, s předpokladem dobrých hydrologických podmínek.

Scénář – příznivý 2

Tento scénář spočíval v zatravnění veškeré orné půdy, cca 52 % plochy povodí.

Scénář – nepříznivý 1

Tento scénář opět spočíval v „opatřeních“ organizačního a agrotechnického charakteru. Předpokládá se, že veškerá orná půda (cca 52 % plochy povodí) bude využívána tím nejhorším možným způsobem, tj. pěstování erozně nebezpečných plodin (kukuřice, slunečnice apod.) s orbou kolmou na vrstevnice. Předpokládají se špatné hydrologické podmínky.

Scénář – nepříznivý 2

Tento scénář vychází ze scénáře „nepříznivý 1“, předpokládá tedy nejhorší možné podmínky na stávající orné půdě a k tomu navíc předpokládá převedení všech TTP (cca 10 % plochy povodí) na ornou půdu s nejhoršími možnými podmínkami, stejně jako ve scénáři „nepříznivý 1“.

4.4 METODY STATISTICKÉ ANALÝZY

Pro posouzení, zda mezi sledovanými veličinami, tj. mezi jednotlivými složkami retence a fyzicko-geografickými parametry povodí existuje potenciální vztah, byla využita korelační analýza. V práci byla použita Spearmanova korelace, která je robustní vůči odlehlým hodnotám i odchylkám od normality.

V práci byla také pro definování vztahů mezi sadou nezávisle proměnných (fyzicko-geografické parametry povodí) a jednou závisle proměnnou (složka retence) využita vícenásobná lineární regrese. Byla využita metoda Stepwise, která je dle Rabušice (2004) vhodná, chceme-li maximalizovat predikci s pokud možno co nejmenším počtem relevantních proměnných.

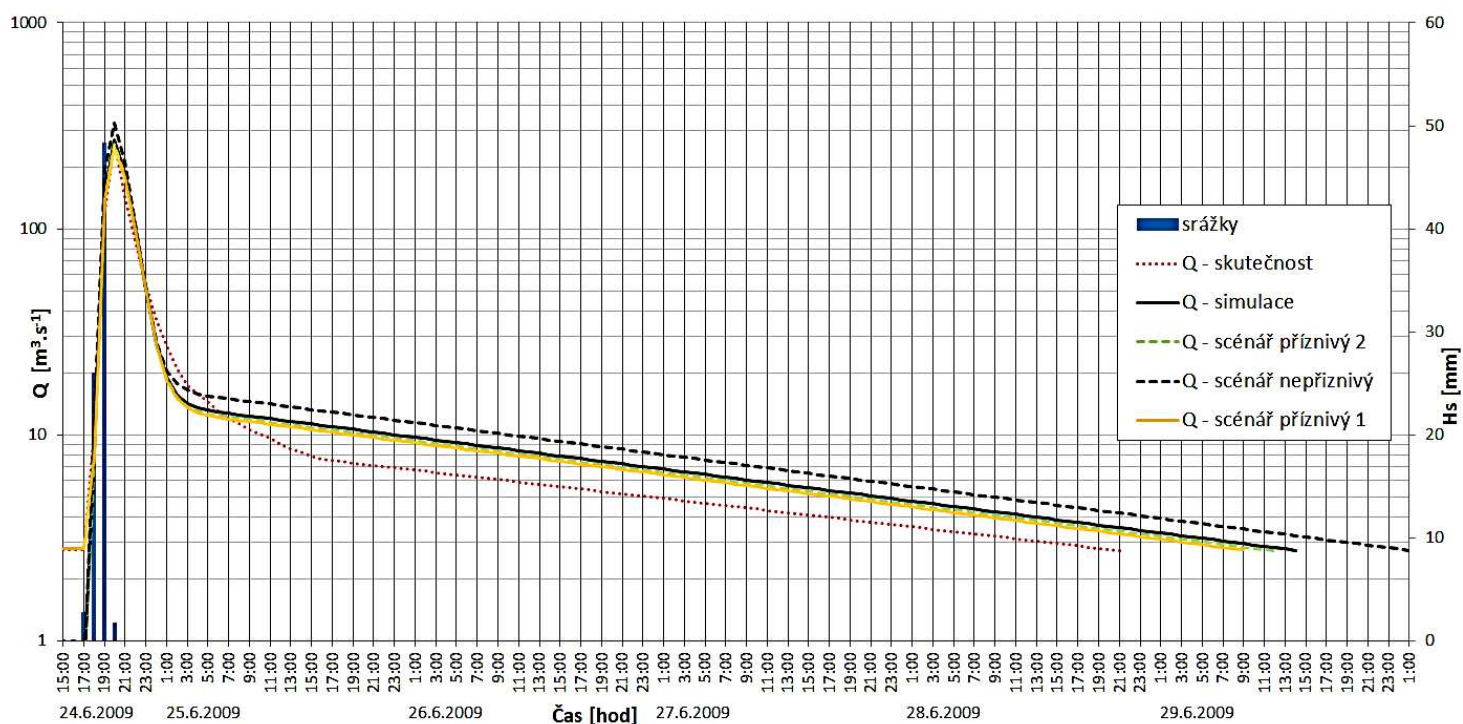
5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 VÝSLEDKY SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO MODELOVÁNÍ

Na kalibrovaných a verifikovaných modelech byly provedeny simulace jednotlivých scénářů krajinného pokryvu v obou modelovaných povodích. Tyto simulace byly provedeny za účelem posouzení vlivu konkrétních změn krajinného pokryvu na jednotlivé složky odtoku a následně složek retence. Byly provedeny výpočty odtokových charakteristik viz tab. 2–4 a také byly sestrojeny hydrogramy odtoku viz obr. 7–9, na nichž byly dále uplatněny postupy stanovení jednotlivých složek retence viz kap. 4.2.

Tab. 2 Porovnání jednotlivých scénářů – Jičínka 2009

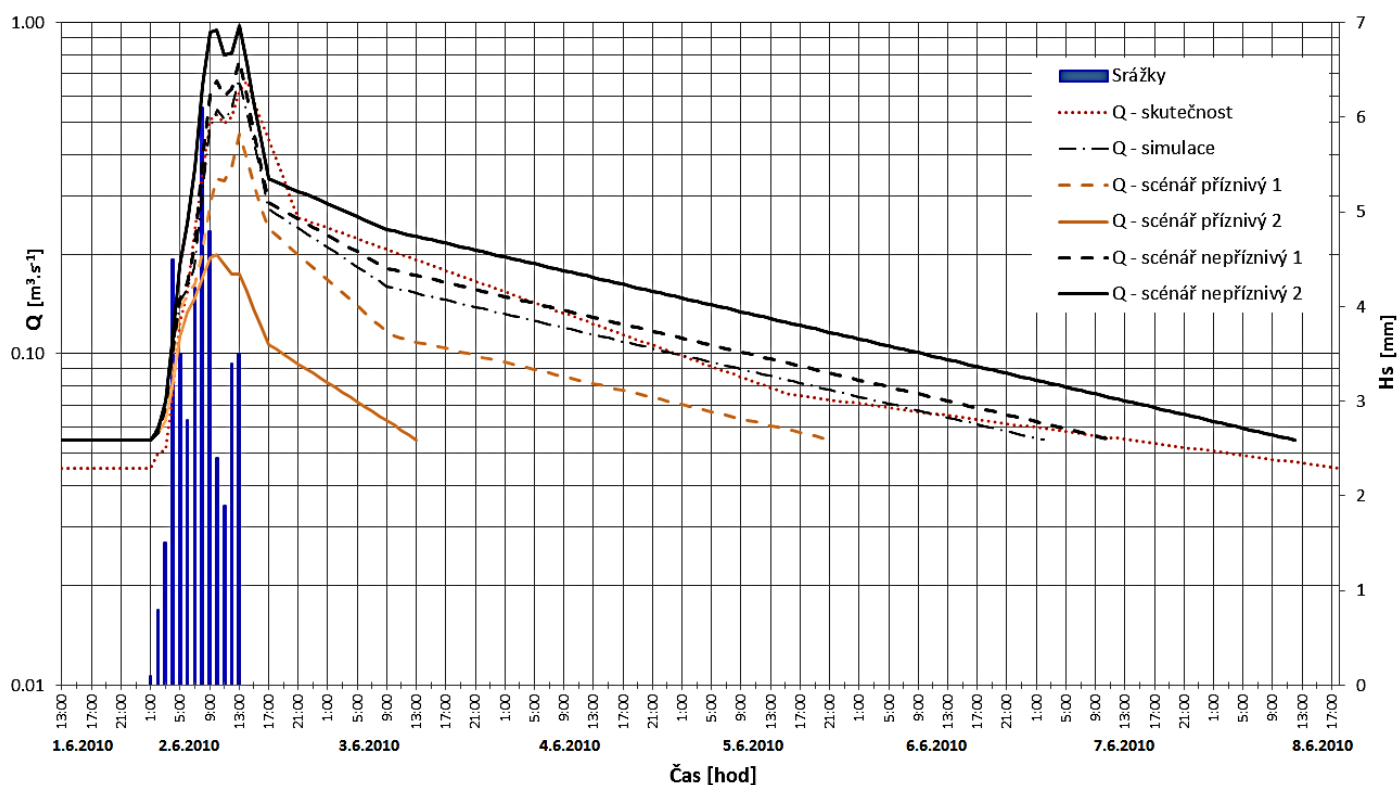
Scénář	Průtok v kulminaci povodně [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Výška celkového odtoku [mm]	Změna kulminace průtoku [%]	Změna výšky odtoku [%]
Skutečnost	269,5	55,5	–	–
Simulace	270,5	55,5	–	–
Příznivý 1	249,9	52,4	–7,6	–5,8
Příznivý 2	257,7	53,7	–4,7	–3,4
Nepříznivý	325,9	64,5	+20,5	+16,0



Obr. 7 Porovnání průtoků dle jednotlivých scénářů – Jičínka 2009

Tab. 3 Porovnání jednotlivých scénářů – Němčický potok (model 1)

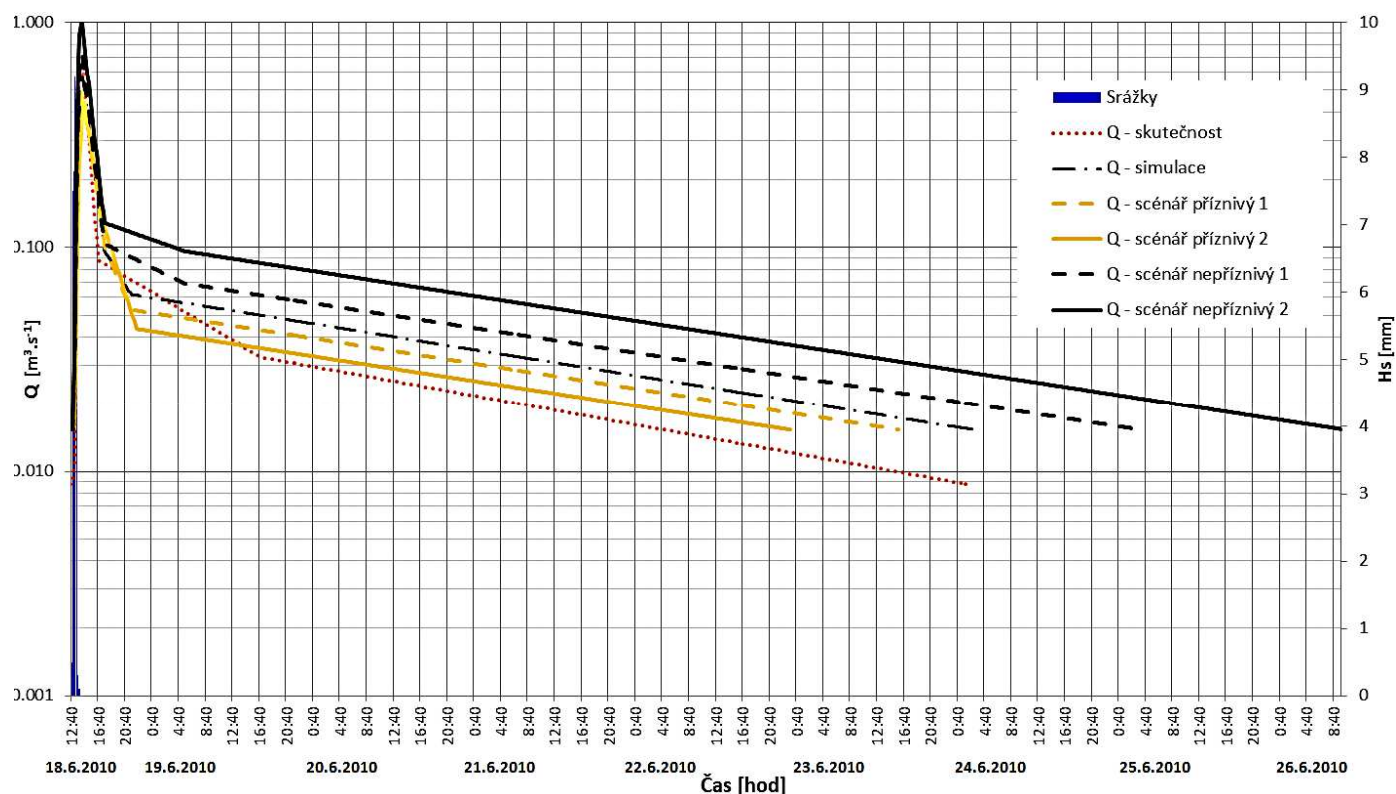
Scénář	Průtok v kulminaci povodně [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Výška celkového odtoku [mm]	Změna kulminace průtoku [%]	Změna výšky odtoku [%]
Skutečnost	0,67	25,1	–	–
Simulace	0,67	23,1	–	–
Příznivý 1	0,46	17,1	–31,3	–26,0
Příznivý 2	0,20	9,3	–70,1	–59,7
Nepříznivý 1	0,77	25,9	+14,9	+12,1
Nepříznivý 2	0,98	33,6	+46,3	+45,5



Obr. 8 Porovnání průtoků dle jednotlivých scénářů – Němčický potok (model 1)

Tab. 4 Porovnání jednotlivých scénářů – Němčický potok (model 2)

Scénář	Průtok v kulminaci povodně [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Výška celkového odtoku [mm]	Změna kulminace průtoku [%]	Změna výšky odtoku [%]
Skutečnost	0,61	4,8	–	–
Simulace	0,57	6,2	–	–
Příznivý 1	0,51	5,5	–10,5	–11,3
Příznivý 2	0,43	4,8	–24,6	–22,6
Nepříznivý 1	0,73	7,8	+28,1	+25,8
Nepříznivý 2	0,99	10,5	+73,7	+69,4



Obr. 9 Porovnání průtoků dle jednotlivých scénářů – Němčický potok (model 2)

Z výsledku S-O modelování je patrné, že vliv konkrétních změn krajinného pokryvu se v povodí Jičínky při povodni z června 2009 projevil na odtokových charakteristikách povodí jen minimálně. Např. u pozitivního scénáře 2 došlo ke snížení kulminačního průtoku o 4,7 % a objemu odtoku o 3,4 %. K obdobným výsledkům dospěli Horáček a kol. (2011), kteří pro scénář zatravnění 10 % plochy povodí Rakovnického potoka stanovili snížení kulminačního průtoku i objemu odtoku cca o 10 % při 100 leté povodni. Nižší účinnost stejného typu opatření v této práci je možné vysvětlit především vysokou extremitou této povodně, kdy doba opakování povodně byla odhadnuta na 300 let. Klesající vliv krajinného pokryvu na odtokové charakteristiky povodí s rostoucí dobou opakování povodně ve svých pracích potvrzují také např. Podhrázká a Toman (2002), Žlábek (2009), nebo Jeníček (2009). Podhrázká a Toman (2002) také provedli v povodí Řečice porovnání vlivu jednotlivých kategorií IPS na objem odtoku. Jejich výsledky jsou ve shodě s dosaženými výsledky v této práci a potvrzují tak výrazný vliv nasycení povodí předchozími srážkami na charakteristiky odtoku. Vysoká hodnota nasycení povodí v době příchodu příčinné srážky (89 mm) je tedy dalším vysvětlujícím faktorem nízkého vlivu krajinného pokryvu při povodňové situaci na Jičínce v červnu 2009. Naopak v povodí Němčického potoka se vliv změn krajinného pokryvu projevil významně. V případě modelu 1 došlo u příznivého scénáře 2 ke snížení hodnoty kulminačního průtoku až o 70 %. V případě modelu 2 byl u stejného scénáře kulminační průtok snížen o 25 %. V obou případech se jednalo o jevy s krátkou dobou opakování < 2 roky (odhad). Také předchozí nasycenost povodí v obou případech dosahovala výrazně nižších hodnot (23 a 14 mm) než

v případě povodí Jičínky. Rozdíly mezi jednotlivými modely v povodí Němčického potoka lze vysvětlit především rozdílným charakterem srážek. V případě modelu 1 byla délka trvání příčinného deště cca 12 h, zatímco v případě modelu 2 se jednalo o typický přívalový déšť trvající několik desítek minut. V tomto případě se však nepotvrdil očekávaný výsledek vyšší účinnosti navržených opatření při povodních z přívalových srážek, ke kterému dospěli např. Horáček a kol. (2011). Autoři však hodnotili významnější S-O situace s dobou opakování 100 let.

5.2 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH HODNOT RETENCE PRO JEDNOTLIVÁ POVODÍ

Hlavním cílem této práce je kvantifikovat přirozenou vodní retenci krajiny při povodni a její základní složky ve vybraných povodích. Pro naplnění tohoto cíle byly analyzovány jednotlivé parametry řešených povodí, včetně simulací scénářů, a příčinných dešťů. Uvedenými způsoby výpočtu retence (viz kap. 4.2) povodí bylo zpracováno 33 S-O epizod včetně simulovaných scénářů krajinného pokryvu.

Pro lepší přehlednost a porovnatelnost zpracovávaných povodí se stanovili součinitelé retence, tj. hodnoty retence a efektivní retence byly vztaženy k celkovému úhrnu povodňové srážky (H_s). Např. součinitel statické retence povodí ρ_{st} (-):

$$\rho_{st} = \frac{R_{st}}{H_s} \quad (10)$$

kde:

R_{st} – retence statická (mm),

H_s – celkový úhrn příčinného deště (mm).

Tab. 5 Souhrn výsledků přirozené vodní retence povodí pro všechny řešené S-O epizody

Tok (závěrový profil)	Označení S-O epizody	Rd [mm]	pd [-]	Rst [mm]	pst [-]	Rc [mm]	pc [-]	Koef. poměru retence Rst/Rd	Rk _{ef} v kulm. průtoku [mm]	pk _{ef} [-]	Rd _{ef} v kulm. průtoku [mm]	pd _{ef} [-]	R _{ef} v kulm. průtoku [mm]	pc _{ef} [-]	Koef. poměru retence Rd _{ef} /Rk _{ef}	Rk _{ef} v kulm. retence [mm]	pk _{ef} [-]	Rd _{ef} v kulm. retence [mm]	pd _{ef} [-]	R _{ef} v kulm. retence [mm]	pc _{ef} [-]	Koef. poměru retence Rd _{ef} /Rk _{ef}
Černá Opava (Mnichov)	Č. Op 97	102,2	0,32	11,4	0,04	113,6	0,35	0,1	81,6	0,25	70,1	0,22	151,7	0,47	0,9	106,6	0,33	70,7	0,22	177,3	0,55	0,7
	Č. Op 07	90,0	0,61	1,5	0,01	91,5	0,62	0,0	55,0	0,37	58,2	0,39	113,1	0,76	1,1	55,0	0,37	58,2	0,39	113,1	0,76	1,1
Hvozdnice (Jaktartovice)	Hvoz-97	37,7	0,23	42,7	0,26	80,4	0,49	1,1	44,6	0,27	59,1	0,36	103,7	0,64	1,3	57,6	0,35	55,6	0,34	113,2	0,70	1,0
	Stř. p. 09	13,6	0,26	22,6	0,43	36,2	0,69	1,7	21,2	0,40	17,8	0,34	39,0	0,74	0,8	20,2	0,39	19,6	0,37	39,8	0,76	1,0
	Podol. p. 77	37,0	0,77	0,0	0,00	37,0	0,77	0,0	10,9	0,23	24,7	0,51	35,6	0,74	2,3	14,3	0,30	24,0	0,50	38,3	0,80	1,7
Opavice (Město Albrechtice)	Opavice 67	36,0	0,66	10,9	0,20	46,9	0,86	0,3	23,4	0,43	27,9	0,51	51,3	0,94	1,2	25,3	0,46	27,3	0,50	52,6	0,96	1,1
	Opavice 68	75,6	0,95	0,0	0,00	75,6	0,95	0,0	27,8	0,35	28,9	0,36	56,8	0,71	1,0	34,7	0,44	31,4	0,39	66,1	0,83	0,9
	Všem 65-s	8,8	0,34	10,7	0,42	19,5	0,76	1,2	7,7	0,30	12,1	0,47	19,8	0,77	1,6	8,2	0,32	12,1	0,47	20,4	0,80	1,5
	Všem 65-pr	8,5	0,33	11,0	0,43	19,5	0,76	1,3	7,9	0,31	12,3	0,48	20,2	0,79	1,6	8,1	0,32	12,4	0,48	20,5	0,80	1,5
Kamerice (Srbská Kamerice)	Všem 65-nepr	9,2	0,36	9,3	0,36	18,5	0,72	1,0	7,6	0,30	11,7	0,46	19,3	0,75	1,5	7,6	0,30	11,7	0,46	19,3	0,75	1,5
	Kame 09	2,3	0,14	8,9	0,54	11,3	0,68	3,8	9,3	0,56	3,5	0,21	12,7	0,77	0,4	9,1	0,55	4,6	0,28	13,7	0,83	0,5
Blarice (Podedvorský)	Blarice 09	39,1	0,76	5,1	0,10	44,3	0,86	0,1	24,3	0,47	20,8	0,40	45,1	0,88	0,9	24,8	0,48	20,8	0,41	45,6	0,89	0,8
	Číž 97H-s	48,1	0,33	61,7	0,42	109,8	0,75	1,3	56,9	0,39	58,5	0,40	115,4	0,79	1,0	57,7	0,39	59,4	0,40	117,1	0,80	1,0
Čížina (Pustý mlýn)	Číž 97H-v	50,7	0,35	62,0	0,42	112,7	0,77	1,2	55,8	0,38	60,7	0,41	116,5	0,79	1,1	59,5	0,41	61,2	0,42	120,7	0,82	1,0
	Číž 97-s	70,5	0,37	64,5	0,34	135,0	0,72	0,9	72,3	0,38	68,8	0,36	141,1	0,75	1,0	73,1	0,39	69,4	0,37	142,5	0,76	0,9
	Číž 97-v	74,4	0,39	65,0	0,34	139,4	0,74	0,9	74,8	0,40	71,0	0,38	145,7	0,77	0,9	76,0	0,40	71,6	0,38	147,6	0,78	0,9
	Jič 07	40,8	0,25	83,2	0,51	124,0	0,76	2,0	49,2	0,30	53,3	0,33	102,5	0,63	1,1	53,6	0,33	55,7	0,34	109,2	0,67	1,0
Jičínka (Nový Jičín)	Jič 09-s	37,7	0,48	16,9	0,21	54,6	0,69	0,4	46,4	0,59	12,5	0,16	58,9	0,75	0,3	60,6	0,77	9,3	0,12	69,9	0,89	0,2
	Jič 09-pr1	36,3	0,46	19,2	0,24	55,5	0,70	0,5	47,9	0,61	12,5	0,16	60,5	0,77	0,3	61,2	0,78	9,3	0,12	70,5	0,89	0,2
	Jič 09-pr2	36,1	0,46	19,3	0,24	55,3	0,70	0,5	47,1	0,60	12,9	0,16	59,9	0,76	0,3	60,8	0,77	9,5	0,12	70,3	0,89	0,2
	Jič 09-nepr	46,1	0,58	3,2	0,04	49,3	0,63	0,1	43,3	0,55	10,8	0,14	54,1	0,69	0,2	59,6	0,75	8,1	0,10	67,7	0,86	0,1
	N 09jul	7,8	0,27	18,4	0,63	26,2	0,89	2,4	11,0	0,37	17,4	0,59	28,4	0,97	1,6	11,0	0,37	17,4	0,59	28,4	0,97	1,6
Němčický potok (N2)	N 10jun-s	4,2	0,13	20,8	0,66	25,0	0,79	4,9	13,2	0,42	18,1	0,57	31,4	0,99	1,4	14,2	0,45	17,1	0,54	31,3	0,99	1,2
	N 10jun-pr1	3,4	0,11	22,0	0,69	25,4	0,80	6,4	13,3	0,42	18,2	0,57	31,4	0,99	1,4	14,4	0,46	17,3	0,55	31,4	0,99	1,2
	N 10jun-pr2	2,7	0,08	23,5	0,74	26,1	0,82	8,7	13,3	0,42	18,2	0,57	31,5	0,99	1,4	14,6	0,46	17,2	0,54	31,5	0,99	1,2
	N 10jun-nepr1	6,1	0,19	17,8	0,56	23,9	0,75	2,9	14,5	0,46	16,8	0,53	31,3	0,99	1,2	15,1	0,48	16,2	0,51	31,3	0,99	1,1
	N 10jun-nepr2	9,5	0,30	12,8	0,41	22,4	0,71	1,4	14,3	0,45	16,8	0,53	31,0	0,98	1,2	15,1	0,48	16,1	0,51	31,2	0,98	1,1
	N 10may-s	11,4	0,29	22,1	0,56	33,5	0,85	1,9	23,9	0,61	11,9	0,30	35,8	0,91	0,5	23,9	0,61	11,9	0,30	35,8	0,91	0,5
	N 10may-pr1	6,2	0,16	28,3	0,72	34,5	0,87	4,5	24,4	0,62	12,8	0,32	37,2	0,94	0,5	24,4	0,62	12,8	0,32	37,2	0,94	0,5
	N 10may-pr2	1,4	0,04	35,1	0,89	36,5	0,93	24,3	9,8	0,25	20,2	0,51	30,1	0,76	2,1	10,6	0,27	27,9	0,71	38,5	0,97	2,6
N 10may-nepr1	N 10may-nepr1	13,1	0,33	18,3	0,46	31,4	0,79	1,4	23,5	0,60	11,4	0,29	35,0	0,88	0,5	23,5	0,60	11,4	0,29	35,0	0,88	0,5
	N 10may-nepr2	19,7	0,50	9,0	0,23	28,7	0,73	0,5	22,6	0,57	10,1	0,26	32,7	0,83	0,4	22,6	0,57	10,1	0,26	32,7	0,83	0,4
N 10aug	11,8	0,26	24,7	0,55	36,5	0,82	2,1	11,6	0,26	28,9	0,65	40,5	0,91	2,5	13,3	0,30	29,1	0,65	42,4	0,95	2,2	

Z výsledků výpočtů hodnot jednotlivých složek retence povodí je patrné, že formou dynamické retence R_d bylo zadrženo 4–95 % objemu příčinné srážky, formou statické retence R_{st} bylo dále po skončení S-O epizody v povodí zadrženo 0–89 % objemu příčinné srážky a formou celkové retence R_c 35–95 %. Výsledky (tab. 5) tak ukazují na význam přirozené retence krajiny při redukci povodňových průtoků. Celková přirozená retence vody v povodí v době kulminace povodňové vlny byla schopna zadržet v průměru ze všech hodnocených S-O událostí 54 % příčinných srážek, což svědčí o jejich vysoké transformaci retencí v povodí, a tím i o velmi efektivním snížení kulminace velké vody a prodloužení povodňového průtoku.

Formou efektivní krátkodobé retence $R_{k_{ef}}$ v kulminaci průtoku bylo zadrženo 23–62 % objemu příčinné srážky, formou efektivní dlouhodobé retence $R_{d_{ef}}$ v kulminaci průtoku bylo zadrženo 14–65 % objemu příčinné srážky. Formou efektivní krátkodobé retence $R_{k_{ef}}$ v kulminaci retence bylo zadrženo 27–78 % objemu příčinné srážky, formou efektivní dlouhodobé retence $R_{d_{ef}}$ v kulminaci retence bylo zadrženo 10–71 % objemu příčinné srážky.

K obdobným výsledkům při hodnocení přirozené retence povodí dospěl také Dumbrovský a kol. (1998), kteří hodnotili 16 dílčích povodí Horní Opavy při povodni 1997. Součinitel celkové efektivní retence se pohyboval od 0,36 do 0,80. Také Kaleta (2005) ve své práci hodnotil 5 povodí, která při povodni v roce 1997 formou celkové efektivní retence zadržela 44–76 % objemu příčinné srážky. Švihla a kol. (2007b) stanovili v převážně lesním povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách, že retence vody v době kulminace povodňové vlny tvořila 65 % z příčinné srážky.

Hodnoty celkové retence stanovené modelem LN dosahují ve většině případů nižších hodnot, než v případě stanovení metodou efektivní retence. Hlavním důvodem těchto rozdílů je způsob výpočtu jednotlivými metodami. Porovnáním celkových efektivních retencí $R_{c_{ef}}$ v kulminaci průtoku a v kulminaci retence je možné zjistit, že v 8 případech celková efektivní retence kulminovala ve stejný okamžik jako průtok.

V případě Černé Opavy, kde byl dosažen cca 100letý průtok, se nepotvrdily původní předpoklady, že přirozená retence povodí při povodni tohoto charakteru bude pro transformaci povodňových průtoků téměř zanedbatelná. Výsledky však ukazují, že v době kulminace povodňové vlny bylo celkovou retencí zadrženo 35 % příčinných srážek. Povodí zadrželo malou část příčinné srážky (4 %) také formou statické retence i po skončení celé S-O epizody.

Důležitým parametrem retence povodí je také, v této práci nově zavedený, koeficient poměrů retence. V případech provedených simulací změn krajinného pokryvu je možné pozorovat, že i přes relativně malé změny celkové retence dochází k významným změnám v poměru statické a dynamické retence.

Při porovnání výsledků retence u jednotlivých simulovaných scénářů krajinného pokryvu v povodí Jičínky, je možné vidět jen minimální vliv změn krajinného pokryvu jak na celkovou retenci a efektivní celkovou retenci v kulminaci průtoku

a kulminaci retence, tak také na její složky. To je možné vysvětlit vysokou extremitou této povodně (doba opakování výrazně větší než 100 let), vysokým nasycením povodí předchozími srážkami a také nadpolovičním plošným zastoupením HSP C a HSP D. I přes tuto vysokou extremitu povodně, povodí v době kulminace povodňové vlny zdrželo 63–70 % příčné srážky, dle jednotlivého scénáře krajinného pokryvu. Z porovnání obou příznivých scénářů je možné pozorovat jen minimální rozdíl mezi vlivem lesa a trvalých travních porostů na jednotlivé složky retence.

Podle dosažených výsledků S-O modelování jednotlivých scénářů krajinného pokryvu v povodí Němčického potoka, kdy účinnost ve snížení kulminačního průtoku dosahovala v modelu 1 až 70 % a v modelu 2 až 25 % (příznivý scénář 2), by bylo možné očekávat také významné zvýšení celkové retence povodí. Při porovnání výsledků retence u jednotlivých simulovaných scénářů krajinného pokryvu, je však možné vidět poměrně malý vliv změn krajinného pokryvu na celkovou retenci a efektivní celkovou retenci v kulminaci průtoku a kulminaci retence. Hodnoty součinitele celkové retence ρ_c se pro model 1 pohybují v rozmezí 0,71–0,82 a pro model 2 v rozmezí 0,73–0,93. V případě modelu 1 došlo vlivem příznivého scénáře 1 (organizační a agrotechnická opatření na 52 % plochy povodí) v tab. 5 označeno jako „N 10jun-pr1“ k navýšení součinitele celkové retence pouze o 1 %. V případě příznivého scénáře 2 to jsou 3 %. Avšak výrazný vliv změn krajinného pokryvu je možné pozorovat u obou příznivých scénářů na změně poměru statické a dynamické retence. V případě příznivého scénáře 1 došlo ke zvýšení koeficientu poměru retence δ o 1,5 a v případě příznivého scénáře 2 o 3,8. Navrženými opatřeními tedy nedošlo k výraznému navýšení celkové retence povodí, ale k výrazné pozitivní změně poměru statické a dynamické retence. Dosažené výsledky je možné vysvětlit především krátkou dobou opakování povodně (odhad $N < 2$) a také nižším nasycením povodí předchozími srážkami než tomu bylo v případě Jičínky.

Z uvedených výsledků vyplývá, že v případě povodní s krátkou dobou opakování lze změnou krajinného pokryvu výrazně ovlivnit především složky celkové retence a efektivní celkové retence v kulminaci průtoku i kulminaci retence, resp. jejich poměr. Lze tedy podpořit statické/dlouhodobé složky retence, což se pozitivně projeví jak ve snižování povodňových průtoků tak také ve snižování hrozby sucha. Voda zůstává v povodí dostupná rostlinám po delší dobu, což se může pozitivně projevit také ve výnosech plodin, resp. v ekonomice zemědělské produkce.

5.3 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ RETENCE

5.3.1 Korelační analýza

Hlavní soubor výsledků (tab. 5) byl podroben statistickým analýzám, za účelem prokázání lineární závislosti mezi jednotlivými fyzicko-geografickými parametry a výslednými hodnotami retence povodí stanovenými třemi způsoby. Pro toto hodnocení byla zvolena korelační analýza. Hlavní soubor výsledků byl dále rozdělen

do skupin, kde každá z nově vytvořených skupin je typická jedním převládajícím parametrem povodí či příčinné srážky. Byly vytvořeny skupiny výsledků retence pro povodí, kde:

- byly odstraněny simulované scénáře,
- převládaly příčinné srážky s delší dobou trvání,
- převládaly příčinné srážky s krátkou dobou trvání,
- zastoupení lesních porostů bylo do 50 % plochy povodí,
- zastoupení lesních porostů bylo nad 50 % plochy povodí.

U veškerých korelačních analýz byla lineární závislost posouzena na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Pro zpracování byl využit statistický program Statistica.

Tab. 6 Hodnoty Spearmanova koef. r_s pro všechny S-O epizody

Závislé proměnné / Nezávislé proměnné	Rd [mm]	Rst [mm]	Rc [mm]	Koef. poměru retence δ [-]	Rk _{ef} v kulm. průtoku [mm]	Rd _{ef} v kulm. průtoku [mm]	Rc _{ef} v kulm. průtoku [mm]	Koef. poměru retence δ_{ef} [-]	Rk _{ef} v kulm. retence [mm]	Rd _{ef} v kulm. retence [mm]	Rc _{ef} v kulm. retence [mm]	Koef. poměru retence δ_{ef} [-]
Plocha povodí P [km ²]	0,61	-0,23	0,53	-0,63	0,46	0,21	0,50	-0,42	0,52	0,09	0,50	-0,44
Délka toku L [km]	0,67	-0,06	0,61	-0,57	0,55	0,37	0,59	-0,39	0,57	0,28	0,59	-0,39
Koef. tvaru povodí [-]	-0,61	-0,03	-0,49	0,48	-0,40	-0,46	-0,50	0,14	-0,38	-0,45	-0,50	0,14
Sklon povodí [%]	0,42	-0,45	0,19	-0,62	0,07	0,06	0,18	-0,09	0,12	0,05	0,18	-0,07
IPS ₅ [mm]	0,34	0,06	0,41	-0,41	0,27	-0,01	0,33	-0,36	0,39	-0,09	0,36	-0,38
Délka deště td [min]	0,70	0,14	0,65	-0,47	0,46	0,61	0,60	0,13	0,36	0,68	0,62	0,04
Úhrn deště Hs [mm]	0,89	0,31	0,98	-0,54	0,91	0,70	0,97	-0,35	0,89	0,61	0,98	-0,41
int. deště [mm.min ⁻¹]	-0,25	0,17	-0,12	0,29	0,08	-0,14	-0,07	-0,29	0,16	-0,27	-0,09	-0,20
HSP A [%]	0,59	-0,20	0,57	-0,54	0,50	0,31	0,56	-0,48	0,54	0,19	0,57	-0,44
HSPB [%]	-0,07	0,01	-0,05	0,14	-0,02	0,24	-0,02	0,24	-0,09	0,35	-0,04	0,26
HSP C [%]	-0,70	0,12	-0,70	0,61	-0,62	-0,44	-0,68	0,34	-0,65	-0,36	-0,68	0,30
HSP D [%]	0,30	0,09	0,26	-0,23	0,34	-0,09	0,27	-0,27	0,35	-0,16	0,27	-0,24
Orná půda [%]	-0,09	0,19	-0,11	0,19	0,03	-0,08	-0,05	-0,01	0,01	-0,04	-0,11	-0,07
TTP [%]	-0,32	0,10	-0,19	0,28	-0,29	-0,06	-0,28	0,24	-0,30	-0,07	-0,23	0,25
Lesy [%]	0,56	-0,31	0,42	-0,59	0,34	0,31	0,43	-0,22	0,35	0,27	0,43	-0,20
Zastav. plocha [%]	-0,41	0,18	-0,23	0,40	-0,10	-0,55	-0,24	-0,32	-0,04	-0,63	-0,24	-0,28

Z korelační analýzy všech dosažených výsledků retence povodí (tab. 5) vyplývá, že nejsilnější lineární závislost existuje mezi úhrnem srážky H_s a dynamickou/krátkodobou retencí (v obou způsobech výpočtu) a mezi retencí celkovou ve všech třech způsobech výpočtu retence povodí. Předpokládaná silná závislost celkového úhrnu příčinné srážky na jednotlivé složky retence se tedy potvrdila. K podobnému zjištění dospěl i Kaleta (2005). Ten však také zjistil slabou závislost mezi plochou povodí a HSP na složkách retence. To se v této práci nepotvrdilo. Práce Kalety (2005) však hodnotila menší počet S-O epizod a pouze na jednom typu povodně (povodeň 1997). Mezi plochou a složkami retence pro všechny způsoby výpočtu (s výjimkou retence statické/dlouhodobé) se potvrdila střední závislost. Také např. mezi HSP C a složkami retence existuje téměř ve všech sledovaných výsledcích retence povodí střední či dokonce silná závislost.

Naopak se neprokázala silná lineární závislost mezi krajinným pokryvem a složkami retence ve všech třech způsobech výpočtu retence povodí. Nejvýznamnější závislost se prokázala mezi plošným zastoupením lesa a dynamické retence, jedná se o statisticky středně významnou korelaci.

5.3.2 Vícenásobná lineární regrese

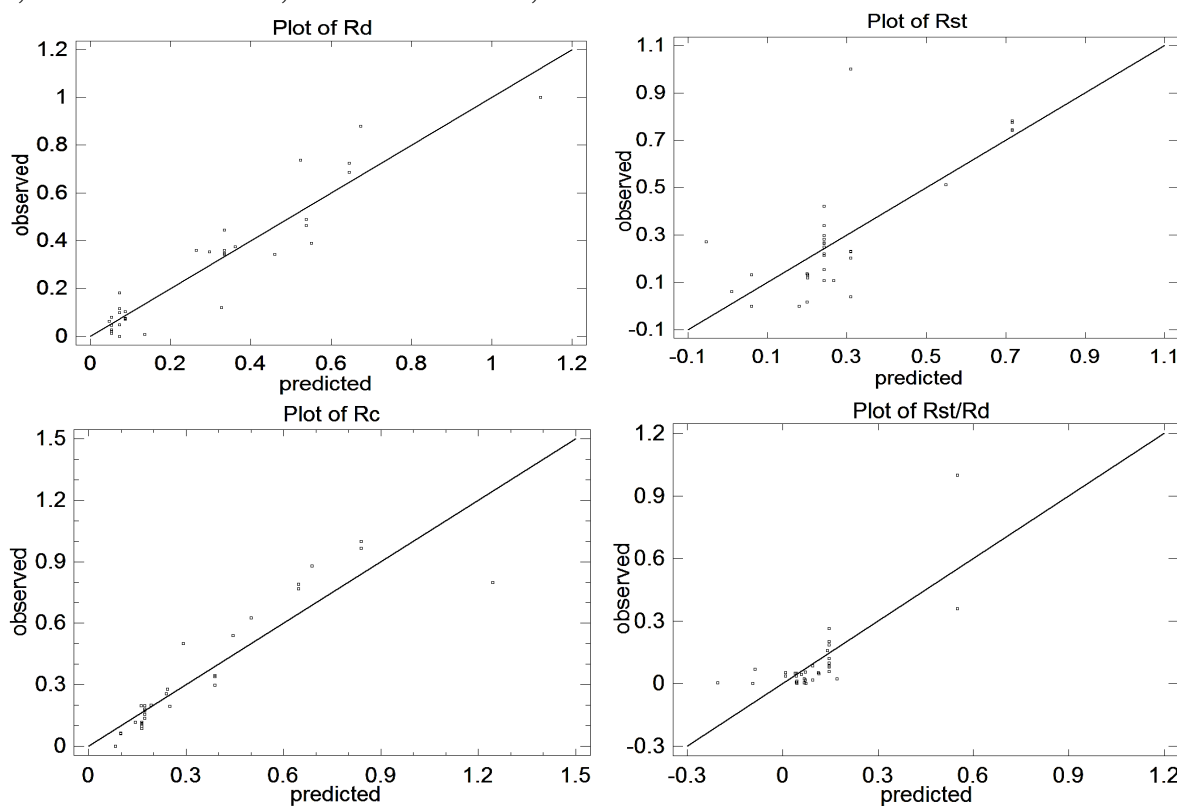
Celkový datový soubor výsledků retence povodí (tab. 5) byl také podroben krokové regresní analýze za účelem stanovení významnosti jednotlivých fyzicko-geografických parametrů povodí na tvorbě jednotlivých složek retence povodí. Cílem také bylo odhadnout predikční vztah pro jednotlivé složky retence, viz následující vztahy. Regresní analýza byla zpracována v programu Statgraphic. Obr. 10–12 ukazují závislost hodnot jednotlivých složek retence regresním modelem předpovídaných na hodnotách stanovených třemi metodami výpočtu retence.

$$Rd = 0,230774 + 0,250634 * L + 0,787958 * Hs - 0,435587 * HSP C$$

$$Rst = 0,181449 - 1,76969 * P + 1,72056 * L - 0,611481 * s + 0,272301 * HSP D$$

$$Rc = 0,087619 - 0,371756 * td + 1,52781 * Hs$$

$$\delta = -0,562267 - 0,404805 * s + 0,398246 * HSP B + 0,45977 * HSP C + 0,478017 * TTP + 0,450744 * Les + 0,252608 * Zast.$$



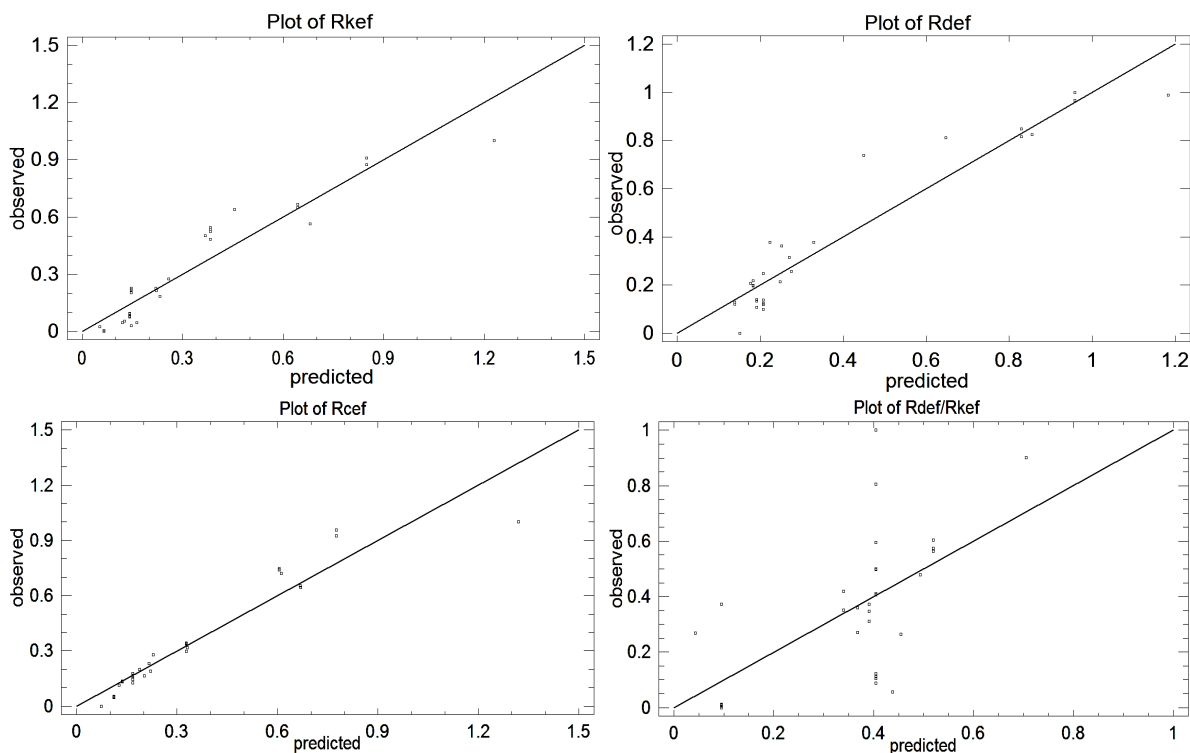
Obr. 10 Závislost hodnot složek retence předpovídaných modelem na hodnotách stanovených metodou LN

$$Rk_{ef} \text{ v kulminaci pr\u016ftoku} = 0,0598038 - 0,479128*td + 1,64959*Hs$$

$$Rd_{ef} \text{ v kulminaci pr\u016ftoku} = 0,252822 - 0,928138*P + 0,948167*L - 0,324878*s + 0,941371*Hs - 0,196459*Zast.$$

$$Rc_{ef} \text{ v kulminaci pr\u016ftoku} = 0,0742652 + 1,24566*Hs$$

$$\delta_{ef} \text{ v kulminaci pr\u016ftoku} = 5,68185 - 0,661766*P - 2,76934*HSP A - 4,40631*HSP B - 3,79316*HSP C - 3,23041*HSP D$$



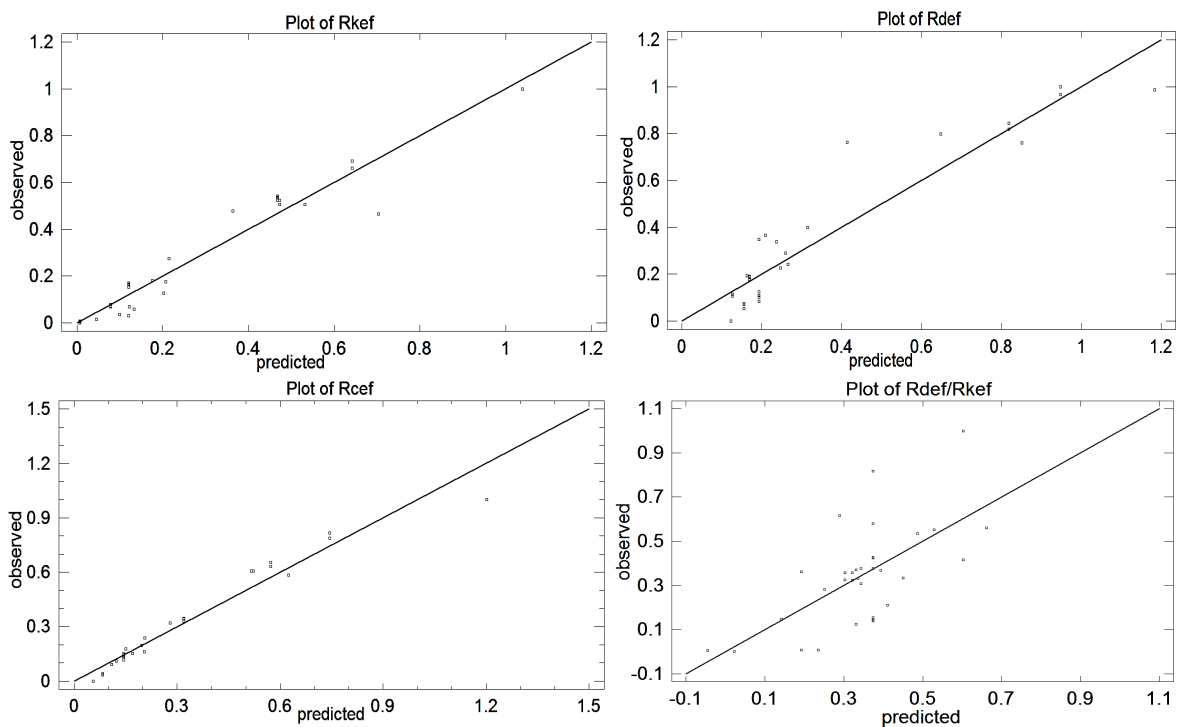
Obr. 11 Závislost hodnot složek retence předpovídaných modelem na hodnotách stanovených metodou efektivní retence v kulminaci pr\u016ftoku

$$Rk_{ef} \text{ v kulminaci retence} = -0,140602 + 0,211886*IPS_5 + 1,16742*Hs + 0,246315*Zast.$$

$$Rd_{ef} \text{ v kulminaci retence} = 0,259218 - 0,946403*P + 0,953028*L - 0,331502*s + 0,941786*Hs - 0,231086*Zast.$$

$$Rc_{ef} \text{ v kulminaci retence} = 0,0582933 - 0,155826*td + 1,29922*Hs$$

$$\delta_{ef} \text{ v kulminaci retence} = -1,94691 - 0,435679*P + 2,18537*Or + 2,45708*TTP + 2,15413*Les$$



Obr. 12 Závislost hodnot složek retence předpovídaných modelem na hodnotách stanovených metodou efektivní retence v kulminaci retence

Bylo zjištěno, že R_{sq} % variability jednotlivých regresních modelů (tab. 7) je v daném vstupním souboru tímto modelem vysvětleno.

Tab. 7 Seznam nejvýznamnějších nezávislých proměnných

Závislá proměnná Y	Nezávislé proměnné X	R_{sq} [%]
Y1 – R_d	+X2, +X6, –X9	88,9
Y2 – R_{st}	–X1, +X2, –X3, +X10	57,0
Y3 – R_c	–X5, +X6	84,3
Y4 – koef. R_{st}/R_d	–X3, +X8, +X9, +X12, +X13, +X14	60,7
Y5 – $R_{k_{ef}}$ v kulm. průtoku	–X5, +X6	89,3
Y6 – $R_{d_{ef}}$ v kulm. průtoku	–X1, +X2, –X3, +X6, –X14	91,3
Y7 – $R_{c_{ef}}$ v kulm. průtoku	+X6	91,3
Y8 – koef. δ_{ef} v kulm. průtoku	–X1, –X7, –X8, –X9, –X10	34,2
Y9 – $R_{k_{ef}}$ v kulm. retence	+X4, +X6, +X14	93,7
Y10 – $R_{d_{ef}}$ v kulm. retence	–X1, +X2, –X3, +X6, –X14	89,4
Y11 – $R_{c_{ef}}$ v kulm. retence	–X5, +X6	95,8
Y12 – koef. δ_{ef} v kulm. retence	–X1, +X11, +X12, +X13	42,2

Z uvedených výsledků je patrné, že se na tvorbě celkové/efektivní, celkové a dynamické/dlouhodobé retenci nejvýznamněji podílí celkový úhrn srážky (X6). Toto zjištění tak potvrzuje výsledky korelační analýzy, kdy pro tyto proměnné byla prokázána silná lineární závislost. Na tvorbě retence statické/dlouhodobé se

nejvýznamněji podílí geometrické parametry povodí, jako délka vodního toku (X2), plocha povodí (X1) a sklon povodí (X3). V případě dlouhodobé efektivní retence se také projevuje vliv celkového úhrnu srážky (X6). Na velikosti koeficientu poměru retence δ a koeficientu poměru efektivní retence δ_{ef} se dle dosažených výsledků nejvýznamněji podílí parametry krajinného pokryvu, jako plošné zastoupení TTP (X12) a lesních porostů (X13) v povodí. Tyto výsledky odpovídají dosaženým hodnotám koeficientu δ a δ_{ef} viz tab. 5, který se zvyšuje s narůstajícím plošným zastoupením TTP a lesních porostů v rámci jednotlivých simulovaných scénářů v povodí Jičínky a Němčického potoka. Variabilita koeficientů δ a δ_{ef} však není zcela dostatečně těmito regresními modely vysvětlena.

Ve výzkumném projektu EP9153 – „Hodnocení retenční vodní kapacity půd a krajiny při povodních a možnosti jejího zvyšování“ bylo dosaženo z části odlišných výsledků. Za nejvýznamnější faktory podílející se v tvorbě jednotlivých složek efektivní retence byly stanoveny faktory krajinného pokryvu (poměrné zastoupení orné půdy, lesních porostů a TTP), dále pak sklonitost povodí a také průměrná výška povodňové srážky.

Vzájemným porovnáním dosažených výsledků regresní analýzy jednotlivých metod stanovení retence byly pozorovány jen malé rozdíly a ve většině případů si tedy dosažené výsledky odpovídají a nejsou v logických rozporech. Je tedy možné konstatovat, že volba jedné z těchto tří použitých metod nemá zásadní vliv na prokázání významnosti jednotlivých fyzicko-geografických parametrů povodí na tvorbu přirozené vodní retence.

6 ZÁVĚR A PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDNÍ DISCIPLÍNY

Disertační práce je zaměřena na kvantifikaci přirozené vodní retenční schopnosti krajiny při povodni. V práci byly s využitím GIS nástrojů analyzovány fyzicko-geografické faktory povodí významně ovlivňující retenci vody v povodí a její složky. Pro potřeby kvantifikace jednotlivých složek retence povodí při povodni byly vybrány dvě původní metody hodnocení, přičemž způsob vyhodnocení u metody tzv. efektivní retence byl v této práci modifikován. Retence povodí při povodni tak byla v této práci kvantifikována třemi způsoby.

Po kvantifikaci jednotlivých složek retence povodí bylo přistoupeno ke statistickému zpracování dosažených výsledků za účelem prokázání významnosti jednotlivých fyzicko-geografických faktorů povodí na tvorbě jednotlivých složek retence povodí. Pro toto hodnocení byla využita korelační analýza a vícenásobná regresní analýza, kterou bylo také možné vytvořit predikční vztahy pro jednotlivé složky retence povodí u všech tří použitých metod výpočtu.

Přirozená vodní retenční schopnost krajiny byla kvantifikována na 11 vybraných povodích, na kterých bylo hodnoceno 17 měřených S-O epizod v různých časových údobích. Dále byly sestaveny 3 matematické S-O modely jimiž byly provedeny simulace scénářů změn krajinného pokryvu, jak pozitivních, tak negativních.

V povodí Jičínky byly simulovány 3 scénáře a v povodí Němčického potoka na každém sestaveném modelu byly simulovány 4 scénáře. V práci byly také využity již dříve provedené simulace scénářů změn krajinného pokryvu, Kovářem a Korytářem v povodí Všemínky (Kovář a Korytář, 2001) a Starým v povodí Čižiny (Dumbrovský a kol, 2007). Celkově včetně simulací bylo v práci zpracováno a vyhodnoceno 33 S-O epizod.

Výsledky dosažené v této práci lze shrnout následovně:

- I. Z výsledku srážko-odtokového modelování je patrné, že z hlediska vlivu krajinného pokryvu na odtokové charakteristiky je rozhodující doba opakování příčinné srážky, resp. průtoku (s rostoucí dobou opakování klesá míra vlivu), míra nasycenosti povodí předchozími srážkami a charakter příčinné srážky.
- II. Dosažené výsledky retenční schopnosti povodí ukazují, že i v případě povodňových situací s delší dobou opakování je význam přirozené retence povodí při transformaci povodňových průtoků nezanedbatelný. Výsledky prokazují, že je také velmi důležité zabývat se při hodnocení retenční schopnosti krajiny poměrem složek retence. V případech provedených simulací změn krajinného pokryvu je možné pozorovat, že i přes relativně malé změny celkové retence dochází k významným změnám v poměru statické/dlouhodobé a dynamické/krátkodobé retence.
- III. U všech skupin hodnocených výsledků byla prokázána nejsilnější lineární závislost mezi celkovým úhrnem příčinné srážky H_s a jednotlivými složkami retence u všech třech způsobů výpočtu. U S-O epizod z déle trvajících dešťů a v povodích s nižším zastoupením lesních porostů se projevil také vliv geometrie povodí na jednotlivé složky retence a částečně také infiltrační schopnosti půdy. U povodí s převahou lesních porostů se k dominantnímu vlivu srážkových úhrnů také přidávají infiltrační schopnosti půdy a zastoupení zastavěných ploch v povodí.
- IV. Vícenásobná regresní analýza potvrdila výsledky korelační analýzy a také přiřadila největší významnost na tvorbě celkové retence celkovému srážkovému úhrnu H_s . Na tvorbě retence statické/dlouhodobé se nejvýznamněji podílí geomorfologické parametry povodí, jako délka vodního toku, plocha povodí a sklon povodí. Na velikosti koeficientu poměru retence δ a koeficientu poměru efektivní retence δ_{ef} se dle dosažených výsledků nejvýznamněji podílí parametry krajinného pokryvu, jako plošné zastoupení TTP a lesních porostů v povodí.

V. Vzájemným porovnáním dosažených výsledků jak korelační, tak regresní analýzy jednotlivými metodami výpočtu přirozené vodní retence povodí byly pozorovány jen malé rozdíly a ve většině případů si tedy dosažené výsledky odpovídaly a nebyly v logických rozporech. Je tedy možné konstatovat, že volba jedné ze tří použitých metod nemá zásadní vliv na prokázání významnosti jednotlivých fyzicko-geografických parametrů povodí na tvorbu přirozené vodní retence.

Při formulaci závěrů na základě dosažených výsledků v této práci je potřeba si také uvědomit, že do výpočtu přirozené retenční schopnosti povodí při povodni vstupuje řada nejistot. Jedná se především o nejistoty ve vstupních datech jak průtoků, tak především srážek. Chyby v měření průtoků v měrných stanicích se běžně pohybují kolem 10 % a u měření srážek ve srážkoměrných stanicích ještě více (např. účinek větru). Dalším zjednodušením je předpoklad rovnoměrného rozložení srážek po celé ploše povodí. Další nejistotu ovlivňující výsledné hodnoty retence povodí, jsou přijatá zjednodušení v rámci použitých metod v procesu tvorby S-O modelů. V neposlední řadě je také nejistotou určitá míra subjektivity, která se nejvíce projevuje při identifikaci významných bodů hydrogramu (obr. 5 a 7) u všech použitých metod výpočtu. V řešené práci se bylo možné zabývat pouze omezeným množstvím S-O epizod. S tímto ohledem je také nutné vnímat dosažené výsledky a z nich odvozené závěry v této práci.

Přínosy práce:

Výsledky této práce jsou příspěvkem k rozvoji poznání v oblasti problematiky spojené s retenční schopností krajiny a vlivu krajinného pokryvu na odtok vody z povodí. V práci byla provedena modifikace jedné z výpočtových metod včetně jejího využití. Dále byly definovány (stanoveny) významnosti jednotlivých fyzicko-geografických parametrů povodí na tvorbě přirozené retence povodí, jejichž znalost umožní predikci retenční schopnosti povodí při různých hypotetických zátěžových stavech. V práci byl také nově definován tzv. koeficient poměru retence δ a koeficient poměru efektivní retence δ_{ef} , který je také významným ukazatelem vlivu změn krajinného pokryvu na retenční schopnost krajiny při povodni.

Náměty pro další výzkum:

Pro další rozvoj této problematiky by bylo vhodné rozšířit datový soubor o další S-O epizody na dalších malých povodích, za účelem provedení statistického vyhodnocení významnosti jednotlivých fyzicko-geografických parametrů povodí na tvorbu retence povodí s obecnější platností dosažených výsledků. Vhodné by také bylo podrobit samostatné analýze S-O epizody s kratší dobou opakování např. kratší než 20 let.

S ohledem na finanční i časovou náročnost pořízení dat potřebných pro naplnění cílů této práce již nebyla využita data intenzit srážek měřených prostřednictvím

meteorologických radarů. V práci byly také hodnoceny historické povodňové události, pro které by tato data nebyla vůbec dostupná. Jejich využití by alespoň částečně omezilo nejistoty vznikající při použití dat ze sítě pozemních srážkoměrných stanic, která není dostatečně hustá pro přesnější popis průběhu srážek na celé ploše řešeného povodí.

V povodích s existujícím nakalibrovaným S-O modelem by bylo možné se dále zabývat vlivem plošné distribuce navrhovaných přírodně blízkých protierozních a protipovodňových opatření na retenci povodí a její složky, což by vedlo k dalšímu zefektivňování návrhu těchto opatření.

Při simulacích S-O modelem byly řešeny nedostatky použité metody SCS CN především na poklesové větvi hydrogramu, kde byly hodnoty průtoků podhodnocovány. Metoda předpokládá neměnné nasycení povodí v průběhu povodňové epizody, či se po celou dobu trvání povodňové epizody uvažuje s počáteční ztrátou. Jistě by pro proces S-O modelování bylo přínosné tyto nedostatky odstranit, např. zavedením časové proměnlivosti zmíněných parametrů výpočtu v průběhu S-O epizody.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- DOŠEK, J. a HOLLAN, J. *Climate Change and Water*. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change 210 s. Změna klimatu a voda. Exekutivní shrnutí. 2008. 2 s.
- DUMBROVSKÝ, M., PODHRAZSKÁ, J., PRUDKÝ, J., SPITZ, P. a UHLÍŘOVÁ, J. *Rozbor retenčního potenciálu povodí řeky Opavy s analýzou zastoupení a plošného rozmístění kultur*. Dílčí zpráva projektu Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Praha: VÚMOP, 1998, 25 s.
- DUMBROVSKÝ, M. a kol. *Návrh strukturálního řešení protierozních a protipovodňových opatření v povodí Horní Opavy: Část B - Návrhy protierozních a protipovodňových opatření v ploše povodí a návrhy retenčních nádrží*. 2007, 163 s.
- HALFORD, K.J. a MAYER, G.C. Problems associated with estimating groundwater discharge and recharge from streamdischarge records. *Ground Water*. 2000, vol. 38(no. 3), 331–342.
- HEC - *Hydrologic Engineering Center*. US Army Corps of Engineers [online]. 2010 [cit. 2010-06-13]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/>
- HORÁČEK, KAŠPÁREK a kol. *Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulací schopnosti v povodí Rakovnického potoka*. Praha: VÚV TGM, 2011, 164 s. ISBN 978-80-87402-14-6.
- HRÁDEK, F. a KUŘÍK, P. *Hydrologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2002, 271 s.
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. a MAYS, L.W. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. McGraw-Hill: New York. 1988. ISBN 0-07-010810-2. 572 pp.

- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 s. ISBN 978 0521 70597-4.
- JENÍČEK, M. *Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany*. Praha, 2009. 141 s. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie.
- KALETA, S. *Porovnání přirozené vodní retence vybraných povodí*. In: Sborník příspěvků ze 7. konference Hydrologické dny. 2005. ISBN 80-88907-53-5.
- KAŠPÁREK, L. a kol. *Vliv klimatických změn na množství a kvalitu vodních zdrojů a na hydrologické poměry v ČR. Závěrečná zpráva úkolu VaV/650/3/02*. Praha: VÚV TGM, 2003, 192 s.
- KESSL, J. a KNĚŽEK, M. *Metody výpočtu základního odtoku. Podzemní voda*. 2000, vol. 6(no. 2/2000), 52–58. ISSN 1335-1052.
- KOVÁŘ, P. a KORYTÁŘ, M. *Aplikace srážko-odtokových modelů Kinfil a Fourier na povodí Všeminky a Opavice*. Praha, 2001, 42 s.
- KRAJENHOFF, VAN DE LEUR, SCHULZE, F.E. a O'DONNELL, F. *Recent trends in hydrograph synthesis*. In: Proc. of Technical meeting 21. The Hague: Comm. for hydrological research T. N. O. 1966, vol. 13, 103 s.
- KŘÍŽ, H. *Hydrologie podzemních vod*. Praha: Československá akademie věd, 1983, 292 s.
- KULHAVÝ, Z., DOLEŽAL, F. a SOUKUP, M. *Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů*. Vědecké práce VÚMOP. Praha: VÚMOP, 2001, 29–52.
- PODHRÁZSKÁ, J. a TOMAN, F. *Vliv hospodaření v povodí na změny odtokových poměrů*. In: XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, 2002, s. 352–356. ISBN 80-85813-99-8.
- RABUŠIC, L. *Mnohonásobná lineární regrese* [online]. 2004. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: http://is.muni.cz/el/1423/podzim2004/SOC418/multipl_regres_1.pdf.
- SCOPEL, C. ESRI. ArcGIS Resources [online]. 2011 [cit. 2012-01-03]. Dostupné z: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2011/10/12/arc-hydro-tools-version-2-0-are-now-available>
- SMITH, L. a WHEATCRAFT, S.W. Groundwater flow. Chapter 6 In: Maidment, D.R. (ed.): *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s.
- SPITZ, P. a PRUDKÝ, J. *Metodika výpočtu retence povodí při povodních*. Uživatelský výstup projektu NAZV EP 9153 Hodnocení vodní retenční kapacity půd a krajiny při povodni a možnosti jejího zvyšování. Praha: VÚMOP Praha, 2000, 19 s. ISSN 1211-3972.
- STARÝ, M. *Hydrologie*. Studijní opora M01. Brno: VUT. 2005, 213 s.
- ŠVARCOVÁ, E. *Porovnání vybraných metod výpočtu základního odtoku na malém povodí a zhodnocení vlivu základního odtoku na koncentrace fosforu v celkovém*

- odtoku*. České Budějovice, 2013. 88 s. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu.
- ŠVIHLA, V. a kol. Ovesná Lhota (monografie). Praha: VÚMOP, 1992.
- ŠVIHLA, V., ČERNOHOUS, V., KULHAVÝ, Z. a ŠACH, F. *Analýza povodňových vln jako nástroj studia odtokového procesu na malém lesním povodí - Hydrologická analýza sestupné větve hydrogramu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží pro povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách*. Zprávy lesnického výzkumu, 52, 2007a, č. 4, s. 374–381.
- ŠVIHLA, V., ČERNOHOUS, V., KULHAVÝ, Z. a ŠACH, F. *Analýza povodňových vln jako nástroj studia odtokového procesu na malém lesním povodí - Hydrologická analýza vzestupné větve hydrogramu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží pro povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách*. Zprávy lesnického výzkumu, 52, 2007b, č. 4, s. 382–389.
- WESSELING, J. Subsurface flow into drains. *Theories of field drainage and watershed runoff*. Wageningen: ILRI. 1973, vol. 11(no. 16), 374 s.
- ŽLÁBEK, P. *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice, 2009. 129 s. Disertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
- ČSN 75 0101. *Vodní hospodářství – základní terminologie*. 2003.
- ZÁKON č. 114/1992 Sb., ze dne 19. února 1992 o ochraně přírody a krajiny.

ŽIVOTOPIS AUTORA

Ing. František Pavlík

Narozen: 29. 5. 1983 v Bohumíně

Trvalé bydliště: Tučkova 12, 602 00 Brno

Kontakt: fpavlik@seznam.cz

Vzdělání:

- 2007 – současnost Doktorské studium, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, obor Vodní hospodářství a vodní stavby.
- 2002–2007 Magisterské studium (Ing.), Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, obor Vodní hospodářství a vodní stavby.
- 1998–2002 Střední průmyslová škola stavební, Ostrava-Zábřeh.

Zaměstnání:

- 2012 – současnost Výzkumný pracovník, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka., v.v.i, pobočka Brno.
- 2007–2010 Vědecký pracovník, Univerzita Palackého v Olomouci.

Stáže:

- 2011–2011 14 denní odborná stáž, institut Bioforsk, As Norsko.

Řešené projekty:

- 2007–2008 FRVŠ G1-84 Automatizace erozních a odtokových poměrů s pomocí digitálního modelu terénu Atlas (řešitel).
- 2007–2009 SP/2E3/172/07 Hodnocení negativního vlivu degradačních faktorů na půdu a návrh možností jeho omezení – vytvoření podkladů pro plnění požadavků daných návrhem Směrnice na ochranu půdy EU (člen řešitelského týmu).
- 2007–2010 QH72203 Návrh podpory vhodných zemědělských technologií a stanovení identifikátorů pro posouzení ekologických a retenčních funkcí půd a krajiny (člen řešitelského týmu).
- 2008–2010 SP/2E7/73/08 Identifikace antropogenních tlaků na kvalitativní stav vod a vodních ekosystémů v oblastech povodí Moravy a Dyje (člen řešitelského týmu).
- 2009–2009 HS 12944002 Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky (další řešitel).
- 2009–2011 QH92298 Systém přírodně blízkých protierozních a protipovodňových opatření a jeho optimalizace v procesu pozemkových úprav (člen řešitelského týmu).

2009–2013	QI91C200 Hodnocení účinnosti realizace komplexních pozemkových úprav (člen řešitelského týmu).
2010–2010	Specifický výzkum FAST-J-10-20 Příspěvek k rozvoji metodologie pro volumetrickou kvantifikaci projevů vodní eroze v ploše povodí a drahách soustředěného povrchového odtoku (řešitel).
2011–2011	FRVŠ G1 2757/2011 Vytváření digitálního modelu terénu v prostředí MicroStationu (spoluřešitel).
2011–2011	Specifický výzkum FAST-J-11-45 Vývoj měřících zařízení pro potřeby měření projevů vodní eroze v drahách soustředěného povrchového odtoku (spoluřešitel).
2012–2014	QJ1230066 Degradace půdy a její vliv na komplex půdních vlastností včetně návrhu nápravných opatření k obnově agroekologických funkcí půdy (člen řešitelského týmu).

Ostatní činnosti:

2007–2010	tajemník při SZZ bakalářského a magisterského studia,
2008–2008	aktivní účast na přípravě a vedení kurzu celoživotního vzdělávání – GIS,
2009–2009	člen odborné komise SVOČ,
2009–2009	člen zkušební komise přijímacího řízení na FAST,
2010–2010	člen zkušební komise pro přijímací zkoušky na FAST do navazujícího magisterského programu,
2010–2014	autor 7 posudků diplomových či bakalářských prací.

ABSTRAKT

Cílem této práce je kvantifikovat přirozenou vodní retenční schopnost krajiny ve vybraných povodích a stanovit významnost vybraných klimatických a geografických činitelů povodí na jednotlivé složky retence. Za účelem kvantifikace přirozené vodní retence krajiny bylo vybráno 18 srážko-odtokových událostí na 11 povodích. Pro tyto povodí byly provedeny analýzy krajinného pokryvu, geomorfologických, pedologických i hydrologických poměrů s využitím nástrojů GIS a byly také rekonstruovány historické stavy využívání území pro historické srážko-odtokové situace, které jsou také předmětem řešení. Pro samotnou kvantifikaci byly využity dvě různé metody, kde jedna z nich byla využita ve dvou variantách. Na dvou vybraných povodích byly také sestaveny srážko-odtokové modely v prostředí HEC-HMS a simulovány scénáře krajinného pokryvu (pozitivní i negativní). V práci byly také na vybraných povodích využity již dříve provedené simulace scénářů krajinného pokryvu jinými autory. Celkový finální soubor 33 srážko-odtokových událostí byl podroben statistické korelační a regresní analýze, při které bylo cílem stanovit významnost jednotlivých posuzovaných parametrů ve vztahu ke složkám přirozené vodní retence povodí.

ABSTRACT

The aim of this work is to quantify the natural water retention capacity of the landscape in selected catchments and determine the significance of selected climatic and geographic basin factors on components of retention capacity. 18 rainfall-runoff events were selected in 11 catchments for quantification of the natural water retention capacity of landscape. Land cover, geomorphological, pedological and hydrological conditions were analyzed for this basin using GIS tools. Historical rainfall-runoff events for which were restored historical land cover were also evaluated in this work. Two different methods were used for the quantification of retention capacity, one of them was used in two variants. A rainfall-runoff models and simulated scenarios of land cover (positive and negative) were constructed in two selected catchments in HEC-HMS. The work also use previously performed simulation scenarios of land cover formulated by other authors. Total final set of 33 rainfall-runoff events were subjected to statistical correlation and regression analysis. The goal of these analyses was to determine the significance of individual parameters assessed in relation to the components of natural water retention of catchment.

