

VELKÉ VODY NA LESNÍM POVODÍ V ORLICKÝCH HORÁCH

FLOODS IN FORESTED WATERSHED, THE ORLICKÉ HORY MTS. (CZECH REPUBLIC)

VLADIMÍR ŠVIHLA¹⁾ - VLADIMÍR ČERNOHOUS²⁾ - FRANTIŠEK ŠACH²⁾ ✉¹⁾ Fügnerova 809, CZ - 266 01 Beroun 2²⁾ Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno, Na Olivě 550, CZ - 517 73 Opočno

✉ e-mail: sach@vulhmop.cz

ABSTRACT

The objective of our study is to investigate a relationship of mountain forest and occurrence of floods within the forested watershed. Floods have received much attention lately, especially in terms of extreme peak discharges being lowered by forests. Our study is theoretically based on unit hydrograph (JH) and modified three linear reservoirs model (TLN). Eight flood events between 2005 and 2008, and one extraordinary event in 2000 were transformed in both models deriving precipitation of 100-year periodicity. We derived parameter x expressing influence of forest; it was based on underground retention space of forest soil and its impact on floods. Parameter x is a variable depending on the retention space as the particular events occur. Mitigation of floods depends on filling of retention soil space with infiltrated water. The parameter x varied between 0.61–0.69 depending on real retention of precipitation water in soil and given amount of rainfall causing floods.

Klíčová slova: velké vody, stoletá voda, jednotkový hydrogram, tři lineární nádrže, humusový podzol, kambizem, horské povodí, smrk ztepilý

Key words: floods, 100-year flood, unit hydrograph, three linear reservoirs, humus podzol, cambisol, mountain watershed, Norway spruce

ÚVOD

Studie zabývající se vlivem vegetačního krytu na tvorbu povodňových vln (HEWLETT, HELVEY 1970) a snižování kulminačních průtoků velkých vod lesy a lesnickým hospodařením (EISENBIES et al. 2007) jsou stále aktuální. Řešení otázky vlivu lesů na tvorbu extrémních povodňových vln má význam zejména v horských oblastech s vysokými srážkovými úhrny. Modelovým územím pro studium hydrologie obnovujícího se lesního prostředí je experimentální povodí U Dvou louček (UDL) v Orlických horách. Povodí UDL je pro řešení této otázky velmi dobře vybaveno přístrojovou technikou, bylo podrobně hydropedologicky i hydrogeologicky prozkoumáno a je předmětem řešení příbuzných problémů, v neposlední řadě hydrologické bilance povodí. Vodní režim na tomto výzkumném objektu je podrobně sledován již 20 let.

MATERIÁL A METODIKA

Výzkumný objekt

Podrobný popis povodí, jeho experimentální vybavení a přírodní podmínky obsahuje řada publikací (ŠEDA 2003; ČERNOHOUS 2006). Jedná se o vrcholovou polohu Orlických hor, plocha povodí je 32,6 ha, nadmořská výška 880–950 m n. m., průměrný srážkový úhrn za léta 1992–2009 je ve vegetačním období 671 mm, v mimovegetačním období 972 mm, celkem 1643 mm. Lesní půdy tvoří kambizemě (2/3 výměry), humusový podzol (1/3) a 2,5 ha organozemě s pramenními vývěry. Podloží povodí jsou dvouslídne ruly a svory. Kvartér tvoří deluviální písčité a písčitojilovité hlíny s příměsí skeletu 20–50 %. Průměr sumy ročních odtoků 1992–2010 je ve vegetační periodě 369 mm (7,6 l.s⁻¹), v mimovegetační periodě 719 mm (14,9 l.s⁻¹), celkem za rok

1088 mm (11,24 l.s⁻¹). Lesní porost tvoří smrk, stáří 10–20 let (82 % plochy) a buk-smrkový porost, stáří 85 let (18 % plochy). Smrk se nachází na ploše minimálně ve třetí generaci.

Příspěvek byl zpracován na teoretickém základě jednotkového hydrogramu (JH) (DUB, NĚMEC 1969) a modelu funkce lineárních nádrží (ZEEUW 1972; ŠVIHLA et al. 2007a, 2007b) modifikovaného na funkci tří lineárních nádrží (TLN). Pro modelové zpracování bylo využito experimentálních dat VÚLHM, v. v. i., Výzkumné stanice Opočno, z lesního povodí „U Dvou louček“ v Orlických horách. Předložená analýza velkých vod v povodí UDL byla realizována třemi metodami: metodou JH, modelem TLN a empirickým vzorcem pro výpočet v. v. 100leté periodicity. Výpočty byly rozděleny na vegetační a mimovegetační periodu.

Základem modelů je kontinuální měření průtoků na Thompsonově přepadu s automatickým průběžným záznamem v závěru povodí na bezejmenném pravostranném přítoku Anenského potoka a kontinuální měření srážek volné plochy a podkorunových srážek v lesních porostech. Pro analýzu velkých vod bylo vybráno měření celkem osmi povodňových vln z let 2005–2008 a mimořádná povodňová vlna z roku 2000 pro mimovegetační periodu. K řešení problému kvantifikace velkých vod na malém lesním povodí byl zvolen zásadní teoreticko-experimentální přístup.

Základní problém transformace naměřených aktuálních odtoků v odtoky N-leté byl řešen odvozením parametrů JH naměřených velkých vod a jejich převedením modelem JH v kombinaci s modelem TLN na velké vody N-leté periodicity. K transformaci bylo použito v obou případech odvození srážek 100leté periodicity a úprava naměřených efektivních srážek koeficienty (DUB, NĚMEC 1969).

$$K = \frac{HS[ef, W(100)]}{HS[ef, W(10)]}$$

Výše 100letých srážek HS byla vypočtena podle rovnice (DUB, NĚMEC 1969)

$$HS = (a \log t + b)N^n \quad (1)$$

kde

W(100), W(10) – objem stoleté povodně, resp. jednotkového hydrogramu [10 mm]

a, b, n – regionální konstanty

t – doba trvání deště (min)

N – 100 let

HS[ef,W(100)], HS[ef,W(10)] – objem efektivní srážky při odtoku 100leté velké vody, resp. objemu JH [10 mm].

Vypočtené srážky HS byly upraveny na srážky efektivní HS(ef). Modelem TLN byly stanoveny povodňové vlny z průměrných a maximálních graficko-početných stanovených hodnot regulačních koeficientů α (ZEEUW 1972) metodou „great envelop line“ a z maximální napozorované hodnoty HS(ef) a VQ(N) v letech 1996–2008. Zvlášť byla zpracována mimořádná vlna z března 2000. Uvedený postup vedl k souhlasu odvozených maximálních průtoků povodňových vln vypočtených metodou JH a modelem TLN. Výpočet N-leté velké vody byl proveden aproximací z maximálních napozorovaných vln i z jejich průměrů.

Odvození velkých vod (v. v.) metodami JH a TLN bylo porovnáno s modelem O. Duba pro malá povodí (DUB 1957; DUB, NĚMEC 1969; HORSKÝ 1970):

$$Vq(100) = \frac{A}{(1+F_p)^n} \cdot O(L) \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2] \quad (2)$$

kde

Vq(100) – specifický průtok 100leté velké vody

A, n – konstanty modelu

F(p) – plocha povodí

O(L) – součinitel určující vliv lesa $O(L) = (1 - x \frac{F(L)}{F(p)})$

F(L) – plocha lesa v povodí.

Pro velmi malá povodí je jmenovatel rovnice č. (2) $(1+F_p)^n$ (DUB 1957). Z publikace Opakování velkých vod na malých povodích (ČERMÁK 1962) bylo určeno n ($0,335 \leq n \leq 0,542$). Parametr x byl odvozen na základě přibližné analogie vlivu lesa (parametr x) a vlivu retenčního prostoru podzemní nádrže půdní vody lesního porostu na VQ(N).

$$VQ(N)(1-x) = VQ(N)(1 - \frac{W(R)}{\varepsilon \cdot W(v.v.)}) \quad (F(L)=F(p)) \quad (3)$$

kde

VQ(N) – průtok v. v. N-leté [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

N – pro HS(ef) staleté periodicity je rovno přibližně 100

x – parametr určující vliv lesa na průtok v. v.

W(R) – objem retence vody v půdě při kulminaci v. v. N-leté

W(v.v.) – objem povodňové vlny při v. v. N-leté infiltrované do půdy a půdou odteklé

ε – opravný koeficient dle Darebníka (ČERKAŠIN 1963).

Z rovnice (3) vyplývá:

$$(1-x) = (1 - \frac{W(R)}{\varepsilon \cdot W(v.v.)}) \quad x = \frac{W(R)}{\varepsilon \cdot W(v.v.)}$$

Když x je zřejmě proměnná veličina, mění se od vlny k vlně. Znamená to, že snížení velkých vod lesními porosty je přímo závislé na retenčním půdním prostoru pro infiltrovanou vodu a jeho plnění.

Uvedený přístup umožňuje určení konstanty A v rovnici (2).

$$VQ(N) = \frac{A}{(1+F_p)^n} \cdot (1 - \frac{W(R)}{\varepsilon \cdot W(v.v.)}) \cdot F(p) \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

když $F(L) = F(p)$, $\frac{W(R)}{\varepsilon \cdot W(v.v.)} = x$, $0,335 \leq n \leq 0,542$ (dle Čermáka, viz ČERMÁK 1962).

Výsledky modelů JH a TLN dávají všechny potřebné veličiny v rovnici (4), neznámá je pouze parametr A.

Konečně k porovnání výsledků analýzy s publikovanými výsledky měření v. v. ČHMÚ (HORSKÝ 1970) byla zvolena metamorfóza na pozoro-

vaných specifických odtoků z různě zalesněných povodí 100letých v. v. na odtok 100letých v. v. z lesních ploch. Tím byla jednotlivá povodí, charakterizovaná různým % zalesnění, uvedena na srovnatelnou bázi.

Přepočtení bylo provedeno výrazem

$$Vq(100, les) = Vq(100, \frac{F(L)}{F(p)}) \cdot \frac{(1-0,52)}{(1-0,52 \cdot F(L)/F(p))}$$

kde

F(L), F(p) – plocha povodí zalesněná, resp. plocha povodí celková.

Tímto způsobem byla určena poloha analýzou vypočtených parametrů v širší bázi malých vodních toků v horních částech řek Labe, Jizery, Divoké a Tiché Orlice, Metuje.

Stejně byl proveden přepočtení Vq(N) uváděných Čermákem (ČERMÁK 1962), platných pro konkrétní % zalesnění povodí na Vq(N) těchto povodí, kdyby byly 100% zalesněny.

VÝSLEDKY

Vstupní údaje analýzy obsahuje tab. 1. Z jejích dat byly předně odvozeny tab. 2 a 3 s výpočtem maximálních průtoků velkých vod N-letých metodou JH pro každou napozorovanou povodňovou vlnu. Průměr takto získaných hodnot VQ(N) pro vegetační periodu je $470 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, metodou TLN bylo stanoveno $554 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Důležitá je hodnota maximální dle JH VQ(N)Max = $621 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 2), která se liší o 5 % od výsledku výpočtu dle metody TLN(MAX), kdy VQ(N) = $653 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 4), což potvrzuje reálnost zvoleného postupu analýzy (jde o odvození možných maxim dvěma metodami z vln 1996–2008, mimo vlnu z 03/2000). Podobně je pro mimovegetační periodu VQ(N)Max = $651 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, dle metody JH (tab. 3) a dle metody TLN (tab. 5) je $694 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ($\Delta = 6 \%$). Pro vegetační periodu platí pro velké vody údaje tab. 4, 4a, pro mimovegetační periodu údaje tab. 5, 6. Přehled výsledků je v tab. 7.

Pro povodí Kychová a Zděchovka (VÁLEK 1962; HORSKÝ 1970) platí

$$Vq(100, les) = Vq(100, bezlesí) \cdot (1-x)$$

$$1,905 = 5,390(1-x)$$

$$x = 3,485/5,390 = 0,64$$

Specifický odtok velké vody 100leté na povodí Kychová je srovnatelný s velkou vodou 100letou vypočtenou pro povodí U Dvou louček – $1,80 \rightarrow 2,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (tab. 8). Hodnoty parametru x ($0,64-0,52$, tab. 7) se téměř neliší. Povodí Kychová se nachází v pramenné oblasti Javorníků v nadmořské výšce 556–903 m n. m. Porovnávají se ovšem absolutní zjištěné hodnoty velkých vod, nikoliv hydrologická analogie.

W(R) – objem retence vody v podzemní nádrži v lesní půdě

W(10) – objem JH (= 10 mm)

A, x – parametry empirického vzorce

VQ(N) – velká voda N-letá [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Vq(N) – specifický odtok velké vody N-leté [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$]

Pro retenci srážkové vody v lesní půdě (v podzemní nádrži) je pro v. v. N-letou ve vegetační periodě skutečná retence R(sk) = $6,5 \cdot 6,8 = 44,2 \text{ mm}$ (tab. 4).

Podle pedologického průzkumu (ŠVIHLA et al. 2007a, 2007b) celková retenční kapacita půdy v povodí UDL je 123,3 mm. Při v. v. N-leté se využije z její kapacity 36 %. Pro mimovegetační periodu platí R(sk) = $5,4 \cdot 7,9 = 42,7 \text{ mm}$ (tab. 5), tj. 35 % retenční kapacity lesní půdy UDL. Navíc byla zpracována velká voda z března 2000 (tab. 6). Tato mimořádná v. v., zřejmě více než 100leté periodicity zasáhla povodí UDL srážkou 302,2 mm (déšť 253 mm a tání sněhu 49,2 mm) a vyvolala vlnu velké vody o kulminaci 1556 $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnoty A a x jsou v tab. 6. Navíc pro určení polohy Vq(N) povodí UDL mezi doposud naměřenými hodnotami Vq(100) různých horských malých vodních toků byla provedena transformace naměřených dat pro různou lesnatost na fiktivní 100% zalesnění (tab. 8, obr. 1).

Tab. 1.

Vstupní údaje analýzy velkých vod na povodí U Dvou louček
Input data of flood flow analysis in the U Dvou louček catchment

Datum ¹	Suma srážek ²	Suma odtoku ³	Odtok. koeficient ⁴	Retence ⁵	Kulminace ⁶	Pomalý (základní) ⁷		Zrychlený (podpovrchový) ⁸		Rychlý (povrchový) ⁹		α1 pro pomalý ¹⁰	α2 pro zrychlený ¹¹	α3 pro rychlý ¹²
	mm	mm	%	mm	l.s ⁻¹	mm	%	mm	%	mm	%			
Zima ¹³														
8.3.–14.3. 2000	302,2	302,2	100,0	0	1556,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17.3.–23.3. 2005	96,3	54,8	56,85	41,6	150,37	16,6	30,28	21,6	39,52	16,5	30,20	0,00592	0,07059	0,18609
1.3.–5.3. 2007	55,5	31,1	56,02	24,4	104,15	20,6	66,41	8,0	25,67	2,5	7,92	0,01558	0,12873	0,23851
17.3.–22.3. 2007	58,1	51,7	88,90	6,4	99,92	37,6	72,82	7,8	15,13	6,2	12,06	0,00931	0,13899	0,03552
1.3.–7.3. 2008	75,77	48,99	64,66	26,8	344,97	22,4	39,32	10,8	19,04	23,7	41,64	0,01199	0,09052	0,32602
15.4.–18.4. 2008	39,8	27,0	67,75	12,8	114,38	20,3	75,10	3,9	14,34	2,8	10,56	0,01194	0,13440	0,61397
Ø	65,1	42,7	66,8	22,4	161,56	23,5	56,78	10,4	22,74	10,3	20,48	0,01095	0,11265	0,28002
Léto ¹⁴														
15.5.–16.5. 1996	39,1	33,1	84,65	6,0	181,58	18,2	54,98	11,2	33,84	3,7	11,18	0,02081	0,18829	0,35659
1.7.–3.7. 1997	46,5	19,1	41,08	27,4	136,38	8,1	42,41	8,3	43,45	2,7	14,14	0,03399	0,14742	0,41892
17.5.–22.5. 2001	68,9	38,2	55,44	30,7	133,90	18,9	49,47	15,8	41,51	3,4	9,02	0,00958	0,09206	0,24307
28.5.–31.5. 2001	61,5	21,0	34,10	40,5	178,73	9,9	47,39	8,8	41,78	2,3	10,84	0,00805	0,11276	0,97803
16.7.–18.7. 2002	33,2	12,2	36,75	21,0	192,22	2,9	24,02	6,3	52,04	2,9	23,94	0,02342	0,18094	0,48416
2.8.–4.8. 2002	75,1	13,5	17,98	61,6	210,33	3,7	27,55	8,0	59,04	1,8	13,41	0,02589	0,15510	0,68330
13.8.–17.8. 2002	80,1	24,3	30,34	55,8	153,28	9,7	40,06	11,4	46,74	3,2	13,21	0,02063	0,09386	0,66799
15.6.–28.6. 2005	39,1	7,6	19,44	31,5	125,11	4,1	53,52	2,7	35,60	0,8	10,88	0,01267	0,23665	2,90550
Ø	55,43	21,12	39,98	34,3	163,94	9,4	42,42	9,1	44,25	2,6	13,3	0,01938	0,15088	0,84219

¹Date; ²Gross precipitation; ³Total runoff; ⁴Runoff coefficient; ⁵Retention; ⁶Peak flow; ⁷Slow (base) flow; ⁸Accelerated (subsurface) flow; ⁹Quick (surface) flow; ¹⁰α1; ¹¹α2; ¹²α3 – koeficienty proporcionality pro pomalý, zrychlený a rychlý odtok – Proportionality coefficient for slow, accelerated, and quick runoff, respectively (ŠVIHLA et al. 2007a); ¹³Winter season; ¹⁴Summer season

Tab. 2.

Výpočet 100leté velké vody jednotkovým hydrogramem (vegetační období); I(t) = 19 %
Calculation of 100-year flood flow through unit hydrograph (growing season)

Datum/Date	HS [mm]	WQ(N) [mm]	VQ(N) [l.s ⁻¹]	R [mm]	$\frac{WQ(10)}{WQ(N)}$	VQ(10) [l.s ⁻¹]	$K = \frac{WQ(100)}{WQ(10)}$	VQ(100) [l.s ⁻¹]	t [hod/hours]	HS(100) - I(t)	N [let/yrs]
13.5.–16.5. 1996	39,0	33,1	181,58	5,9	0,302	54,84	6,8	372,91	6	74-6	11
1.7.–3.7. 1997	46,5	19,1	136,38	27,4	0,524	71,46	6,0	428,76	6	74-14	17
17.5.–22.5. 2001	68,4	30,9	133,90	37,5	0,324	43,38	7,2	312,36	19	89-17	7,5
28.5.–31.5. 2001	61,5	19,2	178,73	42,3	0,520	92,94	6,6	613,40	10	81-15	54
13.8.–17.8. 2002	80,1	14,3	153,28	65,8	0,699	107,14	5,8	621,43	5	72-14	56
Ø	59,1	23,3	156,77	35,8	0,474	73,95	6,5	469,77	-	-	-

HS – úhrn srážek volné plochy/gross precipitation of open area; WQ(N) – objem velké vody N-leté/N-year flood flow depth; VQ(N) – kulminační průtok naměřené velké vody N-leté/peak stream flow of measured N-year flood flow; R = HS – WQ(N) – retence/retention; WQ(10), WQ(100) – objem odtoku JH [10 mm], resp. 100leté velké vody/depth of flow by unit hydrograph JH [10 mm], and 100-year flood flow depth, respectively; VQ(10), VQ(100) – kulminační průtok JH, resp. 100leté velké vody/peak stream flow by unit hydrograph JH, and 100-year flood flow, respectively; t – doba koncentrace velké vody/time of flood flow concentration; I(t) – intercepce/interception; N – periodičita napozorovaných velkých vod/periodicity of measured flood flow

Tab. 3.

Výpočet 100leté velké vody jednotkovým hydrogramem (mimovegetační období); I(t) = 0
Calculation of 100-year flood flow through unit hydrograph (dormant season)

Datum/Date	HS [mm]	WQ(N) [mm]	VQ(N) [l.s ⁻¹]	R [mm]	$\frac{WQ(10)}{WQ(N)}$	VQ(10) [l.s ⁻¹]	VQ(100) [l.s ⁻¹]	$K = \frac{WQ(100)}{WQ(10)}$	t	HS(100)	N [let/yrs]
17.3.–23.3. 2005	96,3	43,3	150,67	53,0	0,230	34,65	304,96	(8,8)			7
1.3.–5.3. 2007	55,5	17,4	104,15	38,1	0,575	59,86	526,74	(5,0)			46
17.3.–22.3. 2007	58,1	30,8	99,92	27,3	0,325	32,44	272,50	(8,4)			5
1.3.–7.3. 2008	75,8	41,9	344,97	33,9	0,238	82,37	650,73	7,9	9	79	93
15.4.–18.4. 2008	48,7	26,4	114,38	22,3	0,379	43,36	338,21	7,6	8	78	12
Ø	66,9	32,0	162,82	34,9	0,349	50,54	418,63	7,5			

Pozn/Note: Údaje K v závorce byly stanoveny odborným odhadem/Data of K in brackets were determined by qualified estimation

Tab. 4.

Velká voda dle JH(max) a TLN(max) (vegetační období)
Flood flow by unit hydrograph JH (max) and by three linear re-
servoirs model TLN (max) (growing season)

Model TLN q mm.h ⁻¹	VQ(N) l.s ⁻¹		HS 13. 5.–16. 5. 1996 HS = 74 -6 = 68
	TLN	JH	
0,50	307,91		K = 90,56
0,43	264,80		η = 6,8
0,59	363,33		η.K = 615,81
0,78	480,33		$x = \frac{6,49 \cdot 0,97}{1,039 \cdot 0,00} = 0,68$
1,01	621,97		
1,06	652,76	621,43	η.K – konstanta pro přepočítání q mm.h ⁻¹ na VQ(N) l.s ⁻¹
0,75	461,86		0,335 ≤ n ≤ 0,542
0,61	375,64		
0,52	320,22		
0,46	283,27		
0,39	240,17		1) $0,653 = \frac{A}{1,099} \cdot 0,326(1 - 0,68)$
0,35	215,53		A ₁ = 6,88 pro n = 0,335
0,31	190,90		
0,29	178,58		2) $0,653 = \frac{A}{1,165} \cdot 0,326(1 - 0,68)$
0,27	166,27		A ₂ = 7,29 pro n = 0,542
0,24	147,79		6,88 ≤ A ≤ 7,29
0,22	135,48		
0,21	129,32		
0,20	123,16		
0,17	104,69		
0,15	92,37		
0,13	80,06		
0,12	73,90		
0,12	73,90		
0,12	73,90		
Σ 10,00	6158,11		

Tab. 4a.

Velká voda na základě modelu TLN se vstupy z Ø JH (vegetační období)
Flood flow using model TLN with inputs from Ø JH averages (growing sea-
son)

Model TLN q mm.h ⁻¹	VQ(N) l.s ⁻¹		JH l.s ⁻¹	K = 90,56 η = 6,8 η.K = 615,81 W(R) = 6,49
	VQ(N) l.s ⁻¹	JH l.s ⁻¹		
0,35	215,53			
0,31	190,90			
0,44	270,96			$x = 0,97 \frac{6,49}{\varepsilon \cdot 9,00} = \frac{6,49 \cdot 0,97}{1,02 \cdot 9,00} = 0,69$
0,61	375,64			0,335 ≤ n ≤ 0,542
0,83	511,12			
0,90	554,23	469,77		
0,65	400,28			1) $0,554 = \frac{A}{1,099} \cdot 0,326(1 - 0,69)$
0,55	338,70			A ₁ = 6,02 pro n = 0,335
0,50	307,90			
0,45	277,11			2) $0,554 = \frac{A}{1,165} \cdot 0,326(1 - 0,69)$
0,41	252,48			A ₂ = 6,39 pro n = 0,542
0,35	215,53			6,02 ≤ A ≤ 6,39
0,33	203,22			
0,31	190,90			
0,28	172,43			
0,26	160,11			
0,24	147,79			
0,22	135,48			
0,20	123,16			
0,19	117,00			
0,18	110,85			
0,17	104,69			
0,16	98,53			
0,16	98,53			
0,15	92,37			
0,15	92,37			
0,14	86,21			
0,13	80,06			
0,13	80,06			
0,13	80,06			
0,12	73,90			
Σ 10,00	6158,10			

Tab. 7.

Přehled výsledků
Results

Metoda ¹	VQ(N) l.s ⁻¹		x	A	Pozn./Note
	TLN	JH			
Ø JH + TLN	554	470	0,69	6,88 – 7,29	Tab. 2, 4a –Ø vegetační období (v. o.) ²
Ø JH	-	419	-	-	Tab. 3 –Ø mimovegetační období (mv. o.) ³
JH(Max) + TLN	653	621	0,68	6,02 – 6,39	Tab. 2, 4 – MAX (v. o.)
JH(Max) + TLN	694	651	0,61	5,99 – 6,36	Tab. 3, 5 – MAX (mv. o.)
v. v.		1556*	0,00	5,24 – 5,56	Tab. 6 – mv. o.
Ø zvažovaný			0,52	6,03 – 6,40	

*Naměřený průtok s N > 100 let/Measured stream flow with N > 100 years

¹Method; ²Average for growing season; ³Average for dormant season

DISKUSE

Původní model dvou lineárních nádrží J. W. de Zeeuwa (ZEEUW 1972) byl pro naši analýzu upraven na model tří lineárních nádrží (odtok pomalý, zrychlený, rychlý) a výpočet povodňových vln byl nově doplněn systémem rektifikace dílčích výpočtů. Původní model totiž obsahoval dva obecně neplatné axiomy. Model tří lineárních nádrží (TLN) má dlouhodobou aplikovatelnost i širší použití. Oba konstatované fakty dokládají Dvořáková et al. (2012), kteří model TLN modifikovali jako konceptuální lineární model základního odtoku s denní variabilitou v bezesrážkovém období. Obdobné složky odtoku v průběhu velké povodně separovali a simulovali TESAŘ, BUCHTELE (2013) pomocí sázkoodtokového Sacramento modelu SAC-SMA. Jednoduchý model blízký námi použitému modelu tří lineárních nádrží, který využívá sestupnou větev hydrogramu a index předchozích srážek (API), vyvinuli k simulaci povodňového odtoku FEDORA, BESCHTA (1989). Model srovnatelný s podmínkami U Dvou louček zkonstruoval pro povodňový odtok a jeho separaci v pramenných oblastech FUKUSHIMA (2006). Jednotkový hydrogram pak využili KHAN, ORMSBEE (1989). Jako univerzálnější se však projevil jimi rozšířený kinematický retenční model (Extended Kinematic Storage Model), beroucí v úvahu mechanismy toku vody půdou jak v makro- tak v mikropórech a lépe plnící validační testy.

K řešení problému určení velkých vod v povodí U Dvou louček byly zvoleny dvě metody, model tří lineárních nádrží (TLN) a model jednotkového hydrogramu (JH). Výsledky získané oběma metodami jsou srovnatelné a vedou k závěru o správnosti zvoleného postupu. S parametry povodí Kychové by velká voda v povodí UDL byla 621 l.s⁻¹

Tab. 5.

Velká voda dle JH(max) a TLN(max) (mimovegetační období)
Flood flow by JH(max) and TLN(max) (dormant season)

Model TLN	VQ(N) l.s ⁻¹	
q mm.h ⁻¹	TLN	JH l.s ⁻¹
0,15	107,31	
0,20	143,08	
0,30	214,63	
0,42	300,48	
0,56	400,64	
0,63	450,72	
0,79	565,18	
0,91	651,04	
0,97	693,96	650,73
0,78	558,03	
0,70	500,80	
0,64	457,87	
0,53	379,17	
0,44	314,79	
0,37	264,71	
0,34	243,24	
0,28	200,32	
0,23	164,55	
0,20	143,08	
0,17	121,62	
0,15	107,31	
0,13	93,01	
0,11	78,70	
Σ 10,00	7154,24	

1. 3.-7. 3. 2008

K = 90,56

 $\eta = 7,9$ $\eta \cdot K = 715,424$

W(R) = 6,49

$$x = 0,97 \frac{5,37}{1,07 \cdot 8,00} = 0,61$$

 $0,335 \leq n \leq 0,542$

$$1) 0,694 = \frac{A}{1,099} \cdot 0,326(1 - 0,61)$$

$$A_1 = 5,99 \quad \text{pro } n = 0,335$$

$$2) 0,694 = \frac{A}{1,165} \cdot 0,326(1 - 0,61)$$

$$A_2 = 6,36 \quad \text{pro } n = 0,542$$

$$5,99 \leq A \leq 6,36$$

jedenkrát za 100 let. Absolutní hodnoty odtoků velkých vod obou povodí jsou v tomto smyslu srovnatelné.

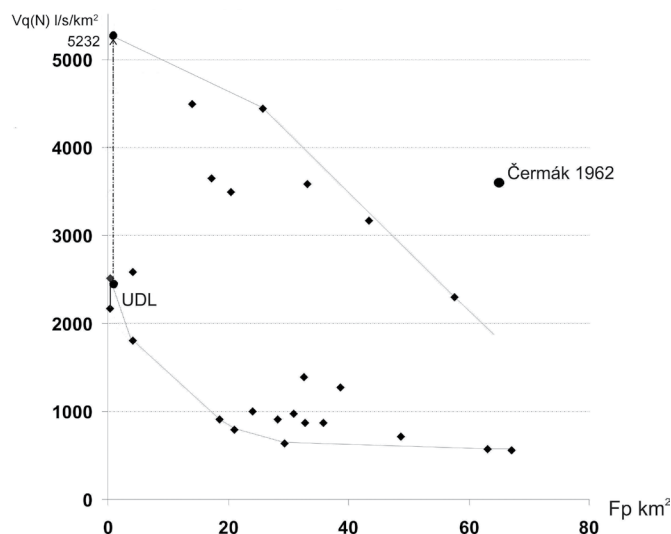
Ke kontrole zvoleného postupu analýzy byla použita empirická výpočetní metoda založená na vzorcích (3) (DUB 1957; ČERMÁK 1962; ČERKAŠIN 1963; DUB, NĚMEC 1969; HORSKÝ 1970; KREČMER et al. 2003), používaná běžně ve světové literatuře (cit. DUB, NĚMEC 1969).

Především parametr x v citované literatuře se pohybuje dle různých autorů v mezích $0,0 \leq x \leq 0,77$, zřejmě podle podmínek, ve kterých byla hodnota parametru x odvozena. Dle Duba (DUB 1957) obecně $x = 0,5$, dle Čermáka (ČERMÁK 1962) a Čerkašina (ČERKAŠIN 1963) $x = 0,4$, dle Němce (NĚMEC 1964) $x = 0,1-0,2$, dle HMŮ (1970) $0,3 \leq x \leq 0,65$, dle Krečmera (KREČMER et al. 2003) $0,0 \leq x \leq 0,77$. Z rozboru dat jednotlivých autorů je zřejmé, že hodnoty $x = 0,61-0,69$ (tab. 7) odvozené v povodí UDL se pohybují v mezích uváděných v literatuře.

Tab. 6.

Velká voda 03/2000 (mimovegetační období)
March 2000 flood flow (dormant season)

Datum/Date	Hod/ Hour	WQ(N) l.s ⁻¹	$x \rightarrow 0$ Cobj * 1,0 $0,335 \leq n \leq 0,542$
9.3.2000	9	792,14	
	10	909,50	1) $1,5558 = \frac{A}{1,099} \cdot 0,326 = 0,283 \cdot A$
	11	1345,47	$A_1 = 5,24 \quad \text{pro } n = 0,335$
	12	1507,09	
	13	1555,81*	
	14	1342,94	2) $1,5558 = \frac{A}{1,165} \cdot 0,326$
	15	1198,17	$A_2 = 5,56 \quad \text{pro } n = 0,542$ $5,24 \leq A \leq 5,56$



Obr. 1.

Specifické odtoky velkých vod stoletých v povodí toků horního Labe metamorfované na odtok z lesních ploch

Fig. 1.

100-year flood flows in watersheds of streams of the upper Labe river basin metamorphosed to stream flow from forested areas

Tab. 8.

Specifické odtoky 100letých v. v. vybraných horských malých vodních toků přepočtené ze skutečného na 100% zalesnění
100-year flood flows of representative mountain creeks recalculated from real forest percentage to full forest percentage

Vodní tok ¹	Povodí ² [km ²]	q l.s ⁻¹ .km ⁻²		$\frac{1-0,52}{1-0,52F(L)/F(p)}$	q'(100) l.s ⁻¹ . m ²
		q(100) l.s ⁻¹ .km ⁻²	F(L)/F(p)		
Černá Desná	13,96	8882	0,10	0,506	4497
Labe	17,18	4831	0,70	0,755	3646
Bílé Labe	20,54	4625	0,70	0,755	3492
Labe Šp. m.	57,66	3052	0,70	0,755	2304
Malá Úpa	33,19	3977	0,90	0,902	3587
Velká Úpa	43,42	3685	0,85	0,860	3170
Rtyňka	35,85	1534	0,30	0,569	873
Rokytenka	63,22	996	0,30	0,569	567
Bystřec	21,06	1567	0,10	0,506	793
Čermná	28,16	1207	0,70	0,755	911
Libchava	29,46	1188	0,20	0,535	637
Zádolský potok	18,51	1297	0,60	0,698	905
Skořonice	27,17	1988	0,10	0,506	1006
Kychová	4,15	1905	0,95	0,949	1808
UDL	0,33	2209	0,98	0,979	2129
Židovka	32,89	1429	0,40	0,606	866
Dřevíč	67,09	864	0,50	0,649	561
Brlenka	30,82	1492	0,50	0,649	968
Olešenka	48,76	1107	0,50	0,649	718
UDL (VQ(M))*	0,33	4773	0,98	0,979	4673
Zděchovka	4,18	5390	0	0,480	2587
Kamenice	25,80	6357	0,60	0,698	4437
Luční potok	38,70	2248	0,30	0,569	1279
Čistá	32,65	2297	0,40	0,606	1392

Labe, Jizera, D. Orlice, Metuje

*vyšší než 100leté q/greater than 100-year q; ¹Name of the stream; ²Catchment area

Z výsledků analýzy je jasně vidět retenční účinek lesa v povodí UDL, který závisí na skutečné retenci srážkové vody v lesní půdě a na velikosti příčné srážky v. v. Pro extrémně vysoké hodnoty HS(ef) je $x \rightarrow 0$, pro vysokou retenci vody 44 mm v půdě $x = 0,67$.

Další parametr empirické rovnice (4) je A. Pro malá povodí se dostane z dat Čermákových (ČERMÁK 1962) $5,1 \leq A \leq 10,9$, průměrně 8,00. Při přepočtu na $Vq(N)$ les pak $2,4 \leq Vq(N, \text{les}) \leq 5,2$ pro $Fp = 1 \text{ km}^2$. Průměrná hodnota získaná analýzou v povodí UDL je $6,0 \leq A \leq 6,4$. Povodí UDL se nachází v 19% rozmezí hodnot A udávaných Čermákem (ČERMÁK 1962) pro ČR, tj. nachází se v dolní 1/2 hodnot platných pro ČR. DUB, NĚMEC (1969) uvádějí pro Divokou Orlici hodnoty $4,4 \leq A \leq 14$, DUB (1957) pro horské toky $5 \leq A \leq 10$.

Zcela výjimečný příspěvek k analýze velkých vod v povodí UDL představuje povodňová vlna z března 2000. Byla analyzována ve variantě kombinace ovzdušných srážek a tání sněhu v periodě mimovegetační. Vzhledem k vysokému úhrnu srážek (302 mm) byl v období konce zimy s určitou pravděpodobností objemový součinitel odtoku velmi blízký hodnotě Cobj $\rightarrow 1$, a proto $x \rightarrow 0$.

Naměřený úhrn srážek 302 mm přesahuje podstatně 100letou periodicitu, a proto i naměřená hodnota velké vody $Vq(N)$ se zřejmě vyskytuje jednou za období delší než 100 let. Naměřená hodnota průtoku, kulminace velké vody v mimovegetační periodě (tání sněhu + atmosférická srážka) $Vq(N) = 1556 \text{ l.s}^{-1} = 4,77 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{km}^{-2}$.

Celkový přehled výsledků analýzy obsahuje tab. 7. Výsledky měření v. v. zobecněné metodou JH jako průměrem experimentů ve vegetačním období se liší od zobecnění modelem TLN o 9 %, výsledky porovnání maxim $VQ(N)$ se liší o 5 % ve vegetační periodě a 6 % v mimovegetační. Je to v průměru rozdíl 9 %, což dokládá správnost zvoleného teoreticko-experimentálního přístupu k analýze velkých vod v povodí UDL metodou JH a zobecněním jejich výsledků modelem TLN (tab. 7).

Pro porovnání výsledků analýzy kulminace velkých vod v povodí UDL s jinými naměřenými kulminacemi velkých vod na jiných malých horských tocích v povodí Labe, Jizery, Divoké Orlice a Metuje byla zpracována tab. 8. V ní jsou uvedeny transformované hodnoty velkých vod 100letých ze skutečných % zalesnění povodí na 100 % zalesnění, tj. přepočtené hodnoty z částečně zalesněných povodí na povodí 100% lesní. Tento způsob byl zvolen proto, aby bylo možno do takto vzniklého souboru zařadit lesní povodí UDL. Bezpečně bylo zjištěno, že maximální hodnota $VQ(N)$ v povodí UDL (tab. 7) rovná 694 l.s^{-1} , tj. $Vq(N) = 2129 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ se nachází na dolním konci obalových čar porovnávaných hodnot $Vq(100)$. Blízká je jí hodnota $Vq(100) = 1905 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ uváděná v povodí Kychová.

Z obr. 1 lze proto usoudit, že pravděpodobný $Vq(N) = 2,1 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ zjištěný v povodí UDL se nachází při dolní hranici $Vq(100)$ lesních povodí ČR dle Čermáka (ČERMÁK 1962). Znamená to, že povodí

UDL není z hlediska velkých vod typickým bystrinným povodím. Je ovšem nutno uvést, že 100letá efektivní srážka nemusí vyvolat 100letou velkou vodu. Přepočtem Čermákových hodnot (ČERMÁK 1962) z průměrně zalesněných ploch $F(L) = 0,33 F(p)$ na plochy zalesněné 100 % ($F(L) = F(p)$) se dostane $2430 \leq Vq(N) \leq 5232 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ a $Vq(100)$ v povodí UDL se nachází při dolní hranici rozpětí $Vq(N)$ ČR. (Pozn.: Čermákem uváděné hodnoty $Vq(N)$ jsou hodnoty maximálně napozorované). Porovnání s historickými povodněmi viz HLADNÝ et al. (1998). Rozborem údajů o maximálně napozorovaných srážkách (SKATULA 1960; DUB 1957) a jejich porovnáním s rovnicí (1) pro $N = 100, 150, 200, 250$ let bylo zjištěno, že Skatula i Dub udávají vyšší hodnoty úhrnu srážek, průměrně 1,15krát. Je proto nutno vzít v úvahu, že rovnicí (1) určené úhrny 100letých srážek jsou pravděpodobně nižší, než odpovídá údajům v literatuře. Přepočtem $VQ(100)$ z hodnot JH může dávat nižší hodnoty v. v. To znamená, že hodnoty $VQ(100)$ zjištěné analýzou mohou být ve skutečnosti vyšší, $Vq(100)$ může být přibližně v průměru v mezích $2129\text{--}2448 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Korektura výpočtů by ovšem vyžadovala důkladné experimentální ověření rovnice (1) pro povodí UDL, což není v možnostech této práce. Zbývá jen uzavřít, že analýzou zjištěné hodnoty $Vq(100)$ se nacházejí potom přibližně v dolní části rozpětí $Vq(100)$ malých horských povodí v Povodí Labe.

ZÁVĚRY

Výsledky stanovení velkých vod N-letých metodami JH a TLN jsou blízké a srovnatelné s výsledky měření v. v. na lesním povodí Kýchov.

Pro porovnání výsledků analýzy s výsledky kvantifikace v. v. jinými autory byla použita empirická metoda (2) upravená autory staté do rovnice (4). Takto stanovený parametr x zobrazující vliv lesa na v. v. dosahuje v povodí UDL hodnot $0,00\text{--}0,69$ v závislosti na skutečné retenci srážkové vody v půdě a velikosti příčinné srážky v. v. Pro extrémně vysoké hodnoty srážek platí $x \rightarrow 0$, pro retenci 44 mm a srážku 68 mm $x = 0,69$ a retenci 43 mm a srážku 79 mm $x = 0,61$. V průměru je v povodí UDL $x = 0,52$.

Empirický parametr A – rovnice (2) a (4) – byl použit k porovnání výsledku výpočtů s údaji v literatuře. Analýzou získaná hodnota $6,0 \leq A \leq 6,4$ ukazuje, že hodnota A v lesním povodí UDL se nachází v dolní $\frac{1}{2}$ experimentálních hodnot A povodí ČR, uváděných Čermákem (ČERMÁK 1962). Velké vody v lesním povodí UDL se pohybují v mezích $272\text{--}1556 \text{ l.s}^{-1}$. Stoletá v. v., extrapolovaná z naměřených maximálních velkých vod v letech 1992–2008, je v průměru v mezích $694\text{--}798 \text{ l.s}^{-1}$, tj. $2,1\text{--}2,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{km}^{-2}$.

Extrémní hodnoty v. v. vyšší než 100leté periodicity při nulové retenční funkci lesní půdy mohou dosáhnout v povodí UDL v mimovegetační periodě přibližně 1556 l.s^{-1} .

Z výsledků analýzy vyplývá, že velká voda 100letá v povodí UDL se nachází při dolní hranici průtoků velkých vod na malých horských povodích, přepočtených z napozorovaných hodnot s konkrétním zalesněním na hodnoty průtoků ze 100 % lesní půdy. Je to způsobeno zřejmě vysokou retenční kapacitou lesní půdy v povodí UDL, která je vyšší než průměrná.

Smrkový lesní porost v povodí UDL ve třetí generaci projevuje vysokou hydrologicky optimální funkci při snižování průtoků velkých vod v porovnání s bezlesím a v žádném případě nevykazuje negativní vliv na hydrogeologické parametry lesní půdy.

Poděkování:

Výsledky prezentované v příspěvku vznikly v rámci podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků MZe projektu NAZV QI 112A174 „Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině“ a z poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0114 (č.j. 8653/2014- MZE-17011).

LITERATURA

- ČERKAŠIN A. 1963. Hydrologická příručka. Praha, Hydrometeorologický ústav: 224 s.
- ČERMÁK M. 1962. Opakování velkých vod na malých povodích. Vodohospodářský časopis, 10, (3): 233–256.
- ČERNOHOUS V. 2006. Vliv obnovy hydrografické sítě poškozené při imisních těžbách na odtokový proces. Doktorská disertační práce. Praha, ČZU: 101 s.
- DUB O. 1957. Hydrologia. Bratislava, SVTL: 485 s.
- DUB O., NĚMEC J. 1969. Hydrologie. Praha, Nakladatelství technické literatury: 380 s.
- DVOŘÁKOVÁ Š., KOVÁŘ P., ZEMAN J. 2012. Implementation of conceptual linear storage model of runoff with diurnal fluctuation in rainless periods. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 60 (4): 217–226.
- EISENBIES M.H., AUST W.M., BURGER J.A., ADAMS M.B. 2007. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians – a review. Forest Ecology and Management, 242: 77–98.
- FEDORA M.A., BESCHTA R.L. 1989. Storm runoff simulation using an antecedent precipitation index (API) model. Journal of Hydrology, 112 (1/2): 121–134.
- FUKUSHIMA Y. 2006. The role of forest on the hydrology of headwater wetlands. In: Krecek, J., Haigh, M. (eds): Environmental role of wetlands in headwaters. Dordrecht, Springer: 17–47.
- HEWLETT J.D., HELVEY J.D. 1970. Effects of forest clear-felling on the storm hydrograph. Water Resources Research, 6: 768–782.
- HLADNÝ J., BLAŽEK V., DVOŘÁK V., KUBÁT J., ŠVIHLA V. 1998. Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Praha, MŽP ČR: 163 s.
- HORSKÝ L. 1970. Hydrologické poměry ČR. Díl III. Praha, Hydrometeorologický ústav: 305 s.
- KHAN A.Q., ORMSBEE L.E. 1989. A comparison of two hydrologic models for steeply sloping forested watersheds. Journal of Hydrology, 109, (3/4): 325–349.
- KREČMER V., KANTOR P., ŠACH F., ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V. 2003. Lesy a povodně. Praha, MŽP ČR a NLK: 48 s.
- NĚMEC J. 1964. Inženýrská hydrologie. Praha, Státní nakladatelství technické literatury: 235 s.
- SKATULA L. 1960. Hrazení bystrin a strží. Praha, SZN: 411 s.
- ŠEDA S. 2003. Hydrogeologický průzkum na lokalitě Říčky v Orlických horách – U Dvou louček. Ústí n. Orlicí, OHGS: 12 s.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., KULHAVÝ Z., ŠACH F. 2007a. Analýza povodňových vln jako nástroj studia odtokového procesu v malém lesním povodí. I. Hydrologická analýza sestupné větve hydrografu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží v povodí U Dvou louček v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 52: 374–381.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., KULHAVÝ Z., ŠACH F. 2007b. Analýza povodňových vln jako nástroj studia odtokového procesu v malém lesním povodí. II. Hydrologická analýza vzestupné větve hydrografu odtoku matematicko-fyzikálním modelem lineárních nádrží v povodí U Dvou louček v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 52: 382–389.
- TESAŘ M., BUCHTELE J. 2013. Evaluation of the appearing changes in water regime at Ráztoka and Červík basins in the Beskidy Mts. Beskydy – The Beskids Bulletin, 6 (2): 135–148. doi:10.11118/beskyd201306020135
- VÁLEK Z. 1962. Lesy, pole a pastviny v hydrologii pramenných oblastí Kýchovské a Zdechovky. Praha, VÚV: 115 s. Práce a studie, sešit 106.
- ZEEUW J.W. DE 1972. Hydrograph analysis for areas with mainly groundwater runoff. In: Theories of field drainage and watershed runoff. Wageningen, University of Agriculture: 322–357.

FLOODS IN FORESTED WATERSHED, THE ORLICKÉ HORY MTS. (CZECH REPUBLIC)

SUMMARY

An experimental base for long-term investigation of hydrology conditions of forest was established in U Dvou louček (UDL) experimental catchment, the Orlické hory Mountains (Czech Republic). The drainage area of the catchment is 32.6 ha and its altitude ranges from 880 to 950 m a.s.l. GPS coordinates at the catchment outlet are: 50°13'11.817"N; 16°29'47.350"E. Mature Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) shared 18% of the catchment forest. The remaining area is a former clear-cut that is now covered with a 10–20-year-old spruce stand with sparse ground vegetation. The mineral soils were derived from gneiss and mica schist. In the catchment, a patch of peat, spodosol and cambisol occurs. The long-term (1992–2009) mean annual precipitation is 1643 mm (671 mm in growing season, 972 mm in dormant season), of which 1088 mm (11.24 L.s⁻¹) is converted to runoff (369 mm in growing season, i.e. 7.6 L.s⁻¹; 719 mm in dormant season, i.e. 14.9 L.s⁻¹). Mean annual temperature is 4°C.

The article focuses on relationship between the forest stand and floods (Tab. 1). Eight storm flows in growing periods of 2005–2008, and one extreme storm flow in dormant period of 2000 were found out for flood flow analyzing. To answer the question, whether extreme peak discharges could be lowered by forests, we used unit hydrograph (Tab. 2, 3), three linear reservoirs model (Tab. 4, 6), and empirical approach based on relationship between a 100-year flood and size of the watershed. 100-year flood events modeled using both unit hydrograph (JH) and linear reservoirs (TLN) methods were similar; this confirmed suitability of the methods used (Tab. 7). UDL floods ranged from 272 to 1556 L.s⁻¹. The greatest value represented winter stage at zero forest soil retention during rain on snowmelt. 100-year flood extrapolated from measured floods in 1992–2008 averaged between 694 and 798 L.s⁻¹, i.e. 2.1–2.5 m³.s⁻¹.km⁻². Empirical method enabled us to assess impact of forest stand on the buffering of 100-year floods and compare our results with relevant publications (Tab. 8, Fig. 1).

We confirmed that retention capacity of forest soil was of great importance for a flood-event buffering. Measured UDL flood events correspond to the low limit of the flood events investigated in the other small watersheds in the Czech Republic. Determined parameter x , which reflects the impact of forest on the flood events, ranged from 0.00 to 0.69 in the UDL watershed. This parameter depends on the real retention of rainfall water in soil and amount of rainfall causing flood events. Our results were close to those of the Kychová watershed origin ($V_q(100) = 1905 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$). Flood events were investigated in both growing and dormant seasons (summer half-years and winter half-years, respectively). Regime of floods differed substantially in these seasons. Maximal flood event amounted to 1556 L.s⁻¹, i.e. doubled 100-year flood. The maximal flood event is likely to occur once in 200–300 years.