ZÁVISLOST HYDROLOGICKÉ BILANCE NA HOSPODÁŘSKÉM VYUŽITÍ POVODÍ

Pavel Kovář [1], František Křovák[1]

Abstrakt

Příspěvek poskytuje řešení hydrologické bilance vegetačního období (duben-říjen) roku 2009 dvou malých moravských povodích Všeminky a Dřevnice, s různou plochou zalesnění (Všeminka 48 %, Dřevnice 81 %). Uvádí výsledky rekonstrukce tohoto období modelem WBCM, pokud jde o hlavní složky hydrologické bilance a přináší informace o objemech vody v nenasycené a nasycené zóně povodí a o interakcích mezi těmito zónami. Dokazuje schopnost model rekonstruovat srážko-odtokové režimy. Dále pak příspěvek poskytuje výsledky simulace změn těchto režimů způsobených změnami po 30 % odlesnění povodí. Tento zásah byl simulován scénářem, reflektujícím změny parametrů modelu a přinášejícím zajímavé výsledky v odchylkách celkových i přímých odtoků obou experimentálních povodí.

Klíčová slova: hydrologická bilance, vodní režimy, scénářové simulace

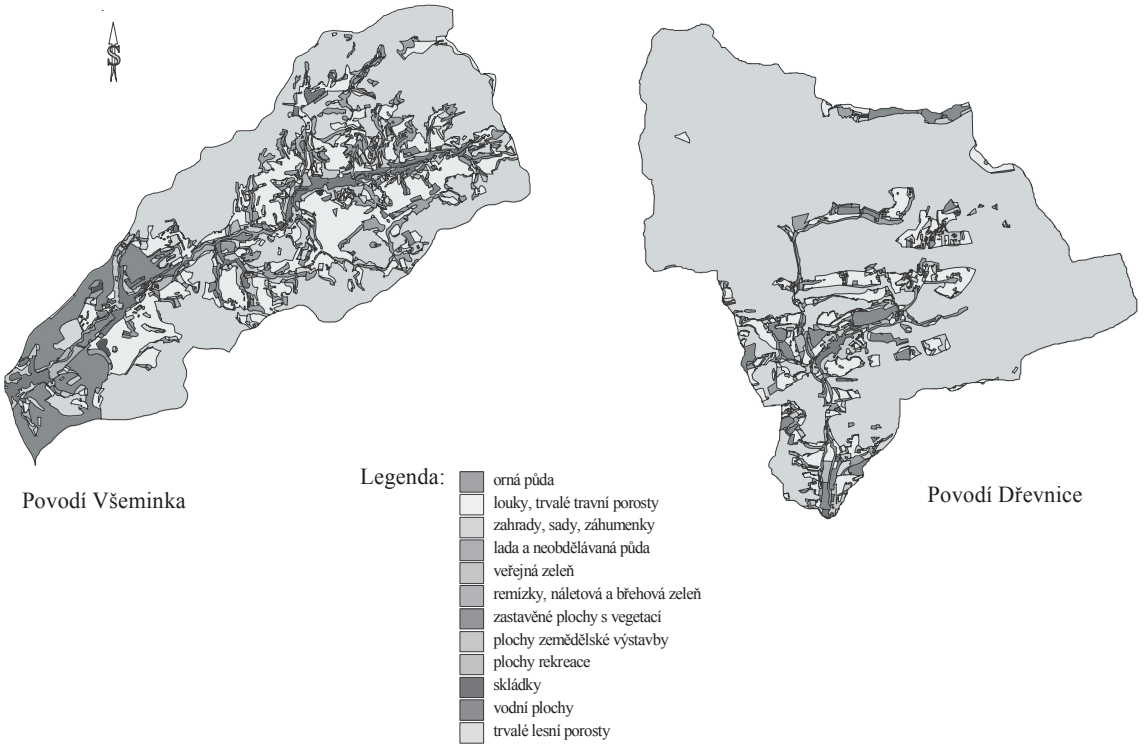
1. Úvod

Problematika hydrologické bilance je důležitou oblastí hydrologie, vytvářející základ návazné bilance vodohospodářské [3]. Současné bilanční matematické modely slouží jako osvědčený nástroj k simulaci přirozených i scénářových procesů, které mohou ukázat i míru antropogenního ovlivnění vodního režimu povodí zastoupením kultur a způsobem hospodaření [1]. Příspěvek je zaměřen na výzkum hydrologické bilance malých zalesněných povodí Všeminky a horní části povodí Dřevnice (okr. Zlín), dále tvořící levostranný přítok řeky Moravy. Obě povodí jsou IV. řádu a zatímco povodí Dřevnice je z více než 80 % zalesněno, povodí Všeminky je typickým příkladem zemědělsko-lesního povodí se stupněm zalesnění pod 50 %. Cílem studie je vliv změn zemědělských a lesních kultur, způsobu využívání území a jeho následný vliv na retenční a akumulační schopnosti povodí. Použitým nástrojem této analýzy je model hydrologické bilance WBCM, zohledňující plošnou proměnlivost parametrů tohoto modelu v prostředí geografického informačního systému.
Dílčím cílem bylo:

– určení fyzickogeografických a vegetačních faktorů povodí a identifikace parametrů bilančního modelu,
– charakteristika základních hydrologických poměrů a rekonstrukce stávajícího srážko-odtokového stavu „modelového“ roku 2009,
– simulace „scénářové situace“, vytvořené za účelem stanovení srážko-odtokového režimu včetně změn akumulačních a retenčních schopností povodí v závislosti na změně ve využití povodí (land use),
– porovnání hydrologických režimů (v bilančním smyslu) obou povodí.

2. Materiál a metoda

Obě testovaná povodí mají téměř shodnou plochu. Tvar zemědělsko-lesního povodí Všeminky je podlouhlý, les je po obou stranách údolí směrem od rozvodnice, zastoupení kultur vykazuje značnou diverzitu. Povodí Dřevnice je vějířového tvaru, má vysokou lesnatost a pouze ve své dolní části je zastoupení dalších kultur pestřejší. Obr. 1 toto zastoupení kultur a využití území (land use) přehledně poskytuje. Vybrané základní charakteristiky povodí jsou uvedeny v tabulce 1.



Obr. 1: Využití území povodí Všeminky a Dřevnice

Tab. 1: Základní charakteristiky povodí Všeminky a Dřevnice

Charakteristiky povodí	Jednotky	Všeminka	Dřevnice
Plocha povodí	[km^2]	21,51	22,58
Délka toku	[km]	9,2	9,1
Průměrný sklon toku	[%]	3,6	3,5
Střední sklon povodí	[%]	19,4	23
Minimální nadm. výška	[m]	270	335
Maximální nadm. výška	[m]	620	750
Střední nadm. výška	[m]	400	495
Zalesnění povodí	[%]	48,2	81
Obvod povodí	[km]	23,64	24,45
Délka liniových společenstev	[km]	13,81	7,47

Využití území	Všeminka		Dřevnice	
	výměra ha	výměra %	výměra ha	výměra %
1. Orná půda, skládky	201	9,3	62	2,7
2. Louky, trvalé travní porosty, lada	521	24,2	203	9,0
3. Veřejná zeleň, zahrady, sady, záhumenky	117	5,5	65	2,9
4. zastavěné plochy, intravilány	91	4,3	18	0,8
5. Remízky, náletová zeleň, břehová zeleň	182	8,5	82	3,6
6. Lesy	1036	48,2	1829	81,0

Tabulka 2 uvádí druhové složení lesa, jeho věkovou strukturu a hydrologické skupiny půd dle metodiky [9], [4], [5].

Tab. 2: Druhová a věková skladba lesa, hydrologické skupiny půd povodí Všeminky a Dřevnice

Druhové a věkové složení lesa [ha]						
Věk [roky]	VŠEMINKA			DŘEVNICE		
	0 - 10	10 - 40	40 a více	0 - 10	10 - 40	40 a více
Jehličnatý les	77	75	565	137	220	838
Listnatý les	7	27	295	52	107	496
Hydrologické půdní skupiny a sklonitost terénu v lese [ha]						
Třída sklonitosti	Sklonitost terénu		Hydrologická půdní skupina			
	VŠEMINKA					
	[%]	[°]	A	B	C	D
I.	0 - 1	0 - 1	-	-	-	-
II.	1 - 5	1 - 3	-	-	-	-
III.	5 - 10	3 - 6	2	22	-	-
IV.	10 - 20	6 - 11	1	127	50	-
V.	> 20	>11	-	884	5	-
	DŘEVNICE					
	[%]	[°]	A	B	C	D
I.	0 - 1	0 - 1	-	-	-	-
II.	1 - 5	1 - 3	-	-	-	-
III.	5 - 10	3 - 6	1	7	-	-
IV.	10 - 20	6 - 11	3	363	-	-
V.	> 20	>11	60	1388	28	-

Hydrologické skupiny půd a zastoupení kultur [ha]								
Třída kultur	VŠEMINKA				DŘEVNICE			
	A	B	C	D	A	B	C	D
I. orná půda, skládky	-	53	47	92	5	22	12	21
II. louky, TTP, lada	-	46	241	192	4	53	79	45
III. veř. zeleň, zahr.	-	4	66	42	2	14	30	14
IV. intravilány	-	1	30	58	4	5	4	4
V.remízky, nálet. zeleň	-	5	81	50	4	20	21	11

3. Model WBCM

Model WBCM je deterministický, patřící do kategorie modelů nelineárních s pravděpodobnostně rozdělenými proměnnými i parametry po ploše modelovaného povodí tak, aby byla zachována jejich plošná variabilita [6]. Každý kapacitní prvek modelu představuje přirozenou zásobu vody v jednotlivých vertikálních subsystémech hydrologického profilu. Byl koncipován pro simulaci denních bilančních hodnot ve vegetačním období, což je kritická doba pro vznik deficitů. Model uvažuje všechny podstatné interakce mezi jednotlivými zónami (tj. vegetační zónu, aktivní i celkovou nenasycenou zónu, a nasycenou zónu). Kapacity všech zón respektují různorodost přirozených hydrologických podmínek povodí. Model ve většině zón uvažuje lineární rozdělení těchto kapacit kolem jejich průměrných hodnot. Struktura modelu uvažuje fyzikální principy, podle nichž dochází k evapotranspiraci, intercepci, infiltraci a k tvorbě přímého i základního odtoku. Nedílnou součástí modelů WBCM je automatická optimalizace parametrů v jeho identifikační fázi. Jeho verze WBCM-5 v této fázi optimalizuje 3 parametry (SMAX, GWM, BK). Používá denních hydrometeorologických dat.

Ve vzájemné vazbě řeší následující dílčí hydrologické procesy :

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

Objemovou shodu složek bilance zabezpečuje sledování kontinuity dle bilanční rovnice :

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

$$SRAIN = AE + STF \pm \Delta W \quad (2)$$

kde SRAIN je výška srážek [mm], STF je výška celkového odtoku [mm], AE je skutečný (aktuální) výpar [mm], ΔWP je změna vlhkosti nenasycené zóny [mm], ΔWZ je změna objemu nasycené zóny [mm], ΔW je výsledná změna objemu podpovrchových vod [mm].
Proces je popsán rekurzivními vztahy, respektujícími plošnou proměnlivost lokálních hodnot parametrů pórovitosti (POR) a polní vodní kapacity (FC) nenasycené zóny. Model je podrobně popsán v literatuře [6], [8].

4. Výsledky

4.1 Rekonstrukční bilance vegetačního období 2009

Pro řešení bilance testovaných období byly využity fyziografické charakteristiky obou povodí. Kromě toho byla použita hydrometeorologická data s časovým krokem 1 den zahrnující průtoky v povodí v uzávěrových profilech Slušovice (Všeminka) a Kašava (Dřevnice) za rok 2009, získaná z Českého hydrometeorologického ústavu a z podniku Povodí Moravy. Údaje o srážkách Δt = 1 den byly získány ze srážkoměrných stanic Velíková (Dřevnice) a Slušovice (Všeminka). Denní hodnoty výparu z volné vodní hladiny byly využity z údajů stanice Vizovice. Pokud se týká kategorií využití území, bylo využito map současného stavu krajiny 1:10 000 a leteckých ortofotosnímků v měřítku 1:10 000, poskytnutých referátem ŽP OÚ ve Zlíně. Příprava výše zmíněných dat a jejich zpracování proběhlo v prostředí GIS (ARC/INFO). Takto byla v minulosti zpracována data pro obě povodí z extrémních let 1997 (povodně) a 2003 (sucha). Data pro rok 2009 byla uspořádána jinak. Z důvodů častých absencí měření výparu z vodní hladiny bylo využito denních dat teplot, délky slunečního svitu, relativní vlhkosti a rychlosti větru a potenciální evapotranspirace byla řešena modelem WBCM.

Dále byly zpracovány údaje o půdách (hydrologické skupiny, pórovitosti, retenční vodní kapacity a hodnoty nasycené hydraulické vodivosti). Pro implementaci modelu WBCM byla použita zmíněná data, pro vegetační období roku 2009 (1. 4. – 31. 10. 2009).

Modelové zpracování bylo zahájeno řešením optimalizace parametrů, tj. nalezením optimálních hodnot parametrů:

SMAX . . . parametr charakterizující maximální kapacitu nenasycené zóny [mm],

GWM . . . . parametr reprezentující maximální pohyblivou kapacitu nasycené zóny [mm],

BK . . . . . .parametr „doby vyčerpávání“ základního odtoku (tj. sestupná větev hydrogramu základního odtoku) [dny].

Identifikace optimálních hodnot parametrů byla kriteriálně provedena tak, že součet čtverců odchylek pozorovaných a vypočtených dekádních hodnot odtoků byl minimální. Model v simulační fázi dále poskytl denní hodnoty nejdůležitějších položek hydrologické bilance [v mm . den^{-1}], zejména: srážky (RAIN), intercepci (AIR), potenciální evapotranspiraci (PE), skutečný územní výpar (AE), infiltraci (RECH), vlhkosti nenasycené zóny (WUL), dotaci nasycené zóny (GWR), přímý odtok (OF), základní odtok (BF) a jejich součet – celkový odtok (STF). Hodnoty STF pro testované povodí byly vypočteny s přesností do 0,5 mm za celé vegetační období pro obě povodí.

Hodnota ΔW představuje změny dotace podpovrchových vod (tj. změny objemu vod nenasycené a nasycené zóny).

Pro zkoumaná povodí byly optimalizovány následující hodnoty parametrů:

Povodí	Parametry		
	SMAX	GWM	BK
Všeminka	582 mm	1100 mm	8,5 dne
Dřevnice	600 mm	1000 mm	10,0 dne

Pozn.: Hodnoty BK poměrně dobře souhlasí s hodnotami dosaženými analýzou výtokových čar hydrogramů.

Pro přehlednost jsou dále uvedeny tabelárně celkové hodnoty bilance ve zkrácené formě v tabulce 3.

Tab. 3: Sezónní bilanční hodnoty – povodí Všeminky a Dřevnice v roce 2009

Bilanční hodnoty 1. 4. - 31. 10.	2009 [mm]	
	Všeminka	Dřevnice
Déšť SRAIN	417,3	401,1
Celkový odtok STF	54,8	106,5
Přímý odtok (z toho) SOF	20,9	40,6
Potenciální evapotranspirace PE	352,5	357,2
Aktuální územní výpar AE	294,1	316,1
Změna zásob půdní vlhkosti ASM	-31,5	-89,6
Změna zásob podzemních vod SNGWR	104,0	71,3
Změna zásob podpovrchových vod W	72,5	-18,3
Diference bilanční rovnice DIF [mm]	-4,14	-3,17
Diference bilanční rovnice DIF [%]	-0,99	-0,79

Bilanční správnost výpočtu je založena na rovnici:

$$SRAIN = AE + STF + ASM \pm SNGWR \quad (3)$$

kde:

SNGWR = GWR – BF, tj. dotace podzemních vod po odečtení základního odtoku (BF).

Shoda měřených a sezónních odtoků je solidní. Sezónní měřený celkový odtok z povodí Dřevnice STF = 106,1 mm (vypočtený 106,5 mm), z povodí Všeminky STF = 54,2 mm (vypočtený 54,8 mm). Bilanční chyby nepřevyšující 3,2 mm , tj. 0,8 % (Dřevnice) a 4,1 mm, tj.1,0 % (Všeminka) jsou přijatelné.

4.2 Scénářové bilance 2009

Po rekonstrukčních simulacích skutečných hydrologických bilancí na povodích Všeminky a Dřevnice bylo přistoupeno k simulacím různých (hypotetických) stavů povodí změněných případnou antropogenní činností [3], [8]. Ze spektra různých scénářů prezentuje předložený příspěvek jednoduchý scénář A, simulující stav obou povodí po 30 % odlesnění, kdy byl smýcen lesní porost ve třídě od 40 let výše, zejména na svazích se sklonem vyšším než 20 %. Tyto změny jsou zahrnuty ve změnách parametrů DROT (hloubka kořenové zóny), CN (čísla odtokových křivek), WIC (limitní hodnoty intercepce) a BK (parametr výtokové čáry povodí). Ostatní (optimalizované parametry SMAX a GWM) zůstávají beze změn. Scénář O představuje současný stav. Tabulka 4 přehledně uvádí hodnoty těchto parametrů.

Tab. 4: Změny hodnot parametrů modelu WBCM

Hodnoty parametrů modelu	Povodí			
	Všeminka		Dřevnice	
	Scénář O	Scénář A	Scénář O	Scénář A
SMAX	580 mm	580 mm	600 mm	600 mm
GWM	1100 mm	1100 mm	1000 mm	1000 mm
BK	8,5 dne	7,0 dne	10,0 dne	8,0 dne
DROT	600 mm	500 mm	600 mm	500 mm
CN (průměr.)	72 (-)	74 (-)	71 (-)	73 (-)
WIC	1,5 mm	1,2 mm	2,0 mm	1,5 mm

Alternované hodnoty parametrů scénáře A jsou zdůvodnitelné následovně:

– DROT jako hloubka aktivní, nebo též kořenové zóny, měnící se ze 600 mm na 500 mm, koresponduje dle naších dřívějších výzkumů s 30 % smýcením pozemků, kdy se tato hloubka dočasně zmenšuje o 15 – 20 %.

– Obdobně mezní hodnota parametru WIC se mění dle výzkumů intercepce [2] z hodnoty 2,0 mm na 1,2 mm na ploše povodí.

– Změny hodnot průměrných odtokových parametrů CN a BK rovněž odpovídají změnám tohoto scénáře, viz [9] a [2].

Srovnání scénářových hodnot nejdůležitějších bilančních položek povodí Všeminky a Dřevnice poskytuje Tab. 5.

Tab. 5: Scénářové simulace hydrologických bilancí na povodí Všeminky a Dřevnice ve vegetačním období 2009

Bilanční položka [mm]	Povodí, scénář			
	Všeminka		Dřevnice	
	0 (stávající) [mm]	A (odlesň. 30 %) [mm]	0 (stávající) [mm]	A (odlesň. 30 %) [mm]
Déšť SRAIN	417,3	417,3	401,1	401,1
Celkový odtok STF	54,8	63,8	106,5	113,0
z toho přímý odtok SOF	20,9	30,3	40,6	53,3
Aktuální územní výpar AE	294,1	287,8	316,1	297,8
Změna zásob půdní vlhkosti ASM	-31,5	-33,3	-89,6	-70,1
Změna zásob podzemních vod SNGWR	104,0	103,2	71,3	63,5
Celková změna zásob podpovrchových vod ΔW	72,5	69,9	-18,3	-6,6
Diference hydrologické bilance DIF [mm]	-4,1	-4,1	-3,1	-3,1
Diference hydrologické bilance DIF [%]	-1,0	-1,0	-0,8	-0,8

5. Diskuse k výsledkům scénáře, závěry

Hydrologická data roku 2009 včetně dat o zastoupení kultur a stavu lesních porostů jsou poměrně spolehlivá a byla též zpracována plošně pomocí GISu (ARC/INFO) na povodí Všeminky a Dřevnice. Při zpracování předložené studie jsme mohli srovnávat dosažené výsledky s dřívější obdobnou studií povodí Všeminky, kde však byly scénáře voleny poněkud odlišně. Dosažené výsledky budou dále zpracovávány v kontextu s výsledky dalších experimentálních povodí (Šumava, Jizerské hory aj.). Nicméně, aniž bychom přeceňovali dosažené výsledky jednoho vybraného roku a zevšeobecňovali je, je možno odvodit následující dílčí závěry:

– Celkový odtok za stávajícího stavu vegetačního roku 2009 je z obou povodí normální až nízký (Všeminka STF = 54,8 mm, Dřevnice STF = 106,5 mm), z čehož podíl přímého odtoku (Všeminka SOF = 20,9 mm, Dřevnice SOF = 40,6 mm) je běžný. Je však velmi zajímavé zjištění , že ze značně zalesněného povodí Dřevnice (81 %) činí celkový odtok 26,6 % srážek, zatímco ze Všeminky pouze 13,1 % srážek. U přímého odtoku je to na Všemince 5,0 %, na Dřevnici 10,1 %. Tomu naprosto odpovídají fyzickogeografické faktory povodí, zejména sklony svahů a mělká vrchní vrstva půdy na povodí Dřevnice.
– Hodnoty aktuálního územního výparu se vzhledem k charakteru povodí mění jen málo (do 6 %) a jejich scénářové změny nejsou podstatné.
– Změny zásob podpovrchových vod ΔW (v součtu nenasycené – ASM i nasycené zóny SNGWR) jsou rozdílné na obou povodích. Zatímco na povodí Všeminky jsou vysoce kladné, že i v letních období roku 2009 jsou dostatečně dotovány srážkami (ΔW = 72,5 mm), na povodí Dřevnice jsou deficitní (ΔW = -18,3 mm). Je zajímavé, že scénářová situace 30% těžby příliš tyto dotace neovlivní.

Závěrem je možno konstatovat, že model WBCM je osvědčeným nástrojem pro rekonstrukci srážko-odtokových řad v bilančním smyslu. Časový krok 1 den je adekvátní, zpracování po dekádách (10 dnech) praktické. Scénářové simulace implementované tímto modelem přinášejí zajímavou kvantifikaci hydrologické bilance za různě změněných podmínek ve využívání pozemků [7]. Domníváme se, že jsme na dobré cestě směřující k vyhodnocení řady povodí za různých scénářů tak, aby bylo možno v budoucnu usuzovat na hydrologickou bilanci povodí bez limnigrafických pozorování a tak přispět k rozšíření stupně poznání vlivu využití pozemků v krajině na srážko-odtokový proces.

Poděkování

Příspěvek vychází z výsledků dílčího úkolu grantového výzkumu NAZV č. 92086 „Metodika realizace návrhů infiltračních a záchytných opatření“. Autoři velmi oceňují finanční příspěvek uvedeného grantu.

Literatura

[1] BEVEN, K. J., 2006. Rainfall - Runoff Modelling. The Primer. John Wiley & Sons. Chichester. 360 pp. ISBN 13-978-0471-98553-2.

[2] CHOW, V.T. – MAIDMENT, D. R. – MAYS, L. W., 1988. Applied Hydrology. Mc Grew Hill. USA. 572 pp. ISBN 0-07-010810-2.

[3] FALKENMARK, M. et al., 1999. Water – a reflection of land use. Publ. NFR/UNESCO-IHP. Upsala. Sweden. 128 pp. ISBN 9154603587.

[4] JANEČEK, M., 2005. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Nakl. ISV. 195 s. ISBN 80-866642-38-0.

[5] JANEČEK, M. – KOVÁŘ, P., 2010. Aktuálnost metody čísel odtokových křivek – CN k určování přímého odtoku z malého povodí. Vodní hospodářství, roč. 2010, č.7, s. 8-11.

[6] KOVÁŘ, P., 1991. Konzept-Modell für die Wasserhaushaltsbilanz kleiner Einzugsgebiete. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung. P. Parey. Hamburg. BRD, n.22, pp 341-352.

[7] KOVÁŘ, P.,1998. Současné možnosti hydrologické bilance na malých povodích. In: *Sborník semináře Hydrologická bilance a možnosti zvyšování složek retence a akumulace vody.* Praha: KBÚK LF ČZU, únor 1998. s. 56-63.

[8] KULHAVÝ, Z. – KOVÁŘ, P., 2000: Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP- ČZU publikace. UJI Praha. 123 s. ISSN 1211-3972.

[9] U. S. SCS, 1985. National Engineering Handbook. Section 4. Hydrology. Soil Conservation Service. USDA. Washington, D.C.

Kontakty na autora

1 Fakulta životního prostředí ČZU v Praze, e-mail: kovar@fzp.czu.cz, krovak@fzp.czu.cz