JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí
Katedra: Katedra krajinného managementu
Vedoucí katedry: prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Metody separace složek odtoku

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Žlábek, PhD.

Autor: Ondřej Kubeš

České Budějovice, duben 2011

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta
Akademický rok: **2009/2010**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Ondřej KUBEŠ**
Osobní číslo:	**Z08625**
Studijní program:	**B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor:	**Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu:	**Metody separace složek odtoku vody**
Zadávající katedra:	**Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je zpracování podrobné literární rešerše týkající se členění odtoku vody na jednotlivé složky a přehledu metod umožňujících separaci těchto složek. Literární rešerše bude zpracována tak, aby sloužila jako kvalitní podklad pro případné zpracování diplomové práce zabývající se navazující problematikou. Součástí práce bude zkušební zpracování vybraných metod na konkrétních datech se stručným popisem.
1. Literární rešerše na daná témata:
a/ oběh vody v přírodě
b/ odtok vody z povodí
c/ složky odtoku a jejich geneze
d/ separace odtoku - přehled metod, podrobný popis vybraných metod, uplatnění separace odtoku
2. Popis konkrétního povodí.
3. Zpracování metod na konkrétních datech.
4. Vyhodnocení a závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **35-40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Brutsaert, W. Hydrology: An introduction. Cambridge University Press, 2005, 605 s.

Doležal, F., Kulhavý, Z., Kvítek, T., Soukup, M., Tippl, M. Methods of runoff separation applied to small stream and tile drainage runoff. ERB/FRIEND Conference - Interdisciplinary approaches in small Catchment Hydrology: Monitoring and research, Slovensko, 2002, s. 131-136

Kněžek, M. Podzemní složka odtoku. VÚV, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1988, 62 s.

Maidment, D.R. (ed.): Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s.

Smakhtin, V.U. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, 240, 2001, s. 147-186

Články v recenzovaných časopisech (dop. Journal of Hydrology, Hydrological processes, Water Resources Research a další)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Žlábek, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **15. března 2010**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2011**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice

L.S.

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2010

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum…

Podpis studenta

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Pavlu Žlábkovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce a vstřícnou spolupráci při zpracovávání praktické části bakalářské práce. Děkuji.

ABSTRAKT

KUBEŠ, O. *Metody separace složek odtoku*. České Budějovice 2011. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zemědělská fakulta. Katedra krajinného inženýrství. Vedoucí práce P. Žlábek.

Práce se zabývá sledováním a měřením odtoku. To je důležité zejména k zjišťování zásob vody v povodí, nebo k včasnému zjištění extrémních hydrologických událostí, jako jsou povodně a období sucha, či kvůli rychlosti možného šíření znečišťujících látek. Pro zemědělství jsou hodnoty odtoku důležité zejména pro potřeby závlah. Dále je práce zaměřena na jednotlivé složky odtoku, metody používané k jejich separaci a podrobný popis jednotlivých složek odtoku.

Praktická část je zaměřena na měřené průtoky z povodí Jenínského potoka, ležícího nedaleko hranic s Rakouskem, v okrese Český Krumlov. Jako vstupní data byly zvoleny průtoky z hydrologických roků 2005 – 2008. Použitím třech vybraných separačních metod (metoda GROUND, metoda MPGM a metoda digitálního filtru dle Chapmana), které jsou podrobněji popsány a vysvětleny. Těmito metodami je odtok dále dělen na základní odtok a přímý odtok. Tyto výsledky jsou pak ještě pro čtyři časové úseky porovnány s metodou analýzy rozčlenění hydrogramu. Práce by měla ukázat na rozdíly v porovnaných metodách na jednom povodí.

Klíčová slova: oběh vody, odtok vody, základní odtok, povrchový odtok, hydrologie, metody separace, povodí

Abstract

Methods of separation of runoff components

The paper deals with monitoring and measurement of runoff. This is particularly important to identify water supplies in the catchment area, or timely detection of extreme hydrological events such as floods and droughts, and because of the potential rate of spread of pollutants. The value of the runoff is particularly important for irrigation needs for agriculture. Further work is focused on the individual components of runoff, the methods used for their separation and a detailed description of various types of runoff.

The practical part includes measurement of the discharge at the Jennínsky stream catchment, located near the border with Austria, the Český Krumlov district. For analyses discharge from the hydrological years 2005 – 2008 was chosen. And using the three selected methods of separation (method GROUND, method and method MPGM digital filter according to Chapman), which are further described and explained. These methods divide runoff into the baseflow component and direct runoff component. These results are further compared with the method of reccesion curve analyses performed on four events. The work should show the differences in results of various methods.

Keywords: water circulation, drainage, primary runoff, surface runoff, hydrology, separation method, catchment area

1. Úvod ... 9
2. Cíl a metodika práce ... 10
2.1. Cíl práce ... 10
2.2. Metodika práce ... 10
3. Literární rešerše ... 11
3.1. Oběh vody v přírodě ... 11
3.1.1. Voda jako nezbytná složka ... 11
3.1.2. Složky oběhu vody ... 11
3.1.3. Složení vody ... 11
3.1.4. Vlastní oběh vody ... 12
3.2. Odtok vody z povodí ... 13
3.2.1. Povodí jako pojem ... 13
3.2.2. Retence krajiny ... 14
3.2.3. Hydrologická bilance ... 14
3.2.4. Vodohospodářská bilance ... 18
3.2.5. Vliv zemědělství na odtok ... 18
3.3. Složky odtoku a jejich geneze ... 18
3.3.1. Povrchový odtok ... 19
3.3.2. Podzemní odtok ... 20
3.3.3. Podpovrchový odtok ... 20
3.3.4. Základní odtok ... 21
3.3.5. Drenážní odtok ... 22
3.3.6. Hladina podzemní vody ... 22
3.4. Separace odtoku ... 22
3.4.1. Přehled metod ... 22
Metoda digitálního filtru ... 26
Metoda analýzy rozčlenění hydrogramu ... 26
Metoda postupných profilových průtoků ... 27
4. Materiál ... 31
4.1. Povodí Jenínského potoka ... 31
4.2. Pedologie ... 31
4.3. Geologie ... 32
4.4. Klima ... 32
4.5. Hydrologie ... 32
5. Metody ... 33
5.1. Metoda Ground ... 33
5.2. Metoda MGPM (modifikovaná graficko-početní metoda) ... 36
5.3. Digitální filtr dle Chapmana ... 38
5.4. Analýza rozčlenění hydrogramu ... 39
6. Výsledky a diskuse ... 40
7. Závěr ... 48
8. Seznam literatury: ... 49

1. Úvod

Voda a její výskyt tvoří jednu ze základních podmínek pro existenci života na naší planetě. Je to všudypřítomná a nenahraditelná složka v přírodě, která je prostorově i časově nerovnoměrně rozložená. Odtok vody z povodí má tedy zásadní vliv na složení a ráz krajiny. Zásoba vody na Zemi není neomezená, a je proto třeba její stav sledovat. Jejím nedostatkem už dnes trpí každý třetí člověk a odborníci tvrdí, že výhled do budoucnosti není vůbec optimistický. Populace planety narůstá každým dnem a je tedy nejvyšší čas naučit se s vodou zacházet.

Voda je nezbytná pro zemědělství, výrobu, dopravu a cestovní ruch, ty však zase mají přímý vliv na stav vody jak kvantitativní, tak kvalitativní. Zejména zemědělství minulého století mělo velice negativní vliv na vodní režim v krajině. S růstem populace byla snaha zintensivnit zemědělskou výrobu, proto probíhala různá odvodňování, zkracování a pozměňování toku. Docházelo i k nadměrnému hnojení, což mělo za následek nezvyklé koncentrace látek ve vodě. Kvůli potřebám pitné vody se přehrazovala údolí, čímž byly člověkem zcela pozměněny hydrologické vztahy v krajině.

Odtok vody z povodí je také ovlivňován rozmístěním a rozlohou trvalých travních porostů, orné půdy nebo lesů. Les má pozitivní dopad na kvalitu vody, hůře jsou na tom především místa s větším osídlením, louky a pastviny. Záleží také na složení horninového podloží v povodí, velkou roli také hraje složení půdy a její vlastnosti. Nejvýznamnějším zdrojem vody na našem území jsou dešťové srážky.

Sledování a měření odtoku je důležité zejména k zjišťování zásob vody v povodí, k včasnému zjištění extrémních hydrologických událostí, kvůli rychlosti možného šíření znečišťujících látek nebo v zemědělství pro potřeby závlah.

Bez vody by nebylo života, nicméně moc vody také škodí. Mezi nebezpečné hydrologické jevy řadíme zejména povodně a období sucha. V období sucha je odtok z povodí tvořen zásobami podzemní vody, při nadměrných srážkových úhrnech a následné povodni je odtok tvořen rychlým povrchovým odtokem a přímým (podpovrchovým) odtokem.

2. Cíl a metodika práce

2.1. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je na základě odborné literatury shrnout dostupné informace zabývající se metodami separace odtoku vody na jednom konkrétním povodí v ČR. Na základě zadaných průtoků a zvolených metod, porovnat jednotlivé výsledky separací a podrobněji přiblížit zvolené metody.

2.2. Metodika práce

První etapa práce byla zaměřena na literární rešerši zabývající se metodami měření a separace odtoků z povodí. Byla provedena třísložková separace odtoku v mikropovodí Jenínského potoka. Měření probíhalo na dvou profilech J1 a J2. K separaci byly vybrány tři metody. Metoda digitálního filtru dle Chapmana, který posloužil k separaci základního odtoku, dále byly použity metody GROUND a MPGM, které separovaly přímý odtok ve smyslu odtoku povrchového. Zjištěné výsledky je možno porovnat s metodou analýzy hydrogramu, která byla použita na 4 zvolené datové řady.

3. Literární rešerše

3.1. Oběh vody v přírodě

3.1.1. Voda jako nezbytná složka

Voda je nejrozšířenější látkou na Zemi. Vyskytuje se v omezeném množství, jež je prostorově i časově nerovnoměrně rozděleno. Je nezbytnou složkou životního prostředí člověka, ale též všech ostatních rostlinných i živočišných ekosystémů. Pohyb vody je v rámci globálního koloběhu látek v přírodě absolutní, tj. téměř nezničitelný a uměle nevyvolatelný. Voda nemůže existovat bez pohybu, nemůže ztratit schopnost stále nových změn (ŘÍHA, 1987).

Voda se v krajině pohybuje prostřednictvím hydrologických procesů, které se souborně nazývají hydrologický cyklus. Hydrologickým procesem se rozumí každý proces pohybu vody a změny její skupenství v důsledku působení sluneční energie a gravitace. Vliv vody na krajinu závisí na intenzitě, délce trvání a režimu hydrologických procesů a na skupenství, ve kterém se voda právě nachází. S růstem pestrosti a kontrastnosti struktury krajiny roste i pestrost a variabilnost hydrologických procesů. Voda kromě působení na krajinu vnáší do její struktury i některé výjimečné vztahy, podmíněné jejími specifickými fyzikálními a chemickými vlastnostmi (HANUSIN, 1996).

3.1.2. Složky oběhu vody

Základními složkami oběhu vody v přírodě jsou srážky, výpar, povrchový, podpovrchový a podzemní odtok a voda akumulovaná v přirozených a umělých nádržích. Fyzikálně se voda vyskytuje v přírodě ve všech skupenstvích formách v závislosti na teplotě (NETOPIL, 1972).

3.1.3. Složení vody

Voda je chemická sloučenina dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku, které jsou vázány jednoduchou polární kovalentní vazbou.Těžiště kladných nábojů

nesouhlasí s těžištěm záporných nábojů, proto se vytváří elektrický dipól. Dipóly se mohou ve svém nejbližším okolí přitahovat svými opačně nabitými konci a způsobovat soudržnost vody vodíkovými mostíky. Zde se vodík váže k jednomu atomu kovalentně a druhému elektrostaticky (MARTOŇ a kol., 1984).

3.1.4. Vlastní oběh vody

Podmínkou vyrovnaného stavu vody v přírodě je její oběh (hydrologický cyklus) – nepřetržitý uzavřený proces vodní cirkulace vody na zeměkouli. Hnací silou tohoto oběhu je sluneční záření a zemská gravitace. V reprodukčním cyklu nedochází k fyzické spotřebě vody, ale k, tak zvané, ekonomické spotřebě (k změně vlastností). Ačkoli se mnohokrát použije, její množství se tím nezmenšuje (MARTOŇ a kol., 1984).

I když je voda nejčastěji se vyskytující látkou na Zemi, pouze 2,53 procent jejího celkového množství tvoří voda sladká, Zbývající část představuje voda slaná. Zhruba dvě třetiny sladké vody jsou vázány v ledovcích a v trvalé sněhové pokrývce. Kromě dostupné sladké vody v jezerech, řekách a zvodnělých vrstvách se v uměle vybudovaných nádržích nalézá dalších 8 000 km^3. Vodní zdroje jsou obnovitelné (kromě některých podzemních vod). V různých částech světa existují obrovské rozdíly v dostupnosti vody a velké výkyvy v sezónních a ročních srážkách. Srážky jsou hlavním zdrojem vody pro lidstvo a pro ekosystémy (ČESKÝ NÁRODNÍ KOMITÉT UNEP, 2003).

.

Hydrologický cyklus krajiny lze nazvat „krevní oběh biosféry“, protože odtok, podzemní voda a evapotranspirace přemísťují materiál mezi ekosystémy a mění tak energetickou rovnováhu v krajině (GORDON a kol., 2008).

Srážky jsou zachycovány rostlinami a půdou, vypařují se do atmosféry prostřednictvím evapotranspirace a plynou do jezer a mokřadů a řekami do moře. Voda z evapotranspirace udržuje při životě ekosystémy, lesy, obdělávanou půdu a pastviny zavlažené deštěm. Ročně odčerpáváme 8 procent celkového obnovitelného množství sladké vody a přivlastňujeme si 26 procent evapotranspirace a 54 procent povrchového odtoku. Kontrola lidstva nad povrchovým odtokem

je v současné době celosvětová a lidé se významným způsobem podílejí na hydrologickém cyklu (ČESKÝ NÁRODNÍ KOMITÉT UNEP, 2003).

Cirkulace vody v biosféře je výrazně ovlivněna půdními vlastnostmi. Půda nemá vliv jenom na transformaci srážek, na povrchový a podpovrchový odtok, ale ovlivňuje i množství zachycené vody a její další přenos (WITKOWSKA-WALCZAK, 1996).

V hydrologickém cyklu pevnin hraje půda roli nádrže o značném retenčním objemu. Ten v celostátním měřítku řádově převyšuje objem vody v nádržích a vodních tocích (KUTÍLEK, 1978).

Z hydrologického hlediska je třeba v krajině podporovat tzv. malý oběh vody. Malým (vnitřním) oběhem se míní výpar vody z povrchu a jeho spad v podobě srážek, které se odehrávají v rámci jednoho území v krajině. Význam malého oběhu vody v krajině je především v tom, že zadržuje vodu, a tím přispívá k vyrovnávání mikroklimatu (PETŘÍČEK, CUDLÍN, 2003).

3.2. Odtok vody z povodí

3.2.1. Povodí jako pojem

Povodí je území, ze kterého veškerý povrchový odtok odtéká sítí vodních toků a případně i jezer do moře v jediném vyústění, ústí nebo deltě vodního toku.

Dílčí povodí je území, ze kterého veškerý povrchový odtok odtéká sítí vodních toků a případně i jezer do určitého místa vodního toku (obvykle jezero nebo soutok řek).

Hydrogeologický rajon je území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a oběhem podzemní vody (Zákon č. 273/2010 Sb. - vodní zákon).

3.2.2. Retence krajiny

Retenční schopnost krajiny je daná její schopností zadržet vodu a tím zpomalit odtok srážkových vod z území. Pod tímto pojmem je možné rozumět dočasné zadržení vody na vegetaci, objektech v povodí, zadržení vody v pokryvné vrstvě povrchu půdy, v půdě, mikrodepresích, poldrech a v tzv. bezodtokové fázi srážkově - odtokového procesu.

Tato krajinná funkce přispívá k vyrovnanějšímu hydrologickému cyklu (menší výskyt extrémních stavů - povodně, sucha) a k menšímu odplavování živin (PETŘÍČEK, CUDLÍN, 2003).

Efektivní formu zadržování vody v krajině představují mokřadní biotopy, prameniště, rašeliniště, tůně, litorály rybníků, říční nivy, podmáčené smrčiny apod. Svým působením se podílejí na tlumení průtokových extrémů a transformaci povodňové vlny. Mokřady chrání krajinu před záplavami, protože vytvářejí prostor, který v čase povodňových průtoků umožňuje zachytit a akumulovat vodu. Mokřady působí jako vodní nádrž. Studie uvádějí, že 0,4 ha mokřadů může zadržet více než 6000 m3 vody (KLEMETNOVÁ, JURÁKOVÁ, 2003).

Travní porosty v krajině svým retenčním působením omezují povrchový odtok. Kromě toho, neutužené, humózní a strukturní půdy travních porostů mají vysokou infiltrační schopnost. Tento efekt se uplatňuje zejména na svažitých pozemcích, kde trvalé travní porosty zvyšují retenční schopnost půdy, zvlášť při přívalových a dlouhotrvajících deštích (HRABĚ, BUCHGRABER, 2004).

3.2.3. Hydrologická bilance

Princip hydrologické bilance

Hydrologická bilance zahrnuje porovnání srážek, přítoků a odtoků vody a změn vodních zásob v povodí, území nebo vodním útvaru za daný časový interval. Hydrologická bilance hodnotí změny zásob povrchové a podzemní vody způsobené časovou a prostorovou proměnlivostí přirozených vlivů, zejména klimatických činitelů a vytváří podklad pro hodnocení změn zásob vody, které jsou způsobeny

užíváním vody nebo jinými antropogeními zásahy (Český hydrometeorologický ústav, 2002).

Hydrologickou bilanci sestavuje každoročně Český hydrometeorologický ústav. Výstupy hydrologické bilance jsou podkladem pro sestavení vodohospodářské bilance (Vyhláška Ministerstva Zemědělství, 2001).

Základní veličiny hydrologické bilance

Při výpočtu hydrologické bilance rozlišujeme dva typy bilančních veličin (prvků hydrologické bilance)

A) veličiny, které mají rozměr toků
- atmosférické srážky
- územní výpar
- odtok z povodí (průtok v závěrovém profilu)
- základní odtok z povodí

B) veličiny, které mají rozměr zásoby
- zásoba půdní vody v zóně aerace
- zásoba vody ve sněhové pokrývce
- zásoba podzemní vody
- zásoba vody v tocích a nádržích

Vodohospodářská bilance porovnává požadavky na odběry povrchové a podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hledisek množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu. Obsah vodní bilance a způsob jejího sestavení stanoví Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí vyhláškou (Zákon č. 273/2010 Sb. - vodní zákon).

Atmosférické srážky

Atmosférické srážky jsou vodní kapky nebo ledové částice vzniklé následkem kondenzace nebo desublimace vodní páry v ovzduší. Jde tedy o všechnu atmosférickou vodu v kapalném nebo tuhém skupenství, vypadávající z různých druhů oblaků. Pokud srážky vypadávají z oblaků, avšak nedosahují zemského povrchu, označují se jako virga (srážkové pruhy) (OLIVER, 2005).

Vypařování a transpirace

Odpařování je, když teplo ze slunce ohřívá vodu a změní ji na vodní páru. Ve více vědeckých termínech, znamená odpařování změnu z kapalné vody do plynné vody. Veškerá voda v rybnících, jezerech, potocích nebo oceánech se vypařuje. Dokonce i voda ve sklenici podléhá procesu transpirace. Voda se odpařuje i z rostlin. Toto se nazývá pocení. Rostliny, jako jsou stromy, ztrácejí vodu z jejich listů poté, co absorbovaly vodu ze země. Pocení pomáhá rostlinám udržovat a regulovat si tepelnou kapacitu, stejně jako pocení u chovných zvířat, či lidí. Podmínky pro odpaření vody ať už z povodí z rostlin nebo celého povodí, závisí na teplotě, větru a vlhkosti (NELSON, 2003).

Odtok z povodí

Odtok je hydrologický pojem vyjadřující objem vody, která odteče za určité časové období z povodí. Odtok je tvořen několika složkami, jejichž součet se označuje jako celkový odtok.

Základní odtok

Základní odtok je složka celkového odtoku, tvořená přítokem podzemních vod. V povodí je část odtoku, která pochází ze "součtu hlubokého podpovrchového proudění a opožděného mělkého podpovrchového toku". To by nemělo být zaměňováno s prouděním podzemní vody.

Zásoba půdní vody v zóně aerace

Neboli půdní vlhkost je opatření obecné povahy o obsahu vody v půdě, zatímco odvodnění se odkazuje na schopnost podkladu držet nebo rozptýlit tuto vodu.

Zásoba vody ve sněhové pokrývce

Její sledování a odhadování probíhá zejména kvůli hrozbě povodní z tajícího sněhu.

Zásoba podzemní vody

Jedná se o celkový objem vody v nasycené zóně zvodněného systému. Rozeznáváme zásoby vázané a přírodní (geologické). Přírodní zásoby jsou tvořeny:

a) gravitačními (statickými) zásobami
představují objem gravitační vody ve zvodněném kolektoru v přírodních podmínkách.
b) pružnými zásobami
představují objem vody, který se uvolní po snížení piezometrického napětí ze statické zásoby ve zvodněném kolektoru v důsledku zvětšení objemu akumulované vody v souvislosti s její objemovou stlačitelností a v důsledku zmenšení objemu pórů.
c) zbytkovými zásobami (voda vyplňující kapilární póry)

Zásoba vody v tocích a nádržích

Intercepce a povrchová akumulace se sice významně podílejí na celkové vodní bilanci porostů, nemohou ale svojí velikostí podstatně ovlivnit utváření odtoku. Rozhodujícím činitelem pro retenci je infiltrace (KANTOR, 2003).

3.2.4. Vodohospodářská bilance

Zahrnuje :

a) ohlašované údaje,
b) hodnocení množství povrchových vod,
c) hodnocení jakosti povrchových vod,
d) hodnocení množství podzemních vod,
e) hodnocení jakosti podzemních vod.
(Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 431/2001 Sb)

3.2.5. Vliv zemědělství na odtok

Území České republiky se vyznačuje velkou diverzitou krajiny i vysokou diverzitou stanovišť. K jejímu zvýšení v minulosti značně přispělo i samotné zemědělství. V posledních padesáti letech však díky změně technologií bylo zemědělství naopak hlavní příčinou snížení diverzity venkovské krajiny. K největšímu poklesu druhové rozmanitosti došlo v typických agrárně-produkčních oblastech se silně narušenou strukturou krajiny a s velkou spotřebou agrochemikálií. Došlo ke zcelování pozemků do velkých půdních bloků (průměrná plocha pozemků se zvýšila z 0,23 ha v roce 1948 na přibližně 20 ha v současnosti), které často nerespektovalo reliéf terénu. Tato opatření mají dodnes za následek značně narušené odtokové poměry, znečištění vod a degradaci půdy. Těmito kroky byl postupně nastartován proces ztráty přirozené úrodnosti půdy, výrazné snížení schopnosti retence vody v krajině, snížení biologické rozmanitosti, snížení početnosti druhů vázaných na zemědělskou krajinu a úbytek ekostabilizačních krajinných prvků (Ministerstvo Zemědělství České Republiky, 2007).

3.3. Složky odtoku a jejich geneze

Separace složek, ze kterých se skládá celkový odtok vody závěrovým profilem povodí, je základním nástrojem hydrologie už po mnohá desetiletí. Je používána zejména při analýze povodňových vln k oddělení přímého (povodňového) odtoku, vyvolaného bezprostředně předcházející srážkou, od odtoku

základního, který je způsoben výtokem ze zásob podzemních vod v daném povodí. Bylo navrženo mnoho metod, empirických i hydrologicky zdůvodněných, jak separovat přímý odtok od základního. Většina z nich je založena na grafické nebo početní analýze hydrogramu, tj. grafu závislosti průtoku nebo specifického odtoku na čase (PILGRIM, CORDERY, 1993).

Nověji se v rámci jak přímého, tak základního odtoku rozlišuje několik dílčích složek na rozhraní mezi oběma hlavními kategoriemi odtoku. Bývá vyčleňována třetí hlavní složka, označována jako hypodermický odtok (interflow), která je výsledkem mělce podpovrchového proudění vody směrem dolů po svahu ve svrchních, propustných vrstvách půdy (MOSLEY, McKERCHAR, 1993).

3.3.1. Povrchový odtok

Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu; tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních (Zákon č. 273/2010 Sb. - vodní zákon).

Povrchová voda

Úkolem hydrometrie povrchových vod je především stanovení kvantitativních hodnot hydrologických prvků, jako jsou vodní stavy, průtok, splaveniny, teploty a ledové úkazy. Vedle měřících metod a používaných přístrojů je nutné přihlédnout k vzájemných návaznosti a ovlivnění jednotlivých jevů (např. odvození průměrných průtoků vychází z měření vodních stavů, vyhodnocení průtoku plavenin se váže na průtok vody, výskyt ledových jevů ovlivňuje vodní stavy a průtok apod.). Všechna měření se vztahují jednak ke konkrétním vodním útvarům a k času výskytu jednotlivých jevů (KŘÍŽ, a kol., 1988).

Povrchové vody stojaté i tekoucí vytvářejí na styku s atmosférou působením gravitační síly souvislou hladinu. Pozorování výšky hladiny patří mezi nejjednodušší

způsoby sledování pohybu vody, poněvadž se omezuje pouze na měření jejího pohybu ve vertikálním směru (KŘÍŽ, 1988).

3.3.2. Podzemní odtok

Podzemními vodami jsou vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající podzemními drenážními systémy a vody ve studních (Zákon č. 273/2010 Sb. - vodní zákon).

Podzemní voda je významným článkem oběhu vody v přírodě a náleží mezi základní složky životního prostředí. Mimořádně důležitá je z hospodářského hlediska, neboť má většinou lepší fyzikální vlastnosti a chemické složení než voda povrchová, kterou lze získávat pro vodárenské účely z vodních toků nebo nádrží. Je tedy významným a někdy nenahraditelným zdrojem vody pro zásobování obyvatelstva (ŘÍHA, 1987).

Pro hydrologii podzemních vod jsou příznačné některé metody, jejichž předmětem je určení přírodních nebo využitelných zdrojů podzemních vod. Jde o způsoby stanovení velikosti těchto zdrojů na základě znalosti některých rysů režimu podzemních vod nebo rozdělení celkového odtoku na jeho jednotlivé složky a určení základního (podzemního) odtoku (KŘÍŽ, 1983)

3.3.3. Podpovrchový odtok

Primárním vstupem vody pro tento odtok je infiltrovaná voda.

Podpovrchový odtok makropóry a jinými preferenčními cestami. Protože se vysoušení půdy i biologická aktivita (jako nejčastější původci makropórů) odehrávají blízko povrchu půdy, vyskytují se makropóry ve svrchních vrstvách půdního profilu.

Podpovrchový odtok mělkou permeabilní vrstvou. Jedná se většinou o několik desítek centimetrů mocnou vrstvu složenou z minerálních půd s vysokým obsahem organických zbytků, jejíž spodní rozhraní je charakteristické náhlým snížením

hydraulické vodivosti. Tato vrstva je v mnoha studiích označena jako významné až hlavní transportní médium událostního odtoku.

Podpovrchový odtok způsobený zvýšením hladiny podzemní vody. Tento druh odtoku může být obzvlášť rychlý v dolních částech svahu. Vyskytuje se v místech, kde při vysokém stupni nasycení půdního profilu, může vést k tomu, že i dodání relativně malého množství vody způsobí změnu v podobě rychlého zvýšení hladiny podzemní vody. To se dále může projevit v podpovrchovém nebo dokonce povrchovém odtoku.

Podpovrchový odtok nenasycený. Může trvat až několik týdnů po srážce (BRUTSAERT, 2005).

3.3.4. Základní odtok

Základní odtok (podle ČSN 73 6530) je složka celkového odtoku tvořená přítokem podzemních vod v povodí. Význam základního odtoku a určení jeho velikosti se zvyšuje se vzrůstajícími potřebami společnosti. V roce 1981 se začala problematika vyčleňování základního odtoku řešit i na brněnské pobočce Českého hydrometeorologického ústavu. V roce 1983 byly zpracovány srovnávací studie, které se zabývaly výpočty základních odtoků ve dvou vybraných povodí (Haná ve Vyškově s plochou povodí 104,31 km² a Jihlava ve Dvorcích s plochou povodí 307,30 km², v období před výstavbou nádrží) čtyřmi hydrologickými metodami (metody Killeho, separace hydrogramu pomocí průměrných výtokových čar, metoda separace podzemního odtoku s využítím pozorování vodní hladiny a metoda Castanyho) (KREJČOVÁ, 1990).

Velmi rozšířené jsou metody stanovní odtok podzemní vody, který také bývá označován jako základní odtok. Jde o přítok podzemní vody ze zvodněných vrstev hornin, popřípadě z půdy (z pásma nasycení) do vodních toků. Tohoto odtokového procesu se zúčastňuje určitá část podzemních vod, která se podílí na napájení řek a tím i na celkovém oběhu vody v krajině (KLINER , KNĚŽEK , OLMER, 1978).

3.3.5. Drenážní odtok

Voda vytékající ze systémů podpovrchového odvodnění zemědělských půd, je specifickou hydrologickou charakteristikou povodí mnoha drobných vodních toků. Jeho vhodnou interpretací lze kvantifikovat krajinně-vodohospodářský potenciál existujících nebo zamyšlených odvodňovacích staveb i skutečné nebo hrozící důsledky zanedbání péče a tato hydromeliorační zařízení, v českých zemích velmi rozšířená. Nabízí se celá řada metod podpisu a analýzy drenážního odtoku, k nimž patří i separace různých odtokových složek uvnitř drenážního odtoku samotného (DOLEŽAL a kol. 2001).

3.3.6. Hladina podzemní vody

Hladinu podzemní vody můžeme měřit ve velké většině případů jen prostřednictvím uměle vybudovaných objektů. Pouze u zvodněných vrstev s vysokou propustností (písčité a štěrko-písčité vrstvy) nám udává úroveň hladiny povrchové vody v přirozených i umělých prohlubeninách (štěrkoviště) zároveň úroveň hladiny podzemní vody na jejich okrajích. Extrapolování takto zjištěné hodnoty do širší oblasti zvodně však vyžaduje znalosti o směru a sklonu proudu podzemní vody a odpovídající stupeň hydrogeologického výzkumu.

3.4. Separace odtoku

3.4.1. Přehled metod

Metoda rozčlenění hydrogramu

Nejpoužívanější je metoda rozčlenění hydrogramu, tj. rozdělení chronologické čáry průtoků na jednotlivé složky. Vychází z toho že celkový odtok vody v určitém profilu toku je zpravidla tvořen následujícími přirozenými složkami:

1. povrchovým odtokem, tj. tou částí vody, která odtéká po zemském povrchu
2. hypodermickým odtokem, což je podíl vody, která odteče v bezprostřední vrstvě pod povrchem do vodních toků, aniž dosáhne hladiny podzemní vody.

3. základním (podzemním) odtokem, čili odtokem vody z pásma nasycení (KŘÍŽ, 1983).

Obvykle se však čára průtoků rozčleňuje na dvě složky, a to na odtok přímý, který zahrnuje odtok jak povrchový, tak i hypodermický, a na základní odtok. Je tomu tak především proto, že vyčlenění samotné složky povrchového a hypodermického odtoku je zpravidla dosti obtížné (KLINER, KNĚŽEK, 1974).

Metody založené na principu jednoduchého rozčlenění hydrogramu i naopak poměrně složitého současného hodnocení hydraulického spojení mezi povrchovou a poříční podzemní vodou mají své nedostatky, které mohou být příčinou nesprávného stanovení velikosti podzemního odtoku. Hledaly se možnosti znamenající zpřesnění dosahovaných výsledků. Jeden ze způsobů úpravy původní metody rozčlenění hydrogramu je založen na předpokladu, že v případě hydraulické spojitosti mezi povrchovou a poříční podzemní vodou musí být i vzájemná závislost jejich hladiny (DUBA, 1968).

Při rozdělení čáry průtoku na jednotlivé složky se proto přihlíží k průběhu hladiny mělké podzemní vody v nejbližším vhodném pozorovacím vrtu, popřípadě i ke srážkám. Jiný způsob rozčlenění hyrogramu spočívá ve využití výsledků měření vydatnosti pramenů, které se nacházejí v povodí toku. Podle průběhu vydatnosti těchto pramenů, jakož i rozdělení srážek se vyznačuje v hydrogramu čára, které jej rozčleňuje na dvě základní složky odtoku (přímí a základní odtok) (Brázda, 1975).

Podíl jednotlivých složek z celkového odtoku je velmi proměnlivý jak z hlediska prostoru, tak i času. Je to způsobeno tím, že se při utváření odtoku uplatňuje řada různých činitelů. Při rozčlenění hydrogramu na dvě hlavní složky se používá několik odlišných metod, které však přihlížejí pouze k některým činitelům ovlivňujícím odtokový proces. Tyto metody je v podstatě možné rozdělit do dvou skupin. První z nich tvoří ty způsoby rozčlenění hydrogramu, které vycházejí výlučně z průtokových hodnot, kdežto do druhé náleží metody přihlížející kromě toho i k některým charakteristikám režimu podzemních vod v příslušném území (KŘÍŽ, 1983).

Nejjednodušší způsob rozdělení hydrogramu spočívá v jeho rozdělení vodorovnou čarou probíhající počátkem průtokové vlny, za který je možno považovat okamžik, kdy dochází k výraznému zvětšování průtoku. Vzhledem k tomu že tento postup nejméně vyhovuje z hlediska stanovení základní složky odtoku, byly vypracovány jiné metody. Jde například o určení hranice mezi základním a přímým odtokem v podobě čáry spojující měsíční minimální průtoky, v podobě různě lomené přímky, která do jisté míry přihlíží i ke tvaru průtokové vlny, tj. přechodného zvětšení a následujícího poklesu průtoků, avšak s tím rozdílem, že dělící linie má zpravidla obrácený průběh než tato vlna. Znamená to prakticky, že obvykle v době nejvyššího přímého odtoku je základní odtok relativně nižší (ZAJÍČEK, 1970).

Metoda GROUND (separation of GROUNDwater runoff)

Vznikla z potřeby urychleně a přibližně separovat přímý a základní odtok z malého povodí z datové řady středních denních průtoků v závěrovém profilu. Je to metoda empirická, odladěná tak, aby separované hydrogramy středních denních odtoků z povodí o ploše řádu 1 km² vypadaly věrohodně, jsou-li posuzovány pouhým okem. Začátek vyhodnocovaného období by měl připadnout do málo vodného období, kdy průtok nekolísá (KULHAVÝ, a kol., 2001).

Metoda MGPM (modifikovaná graficko-početní metoda)

Vznikla z potřeby rozčlenit dlouhodobé datové řady středních denních průtoků na složky základního a přímého odtoku při nedostatku doplňujících měření, obvykle k těmto účelům využívaných (údajích o hladinách podzemních vod, o vlhkosti půdy, srážkových poměrech atd.) s plánovací budoucí aplikací na data drenážních odtoků. Jde o rozčlenění hydrogramu podle zásady, že každá zřetelná odtoková vlna má příčinu v určité srážkové epizodě, přičemž ovšem dílčí příčinné deště na sebe mohou libovolně navazovat (KULHAVÝ, a kol., 2001).

Metoda stanovení podzemního odtoku na základě nejnižšího průtoku v povrchových tocích

Jde o jednoduchý způsob, který vychází z předpokladu, že v době výskytu nejnižších průtoků jsou vodní toky napájeny převážně podzemními vodami. Existují dvě možnosti určení průměrného podzemního odtoku touto metodou. Při první z nich se postupuje tak, že se vypočítá průměr z denních průměrných průtoků za 30 po sobě následujících dní s nejnižšími průtoky v jenom roce. Aritmetický průměr z takto získaných průtokových hodnot za 10 let přestavuje hledaný podzemní odtok z celého povodí toku po příslušnou vodoměrnou stanici. Ve druhém případě představují výchozí podklad nejnižší průměrné měsíční průtoky jednotlivých roků z nejméně desetiletého období, z nichž se vypočítá aritmetický průměr, který představuje průměrný podzemní odtok. (CASTENY, MARGAT, ALBINET, DELLAROZIÉRE-BOULLIN, 1970).

Metoda minimálních měsíčních průtoků

Vychází z nejmenších průměrných denních průtoků jednotlivých měsíců za celé nejméně desetileté období. Získané průtokové hodnoty se seřadí ve vzestupném pořadí a vyznačí graficky v pravoúhlé síti, v níž je možno snáze získanou množinu bodů vyrovnat přímkou, zejména v dolní a střední části souboru, které jsou z hlediska stanovení hodnoty podzemního odtoku nejvýznamnější. Střední pořadnici získané přímky odpovídá průměrný podzemní odtok z příslušného povodí za zvolené období (KILLE, 1970).

Indikační metody

Metody založené na použití přírodních či umělých nuklidů (izotopů) slouží především ke sledování pohybu podzemní vody v propustném prostředí, tj. zejména rychlosti a směru jejího proudění. Kromě toho se tyto metody uplatňují i při stanovení stáří podzemních vod (KŘÍŽ, 1983).

Využití nuklidových metod v hydrologii záleží ve zjišťování zákonitosti prostorového i časového rozmístění nuklidů ve vodě. Vzhledem k tomu, že při změně

skupenství vody nastává frakcionace nuklidů, tj. obohacování nebo naopak ochuzování vody o některé z nich, a protože radionuklidy se rozpadají, lze využít znalostí zákonitosti těchto změn ke sledování oběhu vody v přírodě, zejména k objasňování přechodu z jedné fáze tohoto cyklu do druhé. Přitom se sledují buďto změny přírodních nuklidů, nebo těch, které se do vody uměle dodávají ve formě stopovacích látek (stopovačů) (ŠILAR, 1975).

Metoda digitálního filtru

V případě použití metody digitálního filtru je nutné odhadnout velikost koeficientu pomocí použití jiné metody (např. analýza rozčlenění hydrogramu) a nebo užít již vyzkoušenou hodnotu koeficientu pro dané podmínky povodí. Nejznámější modely digitálních filtrů jsou dle Chapmana a Maxwella, Lyne a Hollicka nebo Boughtona (GRAYSON, 1996).

Metoda analýzy rozčlenění hydrogramu

Při rozčleňování hydrogramu vycházíme z toho, že klesající množství odtoku je v čase vyjádřeno poklesovou větví znázorněnou výtokovou čarou. Pokud výtokovou čáru neovlivní změna přírodního či lidského faktoru, je poklesová větev poměrně stabilní. Největším problémem u nás je nalézt dostatečně dlouhý časový úsek bez srážek (dostatečně dlouhé úseky výtokových čar) (KNĚŽEK, KESSL, 2000).

K počátku velmi intenzivního odtoku dochází často po srážce velmi malé intenzity a úhrnu, kdy po 107 dosažení bodu nasycení půdního profilu, bez významného poklesu sacího tlaku, dochází k okamžitému extrémnímu vyprázdnění systému. Z hlediska tvorby extrémních průtoků může taková situace způsobit neúměrné zvýšení odtékajících objemů z podobných povodí a následující povodně. Retenční kapacita půdního profilu je v tomto případě prakticky nulová. Tato možnost se týká všech našich hraničních horských zdrojových oblastí. Dosud nebyly tyto jevy v hydrologických předpovědích uvažovány (CÍSLEROVA, 2003).

Porovnáváním podílů odtoku bylo zjištěno, že se jednotlivé složky liší nejen mezi sledovanými obdobími, ale i v rámci období podle velikosti konkrétních průtokových vln (poklesových větví). Protože výška kulminace úzce souvisela s objemem odtoku bylo možno podle tohoto parametru roztřídit hodnocené poklesové větve.

Metoda bilance podzemních vod, vycházející z rozkyvu jejich hladiny

Předmětem této metody je bilance podzemních vod v pásmu nasycení, tj. v té části půdního profilu a vrstvách hornin, v nichž jsou všechny volné prostory vyplněny vodou. Výchozími údaji jsou pro tuto bilanci hodnoty rozkyvu, tj. rozdílu mezi nejvyšším a nejnižším stavem hladiny podzemní vody, který byl zjištěn během dlouhodobého pozorování. Hodnotí se i situace charakterizovaná rozkyvy hladin v kratších časových úsecích. Je však nutné, aby byl splněn jeden předpoklad, a to, že musí jít o podzemní hladinu s volnou hladinou, která je výlučně pod vlivem procesů probíhajících v pásmu aerace a odvodnění (ZAJÍČEK, 1966).

Metoda postupných profilových průtoků

Metoda tzv. postupných profilových průtoků je založena na proměnlivé vodnosti toků v závislosti na ploše povodí po celé délce od pramenů po ústí, což však neplatí všeobecně. Graficky se tento vztah znázorňuje čárami postupných profilových průtoků, které se sestavují na základě výsledků měření průtoků v jednotlivých charakteristických profilech na tocích. Při rozboru těchto čar se vychází z předpokladu, že průtok v určitém místě na toku je výsledkem působení všech činitelů, které se uplatňují při tvorbě hydrologického režimu příslušného území (KLINER, KNĚŽEK, OLMER, a kol. 1978).

Čáry postupných profilových průtoků se obvykle sestavují na základě výsledků měření průtoku, která byla provedena v bezsrážkových , tj. relativně suchých obdobích, kdy převládající složku odtoku vody v tocích tvoří přítok podzemních vod z území, kdežto vliv ostatních činitelů je zanedbatelný. Jedině při tomto postupu lze touto metodou zjistit určité nepravidelnosti ve vývoji odtoku vody v toku, jejichž příčinou jsou přítoky podzemních vod podmíněné geologickou

stavbou území, jeho tektonickými a hydrologickými poměry (Vodohospodářský časopis, 1981).

Popsaným způsobem je postihována jedna složka přírodních zdrojů podzemních vod, která se projeví základním odtokem. Při stanovení přírodních zdrojů podzemních vod je třeba poznatky získané touto metodou ještě doplnit a upřesnit, např. hydrologickou bilancí apod. Kromě toho je nutno mít na paměti při používání této metody, že průkaznost anomálií v průběhu odtoku je přímo závislá na přesnosti měření průtoků (KLINER, KNĚŽEK, OLMER, a kol. 1978).

Genetické metody

Metody jsou založeny na genezi, tj. poznávání vzniku a původu hydrologických procesů a jimi vyvolaných jevů, při nichž vstupuje podzemní voda do vztahu s přírodním prostředím, jakož i příčinnosti těchto dějů. Tyto metody mají svůj význam v hydrologii podzemních vod, především z hlediska studia a poznávání hydrologických procesů vzniku a odtoku podzemních vod (Kouřil, 1975).

Hydrologické procesy probíhající v půdním a horninovém prostředí pod zemským povrchem jsou ve své podstatě stochastickými (náhodnými) ději, což však nepopírá rozhodující působení příčin při jejich vzniku. Geneze hydrologických jevů, které jsou výsledkem těchto procesů, je výrazným způsobem ovlivňována řadou různých činitelů, jejichž působení není zpravidla stále stejné, nýbrž se mění jak v čase, tak i v prostoru. Základem genetických metod proto je poznávání vztahů a závislostí mezi těmito hydrlogickými jevy a činiteli, kteří je vyvolávají nebo alespoň určitým způsobem ovlivňují, jakož i jejich změn (ZAŤKO, 1966).

Největší význam má doplňování podzemní vody a její odtékání působením gravitace. Důležitou úlohu přitom mají procesy probíhající v pásmu provzdušnění (areace), které je představováno částí půdního a horninového prostředí, v němž je část volných prostorů vyplněna vzduchem. Toto pásmo má mimořádný význam pro část oběhu vody, která probíhá pod zemským povrchem, neboť představuje přechodné prostředí mezi vodou v atmosféře a na zemském povrchu

na jedné straně a podzemní vodou v pásmu nasycení, v němž jsou všechny volné prostory vyplněny vodou, na straně druhé (KŘÍŽ, 1983).

Metody matematické statistiky

Základní informace o průběhu hydrologických procesů se získávají systematickým sledováním hydrologických jevů. Výsledkem těchto pozorování jsou kvantitativní údaje o velikosti hydrologických prvků (stavy hladiny podzemních vod, vydatnosti pramenů, teploty vody atd.), které je možno považovat za prvky statistického souboru a k jejich zpracování používat běžné metody matematické statistiky, které ovšem bylo třeba pro tyto účely poněkud upravit (KŘÍŽ, 1983).

Nezbytným předpokladem z hlediska statistického zpracování je, aby všechny prvky souboru měly alespoň jednu společnou vlastnost, která je označována jako sledovaný znak. Vzhledem k tomuto znaku je potom soubor homogenní (stejnorodý). Hodnota znaku není u všech členů souboru stejná, nýbrž se mění, takže je veličinou proměnnou. Mnohdy nevykazuje posloupnost těchto proměnných veličin žádnou zjevnou zákonitost, neboť výskyt každé z nich je výsledkem náhodného působení různých činitelů (BRÁZDA, 1975).

Kartografické metody

V hydrologii podzemních vod se používají i některé kartografické znázorňovací metody, které slouží především k vyjádření zdrojů a ochrany podzemních vod, či plošného rozložení charakteristik jejich oběhu nebo režimu v určitém území mapou. Tyto metody se rovněž využívají k prostorovému znázorňování polohy výskytu významných přírodních výtvorů (pramenů) nebo umělých objektů podzemních vod (studní, vrtů) do map různých měřítek podle stupně podrobnosti či velikosti zobrazovaného území. Značně komplikovaný problém představuje stanovení prostorového rozložení podzemních vod pro kartografické znázornění (KŘÍŽ, 1983).

Metody modelování

Pod pojmem model se v podstatě rozumí takový abstraktně představovaný nebo materiálně realizovaný systém, který zobrazuje nebo napodobuje objekt zkoumání a je schopný jej zastoupit natolik, že jeho studium poskytne o něm novou informaci (SZOLGAY, 1979).

Model může sloužit jako prostředek objasňování a teoretického zkoumání objektů. Umožňuje výklad teoretických pojmů tak, že se dochází snáze k závěrům než v rámci pouhé teorie. Prostřednictvím modelu je možno teorii doplňovat, zejména kvantifikovat, takže plní úlohu spojovacího článku mezi teorií a objektivní realitou (KŘÍŽ, 1983).

Rozlišují se různé druhy modelů. Nejčastěji se modely dělí na fyzikální a matematické. Zatímco u prvního druhu modelů je fyzikální podstata zkoumaných objektů do určité míry zachována a jsou napodobovány ve stejném nebo zmenšeném měřítku, ve druhém případě je nahrazují procesy odlišné fyzikální povahy. Pokud jsou oba procesy, tj. reálný a modelovací formulovány shodným matematickým způsobem, pak jde o analogové modely, v opačném případě o kvazianaologové (KLINER, KNĚŽEK, OLMER, a kol., 1978).

Matematické modely mají s modely v někdejším slova smyslu již prakticky málo společného. Jsou založeny na analogii, která spočívá ve vyjadřování určitých fyzikálních zákonitostí ve formě matematických vzorců. Používání těchto modelů se velmi rozšířilo v souvislosti s rozvojem číslicových a analogových počítačů (KŘÍŽ, 1983).

V hydrologii podzemních vod se uplatňují matematické modely založené na různých principech:

1) Modelování na anologických modelech s použitím anologových počítačů
2) Modelování, které využívá numerické řešení parciálních diferenciálních rovnic proudění podzemní vody (metoda sítí, konečných prvků apod.)

3) Metody modelování využívající principy zákonitostí teorie pole a potenciálů (metoda konformního zobrazení, superpozice apod.) (BANSKY, MUCHA, 1975)

4. Materiál

4.1. Povodí Jenínského potoka

Jenínský potok leží v katastrálním území obce Jenín a Horní Kaliště,v okresu Český Krumlov a spadá do správního území obce Dolní Dvořiště nedaleko rakouské hranice. Nejvýznamnější složku zde tvoří pseudogleje a kambizemně na svazích rul a granitů na severu Českokrumlovské vrchoviny. Nejvyšším bodem povodí Jenínského potoka, je Žibřidovský vrch s nadmořskou výškou 870,3 m situován v severní části povodí.

4.2. Pedologie

Českokrumlovský region je řazen z pedologického hlediska do území horských podzolů, podzolů kambizemních, a půd silně kysele kambizemních. Území se nachází na nalezištích rul, granitů, svorů a fylitů (ALBRECHT, 2003).

Vyskytují se půda:

- hnědá půda kyselá
- hnědá půda kyselá slabě oglejená
- hnědá půda glejová
- oglejená půda
- glejová půda

Půdy s vysokým obsahem slídy zde vznikly rozkladem a zvětráváním mateční horniny převážně svorů a svorových rul.

4.3. Geologie

Území Jenínského potoka se z geologického hlediska řadí do oblasti moldanubika, což je geologická jednotka Českého masivu. Tvoří jeho jižní a jihozápadní část. Je považováno za staré prekambrické (období ve vývoji Země) jádro obalené mladšími jednotkami. Horniny jsou přeměňovány prostoupeny masívy hlubinných vyvřelin. Prvotními horninami byly zejména mořské sedimenty, hlavně jílovité břidlice, slepence, pískovce, vápence a uhelnaté horniny. Díky metamorfóze zde můžeme nalézt různé druhy migmitů, pararul, krystalických křemelců a vápenců. Řidčeji můžeme narazit na hadce, amfibolity, granulity a ortoruly.

4.4. Klima

Území Jenínského potoka leží v klimatické oblasti B10. Oblast je mírně teplá, velmi vlhká a vrchovinová. Převládá zde vítr vanoucí na západ. Průměrná roční teplota 6 – 7 °C a roční úhrn srážek činní 650 – 800 mm.

4.5. Hydrologie

Povodí Jenínského potoka (číslo hydrologického povodí 1-06-01-138) spadá do povodí Vltavy, která spadá do povodí Labe. Převážná většina toku je bez antropologických zásahů, vede údolnicí, kde se v mnoha případech vyskytuje doprovodná stromová zeleň, keřová zeleň a mokřadní byliny a dřeviny. Délka toku je 2,250 km, pramen se nachází v 691,0 m.n.m, potok ústí v 637,0 m.n.m.. Délka údolnice se táhne 4,10 km při spádu 23,8 ‰. Plocha povodí zabírá 4,64 km^2 z toho je přibližně 10% zalesněno. Absolutní spád povodí je 232 m, zatím co absolutní spád toku je 54 m. Povodí Jenínského potoka má vějířovitý tvar se sklonem toku 2,4%.

5. Metody

Metody experimentálního výzkumu

Předmětem výzkumu v experimentálních (modelových) povodí je zejména podrobné studium oběhu vody a její bilance na vymezeném území. Zjišťuje se při tom rozsah vlivu různých činitelů na oběh i režim vody. Jde jak o vlivy projevující se kvantitativními, tak i kvalitativními změnami. Kromě toho se při tomto výzkumu věnuje pozornost i některým metodologickým problémům, jakož i staniční sítí a otázkám hydrologické analogie (KŘÍŽ, 1980).

5.1. Metoda Ground

Metoda obsahuje jediný proměnlivý vstupní parametr, koeficient přírůstku základního odtoku COEF. Empiricky odladěná hodnota COEF pro povodí řádu 1 km² je 0,075. Vnitřními parametry, nepočítáme-li pomocné proměnné, jsou přírůstek základního odtoku DIFF a logická proměnná FLOOD. Vstupem je řada středních denních nebo v jiném konstantním časovém kroku průměrných průtoků nebo odtoků. Výstupem jsou dvě řady středních denních nebo obdobných průtoků představujících, v pořadí, přímý a základní odtok z povodí. Součet přímého a základního odtoku v každém časovém intervalu je roven celkovému odtoku (JAIN, 1997).

V následujícím textu se uvažuje časový krok jeden den a slovem „průtok“ je míněn střední denní průtok.

Algoritmus metody GROUND

1. první člen řady je považován za základní odtok, tj. přímý odtok je v prvním dni nulový. Dále se předpokládá, že během prvního dne ani ve dnech předcházejících nenastala povodňová situace (Flood = False). Přírůstek základního odtoku Diff se nastaví na nulu.

2. V každém následujícím dni se měřený průtok porovnává s průtokem ve dni předcházejícím. Další postup však závisí také na tom, přetrvává-li z předchozích dní povodňová situace, či nikoli. Mohou nastat tyto 4 případy:

2.1. Povodňová situace nepřetrvává, průtok se nezvyšuje. Celý průtok se označuje jako základní odtok a přímý odtok v daném dni má nulovou hodnotu.
Diff = 0 a Flood = False se nemění.

2.2. Povodňová situace se mění, průtok se zvyšuje. Celý základní odtok se rovná průtoku z předchozího dne a celý přírůstek průtoku je považován za přímý odtok. Takto nalezené hodnoty přímého i základního odtoku mohou však být v následném kroku upravovány. Tento případ se považuje za začátek povodňové situace (Flood se nastaví na True), Diff se nastaví na hodnotu COEF-násobku přírůstku celkového průtoku (uplatní se však až v dalším dni).

2.3. Povodňová situace přetrvává, průtok narůstá. Pak se rozlišují následující dva případy:

2.3.1 Průtok v daném sni je nižší než základní odtok ve dni předešlém zvýšený o hodnotu Diff nastavenou v předešlém dni. Celý průtok je označován za základní odtok a přímý odtok v daném dni je nulový. V případě že je současně základní odtok v daném dni menší než základní odtok v předešlém dni, pak se na hodnotu základního odtoku v měřeném dni zpětně nastaví i základní odtok v předešlém dni (sníží) a přímý odtok v dni předešlém se o tuto hodnotu zpětně zvýší.

2.3.2 Průtok v měřeném dni je větší než základní odtok ve dni předešlém zvýšený o hodnotu Diff nastavenou v předešlém dni nebo je takto zvětšenému základnímu odtoku roven. V tomto případě se základní odtok v měřeném dni rovná základnímu odtoku ze dne předcházejícího zvětšenému o hodnotu Diff nastavenou ve dni předcházejícím a zbytek průtoku je považován za přímý odtok.

Poté se vždy v případě 2.3 odhaduje druhá derivace průtoku podle času ve dni předcházejícím jako rozdíl průtoku v měřeném dni a průtoku dva dni před ním:

$$X(A) - X(A\text{-}B) \quad (1)$$

Kde X(A) je průtok v I-tém dnu. V případě, že derivace je kladná, tzn. je-li hydrogram konvexní, roste přírůstek základního odtoku Diff (pro následující den) o Coef-násobek přírůstku celkového odtoku. V případě záporné nebo nulové derivace (tzn. hydrogram je konkávní nebo přímý), hodnota Diff zůstává. V obou dvou případech přetrvává i nadále povodňová situace.

2.4 Povodňová situace zůstává, průtok se nezvyšuje

2.4.1 Průtok v měřeném dni je větší než základní odtok v předchozím dni změněný o hodnotu Diff nastavenou v předchozím dni nebo je takto zvětšenému základnímu odtoku roven. V tomto případě se základní odtok v měřeném dni rovná základnímu odtoku z dne předchozího zvýšenou o hodnotu Diff nastavenou v předchozím dni a zbytek průtoku je považován za přímý odtok. Povodňová situace trvá i nadále, hodnota Diff se nemění.

2.4.2 Průtok v měřeném dni je menší než základní odtok v předešlém dni zvětšený o hodnotu Diff nastavenou v předchozím dni. V tomto případě je celý průtok považován za základní odtok a přímý odtok v měřeném dni je roven nule. Tento den je považován za konec povodňové situace. (Flood se nastaví na False, Diff se nastaví na nulovou hodnotu). Pokud je přitom základní odtok v měřeném dni nižší než základní odtok v předešlém dni, pak se hodnota základního odtoku v měřeném dni nastaví zpětně (i základní odtok v předchozím dni), sníží se a odtok v předešlém dni se o tutéž hodnotu zpětně zvýší.

5.2. Metoda MGPM (modifikovaná graficko-početní metoda)

Úkolem algoritmu je separovat tu část odtoku, která je přímou odezvou na příčinnou srážku. Vychází se z toho, že základní odtok má mít plynulý průběh s pozvolným kolísáním, v závislosti na vývoji dlouhodobé hydrologické bilance povodí. Může být maximálně roven celkovému odtoku v závěrovém profilu. (Z. Kulhavý, V. Švihla, Využití hydrologického modelu malých zemědělsko-lesních povodí. Vědecké práce VÚMOP Praha, 1999, č. 10, s. 63-78.).

Algoritmus MGMP je zpracován v programu Visual Basic jako extenze tabulky aplikace Excel.

Nejprve se pro celý datový soubor středních denních průtoků Qd(i) = (i = 1, …, n) vypočtou směrnice grafu (první derivace – podle času):

$$Vd(i) = \frac{Qd(i) - Qd(i-1)}{DT} \quad (2)$$

Kde: Qd(i), Qd(i – 1) jsou středními průtoky v i-tém nebo v (i – l)-tém výpočtovém intervalu, v pořadí ($L^3 . T^{-1}$),

DT je délka výpočtového intervalu (T), v našem případě jeden den,

$V_{d(i)}$ je směrnice (derivace průtoku dle času) pro rozhraní mezi (i – l)-tým a i-tým intervalem, která je přiřazena i-tému intervalu ($L^3 . T^{-1}$),

n je celkový počet datových bodů (intervalů)

Poté je vyhodnocena celá posloupnost takto zjištěných směrnic (pro i = 2 až n – 1). Všechny směrnice jsou hodnoceny dle svého algebraického znaménka a podle algebraického znaménka směrnice následující po ní. Jednotlivé výpočtové intervaly jsou takto rozděleny do pěti kategorií (0 – 4). Tabulka ze zelené

Kategorie O: bod na vzestupné větvi hydrogramu nebo tupě konvexní lomový bod na začátku vrcholu vlny (tyto body nemají při separaci žádné specifické použití)

Kategorie 1: tupě konkávní lomový bod hydrogramu, který znamená počínající růst průtoku, přicházejícího po období ustáleného průtoku (celkový odtok

je v bodě i vždycky shodný s odtokem celkovým), z těchto a bodů kategorie 4 jsou odvozeny uzlové body přechodové křivky vyčíslující základní odtok)

Kategorie 2: bod ležící na poklesové větvi hydrogramu nebo na jejím konci (v případě, že následuje období ustáleného průtoku) nebo uvnitř období ustáleného průtoku. Na základě těchto bodů se v dalších početních krocích identifikují výtokové čáry, při vlastní separaci však tyto body neposkytují žádné specifické použití.

Kategorie 3: vrchol vlny hydrogramu nebo tupě konvexní lomový bod na konci vrcholu vlny, který znamená začátek poklesu průtoku po období ustáleného průtoku (základní odtok je vždy nižší než celkový odtok)

Kategorie 4: (ostře konkávní lomový bod) tyto body a body z kategorie 1 vedou k odvození uzlových bodů přechodové křivky ukazující hodnotu základního odtoku.

V prvním intervalu (i = 1) je celý průtok považován jako základní odtok, přímý odtok je nulový. Za základní odtok (s možností zpětné korekce) jsou považovány průtoky $A_{d(i)}$ ve všech (i) intervalech , které jsou řazeny do kategorie 1 a nebo 4. Než nastane taková situace, je považován základní odtok stejný jako celkový odtok. Po zaznamenání intervalu kategorie 1 a nebo 4, je i v tomto případě základní odtok považován za stejný jako celkový odtok. Tento interval je považován za začátek nové průtokové vlny. Když se v nejbližším čase objeví další interval z kategorie 1 a nebo 4, je považován za konec průtokové vlny. Dále se zkoumá zda se v období mezi těmito intervaly nevyskytl také interval kategorie 3 (vrchol vlny a nebo konec vrcholu vlny).

Má li situace jiný průběh, nebo je-li prodleva mezi počátkem a koncem vlny menší než 6 intervalů, hodnota základního odtoku se ukáže v období mezi začátkem a koncem vlny (první a druhý bod z kategorie 1 nebo 4) parabolickou přechodovou křivkou.

$$\frac{Q_Z^2 - Q_1^2}{Q_2^2 - Q_1^2} = \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \qquad (3)$$

Kde:

Q_Z základní odtok v čase t,

Q_1 celkový odtok v čase t,

Q_2 je celkový odtok v čase t_2

t_1 čas jenž odpovídá začátku přechodové křivky (první interval kategorie 1 nebo 4)

t_2 je čas odpovídající konci přechodové křivky (druhý interval kategorie 1 nebo 4)

V tomto období nastávají jen dva případy, základní odtok stále stoupá nebo stále klesá, podle toho zda je Q_2 nižší nebo vyšší než Q_1. Tempo stoupání a nebo klesání základního odtoku závisí zejména na Q_1, Q_2 a na čase. Tempo klesání s časem roste, tempo stoupání s časem klesá. Takto zjištěný základní odtok by v žádném případě neměl převyšovat hodnotu celkového odtoku. V případech, kdy přechodová křivka vystoupí nadhodnoty hydrograf celkového odtoku, je základní odtok kladen stejný jako celkový odtok.

5.3. Digitální filtr dle Chapmana

Rozlišení odtoku na složku podpovrchovou (hypodermickou) a podzemní (základní) a následný výpočet dle Chapmana:

$$Q_{total} = Q_{quick} + Q_{slow}$$

$$Q_{slow}(i) = \frac{k}{2-k} Q_{slow}(i-1) + \frac{1-k}{2-k} Q_{total}(i)$$

$$Q_{slow}(i) \leq Q_{total}(i)$$

obr. č. 1 – vzorec (5) pro výpočet základního odtoku metodou digitálního filtru dle Chapmana

Kde: Q(i) – průměrný denní průtok v i-tém dni

Q_{total} – celkový odtok

Q_{slow} – základní odtok

K - bezrozměrná konstanta (nastavená na 0,99483)

5.4. Analýza rozčlenění hydrogramu

Poklesová (výtoková) větev má svůj typický průběh, hořejšek poklesové větve znázorňuje prudké klesání průtoku, dolní část pozvolnější klesání průtoku. Obě se dostávají až téměř k hranici nejmenších průtoků, tj. ke kapacitě zásob vody, která nejde z povodí vyčerpat (STEHLÍK, 1998)

Obecně je známo, že dva inflexní body metody rozčlenění hydrogramu jsou určeny exponencionálně klesající křivkou:

$$q_e = q_0 e^{-t/k} \quad (4)$$

kde: q_0 – hodnota průtoku v čase 0,
q_e – Hodnota průtoku v čase,
t – čas,
k – konstanta

V případě, že se rovnice rovná, má poklesová větev tvar přímky. Rozčlenění hydrogramu pomocí poklesové větve, představuje rozčlenění celkového objemu odtoku na efektivní srážky a podzemní odtok s delší dobou zdržení (SERRANO, 1997).

Výhoda výpočtu analýzy hydrogramu je, že takto zjištěné parametry poskytují souhrnné informace o Hydraulických vlastnostech horninového prostředí v rámci celého povodí (STEHLÍK, 1998).

6. Výsledky a diskuse

Měřené průtoky z Jenínského potoka na profilech J1 a J2, byly očištěny – byly nahrazeny chybějící a nesmyslné hodnoty interpolací, příp. analogií k hodnotám ze sousedního profilu. Na takto upravených datových řadách byla provedena separace pomocí tří metod. Jako použité metody byly zvoleny metoda digitálního filtru dle Chapmana, metoda GROUND a metoda MPGM. . Pro výpočet všemi použitými metodami postačuje pouze datová řada průměrných denních průtoků z uzávěrového profilu.

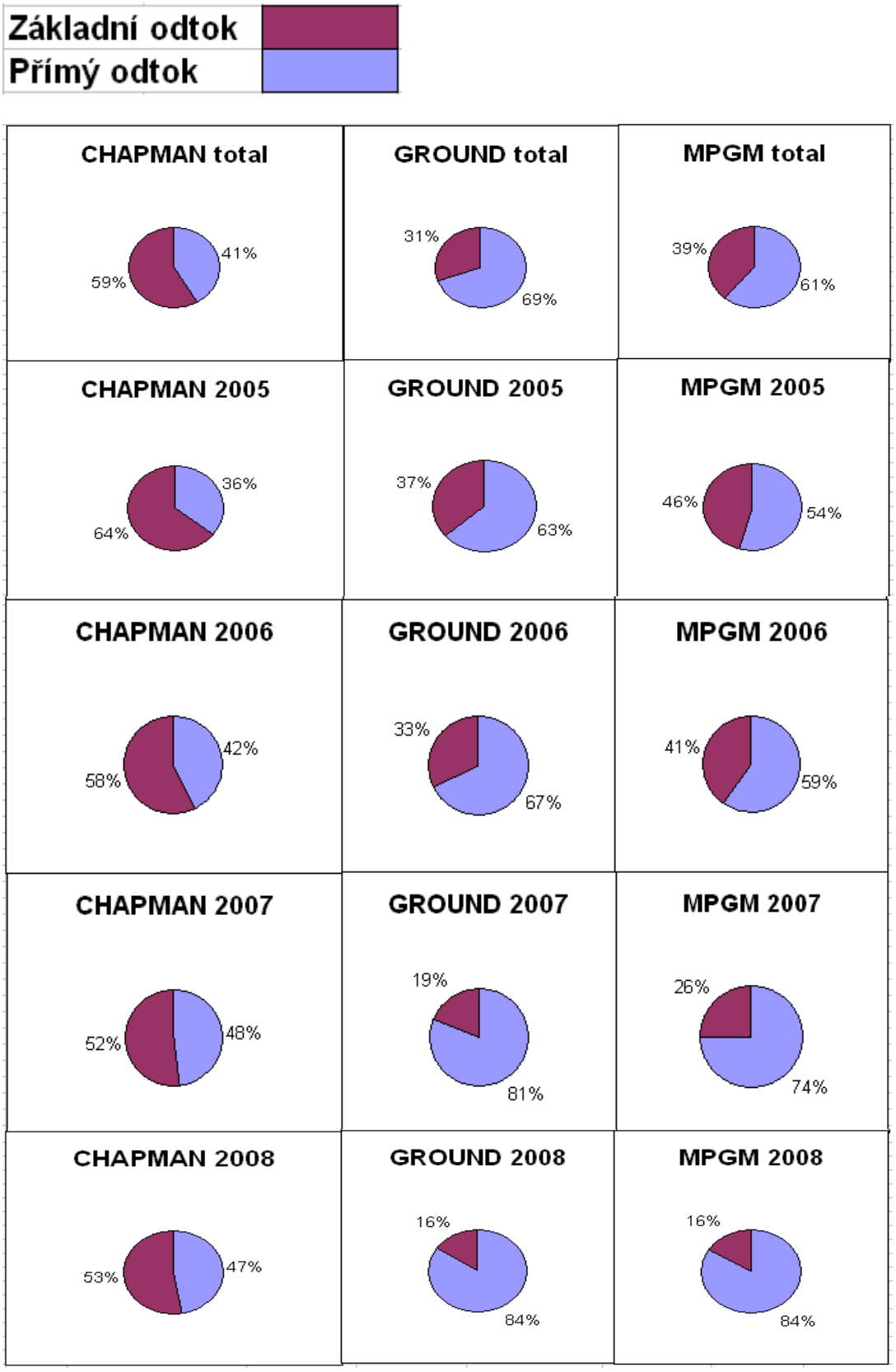
Dále byly zvoleny 4 průtokové vlny, na nichž byla kromě výše uvedených metod použita ještě metoda rozčlenění hydrogramu. Výsledky této subjektivní metody byly použity pro srovnání období konce přímého odtoku s automatickými metodami.

Sumy	Chapmen J1	Chapmen J2	GROUND J1	GROUND J2	MPGM J1	MPGM J2
Qz total	687,75	686,32	1177,19	1134,53	1083,03	1034,85
Qz 2005	140,50	196,42	247,43	321,14	210,76	259,58
Qz 2006	189,83	209,19	300,63	336,67	262,95	317,33
Qz 2007	127,15	104,31	215,82	174,94	198,49	162,20
Qz 2008	230,27	174,36	413,31	301,78	410,84	295,75
Qp total	908,49	964,18	419,05	513,93	513,20	613,48
Qp 2005	251,98	348,57	144,82	223,54	181,39	285,10
Qp 2006	258,26	299,82	145,73	172,35	182,45	191,67
Qp 2007	139,14	119,51	50,24	47,27	68,70	60,19
Qp 2008	259,11	196,28	78,26	70,77	80,66	76,52

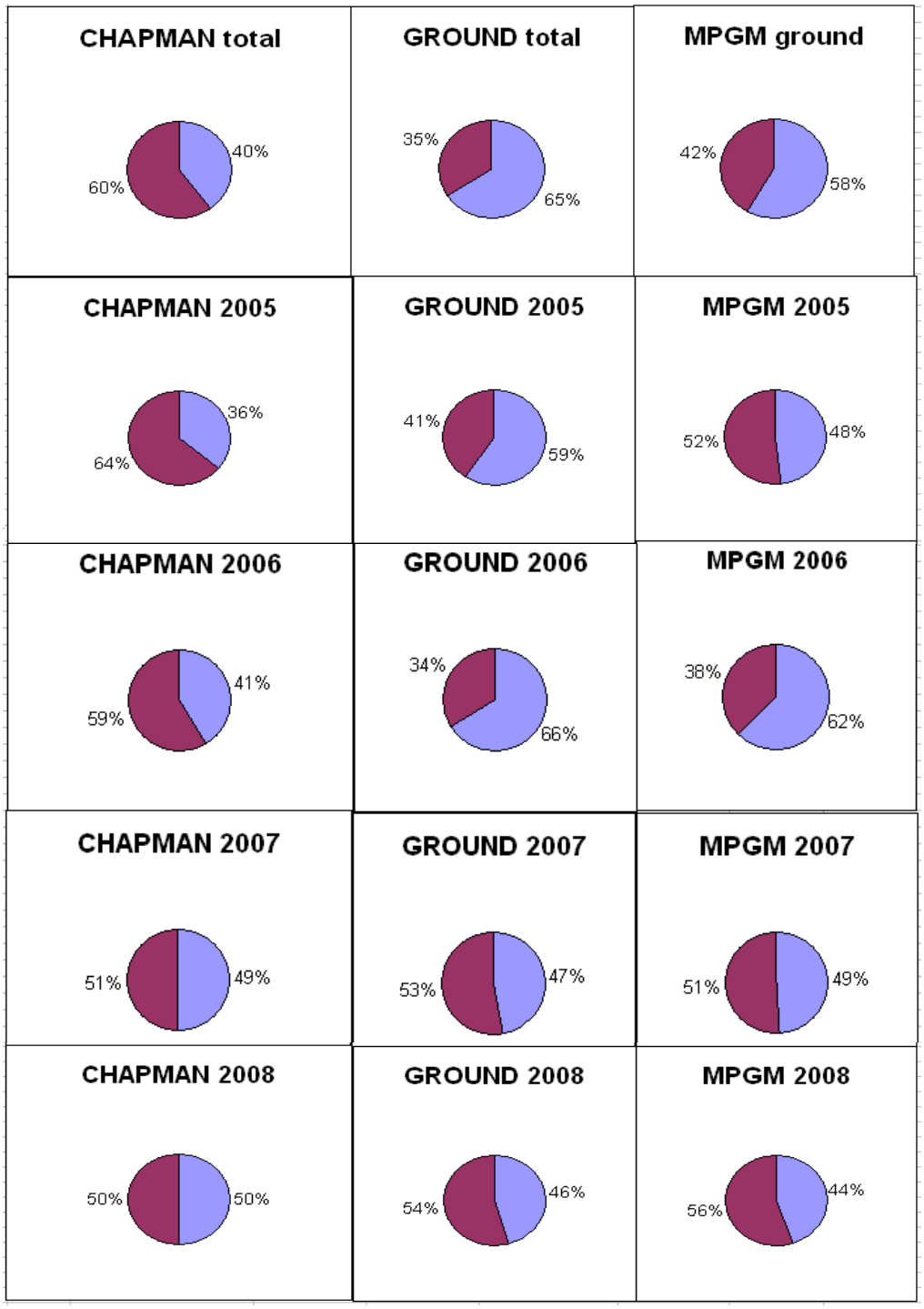
Tab. č.1 – výsledky jednotlivých metod separace základního a přímého odtoku pro hydrologické roky 2005 – 2008 na povodích J1 a J2 (hodnoty v $m^3.10^{-5}$)

V Tab. č.1. jsou uvedeny hodnoty objemů přímého a základního odtoku pro jednotlivé metody separace odtoku pro oba profily. Obdobně jsou v obr. č.1. a 2. uvedeny výsledky separací, v tomto případě jako poměry objemů jednotlivých složek odtoku (celkový odtok = 100%). Srovnání výsledků i účel metod by nabízeli použití metody digitálního filtru pro separaci základního odtoku a jedné z metod MPGM nebo GROUND pro separaci přímého odtoku pro separaci přímého odtoku. Touto kombinací a odečtením obou složek od celkového odtoku bylo uvažováno odseparovat navíc i odtok hypodermický.

Jak však bude patrné z následující kapitoly, věnující se srovnání výsledků automatických metod separace s vyhodnocením rozčlenění hydrogramu, výše uvedené závěry při bližší analýze neodpovídají zjištěným skutečnostem.



Obr. č. 2 - Přehled výsledků separace odtoku – podíl základního a přímého odtoku v jednotlivých obdobích pro povodí J1



Obr. č. 3 Přehled výsledků separace odtoku – podíl základního a přímého odtoku v jednotlivých obdobích pro povodí J1

Rozčlenění hydrogramu

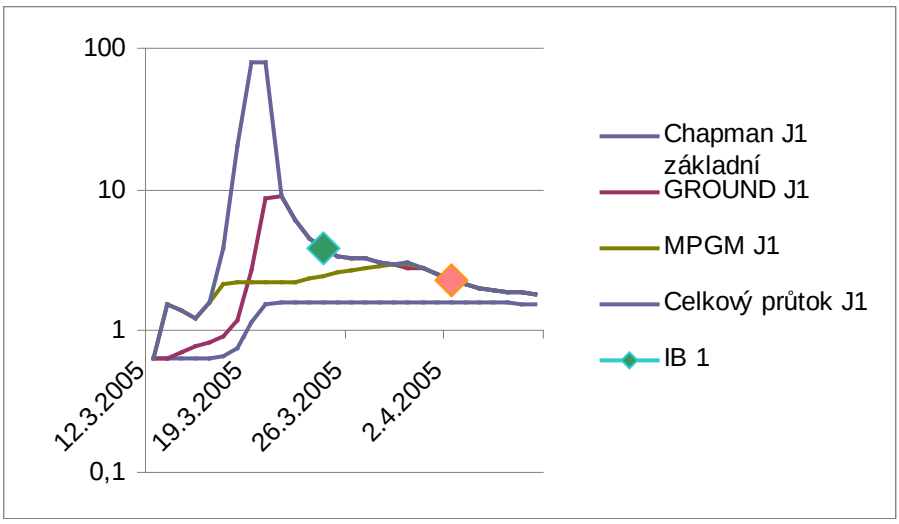
Abychom mohli potvrdit možnost užití navržené třísložkové separace odtoku, byly zvoleny 4 výrazné odtokové epizody od doby jejich kulminace do ustálení průtoku. Byly vybrány následující epizody:

- 20.3.2005 – 8.4.2005
- 20.8.2005 – 3.9.2005
- 25.3.2007 – 19.4.2007
- 22.12.2008 – 4.1.2009

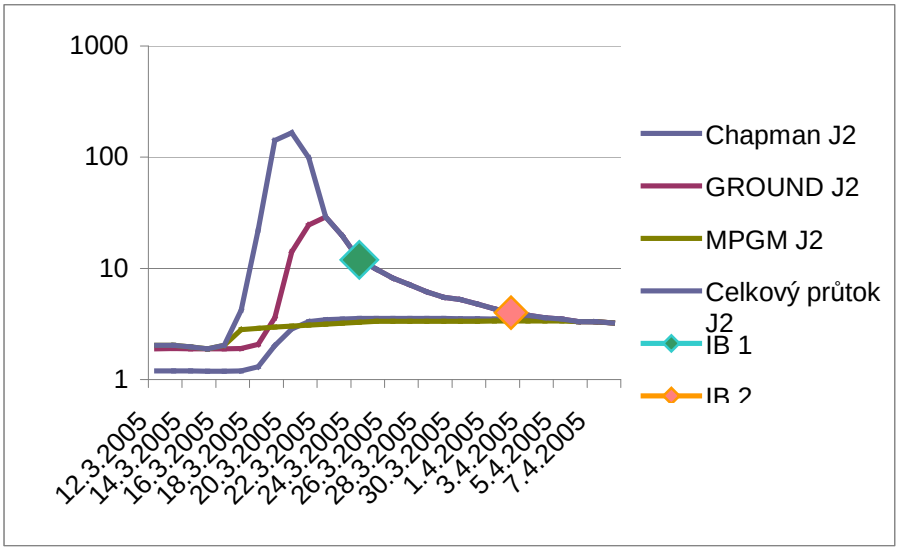
Hodnoty průtoků jsou převedeny na hodnotu přirozeného logaritmu, vyneseny v grafu a následně jsou „odhadovány“ dva inflexní body, dle proložení bodů třemi křivkami. První inflexní bod nám značí přechod mezi povrchovým a podpovrchovým odtokem, zatímco druhý inflexní bod ukazuje přechod mezi podpovrchovým a základním odtokem..

Do grafů byly vynášeny pro jednotlivé profily (J1 J2) následující datové řady:

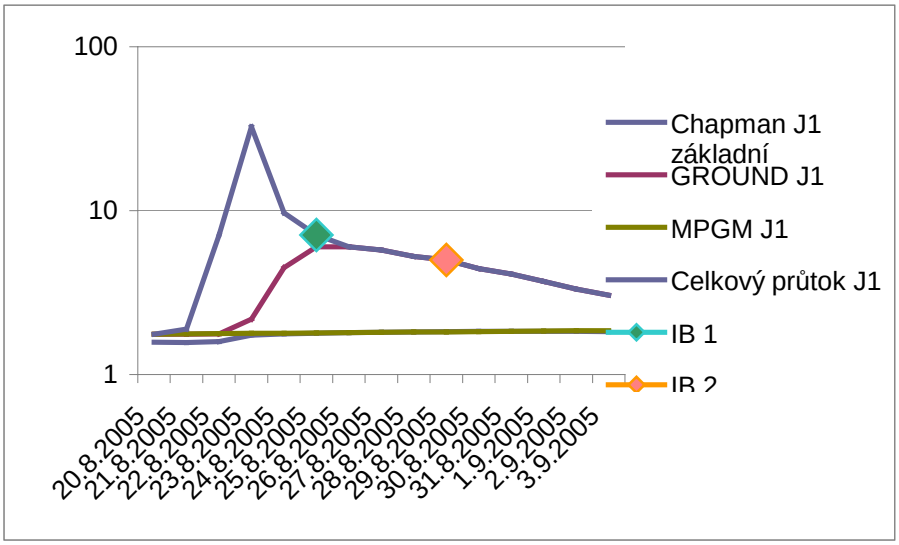
- celkový průtok
- metoda digitálního filtru dle Chapmana pro základní odtok
- metoda GROUND pro přímý odtok
- metoda MPGM pro přímý odtok
- dva inflexní body určené rozčleněním hydrogramu IB 1 a IB 2.



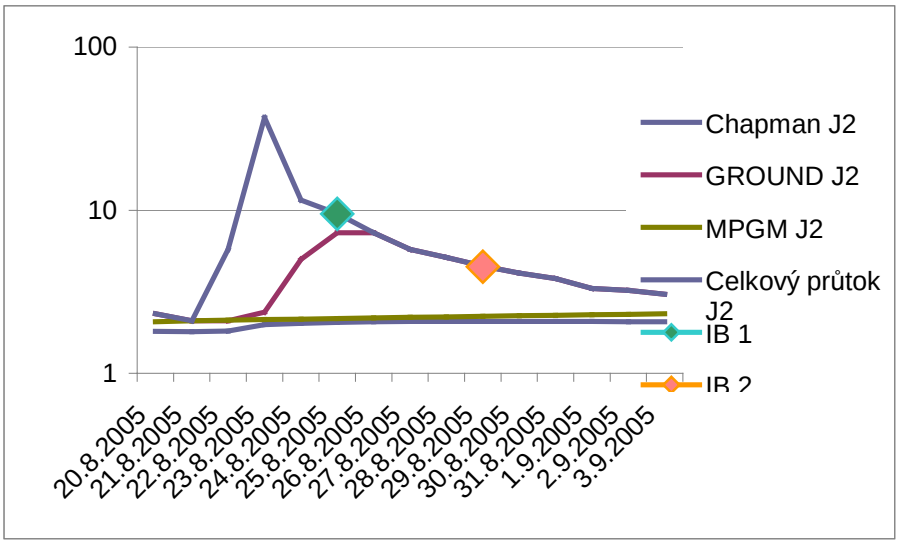
Obr. č. 4 – První rozčlenění hydrogramu na povodí J1



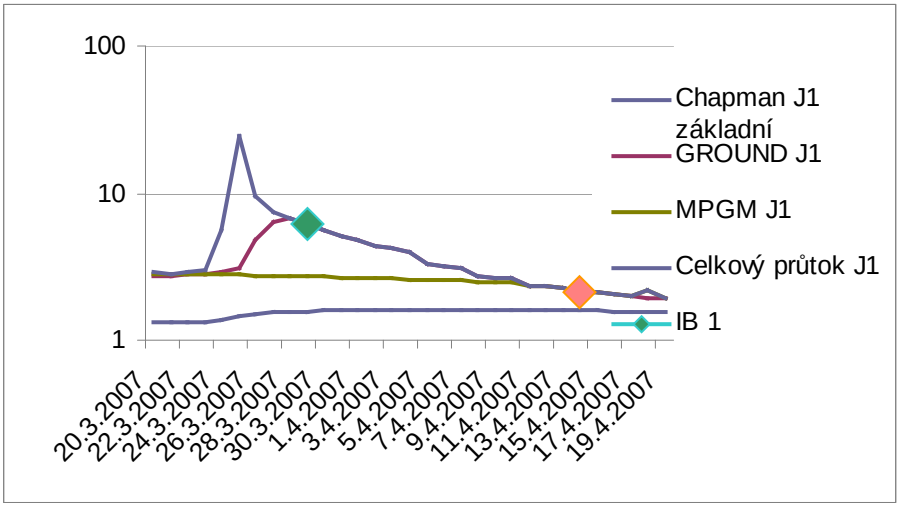
Obr. č. 5 – První rozčlenění hydrogramu na povodí J2



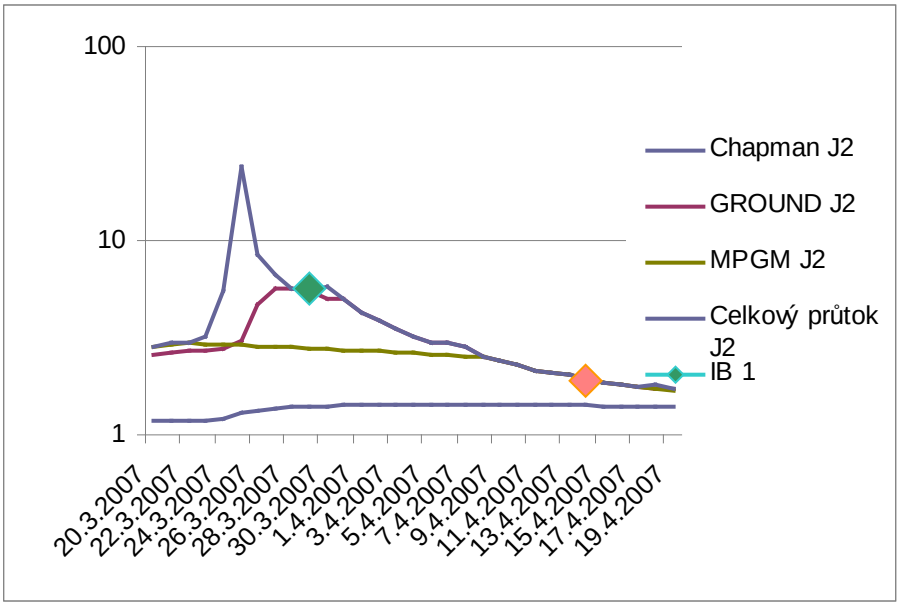
Obr. č. 6 – Druhé rozčlenění hydrogramu na povodí J1



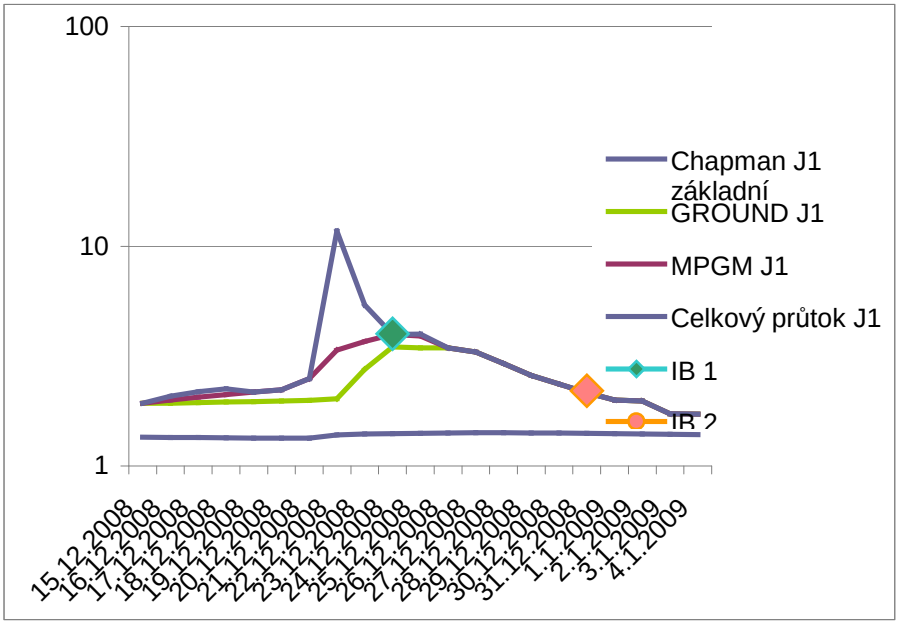
Obr. č. 7 – Druhé rozčlenění hydrogramu na povodí J2



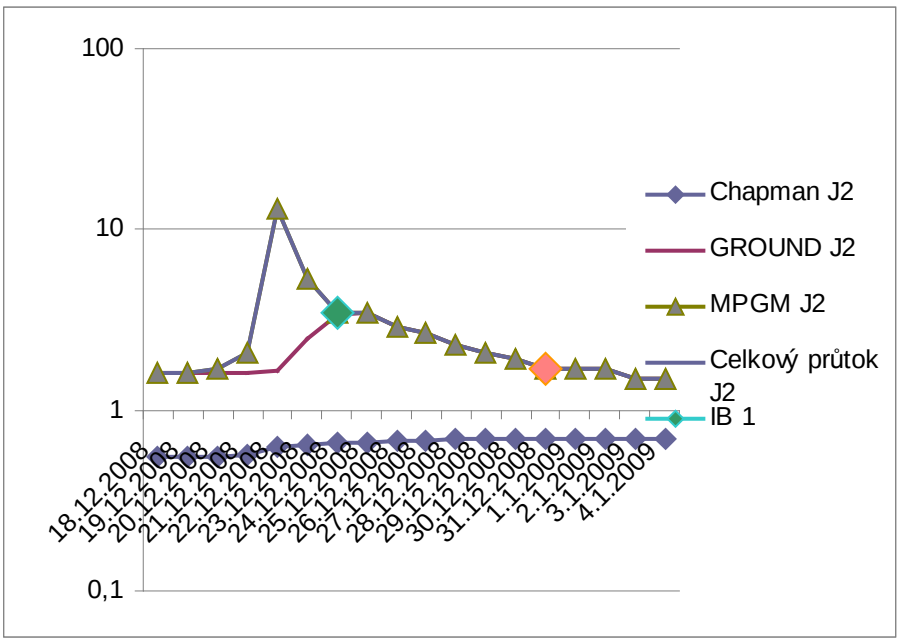
Obr. č. 8 – Třetí rozčlenění hydrogramu na povodí J1



Obr. č. 9 – Třetí rozčlenění hydrogramu na povodí J2



Obr. č. 10 – Čtvrté rozčlenění hydrogramu na povodí J1



Obr. č. 11 – Čtvrté rozčlenění hydrogramu na povodí J2

7. Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na měření odtoku a z něj následné rozdělování průtoku na jednotlivé složky. Jako měřené území bylo zvoleno povodí Jenínského potoka. Kombinací třech zvolených metod jsem docílili tří složkové metody separace. Pomocí metody Chapman byl separován základní odtok. Následné metody GROUND a MPGM nám dále posloužili k oddělení přímého odtoku ve smyslu povrchového . Rozdílem těchto metod jsme dostali odtok podpovrchový.

Takto separovaný odtok byl ještě porovnán s metodou rozčlenění hydrogramu, kde byly znázorněny hodnoty přirozeného logaritmu průtoku, následovalo vynesení třech čar z čehož nám vznikly dva inflexní body. První bod odděluje povrchový odtok, zatímco druhý inflexní bod separuje přímí odtok.

Z výsledků uvedených v Obr. 4 – 11. je patrné, že konec období přímého odtoku ve většině případů poměrně dobře vystihuje metoda GROUND. Přechod mezi podpovrchovým a základním odtokem lépe vystihuje metoda MPGM, přičemž průběh základního odtoku určený digitálním filtrem dle Chapmana se druhému inflexnímu bodu přibližuje pouze v jednom případě, ve všech ostatních oproti manuální metodě filtr podhodnocuje.

8. Seznam literatury:

1. ALBRECHT, J., Okres Český Krumlov, Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha, 2003, s. 162 – 216

2. BANSKY, V., MUCHA, I., Hydraulické metódy výpočtov využitelného množstva podzemných vod, Výpočty využitelného množství podzemních vod, Dům techniky, vol. 3, 1975, s. 25 – 53

3. BRÁZDA, Č., Statistické charakteristiky režimu podzemních vod podle limnigramů a podle měření v týdenních intervalech, UJEP Brunensis, Geographia , Brno, vol. 5, 1975, s. 73 – 86

4. BRUTSAERT, W., Hydrology – An introduction, Cambridge University press, 2005, 605 s.

5. CÍSLEROVÁ, M., Preferenční proudění ve vadózní zóně a formování hydrogramu odtoku, Seminář s mezinárodní účastí „Hydrologie půdy v malém povodí“, Praha, 2003, 109 s.

6. Český hydrometeorologický ústav, Úsek Hydrologie, Hydrologická bilance, České republiky, 2002, 36 s.

7. ČESKÝ NÁRODNÍ KOMITÉT UNEP, Voda nad zlato, Program OSN pro životní prostředí, World water development report, 2003, 488 s.

8. DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., SOUKUP, M., KODEŠOVÁ, R., Hydrology of the drainage runoff, European Geophysicao Society, XXV General Assembly, Physics and Chemistry of the Earth, vol. 26, 2001, s. 623 – 627

9. DUBA, D., Hydrológia podzemných vod, Vydavatelstvo SAV, Bratislava, 1968, 352 s.

10. DŽAMALOV, G., R., ZEKCER, I., S., IVANOV, V., A., Vozmožnosti izučenija podzemnych vod s pomoščju iskustvennych sputikov Zemli, Vodnyje resursy 6:85-87, IZD Nauka, Moskva, vol. 6, 1974, s. 85 - 87

11. GORDON, L., J., PETERSON, G., D., BENNETT, E., M., Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises, Trends in Ecology and Evolution, vol. 4, 2008, s. 211 - 219

12. GRAYSON, B., R., ARGENT, R., M., NATHAN J., R., McMAHON, T., A., MEIN, R., G., Hydrological recipes: estimation techniques in Australian hydrology. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 1996, 125 s.

13. HANUSIN, J., Prirodná krajina – voda – spoločnosť, Životné prostredie, Ústav krajinném ekologie SAV Bratislava, vol. 6, 1996, s. 98 – 99

14. HRABĚ, F., BUCHGRABER, K., Pícninářství, Travní porosty, MZLU Brno, 2004, 154 s.

15. JAIN, S., K., Evolution of catchment management strategies by modelling soil erosion/ water quality in EPIC supported by GIS, Galway, National Uviversity of Ireland, Department of Engeneering hydrology, 1997, 540 s.

16. KANTOR, P., Lesy a povodně. Souhrnná studie. MŽP, Praha, 2003, 48 s.

17. KILLE, K., Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der monatlichen Niedrigwasserbflusse, Zeitschrift Deutsche Geologiche Geshrift, Sonderheft, Hannover, vol. 3, 1970, s. 89 – 95

18. KLEMENTOVÁ, E., JURÁKOVÁ, M., Mokradě v systéme protipovedňovej ochrany, Životné prostredie, vol. 4, 2003, s. 65 – 72

19. KLINER, K., KNĚŽEK, M., Metoda separace podzemního odtoku při využívání pozorování hladiny podzemní vody, Vodohospodářský časopis, Veda, Bratislava, vol. 22, 1974, s. 457 – 466

20. KLINER, K., KNĚŽEK, M., OLMER, M., Využití a ochrana podzemních vod, SZN, Praha, 1978, 296 s.

21. KNĚŽEK, M., KESSL, J., Metody výpočtu základního odtoku, Hydrologické dny, Nové podněty a vize pro příští století, Plzeň, 2000, s. 337 – 3476

22. KOUŘIL, Z., Stanovení přírodních zdrojů podzemních vod podle metody G. Castanyho, Výpočty využitelného množství podzemních vod, Dům techniky ČVTS, Brno, vol. 3, 1975, s. 63 – 65

23. KREJČOVÁ, D., Metody vyčíslování základního odtoku na P-ČHM Brno, český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, III.Československé hydrologické dny, sborník přednášek, 1990, s. 189 – 191

24. KŘÍŽ, H., Hydrologie podzemních vod, Academia, 1983, 289 s.

25. KŘÍŽ, V., a kol., Hydrometrie, Státní pedologické nakladatelství, Praha, 1988, 176 s.

26. KŘÍŽ, V., Vliv lidské činnosti na hydrické procesy a změny vodního režimu povodí, Vodohospodářský časopis, Veda, Bratislava, vol. 28, 1980, s. 3 – 21

27. KUTÍLEK, M., Vodohospodářská pedologie. SNTL/ALFA, Praha, Bratislava, 1978, 296 s.

28. MARTOŇ, J., TOLGYESSY, J., PIATRIK, M., Získávanie, úprava, čistenie a ochrana vod, ALFA vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1984, 456 s.

29. Ministerstvo Zemědělství České Republiky, Program rozvoje venkova České Republiky na období 2007 – 2013, Praha, 2007

30. MOSLEY, M., P., McKERCHAR, A., I., Streamflow, Chapter 8 Maidment, Handbook of Hydrology, New York, McGrow-Hill, vol. 8, 1993, s. 125-151

31. NELSON, R., The Water Cycle, First step nonfiction, Lerner, Publications, 2003, 24 s.

32. NETOPIL, R., hydrologie pevnin, Praha, Academia, 1972, 296 s.

33. OLIVER, J.,Encyclopedia of world climatology ,Encyclopedia of earth sciences series, Springer, 2005, 854 s.

34. PETŘÍČEK, V., CUDLÍN, P., Máme bojovat proti povodním?, Životné prostredie, Ústav krajinném ekologie SAV Bratislava, vol. 4, 2003, s. 22 - 35

35. PILGRIM, D., H., CORDERY, I., Flood runoff. Chapter 9 in Maidment, Handbook of hydrology, New Yourk, McGraw-Hill, 1993, s. 9.4 – 9.6

36. ŘÍHA, J., Voda a společnost, SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1987, 340 s.

37. SERRANO, E., S., Hydrology for Engineeres, Geologists and Enviromental Professionals, HydroScience, Kentucky, 1997, 468 s.

38. STEHLÍK, J., Současný stav metodologie poklesové fáze odtoku, ČHMU Praha, Praha, 1998, 27 s.

39. SZOLGAY J., K vymezenie pojmu model v hydrologii, Vodohospodářský časopis, Veda, Bratislava, vol. 27, 1979, s. 331 – 336

40. ŠILAR, J., Aplikace výzkumu přírodních radionuklidů, tritia a radiouhlíku v hydrologickém průzkumu, Geologické práce, Správy vede, Bratislava, vol. 62, 1975, s. 77 – 88

41. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 431/2001 Sb.-o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci)

42. WITKOWSKA-WALCZAK, B., Hydrophysical characteristics of rendzina aggregate structure. In: Physic of Soil and Water. Institut Agrofyziky im. Bohdana Dobrzańskiego PAN Lublin, 1996, s. 167 - 174

43. ZAJÍČEK, V., Režim podzemních vod, Sborník referátů z hydrogeologické konference ČSVTS, Gottwaldov, 1970, s. 112 – 130

44. ZAJÍČEK, V., Zur Problematik der Bilanzbevertung von Grundwässern in Tabenbaureviren, Freiburber Forchungshefte, vol. 337, 1966, s. 121 – 132

45. Zákon č. 273/2010 Sb. - vodní zákon

46. ZAŤKO, M., Príspevok k niektorým otázkám režima obyčajných podzemnych vod Slovenska, Geografický časopis, VSAV, Bratislava, vol. 18, 1966, s. 113 – 130