

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Krajinného managementu

Vedoucí katedry: prof. Ing. Tomáš Kvítek, Csc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Metody separace základního odtoku a trendy koncentrací
dusíku v tomto odtoku

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický

Autor: Monika Maierová

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: Monika MAIEROVÁ
Osobní číslo: Z08868
Studijní program: B4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí
Název tématu: Metody separace základního odtoku a trendy koncentrací dusíku v tomto odtoku
Zadávající katedra: Katedra krajinného managementu

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce bude mít charakter literární rešerše s následujícím rámcovým obsahem: Složky odtoku a jejich geneze.

Metody separace základního odtoku.

Porovnání jednotlivých metod.

Vývoj koncentrací dusíku v období základního odtoku.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

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.

časopisy: Hydrological processes, Journal of hydrology, Physics and chemistry of the earth, Hydrological studies, atd.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický
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 ④
370 05 České Budějovice

V. Z.

prof. Ing. Miroslav Šoch, CSc.

děkan

L.S.

prof. Ing. Tomáš Kytecký, CSc.

vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2010

Prohlášení:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Metody separace základního odtoku a trendy koncentrací dusíku v tomto odtoku" jsem vypracovala samostatně, na základě literatury a přiložených podkladů 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.

V Českých Budějovicích dne 15. dubna 2011

.....
Monika Maierová

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému za odborné připomínky k danému tématu a cenné rady v průběhu tvorby bakalářské práce. Také bych ráda poděkovala svým rodičům, díky jejichž podpoře a trpělivosti jsem mohla studovat a pracovat na této bakalářské práci.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce je zaměřena na objasnění hydrologického cyklu, hydrologické bilance, hydrologii podzemních vod, na vybrané metody separace základního odtoku s jejich vzájemným porovnáním a v neposlední řadě na koloběh dusíku, dusičnany, dusitany, amoniakální dusík a dusík v podzemních vodách. V práci je také podrobně rozebrán celkový, povrchový a podpovrchový odtok s jeho podrobným dělením. Metody separace základního odtoku podzemních vod jsou popsány s ohledem na obsah sloučenin dusíku, které v současné době představují prakticky nejrozšířenější typ znečištění podzemních vod používaných jako zdroje pitné vody.

Klíčová slova: hydrologický cyklus, hydrologická bilance, podzemní voda, odtok, metody separace základního odtoku, dusík, dusičnany, dusitany, amoniakální dusík

Abstract:

This Bachelor thesis is aimed to clarify the hydrological cycle, hydrological balance, groundwater hydrology, selected basic baseflow separation methods of comparing them and last but not least, nitrogen cycle, nitrogen, nitrates, ammonia nitrogen and nitrogen in groundwater. In the work there is also closely analyzed the total, surface and subsurface outflow and the detailed division. The methods of the groundwater baseflow separation are described with regard to content of nitrogen compounds, which currently create the most common type of pollution of groundwater used as drinking sources.

Keywords: hydrological cycle, water balance, groundwater, outflow, basic baseflow separation methods, nitrogen, nitrates, nitrites, ammonia nitrogen

Obsah:

ÚVOD	10
1 HYDROLOGICKÝ CYKLUS	12
2 METODY HYDROLOGIE PODZEMNÍCH VOD	13
3 METODA HYDROLOGICKÉ BILANCE	14
4 SLOŽKY ODTOKU A JEJICH GENEZE	19
4.1 Celkový odtok	19
4.1.1 Základní odtok.....	19
4.1.2 Hypodermický odtok.....	19
4.1.3 Nasycený povrchový odtok.....	20
4.2 Povrchový odtok.....	20
4.2.1 Odtok z překročení infiltrace.....	20
4.2.2 Odtok z překročení nasycení	21
4.3 Podpovrchový odtok	21
4.3.1 Podpovrchový odtok makropóry a jinými preferenčními cestami.....	21
4.3.2 Podpovrchový odtok mělkou permeabilní vrstvou.....	22
4.3.3 Podpovrchový odtok způsobený zvýšením hladiny podzemní vody	22
4.3.4 Podpovrchový odtok nenasycený.....	22
4.4 Podzemní odtok.....	22
5 PODZEMNÍ VODA	24
6 HYDROLOGICKÉ METODY STANOVENÍ PŘIROZENÝCH NEBO VYUŽITELNÝCH ZDROJŮ PODZEMNÍCH VOD	25
6.1 Metoda bilance podzemních vod, vycházející z rozkyvu jejich hladin	25
6.2 Metoda postupných profilových průtoků.....	28
6.3 Metody stanovení odtoku podzemní vody	29
7 VYBRANÉ METODY SEPARACE ZÁKLADNÍHO ODTOKU	30
7.1 Metoda Klinera a Kněžka	30
7.2 Metoda stanovení základního odtoku na základě nejnižších průtoků v povrchových tocích	32
7.3 Metoda Killeho (metoda minimálních měsíčních průtoků).....	33
7.4 Metoda BFI (Base Flow Index)	34
7.5 Metoda separace hydrogramu	35
7.6 Metoda GROUND.....	36
7.7 Metoda MGPM	39
7.8 Digitální filtry	39

8	POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD.....	40
9	DUSÍK A JEHO SLOUČENINY VE VODĚ.....	42
9.1	Koloběh dusíku	43
9.2	Dusičnany	44
9.2.1	Norma pro dusičnany v pitné vodě	46
9.3	Dusitany	49
9.4	Amoniakální dusík (NH_4^+ , NH_3)	50
9.5	Dusík v podzemních vodách	51
	ZÁVĚR.....	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55

Úvod

Voda se v přírodě účastní všech podstatných biologických procesů, fyzikálních a chemických pochodů a tvorby klimatu. Je v zemské atmosféře, oceánech, pevninách, tvoří toky a přirozené i umělé vodní nádrže. Je pro život nepostradatelná a její dostatečné množství je základním předpokladem pro existenci všech žijících organismů.

Voda se v přírodě nevyskytuje chemicky čistá. Obsahuje rozpuštěné plyny a látky anorganického i organického původu. Množství minerálů a jiných látek ve vodě závisí na jejím původu. V podzemní vodě je jejich obsah zpravidla vyšší, protože při průchodu zeminou má možnost různé látky rozpouštět. V povrchové vodě je zastoupen vyšší podíl dešťové vody, která má obsah rozpuštěných látek minimální. Různé složení vody dané různými poměry jednotlivých složek má pak vliv i na nepatrné změny v chuti vody.

Z hospodářského hlediska je podzemní voda mimořádně důležitá. Vzhledem ke svým nenahraditelným vlastnostem patří všeobecně k nejcennějším složkám přírodního bohatství (ČERVENÝ A BOHM, 1984).

Základní odtok je důležitou vývojovou součástí celkového odtoku. Pochází z uložených podzemních vod, nebo jinak zadržovaných zdrojů vody. Přes většinu suchých ročních období, se soustředěný odtok skládá výhradně ze základního odtoku. Ve vlhkém období je průtok tvořen základním odtokem a okamžitým odtokem, který představuje přímou reakci povodí na srážkové události (SMAKHTIN, 2001).

Kvalitu vody zjistíme chemickým rozborem příměsí přítomných ve vodě. Každý zdroj má jinou kvalitu. Kvalita vody je popisována za pomoci mikrobiologických a biologických ukazatelů a fyzikálních a chemických ukazatelů. Kromě skupinových ukazatelů biochemické spotřeby kyslíku a chemické spotřeby kyslíku patří mezi nejvýznamnější ukazatele znečištění vody obsah amoniakálního a dusičnanového dusíku a celkový fosfor. Stanovení dusitanů je nezbytnou součástí rozboru pitných vod.

K největším znečištěním podzemních vod docházelo v zemědělství na konci 50. let a pokračovalo až do 80. let minulého století. Docházelo k rozsáhlému odvodňování zemědělské, ale i nezemědělské půdy, které mělo vést k zintenzivnění

zemědělské výroby. Ze stejného důvodu docházelo k hnojení velkými dávkami hnojiv. Všechny tyto zásahy měly negativní dopad na jakost vod a došlo ke změnám vodního režimu povodí (VOGEL A CÍSLEROVÁ, 2008).

Cílem této bakalářské práce je explanace hydrologického cyklu, hydrologické bilance, hydrologie podzemních vod a rozdělení jednotlivých odtoků. Další část tvoří posouzení vhodnosti různých metod pro výpočet základního odtoku. Mezi tyto metody bude zahrnuta metoda Kilnera a Kněžka, Castanyho metoda, Killeho metoda, metoda BFI a metoda separace hydrogramu, metoda GROUND, metoda MGPM a digitální filtry. Dále byly porovnávány výše uvedené metody a určena vhodnost jejich použití. V závěrečné části práce jsou rozebrány sloučeniny dusíku, které v současné době představují prakticky nejrozšířenější typ znečištění podzemních vod používaných jako zdroje pitné vody.

1 Hydrologický cyklus

Je stálý oběh povrchové a podzemní vody na Zemi, doprovázený změnami skupenství. Je vyvolán účinkem sluneční energie a zemskou gravitací. Voda se vypařuje z oceánů, vodních toků, nádrží, povrchových vod, ze zemského povrchu (evaporace) a z povrchu rostlin (transpirace), dohromady se používá pojem evapotranspirace. Následně dochází ke srážení (kondenzaci) páry ve formě atmosférických srážek (děšť, sníh apod.) a k jejich dopadu na zemský povrch. Zde se část vody buď hromadí a odtéká jako povrchová voda (vodní toky a nádrže), či se vypařuje. Může se i vsáknout pod zemský povrch a doplnit zásoby podzemní vody (infiltrace). Podzemní voda po určité době znovu vystupuje na povrch ve formě pozvolného podzemního odtoku nebo pramenů. Uvedené procesy (výpar, odtok a infiltrace) se kvantitativně vyjadřují jako tzv. bilanční prvky v rámci hydrologické bilance. Cyklus oběhu vody na Zemi se během roku vícekrát opakuje a celkem se této všeobecné cirkulace vody na Zemi v jednom roce zúčastní $525\,100\text{ km}^3$ (LVOVIČ, 1974). Z tohoto množství připadá na podzemní vody pouze asi $13\,000\text{ km}^3$, což představuje 2,5% z celkového objemu vody v rámci roční vodní bilance Země. Z toho vyplývá, že k výměně všech zásob podzemních vod na Zemi by tímto způsobem mohlo dojít asi za 2000 let a podzemních vod v zóně aktivní výměny, která zasahuje asi do hloubky 100 až 200 m, za necelých 300 let. Z toho je patrné, že se zásoby podzemních vod na Zemi vytvářely velmi dlouhou dobu a prakticky využitelná pro potřeby lidstva je z nich pouze malá část odpovídající tomu množství, které se při nepřetržité cirkulaci vody na Zemi neustále obnovuje (KŘÍŽ, 1983).

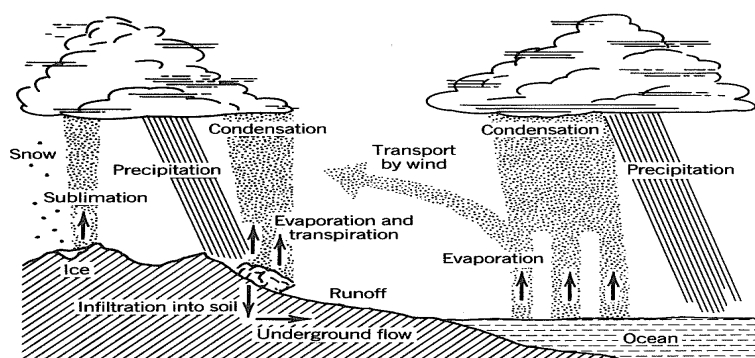


Figure 1.1
Schematic representation of the hydrologic cycle.

obr. č. 1: Hydrologický cyklus

Zdroj: (DOMENICO A SCHWARTZ, 1998)

2 Metody hydrologie podzemních vod

Hydrologie podzemních vod podobně jako jiné vědní obory, které se zabývají studiem dějů probíhajících v přírodě, postupně prošla jednotlivými etapami vývoje, počínaje od prvotního pozorování popisu až po stále složitější a úplnější představy o předmětu svého zkoumání. Současně se vyvíjely i metody, které přitom používala, od jednoduchých způsobů studia až po současné využívání složité výpočetní techniky, modelování, i metod dálkového průzkumu Země (KŘÍŽ, 1983).

Režim podzemních vod definujeme jako dynamický proces změn v jejich výskytu a nehlubokém oběhu, projevující se změnami v proudění, kolísání hladiny, změnami fyzikálních vlastností a chemizmem, vyvolaným působením přírodních a umělých činitelů (DUBA, 1968).

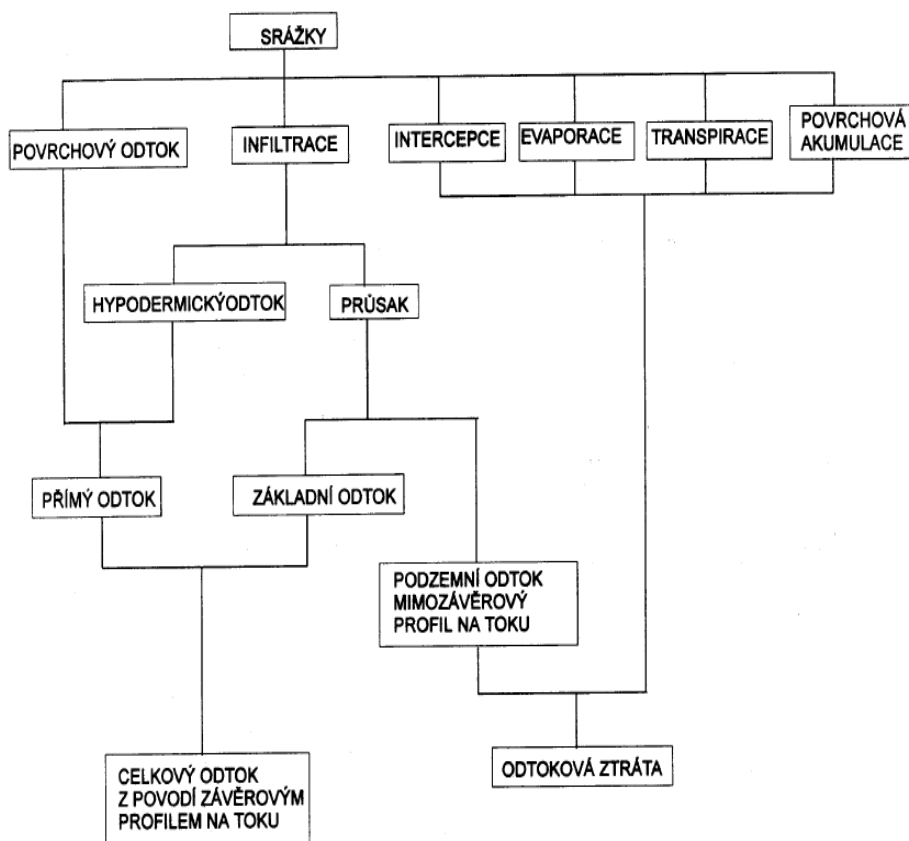
Hydrologie podzemních vod má některé vlastní metody, kromě toho však používá i způsoby hodnocení hydrologických jevů, které jsou běžné pro hydrologii jako celek, nebo pracovní postupy jiných vědních odvětví, např. matematické statistiky, kartografie apod. Metody převzaté z jiných vědních disciplín musely ovšem být přizpůsobeny potřebám hydrologie podzemních vod. Zvláštností takto upravených metod jsou některé odlišné postupy zpracování základních údajů (např. výsledků pozorování), resp. rozdíly v řešení úkolů nebo výkladu získaných poznatků. Hydrologické metody poznávání zákonitostí výskytu a oběhu podzemních vod ve svrchní vrstvě zemské kůry jsou založeny na studiu hydrologických procesů, tj. dějů, při nichž přichází voda do styku s horninovým nebo půdním prostředím. Výsledkem těchto procesů jsou hydrologické jevy, zejména infiltrace, oběh podzemní vody a její odtok. K běžným hydrologickým metodám náleží především hydrologická bilance, dále některé způsoby statistického zpracování časových řad představovaných výsledky hydrologických pozorování. Skupinu metod, které jsou typické pro hydrologii podzemních vod, tvoří rozličné způsoby určování velikosti přírodních zdrojů podzemních vod, jejichž průzkum a vyhledávání náleží však do oboru působnosti hydrogeologie. Jde zejména o různé metody stanovení základního odtoku, tj. přítoku podzemních vod do vodních toků, případně i do nádrží. Z převzatých metod jsou to zejména různé kartografické způsoby znázorňování hydrologických prvků v mapách, dále postupy založené na použití nuklidů, samočinných počítačů atd. (KŘÍŽ, 1983).

3 Metoda hydrologické bilance

Hydrologická bilance představuje v podstatě porovnání atmosférických srážek, odtoku a změn zásob povrchových a podpovrchových vod v určitém území, nejčastěji v povodí některého toku. Jde o poměrně jednoduchou analytickou metodu, jejíž teoretická stránka je detailně propracována. V podstatě spočívá v řešení vztahu, který vyjadřuje kvantitativní rozdělení srážkové vody na jednotlivé složky hydrologické bilance a je dán základní rovnicí:

$$H_s + O_z + O_p + H_r = O'_p + H_e + O'_z + H'_r, \quad (\text{rov. č. 1})$$

Kde: H_s – voda ze srážek na ploše uvažovaného území,
 H_e – voda vypařená z plochy uvažovaného území,
 H_r, H'_r – zásoby povrchové a podpovrchové vody na území na začátku a konci uvažovaného období,
 O_p – přítok povrchové vody na území,
 O'_p – povrchový odtok z území,
 O_z – přítok podzemní vody do území,
 O'_z – podzemní (základní) odtok vody z území.



obr. č. 2: Schéma odtokového procesu (Rozdělení atmosférických srážek spadlých na plochu určitého území)

Zdroj: upraveno podle ČSN 73 6511

Z obr. 2 je patrné, že voda ze srážek v oblasti s humidním (vlhkým) podnebím se rozděluje na část, která odteče jako povrchový odtok, nebo se projeví zvětšením zásob povrchových vod v tocích, jezerech a umělých nádržích. Další část srážek se vsákne do půdy a hornin a buďto odteče jako hypodermický odtok, anebo způsobuje zvýšení zásob podpovrchových vod (KŘÍŽ, 1983). Atmosférické srážky jsou vodní kapky nebo ledové částice vzniklé následkem kondenzace nebo desublimace vodní páry v ovzduší, na povrchu půdy, rostlin a předmětů. 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).

Kondenzace neboli kapalnění je skupenská přeměna vody, při které se plyn mění na kapalinu. Desublimace je fázová přeměna, při které přechází plyn přímo v pevnou látku. Ještě než srážková voda dosáhne zemského povrchu, je její část zadržena intercepací. Intercepce je množství zadržené vody na rostlinách (popř. i na

předmětech). Je to část srážek, která tedy nikdy nedopadne na povrch půdy, ani na něj nespadne. Tato voda je zde vázána povrchovým napětím. Maximální množství, které vegetační kryt může zachytit, označujeme jako potenciální intercepci (u listnatých porostů tvoří až 20% spadlého deště, u jehličnatých porostů, kde listová plocha (povrch jehličí) je větší, tvoří až 60% spadlého deště). Zadržovaná voda ze srážek může být evaporována do atmosféry či nakonec spadne na zemský povrch (SMITH A WHEATCRAFT, 1993).

Při hydrologické bilanci se vychází ze základního předpokladu, že jediným zdrojem vody, která se zúčastňuje oběhu v přírodě, jsou srážky (KŘÍŽ, 1983). Neuvažuje se tedy s případným podílem podzemních vod juvenilního původu. Vzhledem k tomu, že se prakticky řeší pouze bilance zahrnující povrchové a vadózní podpovrchové vody a nikoli hlubinné podzemní vody, je tento postup správný.

Bilanci podpovrchové vody na určitém území lze vyjádřit rovnicí:

$$V_p = H_s - H_e + O_p + O_z - O'_p - O'_z, \quad (\text{rov. č. 2})$$

Kde: V_p – zvětšení nebo zmenšení zásob podpovrchových vod v území,
 H_s – atmosférické srážky,
 H_e – výpar,
 O_p – přítok povrchové vody na území,
 O'_p – odtok povrchové vody z území,
 O_z – přítok podpovrchové vody do území jak infiltrací vody z toků a nádrží, tak i ze sousedních území,
 O'_z – odtok podzemní vody do sousedních území, jakož i do vodních toků a nádrží.

Bilanci podzemní vody je možno vyjádřit rovnicí tohoto tvaru:

$$V_z = H_{oi} - H_e \pm H_{rz}, \quad (\text{rov. č. 3})$$

Kde: V_z – zvětšení nebo zmenšení zásob podzemní vody v území, projevující se vzestupem nebo poklesem její hladiny,

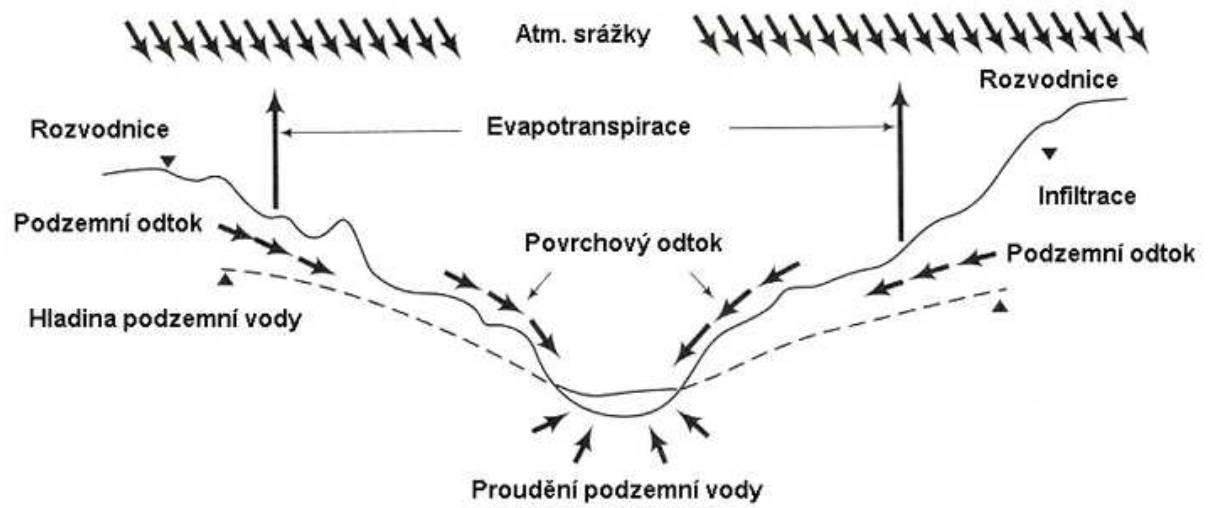
Hoi – průsak půdní vody k hladině podzemní vody,

He – spotřeba vody na výpar,

Hrz – rozdíl přítoku a odtoku podzemní vody z území.

Hydrologická bilance se převážně řeší na území vymezeném orografickou rozvodnicí čili v povodí, znamená to, že v rámci hranic této územní jednotky není oběh vody mnohdy prostorově uzavřen, neboť dochází k výměně vody mezi ní a sousedními jednotkami. Jde o přirozenou výměnu vody, zejména podpovrchové, která je způsobena tím, že mezi geografickým a hydrogeologickým povodím jsou rozdíly dané geologickou stavbou území a jeho tektonickými poměry. Kromě toho však může docházet i k umělému přivádění či odvádění vody z povodí do povodí nebo odběrem vody. Zatímco množství uměle přiváděné nebo odváděné vody z povodí lze zpravidla do bilance zahrnout, rozsah přirozené výměny vody je možno obvykle stanovit pouze velmi přibližně. Pouze v těch případech, kdy se hydrologická bilance řeší na území s uzavřeným oběhem podpovrchové vody, tj. zejména určité hydrogeologické struktury, je možno uvažovat výměnu vody pouze ve velikosti odpovídající infiltraci z toků, popřípadě i nádrží do horninového prostředí a naopak jeho odvodňování do těchto vodních útvarů. Spolehlivost výsledných hodnot, které se získávají výpočtem z bilanční rovnice, záleží především na přesnosti výchozích údajů. Menší chybou budou výsledky zatíženy tehdy, když se dosáhne větší přesnosti ve stanovení hodnot klimatických a hydrologických prvků, které se do rovnice dosazují. Jde jak o prostorovou reprezentativnost těchto základních údajů, která je závislá na hustotě a rozmístění sítě pozorovacích stanic i na způsobu měření těchto prvků a jejich vyhodnocování, tak i o jejich časovou reprezentativnost (KŘÍŽ, 1983).

V České republice se hydrologická bilance počítá od 1. 11. a končí 30. 10., toto období se nazývá hydrologický rok. Tento posun roku hydrologického vůči kalendářnímu byl vytvořen, aby srážky, které během roku spadly ve stejném roce i odtekly. Důvodem posunu roku byly hlavně srážky sněhové, které mohou spadnout v listopadu a roztát až v dubnu. V obrázku č. 3 jsou znázorněny členy hydrologické bilance.



obr. č. 3: Členy hydrologické bilance

Zdroj: (DOMENICO A SCHWARTZ, 1998)

4 Složky odtoku a jejich geneze

4.1 Celkový odtok

Celkový odtok je hlavní odvod vody z povodí. Skládá se ze tří částí: základního odtoku, hypodermického odtoku a povrchového odtoku. Tvoří souhrn všech složek odtoku procházejícího závěrečným profilem toku za daný časový interval. Jeho hodnotu získáme měřením průtoku na jednotlivých profilech. Z celkového odtoku lze za pomoci separace hydrogramu vyčlenit: podzemní (základní) odtok a povrchový odtok. Rozdělení odtoku na jeho jednotlivé složky je tedy následující:

4.1.1 Základní odtok

Základní odtok je tvořen dotací z podzemních vod. Je to část celkového odtoku z území k určitému profilu na povrchovém toku. Lze ho změřit pouze během nízkých vodních stavů v dostatečném časovém odstupu od poslední srážkové události. Základní odtok je však definován mnoha způsoby. V jedné z definic je například základní odtok jako ta část toku, která pochází z podzemních vod nebo jiných opožděných zdrojů (HALL, 1968). WARD A ROBINSON (1990) se domnívají, že základní odtok je tvořen součtem podzemních odtoků a opožděných průtoků. V jiné definici je zase základní odtok jako pomalu se měnící tok v období bez deště (CHOW A KOL., 1988).

4.1.2 Hypodermický odtok

Hypodermický odtok je odtok, který stéká do koryta toku, na níže položené území, v bezprostřední vrstvě pod povrchem povodí, aniž by dosáhl k hladině podzemní vody (KŘÍŽ, 1983).

4.1.3 Nasycený povrchový odtok

Nasycený povrchový odtok představuje část vody, která odtéká po povrchu málo propustných nebo dočasně nasycených půd, nebo z trvale nasycených zón v blízkosti vodních toků.

Hypodermický a nasycený povrchový odtok spolu dohromady vytvářejí přímý odtok. Přímý odtok (angl. quick flow) je tedy rychlý odtok vody v průběhu a krátce po skončení srážky. Přímá složka odtoku je odezvou na srážku nebo tání, zatímco základní složka je výslednicí dlouhodobé redistribuce podzemních vod (KULHAVÝ A ŠVIHLA, 1999).

V návaznosti na práce OLMERA A KOL. (1972) se od roku 1976 započalo v rámci Hydrofondu ČHMÚ s vyhodnocováním základních odtoků jako ukazatele přírodních zdrojů podzemních vod.

4.2 Povrchový odtok

Povrchový odtok je ta část vody, která odtéká po zemském povrchu (KŘÍŽ, 1983). Primárním zdrojem vody pro tento odtok je srážkový úhrn (ŽLÁBEK, 2009).

4.2.1 Odtok z překročení infiltrace

Tento typ odtoku se objevuje, když míra intenzity srážky je větší než infiltrační kapacita půdy. Vytváří se tak na zemském povrchu přebytek vody, který odtéká po povrchu. Tento proces vývoje odtékání je spojován se jménem Hortona (HORTON, 1933), proto je někdy také označován jako Hortonovský. Dnes je známo, že povrchový odtok není všeobecně se vyskytující jev, a že se v mnoha případech vůbec nemusí objevit. Jeho výskyt závisí na zachycování vody na zemském povrchu a na intenzitě srážek.

4.2.2 Odtok z překročení nasycení

Tento typ povrchového odtoku nastává, když je zemský povrch předem nasycen zvýšením hladiny podzemní vody nebo vývěrem podpovrchového odtoku, bez ohledu na intenzitu dešťové srážky nebo sněhového tání. Je to rychlý a většinou okamžitý přepravní mechanismus, kvůli prosakování vytékající vody a dešťovým srážkám nebo tajícímu sněhu. Obvykle probíhá ještě ve spojení s odtokem podzemní vody (BRUTSAERT, 2005).

Specifické podmínky pro vznik povrchového odtoku vznikají v období tání. Intenzita tání je podstatně nižší než intenzita dešťových srážek. Rychlost vsakování je minimální a kolísá u hlinitých a jílovitých půd mezi $0,01$ a $1,0 \text{ mm.den}^{-1}$, protože půda je v zimě promrzlá a v povrchových vrstvách nasycená vodou. Značné množství tající vody proto odtéká, takže odtokový koeficient, který je především dán charakteristikou hydrologických vlastností povodí, je pro vodu z tajícího sněhu obvykle vyšší než pro dešťovou vodu. Povrchový odtok probíhá hlavně v době tání, kdy během 10 a 20 dnů taje podstatná část sněhu. Tento stav dotýkající se eroze je nepříznivější, je-li tání doprovázeno deštěm a náhlým oteplením vzduchu (TOMAN A PODHRÁZKÁ, 2002).

4.3 Podpovrchový odtok

Primárním vstupem vody pro tento odtok je infiltrovaná voda (ŽLÁBEK, 2009).

4.3.1 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 (BRUTSAERT, 2005).

4.3.2 Podpovrchový odtok mělkou permeabilní vrstvou

Tato vrstva je v mnoha studiích označena jako významné až hlavní transportní médium událostního odtoku. V mnoha povodích pokrytých přírodní vegetací má půdní vrstva relativně propustnou horní vrstvu. Tato vrstva je silná většinou jen pár desítek centimetrů. Vrstvu tvoří minerální půdy s vysokým obsahem organických zbytků, jejíž spodní rozhraní je charakteristické náhlým snížením hydraulické vodivosti (BRUTSAERT, 2005).

4.3.3 Podpovrchový odtok způsobený zvýšením hladiny podzemní vody

Tento druh odtoku se vyskytuje v místech, kde při vysokém stupni nasycení půdního profilu přidáním už i velmi malého množství vody může vést k rychlému zvýšení hladiny podzemní vody. Následně se pak dále může projevit v podpovrchovém nebo i povrchovém odtoku (BRUTSAERT, 2005).

4.3.4 Podpovrchový odtok nenasycený

Podpovrchový odtok nenasycený může trvat až několik týdnů po srážce (ŽLÁBEK, 2009).

4.4 Podzemní odtok

Obecně je odtok podzemní vody do toku považován za rovný odtoku základnímu získanému s pomocí metod separace odtoku (HALFORD A MAYER, 2000). Podzemní voda navzdory pomalému pohybu představuje největší zdroj vnitrozemské vody na světě. Podíl podzemní vody z celkové vnitrozemské vody byl vyhodnocen na 30% a na 90% tekuté vnitrozemské vody (SERRANO, 1997). Podzemní vody proudí skrz navzájem propojené póry, mikrotrhlinami mezi hranicemi zrn a trhlinami

větších rozměrů (SMITH A WHEATCRAFT, 1993). Relativně pomalé rychlosti proudění podzemní vody a její dlouhá doba zdržení ve zvodních vytváří nepřetržitý odtok vody do vodních toků a vodních nádrží. Tento proces zajišťuje minimální výšky hladin ve vodních nádržích a minimální průtok ve vodních tocích v bezsrážkových obdobích (SERRANO, 1997). Zajímavé je zjištění, že pro velikost základního odtoku je důležitějším faktorem litologie než srážky. Jsou známy případy, že v oblastech, kde málo prší, bývá větší základní odtok než v deštivějších oblastech v případě, že se tam nachází horniny schopné akumulovat více podzemní vody.

5 Podzemní voda

Podzemní voda je významným článkem oběhu vody v přírodě a náleží mezi základní složky životního prostředí. Tvoří podíl o velikosti pouze 0,06% z veškerých zásob vody na Zemi (SCHWARTZ A ZHANG, 2003), ale i tato malá část je významnou součástí oběhu vody v přírodě.

Mimořádně důležitá je z hospodářského hlediska, neboť má zpravidla lepší fyzikální vlastnosti a chemické složení než voda povrchová. Je tedy významným a někdy nenahraditelným zdrojem vody pro zásobování obyvatelstva (KŘÍŽ, 1983).

Množství vody 0,06% reprezentuje 98% veškeré pitné vody využitelné pro člověka (SCHWARTZ A ZHANG, 2003).

Využívání podzemní vody k různým účelům a ochrana jejích zdrojů však vyžaduje znalosti zákonitostí jejího výskytu i oběhu (KŘÍŽ, 1983). Ke zjištění velikosti zásob a kvality podzemní vody je potřebná znalost různých faktorů, přičemž jedním z těchto faktorů je i základní odtok.

Pro zjištění velikosti základního odtoku byla vytvořena řada metod, tyto metody jsou však hned v několika směrech odlišné. Liší se jak nároky na potřebná data, způsobem zpracování a finanční náročností, tak i jejich výsledky, které mnohdy nejsou jednotné a mohou mít za následek zkreslení skutečnosti i následné prognózy popisující vývoj zásob podzemní a pitné vody. Také je nutné si uvědomit, že ne každá metoda je vhodná pro použití na všech lokalitách (KŘÍŽ, 1983).

6 Hydrologické metody stanovení přirozených nebo využitelných zdrojů podzemních vod

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).

6.1 Metoda bilance podzemních vod, vycházející z rozkyvu jejich hladin

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 při tom splněn jeden předpoklad, a to, že musí jít o podzemní vodu s volnou hladinou, která je výlučně pod vlivem procesů probíhajících v pásmu aerace a odvodnění. Použití této metody rovněž vyžaduje dostatečné znalosti o celkovém oběhu vody v krajině, neboť podle místních a časových podmínek je třeba přihlížet k některým složkám hydrologické bilance. Jde zejména o atmosférické srážky, povrchový odtok, evapotranspiraci, změny zásob podzemní vody, výměnu podzemní vody se sousedním územím apod. (KŘÍŽ, 1983).

Postup této metody je takový, že se z dlouhodobého časového průběhu hladin podzemní vody, srážek i některých hydrologických prvků záměrně vyberou taková kratší období, kdy se některé složky bilance neuplatňují anebo jejich působení je zanedbatelné, takže se k nim nemusí přihlížet. Nezbytná je však znalost účinné pórovitosti propustného prostředí v rozsahu rozkyvu hladiny podzemní vody. Účinná pórovitost na rozdíl od celkové pórovitosti charakterizuje pouze akumulaci schopnost těch pórů a dutin, které jsou navzájem propojeny a umožňují tedy pohyb

vody v propustném prostředí. Zajišťuje se zpravidla z výsledků hydrogeologických výzkumů metodou neustálého pohybu vody, při kterém se mění průtok i rychlost proudění s časem a místem. Kromě toho se může stanovit např. stopovacími zkouškami či laboratorním měřením na neporušených nebo reprezentativních vzorcích (ZAJÍČEK, 1966).

KLINER A KOL. (1978) popisují způsob stanovení účinné pórovitosti z graficky znázorněné závislosti vzestupu hladiny podzemní vody na úhrnu srážek, zpravidla za období zimního půlroku (od listopadu do dubna). Musí však být splněn základní předpoklad, že zvýšení hladiny podzemní vody je vyvoláno pouze srážkami. Ze vztahu je možno zjistit nejen účinné srážky, které způsobují vzestup hladiny podzemní vody, ale i množství vody připadající v průměru na evapotranspiraci.

Účinná pórovitost se vypočítá ze vztahu:

$$\mu = \frac{S_u}{\Delta H} \quad (\text{rov. č. 4})$$

Vhodným výběrem kratších období z časových průběhů kolísání hladin podzemních vod, kdy dochází k poklesu a současně lze vyloučit doplňování zásob těchto vod, jakož i jejich zmenšování vzlínáním, je možno stanovit i součinitel filtrace z údajů, které byly získány nejméně ze tří vrtů umístěných tak, aby tvořily profil ve směru proudění. Tento součinitel představuje míru propustnosti pórovitého prostředí pro vodu o dané kinematické viskozitě. Vypočítá se z rovnice neustálého proudění podzemní vody (HÁLEK A ŠVEC, 1973).

Rovnice neustálého proudění podzemní vody:

$$\frac{h}{t} = \frac{1}{\mu} \left(-\frac{qx}{x} - \frac{qy}{y} + v_0 \right), \quad (\text{rov. č. 5})$$

Kde: h - výška volné hladiny podzemní vody nad nepropustným podložím,
t - čas,

q_x, q_y – specifický průsak ve směru pravouhlých souřadnicových os x a y ,
 v_o - rychlost filtrace
 μ - účinná pórovitost

Po získání hodnot účinné pórovitosti a součinitele filtrace je možné dokončit souvislou bilanci celého uvažovaného období, založenou na součtu jednotlivých kratších časových úseků. Bilance se provádí zpravidla v profilech umístěných ve směru proudění a tímto způsobem získané hodnoty, odpovídající jednotkovému průtočnému profilu, se potom zobecňují pro větší územní celky. Současně je však třeba pamatovat na plošnou reprezentativnost a podle toho volit síť průzkumných vrtů (KLINER A KOL., 1978).

Přírodní zdroje podzemních vod se také někdy stanoví na základě znalostí velikosti rozkvyvu volné hladiny podzemní vody některými jinými způsoby. Jde např. o výpočet z rovnice:

$$Q = h \cdot F \cdot \mu, \quad (\text{rov. č. 6})$$

Kde: Q – přírodní zdroje podzemních vod v m^3 ,
 h – rozsah kolísání volné hladiny podzemní vody,
 F – plošný rozsah zvodněného prostředí,
 μ - součinitel účinné pórovitosti.

Rovněž se využívá k výpočtu velikosti zdrojů podzemních vod Darcyho vztahu:

$$Q = k \cdot F \cdot I, \quad (\text{rov. č. 7})$$

Kde: Q – velikost přírodních zdrojů podzemních vod v $m^3 \cdot s^{-1}$,
 k – součinitel filtrace,
 F – plocha průtočného profilu, kolmá na směr proudění podzemní vody,
 I – sklon hladiny podzemní vody.

Při používání těchto vztahů (6, 7) k výpočtu přírodních zdrojů podzemních vod dochází k určité schematizaci, zejména z hlediska stanovení a výběru vstupních

údajů, což může vést ke značným chybám ve výsledcích (KRÁSNÝ, 1977). Vzhledem ke složitým podmínkám proudění podzemních vod dochází i ve zcela homogenním zvodněném prostředí ke změnám v pohybu těchto vod, zejména ve směru do hloubky, takže např. při větších mocnostech propustných vrstev hornin nelze tyto rovnice v základní formě prakticky vůbec použít.

6.2 Metoda postupných profilových průtoků

Metoda tzv. postupných profilových průtoků je založena na proměnlivé vodnatosti toků v závislosti na ploše povodí po celé délce od pramenů po ústí, což však neplatí všeobecně. Graficky se tento vztah znázorňuje čarami 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. Čáry postupných profilových průtoků se obvykle sestavují na základě výsledků měření průtoků, která byla provedena v bezesrážkových, 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 hydrogeologickými poměry. Z průběhu čar je možno určit charakteristická místa, která mají hlavní vliv na přírodní odvodňování podzemní vody do vodního toku. Porovnáním výsledků získaných z období odlišných vodnatostí se získávají kromě prostorových i časové charakteristiky sledovaného jevu. Popsaným způsobem je postihována pouze 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 A KOL., 1978).

6.3 Metody stanovení odtoku podzemní vody

Velmi rozšířené jsou metody stanovení odtoku podzemní vody, který také bývá označován jako základní odtok. Jde o přítok podzemní vody ze zvodněných vrstev hornin, popřípadě i 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 (KŘÍŽ, 1983).

7 Vybrané metody separace základního odtoku

Separace složek, ze kterých se skládá celkový odtok vody závěrovým profilem povodí, je základním nástrojem hydrologie už po mnoho 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 odtoku základního. Většina z nich je založena na grafické nebo početní analýze hydrogramu, tj. grafu závislosti průtoku nebo specifického odtoku na čase (PILGRIM A CORDERY, 1993). Nověji se v rámci jak přímého, tak základního odtoku rozlišuje několik dílčích složek. Na rozhraní mezi oběma hlavními kategoriemi odtoku nadto bývá vyčleňována třetí hlavní složka, v češtině podle ČSN 726530 (1983) označovaná jako hypodermický odtok (anglicky „interflow“), která je výsledkem mělce podpovrchového proudění vody směrem dolů po svahu ve svrchních, propustných vrstvách půdy (MOSLEY a McKERCHAR, 1993). Výbornou, ale nákladnou pomůckou k separaci složek odtoku je analýza obsahu přírodních izotopů (radioaktivních i stabilních) ve srážkách, v půdní a podzemní vodě i v samotném odtoku (UHLENBROOK a LEIBUNDGUT, 2000). Relativně jednoduchou metodou separace přímého a základního odtoku, založenou na pozorování hladiny podzemní vody ve vhodných místech povodí, navrhli KLINER a KNĚŽEK (1974). Jinou možností je využít paralelních dat o srážkách a odvodit pro jednotlivé složky odtoku reprezentativní srážkoodtokové vztahy, např. jednotkový hydrograf (PILGRIM a CORDERY, 1993).

7.1 Metoda Klinera a Kněžka

Metoda Kliner - Kněžka využívá výsledky režimního sledování podzemních vod. Je založena na předpokladu závislosti výšky hladiny povrchové vody v toku na výšce hladiny vody v přilehlém vrtu. Touto metodou je možné vypočítat základní odtok i pro kratší časové úseky, proto je vhodná pro tvorbu každoročních hydrologických bilancí. Metoda umožňuje vyčíslení základního odtoku na povodí o ploše řádově

desítek až stovek km² s uzavřeným oběhem vody, pozorováním průtoků v uzavřeném profilu a sledováním vydatností pramene nebo lépe stavů hladin podzemní vody ve vrtu. Tato metoda je v České republice nejrozšířenější a je jí pokryto přibližně 75% našeho území (KLINER A KNĚŽEK, 1974). Při hydraulickém řešení pohybu podzemních vod se obvykle vychází z obecné diferenciální rovnice nestacionárního proudění homogenním porézním prostředím. Tento vztah lze vyjádřit funkcí:

$$Oz = f(H), \quad (\text{rov. č. 8})$$

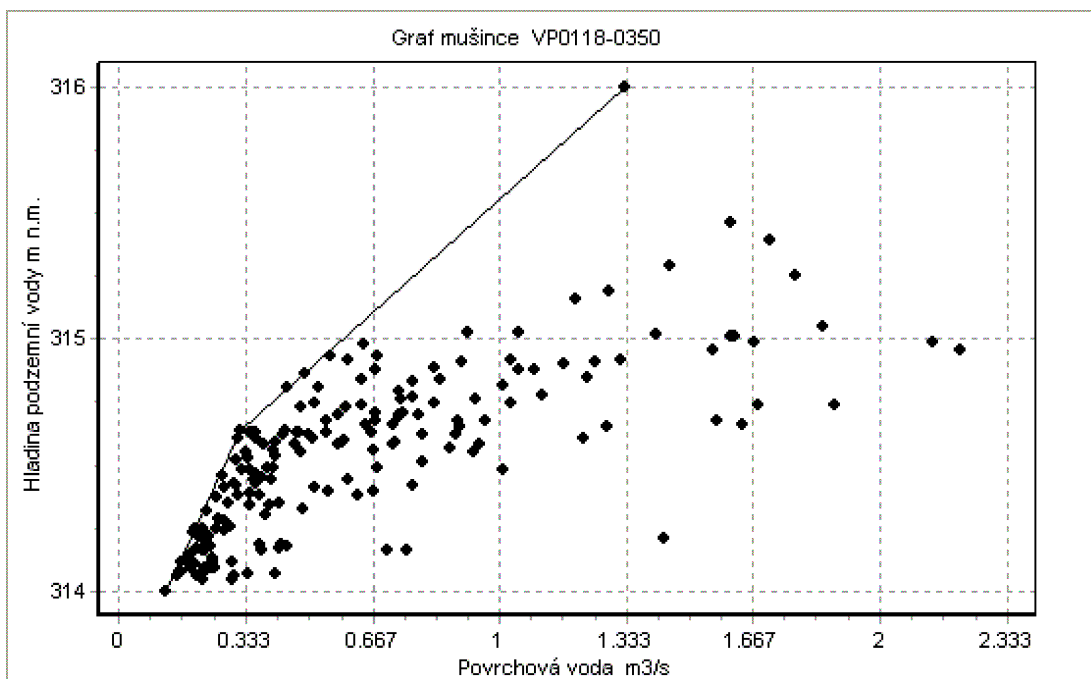
Kde: Oz - základní podzemní odtok v recipientu,

H - stav hladiny podzemní vody ve vrtech (spád hladiny podzemní vody, vydatnost pramenů, atd.)

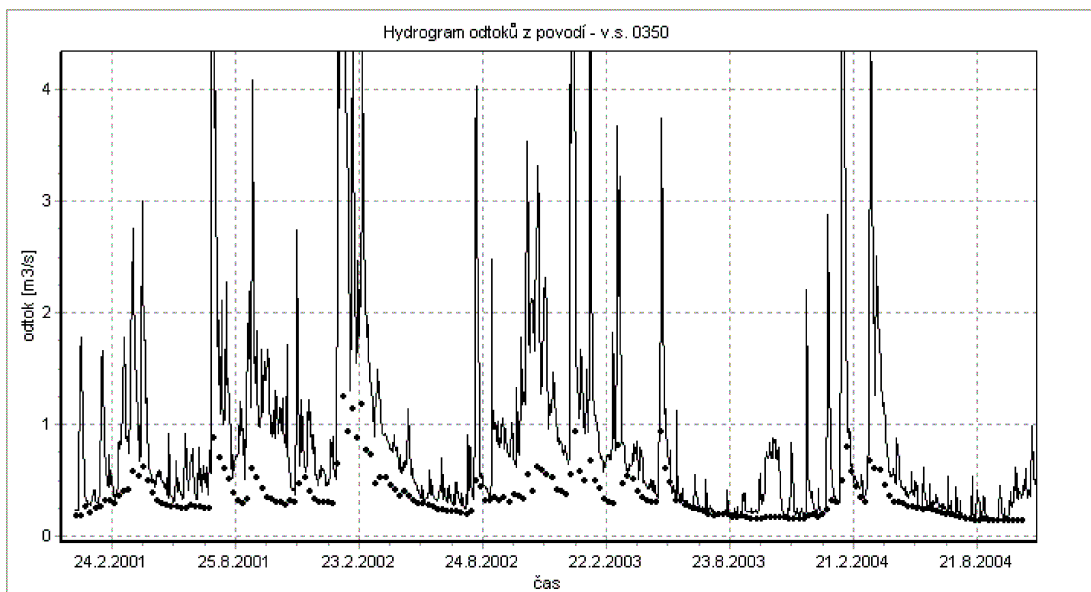
Vynášeli-li se tedy do bilogarithmické soustavy odpovídající si dvojice průtoků a kolísání hladin podzemní vody, měly by body z období, kde je celkový odtok dotován jen podzemními vodami, vytvořit přímkovou závislost. Naopak všem obdobím se smíšeným průtokem musí nutně odpovídat body udávající pro určitý rozdíl hladin podzemní vody větší průtok. Tento poznatek byl využit tak, že místo výběru období vynášíme do závislosti všechny naměřené dvojice povrchového průtoky a rozdílu hladin podzemních vod bez ohledu na tvar hydrografu a časový průběh srážek. Vykreslená obalová čára pak představuje výslednou závislost.

Po vynesení naměřených údajů o odtoku a vydatnosti pramene do grafu a následném vykreslení obalové křivky byl získán vztah pro určení poměru základního odtoku k přímému a vymezení období základního odtoku. Při praktickém zpracování je výhodné použít bilogarithmickou soustavu, kde se předpokládaný vztah musí projevit jako přímka (ŽLÁBEK, 2009).

Příklady grafů této metody lze vidět na Obr. č. 4. a Obr. č. 5.



Obr. č. 4 Příklad tvorby obalové čáry v metodě Kliner – Kněžek



Obr. č. 5. Příklad rozčleněného hydrogramu odtoku v závěrečném vodoměrném profilu Třebovky

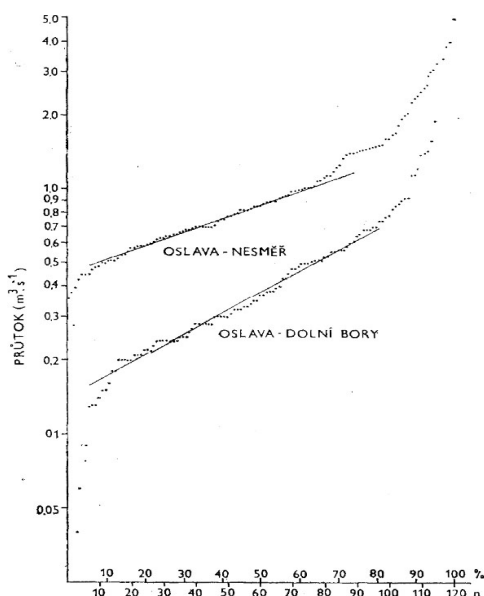
7.2 Metoda stanovení základního odtoku na základě nejnižších průtoků v povrchových tocích

Tato metoda je také známa jako Castanyho metoda podle hlavního autora. Poprvé byla představena v roce 1970, na hydrologické konferenci v Palermu. Vychází z předpokladu, že v době výskytu nejnižších průtoků jsou vodní toky napájeny

převážně podzemními vodami. Podmínkou pro použití Castanyho metody je neovlivnění toku jakýmkoliv vodními díly. Metoda je založena na výpočtu průměru z denních průměrných průtoků z období třiceti po sobě jdoucích dní s nejnižšími průtoky v jednom roce. Aritmetický průměr z takto získaných průtokových hodnot za 10 let představuje hledaný podzemní odtok z celého povodí toku (KŘÍŽ, 1983).

7.3 Metoda Killeho (metoda minimálních měsíčních průtoků)

Tato metoda je založena na podobném principu jako je Castanyho metoda, avšak rozšířená o grafické řešení. Tuto metodu zveřejnil KILLE (1970). Sice vychází pouze z nejmenších průměrných denních průtoků jednotlivých měsíců za celé nejméně desetileté období, ale i sám její autor doporučuje použít data z období alespoň dvanácti let. Takto naměřené průtoky se seřadí ve vzestupném pořadí a vyznačí graficky v pravoúhlé síti pořadnic. Výhodné je znázornění v polologaritmické 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 (Obr. 6). Střední pořadnici získané přímkou odpovídá průměrný podzemní odtok z příslušného povodí za zvolené období (KŘÍŽ, 1983). Tato metoda je díky své nenáročnosti na množství dat, kdy jsou potřeba pouze průměrné denní průtoky za období minimálně deseti let, vhodná pro výpočty dlouhodobých hodnocení základního odtoku na regionální úrovni.



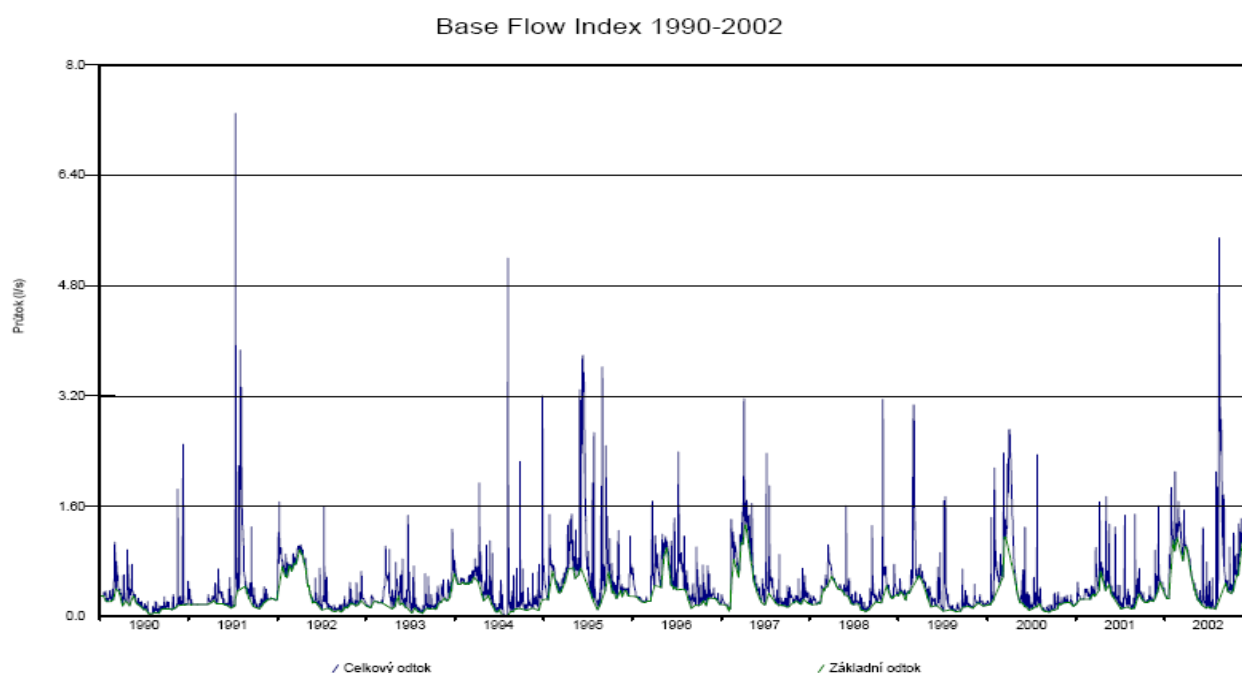
Obr. č. 6: Graf metody minimálních měsíčních průtoků na vodoměrných stanic Dolní Bory a Nesměř na řece Oslavě. (podle Kříž, 1983)

7.4 Metoda BFI (Base Flow Index)

Metoda je kombinací analýzy lokálních minim spolu s křivkou vyprazdňování (GUSTARD A KOL., 1992). Tuto metodu vyvinul Britský hydrologický institut v roce 1980. Původně tato metoda měla sloužit k pozorování změn zásob vody ve vodních nádržích ve Velké Británii. Ale bylo zjištěno, že lze tuto metodu použít i pro popis vývoje regionálních záplav a pro výpočet základního odtoku. BFI je poměr objemu základního odtoku a odtoku celkového. Ve své podstatě vyjadřuje vliv geologických poměrů na dané povodí a jeho hodnota je pro každé povodí charakteristická. Postup stanovení BFI je následující:

- 1) Nejprve rozdělíme série dat průměrných denních průtoků na nepřekrývající se pětidenní bloky a stanovíme minima pro každý z těchto bloků. Ty pak označíme jako $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$.
- 2) Vytvoříme řadu množin ve tvaru $(Q_1, Q_2, Q_3), (Q_2, Q_3, Q_4), \dots, (Q_{i-1}, Q_i, Q_{i+1})$. Pro každou pak platí, že když prostřední hodnota násobená koeficientem 0.9 je menší než obě hodnoty sousední, bude tato hodnota bodem křivky základního odtoku. Tento postup aplikujeme na celou sérii dat, čímž získáme jednotlivé body křivky $QB_1, QB_2, QB_3, \dots, QB_n$, přičemž časové intervaly mezi sousedními body se budou lišit.
- 3) Interpolací pak stanovíme hodnoty pro chybějící body.
- 4) Pokud $QB_1 > Q_1$, považujeme $QB_1 = Q_1$
- 5) Vypočteme objem V_B pod křivkou základního odtoku, s počátkem v bodě QB_1 a koncem v bodě QB_n
- 6) Vypočteme objem V_A pod křivkou denních odtoků pro stejné období
- 7) BFI pak bude poměrem V_B/V_A

Na Obr. 7. Můžete vidět separaci hydrogramu metodou Base Flow Index.



Obr. č. 7 Separace hydrogramu metodou Base Flow Index

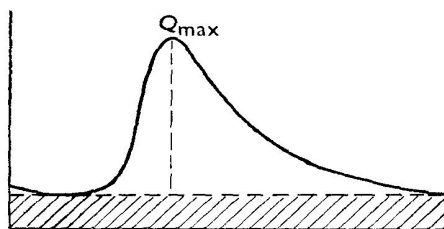
7.5 Metoda separace hydrogramu

Hydrogram je chronologický záznam průtoků na profilu. Je tvořen křivkou popisující hodnotu průtoku v konkrétním čase. Na křivce průtoku je dobře zřetelný počátek srážek, který má za následek zvýšení hodnoty průtoku a následně pozvolné snižování průtoku po ukončení srážek. V hydrogramu je zaznamenán povrchový i základní odtok (STRAKA, 2009).

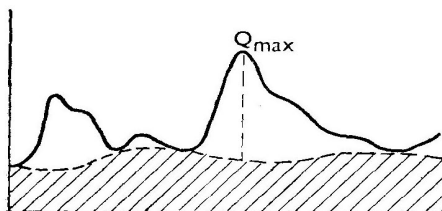
Existuje několik způsobů separace hydrogramu, nejjednodušším způsobem je jeho rozdělení vodorovnou čarou probíhající počátkem průtokové vlny, za který je možno považovat okamžik, kdy dochází k výraznému zvětšování průtoku (obr. 8). Vzhledem k tomu, že tento postup nejméně vyhovuje z hlediska stanovení základní složky odtoku, byly vypracovány jiné metody. Jde např. o určení hranice mezi základním 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 následného poklesu průtoků, avšak s tím rozdílem, že dělicí linie má zpravidla obrácený průběh než tato vlna (obr. 9). Znamená to, že

obvykle v době nejvyššího přímého odtoku je základní odtok relativně nejnižší (KŘÍŽ, 1983).

obr. č. 8



obr. č. 9



Metody separace hydrogramu (podle Kříž, 1983).

7.6 Metoda GROUND

Metoda GROUND („separation of GROUNDwater runoff“) byla vypracována Doležalem a Jainem (JAIN, 1997). 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 1km^2 vypadaly věrohodně, jsou-li posuzovány pouhým okem. Začátek vyhodnocovaného období by měl připadnout do málo vodného období, kdy průtok nekolísá. Metoda obsahuje jediný proměnlivý vstupní parametr, koeficient přírůstku základního odtoku COEF. Empiricky odladěná hodnota COEF pro povodí řádu 1km^2 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 průměrovaných 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. V následujícím textu se uvažuje časový krok jeden den a slovem „průtok“ je míněn střední denní průtok. Algoritmus metody GROUND je následující:

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 jemu předcházejících nenastala povodňová situace (FLOOD = .FALSE.). Přírůstek základního odtoku DIFF se nastaví na nulu.
2. V každém následujícím dni se porovnává průtok v daném dni s průtokem ve dni předcházejícím. Další postup však závisí také na tom, přetrvává-li z předchozích dní povodňová situace nebo nikoli. Mohou nastat čtyři případy:
 - 2.1 Povodňová situace nepřetrvává, průtok se nezvyšuje. V tomto případě se celý průtok považuje za základní odtok a přímý odtok v daném dni je nulový. Hodnoty DIFF = 0 a FLOOD = .FALSE. se nemění.
 - 2.2 Povodňová situace nepřetrvává, průtok se zvyšuje. V tomto případě se základní odtok rovná průtoku z předchozího dne a celý přírůstek průtoku se považuje za přímý odtok. (Takto nalezené hodnoty přímého i základního odtoku mohou však být v následujícím kroku zpětně korigovány – viz případy 2.3.1) a 2.4.2) níže). 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 následujícím dni).
 - 2.3 Povodňová situace přetrvává, průtok se zvyšuje. Pak se rozlišují tyto dva případy:
 - 2.3.1 Průtok v daném dni je menší než základní odtok v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni. Pak se celý průtok považuje za základní odtok a přímý odtok v daném dni je nulový. Pokud je přitom základní odtok v daném dni menší než základní odtok v předcházejícím dni, pak se na hodnotu základního odtoku v daném dni zpětně nastaví i základní odtok v předchozím dni (tj. sníží se) a přímý odtok v předchozím dni se o tutéž hodnotu zpětně zvýší.
 - 2.3.2 Průtok v daném dni je větší než základní odtok v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni nebo je takto zvětšenému základnímu odtoku roven. Pak se základní odtok v daném dni rovná základnímu odtoku z předchozího dne zvětšenému o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni a zbytek průtoku se považuje za přímý odtok.

Poté se vždy v případě 2.3) odhaduje druhá derivace průtoku podle času v předchozím dni jako rozdíl průtoku v daném dni a průtoku dva dni předtím:

$$X(I) - X(I-2), \quad (\text{rov. č. 9})$$

Kde: $X(I)$ – je průtok v I-tém dni

Je-li tato derivace kladná, tzn. je-li hydrograf konvexní, zvětší se přírůstek základního odtoku DIFF (pro použití v následujícím dni) o COEF- násobek přírůstu celkového odtoku. Je-li tato derivace nulová nebo záporná (hydrograf je přímý nebo konkávní), hodnota DIFF se nemění. V obou případech přetrvává povodňová situace i nadále.

2.4 Povodňová situace přetrvává, průtok se nezvyšuje. Pak se rozlišují tyto dva případy:

2.4.1 Průtok v daném dni je větší než základní odtok v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni nebo je takto zvětšenému základnímu odtoku roven. Pak se základní odtok v daném dni rovná základnímu odtoku z předchozího dne zvětšenému o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni a zbytek průtoku se považuje za přímý odtok. Hodnota DIFF se nemění, povodňová situace trvá i nadále.

2.4.2 Průtok v daném dni je menší než základní odtok v předchozím dni zvětšený o hodnotu DIFF nastavenou v předchozím dni. Pak se celý průtok považuje za základní odtok a přímý odtok v daném dni je nulový. Povodňová situace tímto dnem končí (FLOOD se nastaví na .FALSE.) a DIFF se nastaví na nulu. Pokud je přitom základní odtok v daném dni menší než základní odtok v předchozím dni, pak se na hodnotu základního odtoku v daném dni zpětně nastaví i základní odtok v předchozím dni (tj. sníží se) a přímý odtok v předchozím dni se o tutéž hodnotu zpětně zvýší (KULHAVÝ A KOL., 2001).

7.7 Metoda MGPM

Metoda MGPM („modifikovaná graficko-početní metoda“), jejímž autorem je Z. Kulhavý, 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 apod.), s plánovanou budoucí aplikací na data drenážních odtoků. Stejně jako u předchozí opisované metody 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. Úkolem algoritmu je separovat tu část odtoku, která je přímou odezvou na příčinnou srážku (efektivní dešť). Vychází se z toho, že základní odtok má mít plynulý průběh a má kolísat jen pozvolna, v závislosti na vývoji dlouhodobé hydrologické bilance povodí. Může být maximálně roven celkovému odtoku v závěrovém profilu. Algoritmus MGPM je zpracován v programu Visual Basic jako extenze tabulky aplikace Excel (KULHAVÝ A KOL., 2001).

7.8 Digitální filtry

První použití bylo založeno na filtru běžně používaném k zpracování signálu (LYNE A HOLLICK, 1979) a vykazovalo podobné výsledky jako konvenční metody. Při použití filtru je potřeba odhadnout velikost koeficientu (parametru) pomocí jiné metody - analýza poklesové větve, tracerové metody apod. - nebo použít již osvědčenou hodnotu koeficientu pro dané podmínky (velikost povodí, formát vstupních dat). Mezi digitální filtry řadíme např. metody dle Chapmana a Maxwella, Boughtona nebo Lyne a Hollicka (souhrnný stručný popis např. v GRAYSON A KOL. (1996).

8 Porovnání jednotlivých metod

V České republice nejrozšířenější, jak již bylo zmíněno, je první představená metoda, Kliner-Kněžekova. Metodou je možné vypočítat základní odtok i pro kratší časové úseky, proto je vhodná pro tvorbu každoročních hydrologických bilancí.

Druhou metodou byla metoda Castanyho. Základní odtok lze touto metodou určit s přesností 10% - 20%, ale s podmínkou, že povodí, pro které je prováděn výpočet, by mělo mít větší rozlohu jak 500 km² (KOUŘIL, 1975). U této metody je nevýhoda jen v tom, že podmínkou pro její použití, je neovlivnění toku jakýmkoliv vodními díly.

Třetí představenou metodou byla Killeho. Podle Kněžka (KNĚŽEK, 1988) je nejvhodnější pro regionální hodnocení dlouhodobě průměrných hodnot podzemního odtoku. Jako hlavní klady této metodiky uvádí snadnou dostupnost podkladových dat nevyžadujících doplňkové údaje, jejich regionální platnost, rychlost a jednoduchost zpracování, které téměř vylučuje subjektivní zásahy vedoucí u různých zpracovatelů k odlišným výsledkům. Nevýhodou je podle Slavíka (SLAVÍK, 1987), že v období relativně malých vodností výsledky ne úplně přesně vystihují proměnlivost odtoku v závislosti na změnách hydrogeologických vlastností kolektorů v povodí a rozdílném rozložení atmosférických srážek. Dalším problémem může být přechod z horského do nížinného prostředí, pokud jsou výpočty prováděny v uzavěrovém profilu povodí, protože Killeho metoda dostatečně nepostihuje ani změnu geologického složení v povodí.

Castanyho a Killeho metoda nejsou vhodné pro malá území. S narůstající velikostí zkoumaného území stoupá i přesnost těchto dvou metod. Plocha povodí by měla pro tyto metody být alespoň 100 km².

Čtvrtá, metoda BFI, využívá pouze hodnoty průtoku oproti metodě Kliner-Kněžekovo, kde jsou zapotřebí hodnoty hladin podzemní vody v průběhu roku. Metodu BFI lze použít kromě výpočtu základního odtoku také k pozorování změn zásob vody ve vodních nádržích a pro popis vývoje regionálních záplav.

Jako pátá byla metoda separace hydrogramu. Jde v podstatě o přibližnou grafickou metodu. Má řadu nevýhod. Hlavním nedostatkem je její pracnost a nemožnost vyloučení subjektivního vyhodnocení. Jeden ze způsobů úpravy původní metody rozčlenění hydrogramu pro zpřesnění dosahovaných výsledků je založen na

předpokladu, že v případě hydraulické spojitosti mezi povrchovou a poříční podzemní vodou musí být i vzájemná závislost jejich hladin (KINER A KNĚŽEK, 1974). Přesto je však hojně využívána a její spolehlivost na území České republiky je ověřena.

Metody BFI a separace hydrogramu jsou méně náročné na množství dat. S těmito metodami je možné počítat hodnoty základního odtoku i pro jednotlivé roky, nicméně přesnost logicky narůstá s přibývajícím počtem dat.

Šestá a sedmá uvedená metoda (GROUND) a (MGPM) v zásadě plní svůj účel dobře, ale mají i své nevýhody. Základní odtok podle metody GROUND nabíhá pomaleji a se zpožděním a ignoruje podružné odtokové vlny. Po kulminaci celkového odtoku však základní odtok neúměrným způsobem stoupá. Metoda MGPM opticky lépe odřezává vrcholy vln, reaguje však nadměrně i na menší podružné odtokové vlny. Bez ohledu na tyto rozdíly a nedostatky jsou výsledky obou metod dostatečně konsistentní a lze z nich vyvozovat relativní závěry kvalitativní povahy.

Metody separace odtoků za pomoci digitálních filtrů jsou uživatelsky velmi jednoduché a výsledky jsou kvantitativně podobné s jinými metodami, tudíž přesnost těchto filtrů je ve většině případů dostačující. Datově jsou tyto metody taktéž nenáročné, protože vstupem bývají pouze průměrné celkové denní průtoky. Původně byly tyto filtry vymyšleny pro analýzu signálu (vysokofrekvenčního a nízkofrekvenčního), ale po úpravách je lze s úspěchem aplikovat i v hydrologii.

9 Dusík a jeho sloučeniny ve vodě

Jednou z nejdůležitějších složek koloběhů látek v přírodních ekosystémech je dusík, resp. jeho různé sloučeniny. Dusík patří mezi hlavní biogenní prvky. Je esenciální součástí všech živých organismů. Je přítomen v tělech rostlin, živočichů i bakterií, také v odumírající a mrtvé organické hmotě i v produktech vyměšování. Jeho obsah v biosféře je značný a na velmi rychlém obratu se převážnou mírou podílejí mikrobiální procesy (NOVÁK A HOFMANN, 1996).

Rostliny i mikroorganismy přijímají dusík ve formě jednoduchých iontů, jakými jsou nitráty (NO_3^-), nitrity (NO_2^-) a amonné ionty (NH_4^+). Některé bakterie a sinice mají navíc schopnost asimilovat molekulární dusík (N_2). Půdy obsahují relativně značné množství dusíku, avšak rostliny a mikroorganismy jej také mnoho odčerpávají. Proto se dusík musí do zemědělských i některých lesních půd pravidelně dodávat ve formě anorganických i organických hnojiv. Pro zajištění dobrého růstu plodin se dusíkatá hnojiva často aplikují v nadbytku, což vede ke ztrátám dusíku z půd a k uvolnění dusíku do vod i ovzduší. Pro cyklus dusíku jsou zcela zásadní mikrobiální přeměny dusíkatých látek (ŠIMEK, 2003).

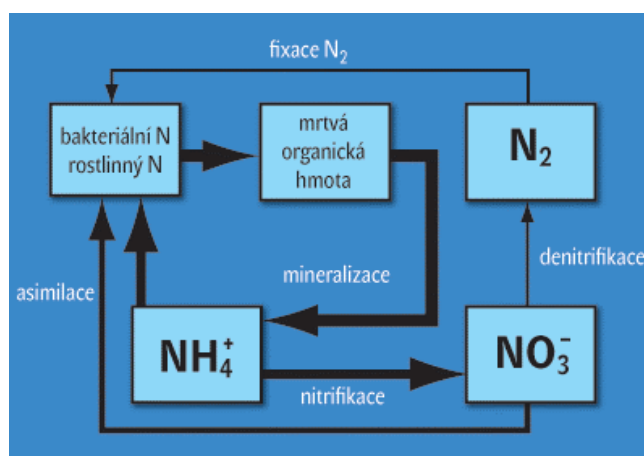
Dusík se ve vodě vyskytuje v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě. Jde hlavně o dusík elementární, anorganicky vázaný (amoniakální dusík NH_4^+ -N resp. NH_3 -N, dusitanový dusík NO_2^- -N, dusičnanový dusík NO_3^- -N, umělého původu jsou kyanidy, kyanatany a thiokyanatany) a dusík organicky vázaný. Splaškové odpadní vody jsou zdrojem organického dusíku, který pochází z fekálií, z odpadů ze zemědělských výrob a také z rozkládající se biomasy odumřelých mikroorganismů. Člověk produkuje denně asi 12 g dusíku. Anorganický dusík ve vodě pochází ze zemědělsky obdělávané půdy hnojené minerálními dusíkatými hnojivy, ale také z některých průmyslových odpadních vod, např. z tepelného zpracování uhlí. Zdrojem dusíku ve vodě může být i fixace atmosférického dusíku některými organismy. Probíhá-li rozklad organických dusíkatých látek v anaerobních podmínkách, vzniklý amoniakální dusík se již dále nemění. Za aerobních podmínek ho mohou nitrifikační bakterie oxidovat na dusitan až dusičnan. Tento proces se nazývá nitrifikace. Za anaerobních podmínek může být dusitan a dusičnan tzv. denitrifikační dráhou redukován na elementární plynný dusík nebo oxid dusný N_2O i dusnatý NO . Pro denitrifikaci je nutný organický substrát jako zdroj

energie. Vzniklý dusík odchází do atmosféry, ze které může být opět fixován některými mikroorganismy, a tím se vrací zpět do vody ve formě organicky vázaného dusíku (PITTER, 1999).

9.1 Koloběh dusíku

Globální cyklus dusíku zahrnuje přenosy dusíku mezi litosférou, pedosférou, atmosférou a hydrosférou (VanLOON A DUFFY, 2000; PIERZYNSKI A KOL., 2000).

Dusík rozhodně nepatří mezi nejběžnější prvky na Zemi. Odhaduje se, že kilogram horniny obsahuje v průměru jen 25 mg dusíku. Více než 98% veškerého dusíku na Zemi je uloženo v litosféře a globálního dusíkového cyklu se neúčastní. Hlavním aktivním zásobníkem je atmosféra, která je také primárním zdrojem dusíku kolujícího biosférou. Dusík je poměrně dynamický prvek a podléhá v prostředí mnoha biologickým i fyzikálně chemickým přeměnám. Většina se jich odehrává v biosféře za přímé účasti mikroorganismů. V přirozených ekosystémech jsou stabilizované a v globálním měřítku byly dlouhodobě v rovnováze. V posledních staletích je však ovlivňuje člověk. Těží dusíkaté horniny a minerály (viz Obr. č. 10) a používá je jako hnojiva a vyrábí amoniak ze zkapalněného vzduchu. Dusík z těchto výrobků se v plynné formě vrací zpět do atmosféry. (ŠIMEK, 2008).



Obr. č. 10: Hlavní procesy přeměny dusíku v suchozemském ekosystému. (upraveno podle: BLACKBURN, 1983)

Plynný dusík je redukován fixací na amoniak (NH_3 , respektive amonium NH_4^+). Amonná forma dusíku je v různých sloučeninách zabudována do biomasy a po jejím odumření zase uvolněna mineralizací. Dusík se může znovu využít jako živina, může se vázat v půdě, vypařit se do atmosféry nebo může být převeden nitrifikací na nitrátovou formu (NO_3^-). Nitrátový dusík může také sloužit jako živina, může se redukovat na amoniak, vyplavit z půdy nebo přeměnit denitrifikací na plynný oxid dusný (N_2O) a molekulární dusík (N_2). V těchto formách se dusík vrací do atmosféry a cyklus N se uzavírá. I když jednotlivé procesy přeměn dusíku mají odlišné nároky na podmínky prostředí, mohou v půdě probíhat současně, a to vzhledem k existenci gradientů jednotlivých faktorů prostředí, jež jsou navíc v mnoha vzájemných vazbách a vytvářejí v půdě nepřeberné množství mikroprostředí, mnohdy s velice specifickými podmínkami (ŠIMEK, 2008).

Původním zdrojem většiny půdního dusíku je atmosféra. V prvotní atmosféře byl dusík pravděpodobně vázán v amoniaku. Jak přibývalo kyslíku, amoniak oxidoval na N_2 . Dusík se proto dnes v atmosféře vyskytuje hlavně v molekulární formě (N_2) či v oxidech (NO , N_2O , NO_x). Obsah dusíku v povrchové vrstvě minerální půdy činí 0,1–0,15 hmotnostních procent. Na jednom hektaru se tedy obvykle nachází v ornici několik tun N a stejné množství je v hlubších vrstvách půdy. Většina (95–99%) půdního dusíku je vázána v organických látkách a půdní mikroorganismy mineralizují pouze malou část. Ta se dříve nebo později zčásti opět dostává do biomasy a humusových látek. Mineralizovaný dusík se uvolňuje převážně v amonné formě a ve vegetačním období je rychlost mineralizace 1–20 mg dusíku vázaného v NH_4^+ na kilogram půdy za den. Amoniak se dále přeměňuje na jiné sloučeniny. Obsah dusíku vázaného v NO_2^- je mnohem nižší. Přechod jedné forem dusíku v jiné souvisí zejména s metabolismem organismů; jen z velmi malé části se uplatňují procesy fyzikální a chemické (ŠIMEK, 2008).

9.2 Dusičnany

Dusičnany jsou nejméně toxickou součástí komplexu škodlivých forem dusíku. Využívají je rostliny jako stavební látky (NOVÁK A HOFMANN, 1996). Dusičnan se vyskytuje ve vodě v iontové formě NO_3^- , protože všechny dusičnany jsou

rozpuštěné. Jeho zdrojem mohou být atmosférické srážky (bouřky, provoz motorových vozidel) a nadměrné používání dusíkatých hnojiv, které je hlavní příčinou vysokých koncentrací dusičnanu. Hnojiva se smyvem dostávají do povrchových vod a průsakem do vod podzemních. Ke stejným závěrům docházejí i zahraniční odborníci ze zemí s vysokou intenzitou zemědělské výroby. Pro nesnadnost odstraňování dusičnanu z pitných vod označují někteří z nich dusičnanový problém za největší pohromu ve vodárenství od dob, kdy byl desinfekcí vyřešen problém přenosu infekčních onemocnění vodou. Dusíkatými hnojivy (a dalšími zemědělskými chemickými přípravky) je zasažena celá zemědělská krajina (POPL A FÄHNRICH, 1999, MICHEK, 2000).

Jestliže platí, že dusičnanová hnojiva jsou z půdy odčerpávána zemědělskými plodinami, pak by mělo platit i to, že koncentrace dusičnanu v tocích je nižší v době růstu zemědělských plodin a vyšší v době vegetačního klidu, kdy zásoby dusíku v zemědělské půdě nejsou plodinami odčerpávány (MICHEK, 1992).

Dusičnan je sám o sobě pro člověka málo škodlivý, protože je z těla poměrně rychle vylučován. Jeho nebezpečí vyplývá z jeho možné bakteriální redukce v zažívacím traktu člověka na toxický dusitan. Vzniklý dusitan může reagovat s krevním barvivem hemoglobinem za vzniku methemoglobinu, který není schopen přenášet kyslík. Toto onemocnění se nazývá dusičnanová alimentární methemoglobinaemie (DAM) kojenců. Kojenec je tak vystaven nebezpečí udušení, podobně jako při otravě oxidem uhelnatým. K onemocnění jsou náchylní kojenci do tří měsíců věku. Jejich krev obsahuje tzv. fetální hemoglobin, který snáze reaguje s dusitanem než hemoglobin A, obsažený v krvi starších kojenců, dětí a dospělých. Kromě toho enzymatický systém nejmladších kojenců není dosud dostatečně vyvinut.

V roce 1945 byl v odborné literatuře poprvé popsán případ z USA, kdy bylo dokázáno, že tuto nemoc způsobila pitná voda s vysokým obsahem dusičnanů. U nás byl takový případ poprvé publikován v roce 1949 a do roku 1960 bylo v Československu evidováno 319 případů onemocnění s přibližně osmiprocentní úmrtností. Skutečný počet onemocnění byl však mnohem vyšší, protože lehčí případy nebyly evidovány a některé vážné případy byly jinak diagnostikovány. V padesátých a šedesátých letech byly příčiny této nemoci v ČSR podrobně zkoumány. Přestože již tehdy se dospělo k závěru, že vedle obsahu dusičnanů je rozhodujícím

faktorem přítomnost vhodných druhů nitrát-redukujících bakterií. Dnes se má za to, že u popisovaných případů kojenecké methemoglobinémie nebyly dusičnany vlastní nebo hlavní příčinou, ale jen „indikátorem“ bakteriální kontaminace. Hlavní příčinou byla mikrobiálně závadná voda (nebo dříve sporami kontaminovaná sušená umělá kojenecká výživa), která způsobila zánět žaludeční a střevní sliznice a následnou zvýšenou endogenní (vnitřní) syntézu dusitanů.

9.2.1 Norma pro dusičnany v pitné vodě

Pitná voda „je zdravotně nezávadná voda, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým či pozdním působením zdraví fyzických osob a jejich potomstva, jejíž smyslově postižitelné vlastnosti a jakost nebrání jejímu požívání a užívání pro hygienické potřeby fyzických osob.“ (ZÁKON 258/2000 SB., VYHLÁŠKA MZE ČR 252/2004 SB.). Nejvyšším zdrojem pitných vod jsou vody podzemní.

Dlouhá léta, a to přesně od roku 1959 do dubna 2004 u nás existovalo jedno kritérium, zda pitná voda je či není vhodná pro kojence. Tím kritériem byl obsah dusičnanů do limitu 15 mg/l (pro ostatní populaci byl limit nejprve 35 mg/l a od roku 1964 až dosud pak 50 mg/l). Přehled těchto požadavků v jednotlivých předpisech je chronologicky ukázán v tabulce č. 1.

Předpis	Platnost	Požadavek na obsah dusičnanů
ČSN 56 7900 Pitná voda	1959- 1964	35 mg/l ...u zdrojů zásobujících kojenecká zařízení max. 15 mg/l
ČSN 83 0611 Pitná voda	1964- 1974	50 mg/l ... k umělé výživě kojenců max. 15 mg/l
ČSN 83 0611 Pitná voda	1975- 1990	...uvedená hodnota (50mg/l) přesahuje obsah dusičnanů ve vodě, která smí být používána k umělé výživě kojenců
ČSN 75 7111 Pitná voda	1991- 2000	mezná hodnota 50 mg/l, doporučená hodnota pod 15 mg/l
Vyhl. 376/2000 Sb.	2001- 2004	mezná hodnota 50 mg/l, ... pitná voda pro přípravu kojenecké vody a nápojů musí mít obsah nižší než 15 mg/l
Vyhl. 252/2004 Sb.	2004 – dosud	nejvyšší mezní hodnota 50 mg/l (*)

(*) O kojencích není ve vyhlášce ani v zákoně o ochraně veřejného zdraví (ve vztahu k pitné vodě)

žádná zmínka.

Tab. č. 1 Přehled požadavků na obsah dusičnanů v jednotlivých předpisech.

Zdroj: (KOŽÍŠEK, 2005).

Pokud je voda mikrobiálně nezávadná, obsah dusičnanů do 50 mg/l je z hlediska methemoglobinaemie bezpečný i pro kojence. Toto stanovisko se opírá nejen o doporučení WHO, ale i americké agentury pro životní prostředí (U.S.EPA), jejíž limit pro kojeneckou methemoglobinaemii je 10 mg N-NO₃/l čili 44 mg dusičnanů na litr. Vedle obsahu dusičnanů je samozřejmě nutné podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. brát v úvahu i souběžnou hodnotu dusitanů, protože obě látky mají (v konečné fázi) obdobný účinek. Podle součtového pravidla musí být dodržena podmínka, aby součet poměrů zjištěného obsahu dusičnanů v mg/l děleného 50 a zjištěného obsahu dusitanů v mg/l děleného 3 byl menší nebo rovný 1:

$$\frac{NO_3^-(mg/l)}{50} + \frac{NO_2^-(mg/l)}{3} \leq 1 \quad (\text{rov.}\check{c}. 8)$$

Kde: NO_3^- je naměřená hodnota dusičnanů,
 NO_2^- dusitanů v pitné vodě.

Součet poměrů odpovídá svým významem nejvyšší mezní hodnotě. Obsah dusitanu v pitné vodě na výstupu z úpravny musí být nižší než 0,1 mg.l⁻¹.

Z hlediska lidské výživy není pitná voda jediným zdrojem dusičnanu. Z důvodů hnojení polí dusíkatými hnojivy se dusičnan vyskytuje i v potravě, hlavně zelenině, ze které bohužel nelze dusičnan odstraňovat. Ze zeleniny přijímáme zhruba 2/3 dusičnanu, dalších 20% pochází z pitné vody a zbytek z masných výrobků, ryb, ovoce, brambor a obilných produktů (MICHEK, 1992).

Ve vodě se však nevyskytují jen dusičnany či dusitany. I jiné látky mohou na člověka nepříznivě působit. Primárně zdravotně rizikové ukazatele s nejvyšší mezní hodnotou mají sice limitní hodnoty počítány pro hmotnost dospělého člověka, při výpočtu se ale vychází z hodnoty bezpečné denní dávky (tzv. tolerable daily intake), která je stanovena s ohledem na účinek na nejcitlivější subpopulaci a s použitím vysokých bezpečnostních faktorů. Proto WHO i Evropská komise zastávají názor, že limity pro pitnou vodu jsou bezpečné i pro kojence. Na druhou stranu mohou nastat případy, kdy voda sice splňuje limity pro pitnou vodu (a je proto z právního hlediska bezpečná), ale díky obsahu některých přirozených součástí je pro kojence méně vhodná. Jedná se o některé ukazatele s mezní hodnotou, kde limity nejsou vždy stanoveny z hlediska zdravotního, ale technického nebo senzoričského: rozpuštěné látky, sodík, hořčík, vápník, sírany, fluoridy apod. (KOŽÍŠEK, 2005).

Větší důraz na sledování dusičnanu ve vodách souvisí s implementací směrnice Rady Evropského společenství č. 91/676/EEC z roku 1991, mající za cíl zmírnit znečištění způsobené dusičnany ze zemědělských zdrojů a zabránit dalšímu znečištění vod tohoto druhu („nitratová směrnice“). Transpozice této nitratové směrnice je zajištěna prostřednictvím § 33 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách. Uvedený paragraf vymezuje pojem zranitelné oblasti a ukládá nařízením vlády stanovit zranitelné oblasti a v nich upravit používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření. Nařízení vlády č. 103/2003 Sb. (akční program podle nitratové směrnice), o stanovení zranitelných

oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření, je v účinnosti od 11.4.2003 (s odloženou účinností hlavy III od 1.1.2004). V roce 2003 Ministerstvo zemědělství ČR vydalo Ústavu zemědělských a potravinářských informací také Zásady správné zemědělské praxe, které jsou zaměřeny na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů. Zatímco dodržování zásad je doporučeno všem zemědělcům, ale je nepovinné, plnění opatření akčního programu je povinné pro zemědělce hospodařící v katastrálních územích zranitelných oblastí, které tvoří přibližně 36% rozlohy ČR a 42,5% výměry zemědělské půdy ČR (KOZLOVSKÁ, 2003; KLÍR, 2003).

9.3 Dusitany

Dusitany bývají obsaženy ve všech typech vod. Vznikají obvykle jako přechodný člen v cyklu dusíku při biologické redukci dusičnanů či biologické oxidaci amoniakálního dusíku. Proto zpravidla doprovázejí dusičnany a amoniakální dusík, obvykle ale jen v malých koncentracích, neboť jsou velmi nestálé. V minerálech nejsou obsaženy a pouze v atmosférických vodách jsou anorganického původu, kde vznikají oxidací elementárního dusíku elektrickými výboji při bouřkách. Ve vodách vystupují jako jednoduchý iont NO_2^- , který je nestálý, snadno se chemicky, případně biochemicky oxiduje nebo redukuje. Koncentrace dusitanů v podzemních a povrchových vodách je zpravidla velmi malá (řádově setiny a desetiny mg l^{-1}), v odpadních a splaškových vodách poměrně větší (řádově jednotky až desetiny mg l^{-1}). V čistých přírodních vodách nebývají dusitany obsaženy vůbec, nebo jsou tu jen ve stopových koncentracích. Vyšší koncentrace dusitanů ve spodních vodách je vždy podezřelá, protože lze předpokládat jejich původ z dusíku organicky vázaného v živočišných odpadech. Jsou tedy indikátorem fekálního znečištění. V pitné vodě jsou dusitany samy o sobě zdravotně závadné (možnost vzniku karcinogenních N-nitrosoaminů v zažívacím traktu). Již setiny mg l^{-1} NO_2^- -N mohou být toxické pro ryby. ČSN (HORÁKOVÁ A KOL., 2000) připouští maximálně 0,1 mg/l NO_2^- v pitné vodě. Dusitany jsou ve vodě velmi nestálé, proto je nutno vzorky vody analyzovat ihned po odběru, není-li to možné, je nutno vzorky vody konzervovat. Stanovení dusitanů je nezbytnou součástí rozboru pitných vod. Dusitany mohou ve

vodách vznikat z dusičnanů také fotochemickou cestou. Proto je důležité posuzovat indikátorovou hodnotu dusitanů v pitné vodě komplexně, tj. v souvislosti s mikrobiologickým rozbořem, místním ohledáním terénu v okolí analyzované vody a obsahem dalších indikátorů fekálního znečištění (PITTTER, 1999). Dusitan se slučuje v žaludku se sekundárními aminy z potravy na kancerogenní N-nitrosoaminy. Statisticky byla prokázána závislost zvýšeného výskytu rakoviny jater, žaludku, tlustého střeva a močového měchýře na obsahu dusičnanu ve vodě (KOUBÍKOVÁ, 1980).

9.4 Amoniakální dusík (NH_4^+ , NH_3)

Amoniakální dusík je primárním produktem rozkladu organických dusíkatých látek živočišného a rostlinného původu. Proto antropogenním zdrojem amoniakálního dusíku organického původu jsou především splaškové odpadní vody a odpady ze zemědělských výroby. Nezanedbatelným zdrojem amoniakálního dusíku ve vodách mohou být i emise amoniaku v okolí závodů živočišné výroby. Antropogenním zdrojem amoniakálního dusíku anorganického původu jsou především dusíkatá hnojiva, která se infiltrací a splachem ze zemědělsky obdělávaných ploch dostávají do vod podzemních a povrchových. Značné množství amoniakálního dusíku je obsaženo v průmyslových odpadních vodách z tepelného zpracování uhlí a z galvanického pokovování, kde se amonné soli přidávají do některých pokovovacích lázní. Předpokládá se, že amonné sloučeniny mohou vznikat sekundárně ve větších hloubkách v podzemních vodách, a to chemickou redukcí dusičnanů při styku vody s minerály obsahujícími Fe^{II} či Mn^{II} . Amonné sloučeniny se někdy přidávají do vody při jejím hygienickém zabezpečování tzv. chloraminací. Další formu výskytu amoniakálního dusíku jsou amminokomplexy, které tvoří NH_3 s ionty různých kovů. Některé amminokomplexy jsou poměrně stabilní a mohou zabraňovat vylučování hydratovaných oxidů kovů. Vyskytují se v odpadních vodách z galvanického pokovování. Amoniakální dusík se vyskytuje ve vodách jako kation NH_4^+ (kation amonný, používá se také název amonium) a v neiontové formě jako NH_3 . Chemickými analytickými metodami se stanoví vždy obě formy současně tj. celkový amoniakální dusík, který je dán součtem koncentrací N- NH_4^+ (dusíku amonného) a N- NH_3 (dusíku amoniakového). Výsledek lze vyjádřit jako N ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$).

Amoniakální dusík je z hygienického hlediska velmi významný, protože je jedním z primárních produktů rozkladu organických dusíkatých látek. Je proto důležitým chemickým indikátorem znečištění podzemních vod živočišnými odpady (indikátorem fekálního znečištění), zejména tehdy, pokud dojde k náhlému zvýšení jeho koncentrace. Je však nutno předem vyloučit anorganický původ (hnojiva) nebo jeho vznik rozkladem organických dusíkatých látek rostlinného původu (vody z okolí rašelinišť) (PITTER, 1999).

9.5 Dusík v podzemních vodách

Existuje mnoho zdrojů znečištění podzemních vod, např. nádrže septiků, skládky pevného odpadu, pozemky s odváděním odpadních vod, průmyslové odpady a kaly, zavlažování a další zemědělské praktiky, úniky a rozlévání chemikálií a ropných produktů, materiálů, používaných k odstraňování námrazy z vozovek silnic. Některé z těchto zdrojů mohou být popisovány jako bodové zdroje znečištění, což vede pouze k lokalizování kontaminace infiltračního povodí. Další zdroje, jako například používání septických systémů v hustěji obydlených předměstských oblastech, nebo zavlažování, jsou typické plošné problémy znečištění. Dusík a některé toxické kovy jsou příkladem znečišťujících látek, které mohou vážně kontaminovat zdroje podzemní vody (NOVOTNÝ A CHESTERS, 1938).

KREITLER A JONES (1975) udávali takové hladiny dusičnanů v podzemní vodě v kraji Runnels v Texasu, které dosahovaly průměrných hodnot 250 mg/l, výrazně nad normou pro pitnou vodu, která je 10 mg/l. Zjistilo se, že téměř 80% dusičnanů vyluhovaných z dusíku z půdy, je výsledek kultivací během posledních 50 let. Dusičnanový dusík je nejběžnější znečišťující prvek identifikovaný v podzemní vodě.

Koncentrace dusičnanů v přírodních vodách neustále vzrůstají v důsledku vzrůstajícího počtu obyvatel a zemědělské činnosti. Velká koncentrace dusičnanů, eventuelně i dusitanů, bývá charakteristická pro podzemní vody v oblastech s borovými lesy, kde písčité, dobře provzdušněná půda obsahuje ve svrchních vrstvách jednak kmeny bakterií schopných fixovat elementární dusík a jednak kmeny nitrifikačních bakterií. V přírodních vodách se koncentrace dusičnanů mění také v

závislosti na vegetačním období. V maximální koncentraci se dusičnany nacházejí v podzemních vodách v zimním, tj. mimo vegetačním období, kdy se vyluhují z půdy, protože jsou jen velmi slabě zadržovány v půdním sorpčním komplexu. V letním, tj. vegetačním období jsou naopak z vody odčerpávány vegetací. Minerální vody jsou na dusičnany chudé a vzhledem k velmi nízkým koncentracím se často ani nestanovují. V minerálech jsou dusičnany obsaženy jen velmi zřídka (PITTER, 1999).

CHALK A KEENEY (1971) objevili nejvyšší koncentrace NH_4^+ a NO_3^- ve Wisconsiných vápencích a naznačují, že mnohé vápence jsou potenciální zdroje NO_3^- pro podzemní vody. Přítomnost vyšších hladin NH_4^+ v podzemní vodě obvykle upozorňuje na kontaminaci z výtoků septiků, z přehnojení, nebo z prosakování ze skládek a míst pro likvidaci odpadu.

Amoniakální dusík se v podzemních vodách vyskytuje obvykle ve velmi nízkých koncentracích. Výjimkou jsou podzemní vody kontaminované fekáliemi nebo dusíkatými hnojivy a kontaminace ropného původu. V některých případech lze vyšší koncentrace amoniakálního dusíku v podzemních vodách s hlubinným obsahem vysvětlit pravděpodobnou chemickou redukcí dusičnanů (PITTER, 1999).

Odtok podzemních vod do povrchových toků je nazýván základním odtokem. Koncentrace anorganického dusíku v základním odtoku jsou tudíž závislé na koncentracích dusíku v podzemních vodách. DOLEŽAL, KVÍTEK (2004) použili výsledky separace odtoku v rámci jedné studie a zjistili mírnou, ale statisticky signifikantní, pozitivní korelaci mezi koncentracemi dusičnanů a hypodermickým, resp. základním odtokem. O důležitosti sledování základního odtoku svědčí i fakt, že již od roku 1976 se započalo v rámci Hydrofondu ČHMÚ s vyhodnocováním základních odtoků jako ukazatelem přírodních zdrojů podzemních vod (KESSL, KNĚŽEK, 2000).

Závěr

V bakalářské práci byly zkoumány vybrané metody separace základního odtoku. Nejpoužívanější metodou na území České republiky je metoda Kliner-Kněžekova vhodná pro tvorbu každoročních hydrologických bilancí. Castanyho metodou lze základní odtok určit s přesností 10% - 20%, ale povodí by mělo mít větší rozlohu jak 500 km². Killeho metoda je nejvhodnější pro regionální hodnocení dlouhodobě průměrných hodnot podzemního odtoku. Plocha povodí by měla pro Castanyho a Killeho metodu být alespoň 100 km². Metoda BFI využívá pouze hodnoty průtoku a lze jí použít kromě výpočtu základního odtoku také k pozorování změn zásob vody ve vodních nádržích a pro popis vývoje regionálních záplav. Metoda separace hydrogramu je v podstatě přibližnou grafickou metodu. Jedním ze způsobů úpravy původní metody rozčlenění hydrogramu pro zpřesnění dosahovaných výsledků je založen na předpokladu, že v případě hydraulické spojitosti mezi povrchovou a porézní podzemní vodou musí být i vzájemná závislost jejich hladin. Metoda separace hydrogramu je hojně využívána a její spolehlivost na území České republiky je ověřena. Metody GROUND a MGPM dosahují mírně odlišných výsledků v závislosti na tvaru jednotlivých odtokových vln, rozdílly takto vypočtených ročních průměrů poměrného základního odtoku však jen výjimečně přesahují 5%, což umožňuje prohlásit, že výsledky obou metod vedou ke stejným kvalitativním závěrům. Metody separace odtoků za pomoci digitálních filtrů jsou uživatelsky velmi jednoduché a výsledky jsou kvantitativně podobné s jinými metodami. Datově jsou tyto metody taktéž nenáročné, protože vstupem bývají pouze průměrné celkové denní průtoky.

Sloučeniny dusíku představují prakticky nejrozšířenější typ znečištění podzemních vod používaných jako zdroje pitné vody. Obsah amoniakálního a dusičnanového dusíku, se řadí mezi nejvýznamnější ukazatele znečištění.

Pokud je voda mikrobiálně nezávadná, obsah dusičnanů do 50 mg/l je z hlediska methemoglobinaemie bezpečný, a to i pro kojence. Vedle obsahu dusičnanů je samozřejmě nutné podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. brát v úvahu i souběžnou hodnotu dusitanů, protože obě látky mají (v konečné fázi) obdobný účinek. Součet poměrů zjištěného obsahu dusičnanů v mg/l děleného 50 a zjištěného obsahu dusitanů v mg/l děleného 3 by měl být menší nebo rovný 1. Součet poměrů

odpovídá svým významem nejvyšší mezní hodnotě. Obsah dusitanu v pitné vodě na výstupu z úpravny musí být nižší než $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$.

Nejvíce nebezpečnou látkou obsahující dusík ve vodě je amoniak NH_3 . Amoniak se začíná ve vodě vyskytovat při hodnotě pH vyšší než 7. Při nižší hodnotě pH je amoniak ve vodě přítomen ve formě netoxického amonného kationtu NH_4^+ . Ideální hodnota je 0 mg/l . Při hodnotách $0,25 \text{ mg/l}$ po delší časové období je ve vodě jedovatý.

Je mnoho zdrojů znečištění podzemních vod, např. nádrže septiků, skládky pevného odpadu, pozemky s odváděním odpadních vod, průmyslové odpady a kaly, zavlažování a další zemědělské praktiky, úniky a rozlévání chemikálií a ropných produktů, materiálů, používaných k odstraňování námrazy z vozovek silnic. Některé z těchto zdrojů mohou být popisovány jako bodové zdroje znečištění, což vede pouze k lokalizování kontaminace infiltračního povodí. Další zdroje, jako například používání septických systémů v hustěji obydlených předměstských oblastech, nebo zavlažování, jsou typické plošné problémy znečištění.

Důležitý parametr, který má také vliv na stupeň znečištění podzemních vod je roční období, kdy v jarních měsících pravděpodobně díky zvýšeným splachům ze zemědělské půdy dochází ke vzrůstu znečištění podzemních vod.

Seznam použité literatury

1. BLACKBURN, T.H.: The microbial nitrogen cycle. In: Krumbein, W.E. (ed.): Microbial geochemistry. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1983, p. 63-89. In: ŠIMEK, Miroslav. Základy nauky o půdě-3. Biologické procesy a cykly prvků. České Budějovice : [s.n.], 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5.
2. BRUTSAERT, W.: Hydrology: An introduction. Cambridge University Press, 2005, 605 s.
3. ČERVENÝ, J., BOHM, B. A KOL.: Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1984, 416 s.
4. DOLEŽAL, F., KVÍTEK, T.: The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peneplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 29 (11-12), 2004, s. 775-785. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku* . České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
5. DOMENICO P., SCHWARTZ F.: Physical and Chemical Hydrogeology, 2th Edition. – John Wiley & Sons. New York, 1998
6. DUBA, D.: Hydrológia podzemních vôd, Vydavateľstvo Slovakej akadémie vied Bratislava, 1968, 352 s.
7. 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. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku* . České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
8. GUSTARD A., BULLOCK A., DIXON J. M.: Low flow estimation in the United Kingdom - Report No. 108, Institute of Hydrology, 1992.
9. HALFORD K. J., MAYER G.C.: Problems associated with estimating groundwater discharge and recharge from streamdischarge records. Ground

- Water, 38 (3), 2000, s. 331-342. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
10. HALL, F. R.: Base flow recessions-a review. *Water Resour*, 1968, s. 973-983. In: TALLAKSEN, L.M.: A review of baseflow recession analysis. *Journal of hydrology* 165, 1995, s. 349-370.
 11. HÁLEK V., ŠVEC J. (1973): *Hydraulika podzemní vody*, Academia, Praha, 1973, 376 s.
 12. HORÁKOVÁ M.A KOL.: *Analytika vody*, Vydavatelství VŠCHT, Praha 2000. In: VEČEŘOVÁ J. : *Monitoring znečištění podzemních vod NO₃- v oblasti Zábřezska*. Olomouc, 2010. 45 s. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Dostupné z [www: <http://theses.cz/id/ajx71m/115575-189006000.pdf>](http://theses.cz/id/ajx71m/115575-189006000.pdf).
 13. HORTON, R. E.: The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Trans. Amer. Geophys. Un.*, 14, 1933, s. 446-460 In: BRUTSAERT, W. *Hydrology: An introduction*. Cambridge University Press, 2005, 605 s.
 14. CHALK, P.M., and KEENEY, D.R.: Nitrate and amonium contents of Wischonsin limestone. *Nature*, 229:42-47, 1971
 15. CHOW, V. T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W.: *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, 1988. In: LACEY, G. C., GRAYSON, R. B.: Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. *Journal of Hydrology* 204, 1998, s.231-250.
 16. Internet: (<http://www.aqua-aurea.cz>) In: VEČEŘOVÁ J. : *Monitoring znečištění podzemních vod NO₃- v oblasti Zábřezska*. Olomouc, 2010. 45 s. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Dostupné z [www: <http://theses.cz/id/ajx71m/115575-189006000.pdf>](http://theses.cz/id/ajx71m/115575-189006000.pdf).
 17. Internet: <http://www.eurowater.cz/vítejte.aspx>
 18. JAIN, S. K.: Evaluation of catchment management strategies by modelling soil erosion/ water quality in EPIC supported by GIS. M. Sc. Thesis, Galway: National University of Ireland, Department of Engineering Hydrology, 1997.
 19. KESSL, J., KNĚŽEK, M.: Pozorovací síť podzemních vod ve vztahu k metodám vyhodnocování režimních dat. In: *Hydrologické dny. Nové podněty a vize pro příští století*. Plzeň, 2000, s. 65-68. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv*

- uspořádání krajinné matrice na složky odtoku* . České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
20. KILLE, K.: Das Verfahren MoMnQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, Sonderheft Hydrogeologie und Hydrogeochemie, 1970, s. 89-95, In: Doležal, F., Kvítek, T. The role of recharge zones, discharge zones, spring and tile drainage systems in peneplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 29 (11-12), 2004, s. 775-785.
21. KILNER K., KNĚŽEK M.: Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody. Vodohospodářský časopis, 1974, roč. 22, č.5, s. 457 – 466. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku* . České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
22. KILNER K., KNĚŽEK M., OLMER M. ET AL.: Využití a ochrana podzemních vod, SZN, Praha, 1978, 296 s.
23. KLÍR, J.: Zásady správné zemědělské praxe. Úroda, 2003, c. 10, s. 12-13. In: LEVINSKÝ, Pavel. *Vyhodnocení jakosti vody a odtokových poměrů na České Budějovice*, 2009. 50 s. Diplomová práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA. Dostupné z WWW: <http://theses.cz/id/ljw7es/downloadPraceContent_adipIdno_5666>.
24. KNĚŽEK M.: Některé úkoly hydrologie podzemních vod. In: Sborník konference Hydrologické dny, Dům techniky ČVTS, Brno, 1980, s. 141 – 145.
25. KNĚŽEK M.: Podzemní složka odtoku. Práce a studie, sešit 171, VÚV, Praha, 1988, 61 s. In: PELIKÁN, Leoš. *Rebilance zásob podzemní vody I. a II. křídové zvodně v jižní části ústecké*. Brno, 2008. 73 s. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/th/99794/prif_m/Diplomka.pdf?zpet=http%2F%2Ftheses.cz%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3DKliner%20Kn%C4%9B%C5%BEek>.
26. KOUBÍKOVÁ H.: Úprava vody s obsahem sloučenin fosforu a dusíku. Závěrečná zpráva úkolu C 16-331-030-03, VÚV Praha, 1980. In:

- MÜLLEROVÁ, E.: Odstraňování dusičnanu z vody imobilizovanými denitrifikačními bakteriemi. Diplomová práce, Masarykova Univerzita, Brno, 2010/28.4.
27. KOUŘIL, Z.: Stanovení přírodních zdrojů podzemních vod podle metody G. Castanyho. Výpočty využitelného množství podzemních vod – sborník přednášek. ČVTS, Brno, 1975. In: PELIKÁN, Leoš. *Rebilance zásob podzemní vody I. a II. křídové zvodně v jižní části ústecké*. Brno, 2008. 73 s. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/th/99794/prif_m/Diplomka.pdf?zpet=http:%2F%2Ftheses.cz%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3DKliner%20Kn%C4%9B%C5%BEek>.
28. KOZLOVSKÁ, L.: Uplatnění nitrátové směrnice v ČR. Úroda, 2003, c. 10, s. 10. In: LEVINSKÝ, Pavel. *Vyhodnocení jakosti vody a odtokových poměrů na České Budějovice*, 2009. 50 s. Diplomová práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA. Dostupné z WWW: <http://theses.cz/id/ljw7es/downloadPraceContent_adipIdno_5666>.
29. KOŽÍŠEK F.: Je vodovodní voda vhodná i pro kojence?. *SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací* [online]. 2005, 14, 11, [cit. 2011-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.sovak.cz/sites/File/casopis_cela_cisla_2005/11_05.pdf>. ISSN 1210-3039.
30. KRÁSNÝ J.: Vztah podzemního odtoku, přírodních zdrojů a využitelných zásob podzemních vod. *Hydrogeologická ročenka, Geoindustria, Praha, 1977*, s. 133 – 143.
31. KREITLER, C.W., and JONES, D.C.: Natural soil nitrate: The cause of the nitrate contamination of groundwater in Runnels County, Texas. *Groundwater*, 13:53-61, 1975 In: NOVOTNÝ, V., CHESTERS, G., *Handbook of Nonpoint Pollution : Sources and management*. New York : Van Nostrand Reinhold Company, 1981. 555 s. ISBN 0-442-22563-6.
32. KRÍŽ H.: *Hydrologie podzemních vod. – Academia. Praha, 1983*
33. KULHAVÝ, Z., ŠVIHLA, V.: Využití hydrologického modelování malých zemědělsko- lesních povodí. *Vědecké práce VÚMOP Praha, 1999, č. 10, s. 63-78.*

34. LVOVIČ M. I.: Mirovyje vodnyje resursy a ich buduščeye. Mysl, Moskva, 1974, 448 s.
35. LYNE, V., HOLLICK, M.: Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling. I.E. Aust. Natl. Conf. Publ. 79/10, Canberra, 1979, s. 89-91. In : ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku* . České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
36. MICHEK V.: Vlašim - zásobení města pitnou vodou. Návrh technologických opatření. Studie, Hydroprojekt Praha, 1992. In: MÜLLEROVÁ, E. : *Odstraňování dusičnanu z vody imobilizovanými denitrifikačními bakteriemi*. Diplomová práce, Masarykova Univerzita, Brno, 2010/28.4.
37. MOSLEY, M. P., McKERCHAR, A. I.: Streamflow. Chapter 8 In: Maidment, D. R. (ed.): *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1993, s. 8.1- 8.3.
38. NOVÁK, J., HOFMANN J.: Akvaristika - o dusíku. *Vaše akvarijní informace* [online]. 1996, [cit. 2011-03-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.akvarijni.cz/texty/dusik.htm>>.
39. NOVOTNÝ, V., CHESTERS, G.: *Handbook of Nonpoint Pollution : Sources and management*. New York : Van Nostrand Reinhold Company, 1938. 555 s. ISBN 0-442-22563-6.
40. OLMER, M., ZAJÍČKOVÁ L., HLAVATÁ J., SVOBODOVÁ M.: Podzemní odtok v povodí Labe, Moravy a Odry, 1972. In: KNĚŽEK, M. A KOL.: *Výzkum metod členění složky podzemních vod v povrchovém odtoku*. (Závěrečná zpráva) Výzkumný ústav vodohospodářský, Praha.
41. PIERZYNSKI, G.M., SIMS, J.T., VANCE, G.F.: *Soil and enviromental quality*. CRC Press, Boca Raton 2000, 459 p. In: ŠIMEK, Miroslav. *Základy nauky o půdě-3. Biologické procesy a cykly prvků*. České Budějovice : [s.n.], 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5.
42. PILGRIM, D. H., CORDERY, I.: Flood runou. Chapter 9 In: Maidment, D. R. (ed.): *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1993, s. 9.4-9.6., s. 9.26- 9.31.
43. PITTEK, P. *Hydrochemie*. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 1999, 568 s.
44. POPL M., FÄHNRIK J.: *Analytická chemie životního prostředí*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. In: MÜLLEROVÁ, E. : *Odstraňování*

- dusičnanu z vody imobilizovanými denitrifikačními bakteriemi. Diplomová práce, Masarykova Univerzita, Brno, 2010/28.4.
45. SERRANO, E.S.: Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals, HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 1997, 468 s. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
46. SCHWARTZ F., ZHANG H.: Fundamentals of Ground Water. – John Wiley & Sons. New York, 2003.
47. SLAVÍK J.: Využití hydrogeologických bilančních metod při využívání zásob podzemní vody. Rajónování a bilancování podzemních vod - sborník referátů. Geotest, Brno, 1987, s.77 - 84. In: PELIKÁN, Leoš. *Rebilance zásob podzemní vody I. a II. křídové zvodně v jižní části ústecké*. Brno, 2008. 73 s. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/th/99794/prif_m/Diplomka.pdf?zpet=http:%2F%2Ftheses.cz%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3DKliner%20Kn%C4%9B%C5%BEek>.
48. SMAKHTIN, V. U.: Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology 240, 2001, s. 147-186.
49. SMITH, L., WHEATCRAFT, S.W.: Groundwater flow. Chapter 6 In: Maidment, D.R. (ed.): Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
50. STRAKA, J.: *Metody stanovení základního odtoku na příkladu anenského potoka v Košetících*, Rešerše k bakalářské práci. Masarykova univerzita v Brně, Brno, 2009. 11 s.
51. ŠIMEK, M.: Základy nauky o půdě-3. Biologické procesy a cykly prvků. České Budějovice : [s.n.], 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5.
52. ŠIMEK, M.: Skleníkové plyny v půdě. Vesmír 87 [online]. 2008/11, 758, [cit. 2011-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.vesmir.cz/files/file/fid/5397/aid/8042>>.
53. TOMAN, F., PODHRÁZSKÁ, J.: Vliv klimatických podmínek na vznik eroze způsobené táním sněhu. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): XIV.

- Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě, 2002, s. 456-464. In: ŽLÁBEK, P., *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)
54. UHLENBROOK, S., LEIBUNDGUT, Ch.: Monitoring and modelling of water quantity and chemistry to identify runoff processes in a mountainous basin. In: N.E.C. Verhoest, Y.J.P. van Herpe, F.P. De Troch (eds.): *Monitoring and Modelling Catchment Water Quantity and Quality*. ERB Conference, Ghent, Belgium, September 27-29, Book of abstracts, s. 147-149. Full text in: ERB 2000 Proceeding CD, ed. by R. Hoeben, Y. van Herpe and F. P. De Troch, 14 p.
55. VanLOON, G.W., DUFFY, S.J.: Environmental chemistry. A global perspective. Oxford University Press, Oxford 2000, 492 p. In: ŠIMEK, Miroslav. *Základy nauky o půdě-3. Biologické procesy a cykly prvků*. České Budějovice : [s.n.], 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5.
56. KULHAVÝ, Z., DOLEŽAL, F., SOUKUP, M.: Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů. Vědecké práce VÚMOP, Praha, 2001, s. 29-52.
57. VOGEL T., CÍSLEROVÁ M., ET AL.: *Transportní procesy ve vadózní zóně*. ČVUT v Praze, Fakulta stavební : KHMKI, KHH, 2008. 111 s. Dostupné z WWW: <http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/trpr/skriptum.pdf>.
58. WARD, R.C., ROBINSON, M.: Principles of hydrology, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1990. In: LACEY, G.C., GRAYSON, R.B.: Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. *Journal of Hydrology* 204, 1998, s. 231-250.
59. ZAJÍČEK V.: Zur Problematik der Bilanzbewertung von Grundwassern in Tagebaureviren. *Freiburber Forschungshefte A 337*, Freiburg, 1966, s. 121 – 132.
60. ŽLÁBEK, P.: *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)

Předpisy a normy:

- 1) ČSN 736530 Vodní hospodářství. Názvosloví hydrologie. Československá státní norma. Schválena 8. 11. 1983. Praha, 2000, č. 11, s. 5-27.
- 2) vyhláška č. 252/2004 Sb.
- 3) Zákon č. 254/2001 Sb. „O vodách a o změně některých zákonu (vodní zákon)“
- 4) Zákon 258/2000 sb., Vyhláška mze ČR 252/2004 sb.

Rovnice a vzorce uvedené v této práci nejsou v práci aplikovány, ale tvoří základ důležitých hydrologických rovnic, a proto jsou v práci obsaženy.