

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, Csc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Porovnání vybraných metod výpočtu základního odtoku na
malém povodí a zhodnocení vlivu základního odtoku na
koncentrace dusíku v celkovém odtoku

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bystřický Václav, Ph.D.

Autor: Bc. Monika Maierová

České Budějovice, duben 2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Monika MATEROVÁ**
Osobní číslo: **Z11864**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Porovnání vybraných metod výpočtu základního odtoku na malém povodí a zhodnocení vlivu základního odtoku na koncentrace dusíku v celkovém odtoku**
Zadávatel: katedra: **Katedra krajinového managementu**

Zásady pro vypracování

Výběr vhodného povodí pro separaci základního odtoku.
Výpočet základního odtoku ve vybraném povodí dle různých metod.
Statistické vyhodnocení výsledků dosažených odlišnými metodami výpočtu.
Analýza koncentrací dusíku v celkovém odtoku.
Vyhodnocení vlivu základního odtoku na koncentrace dusíku v celkovém odtoku.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran textu
Forma zpracování diplomové 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.
Lepš, J., Šmilauer, P. Biostatistika. Biologická fakulta JU, České Budějovice, 1996, 166 s.
Manuály statistických programů, např. Statistika, R aj.
časopisy: Hydrological processes, Journal of hydrology, Physics and chemistry of the earth, Hydrological studies, atd.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Bystřický
Katedra krajinového managementu

Datum začání diplomové práce: 8. března 2012
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2013

Ing. Karel Šedivý, Ph.D.
proděkan pověřený vedením ZF

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
Katedra krajinného managementu
Silvonožní 73
370 01 České Budějovice

I.S.

prof. Ing. Tomáš Šedivý, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma " Porovnání vybraných metod výpočtu základního odtoku na malém povodí a zhodnocení vlivu základního odtoku na koncentrace dusíku v celkovém 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 diplomové 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 2013

.....
Monika Maierová

Abstrakt:

Tato diplomová práce je zaměřena na vybrané metody výpočtu základního odtoku na malém povodí označovaném jako povodí P6, které náleží do povodí Kopaninského toku a zhodnocení vlivu základního odtoku na koncentrace dusičnanového dusíku v celkovém odtoku. V práci byl také rozebrán celkový, povrchový a podpovrchový odtok s jeho podrobným dělením. Dále byly podrobně popsány vybrané a použité metody pro separaci základního odtoku s jejich vzájemným porovnáním. Předmětem zájmu byl celkový dusík v podzemních vodách. Metody separace základního odtoku jsou popsány s ohledem na obsah sloučenin dusíku, které 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 thesis is focused on the selected methods of calculating basic runoff on a small catchment basin known as the P6, which belongs to the basin Kopaninsky flow and assess the impact on the basic runoff concentration of nitrate nitrogen in the total runoff. The thesis also analyzes the total, surface and subsurface runoff with its detailed division. There are also described in detail the chosen methods used for the separation of basic drainage. There is shown their mutual comparison too. We dealt with the nitrogen in groundwater. The methods for separation of basic runoff are described with regard to the content of nitrogen compounds, which are practically the most common type of pollution of groundwater used as drinking water sources.

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

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Literární rešerše	10
2.1. Hydrologický cyklus.....	10
2.3. Hydrologická bilance	11
2.4. Složky odtoku a jejich geneze	15
2.5. Podzemní odtok	17
2.6. Vybrané metody separace základního odtoku	19
2.6.1. Metoda Klinera a Kněžka	20
2.6.2. Metoda stanovení základního odtoku na základě nejnižších průtoků v povrchových tocích	22
2.6.3. Metoda Killeho (metoda minimálních měsíčních průtoků)	22
2.6.4. Metoda BFI (Base Flow Index)	23
2.6.5. Metoda separace hydrogramu	24
2.6.6. Metoda GROUND	25
2.6.7. Metoda MGPM	28
2.6.8. Digitální filtry.....	28
2.7. Porovnání jednotlivých metod.....	29
2.8. Dusík.....	31
2.8.1. Koloběh dusíku.....	31
2.8.2. Dusičnany.....	32
2.8.3. Dusitany	35
2.8.4. Amoniakální dusík (NH_4^+ , NH_3).....	36
2.8.5. Dusík a jeho sloučeniny ve vodě	37
3. Materiál.....	40
3.1. Povodí Kopaninského toku	42
3.2. Sběr dat.....	46

4. Metody.....	50
4.1. Použité metody separace základního odtoku.....	50
4.1.1. Killeho Metoda (metoda minimálních měsíčních průtoků)	50
4.1.2. Digitální filtr dle Chapmana	51
4.2. Statistické metody	52
5. Výsledky a diskuze.....	53
5.1. Srovnání metod separace odtoku.....	53
5.2. Analýza hydrologických charakteristik.....	58
5.3. Koncentrace dusičnanů v celkovém odtoku	60
5.4. Koncentrace dusičnanů v základním odtoku	64
6. Závěr.....	66
6. Seznam literatury:	68

1. Úvod

Voda se v přírodě účastní všech podstatných biologických procesů, fyzikálních a chemických pochodů a tvorby klimatu. Vodu potřebuje fauna, flóra a především člověk, který byl od nepaměti vázán na místo jejího výskytu. Je v zemské atmosféře, oceánech, pevninách, tvoří toky a přirozené i umělé vodní nádrže. Bez vody by nebylo života na Zemi. Ale díky stále častějším zásahům člověka do životního prostředí je stále náročnější zabezpečit dostatek kvalitní vody. Ochrana vodních zdrojů je stále obtížnější a složitější. Voda se na Zemi vyskytuje v omezeném množství a je nerovnoměrně prostorově i časově rozložena. Z toho důvodu je zapotřebí s ní velmi dobře hospodařit. Je nutné znát zákonitosti výskytu a oběhu vody v přírodě, její vlastnosti a možnosti jejího využití neboť 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 také vliv i na nepatrné změny v chuti vody.

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. 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).

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

Kvalitu vody zjistíme chemickým rozbořem 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 BSK a chemické spotřeby kyslíku CHSK patří mezi nejvýznamnější ukazatele znečištění vody obsah amoniakálního a dusičnanového dusíku a celkový fosfor. Stanovení všech forem anorganického dusíku je nezbytnou součástí rozboru pitných vod. U povrchových a odpadních splaškových vod a při analytické kontrole biologických čistíren je jejich stanovení součástí dusíkových bilancí.

K největším znečištěním 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).

O důležitosti sledování základního odtoku svědčí i fakt, že už od roku 1976 se započalo v rámci Hydrofondu ČHMÚ s vyhodnocováním základních odtoků jako ukazatele přírodních zdrojů podzemních vod (KESSL, KNĚŽEK, 2000).

Cílem této diplomové práce byla explanace hydrologie podzemních vod se zaměřením na odtok základní. Dále byla v diplomové práci posuzována vhodnost různých metod pro výpočet základního odtoku. Mezi těmito metodami jsou v diplomové práci podrobně popsány a použity dvě metody pro separaci základního odtoku, konkrétně Killeho metoda minimálních měsíčních průtoků a separace odtoku metodou dle Chapmanova digitálního filtru. V práci byl také podrobně analyzován vývoj jakosti vody z hlediska koncentrací dusičnanového dusíku v základním odtoku v průběhu 3 hydrologických let (2009-2011) na zájmovém subpovodí P6. V práci jsou rozebrány sloučeniny dusičnanového dusíku, jeho koncentrace v základním a

celkovém odtoku, které představují prakticky nejrozšířenější typ znečištění vod a ohrožují vody podzemní, používané jako zdroje pitné vody.

2. Literární řešerše

2.1. 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 (déšť, 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.

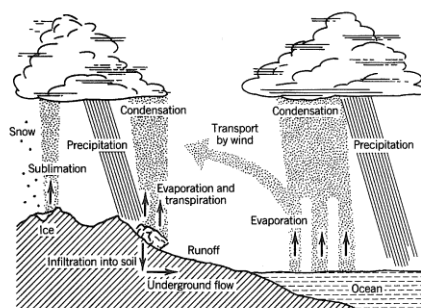


Figure 1.1
Schematic representation of the hydrologic cycle.

obr. č. 1: Hydrologický cyklus

Zdroj: (DOMENICO A SCHWARTZ, 1998)

2.3. Hydrologická bilance

Při hydrologické bilanci se vychází ze základního předpokladu, že jediným zdrojem vody, která se zúčastňuje oběhu v přírodě, jsou srážky (KŘÍŽ, 1983). 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,

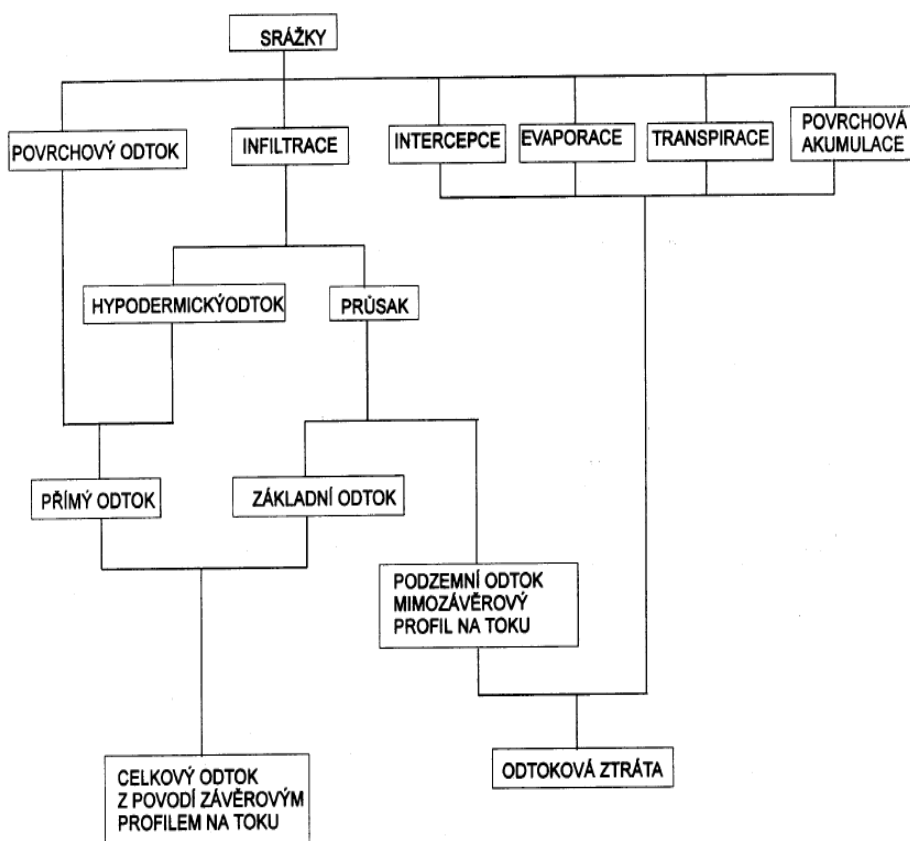
H_r, H'_r – zásoby povrchové a podpovrchové vody na území na začátku a konci uvažovaného období,

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 odečte 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 odečte 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 intercepcí. 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 nezteče. 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). Zadržaná voda ze srážek může být evaporována do atmosféry či nakonec steče na zemský povrch (SMITH A WHEATCRAFT, 1993).

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,

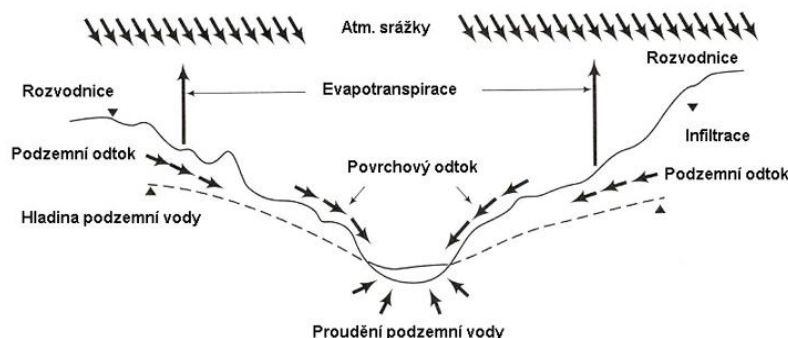
H_{oi} – průsak půdní vody k hladině podzemní vody,

H_e – spotřeba vody na výpar,

Hz – 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)

2.4. Složky odtoku a jejich geneze

Celkový odtok

Celkový odtok je hlavní odvod vody z povodí. Skládá se ze tří částí. Jednoduché rozdělení odtoku na jeho jednotlivé složky je následující:

- základní odtok,
- hypodermický odtok a
- nasycený povrchový odtok.

Celkový odtok 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. Jiné dělení složek odtoku podle rychlosti odezvy na příčinnou srážku je na odtok přímý a základní.

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 uváděn jako pomalu se měnící tok v období bez deště (CHOW A KOL., 1988). V návaznosti na práce OLMER A KOL. (1972) se od roku 1976 započalo v rámci Hydrofondu ČHMÚ s vyhodnocováním základních odtoků jako ukazatele přírodních zdrojů podzemních vod.

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). Představuje tu část vody, která odtéká po povrchu málo propustných nebo dočasně nasycených půd, nebo z trvale nasycených zón v blízkosti vodních toků.

HORTON (1933) dělí odtok na odtok z překročení infiltrace. Odtok z překročení infiltrace je typ odtoku, který 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, 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. BRUTSAERT (2005) objevil typ povrchového odtoku z překročení nasycení. 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. 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).

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).

Primárním vstupem vody pro tento odtok je infiltrovaná voda (ŽLÁBEK, 2009). BRUTSAERT (2005) tento typ odtoku dělí na několik následujících typů:

- Podpovrchový odtok makropóry a jinými preferenčními cestami. Důvodem tohoto odtoku je vysoušení půdy i biologická aktivita (jako nejčastější původci makropórů) odehrávají blízko povrchu půdy, vyskytují se makropóry ve svrchních vrstvách půdního profilu.
- Podpovrchový odtok mělkou permeabilní vrstvou. 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.
- 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.

ŽLÁBEK (2009) uvádí ještě podpovrchový odtok nenasycený, který může trvat až několik týdnů po srážce.

Hypodermický a nasycený povrchový odtok spolu dohromady vytvářejí přímý odtok. Přímý odtok 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 KOL., 2001).

2.5. 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 podíl podzemní vody z tekuté vnitrozemské vody na 90 % (SERRANO, 1997). Podzemní vody proudí skrz navzájem propojené póry, mikrotrhlinami mezi hranicemi zrn a trhlinami větších rozměrů (SMITH A WHEATCRAFT, 1993). Podzemní odtok je nepřetržitým přítokem vody do vodních toků a nádrží díky relativně pomalé rychlosti proudění podzemní vody a její dlouhé době zdržení ve zvodních. Tento přítok tedy v bezesrážkových obdobích zajišťuje minimální výšky hladin ve vodních nádržích a minimální průtoky ve vodních tocích (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.

Podzemní voda

Podzemní voda tvoří podíl o velikosti 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. Tvoří tak významný a nenahraditelný zdroj vody pro zásobování obyvatelstva (KŘÍŽ, 1983). Množství vody 0,06% reprezentuje 98% veškeré pitné vody využitelné pro člověka (SCHWARTZ A ZHANG, 2003). Využívání a ochrana podzemní vody však vyžaduje znalosti zákonitostí jejího výskytu i oběhu (KŘÍŽ, 1983). Potřebná je znalost různých faktorů pro zjištění velikosti zásob a kvality podzemní vody. Z tohoto hlediska je důležitý i odtok základní. Pro zjištění velikosti základního odtoku byla vytvořena řada metod. Tyto metody se liší nároky na potřebná data, způsobem zpracování, finanční náročností i jejich výsledky. Také je nutné si uvědomit, že ne každá metoda je vhodná pro použití na všech lokalitách (KŘÍŽ, 1983).

Hydrologie podzemních vod

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 (KŘÍŽ, 1983).

2.6. 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. Využívá se při analýze povodňových vln k oddělení přímého odtoku od odtoku základního. Přímý odtok je vyvolán bezprostředně předcházející srážkou. Základní odtok 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 odtoků (základní a přímý), bývá vyčleňována třetí hlavní složka, v češtině podle ČSN 726530 (1983) označovaná jako hypodermický odtok, 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 metodu 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).

2.6.1. Metoda Klinera a Kněžka

Metoda Klinera - 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:

$$Oz = f(H), \quad (\text{rov. č. 4})$$

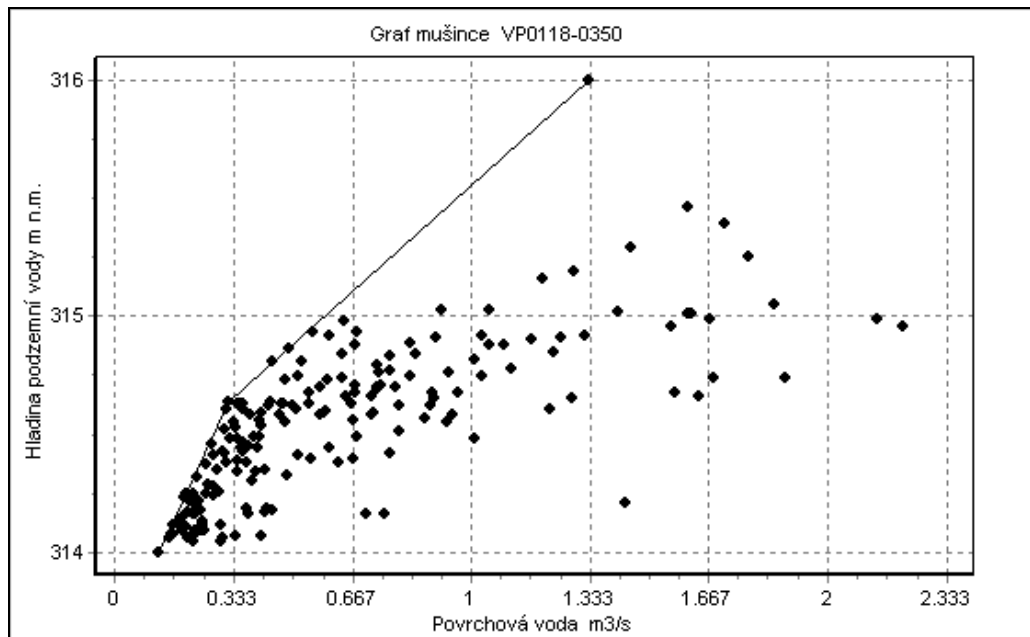
Kde: Oz - základní podzemní odtok v recipientu,

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

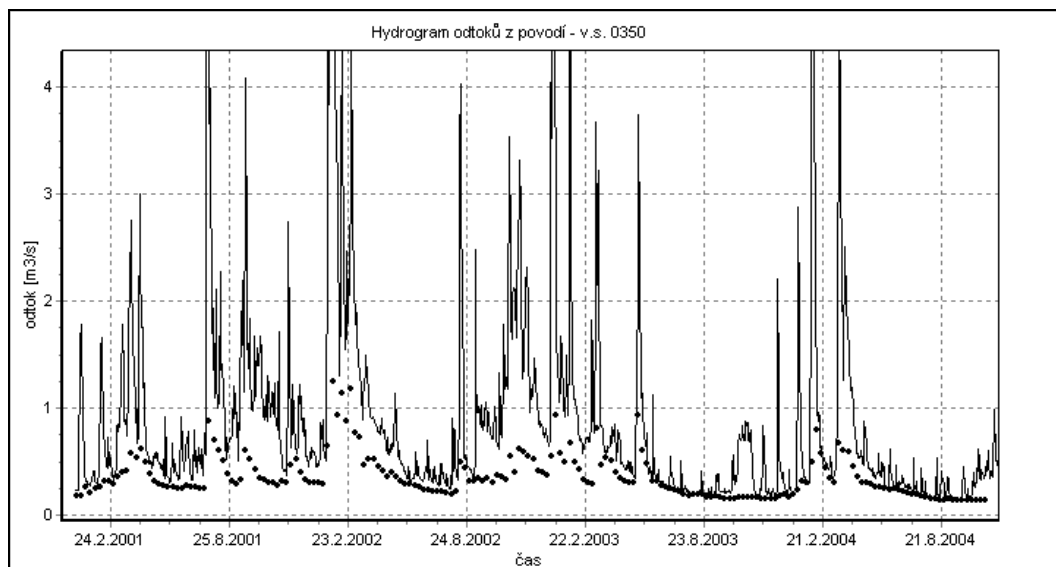
Vynášeli-li se tedy do bilogarithmické soustavy odpovídající si dvojice průtoků a kolísání hladin podzemní vody, měly by body z období, kde je celkový odtok dotován jen podzemními vodami, vytvořit přímkovou závislost. Naopak všem obdobím se smíšeným průtokem musí nutně odpovídat body, udávající pro určitý rozdíl hladin podzemní vody, větší průtok. Tento poznatek byl využit tak, že místo výběru období vynášíme do závislosti všechny naměřené dvojice povrchového průtoků a rozdílů 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



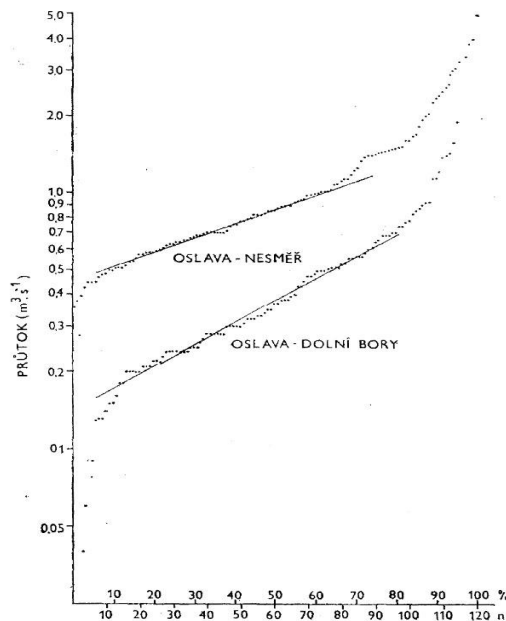
Obr. č. 5. Příklad rozčleněného hydrogramu odtoku v závěrečném vodoměrném profilu Třebovky

2.6.2. 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).

2.6.3. Metoda Killeho (metoda minimálních měsíčních průtoků)

Tato metoda je založená 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)

2.6.4. Metoda BFI (Base Flow Index)

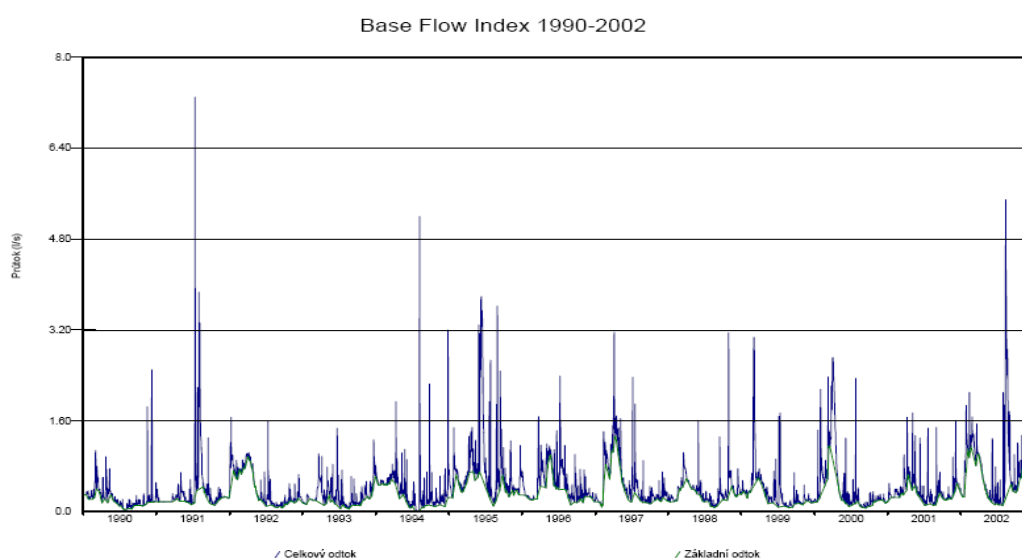
Metoda je kombinací analýzy lokálních minim spolu s křivkou vyprazdňování (GUSTARD A KOL., 1992). Tuto metodu vyvinul Britský hydrologický institut v roce 1980. Původně tato metoda měla sloužit k pozorování změn zásob vody ve vodních nádržích ve Velké Británii. Ale bylo zjištěno, že lze tuto metodu použít 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

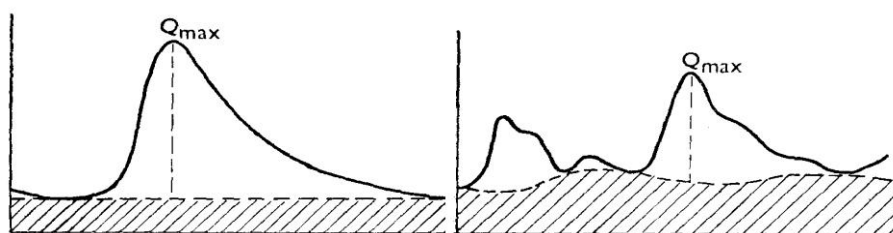
2.6.5. Metoda separace hydrogramu

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 a přímým odtokem v podobě čáry spojující měsíční minimální průtoky, v podobě různě lomené přímky, která do jisté míry přihlíží i ke tvaru průtokové vlny, tj. přechodného zvětšení a 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).

2.6.6. Metoda GROUND

Metoda Ground („separation of GROUNDwater runoff“) byla vypracována Doležalem a Jainem (JAIN, 1997). Vznikal 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 průtoků se považuje za přímý odtok. (Taktó 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 průtoků (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 dny předtím:

$$X(I)-X(I-2), \quad (\text{rov. č. 5})$$

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 přírůstku 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).

2.6.7. 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 (údaje o hladinách podzemních vod, o vlhkosti půdy, srážkových poměrech apod.), s plánovanou budoucí aplikací na data drenážních odtoků. Stejně jako u předchozí popisované 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 déšť). 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).

2.6.8. 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)). Při používání filtru je nezbytné odhadnout velikost koeficientu (parametru) pomocí jiné metody – Analýza poklesové větve, nebo použít již osvědčenou hodnotu koeficientu pro dané podmínky (velikost povodí, formát vstupních dat). Metoda dle Chapmana odděluje složku podpovrchovou, nebo-li

hypodermickou a složku podzemní nebo-li základní. Je to metoda založená na zpracování signálu pomocí následujících rovnic (CHAPMAN 1999):

$$Q_b(i) = \frac{k}{2-k} Q_b(i-1) + \frac{1-k}{2-k} Q(i)$$

(rov. č. 6)

$$Q_b(i) \leq Q(i)$$

Kde: $Q_b(i)$ je průměrný průtok základního odtoku v i -tém dni

$Q(i)$ je průměrný celkový průtok v i -tém dni

k je bezrozměrný koeficient, je to poklesová konstanta hydrogramu během období bez přímého odtoku.

2.7. 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 jakýmkoli 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 metody 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 uzavřevém 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 (KILNER A KNĚŽEK, 1974). Přes to 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.

2.8. Dusík

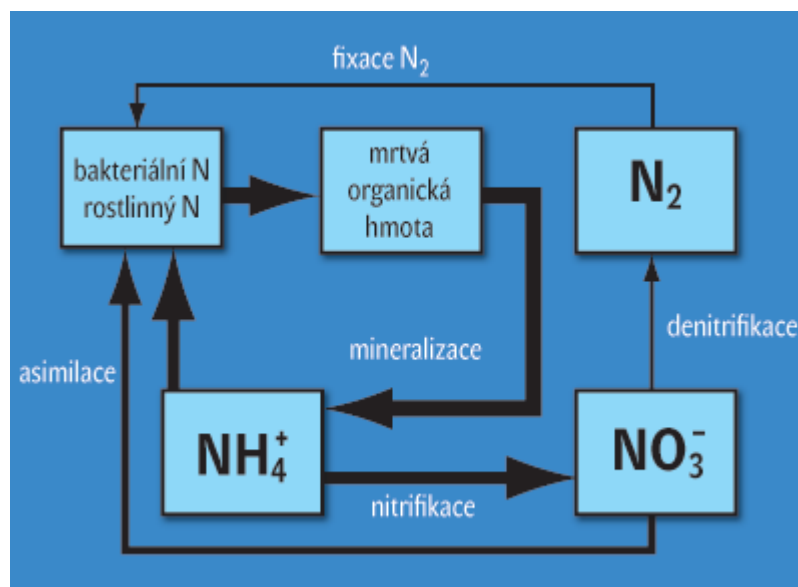
Dusík je jednou z nejdůležitějších složek koloběhů látek v přírodních ekosystémech, resp. jeho různé sloučeniny. Patří mezi hlavní biogenní prvky. Je esenciální součástí všech živých organismů. Je přítomen v tělech rostlin, živočichů i bakterií, také v odumírající a mrtvé organické hmotě i v produktech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

2.8.1. Koloběh dusíku

Dusík nepatří mezi nejběžnější prvky na Zemi. 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 (ŠIMEK, 2008). Významným antropogenním zdrojem dusíku jsou splaškové odpadní vody, odpady ze zemědělství, splachy ze zemědělsky obdělávané půdy hnojené dusíkatými hnojivy a některé průmyslové odpadní vody (PITTER, 2009). V posledních staletích však množství dusíkatých látek ovlivňuje člověk. Těží dusíkaté horniny a minerály a používá je jako hnojiva a vyrábí amoniak ze zkapalněného vzduchu. Dusík z těchto výrobků se v plynné formě vrací zpět do atmosféry. Rostliny i mikroorganismy přijímají převážně jednoduché

dusíkaté ionty – nitráty (NO_3^-), nitrity (NO_2^-) a amonné ionty (NH_4^+). Některé bakterie a sinice mají navíc schopnost využívat (fixovat) molekulární dusík (N_2). Půda obsahuje dosti značné množství dusíku, avšak rostliny a mikroorganismy ho mnoho odčerpávají. Proto se musí dusík do zemědělských půd pravidelně dodávat. Často se však hnojí přespříliš a přebytečný dusík se uvolňuje do vody a ovzduší (ŠIMEK, 2008). Plynný dusík N_2 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. (ŠIMEK, 2008).

Na obrázku č. 10. jsou znázorněny hlavní procesy přeměn dusíku v suchozemském ekosystému. Tloušťka čar znázorňuje velikost přenosů dusíku.



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

2.8.2. Dusičnany

Dusičnany jsou z komplexu škodlivých forem dusíku nejméně toxické. Rostliny je využívají jako stavební látky (NOVÁK A HOFMANN, 1996). Všechny

dusičnany jsou rozpustné ve vodě. Vyskytují se tam v iontové formě NO_3^- . Za jejich zdroj se považuje nadměrné používání dusíkatých hnojiv, které je hlavní příčinou vysokých koncentrací dusičnanů. Hnojiva se smyvem dostávají do povrchových vod a následným průsakem pak infiltrují do vod podzemních. Z půdy jsou odčerpávána zemědělskými plodinami, proto by mělo platit i to, že koncentrace dusičnanu v tocích je nižší v době růstu zemědělských plodin a vyšší v době vegetačního klidu, kdy jeho zásoby v zemědělské půdě nejsou plodinami odčerpávány (MICHEK, 1992). Pro člověka jsou dusičnany samy o sobě málo škodlivé. Lidský organismus je z těla poměrně rychle vyloučí. Nebezpečí představuje jeho možná 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. K onemocnění jsou náchylní kojenci do tří měsíců věku. Pro kojence dusitan představuje nebezpečí udušení, podobně jako při otravě oxidem uhelnatým. 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. Z hlediska lidské výživy není pitná voda jediným zdrojem dusičnanů. 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). Dusitan se slučuje v žaludku se sekundárními aminy z potravy na kancerogenní N-nitrosoaminy. Byla prokázána i statistická závislost obsahu dusičnanu ve vodě a zvýšeného výskytu rakoviny jater, žaludku, tlustého střeva a močového měchýře (KOUBÍKOVÁ, 1980). Bylo také prokázáno, že nejvyšší koncentrace dusičnanového dusíku ve vodách vykazují zorněná odvodněná povodí. (FUČÍK A KOL., 2012)

2.8.2.1. 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.

Pokud je voda mikrobiálně nezávadná, obsah dusičnanů do 50 mg/l je z hlediska methemoglobinémie 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 methemoglobinémii 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:

$$\frac{NO_3^-(mg/l)}{50} + \frac{NO_2^-(mg/l)}{3} \leq 1 \quad (\text{rov.č. 7})$$

Kde: NO₃⁻ je naměřená hodnota dusičnanů,

NO₂⁻ 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. (MICHEK, 1992).

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, 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 kojení méně vhodná. Jedná se o některé ukazatele s mezní hodnotou, kde limity nejsou vždy stanoveny z hlediska zdravotního, ale technického nebo senzorického: 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 nitrátové 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 nitrátové 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).

2.8.3. Dusitany

Dusitany obvykle vznikají jako přechodný člen v cyklu dusíku při biologické redukci dusičnanů či biologické oxidaci amoniakálního dusíku. Zpravidla doprovázejí dusičnany a amoniakální dusík, většinou však v malých koncentracích, neboť jsou velmi nestálé. Obsaženy jsou ve všech typech vod. V atmosférických vodách jsou anorganického původu, kde vznikají oxidací elementárního dusíku elektrickými výboji při bouřkách a v minerálech se nevyskytují vůbec. Ve vodách se vyskytují 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 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} $\text{NO}_2\text{-N}$ mohou být toxické pro ryby. ČSN připouští maximálně 0,1 $\text{mg/l NO}_2\text{-}$ v pitné vodě (HORÁKOVÁ A KOL., 2000). Dusitany jsou ve vodě velmi nestálé, proto je nutno vzorky vody analyzovat ihned po odběru, není-li to možné, je nutno vzorky vody konzervovat (PITTER, 1999).

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

2.8.5. Dusík a jeho sloučeniny ve vodě

Již bylo lokalizováno velké množství zdrojů znečištění podzemních vod jako 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, a materiálů, používaných k odstraňování námrazy z vozovek silnic. Některé z těchto zdrojů se označují jako bodové zdroje znečištění, což umožňuje pouze lokalizaci kontaminace infiltračního povodí. Mezi typické plošné znečištění patří používání septických systémů v hustěji obydlených předměstských oblastech či zavlažování. Dusík a některé toxické kovy jsou příkladem znečišťujících látek, které mohou vážně kontaminovat zdroje podzemní vody (NOVOTNÝ A CHESTERS, 1938). 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 kmene bakterií schopných fixovat elementární dusík, jednak kmene 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).

GERGEL A KOL. (1994) také uvádí, že obecně vyšší jsou koncentrace dusičnanů v předjaří a na jaře, neboť nemají přes zimu jako produkty probíhající nitrifikace odpovídající možnosti odběru biomasou rostlin. To se shoduje s tvrzením PITTEA (1999) a KVÍTKA A KOL. (2007), který říká, že sezónní dynamika vyplavování nitrátů z travních porostů obvykle vykazuje dva vrcholy, z toho první je výraznější a vzniká v období vegetačního klidu až předjaří a druhý, méně významný, je více závislý především na srážkových poměrech po sklizni 1. sečí (poslední dekáda května). STENBERG A KOL. (1999) vysvětluje největší dusičnanové ztráty během podzimu, zimy a začátkem jara nízkým výparem, vysokými srážkami a absencí vegetace. Atmosférické vlivy zkoumali také HABERLE A SVOBODA (2008), kteří uvádějí, že v oblastech a letech, kde úhrn efektivních srážek (tj. ta část srážek, která skutečně zasáhne do půdy a neodpaří se ani neodteče po povrchu) dosahuje 150 mm a více, existuje zvýšené riziko vyplavení dusíku, zvláště na lehčích a středně těžkých půdách. Všechny členské státy EU mají za povinnost rozvíjet ochranu povrchových a podzemních vod pomocí politických rozhodnutí a následně i pomocí legislativy. Mezi nejdůležitější právní předpisy patří tzv. „Rámcová směrnice“, jejímž cílem je zlepšení vodního statutu všech přírodních vod včetně podzemních vod do 15 let od její implementace do národních legislativ. Definice „dobrého ekologického stavu vod“ (ES) je založena na koncepci, která zahrnuje biologické, chemické a fyzikální vlastnosti vody. „Dobrý ekologický stav vod“ je ovšem značně negativně ovlivňován přísunem nutrientů ze zemědělsky obhospodařovaných ploch. (KVÍTEK A KOL., 2012).

Znečištění podzemních vod z průmyslových odpadních vod, kanalizací a rozsáhlého zemědělství se nazývá agrochemické znečištění. Agrochemikálie jsou chemické látky záměrně užívané v zemědělství např. pesticidy, herbicidy,

insekticidy, fungicidy, rodenticidy atd., regulátory růstu, veterinární léčiva atd., jejichž rezidua mohou zůstat v potravinách. Matematické modelování pomáhá analyzovat stávající situaci a umožňuje předpovídání, a vyhodnocování dopadů změn v okolí na kvalitu vody (MURTHY A KOL., 2009). Principy vyplavování dusíku z půd jsou ovlivněni hned několika faktory např. rozpustnost ve vodě, afinita k různým půdním částicím atd.. Svou roli zde hrají i odlišné půdní podmínky a biogeochemické procesy a vlastnosti formování složek odtoku, různé cesty dusičnanového dusíku do recipientu či do drenážního systému a různý podíl těchto složek na celkovém odtoku (BYSTRICKÝ, 2012).

Výluh agrochemických pesticidů, které představují dusičnanovou hrozbu, do povrchových nebo podzemních vod probíhá prostřednictvím několika dopravních mechanismů a může být ovlivněn celou řadou hydrologických a s půdou souvisejících faktorů. Kromě toho je pohyb každého pesticidu od místa aplikace na cílovou plodinu značně ovlivněn fyzikálně-chemickými vlastnostmi jednotlivých půd. Jestli se pesticid v půdě udrží nebo se dostane do vodních zdrojů, závisí právě na druhu a typu půdy. Konvenční pěstování způsobuje opakované narušení půdního profilu, a tím ovlivňuje jeho strukturu, obsah organické hmoty, obsah vlhkosti, množství biomasy a pórovitost půdy. Snížení nároků na půdu umožní větší stabilitu půdy i půdních pórů. Snížením pěstování se však zvyšuje obsah organické hmoty a tím i biomasy, která je důležitá pro biodegradaci pesticidů. Tyto vlastnosti půdy, spolu s hydrologickými podmínkami způsobují vyplavování pesticidů do povrchových a podpovrchových vrstev. Výzkumy ukazují, že při porovnání konvenčně obdělávané půdy s půdou, na které došlo ke snížení pěstování, se ztráty pesticidů vyluhováním mohou zvyšovat nebo snižovat. Obor hydrologie pečlivě vyhodnocuje a zkoumá, jak je vyluhování ovlivněno způsobem hospodaření na půdě. Množství pesticidů se pravidelně kontroluje a je s nimi pečlivě manipulováno, aby bylo riziko vyluhování pesticidů do vodních zdrojů minimalizováno (ROSE, CARTER, 2003).

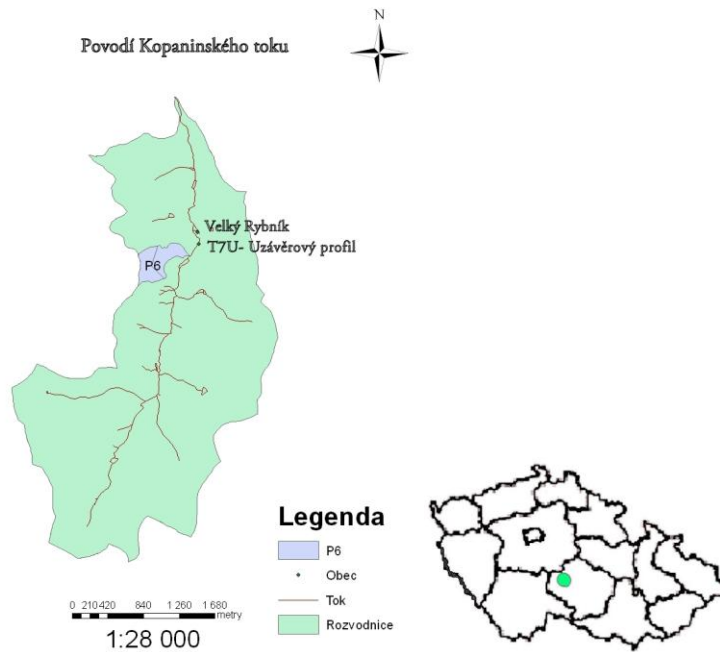
Použití vegetace a ochranných pásem, konkrétně úzkých pufrálních proužků v rovinných oblastech vyznačujících se velmi nízkými gradienty, které mohou vést k velmi pomalému toku z polí do vodních toků zkoumal BALESTRINI A KOL. (2004). Použitím těchto proužků okolo intenzivně obdělávaných a hnojených polí

došlo ke zmírnění účinků pronikání dusičnanů do povrchových a podpovrchových vod. Tato strategie představuje důležitý objev pro výrazné snížení znečišťování. Významné pro zadržování a odstraňování dusíku z povrchových a podzemních vod jsou i lužní lesy. Význam lesního ekosystému spočívá v jeho přirozené schopnosti zadržovat eutrofizující prvky v biomase a v půdě při povodňových situacích resp. při využití řízeného povodňování a zvodňování. Srážky pod lesními porosty lužních lesů mají přibližně dvojnásobně větší koncentrace dusíku oproti srážkám z volné plochy. Předpokládá se, že dochází k obohacování srážek o dusík při průchodu korunami stromů (GALVIS, SVĚTLÍK, MENŠÍK, 2012).

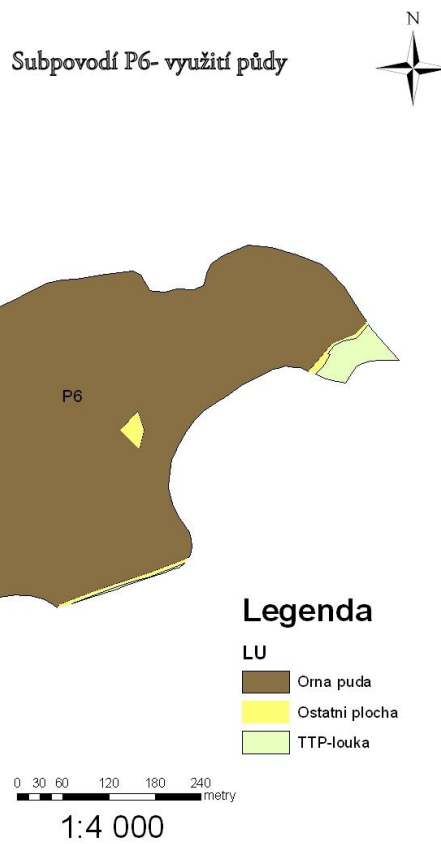
Celkové množství vyplavovaných dusičnanů do povrchových vod určují také vztahy mezi zemědělským hospodařením a základními charakteristikami povodí včetně hydrologických procesů (BYSTRICKÝ, 2012). CHALK A KEENEY (1971) naznačují, že i mnohé vápence jsou potenciální zdroje NO_3^- pro podzemní vody. Ve Wisconsinských vápencích byly objeveny nejružnější koncentrace NH_4^+ a NO_3^- . 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.

3. Materiál

K řešení této diplomové práce bylo vybráno pokusné povodí Kopaninského toku. Konkrétně výzkum probíhal na malém subpovodí do 1 km² označeném jako P6. Subpovodí P6 je součástí povodí T7U (Kopaninský tok), je pokusným povodím Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy v.v.i. Profil P6 je umístěn za výstí drenážní soustavy, je to tedy drenážní profil. Krajinou matricí je zde orná půda (převládající využití půdy). Podíl stabilních kultur na rozloze povodí je 4,1 %. Na obr. č. 11. Je zobrazeno celé povodí Kopaninského toku a jeho subpovodí P6. A na obr. č. 12 je zobrazeno využití půdy v subpovodí P6.



Obr. č. 11.: Povodí Kopaninského toku a jeho subpovodí P6



Obr. č. 12.: Subpovodí P6- využití půdy

3.1. Povodí Kopaninského toku

Povodí Kopaninského toku je sledováno Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy, v.v.i. od roku 1985. Povodí leží v kraji Vysočina v okrese Pelhřimov (průměrná zeměpisná šířka povodí je 49° 28' s. š. a průměrná zeměpisná délka 15° 17'. Nadmořská výška v místě pramene Kopaninského toku je 578 m, v místě ústí toku 467 m, průměrná nadmořská výška Kopaninského toku je 523 m. Celé povodí leží severovýchodně od Pelhřimova ve výseči tvořené silnicemi I. třídy č. 34 a č. 19. Rozloha povodí Kopaninského toku činí 6,9 km² s délkou toku 5,9 km a průměrným sklonem hlavní údolnice 2,6 %. Srážkový úhrn ve vegetačním období se pohybuje od 350 do 450 mm, v zimních měsících od 250 do 300 mm. (KVÍTEK A KOL., 2012). Pro přehlednost jsou základní charakteristiky Kopaninského toku zobrazeny v tab. č.1. Dále v tab. č.2. jsou zobrazeny kategorie využití území ve sledovaném subpovodí P6.

Tab č.1. Základní charakteristiky Kopaninského toku.

Název toku	Kopaninský tok
Průměrná zeměpisná šířka	49° 28' s. š.
Průměrná zeměpisná délka	15° 17' v. d.
Nadmořský Výška	467 - 578 (prům. 523) m. n. m.
Plocha [km ²]	6,99
Délka toku [km ²]	5,9
Hydrologické pořadí toku	1-09-02-031
Nadřazené vodní toky	Jankovský potok, Želivka, Sázava, Vltava, Labe
% orné půdy	45
% TTP	13
% lesů	36

% odvodněných ploch	10
Průměrné roční srážky [mm]	665 (Humpolec, 1910 - 50)
Průměrná roční teplota [°C]	7,0 (Humpolec, 1901 - 50)
Horninové podloží	pararula
Převládající půdní typ	kambizem

Zdroj: (ŽLÁBEK, 2009).

Tab. č.2. Kategorie využití území ve sledovaném subpovodí P6

Kategorie využití území	[ha]	[%]
Plocha	15,73	100
Orná půda	15,08	96
TTP	0,38	2
Lesy	0	0
Vodní plochy	0	0
Sady a zahrady	0	0
Zastavěné území	0	0
Ostatní plochy	0,27	2
Drenážní systémy	9,68	62

Zdroj: (KVÍTEK A KOL., 2012).

Pedologie

Z hlediska pedologie, představuje povodí Kopaninského toku zemědělskou oblast bramborářsko-žitného subtypu. Převažujícím půdním typem je kambizem kyselá, v nivních polohách půdy s různými stupni oglejení. Co se týče svažitosti pozemků převažují 2 až 5° v rozsahu až do 20°. Odvodněno je 10 % území, to je 82,5 ha, což je 16 % ze zemědělské půdy. Téměř polovina rozlohy povodí Kopaninského

toku je využívána intenzivně zemědělsky jako orná půda (96%) a více než třetinu pozemků pokrývají lesy. Ostatní pozemky jsou využívány následovně: TTP - 13 %, zahrady - 0,9 %, zastavěné plochy - 0,4 %, vodní plochy - 0,5 %, zbytek je uveden v katastru nemovitostí jako ostatní plochy (např. cesty a jejich bezprostřední okolí), sady nebo jako parcela nenalezena v SPI. Lesy tvoří 30 % území a zbytek 0,7 % jsou vodní plochy (ŽLÁBEK, 2009). V mikropovodí P6 je krajinnou maticí orná půda (převládající typ využití půdy). Podíl stabilních kultur na rozloze povodí je 4,1 %. Na obr. č. 13 je zobrazeno subpovodí P6 a půdní typy, které se na něm vyskytují.

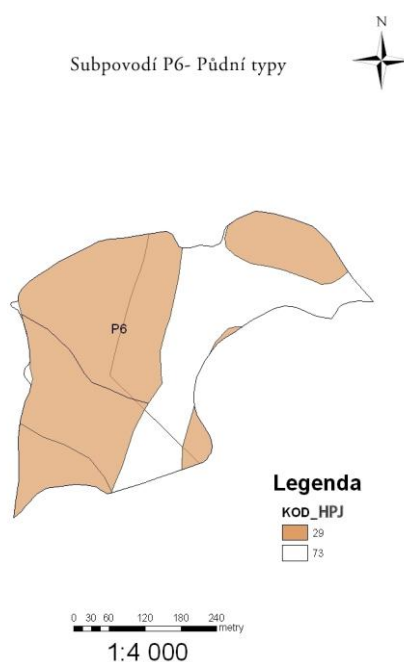
Vyskytující se půda:

Skupina hnědých půd – kambizemě, hnědé půdy (HP), výjimečně rendzina (RA) a rendzina hnědá (RAh) a jejich oglejené variety a hnědé půdy kyselé (HPa).

Skupina mělkých půd – kambizemě, rankery, litozemě.

Oglejená půda – pseudogleje, kambizemě oglejené a pseudogleje modální

Glejová půda - kambizemě oglejené, pseudogleje glejové, gleje hydroeluviální a povrchové, pseudogleje hydroeluviální.



Obr. č. 13.: Subpovodí P6 – půdní typy

Geologie

Z hlediska geomorfologického patří povodí Kopaninského toku do oblasti Českomoravské vrchoviny, celku Křemešnické vrchoviny, podcelků Želivské pahorkatiny a Humpolecké vrchoviny, na rozhraní okrsků Košetické a Vyskytenské pahorkatiny (DEMEK, 1987).

Území náleží k erozně denudačnímu typu reliéfu. Geologický podklad je pararula. Povodí Kopaninského potoka je součástí hydrogeologického rajónu 652 – Krystalinikum v povodí Sázavy zahrnující povodí Želivky a povodí Sázavy po Zruč nad Sázavou. Horniny krystalinika mají puklinovou propustnost, která v dosahu zvětrávacích procesů závisí hlavně na charakteru zvětralin. Relativně lepší puklinovou propustnost mají granitoidy moldanubického plutonu vyskytující se v jižní části povodí. Z kvartérních sedimentů mají větší hydrogeologický význam fluvialní akumulace sedimentů údolních niv a některá mocnější eluvia. Propustnost kvartéru se mění podle uloženin. Pro území jsou charakteristické mělké zvodně vázané na povrchovou zónu kvartérních uloženin, zónu zvětrávání, případně povrchového rozpojení hornin. Oběh vody má lokální charakter. Infiltrace probíhá v celé ploše kolektoru v závislosti na propustnosti zvětralinového pláště. K odvodňování dochází v úrovni nebo nad místní erozní bází (ŽLÁBEK, 2009).

Klima

Z klimatického hlediska se jedná o oblast mírně teplou, mírně vlhkou, s mírnou teplou zimou a dlouhým teplým suchým létem. Z fyto geografického hlediska náleží území ke Střednímu Povltaví. (AOPK ČR, (C) NATURA 2000, 2006)

Dlouhodobý průměr srážek $R = 665$ mm. Srážkový úhrn ve vegetačním období se pohybuje od 350 do 450 mm, v zimních měsících od 250 do 300 mm. Průměrná denní teplota vzduchu $t = 7$ °C, $t(\text{veg}) = 13$ °C. Počet letních dní je v zájmovém území 30 – 40, počet dní se sněhovou pokrývkou 60 – 100 (ŽLÁBEK, 2009).

Hydrologie

Povodí Kopaninského toku, hydrologické číslo 1-09-02-031, je levostranným přítokem Jankovského potoka, součástí povodí říčky Hejlovky, která je přítokem řeky Želivky (DEMEK, 1987).

3.2. Sběr dat

K řešení diplomové práce bylo vybráno mikropovodí P6, kde je již zajištěno kontinuální měření výšek hladin a je zde osazení měřící technikou umožňující celoroční kontinuální odběr vzorků vody. Na základě měření průtoků a koncentrací látek v tomto monitorovaném objektu je tak možno počítat a porovnávat látkové odnosy ze sledovaného mikropovodí Kopaninského toku za běžných vodních stavů i během extrémních srážkoodtokových událostí (KVÍTEK A KOL., 2008). Pro práci byla k dispozici data za hydrologické období 2009 – 2011. Pro separaci odtoku byly použity denní průtoky z uzávěrového profilu Kopaninského toku, subpovodí P6. Srážkové úhrny byly převzaty ze 2 srážkoměrných stanic. Kritickým předpokladem řešení však byly poruchové stavy srážkoměrných přístrojů, které v zimních měsících zamrzají (nejsou vyhřívány) a neumožňují tak odběr kompletních dat.

Měrný objekt P6 monitoruje odnos látek z drenážovaných orných půd. Profil je vybaven vzorkovačem pro odběr vody ISCO od firmy Technoaqua pro kontinuální odběr průměrných denních a událostních vzorků.

V profilu P6 byl vzorkovač ISCO umístěn na podstavec pod kryt (obr.č. 14 vlevo) , který má zabránit účinku nepříznivých vlivů počasí na přístroj. Sací hadice byla umístěna do výusti drenáže. Měření průtoků probíhá níže po toku na měrném přelivu Thomsonova typu (obr. č. 15) pomocí ultrazvukové sondy US1200 měřící výšku vodní hladiny se záznamovou jednotkou M4016 od firmy Fiedler-Mágr (obr. č. 16).



Obr. č. 14: Vzorkovač ISCO vlevo, sada 24 kusů vzorkovnic ze spodní části vzorkovače vpravo



Obr. č. 15: Měrný profil P6 - měrný přepad s ultrazvukovou sondou a dataloggerem vpředu, vzorkovač ISCO se solárním panelem vlevo vzadu



Obr. č. 16: Sestava pro měření průtoku od firmy Fiedler-Mágr. V předu ultrazvukový snímač hladiny US1200 se stojanem a v pozadí registrační jednotka M4016.

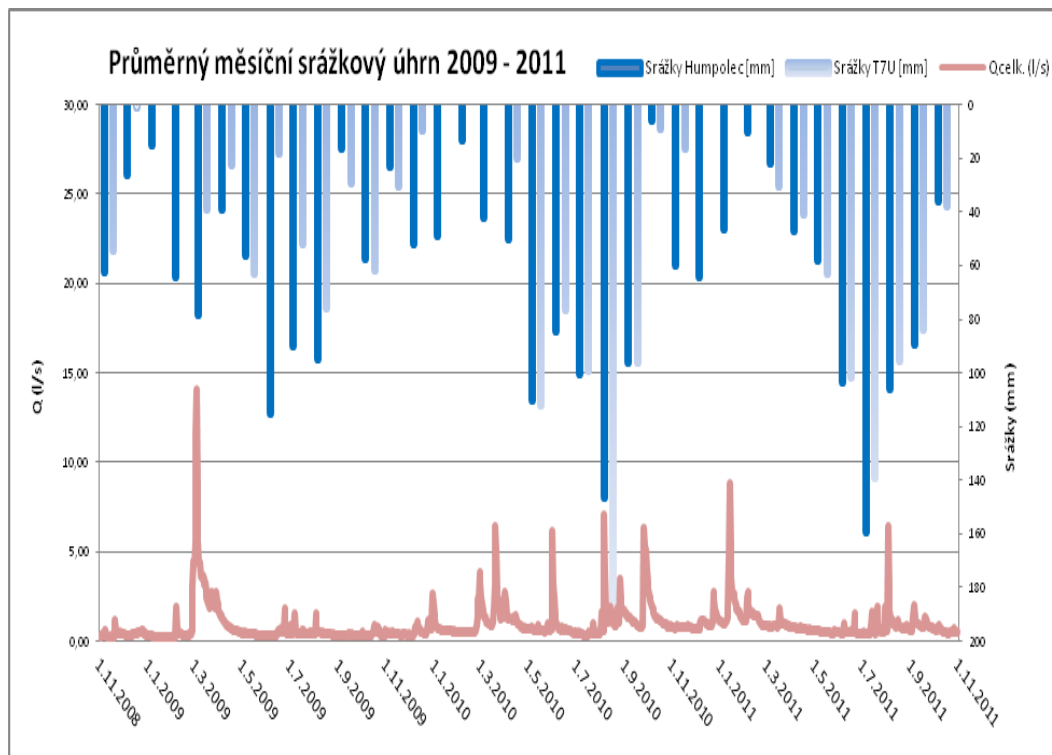
Zdroj: (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Profil je vybaven solárním panelem a je zde zajištěn přenos dat na internet. Tato služba poskytuje „nepřetržité“ informace o situaci v daných profilech, které jsou aktualizovány jednou denně při normálních stavech a každých 30 minut při stavech událostních.

Vzorkovač ISCO umožňuje různé nastavení programů. Na Kopaninském potoce byl na vzorkovačích nastaven dvoudílný program, který zajišťuje současně odběr průměrných denních vzorků a vzorků událostních. Z celkového počtu 24 lahví je v nastavení na průměrný denní vzorek rezervováno 8 kusů lahví, pro událostní vzorky zbývajících 16 kusů lahví. Vzorkovače jsou obsluhovány a vzorky vybírány a odváženy do laboratoře na rozbor jedenkrát týdně, pokud není z důvodu události potřeba častěji. Odběr průměrného denního vzorku je realizován jako odběr sléváný do jedné láhve v pravidelných časových intervalech; každé 4 hodiny, tedy 6krát denně, je do láhve o objemu 1l nadávkováno 155ml vody.

Denní srážkové úhrny pro povodí Kopaninského toku byly, jak již bylo řečeno, k dispozici dvoje a to ze srážkoměrné stanice Velký Rybník (T7U) a srážkoměrné stanice ČHMÚ Humpolec. Na stanici Velký Rybník však není vyhřívaný srážkoměr, proto údaje o srážkových úhrnech v zimních měsících chybí. V grafu č.1. jsem pro přehlednost zobrazila měsíční srážkové úhrny ze srážkoměrné

stanice VÚMOP Velký Rybník ve srovnání s daty ze srážkoměrné stanice ČHMÚ v Humpolci.



Graf č. 1: Měsíční srážkové úhrny ze srážkoměrné stanice VÚMOP Velký Rybník ve srovnání s daty ze srážkoměrné stanice ČHMÚ v Humpolci.

Z dat z obou stanic vidíme, že v obdobích kdy srážkové úhrny měřily obě stanice zároveň, jsou výsledné hodnoty srážek téměř totožné a reakce průtoku ve sledovaném povodí na tyto srážkové úhrny přirozená. Lze tedy předpokládat, že i hodnoty v zimních obdobích budou na obou místech obdobné. Z důvodu úplnosti časových řad ze srážkoměrné stanice Humpolec, budou dále pro účely této diplomové práce využity srážkové úhrny jen ze stanice Humpolec. Hodnoty ze stanice Velký Rybník (T7U) budou použity jen pro porovnání výsledků.

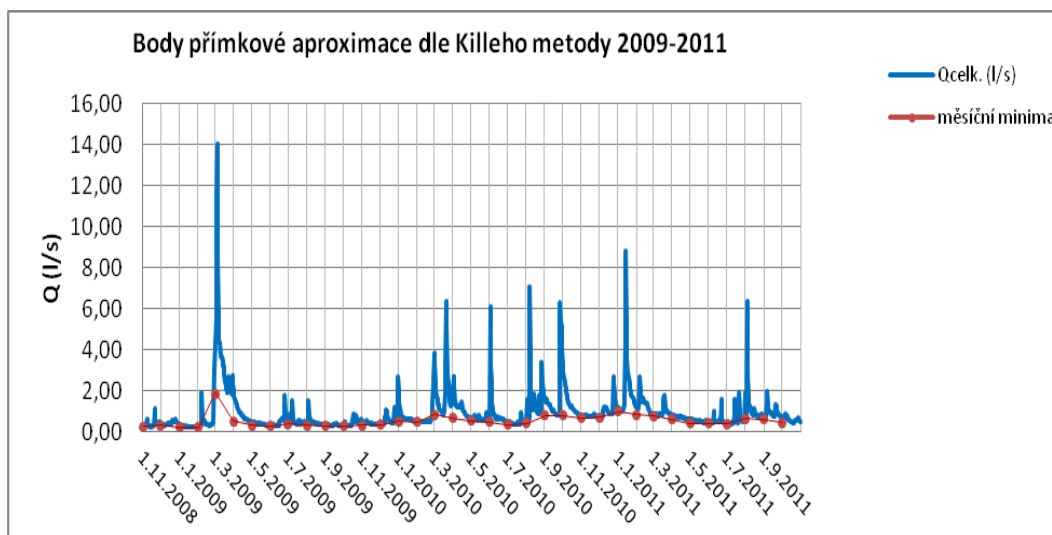
4. Metody

4.1. Použité metody separace základního odtoku

4.1.1. Killeho Metoda (metoda minimálních měsíčních průtoků)

Tuto metodu zveřejnil KILLE (1970). Metoda vychází pouze z nejmenších průměrných denních průtoků jednotlivých měsíců. Základem metody je tedy výběr nejmenšího denního průtoků v měsíci 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. Vzniklá křivka je tzv. čarou překročení. 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. Průběh množiny bývá tím pravidelnější, čím je zvolené období delší. Hodnoty ležící na této vyrovnávací přímce jsou zlogaritmovanými aproximovanými hodnotami základního odtoku. Po přenesení přímky do lineárního zobrazení vznikne exponenciála, která spolu s osami omezuje plochu představující celkové odteklé množství. Z této hodnoty se pak získá průměrný podzemní odtok za zpracované období (KILLE, 1970). Průměrný podzemní odtok z příslušného povodí za zvolené období odpovídá střední pořadnici získané přímky (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. Pro lepší znázornění základního odtoku stanoveného Killeho metodou jsme odlogaritmované hodnoty přímkové aproximace roztřídili dle původního pořadí a vrátili zpět do řady průtoků na místo nejmenšího měsíčního průtoků v každém příslušném měsíci.

V grafu č. 2 je zobrazen základní odtok dle Killeho metody vztažený na subpovodí P6 za tříleté hydrologické období.



Graf č. 2 : Body přímkové aproximace dle Killeho metody za hydrologické období 2009-2011

4.1.2. Digitální filtr dle Chapmana

Chapmanův digitální filtr (CHAPMAN A MAXWELL, 1996; CHAPMAN, 1999) rozlišuje odtok na složku podpovrchovou (hypodermickou) a podzemní (základní). Je to metoda založená na zpracování signálu jak již bylo uvedeno v kapitole 2.6.8. pomocí následujících rovnic (CHAPMAN 1999):

$$Q_b(i) = \frac{k}{2 - k} Q_b(i - 1) + \frac{1 - k}{2 - k} Q(i)$$

$$Q_b(i) \leq Q(i)$$

(rov. č. 6)

Kde: $Q_b(i)$ je průměrný průtok základního odtoku v i-tém dni

$Q(i)$ je průměrný celkový průtok v i-tém dni

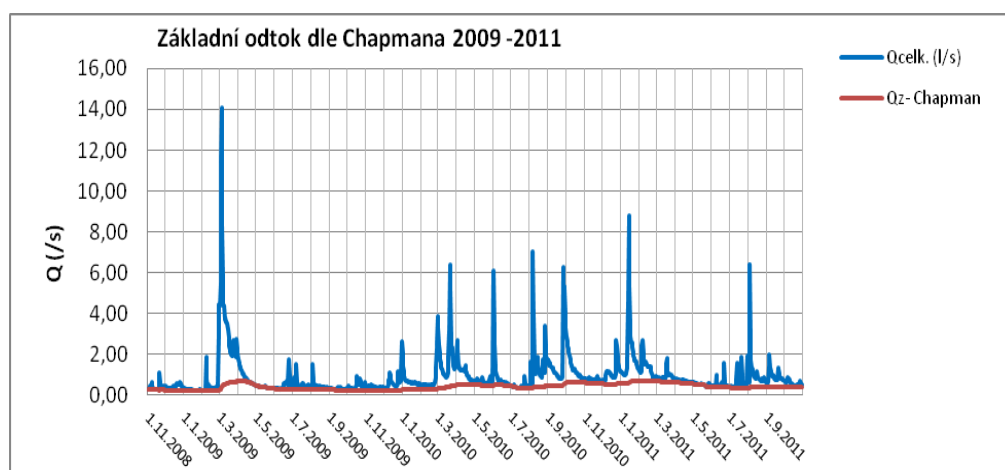
k je bezrozměrný koeficient, je to poklesová konstanta hydrogramu během období bez přímého odtoku. (nastavená v tomto případě na subpovodí Kopaninského toku P6 na koeficient $k = 0,99483$)

Tato metoda již byla kalibrována a použita na tomto území autory: DOLEŽAL A KVÍTEK (2004), ŽLÁBEK (2009), BYSTRICKÝ (2012).

Při použití digitálního filtru je potřeba odhadnout velikost koeficientu pomocí jiné metody - analýza poklesové větve, tracerové metody apod. - nebo použít již osvědčenou hodnotu koeficientu pro dané podmínky (velikost povodí, formát vstupních dat) (ŽLÁBEK, 2009).

Metoda byla provedena na řadě denních průtoků v souboru Microsoft Excel. Získaná řada průtoků základního odtoku byla poté pro přehlednost zobrazena do grafů. Pro porovnání s Killeho metodou byl použit poměr základního a celkového odtoku. Poměr základního a celkového odtoku byl navíc také statisticky vyhodnocen pro možnost porovnání jednotlivých hydrologických roků mezi sebou. Pro statistické srovnání byla použita metoda jednocestné analýzy variance ANOVA.

V grafu č. 3 je zobrazen základní odtok dle Chapmanovy metody vztažený na subpovodí P6 za tříleté hydrologické období.



Graf. č. 3: Základní odtok dle Chapmana za hydrologické období 2009-2011.

4.2. Statistické metody

Ke statistickému vyhodnocení byla v této diplomové práci použita technika známá pod označením "jednocestná analýza rozptylu", což se obvykle zkracuje jako "ANOVA" (BURKE, HARDCASTLE, 1999).

Smyslem analýzy rozptylu je určit statistickou významnost rozdílu středních hodnot jednotlivých skupin dat. Toho se dosáhne pomocí analýzy rozptylu dat rozdělením celkového rozptylu na část způsobenou náhodnou odchylkou uvnitř skupin a na části způsobené rozdíly mezi středními hodnotami skupin. Tyto oddělené

složky jsou pak porovnány pomocí testu pro poměr rozptylu (F-test). Jestliže test poměru rozptylu je významný, zamítáme nulovou hypotézu, která je obvykle formulována takto: střední hodnoty skupin se vzájemně neliší (jejich rozdíly jsou nulové) a současně přijímáme alternativní hypotézu, která říká, že rozdíly mezi středními hodnotami skupin nejsou nulové (DOHNAL, 2012). Základní myšlenkou analýzy rozptylu je v tomto případě, zda a jak může být v sadě výsledků paralelních stanovení statisticky rozpoznáno rozdělení do skupin. Celkový rozptyl celé sady dat je dán kombinací rozptylu mezi skupinami a uvnitř skupin. ANOVA umožňuje separovat jednotlivé zdroje rozptylu a dílčí rozptyly vzájemně porovnat za účelem určení, zda jsou rozdíly mezi nimi (statisticky) významné. ANOVA je užitečná zejména při analýze dat získaných při plánovaných experimentech (GRAŠKO A KOL., 2008).

Ke statistickému vyhodnocení byl v této diplomové práci také použit Studentův t-test, který je často používaná metoda testování statistických hypotéz. Konkrétně byl použit dvouvýběrový (nepárový) t-test, který slouží k porovnání střední hodnoty μ_1 jedné skupiny se střední hodnotou μ_2 jiné skupiny ($H_0: \mu_1 - \mu_2 = konst$) (KLASCHKA, 2011).

K výpočtům a grafickým výstupům bylo v této diplomové práci využito programů STATISTICA 10 a MS Excel 2007, v nichž jsou všechny výše zmíněné testy a metody implementovány.

5. Výsledky a diskuze

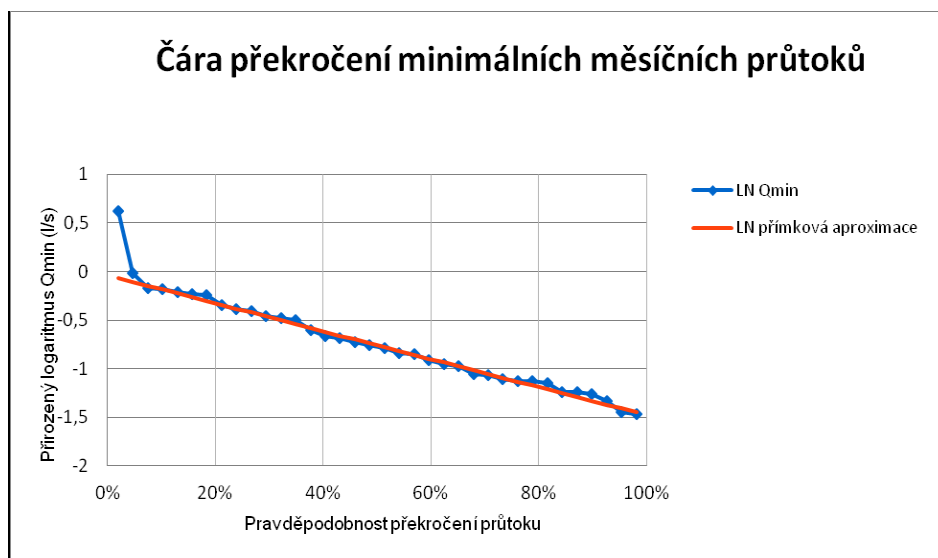
5.1. Srovnání metod separace odtoku

V diplomové práci jsou rozebrány dvě metody pro separaci základního odtoku. Tyto dvě metody byly vybrány na základě jejich náročnosti na množství údajů potřebných k provedení separace. Pro práci byla k dispozici řada denních průtoků za hydrologické období 2009 – 2011. Z toho důvodu byla zvolena metoda digitálního filtru dle CHAPMANA (1999) a Killeho metoda minimálních měsíčních

průtoků KILLE (1970). Výhodou těchto dvou metod, je právě nenáročnost na vstupní data.

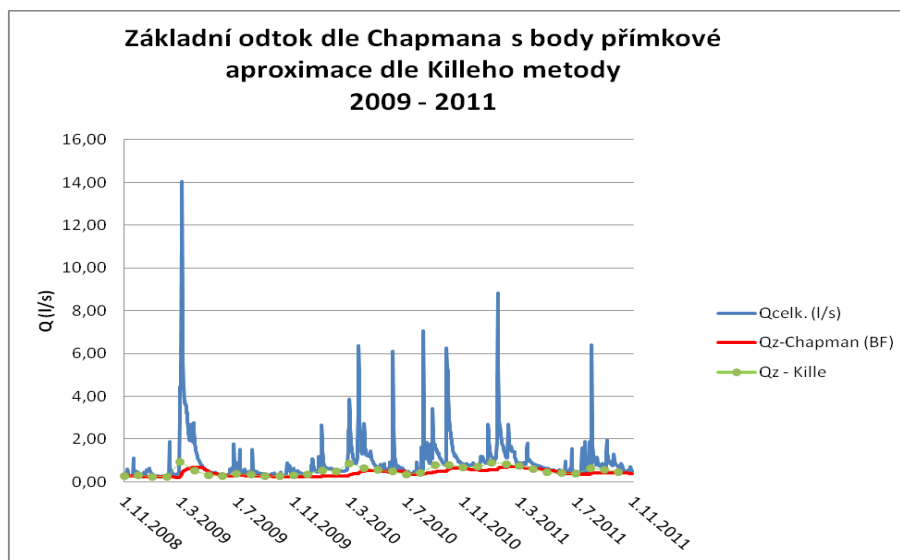
Pro separaci odtoku dle Killeho metody byla k dispozici řada denních průtoků pouze za tříleté období, což je škoda, vzhledem z doporučení autora, že by měla být použita data za nejméně desetileté období a spíše doporučuje dvanáctileté období. Z tohoto důvodu byla Killeho metoda použita pouze pro porovnání s hodnotami získanými metodou digitálního filtru dle Chapmana. Metoda digitálního filtru dle Chapmana (nastavena dle DOLEŽAL A KVÍTKA (2004) pro české podmínky malých povodí na hodnotu $k = 0.99834$) již byla v zájmovém území použita a kalibrována autory ŽLÁBKEM (2009) a BYSTRICKÝM (2012).

Výpočet hodnot základního odtoku byl proveden v souboru Microsoft Excel 2007 na řadě denních průtoků z uzávěrového profilu P6. Postup metod separace odtoku je popsán výše v kapitole 4.1.1 a 4.1.2.. Vypočtené hodnoty byly pro přehlednost převedeny v programu Microsoft Excel 2007 do grafů. V grafu č.4. je znázorněna čára překročení minimálních měsíčních průtoků dle Killeho metody. Střední část křivky byla proložena přímkou a po přenesení hodnot ležících na této přímce do lineárního vztahu byly získány hodnoty, ze kterých lze určit průměrný odtok za zvolené hydrologické období 2009-2011.



Graf č. 4: Čára překročení minimálních měsíčních průtoků. Střední část křivky je aproximována přímkou, která představuje zlogaritmované hodnoty základního odtoku dle Killeho metody.

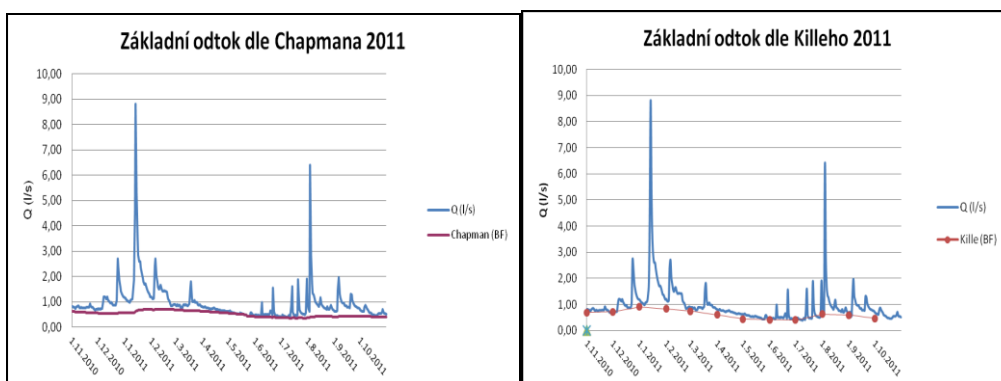
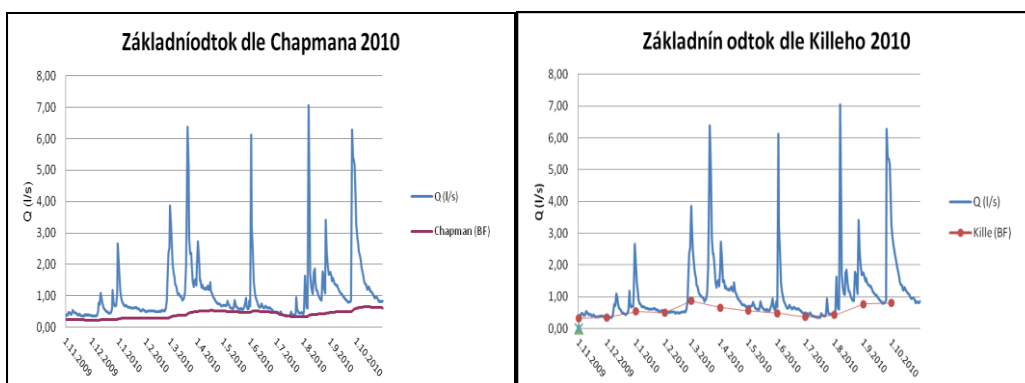
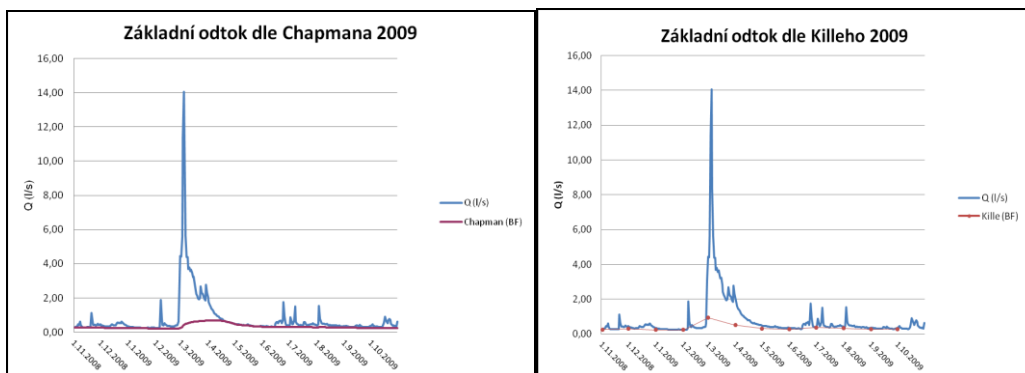
Aby byl základní odtok dle Killeho metody více zřetelný byly rozříděny odlogaritmované hodnoty přímkové aproximace podle původního pořadí a vráceny zpět do časové řady průtoků na místo nejmenšího měsíčního průtoků v každém příslušném měsíci. Vznikla nám tak řada, která byla v grafech č. 5 a č. 6 zobrazena s denními průtoky.



Graf. č. 5: Porovnání základního odtoku dle Chapmanova digitálního filtru a dle Killeho metody minimálních měsíčních průtoků, kde jsou body přímkové aproximace propojené lineární interpolací.

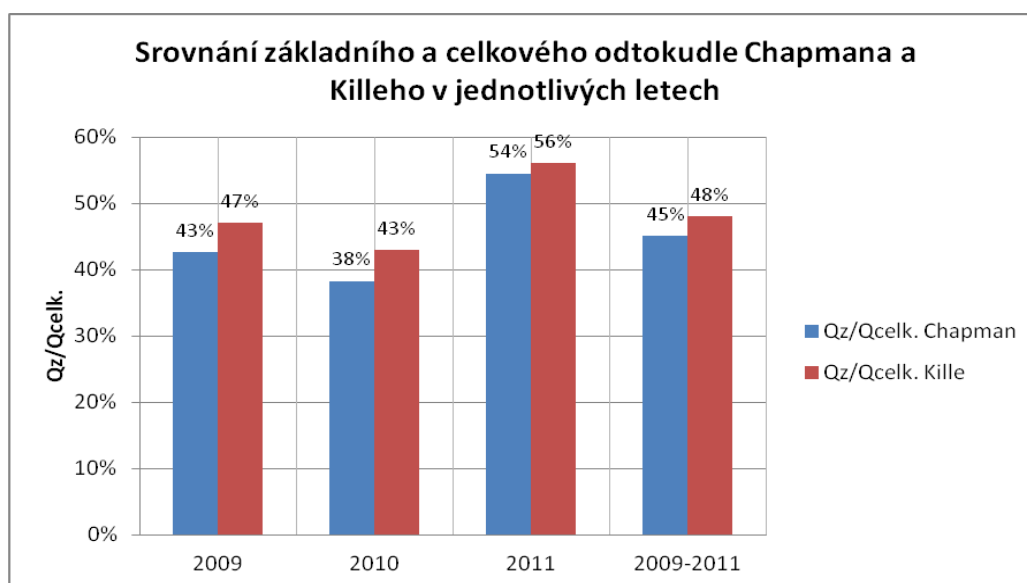
Pomocí Chapmanova filtru byla na rozdíl od Killeho metody získána celá řada denních průtoků základního odtoku. Pokud bude zobrazen takto vypočtený základní odtok společně s křivkou tvořenou hodnotami přímkové aproximace dle Killeho metody, budou zde na první pohled patrné rozdíly mezi průběhem obou křivek, a to zejména v obdobích zvýšených průtoků (graf č. 5. a č. 6.). Křivka dle Killeho bude tvořena ostrými vrcholy, zatímco základní odtok dle Chapmana bude mít plynulý průběh. Tyto rozdíly jsou důsledkem zcela odlišných způsobů separace odtoku jednotlivými metodami. Metoda minimálních měsíčních průtoků bude více vhodná pro stanovení dlouhodobého průměrného základního odtoku než pro separaci krátkých časových řad. Pokud bychom se ale podívali na minimální hodnoty v obdobích nízkých průtoků a maximální hodnoty v obdobích vysokých průtoků, můžeme říci, že jsou hodnoty max a min pro obě metody téměř totožné. Největší odlišnosti jsou v časovém průběhu, kde křivka základního odtoku dle Killeho stoupá

vždy hned se zvyšujícím se celkovým průtokem, zatímco dle Chapmana základní odtok stoupá a vrcholí vždy se zpožděním než je tomu u celkového průtoku.



Graf č.6.: Roční grafy základního odtoku dle Chapmanova digitálního filtru (vlevo) a dle Killeho metody (vpravo) v jednotlivých letech.

Další část práce se zaměřuje na porovnání základního a celkového odtoku dle metod Chapmana a Killeho. Z grafu č.7 je zřejmé, že pro celé hydrologické období z let 2009-2011 byl poměr základního a celkového odtoku u Killeho metody 48 % a u Chapmanova digitálního filtru 45%. V souladu s literaturou (MIHÁLIK, KAJAN, 1990) vychází podíl základního odtoku vyhodnocený Killeho metodou vyšší než u metody Chapmana. V grafu č. 7. jsou tyto poměry z jednotlivých let 2009, 2010 a 2011 zobrazeny. U všech třech jednotlivých poměrů také platí, že poměr základního a celkového odtoku dle Killeho metody dává vyšší hodnoty než poměr základního a celkového odtoku dle Chapmanova digitálního filtru. Z tab. č. 3 je patrné, že největší rozdíl hodnot poměrů základního a celkového odtoku mezi metodami, byl v roce 2010. Je to s největší pravděpodobností způsobeno větším množstvím vyšších průtoků, která byla v roce 2010 zaznamenána a při které dává Killeho metoda vyšší hodnoty.



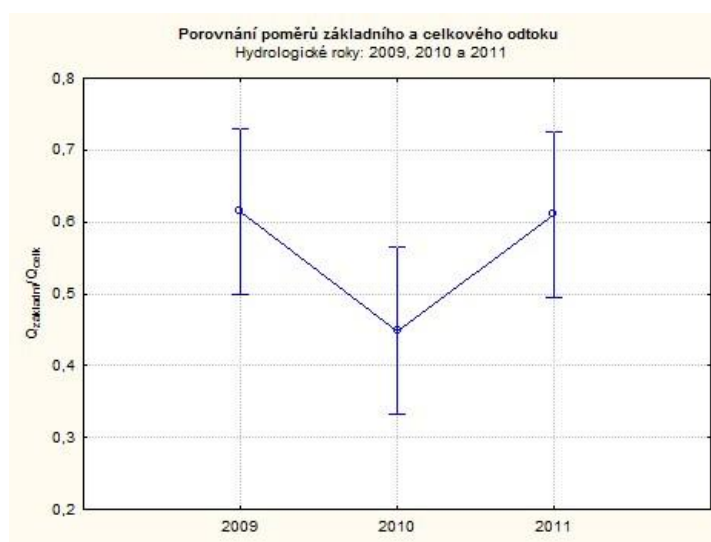
Graf č. 7: Porovnání základního a celkového odtoku dle Chapmanovi a Killeho metody.

Tab. č. 3: Rozdíl mezi metodami v hodnotách poměru základního a celkového odtoku.

hydrologické období	2009	2010	2011	2009-2011
rozdíl hodnot	4%	5%	2%	3%

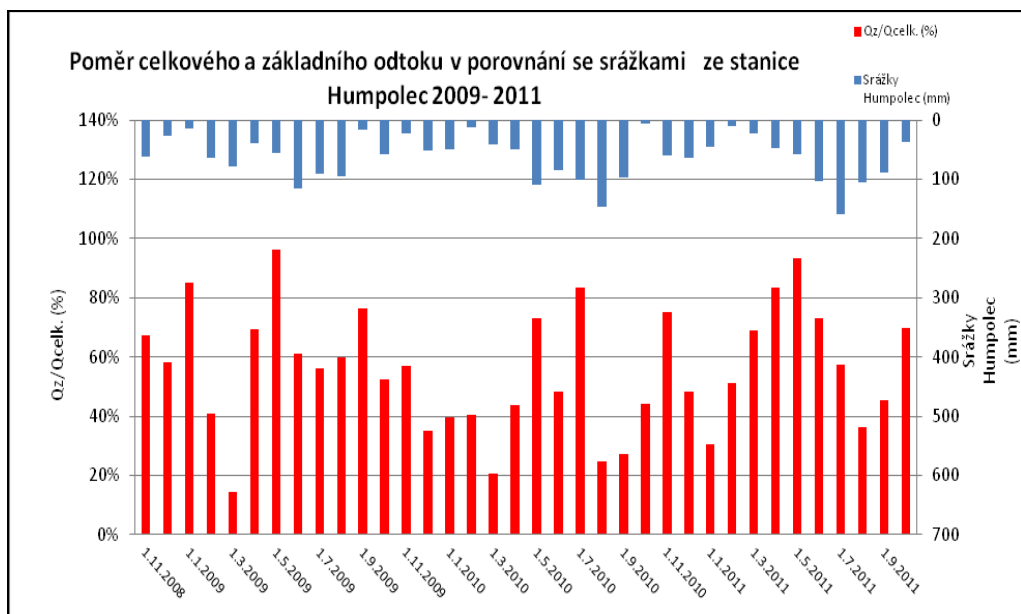
5.2. Analýza hydrologických charakteristik

V programu Statistika byla mezi sebou porovnána jednotlivá hydrologická období jednocestnou analýzou variance (ANOVA). Vstupními daty byly měsíční poměry základního a celkového odtoku ve třech hydrologických obdobích 2009, 2010 a 2011. Základní odtok byl vypočten metodou Chapmanova digitálního filtru. Výsledkem je neprůkazný test. ($p=0,078$, $Df= 33$) Lze tedy říci, že nejsou statisticky průkazné rozdíly na hladině významnosti $\alpha= 0,05$ v hodnocených poměrech mezi jednotlivými roky, viz. graf č. 8. Rok 2010 má ovšem nejnižší průměrnou hodnotu hodnoceného poměru, kdy důvodem mohou být častější srážkoodtokové události v tomto roce.

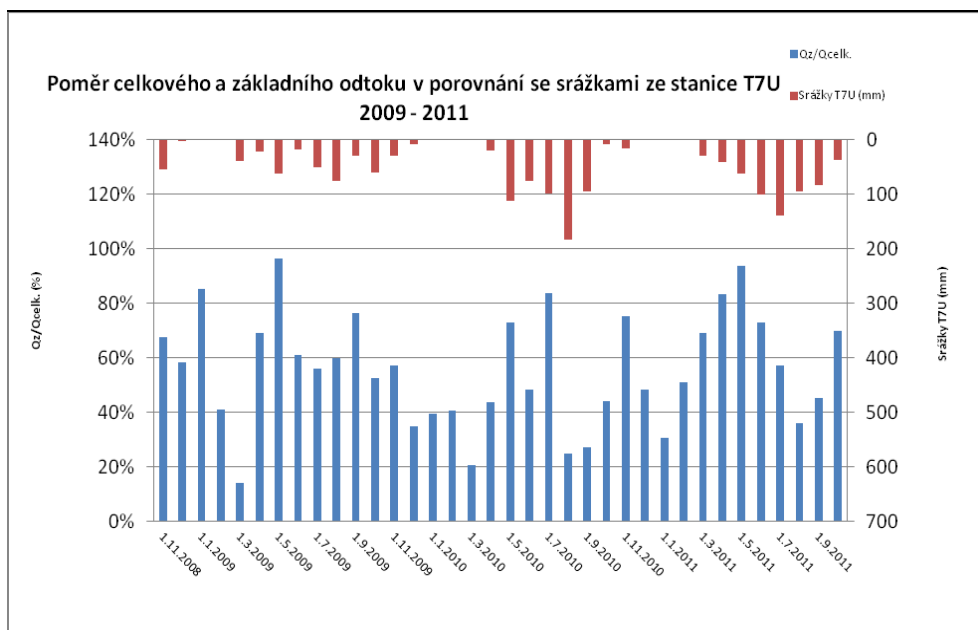


Graf č. 8: Graf poměrů s odchylkami (průměr $\pm 0,95$ interval spolehlivosti) v letech 2009, 2010 a 2011

Byl také porovnán poměr celkového a základního odtoku ve srovnání se srážkami jak ze stanice Humpolec (graf. č. 9), tak s neúplnými hodnotami srážek ze srážkoměrné stanice T7U (graf. č. 10).



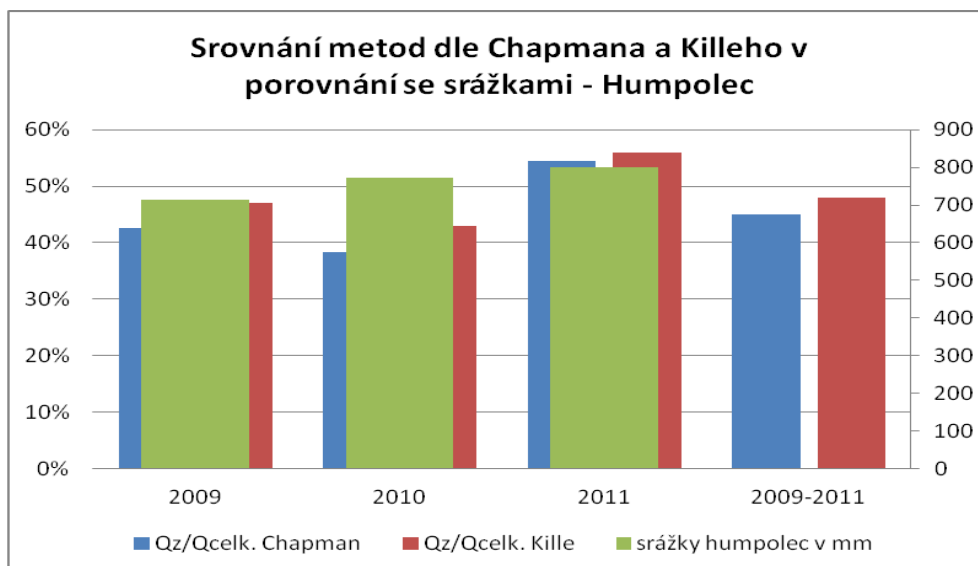
Graf č. 9: Poměr celkového a základního odtoku v porovnání se srážkami ze stanice Humpolec.



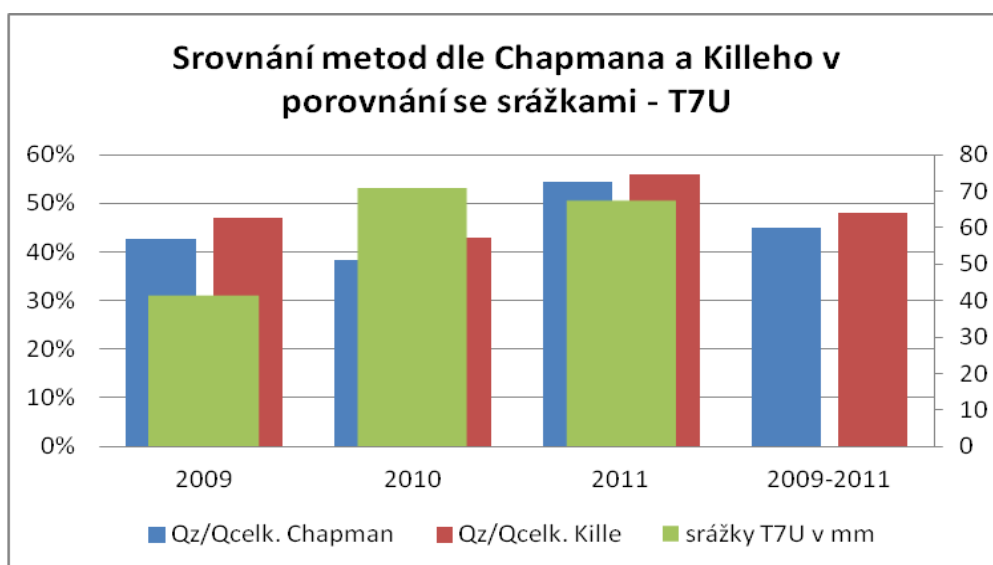
Graf č. 10: Poměr celkového a základního odtoku v porovnání se srážkami ze stanice T7U.

Z grafů č. 9 a 10 je patrné, že nejvyšších hodnot dosahuje poměr odtoků $Q_z/Q_{celk.}$ v květnu a srážky dosahují nejvyšších hodnot v měsíci červenec.

Níže na obr. č. 11 a 12 jsou znázorněny metody dle Chapmana a Killeho ve srovnání se srážkami z obou srážkoměrních stanic. Ze stanice Humpolec (graf č. 11) a ze stanice T7U (graf č. 12).



Graf č. 11: Srovnání metod dle Chapmana a Killeho v porovnání se srážkami se stanice Humpolec.



Graf č. 12: Srovnání metod dle Chapmana a Killeho v porovnání se srážkami se stanice T7U.

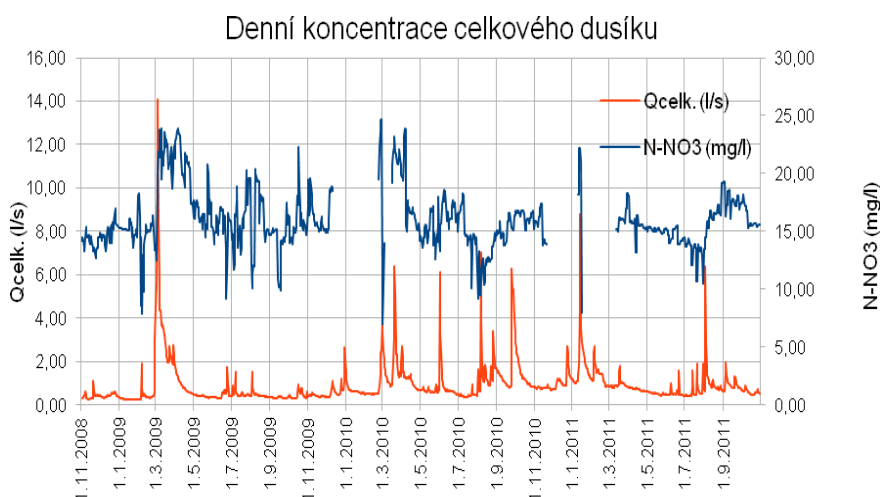
Z grafů č. 11 a 12 je zřejmé, že nejnižší podíl $Qz/Q_{celk.}$ u metod dle Chapmana i Killeho nastal v roce 2010, kdy byl nejvyšší srážkový úhrn.

5.3. Koncentrace dusičnanů v celkovém odtoku

Z hlediska celého povodí Kopaninského toku jsou koncentrace dusíku téměř v celém povodí poměrně vysoké, ale nemají význam z hlediska eutrofizace a aktuálně ani neohrožují limity pro pitnou vodu. Jsou ovšem významnou překážkou pro

dosažení dobrého ekologického stavu většiny vodních útvarů v povodí VN Švihov. (KVÍTEK A KOL., 2012).

V grafu č. 13 je znázorněna řada denních koncentrací celkového dusíku a celkového odtoku. V grafu je modře zobrazen celkový odtok v l/s a červeně koncentrace N-NO_3^- v mg/l za hydrologické období 2009-2011. Hodnoty koncentrací N-NO_3^- se vždy začínají zvyšovat v březnu a nejnižší bývají v září. Nejvyšší koncentrace jsou dle grafu č. 13 vždy od března do května a pak začínají mírně klesat. Extrémně vysoké hodnoty v březnu mohou být zapříčiněny jarním táním, při kterém dochází k vyplavování dusíku. Dalším důvodem by mohla být začínající zemědělská sezóna, kdy zemědělci začínají aplikovat hnojiva bohaté na dusík.



Graf. č. 13: Denní koncentrace celkového dusíku a celkového odtoku za hydrologické období 2009-2011

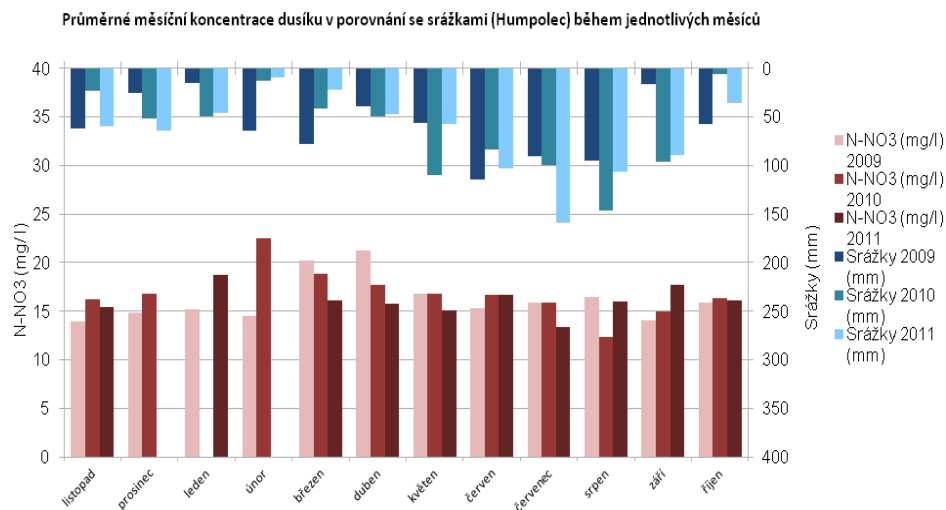
Roční chod koncentrací dusičnanů v České republice popisuje v literatuře mnoho autorů (např. GERGEL A KOL., 1994; KVÍTEK, 2001; DOLEŽAL A KOL., 2006; LEXA, 2006). Obecně se uvádí, že v zemědělsky využívaných povodích mají koncentrace dusičnanů během roku sinusoidní průběh s nejvyššími hodnotami v předjaří a na jaře. POOR A MCDONNELL (2007) k tomu podávají vysvětlení, že tyto typické sezónní trendy koncentrací živin odpovídají ročnímu chodu průtoku v tocích a druhou příčinu této sezónnosti spatřují v aktivitách člověka, které se vyskytují v zemědělsky využívaných povodích. Zemědělská činnost v povodí VN

Švihov na Želivce má přitom většinou roční chod jednotlivých činností, a tak i koncentrace celkového dusíku vykazuje významnou roční cykličnost.

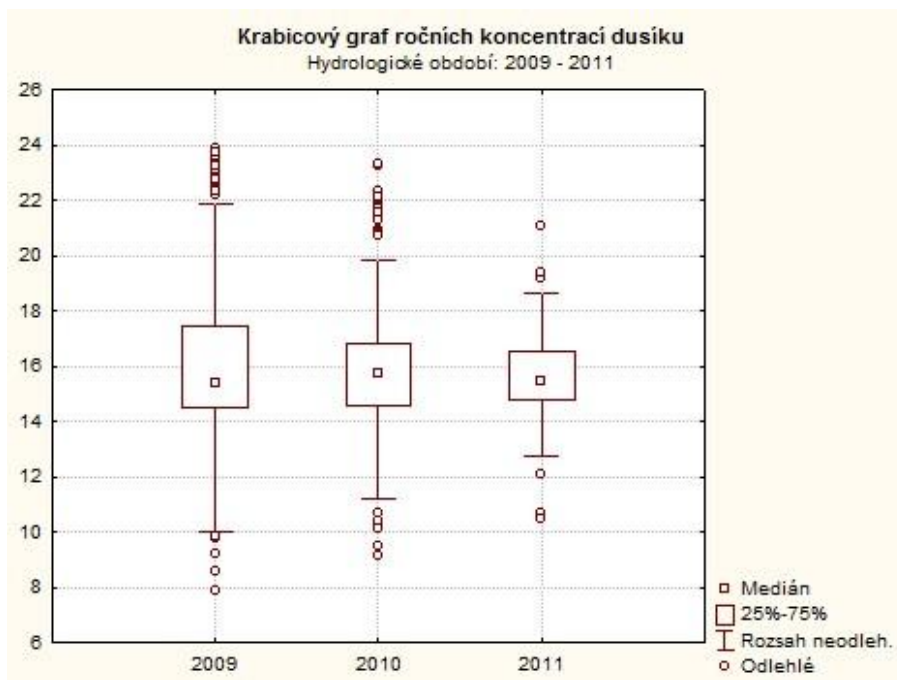
KVÍTEK A KOL. (2012) který prováděl na Kopaninském toku výzkum zjistil, že malé, ale i výrazné změny koncentrací dusičnanového dusíku probíhají velmi rychle, nežádka v časovém měřítku jednoho dne. Výjimkou nejsou změny koncentrací o 15 mg/l N-NO₃⁻ (67 mg NO₃) za den. Průběhu srážko-odtokové události se odtoku pravděpodobně aktivně účastnila jak srážková voda (malé koncentrace dusičnanů), tak i podzemní voda, ale současně i voda půdní matrice. Koncentrace dusičnanového dusíku vod půdní matrice se během vegetace pohybovaly v rozsahu 2,5–41,0 mg/l, nejnižší koncentrace jsou dosahovány koncem vegetačního období 1,12–19,0 mg/l. Toto zjištění je v souladu i s poznatky pro většinu subpovodí Kopaninského toku. U subpovodí P6 (viz. Graf č. 14) byly nejmenší koncentrace dusičnanů ve vodách dosahovány v letním období (červen, červenec, srpen) a maxima v mimovegetačním období (únor, březen, duben). Průběh koncentrací během roku měl, jak je pro dusičnanový dusík příznačné, typický sezónní sinusoidní průběh (KVÍTEK A KOL., 2012).

Z výzkumů z minulých let trendy koncentrací dusičnanového dusíku u povodí P6 podle BYSTRICKÉHO (2012) v období 1992 – 1997 vykazovaly koncentrace N-NO₃⁻ v povodí P6 klesající trend, pak ale došlo k obratu a v následujících letech je trend naopak rostoucí.

V grafu č. 14 je zobrazen roční chod koncentrací pro tři sledované hydrologické roky. Koncentrace celkového dusíku dosahují nejvyšších hodnot v březnu, dubnu a květnu, kdy je mimovegetační období v kterém nedochází k odběru dusíku rostlinami. Počátkem vegetačního období při kterém rostliny dusík začínají pro růst odebírat, se koncentrace začínají snižovat. Nejnižší koncentrace jsou v měsíci červenec. K podobným závěrům došel i GERGEL A KOL. (1994), který uvádí, že obecně vyšší jsou koncentrace dusičnanů v předjaří a na jaře, poněvadž nemají přes zimu jako produkty probíhající nitrifikace odpovídající možnosti odběru biomasou rostlin. V grafu č. 14 jsou pro přehlednost koncentrace celkového dusíku zobrazeny se srážkami.



Graf č. 14: Průměrné měsíční koncentrace dusíku v porovnání se srážkami (Humpolec) během jednotlivých měsíců z let 2009 – 2011.



Graf č. 15: Krabicové grafy hodnot koncentrací celkového dusíku zobrazující rozsah neodlehých hodnot, interkvartilové rozpětí a medián za celé hydrologické období z let 2009 -2011.

Krabicový graf č. 15 a tab. č.14 zobrazují, že koncentrace celkového dusíku jsou nejvyšší v roce 2010. V grafu je zobrazeno rozpětí neodlehých hodnot, které je

největší pro rok 2009. Tabulka č. 4 ukazuje, že nejnižší hodnotu rozptylu i variačního koeficientu vykazuje rok 2011.

Tab. č.4: Popisné statistiky koncentrací celkového dusíku (mg/l).

Popisné statistiky	2009	2010	2011
Průměr (mg/l)	16,21	15,93	15,63
Medián (mg/l)	15,36	15,70	15,47
Minimum (mg/l)	7,88	6,96	8,02
Maximum (mg/l)	23,85	24,67	22,23
Dolní kvartil (mg/l)	14,48	14,55	14,77
Horní kvartil (mg/l)	17,46	16,78	16,51
Rozptyl (mg ² /l)	8,61	7,17	3,12
Směrodatná odchylka (mg/l)	2,93	2,68	1,77
Variační koeficient (%)	18,11	16,80	11,31

5.4. Koncentrace dusičnanů v základním odtoku

Aby se dalo zjistit jaký vliv má základní odtok na množství celkového dusíku v toku, byly vytvořeny následující 3 skupiny s různým zastoupením základního odtoku:

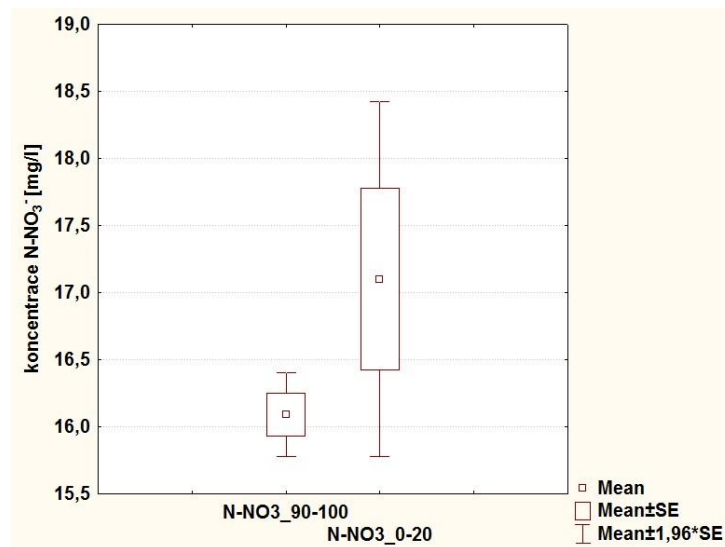
- a) 0 – 20%
- b) 90 – 100%
- c) 0 – 100%

Kde 0 – 20% z celkového odtoku je chápáno, jako období přímého odtoku.

90 – 100% z celkového odtoku chápeme jako období základního odtoku a

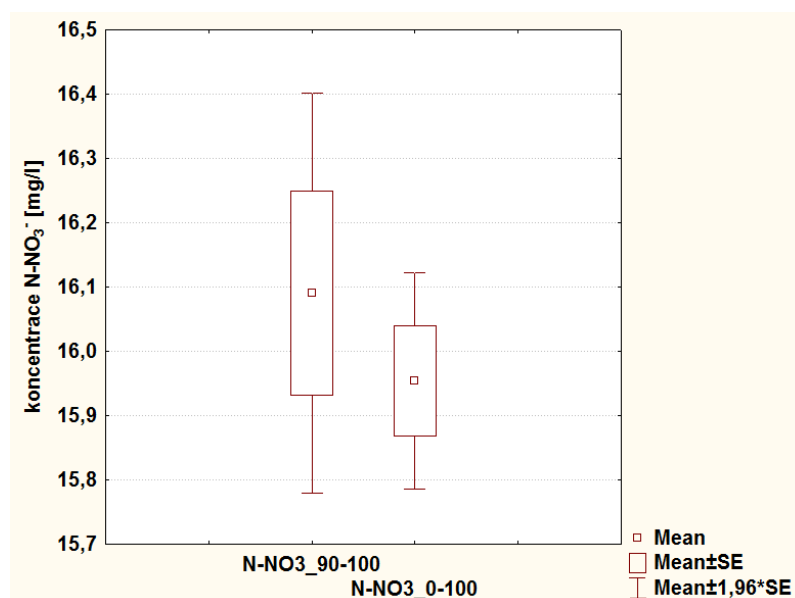
0 – 100% je odtok celkový.

Pro hodnocení průměrných hodnot koncentrací N-NO_3^- byly skupiny mezi sebou testovány dvouvýběrovým t-testem. Hodnotila se období 3 hydrologických let 2009-2011. Při testování rozdílu skupin 0 – 20% a 90 – 100% vyšel test neprůkazně ($p= 0,15$; $Df=60$), což je patrné z grafu č. 16. Z grafu je také patrné, že průměr má nižší odtok základní (90-100%) ve srovnání s odtokem přímým (0-20%). Potvrdil se tak náš předpoklad, že základní odtok má nižší zatížení dusičnany, než odtok přímý. Ve většině studií však došli k odlišným výsledkům. Například LANGE A HAENSLER (2012) kteří prováděli výzkum malého povodí horského charakteru s podložím z krystalických hornin lokalizované v jihozápadním Německu, vyzorovali nejnižší koncentrace dusičnanů v povrchovém (přímém) odtoku. Koncentrace dusičnanů v základním odtoku se u nich sice neprokázaly jednoznačně nejvyšší (vyšší hodnoty byly zjištěny v odtoku přímém a pomalejším odtoku hypotermickém), ale i tak byl základní odtok více zatížen dusičnany než odtok přímý. V rámci jiné studie DOLEŽALA A KVÍTKA (2004) byla zjištěna mírná, ale statisticky signifikantní, pozitivní korelace mezi koncentracemi dusičnanů a základním odtokem. Základní odtok byl poté ohodnocen jako druhý největší přispěvatel dusičnanů do povrchového toku (prvním byl hypodermický odtok).



Graf č. 16: Krabicové grafy nezávislých proměnných, kde skupina 0-20% představuje koncentrace v přímém odtoku a skupina 90-100% představuje koncentrace v základním odtoku za celé hydrologické období 2009 -2011.

Při druhém testování (viz. graf č. 17) byla testována skupina 0-100%, která představuje celkový odtok a skupina 90-100%, která je chápána jako odtok základní. Test vyšel také statisticky neprůkazný ($p=0,45$; $Df=209$). Zde jsou průměry takřka identické s mírně nižším průměrem celkového odtoku. V porovnání s odtokem celkovým má základní odtok zatížení dusičnany vyšší. To bylo potvrzeno i SCHILLINGEM A ZHANGEM (2004), kteří došli při výzkumu povodí ve státě Iowa k závěru, že dvě třetiny průměrného ročního odnosu dusičnanů v celkovém odtoku mají původ v základním odtoku, resp. v podzemní vodě.



Graf č. 17: Krabicové grafy nezávislých proměnných, kde skupina 90-100% představuje koncentrace v základním odtoku a skupina 0-100% představuje koncentrace v odtoku celkovém za celé hydrologické období 2009 -2011.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce byla podrobná analýza jakosti vody z hlediska koncentrací dusičnanového dusíku v základním odtoku v průběhu 3 hydrologických let (2009-2011). Pro separaci odtoku byly zvoleny dvě metody, konkrétně Killeho

metoda minimálních měsíčních průtoků a metoda dle Chapmanova digitálního filtru. Zájmovým územím bylo vybráno mikropovodí P6, které je téměř kompletně využíváno jako orná půda a jeho celková rozloha činí 15,73 ha. Prostřednictvím kombinace použitých metod zpracování a vyhodnocení dat pro separaci základního odtoku práce přispívá k poznání vlivu základního odtoku na celkové koncentrace dusičnanového dusíku v povrchových vodách. Výzkum proběhl během let 2009 až 2011.

Bylo zjištěno, že hodnoty koncentrací N-NO_3^- se pravidelně začínají zvyšovat v březnu a nejnižší bývají v září. Vždy jsou koncentrace nejvyšší od března do května a pak začínají mírně klesat. Extrémně vysoké hodnoty v březnu mohou být zapříčiněny jarním táním, při kterém dochází k vyplavování dusíku. Dalším důvodem by mohla být začínající zemědělská sezóna, kdy zemědělci začínají aplikovat hnojiva bohatá na dusík.

Nejvyšších hodnot dosahují koncentrace celkového dusíku v mimovegetačním období, ve kterém nedochází k odběru dusíku rostlinami. Počátkem vegetačního období, při kterém rostliny dusík začínají pro růst odebírat, se koncentrace začínají snižovat. Nejnižší koncentrace byly zjištěny v měsíci červenec. Nebezpečí nutrietů vyplývá hned z několika důvodů. Zvyšují náklady na úpravu vody při vodárenském využívání, případně ho zcela znemožní. Způsobují eutrofizaci povrchových vod se všemi průvodními negativními jevy. A nebezpečná je také toxicita amoniaku (zejména nedisociované formy) na vodní organismy.

Při testování koncentrací dusičnanů v základním odtoku se potvrdil náš předpoklad, že základní odtok má nízké zatížení dusičnany. Při druhém testování, kdy byl porovnáván odtok celkový a odtok základní, měl základní odtok zatížení dusičnany vyšší v porovnání s odtokem celkovým.

Žádoucí z hlediska znečišťování vod v mikropododí P6 je pro jakost vod důležité již žádný dusík do ekosystému nedodávat. Důležité je dodávat jen takové množství dusíku, které spotřebují zemědělské plodiny a nadbytečný dusík pak odčerpat z ekosystému jinak, než vyplavováním do vod. Účinné je například pěstování pícnin, odvozy sklizní pryč z ohroženého povodí, nebo využití procesu denitrifikace.

6. Seznam literatury:

1. AOPK ČR, (c) 2006 Natura 2000, CZ0214016 - Želivka. Evropsky významné lokality v České republice [Online] 2006. http://www.nature.cz/natura2000-design3/web_lokalita.php?cast=1805&akce=karta&id=1000068663 (accessed Feb 13, 9).
2. BALESTRINI R.; ARESE, C.; CARLO ANDREA DELCONTE; ALESSANDRO LOTTI; FRANCO SALERNO Nitrogen removal in subsurface water by narrow buffer strips in the intensive farming landscape of the Po River watershed, Italy. Water Research Institute, National Research Council (IRSA-CNR), Via del Mulino 19, Brugherio 2004 7 (MB), Italy [Online]. www.elsevier.com/locate/ecoleng (accessed Dec 12, 16).
3. 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.
4. BRUTSAERT, W.: Hydrology: An introduction. Cambridge University Press, 2005, 605 s.
5. BURKE, S., HARDCASTLE, B.: Statistics in context: Analysis of Variance (ANOVA). VAM Bulletin, issue No. 20, 28-31, Spring 1999, český překlad L.Dohnal, Analýza rozptylu - ANOVA, Fons, 1999, č.4, s. 21-25.
6. BYSTRICKÝ, V., Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. DISERTAČNÍ PRÁCE, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 22.10.2012.
7. ČERVENÝ, J., BOHM, B. A KOL.: Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1984, 416 s.
8. DEMEK, J. Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny. Academia, Praha, 1987, 584 s.

9. DOHNAL, L., Analýza rozptylu – ANOVA. Kapitola VII., 2012 [Online]. http://www1.lf1.cuni.cz/~ldohna/publik/Kap_7_ANOVA.pdf (accessed Feb 13, 9)
10. DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T., SOUKUP, M., ČMELÍK, M., FUČÍK, P., NOVÁK, P., PETERKOVÁ, J., PILNÁ, E., PRAŽÁK, P., TIPPL, M., UHLÍŘOVÁ, J., ZAVADIL, J. Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 54, 2006, s. 217–229. In : BYSTRICKÝ, V., Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. *DISERTAČNÍ PRÁCE*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 22.10.2012.
11. 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)
12. DOMENICO P., SCHWARTZ F.: *Physical and Chemical Hydrogeology*, 2th Edition. – John Wiley & Sons. New York, 1998
13. DUBA, D.: *Hydrológia podzemních vôd*, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied Bratislava, 1968, 352 s.
14. FUČÍK, P.; TOMÁŠ KVÍTEK, T.; TOMÁŠ HEJDUK, T.; PETERKOVÁ, J. Příspěvek k vyčíslení podílů zdrojů znečištění vod ze sledovaných profilů v malém odvodněném zemědělsko-lesním povodí. *Vodní hospodářství [Online]* 2012, 62,8, 257-264. <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2012/vh08-2012.pdf> (accessed Feb 13, 8.)
15. GALVIS, J. J. R.; SVĚTLÍK, J.; LADISLAV MENŠÍK, L.; Funkce lužního lesa při zadržování a odstraňování dusíku a fosforu z povrchových vod. *Vodní hospodářství [Online]* 31. srpna 2012, 62,6, 220-223. <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2012/vh06-2012.pdf> (accessed Feb 13, 8).

16. GERGEL J., JINDRA J., SOUKUP M., STARA J. Hlavní zásady pro odběr a vyhodnocování kvality povrchových vod odtékajících ze zemědělsky využívaných povodí (metodika). VÚMOP Praha, 1994, 26 s.
17. GRAŠKO, R., BALLA, B., DOHNAL, L., JANOUT, V., KLÍMOVÁ, E., MOCÁK, J.: Štatistické metódy pre klinickú epidemiológiu a laboratórnu prax. Aprilla, Košice, 2008, 91 s.
18. 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)
19. GUSTARD A., BULLOCK A., DIXON J. M.: Low flow estimation in the United Kingdom -- Report No. 108, Institute of Hydrology, 1992.
20. HABERLE, J., SVOBODA, P. Vyplavování dusíku z půdy. Nové Agro, 1, 2008, s. 38-40. In : BYSTRICKÝ, V., Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. DISERTAČNÍ PRÁCE, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 22.10.2012.
21. 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.
22. 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)
23. 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).

24. 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.
25. CHALK, P.M., and KEENEY, D.R.: Nitrate and amonium contents of Wischonsin limestone. Nature, 229:42-47, 1971
26. CHAPMAN, T.G.: A comparison of algorithms for stream flow recessionand baseflow separation. Hydrological Processes 13, 1999, s. 701–71.
27. CHAPMAN, T. G. AND MAXWELL, A. I.: `Baseflow separation - comparison of numerical methods with tracer experiments', in Hydrol. and Water Resour. Symp. Institution of Engineers Australia, Hobart. 1996, s. 539-545. In: CHAPMAN, T.G.: A comparison of algorithms for stream flow recessionand baseflow separation. Hydrological Processes 13, 1999, s. 701–71.
28. 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.
29. INTERNET: Fiedler elektronika pro ekologii. <http://www.fiedler-magr.cz> (accessed Feb 03, 28).
30. 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.
31. KLASCHKA, J. *Studentův T-test, přednáška k předmětu Zdravotnická statistika 1,2; obor Všeobecné lékařství, 1. LF Univerzita Karlova: Praha, 2011.*
32. 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)

33. 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, sprint 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.
34. KILNER K., KNĚŽEK M.: Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody. Vodohospodářsky 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)
35. KLÍR, J.: Zásady správné zemědělské praxe. Úroda, 2003, c. 10, s. 12-13. In: LEVINSKÝ, Pavel. Vyhodnocení jakosti vody a odtokových poměru na. České Budějovice, 2009. 50 s. Diplomová práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA. Dostupné z WWW: <http://theses.cz/id/ljw7es/downloadPraceContent_adipIdno_5666>.
36. 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%20C4%209B%20C5%20BEek>.
37. 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.
38. 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%2Fv yhledavani%2F%3Fsearch%3DKliner%20Kn%C4%9B%C5%BEek>.

39. KOZLOVSKÁ, L.: Uplatnění nitrátové směrnice v ČR. Úroda, 2003, c. 10, s. 10. In: LEVINSKÝ, Pavel. Vyhodnocení jakosti vody a odtokových poměru na. České Budějovice, 2009. 50 s. Diplomová práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA. Dostupné z WWW: <http://theses.cz/id/ljw7es/downloadPraceContent_adipIdno_5666>.

40. KOŽÍŠEK F.: Je vodovodní voda vhodná i pro kojence?. SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací [online]. 2005, 14, 11, [cit. 2013-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.sovak.cz/sites/File/casopis_cela_cisla_2005/11_05.pdf>. ISSN 1210-3039.

41. KRÍŽ H.: Hydrologie podzemních vod. – Academia. Praha, 1983

42. 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.

43. KVÍTEK, T. (ed.) Zatravňování orné půdy s vysokým rizikem infiltrace – opatření pro cílené snižování koncentrací dusičnanů ve vodách (metodika), VÚMOP Praha, 2007, 112 s.

44. KVÍTEK, T. Crystalline water regime and water quality in catchments. Plant production, 47, 2001, s. 289-294.

45. KVÍTEK, T. a kol.: Redakčně upravená roční zpráva z projektu NAZV QH82095, 2008, s. 25.)

46. KVÍTEK, T.; BYSTRICKÝ, V.; PETERKOVÁ, J.; ŽLÁBEK, P.; MORAVCOVÁ, J. Dynamika koncentrací a interakce odnosu dusičnanů a fosforu na malých zemědělsko-lesních subpovodích v povodí VN Švihov na Želivce. Vodní hospodářství [Online] 2012, 62,6, 198-203. <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2012/vh06-2012.pdf> (accessed Feb 13, 8).

47. LANGE, J., HAENSLER, A. Runoff generation following a prolonged dry period. *Journal of Hydrology*, 464-465, 2012, s. 157-164. In : BYSTRICKÝ, V., Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. *DISERTAČNÍ PRÁCE*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 22.10.2012.
48. LEXA, M. Vyhodnocení koncentrací dusičnanů v drobných tocích povodí Želivky a analýza povodí těchto toků. *Disertační práce*, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 2006, 175 s. In : BYSTRICKÝ, V., Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. *DISERTAČNÍ PRÁCE*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 22.10.2012.
49. 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)
50. MIHÁLIK, F., KAJAN, J. Groundwater runoff in the mountainous areas of Slovakia and its relations to precipitation and hydrogeological conditions. *Hydrology of Mountainous Areas. Proceedings of the Štrbské Pleso Workshop, Czechoslovakia, IAHS Publ. no. 190*, 1990, s. 313-327.)
51. MICHEK V.: Vlašim - zásobení města pitnou vodou. Návrh technologických opatření. *Studie*, Hydroprojekt Praha, 1992.
52. 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.
53. MURTHY, SADASHIVA B. M.; RAMESH, H. S.; MAHADEVASWAMY, M. Pollution Migration Study in Subsurface Environment. *International journal of environmental research* Volume: 3 Issue: 4 Pages: 545-556 Published: FAL 2009 [Online] ISSN: 1735-6865. Web of Science (accessed Dec 12, 16).
54. 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>>.

55. 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.
56. 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.
57. PILGRIM, D. H., CORDERY, I.: Flood runoff. 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.
58. PITTER, P. Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 1999, 568 s.
59. PITTER, P. Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 2009, 592 s.
60. POOR, C.J., MCDONNELL, J.J. The effect of land use on stream nitrate dynamics. Journal of Hydrology, 332, 2007, s. 54-68. In : BYSTRICKÝ, V., Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. DISERTAČNÍ PRÁCE, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 22.10.2012.
61. ROSE, SC; CARTER, AD Agrochemical leaching and water contamination. Conservation agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy Pages: 417-424 Published: 2003 [Online] ISBN: 1-4020-11. (accessed Dec 12, 16).
62. 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)
63. SCHILLING, K., ZHANG, Y.K. Baseflow contribution to nitrate-nitrogen export from a large, agricultural watershed, USA. Journal of Hydrology, 295, 2004, s. 305-316. In : BYSTRICKÝ, V., Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. DISERTAČNÍ PRÁCE, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 22.10.2012.

64. SCHWARTZ F., ZHANG H.: Fundamentals of Ground Water. – John Wiley & Sons. New York, 2003.

65. 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>.

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

67. 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)

68. STENBERG, M., ARONSSON, H., LINDEN, B., RYDBERG, T., GUSTAFSON, A. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching loss in soil tillage systems combined with a catch crop. Soil and Tillage Research, 50, 1999, s. 115-125. In : BYSTRICKÝ, V., Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. DISERTAČNÍ PRÁCE, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 22.10.2012.

69. STRAKA, J.: Metody stanovení základního odtoku na příkladu anenského potoka v Košetících, Rešerše k bakalářské práci. Masarykova univerzita v Brně, Brno, 2009. 11 s.

70. 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>>.

71. 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)

72. 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

73. 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>.

74. 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.

75. ŽLÁBEK, P.: Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku . České Budějovice, 2009. 70 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)

Předpisy a normy:

ČSN 736530 Vodní hospodářství. Názvosloví hydrologie. Československá státní norma. Schválena 8. 11. 1983. Praha, 2000, č. 11, s. 5-27.

Zákon 258/2000 sb., Vyhláška mze ČR 252/2004 sb.

vyhláška č. 252/2004 Sb.