

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Chemicko-fyzikální parametry povrchových vod říční sítě na Novohradsku

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Bodlák, Ph.D.

Autor bakalářské práce: Tereza Veselá

České Budějovice, duben 2015

Obsah

1	Úvod	8
2	Literární přehled.....	9
2.1	Voda	9
2.2	Vodní cyklus.....	10
2.3	Povrchová voda	11
2.3.1	Vodní toky.....	11
2.3.2	Složení povrchových vod.....	12
2.4	Chemicko-fyzikální parametry vody.....	13
2.4.1	Elektrolytická konduktivita (vodivost)	14
2.4.2	Reakce vody (pH)	15
2.5	Znečišťování vodních zdrojů.....	16
2.6	Klasifikace jakosti povrchových vod	18
2.7	Ochrana povrchových vod.....	19
2.8	Zemědělství	20
2.8.1	Hnojiva.....	20
2.8.2	Vodní eroze	21
2.9	Eutrofizace vod.....	22
2.9.1	Látky podporující eutrofizaci.....	23
2.9.2	Následky eutrofizace.....	25
3	Modelové území.....	26
3.1	Historický vývoj	27
3.2	Zemědělství	27
3.3	Klimatické poměry	27
3.4	Povrchové vody Novohradských hor	27
4	Metodika.....	28
4.1	Odběry vzorků a jejich analýza	29

5	Výsledky.....	30
5.1	Souhrnné výsledky	30
5.2	Výsledky regresní analýzy	32
5.3	Výsledky vícerozměrové analýzy rozptylu	33
6	Diskuze.....	35
6.1	Souhrnné rozdíly mezi zemědělskými a lesními povodími.....	35
6.2	Závislosti vybraných parametrů	38
6.3	Vícerozměrová analýza rozptylu.....	39
7	Závěr	41
8	Použitá literatura	41

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to (v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Dne.....

Podpis.....

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Lubomíru Bodlákovi, Ph.D. za vedení, odbornou pomoc a velkou ochotu a trpělivost při zpracování práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu a vytvoření dobrého zázemí pro studium.

Abstrakt

Obsahem bakalářské práce bylo porovnání chemicko-fyzikálních parametrů povrchových vod říční sítě na Novohradsku. Použita byla data za rok 2014. Jednotlivá odběrová místa se od sebe lišila způsobem hospodaření a typem ekosystému. Sledovány byly parametry, které souvisí s eutrofizací vod: konduktivita, pH, KNK_{4,5}, dusičnany a fosforečnany. Na základě výsledků lze tvrdit, že zemědělsky obhospodařovaná území vykazovala vyšší koncentrace sledovaných látek a vyšší hodnoty parametrů. Největší rozdíly byly zjištěny u konduktivity, kde se hodnoty pohybovaly v rozmezí od 51,8 mS cm⁻¹ do 164,4 mS cm⁻¹.

Klíčová slova: povrchová voda, lesní ekosystémy, zemědělská krajina, eutrofizace, dusičnany, fosforečnany

Abstract

The content of the bachelor thesis was the comparasion of chemical-physical parameters of surface waters in Novohradsko. The data, which were used in the thesis, were taken in 2014. Individual sampling points were differed in their management practices and types of ecosystem. The monitored parameters are associated with eutrophication: conductivity, pH, KNK_{4,5}, nitrates and phosphates. Based on the results we can claim that the sampling points of agroecosystems reached higher values of the selected parameters. The biggest differences were detected in conductivity. The values of conductivity were oscitalled from 51,8 mS cm⁻¹ to 164,4 mS cm⁻¹.

Key words: surface water, forest ecosystems, agricultural landscape, eutrophication, nitrates, phosphates

1 Úvod

Všechny zásahy člověka do přírody by měly být promyšleny, nejen z šetrnosti k životnímu prostředí, ale i z pohledu ochrany vlastních zdrojů. Jedním z nejdůležitějších zdrojů je voda. Je to také důležitá podmínka pro samotný život. Člověk musí změnit svůj postoj, abychom ponechali stejně kvalitní zdroje vody i pro budoucí generace.

Lidská činnost, ať už vědomě či nevědomě, pozitivně či negativně, ovlivňuje všechny ekosystémy. Z pohledu zemědělství má člověk krajínotvornou funkci, utváří tedy ráz a vzhled krajiny, ale také produkuje potravu. S produkcí, a to převážně intenzivní, musí však přistoupit k dalším zásahům, jako je hnojení nebo ochrana plodin. Zejména hnojení se stává velkým nebezpečím pro vodní zdroje. Jedním z problémů s ním spojených jsou ztráty živin z polí a následná zvýšená koncentrace ve vodě.

Bakalářská práce se zabývá chemickým složením povrchových vod a významnými fyzikálními parametry v závislosti na způsobu obhospodařování krajiny. Více se zaměřuje na látky způsobující eutrofizaci vod. Modelové území zahrnuje zemědělskou půdu i lesní ekosystémy, zde se sledují obsahy látek a změny v jejich koncentracích. Eutrofizace vod je podmíněna zvýšeným obsahem živin, nejdůležitější roli hraje fosfor a dusík. Tyto živiny se dostávají do vodních zdrojů především z hnojených ploch, a to splachy či vodní erozí. Zvolené modelové území zaručuje získání dat z oblastí hnojených (zemědělská půda) i nehnojených (lesní ekosystémy).

Dílčí cíle:

- odběr vzorků ve vybraných povodích
- seznámení se s postupy analýzy a samotnou prací v laboratoři
- pozorování hlavních parametrů ve složení vod
- zjištění změn v obsahu sledovaných látek (zejména fosfor a dusík)

2 Literární přehled

2.1 Voda

Základním podmínkou pro vznik a rozvoj života všech organismů je voda. V mnoha oblastech světa se stala strategickou surovinou a její význam s rostoucí populací a jejich zvyšujícími se nároky stále roste (Polášková a kol., 2011). Odhad celkového množství vody na planetě Zemi je 1,38 miliard km³ (Kalač, 2010). Největší podíl zabírají moře a oceány. Sladká voda tvoří pouze jednu čtyřicetinu množství celkové vody. Naprostá většina vody na planetě Zemi je tedy voda slaná. Hodnoty rozložení vody na Zemi jsou zobrazeny v tabulce č. 1. V současné době je lidmi využíváno přes 4000 km³ vody ročně. 70-80% je využíváno do zavlažování, 20% průmyslem a zhruba 6% je využíváno v domácnostech (Moldan, 2009).

Tabulka č. 1 Rozložení světových zásob vody

Rezervoár	Podíl (%)
Moře a oceány	97,39
Ledovce a led	2,01
Podzemní půdní voda	0,58
Jezera a toky	0,02
Atmosféra	0,001

(zpracováno dle Kalač, 2010)

V krajině a životním prostředí má voda nezastupitelnou funkci. Voda je součástí všech rostlin a živočichů. Posuzujeme ji i jako velmi důležitou součást stravování (pitný režim, voda nutná na vaření atd.), kryje veškeré hygienické potřeby člověka. Voda má i estetickou funkci, spoluutváří ráz krajiny (jezera, vodní toky, nádrže), poskytuje člověku kulturní a rekreační využití, či využití ve všech odvětvích průmyslu (Wittlingerová a Jonáš, 1999).

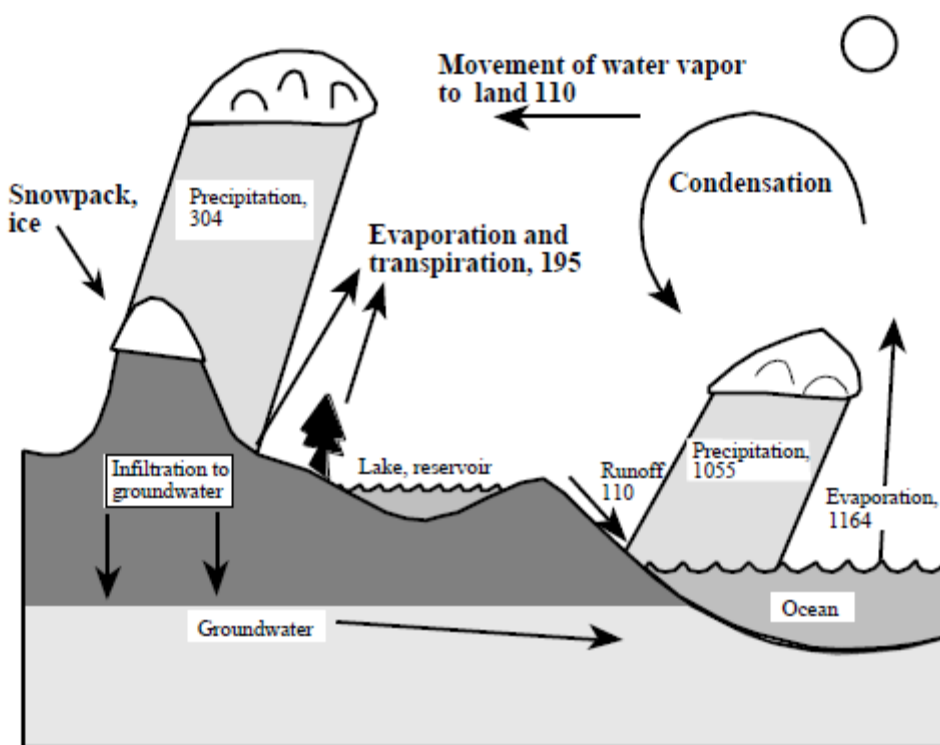
Voda je nejvýznamnější sloučeninou kyslíku a současně je také nejrozšířenější látkou vůbec. V přírodě se běžně vyskytuje ve všech třech skupenstvích, v pevném jako led, dále v kapalném skupenství a v plynném skupenství tvoří vodní páru (Mareček, 2005).

2.2 Vodní cyklus

Globální vodní koloběh je nejmohutnější ze všech přirozených látkových cyklů na planetě (Moldan, 2009). Voda se vypařuje z hladiny moří, oceánů a z povrchu kontinentů do vzduchu. Je přenesena nad kontinent a padá na pevninu v podobě srážek (obr. č. 1). K odtoku dochází potoky a řekami, přitom prochází jezery a rybníky, a ústím řek se dostává zpět do oceánů. Pokud jsou srážky v podobě sněhu, mohou na místě ležet i měsíce než opět roztají a jako voda odtečou řekami.

Voda může odtékat dvěma způsoby, a to povrchovým nebo podpovrchovým odtokem. Základním rozdílem mezi těmito způsoby je, že při povrchovém odtoku dochází často k vodní erozi, u podpovrchového odtoku jsou živiny odnášeny z území pryč (Forman a Godron, 1993).

Obrázek č. 1 Vodní cyklus v bilionech litrů vody



(převzato z Manahan, 2010)

Lellák a Kubíček (1991) uvádí, že tento koloběh je velice rychlý. Voda se v atmosféře po vypaření zdržuje jen pouhých 8,9 dne. Přes tento cyklus se uskutečňuje distribuce vody na celém povrchu Země. Větší část vodního cyklu se uskutečňuje nad hladinou oceánů, na kontinenty se však z vody odpařené nad hladinami moří a oceánů dostává jen malá část, cca. 10%. Vodní koloběh se proto

dělí na velký a malý. Velký koloběh vody přenáší vodu z oceánů na pevninu, kdežto malý koloběh funguje pouze nad pevninou (Polášková a kol., 2011).

2.3 Povrchová voda

Sladké vody se dle výskytu dělí na povrchové vody a na vody podzemní. Do kategorie povrchových vod jsou řazeny vodní toky, jezera, rybníky, nádrže apod. Zvláštní formu představují ústí řek do moří a oceánů, kde dochází k mísení vody slané a sladké, tato ústí jsou často místa rozmnožování mořských organismů (Kalač, 2010).

Povrchová voda je definována jako voda na zemském povrchu ve formě různých útvarů. Člověk ji využívá jako zdroje pitné, technologické, závlahové nebo napájecí vody. Může sloužit i k rekreačním účelům, chovu ryb nebo například jako dopravní komunikace (Polášková a kol., 2011).

Povrchová voda se dále také dělí na lotické a lentické prostředí. Lotické prostředí zahrnuje potoky a řeky, tzn. rychle proudící vody. Lentické prostředí naopak vodní tělesa pomalu se pohybující, jezera, rybníky a močály (Forman a Godron, 1993).

2.3.1 Vodní toky

Za vodní tok se považuje přírodní nebo umělý útvar na povrchu země, kde přirozeným nebo uměle vytvořeným korytem proudí voda a splavené částice (Madar a Pfeffer, 1973).

Vodní toky jsou různé povahy a třídíme je podle několika hledisek. Hlavní způsoby dělení jsou dva, podle jejich vzniku nebo podle určitých charakteristických znaků. Dle vzniku jsou vodní toky rozděleny na přirozené, jejichž koryto je vytvářeno přirozenou činností vody (bystřiny, potoky, řeky) a vodní toky umělé, tzv. kanály.

Vznik a vývoj přirozených vodních toků je výsledkem dlouhodobého historického procesu. V jeho průběhu došlo k vymodelování povrchu Země a tím i vodních toků. Kanály se zřizují za různými účely využití vody (kanály meliorační, energetické, plavební, zásobovací aj.).

Dle charakteristických znaků se vodní toky dělí na bystřiny, horské potoky, říčky, řeky a veletoky. Do charakteristických znaků je řazena velikost, vlastnosti povodí, délka toku či průtokové poměry (Jůva, 1984).

Charakter toků je výrazně ovlivněn charakterem půdy a rostlinného pokryvu v povodí. Do kyprých půd a do půd v lesích se voda vsakuje, zatímco na udusaných půdách k vsaku nedochází. Rostliny vodu čerpají svými kořeny, proto po odlesnění retenční schopnost území výrazně klesá. Jílovité půdy mají mnohem větší schopnost poutat vodu než půdy porézní či písčité (Kalač, 2010).

2.3.2 Složení povrchových vod

Látky obsažené ve vodě se dají dělit podle různých kritérií. Dle rozdělení z fyzikálního hlediska mohou být látky přítomny v pravých roztocích jako rozpuštěné látky či jako látky nerozpuštěné (Heteša a Kočková, 1997).

Pitter (1999) látky dále dělí na iontově a neiontově rozpuštěné. Hlavními zástupci kationtů iontově rozpuštěných jsou vápník, hořčík, sodík a draslík. Z aniontů zejména hydrogenuhličitanů, sírany, chloridy a dusičnany. Zástupci neiontově rozpuštěných látek jsou především křemík či bor. Dále sem spadají rozpuštěné plyny, zde je nejvýznamnější kyslík a oxid uhličitý.

Do nerozpuštěných látek řadíme různé hlinitokřemičitany, hydratované oxidy kovů (například železa, manganu nebo hliníku), fytoplankton, zooplankton, organický detrit, oleje, tuky aj. Horáková a kol. (1989) rozděluje nerozpuštěné látky dále na usaditelné, neusaditelné a vzplývavé.

Nerozpuštěné látky prezentují množství organických i anorganických látek suspendovaných ve vodě. Na druhou stranu rozpuštěné látky ukazují množství rozpuštěných solí vody, tzn. mineralizaci. Při analýze se rozpuštěné a nerozpuštěné látky oddělují filtrací. Obsah jednotlivých typů látek se vyjadřuje jako hmotnostní koncentrace, a to obvykle v mg.l^{-1} nebo g.l^{-1} (Heteša a Kočková, 1997).

Rozpuštěné látky v tocích mají původ především z atmosférických plynů a srážek, či z vymývaného podloží. Toky odvodňující odlišné geologické podloží se navzájem chemicky liší (Lellák a Kubíček, 1991).

Základní význam pro obsah látek ve vodních tocích vidí Heteša a Kočková (1997) ve způsobu jejich napájení. Ten může být realizován povrchovými nebo podzemními vodami. Pokud jsou toky napájeny podzemní vodou, jsou ve větší míře mineralizovány. Napájení povrchovými vodami je dále děleno na:

1. přítoky z horských sněhů a ledovců - zde je mineralizace malá a převládá zde především hydrogenuhličitan vápenatý, tyto vody mají charakteristický mléčný zákal;
2. přítoky z bažin a rašelinišť - tyto toky mají také málo mineralizovanou vodu, převládá zde obsah organických látek huminového charakteru, mají kyselou reakci a velmi často zde úplně chybí hydrogenuhličitan, jejich voda bývá zbarvena žlutě až hnědě;
3. povrchové přítoky – napájení tímto způsobem probíhá především při jarním tání sněhu, tyto vody jsou bohatší na rozpuštěné minerální látky.

Pitter (1999) rozděluje změny ve složení povrchových vod na krátkodobé a dlouhodobé. Krátkodobé změny jsou způsobeny hlavně klimatickými a hydrologickými poměry. Dlouhodobé změny jsou trvalejšího rázu a jsou způsobeny lidskou činností. Příkladem je chemizace v zemědělství, zvyšující se urbanizace a industrializace.

2.4 Chemicko-fyzikální parametry vody

Za běžných podmínek je voda bezbarvá a bez zápachu, v silných vrstvách je blankytně modrá. Molekula vody se skládá z 2 atomů vodíku a 1 atomu kyslíku. Tyto atomy nejsou vázány v jedné přímce, ale svírají úhel přibližně $104,5^\circ$ (Mareček, 2005) a tvoří tak strukturu rovnoramenného trojúhelníku (Lellák a Kubíček, 1991). Lellák a Kubíček (1991) poukazují na to, že díky takovému prostorovému uspořádání mají molekuly vody charakter silných dipólů. Struktura molekuly vody umožňuje také tvorbu vazeb, a to prostřednictvím vodíkových můstků, z této vlastnosti vyplývá sklon vody tvořit větší řetězce. Vlastnosti vody jsou významně ovlivněny zejména její strukturou, tedy právě vodíkovými můstky (Mareček, 2005).

Voda je kapalina propustná pro viditelné světlo a delší vlnové délky UV-záření. Toto světlo je nepostradatelné pro průběh fotosyntézy (Kalač, 2010). Povrchové napětí vody je veliké, proto se voda chová jako by byl její povrch pokrytý tenkou vrstvou. Tato vrstva je schopná udržet malé částičky prachu či organismy, například vodoměrky. Pro přežití vodních organismů je důležitá další vlastnost vody - tepelná roztažnost, při které je maximální hustota vody v kapalném stavu při $3,98^\circ\text{C}$. Tato voda je tedy nejtěžší, klesá ke dnu a tím zabraňuje promrznutí vody až na dno (Kvítek, 2005). Je to výborné rozpouštědlo, umožňuje transport živin a odpadních

látek, čímž zajišťuje biologické pochody. Voda má také vyšší krystalizační teplo či specifické teplo než jiné kapaliny (kromě amoniaku), což napomáhá ke stabilizaci teplot.

2.4.1 Elektrolytická konduktivita (vodivost)

Destilovaná voda je pro elektrický proud prakticky nevodivá. Až vlivem rozpuštěných minerálních látek se voda stává vodivou (Lellák a Kubíček, 1991).

Pitter (1999) definuje konduktivitu jako míru koncentrace ionizovaných anorganických a organických součástí vody. Zde Lellák a Kubíček (1991) doplňují, že konduktivita odpovídá obsahu těchto látek, ovšem bez možnosti určení jejich původu a druhu.

Konduktivita je dle Horákové a kol. (1989) základní aditivní vlastností roztoků elektrolytů. Disociací elektrolytů vznikají ionty, které přenášejí elektrický proud.

Konduktivita roztoků je závislá na:

1. koncentraci a disociačním stupni elektrolytů,
2. nábojovém čísle iontů,
3. pohyblivosti iontů,
4. teplotě roztoku.

Vzrůst či pokles teploty o 1°C dle Pittera (1999) způsobuje změnu konduktivity o nejméně 2%. Konduktivita se proto obvykle měří při 25°C nebo se na tuto teplotu alespoň přepočítává.

Konduktivita se měří pomocí konduktometru. Je to převrácená hodnota odporu roztoku v Ω , obsaženého mezi dvěma elektrodami o ploše 1 m², tyto elektrody jsou od sebe vzdálené 1m. Jednotkou konduktivity je S (Siemens, Ω^{-1}). V hydrochemii se využívá jako jednotky mS m⁻¹.

Běžná destilovaná voda mívá konduktivitu 0,05 mS m⁻¹ až do 0,3 mS m⁻¹ a povrchové či prosté podzemní vody obvykle mají hodnotu konduktivity v rozmezí od 5 mS m⁻¹ až do 50 mS m⁻¹.

2.4.2 Reakce vody (pH)

Hodnota pH má mimořádný význam, protože ovlivňuje většinu fyzikálně-chemických, chemických a biochemických procesů probíhajících ve vodách. Tento parametr je oproti elektrolytické konduktivitě schopen rozlišit jednotlivé formy výskytu některých prvků ve vodách (Pitter, 1999).

Jako pH vody se hodnotí koncentrace vodíkových iontů. Kyselost vodných roztoků je způsobena nadbytkem vodíkových iontů H^+ , zásaditost je způsobena nadbytkem iontů hydroxoniových OH^- (Lellák a Kubíček, 1991). Podle obsahu iontů dělíme roztoky na zásady, kyseliny či neutrální roztoky. Za neutrální považujeme takové roztoky, kde jsou koncentrace iontů stejné a tudíž i jejich aktivita (Pitter, 1999). Za kyseliny považujeme látky, které mohou uvolňovat vodíkový ion. Naopak látky, které vodíkový ion poutají, jsou označovány jako zásady (Horáková, 1989).

Ve zcela čisté vodě a ve zředěných roztocích lze koncentraci nedisociované vody považovat za konstantní. Pro výpočet pH stačí proto určit koncentraci pouze jednoho z iontů (Heteša a Kočková, 1997).

Pro vyjádření kyselé či alkalické reakce se používá tzv. vodíkového exponentu pH. Ten je definován jako záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů (Lellák a Kubíček, 1991).

$$(a_{H^+}) = 10^{-pH}; pH = -\log(a_{H^+})$$

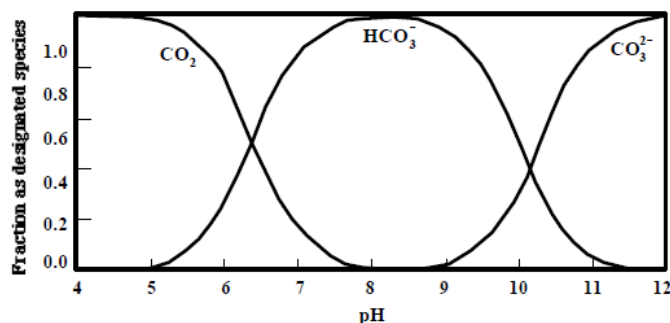
Jak již bylo zmíněno, vztah vodíkových a hydroxoniových iontů je vyrovnaný a proto lze vyjádřit aktivitou jednoho z nich. Zde platí vztah:

$$pH + pOH = 14$$

Pro neutrální roztoky platí rovnice $pH = pOH = 7$. Roztoky s menším pH než 7 jsou považovány za kyselé a roztoky s pH větším než 7 za zásadité (Horáková, 1989).

pH závisí na hydrogenuhličitan – uhličitanovém systému a na obsahu volného CO_2 . Čím je hodnota pH vyšší, s tím roste obsah uhličitanů, ve středních hodnotách jsou zde převládající hydrogenuhličitan a při hodnotách pH velmi nízkých je dominantní oxid uhličitý (Lellák a Kubíček, 1991). Tato závislost je znázorněna na distribučním diagramu (obr. č. 2)

obr. č. 2 Distribuční diagram systému CO_2 , HCO_3^- a CO_3^{2-} ve vodě



(převzato z Manahan, 2010)

V čistých přírodních vodách je hodnota pH v rozmezí od 4,5 do 9,5 a je obvykle dána uhličitanovou rovnováhou.

Podzemní vody mají obvykle hodnotu pH mezi 5,5 až 7,5. Povrchové vody mívají hodnoty pH pohybující se v rozmezí od 6,0 do 8,5, výjimku zde tvoří vody z rašelinišť a nádrže či jezera s acidifikovanými vodami (Pitter, 1999).

Reakce vody (neboli pH) je stanovována kolorimetricky či potenciometricky. Potenciometrická metoda slouží k přesnému stanovení hodnoty pH, metoda kolorimetrická spíše pro orientační stanovení hodnoty (Horáková, 1989).

2.5 Znečišťování vodních zdrojů

Kalač (2010) obecně dělí znečišťující látky na kontaminanty a polutanty. Kontaminanty jsou definovány jako znečišťující látky, spadají sem hlavně chemické látky, mikroorganismy a jejich metabolity a látky radioaktivní. Polutanty jsou označovány jako látky vytvořené lidskou činností, které jsou po určité době či v určité dávce škodlivé člověku. Mezi polutanty a kontaminanty není ostrá hranice, často se tyto termíny užívají společně.

Voda se v přírodě nikdy nevyskytuje naprosto chemicky čistá. Vždy obsahuje rozpuštěné plyny a rozpuštěné nebo nerozpuštěné látky anorganické i organické. Různými látkami se voda obohacuje už při průchodu atmosférou. K hlavnímu obohacení dochází její infiltrací půdou a horninami. Za látky znečišťující vodu, považujeme všechny látky, kterými se přírodní voda odlišuje od vody chemicky čisté (Holoubek a Komárek, 1982).

V současnosti znečištění povrchových vod stále stoupá a dosahuje globálních rozměrů. Kolem 10% všech řek na světě považujeme za znečištěné. Znečištění stoupá především v rozvojových zemích, v zemích rozvinutých je znečištění konstantní či mírně klesá (Moldan, 2009).

Dle Pittera (2009) se zdroje znečištění povrchových vod dělí na 3 typy:

1. Bodové – zde zdroj znečištění přichází do vody soustředěně a je možné zjišťovat jeho kvalitu a kvantitu, př. odpadní vody z městských čistíren či přímé vstupy z kanalizace;
2. Plošné – zdrojem jsou splachy z okolní půdy, především zemědělsky obdělávané, nebo atmosférické depozice;
3. Difúzní – rozptýlené bodové zdroje.

Další možností je také tepelné znečištění, to je způsobeno velkým přívodem tepla do vody. Za následky tepelného znečištění se považuje snížení rozpustnosti kyslíku ve vodě, zrychlení biochemických procesů a následný nepříznivý vliv na organismy – ryby (Pitter, 1999).

Látky, které znečišťují vodu, však nemusí být nutně i látky škodlivé (Holoubek, Komárek, 1982). Škodlivá látka je chápána jako toxická, či jako látka zhoršující sensorické vlastnosti vody nebo způsobující odčerpávání kyslíku rozpuštěného ve vodě (Wittlingerová a Jonáš, 1999). Toto tvrzení doplňuje Štěrba (1983), který uvádí, že toky jsou znečišťovány také cestou přirozenou. Nejčistší voda se nachází prakticky jen těsně pod prameny, dále se už do toku dostávají další částice, např. jehličí, listy, částice hlíny nebo odumřelé organismy. Vážné a škodlivé znečištění je však způsobováno vlivy umělými, a to zejména odpadními vodami, které často obsahují dokonce jedovaté chemikálie.

Vody, které byly kontaminovány, získávají po určité době svoji původní čistotu. Nesmí být však po tuto dobu opět znečištěny. Za toto pročištění je zodpovědný proces tzv. samočištění. Samočištění je autoregulační proces, dochází zde ke komplexním fyzikálním, chemickým a biologickým dějům (Wittlingerová a Jonáš, 1999). Účinnost těchto dějů závisí na koncentraci rozpuštěného kyslíku a jeho přísunu, na teplotě vody, na množství a druhu organických a dalších látek (například látek toxických), na charakteru dna a na aktivitě organismů (Lellák a Kubíček, 1991).

2.6 Klasifikace jakosti povrchových vod

Hodnocení jakosti vody se v praxi zakládá na stanovení ukazatelů, které vyjadřují stav vody v toku. Výběr těchto ukazatelů závisí na způsobu využití jednotlivých povrchových vod (Pitter, 1999).

Wittlingerová a Jonáš (1999) uvádí přehled kriterií, do kterých se jednotlivé ukazatele sdružují a ty se dle normy dělí do 6 skupin:

- I. skupina A – kyslíkový režim (rozpuštěný kyslík, BSK₅, ChSK_{Mn} nebo ChSK_{Cr})
- II. skupina B – základní chemické a fyzikální (pH, teplota vody, rozpuštěné látky či vodivost, nerozpuštěné látky, amoniakální dusík, dusičnanový dusík, veškerý fosfor)
- III. skupina C – doplňující chemické (vápník, hořčík, chloridy, sírany, tenziny aniontové, nepolární extrahované látky, organicky vázaný chlor)
- IV. skupina D – těžké kovy (rtuť, kadmium, arzén, olovo)
- V. skupina E – biologické a mikrobiologické (sirobní index, koliformní bakterie nebo fekální koliformní bakterie)
- VI. skupina F – radioaktivita (celkové objemové aktivity alfa a beta)

Polášková a kol. (2011) uvádí vedení klasifikace jakosti povrchových vod dle normy ČSN 75 7221, ta je dále doplněna nařízením vlády č. 61/2003 Sb. a č. 229/2007 Sb., která řeší otázku vypouštění odpadní vod do vod povrchových. Podle výše uvedených ukazatelů je povrchová voda klasifikována do 5 tříd:

1. třída: velmi čistá voda – tato voda je vhodná pro všechny způsoby využití, kde je požadována jakost pitné vody. Hlavní využití je v potravinářství či pro vodárenské účely, koupaliště nebo pro chov lososovitých ryb;
2. třída: čistá voda – voda je vhodná pro většinu využití, zejména se využívá pro vodárenské účely, dále chov ryb, vodní sporty či zásobování průmyslu vodou;
3. třída: znečištěná voda – tato voda je obvykle použitelná jen pro využití v průmyslu. Může být využívána i pro vodárenské účely, ale jen výjimečně, kdy není k dispozici kvalitnější zdroj vody s lepší jakostí. V tomto případě musí být využívána technologie vícestupňové úpravy povrchových vod;

4. třída: silně znečištěná voda – voda vhodná jen pro omezené účely;
5. třída: velmi silně znečištěná voda – tyto zdroje vody se nevyužívají, většinou se nehodí k žádnému způsobu použití.

2.7 Ochrana povrchových vod

Kvítek a kol. (2005) představují hlavní myšlenku ochrany vod. Ochrana povrchových vod by podle něj měla vycházet z nejnovějších znalostí a vědomostí o možných jevech a příčinách znečištění. V úvahu musí být brán způsob hospodaření v dané lokalitě a také využití konkrétního vodního zdroje.

Ochrana vod celkově je zastřešena především vodním zákonem č. 254/2001 Sb. Zákon byl přepracován při vstupu do Evropské unie a následně novelizován se začleněním legislativy Evropské unie – zákon č. 20/2004 Sb. (Polášková, 2011). Tento zákon ustanovuje mimo jiné Citlivé oblasti a Zranitelné oblasti, čímž řeší ochranu povrchových zdrojů vod z hlediska jejich znečištění.

Citlivé oblasti jsou zde uvedeny jako vodní útvary povrchových vod, v nichž dochází nebo v blízké budoucnosti může dojít v důsledku vysoké koncentrace živin k nežádoucímu stavu jakosti vod. Tyto vody jsou využívány jako zdroje pitné vody, nebo se jejich využití takovýmto způsobem alespoň předpokládá. V těchto vodách je koncentrace dusičnanů přesahující hodnotu 50 mg/l nebo je zde nutný vyšší stupeň čištění odpadních vod. Tyto oblasti jsou vymezeny vládou nařízením, ty podléhají pravidelným přezkoumáním každé 4 roky.

Zranitelné oblasti jsou definovány jako území, kde se vyskytují povrchové nebo podzemní vody, zejména využívané nebo určené jako zdroje pitné vody, v nichž koncentrace dusičnanů přesahuje hodnotu 50 mg/l nebo mohou této hodnoty dosáhnout. Dále jako povrchové vody, u nichž v důsledku vysoké koncentrace dusičnanů ze zemědělských zdrojů dochází nebo může dojít k nežádoucímu zhoršení jakosti vody.

Důležitým dokumentem pro ochranu vod před znečištěním je Nitrátová směrnice – směrnice Rady 91/676/EHS. Ta požaduje vypracování Zásad správné zemědělské praxe zaměřené na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů (dále jen Zásady). Plnění Zásad není dáno zákonně, ale funguje na principu

dobrovolnosti. Zásady mají snahu snížit znečištění povrchových a podzemních vod dusičnany z půdy, hnojiv a hnojiv statkových (Dostál a kol., 2003).

Dle Wittlingerové a Jonáše (1999) je ochrana vodních zdrojů založena na ochraně přírodních faktorů, které vodní zdroje ovlivňují, ochraně území, kde dochází ke koncentraci vodních zdrojů přirozenou cestou a na ochraně území, kde je možnost umělého zvyšování množství povrchových nebo podzemních vod.

Každý tok má svého správce. Nejdůležitější řeky jsou spravovány státní vodohospodářskou organizací – Povodím (Štěrbá, 1986). Dle oficiálních stránek Ministerstva zemědělství eagri.cz je v ČR 5 těchto organizací: Povodí Vltavy, státní podnik, Povodí Ohře, státní podnik, Povodí Labe, státní podnik, Povodí Odry, státní podnik a Povodí Moravy, s. p. Dalším významným správcem drobných vodních toků je státní podnik Lesy České republiky

Velká většina povrchových vodních zdrojů je lokalizována v zemědělsko-lesní krajině, tím je dáno, že největší hrozbu znečištění povrchových i podzemní zdrojů tvoří právě látky ze zemědělské výroby. Dnes představují nejvážnější riziko fosfor a dusičnany, pesticidy či těžké kovy (Kvítek a kol., 2005).

2.8 Zemědělství

Forman a Godron (1993) popisují zemědělství jako soubor opatření, které nemůže být považováno za pouhou sklizeň. K obdělávání půdy je potřeba velká energie, která je dodávána uměle člověkem. Používání pesticidů a umělých hnojiv je dnes v mechanizovaném zemědělství enormně vysoké. Člověk svým počínáním zanechává v krajině nesmazatelné stopy.

2.8.1 Hnojiva

Výživou rostlin rozumíme procesy, při kterých rostlina současně s vlastním růstem odčerpává látky ze svého okolí, tyto látky přeměňuje na látky sobě vlastní (Šarapatka a kol., 2006). Nezbytné látky neboli živiny pro rostliny jsou děleny na makroelementy, mikroelementy a prvky užitečné. Živiny jsou látky anorganické a u rostlin jsou přijímány ve formě iontové (Vaněk a kol, 2002).

Kincl a kol. (1989) rozděluje hnojiva na přímá a nepřímá. Nepřímá hnojiva živiny vlastně neobsahují, ale svou činností je rostlinám vytvářejí (př. podpora symbiotické

funkce na kořenech bobovitých). Přímá hnojiva se dále dělí na průmyslová a organická (statková).

Statková hnojiva patří k základním hnojivům a jsou vyráběna v zemědělství. Nejčastějším hnojivem je hnůj. Hnůj podle Urbana a kol. (2003) vzniká zráním chlévské mrvy, která je směsí pevných a částečně i tekutých výkalů hospodářských zvířat a podestýlky. Dalšími organickými hnojivy jsou močůvka, kejda, které mohou být v kombinaci se slámou, kompost či zelené hnojení.

Průmyslová hnojiva jsou většinou výrobky chemického průmyslu. Vyznačují se vyšším obsahem živin než hnojiva organická a obsahují jednu nebo více živin. Jednosložková průmyslová hnojiva jsou dělena na hnojiva dusíkatá, fosforečná, draselná, hořečnatá a vápenatá. Vícesložková průmyslová hnojiva jsou vyráběna v kombinaci dvou a více živin (Vaněk a kol., 2002).

2.8.2 Vodní eroze

Tlapák a kol. (1992) představují erozi půdy jako proces, při kterém je půda rozrušována a odnášena vodou, často je půda obnažována až na horninový podklad. Erozní produkty zanášejí přilehlé pozemky, vodní toky a nádrže, často ničí výsledky práce v zemědělství, lesnictví apod. Znečišťovány jsou především povrchové vody, a to stojaté i tekoucí. Kvítek a Tipl (2003) uvádí, že eroze půdy nenávratně ochuzuje zemědělské půdy o nejúrodnější část, kterou je ornice.

Zemědělská krajina je dlouhodobě vystavena aplikaci velkého množství chemických látek. Přítomnost těchto látek v půdě, je nebezpečná pro jejich snadný splach a transport vodou. Nejvíce nepříznivý vliv mají hnojiva průmyslová, která jsou ve vodě dobře rozpustná a snadno se vyplavují. Vliv statkových hnojiv je v podstatě menší s výjimkou kejdy, která při přehnojení zůstává na povrchu půdy a může docházet ke smyvu deštěm (Tlapák a kol., 1992). Zejména aplikace hnojiv na svažitě pozemky bez jejich hlubšího zapravení se ukazuje jako riskantní, a to jak z hlediska využití živin ale i zhoršením kvality povrchové vody (Kvítek a Tipl, 2010).

Forman a Godron (1993) tvrdí, že proces eroze lze zastavit a někdy i dokonce zvrátit zejména vysazením rostlin. Navrácení krajiny do původního stavu je zdlouhavý proces, a pokud na postižených pozemcích došlo k silnému narušení půdy, může být i nemožný.

2.9 Eutrofizace vod

Původ slova eutrofizace je z řečtiny, vzniklo složením slova eu (hojný) a slova trophi (potrava či živná látka). Eutrofizaci tedy chápeme jako proces, při němž dochází k přesycování prostředí minerálními živinami, především dusíkem a fosforem (Šafaříčková, 2006). Tlapák a kol., (1992) vidí jako důležitý faktor pro vznik eutrofizačních procesů výskyt fosforu a dusíku. Pro tento jev vytváří příznivé podmínky teplota vody nad 11°C.

Eutrofizace postihuje především řeky, rybníky a vodní nádrže, často je následkem znečištění odpadními vodami a splachy hnojiv (Moldan, 2009). Je to jedna z nejviditelnějších zátěží pro povrchové vody (Polášková, 2011).

Toto tvrzení potvrzují i Holoubek a Komárek (1982), kteří udávají jako jeden z nejvýznamnějších faktorů nadměrného obohacování vody o živiny povrchový splach v důsledku vodní eroze. Zde jsou zdrojem především hnojiva. Více jak polovina plochy zemědělské půdy na území České republiky je ohrožena vodní erozí Kvítek a Tippl (2003).

Obsah živin pro vývoj a nárůst sinic, řas a dalších vodních organismů se nazývá trofie (úživnost). Vody pak dělíme dle stupně trofie a trofického potenciálu (tab. 2).

Tabulka č.2 Stupeň trofie vod

Stupeň trofie vod		Trofický potenciál (mg biomasy.l ⁻¹)
Ultraoligotrofní	Velmi slabě úživná až neúživná	<5
Oligotrofní	Slabě úživná	5-50
Mesotrofní	Středně úživná	50-200
Eutrofní	Silně úživná	200-500
Polytrofní	Velmi silně úživná	500-1000
Hypertrofní		>1000

(převzato z Kalač, 2010)

Vody se dělí do 3 hlavních tříd na oligotrofní, mesotrofní a eutrofní. Oligotrofní vody obsahují málo minerálů, z tohoto důvodu je zde i poměrně málo rostlinných i živočišných druhů. Eutrofní vody jsou naopak velmi bohaté na živiny, toto prostředí ale také není vhodné pro velké množství druhů, ale pouze pro některé, které se rychle

a masivně množí. Mesotrofní vody jsou středně bohaté na živiny, zde je zastoupeno široké druhové spektrum (Kočí a kol., 2000).

Eutrofizace se rozděluje na eutrofizaci přirozenou a umělou (kulturní, indukovanou). Přirozená eutrofizace je jev, který je způsoben výskytem sloučenin fosforu a dusíku pocházejících z půdy a dnových sedimentů. Je to proces, který nelze ovlivnit. Umělá eutrofizace je výsledek civilizačního procesu (Pitter, 1999). Na jejím vzniku se podílí zejména používání dusičnanů a fosforečnanů v zemědělství, průmyslu i domácnostech (Polášková, 2011).

Antropogenní (indukovaná, umělá) eutrofizace porušuje biologickou rovnováhu ve vodě, to má za následek nárůst biomasy řas, sinic a vodních rostlin (Kalač, 2010). K porušení přirozeného koloběhu fosforu a dusíku a jejich následnému hromadění v podzemních i povrchových vodách dochází zejména kvůli vypouštění nevyčištěných splašků a kvůli vyplavování nadbytečných živin ze suchozemského prostředí. V roce 2004 se uváděly následující hodnoty – v případě dusíku bylo 39% vstupů ze zemědělství a 27 % ze sídel. Co se týká fosforu, zde byl obsažen až z 53% ze sídel a z 32% ze zemědělství (Šafaříčková, 2006).

K porušení přirozeného koloběhu musíme přičíst i odstraňování vegetace a odvodňování. Také se v neposlední řadě podílí dokrmování ryb v chovných rybnících (Šafaříčková, 2006). Zde jsou zdrojem, převážně fosforu, použita organická hnojiva (Kalač, 2010).

2.9.1 Látky podporující eutrofizaci

Pro výživu sinic a řas, které mají svým množením a následným odumíráním za následek eutrofizaci vod, má fosfor a dusík zásadní vliv. Poměr těchto dvou prvků je optimální 1:100, kde vyšší poměr zaujímá dusík (Kočí a kol., 2000).

Fosfor

Fosfor je velmi důležitým biogenním prvkem. Některé jeho formy jsou nepostradatelnou živinou pro bakterie a vodní rostliny, jako jsou řasy a sinice (Heteša a Kočková, 1997).

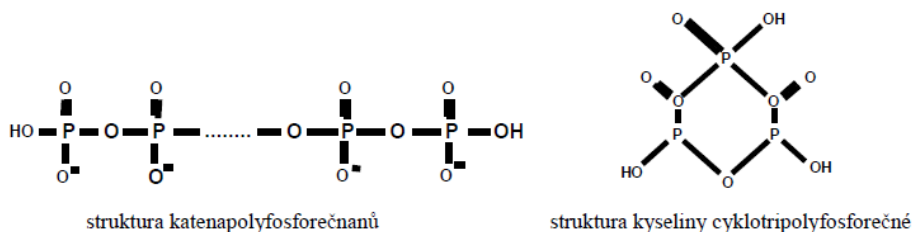
Fosfor je považován za hlavní limitující živinu pro produkci fytoplanktonu (Lellák a Kubíček, 1991) a to podle Liebigova zákona minima (Smith, Tilman, Nekola, 1999). Fosfor hraje základní roli při produkci biomasy sinic a řas (Kočí a kol., 2000).

Dle Holoubka a Komárka (1982) mohou formy fosforu působit i toxicky, ale až při vysokých koncentracích, kterých se v povrchových vodách nedosahuje.

Heteša a Kočková (1997) tvrdí, že koloběh fosforu je velmi pomalý. Tento koloběh významně urychluje až člověk, zejména těžbou fosforu, výrobou fosfátových hnojiv a intenzivním hnojením pozemků. Wittlingerová a Jonáš (1999) toto tvrzení doplňují, když udávají jako jeden z hlavních zdrojů sloučenin fosforu v povrchových vodách splaškové odpadní vody z domácností (detergenty). Dalším zdrojem je zemědělská činnost, kde mají zásadní vliv smyvy fosforu z povrchu půd či úniky odpadních vod z živočišné výroby.

Kočí a kol. (2000) popisují možný výskyt fosforu ve vodách. Důležitý je zejména výskyt fosforu ve formách, které jsou využitelné pro řasy. Fosfor společně s kyslíkem tvoří fosforečnany. Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor se může vyskytovat ve formě polyfosforečnanů nebo orthofosforečnanů. Polyfosforečnany se mohou vyskytovat ve dvou variantách jejich struktury – řetězová (katenapolyfosforečnany) či cyklická struktura (cyklopolyfosforečnany). Tyto formy jsou znázorněny na obrázku č. 3.

obr. č. 3 Formy polyfosforečnanů (Kočí a kol., 2000)



Do forem organicky vázaného rozpuštěného fosforu patří například fosfolipidy, fosfoproteiny, koenzymy ADP a ATP, nukleové kyseliny, aj. Pro sinice a řasy jsou využitelné formy fosforu obsažené v orthofosforečnanech, podstatná část fosforu je vázána v polyfosforečnanech. Organicky vázaný fosfor je také možné využít, a to tak, že ho organismy pomocí extracelulárním enzymů hydrolyzují do fosforečnanů.

Dusík

Dusík je také biogenním prvkem. Jeho hlavním zdrojem je intenzivní zemědělská výroba, zejména dusíkatá hnojiva. Znečištění probíhá organickými hnojivy (hnůj, kejda, močůvka) či hnojivy anorganickými (ledky, síran amonný atd.). Další cestou, jak se dusík dostává do půdy, je navázání vzdušného dusíku přes hlízkovité bakterie na kořenech některých druhů plodin (Šafaříčková, 2006). Lellák a Kubiček (1991) dodávají, že obsah dusíkatých látek může být ve vodě navýšen symbiotickými vazači dusíku. Mezi zástupce patří především bakterie a volně žijící vazači, ke kterým patří i některé druhy sinic př.: *Anabaena* či *Aphanizomenon*. Sloučeniny dusíku působí na eutrofizaci obvykle méně kriticky než fosfor.

Dusík se nachází ve vodách v různých formách. Jeho nejdůležitější formy z pohledu znečištění povrchových a podzemních vod jsou amoniakální a dusičnanové. Amoniakální formy mohou vznikat samotným rozkladem organických látek, nebo se mohou do toků dostávat ve vodách ze živočišné výroby či z vody splašové. Sekundárně mohou vznikat redukcí dusičnanů a dusitanů. Hlavním zdrojem dusičnanů jsou dusíkatá hnojiva. Tato forma dusíku není dlouhodobě v půdách zadržována. Pokud není přijata rostlinami, je vyplavována do vodních toků (Wittlingerová a Jonáš, 1999).

2.9.2 Následky eutrofizace

Následky eutrofizace jsou velmi často viditelné hned či velmi brzy, někdy však mají povahu skrytou a mohou být zřejmé až po několika letech. Vysoký obsah živin může mít dalekosáhlé negativní dopady na přírodní ekosystémy.

Zvýšený obsah živin se projevuje vysokou aktivitou řas, sinic a vodních organismů na úkor druhové bohatosti a rovnováhy. Nejlépe fosforu a dusíku umí využít právě řasy a sinice, tzv. fytoplankton. Ty se rapidně množí a rozšiřují svou populaci (Šafaříčková, 2006).

Vytváří vegetační zbarvení, to je zelené až zelenomodré zbarvení horní vrstvy do hloubky asi 5m. Dále vytváří vodní květ, kdy se řasy nahromadí masivně u hladiny. V tomto stavu je hrozba druhotného znečištění vody organickými látkami. Ty vznikají životními pochody intenzivně rozmnoženého fytoplanktonu (Kalač, 2010).

Vyšší rostliny jsou většinou vytlačovány a postupně mohou úplně vymizet. V návaznosti na jejich zmizení z ekosystému se začnou vytrácet i bezobratlí živočichové, kteří jsou na jejich přítomnosti závislí. Dále se začnou vytrácet i obratlovci závislí na výskytu bezobratlých živočichů. Zanedlouho se začne hromadit ohromná biomasa odumřelých řas a sinic. To zapříčiňuje výrazné snížení kyslíku, který se spotřebovává při rozkladných pochodech jejich odumřelých těl. Tento úbytek kyslíku může vést až k úhynu ryb (Šafaříčková, 2006). Kvítek a Tippl (2003) doplňují, že tato voda je nevhodná pro živočichy závislé na přítomnosti kyslíku, dále ke koupání a snižuje možnost využití pro rekreaci.

Polášková a kol. (2009) poukazuje na další potíže v souvislosti s vysokou hladinou dusičnanů. Dusičnany ve vodách nejsou jen hrozbou z pohledu eutrofizace, ale také z pohledu konzumace lidmi. Dusičnany se snadno mění na nebezpečné dusitany. Dusitany mění hemoglobin na methemoglobin, který již nedokáže přenášet kyslík – dochází k dusičnanové alimentární methemoglobinii.

3 Modelové území

Modelové území se nachází v oblasti Novohradských hor, které jsou součástí Šumavské subprovincie. Tato subprovincie je dále dělena na dvě hlavní oblasti, a to oblast Šumavskou a Novohradskou. V rámci Novohradské oblasti se vymezují další dva celky Novohradské podhůří a Novohradské hory. Novohradské hory jsou pramennou oblastí významných jihočeských řek – Malše, Stropnice, Černé a Lužnice (Papáček, 2003). Celková rozloha české části Novohradských hor je 162 km². Na celém území najdeme 14 vrcholů, které jsou vysoké přes 1000 m, většina z nich se však nalézá na rakouském území. Pouze tři z nich nalezneme na české straně. Nejvyšší nadmořská výška je 1072 m. n. m. - vrchol Kamenec. Střední nadmořská výška vyskytující se na tomto území je 809,9 m. Novohradské hory přechází do Novohradského podhůří o celkové rozloze 719 km². Střední výška je zde okolo 555 m. n. m. (Chábera, 1998).

Toto území je díky své odlehlosti a špatné přístupnosti významné z hlediska uchování cenných společenstev rostlin a živočichů, která jsou často vázaná na vodní prostředí toků, mokřadů či nádrží (Papáček, 2003).

3.1 Historický vývoj

Dle Mikulové a kol. (2000) zůstávalo toto území dlouhodobě řídce obydleno. Mezi hlavní důvody patří odlehlost území mimo komunikační trasy a klimatické poměry. Do osídlení také zasáhla ve 20. století 2. sv. válka. Toto tvrzení podporuje Papáček (2003), podle něj nucený odsun německého obyvatelstva a přísný zákaz pohybu při státních hranicích přispěl k utváření místní krajiny. V tomto období docházelo k cílenému zalesňování a extenzifikaci zemědělství v podhorských a horských oblastech. Takový historický vývoj zapříčinil, že došlo k velkému zmenšení zemědělských ploch (orné půdy) a k velkému zarůstání území, které míří až do klimaxového stádia (na území České republiky do podoby smíšeného lesa).

Osídlení je popsáno tak, že horská část území je prakticky vylidněna, po skončení 2. sv. války zde zaniklo zhruba 25 sídel.

3.2 Zemědělství

Oblast Novohradských hor je díky svým podmínkám málo vhodná pro zemědělství, jsou zde zastoupeny převážně původní lesní půdy, a to převážná část – 78%. Oblast Novohradského podhůří je již značně zemědělsky využívána. Převažují zde zemědělské půdy. Modelové území spadá převážně do mírně teplé klimatické oblasti. Současná vegetace je složena hlavně z podhorských luk, pastvin a v nižších polohách i orných pozemků (Kubeš. 2004).

3.3 Klimatické poměry

Novohradské hory mají podnebí přechodného středoevropského typu. Jedním z hlavních činitelů ovlivňující klimatické poměry Novohradských hor, jsou reliéfní členitost a nadmořská výška. Se zvyšující se nadmořskou výškou výrazně přibývá srážek a dochází ke snižování teplot. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 7°C, ve vyšších polohách jen kolem 4°C. Roční úhrn srážek je okolo 700 mm, tyto srážky jsou během roku velmi příznivě rozloženy. Většina jich spadne od dubna do září. Novohradské hory jsou velice větrné, patří mezi největrnější oblasti jižních Čech (Mikulová a kol., 2000).

3.4 Povrchové vody Novohradských hor

Rakouská část Novohradských hor patří převážně k povodí řeky Dunaje, česká část již k povodí Vltavy (Mikulová a kol., 2000). Kubeš (2004) uvádí, že území Novohradských hor patří mezi významné oblasti se zásobou kvalitní pitné vody

v České republice a vytváří hydrografickou síť. Nejvýznamnějším tokem Novohradských hor je podle Chábery (1998) řeka Malše. Tato řeka pramení na rakouské straně Novohradských hor. Ústí do Vltavy v Českých Budějovicích a délka celého jejího toku je 91,7 km. Malše má dva nejvýznamnější přítoky - Stropnice a Černá. Papáček (2003) poukazuje na význam Malše po Římov. Zde totiž řeka funguje jako vodárenské povodí pro jižní Čechy.

Užší vymezení modelového území

Užší vymezení modelového území tvoří povodí řeky Stropnice s pěti jejími subpovodími – Bedřichovský potok, Veverský potok, Váčkový potok, Pasecký potok a Nakolický potok.

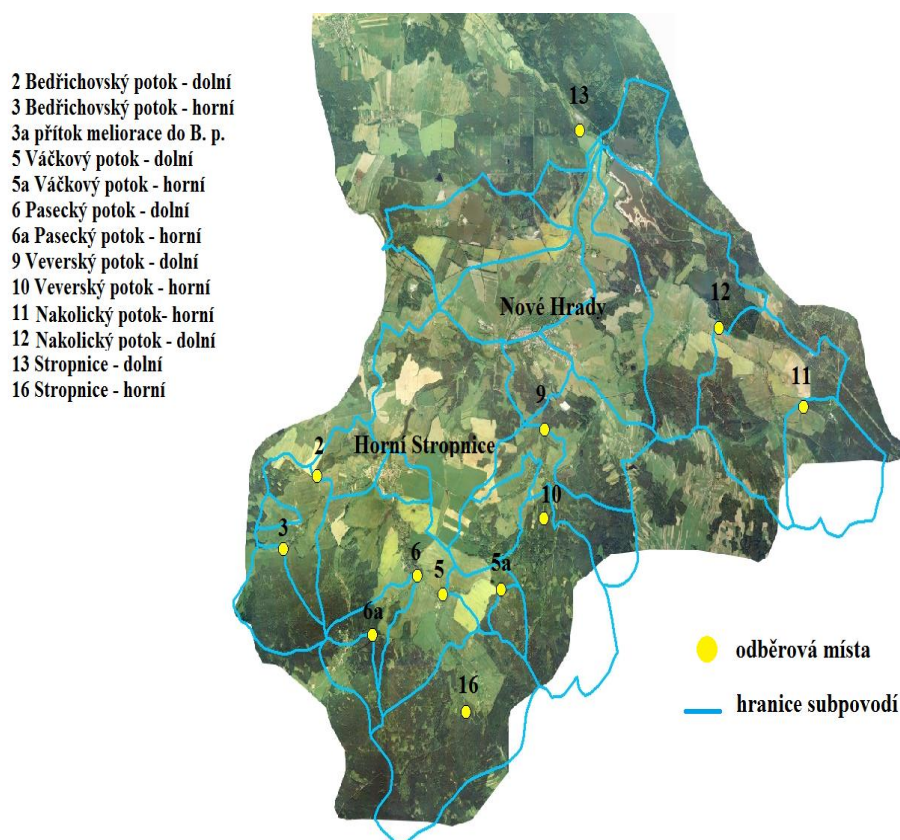
Stropnice je největším pravostranným přítokem Malše. K jejímu povodí spadá celá jihovýchodní část Stropnické pahorkatiny. Stropnice pramení na rakouské straně Novohradských hor v nadmořské výšce 813 m. U Nových Hradů se vlévá do Třeboňské pánve (Mikulová a kol, 2000). Délka toku je 50,8 km. Síť povodí je asymetrická. Její hlavní přítok je zleva a tvoří jej Svinenský potok, který má délku 26,3 km. Dalším významným přítokem je Žárský potok o délce 15,9 km (Chábera, 1998).

4 Metodika

V současné době jsou vzorky odebírány ze 13 odběrových míst na 6 vodních tocích – Bedřichovský potok, Váčkový potok, Pasecký potok, Veverský potok, Nakolický potok a samotná řeka Stropnice (obr. 4).

Pro Bakalářskou práci byla vybrána zpracovaná data za rok 2014. Tato data byla poskytnuta Laboratoří aplikované ekologie v Českých Budějovicích.

Obrázek č. 4: Mapa modelového území s vyznačenými odběrovými místy



Místa byla vybrána tak, aby reprezentovala vodu odtékající ze zemědělské půdy a lesních ekosystémů. Dolní uzávěry toků (odběrová místa č. 2, 5, 6, 9, 12 a 13) a odběrové místo 3a jsou místa odběru vody ze zemědělských ploch. Na území odběrových míst 2, 5 a 9 převažuje orná půda, zatímco odběrová místa 6 a 12 jsou povodí s lučními porosty. Horní uzávěry toků (odběrová místa č. 3, 5a, 6a, 10, 11, 16) jsou místa pro odběr vzorků z lesních ekosystémů. Vzorky byly pravidelně odebírány v intervalu jednoho měsíce.

4.1 Odběry vzorků a jejich analýza

Vzorků vody byly odebírány do dvou litrových polyethylenových lahví, které měly označení dle místa odběru. Po odebrání všech vzorků byly ihned převezeny do laboratoře a následně uloženy v chladu, aby nedošlo k znehodnocení vzorku. Vlastní analýza probíhala v Laboratoři aplikované ekologie v Českých Budějovicích.

Ve vzorcích se měřily následující parametry – pH, vodivost, alkalita (KNK_{4,5}), NO₃ a PO₄. Ke stanovení vodivosti, pH a alkality byla použita potenciometrická titrace 0.1 M HCl. K tomuto stanovení byly využity přístroje WTW (MultiLab P5, P4 a

720). Poté se vzorek filtroval přes GF/C filtr o průměru 0,46 μm , díky tomu byl zjištěn obsah nerozpuštěných látek. Ten se určil jako obsah sušiny materiálu zachyceného při filtrování.

Výsledné obsahy dusičnanů a fosforečnanů byly zjištěny spektrofotometricky pomocí metody průtokové injekční analýzy a využitím automatického analyzátoru FIAstar MT 5000 FIAstar MT 5012 (FOSS Analytical AB Sweden, 2008).

Samotné zpracování dat probíhalo v programu Microsoft Office Excel 2007 a v programu Statistika CZ 12.

5 Výsledky

5.1 Souhrnné výsledky

Získaná data byla rozčleněna na horní a dolní odběrové místo daného povodí, tedy na povrchové vody z lesních ekosystémů a ze zemědělské půdy. Použity byly mediány naměřených hodnot (tab. č. 2). Nejvyšší hodnoty měřených parametrů byly v tabulce tučně zvýrazněny.

Vodivost

Hodnoty vodivosti se pohybovaly v rozmezí od 164,4 do 51,8 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Naprosto nejvyšší hodnota byla naměřena na odměrovém místě 3a (vyústění meliorace do Bedřichovského potoka), kde byla hodnota mediánu až 167,7 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Největší rozdíl mezi hodnotami z horního a dolního odběrového místa se projevil na Váčkovém potoce, naopak nejmenší rozdíl byl zjištěn na toku Paseckého potoka.

pH

Dalším parametrem byla reakce vody (pH). Rozmezí hodnot pro pH bylo poměrně úzké, a to od pH 6,95 do 5,6. Hodnota mediánu 5,6 byla zjištěna na Nakolickém potoce. Zbývající hodnoty se vždy pohybovaly nad hodnotou pH 6, což je pro povrchové vody pH běžné. Největší rozdíl mezi horním a dolním odběrovým místem byl na Nakolickém potoce, nejmenší rozdíl byl zjištěn na potoce Bedřichovském.

KNK_{4,5}

Alkalita (KNK_{4,5}) byla měřena v jednotkách mmol.l⁻¹. Rozmezí pro KNK_{4,5} bylo od 0,71 po 0,09 mmol.l⁻¹. Nejvyšší hodnoty byly opět zjištěny na vyústění meliorace do Bedřichovského potoka. Zde byla hodnota mediánu 0,8 mmol.l⁻¹. Největší rozdíl v rozmezí horního a dolního odběrového místa byl na povodí Stropnice, nejmenší rozdíl byl zjištěn na Paseckém potoce.

Dusičnany

Rozmezí hodnot dusičnanů (NO₃) bylo vytvořeno horním a dolním uzávěrem Váčkového potoka, který zároveň tvoří tok s největším rozdílem v hodnotách. Zde byla naměřena nejvyšší hodnota 4,91 mg.l⁻¹ a nejnižší 0,28 mg.l⁻¹. Nejmenší rozdíl v získaných hodnotách se vyskytuje u Paseckého potoka.

Fosforečnany

Posledním měřeným parametrem byly fosforečnany (PO₄), jejichž hodnoty se pohybovaly v řádech tisícín. Rozmezí hodnot bylo od 0,026 do 0,006 mg.l⁻¹. Rozdíly na horních a dolních uzávěrech byly velmi malé, na toku Váčkového potoka byla hodnota mediánů dokonce úplně stejná. Největší rozdíl byl zjištěn na povodí Veverského potoka.

Tabulka č. 2: Porovnání horních a dolních odběrových míst na vybraných povodích – medián parametrů za rok 2014 s danou směrodatnou odchylkou

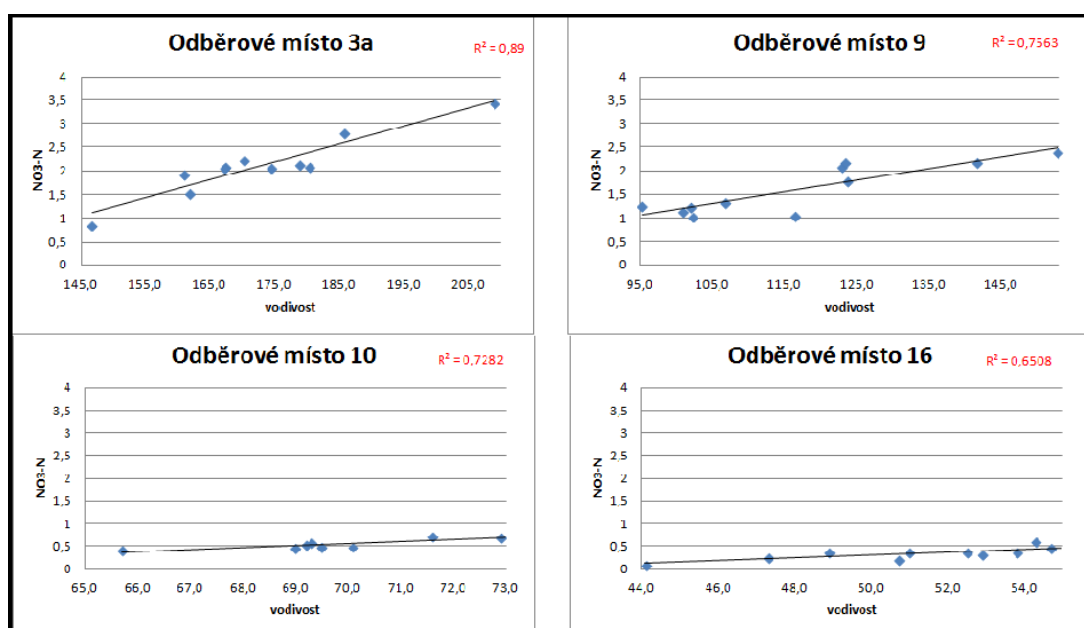
	Bedřichovský potok		Váčkový potok		Pasecký potok	
	dolní odběr. m.	horní odběr. m.	dolní odběr. m.	horní odběr. m.	dolní odběr. m.	horní odběr. m.
vodivost	115,5 ± 8,03	65,1 ± 4,08	164,4 ± 16,69	56,1 ± 3,37	73,3 ± 2,01	64,3 ± 1,54
pH	6,95 ± 0,19	6,8 ± 0,28	6,9 ± 0,18	6,05 ± 0,25	6,8 ± 0,28	6,55 ± 0,23
KNK 4,5	0,53 ± 0,10	0,29 ± 0,07	0,49 ± 0,12	0,09 ± 0,02	0,32 ± 0,05	0,26 ± 0,05
NO ₃ -N	1,82 ± 0,18	0,62 ± 0,25	4,91 ± 1,68	0,28 ± 0,21	1,06 ± 0,19	1,33 ± 0,21
PO ₄ -P	0,024 ± 0,025	0,026 ± 0,007	0,009 ± 0,003	0,009 ± 0,022	0,019 ± 0,02	0,015 ± 0,029

	Veverský potok		Nakolický potok		Stropnice	
	dolní odběr. m.	horní odběr. m.	dolní odběr. m.	horní odběr. m.	dolní odběr. m.	horní odběr. m.
vodivost	111,7 ± 18,05	69,8 ± 3,09	160,4 ± 20,42	116,9 ± 12,43	150,1 ± 12,74	51,8 ± 3,64
pH	6,6 ± 0,12	6,3 ± 0,15	5,6 ± 0,41	6,7 ± 0,33	6,8 ± 0,43	6,25 ± 0,30
KNK 4,5	0,3 ± 0,06	0,12 ± 0,07	0,25 ± 0,13	0,43 ± 0,13	0,71 ± 0,1	0,13 ± 0,17
NO ₃ -N	1,35 ± 0,52	0,57 ± 0,16	2,74 ± 1,13	0,85 ± 0,59	1,07 ± 0,47	0,37 ± 0,14
PO ₄ -P	0,01 ± 0,003	0,006 ± 0,048	0,007 ± 0,017	0,008 ± 0,004	0,014 ± 0,007	0,013 ± 0,253

5.2 Výsledky regresní analýzy

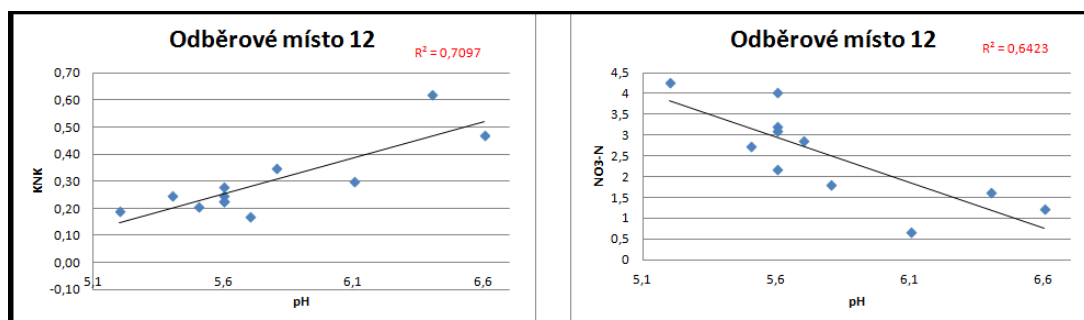
Vztah mezi hodnotou vodivosti a koncentracemi dusičnanů se projevil u odběrových míst 3a, 9, 10 a 16 (obr. č. 5). Nejtěsnější vztah se ukázal u odběrového místa 3a, kde je hodnota spolehlivosti R^2 rovna 0,89. Dalšími odběrovými místy, kde byla zjištěna závislost mezi uvedenými hodnotami, jsou odběrová místa 9, 10 a 16. Všechny tyto korelace jsou kladné.

Obrázek č. 5 Závislost vodivosti na obsahu dusičnanů



U odběrového místa 12 byla zjištěna závislost mezi hodnotou pH a hodnotami KNK a dusičnanů s hodnotou spolehlivosti 0,7097, respektive 0,6423 (obr. č. 6). Záporná korelace byla zjištěna u pH a obsahu dusičnanů, což znamená, že se zvyšujícím se pH obsah dusičnanů klesá.

Obrázek č. 6 Vybrané závislosti na odběrovém místě 12



5.3 Výsledky vícerozměrové analýzy rozptylu

Pro vzájemné porovnání odběrových míst byla použita analýza rozptylu ANOVA na hladině pravděpodobnosti $p \leq 0,05$. Statisticky významné rozdíly jednotlivých parametrů byly v tabulkách zvýrazněny červenou barvou.

Dusičnany

V tabulce č. 3 jsou patrné rozdíly v obsahu dusičnanů mezi jednotlivými odběrovými místy. Odběrová místa na Váčkovém potoce se výrazně odlišovala od ostatních. Na dolním uzávěru (odběrové místo 5) byl zjištěn statisticky významný rozdíl v porovnání se všemi ostatními odběrovými místy a na horním uzávěru Váčkového potoka byl zjištěn statisticky významný rozdíl u všech, kromě odběrového místa 16 (horní uzávěr řeky Stropnice). Průměrná hodnota $4,9 \text{ mg.l}^{-1}$ na dolním uzávěru byla vyšší než u ostatních odběrových míst, zatímco průměrná hodnota $0,28 \text{ mg.l}^{-1}$ horního uzávěru byla statisticky prokazatelně nižší než na většině zbylých odběrových míst.

Dále bylo zjištěno, že statisticky významný rozdíl se vyskytuje u všech horních a dolních uzávěrů jednotlivých toků, kromě Paseckého potoka.

Tabulka č. 3 Rozdíly v obsahu dusičnanů mezi jednotlivými odběrovými místy

NO3	2	3	5	6	9	10	11	12	13	16	3a	5a	6a
2		0,000021	0,000021	0,130742	0,999932	0,000021	0,000106	0,971597	0,044188	0,000020	0,999926	0,000020	0,866064
3	0,000021		0,000020	0,153206	0,000040	1,000000	0,998255	0,000020	0,348316	0,009790	0,000020	0,001148	0,002592
5	0,000021	0,000020		0,000020	0,000020	0,000020	0,000020	0,000733	0,000020	0,000020	0,000047	0,000020	0,000020
6	0,130742	0,153206	0,000020		0,575544	0,127485	0,808642	0,000801	1,000000	0,000020	0,011756	0,000020	0,992651
9	0,999932	0,000040	0,000020	0,575544		0,000038	0,002875	0,609574	0,312184	0,000020	0,952715	0,000020	0,998628
10	0,000021	1,000000	0,000020	0,127485	0,000038		0,995209	0,000020	0,297871	0,022682	0,000020	0,003260	0,002174
11	0,000106	0,998255	0,000020	0,808642	0,002875	0,995209		0,000020	0,955941	0,000120	0,000022	0,000026	0,097073
12	0,971597	0,000020	0,000733	0,000801	0,609574	0,000020	0,000020		0,000150	0,000020	0,999985	0,000020	0,073176
13	0,044188	0,348316	0,000020	1,000000	0,312184	0,297871	0,955941	0,000150		0,000020	0,002712	0,000020	0,934910
16	0,000020	0,009790	0,000020	0,000020	0,000020	0,022682	0,000120	0,000020	0,000020		0,000020	0,999999	0,000020
3a	0,999926	0,000020	0,000047	0,011756	0,952715	0,000020	0,000022	0,999985	0,002712	0,000020		0,000020	0,355484
5a	0,000020	0,001148	0,000020	0,000020	0,000020	0,003260	0,000026	0,000020	0,000020	0,999999	0,000020		0,000020
6a	0,866064	0,002592	0,000020	0,992651	0,998628	0,002174	0,097073	0,073176	0,934910	0,000020	0,355484	0,000020	

KNK_{4,5}

V tabulce č. 4 jsou zpracovány rozdíly v hodnotách alkality mezi jednotlivými místy. U odběrových míst 3a, 5a a 16 byl zjištěn statisticky významný rozdíl se všemi toky, kromě jednoho. Na odběrových místech 3a a 13 byly naměřeny nejvyšší průměrné hodnoty alkality. Hodnoty $0,8 \text{ mmol.l}^{-1}$ a $0,71 \text{ mmol.l}^{-1}$ byly statisticky

prokazatelně vyšší než u ostatních odběrových míst. U odběrových míst 5a a 16 byla hodnota alkality naopak jedna z nejnižších. Podobná průměrná hodnota alkality byla naměřena na horním uzávěru Veverského potoka (odběrové místo 10).

Při porovnání horních a dolních uzávěrů jednotlivých toků bylo zjištěno, že mezi uzávěrami je statisticky významný rozdíl. Tento výsledek nebyl zjištěn pouze u Paseckého a Nakolického potoka.

Tabulka č. 4 Rozdíly v hodnotách alkality (KNK_{4,5}) mezi jednotlivými odběrovými místy

KNK 4,5	2	3	5	6	9	10	11	12	13	16	3a	5a	6a
2		0,002714	0,997247	0,004943	0,052628	0,000020	0,996507	0,000772	0,286077	0,000020	0,002026	0,000020	0,000023
3	0,002714		0,114870	1,000000	0,999844	0,000020	0,123694	1,000000	0,000020	0,000035	0,000020	0,000020	0,973904
5	0,997247	0,114870		0,168105	0,584565	0,000020	1,000000	0,049313	0,012221	0,000020	0,000029	0,000020	0,000689
6	0,004943	1,000000	0,168105		0,999982	0,000020	0,179814	1,000000	0,000020	0,000027	0,000020	0,000020	0,943731
9	0,052628	0,999844	0,584565	0,999982		0,000020	0,605179	0,996704	0,000021	0,000020	0,000020	0,000020	0,575409
10	0,000020	0,000020	0,000020	0,000020	0,000020		0,000020	0,000020	0,000020	0,917328	0,000020	0,211334	0,000027
11	0,996507	0,123694	1,000000	0,179814	0,605179	0,000020		0,053755	0,011027	0,000020	0,000028	0,000020	0,000779
12	0,000772	1,000000	0,049313	1,000000	0,996704	0,000020	0,053755		0,000020	0,000089	0,000020	0,000020	0,996568
13	0,286077	0,000020	0,012221	0,000020	0,000021	0,000020	0,011027	0,000020		0,000020	0,946157	0,000020	0,000020
16	0,000020	0,000035	0,000020	0,000027	0,000020	0,917328	0,000020	0,000089	0,000020		0,000020	0,000441	0,009895
3a	0,002026	0,000020	0,000029	0,000020	0,000020	0,000020	0,000028	0,000020	0,946157	0,000020		0,000020	0,000020
5a	0,000020	0,000020	0,000020	0,000020	0,000020	0,211334	0,000020	0,000020	0,000020	0,000441	0,000020		0,000020
6a	0,000023	0,973904	0,000689	0,943731	0,575409	0,000027	0,000779	0,996568	0,000020	0,009895	0,000020	0,000020	

pH

V tabulce č. 5 jsou patrné rozdíly v hodnotách pH mezi jednotlivými odběrovými místy. Na dolním uzávěru Nakolického potoka (odběrové místo 12) byla naměřena statisticky prokazatelně nižší průměrná hodnota pH (pH = 5,6) než na většině odběrových míst. Výjimkou byl horní uzávěr Váckového potoka (odběrové místo 5a), kde byla zjištěna hodnota pH rovna 6,05 jako druhá nejnižší naměřená hodnota.

Statisticky významný rozdíl v porovnání horních a dolních uzávěrů jednotlivých toků byl zjištěn u Váckového potoka, Nakolického potoka a řeky Stropnice.

Tabulka č. 5 Rozdíly v hodnotách reakce vody (pH) mezi jednotlivými odběrovými místy

pH	2	3	5	6	9	10	11	12	13	16	3a	5a	6a
2		0,933803	0,997856	0,987425	0,169020	0,000039	0,428868	0,000020	0,933803	0,000024	0,997856	0,000020	0,139897
3	0,933803		0,999999	1,000000	0,987425	0,019620	0,999811	0,000020	1,000000	0,007471	0,999999	0,000020	0,979680
5	0,997856	0,999999		1,000000	0,842286	0,002721	0,979680	0,000020	0,999999	0,000830	1,000000	0,000020	0,800894
6	0,987425	1,000000	1,000000		0,933803	0,006590	0,995889	0,000020	1,000000	0,002227	1,000000	0,000020	0,908831
9	0,169020	0,987425	0,842286	0,933803		0,487024	1,000000	0,000020	0,987425	0,327225	0,842286	0,000048	1,000000
10	0,000039	0,019620	0,002721	0,006590	0,487024		0,209761	0,000867	0,019620	1,000000	0,002721	0,306213	0,541669
11	0,428868	0,999811	0,979680	0,995889	1,000000	0,209761		0,000020	0,999811	0,114740	0,979680	0,000022	0,999999
12	0,000020	0,000020	0,000020	0,000020	0,000020	0,000867	0,000020		0,000020	0,001157	0,000020	0,842286	0,000020
13	0,933803	1,000000	0,999999	1,000000	0,987425	0,019620	0,999811	0,000020		0,007471	0,999999	0,000020	0,979680
16	0,000024	0,007471	0,000830	0,002227	0,327225	1,000000	0,114740	0,001157	0,007471		0,000830	0,376531	0,376531
3a	0,997856	0,999999	1,000000	1,000000	0,842286	0,002721	0,979680	0,000020	0,999999	0,000830		0,000020	0,800894
5a	0,000020	0,000020	0,000020	0,000020	0,000048	0,306213	0,000022	0,842286	0,000020	0,376531	0,000020		0,000062
6a	0,139897	0,979680	0,800894	0,908831	1,000000	0,541669	0,999999	0,000020	0,979680	0,376531	0,800894	0,000062	

6 Diskuze

6.1 Souhrnné rozdíly mezi zemědělskými a lesními povodími

Na všech horních a dolních odběrových místech byl zjištěn rozdíl. Bylo zjištěno, že odběrová místa, v jejichž okolí je zemědělsky hospodařeno (dolní odběrová místa), mají hodnoty vodivosti a pH vyšší. U většiny odběrových míst byly zjištěny i vyšší hodnoty zbylých měřených parametrů. Jedinou výjimku tvoří Nakolický potok, zde jsou hodnoty pH, KNK i fosforečnanů nižší u dolního odběrového místa.

Podle těchto výsledků je viditelné, že zemědělská činnost ovlivňuje parametry vodních toků. V extrémních případech dochází až k jejich znečištění. Perry a Vanderklein (1996) tvrdí, že vstupy z jednotlivých farem mohou být malé, ale pokud dochází ke kumulaci vstupů z více farem do jednoho povodí či jiného vodního zdroje najednou, může být velmi obtížné situaci kontrolovat.

Holoubek a Komárek (1982) popisují několik metod ochranných opatření proti znečišťování povrchových i podzemních vod z půd využívaných zemědělsky. Mezi nejúčinnější metody řadí zvýšení procenta zalesněné půdy či zatravnění území, mezi důležité aspekty patří správné nakládání s hnojivem.

Holoubek a Komárek (1982) dále tvrdí, že lesní ekosystémy fungují jako přirozené filtry, dochází k zvyšování kvality vody. Trávy omezují erozi a tím i vyplavování živin. Akumulují do sebe dusík na stavbu vlastních pletiv. Tato funkce se projevuje po celý rok jak u lesních ekosystémů tak i trav, což je hlavní výhodou oproti monokulturám, kde půda není celý rok pokryta vegetací. Zemědělský podnik by měl optimalizovat dávky hnojiv. Volit správně dobu hnojení a druh hnojiva. Zajistit kvalitní uložení a skladování hnojiv či využívat vhodnou agrotechniku.

Vodivost

Běžná hodnota konduktivity povrchových vod se pohybuje v rozmezí 50 mS cm⁻¹ do 500 mS cm⁻¹ (Pitter, 1999). Rozpětí vodivosti, které bylo naměřeno na odběrových místech je od 164,4 mS cm⁻¹ do 51,8 mS cm⁻¹. U všech vzorků odebraných ze zemědělsky obhospodařovaného území byla hodnota vodivosti vyšší. Lewin a Szoszkiewicz (2012) uvádí, že vodivost měří celkové množství rozpuštěných iontů jako nepřímý parametr. To tedy znamená, že na těchto místech byla koncentrace iontů větší.

Nejvyšší průměrná hodnota vodivosti byla zjištěna na vyústění meliorace do Bedřichovského potoka (odběrové místo 3a). Za zvýšení obsahu živin ve vodách je dle Pokorného (2014) zodpovědné právě odvodnění krajiny (půdy).

Největší rozdíl mezi uzávěry jednotlivých toků byl zjištěn u Váčkového potoka (odběrová místa 5 a 5a). Dolní odběrové místo je tvořené převážně ornou půdou a TTP, horní odběrové místo je tvořeno lesním společenstvem. U Paseckého potoka byl naopak naměřen nejmenší rozdíl v průměrných hodnotách vodivosti. Hodnoty obou uzávěrů byly nízké v porovnání s ostatními dolními uzávěry. Celkově povodí Paseckého potoka lze charakterizovat jako převážně luční.

Sledované ionty byly dusičnany a fosforečnany. Zalewski, Harper, Pacini (2008) uvádí dva způsoby transportu látek do vody ze zemědělských oblastí. Fosforečnany se do vodních toků dostávají především erozí, splachy atd. Hlavní cestu pro dusičnany tvoří transport přes podzemní vody.

Dusičnany

Největší rozdíl u hodnot z horních a dolních odběrových míst pro dusičnany byl naměřen u Váčkového potoka. Nejmenší rozdíl u Paseckého potoka, který je obklopen především lučními společenstvy.

Váčkový potok je obklopen převážně ornou půdou v dolním uzávěru, zatímco v horním uzávěru lesními společenstvy. Koncentrace dusičnanů dle Horákové a kol. (1989) je v čistých přírodních vodách většinou malá, v přírodních vodách ze zemědělských oblastí je jejich obsah větší, a to až v desítkách mg.l^{-1} .

Odnos dusíku z lesních společenstev je až o jeden řád nižší oproti orné půdě. Tato zákonitost však platí u lesů zdravých, pokud je dřevo z velké části odumírající, může docházet i k navýšení obsahu dusíku ve vodě (Černohous a Švihla, 2013). Toto tvrzení podporují i Zimmerman et al. (2000) a Moritz a Bittersohl (2000), kteří vysvětlují zvýšení koncentrace NO_3 v německých povodích Grosse Ohe a Ferellenbach po odumírání lesa díky napadení kůrovcem. Koncentrace dusičnanů se stoupla až na desítky mg.l^{-1} .

Černohous a Švihla (2013) dále uvádí, že až 90% dusíku se do vody dostává v podobě dusičnanů. Zdrojem dusíku ze zemědělství je především hnojení

v závislosti na pěstované plodině, lesní společenstva jsou hnojena ale velmi omezeně. Zde jsou jen dva zdroje, atmosférická depozice a biologická fixace vzdušného dusíku.

Tlapák a kol. (1992) jako rozhodující činitel určující kvalitu vody v zemědělské krajině vidí právě dusičnany. Maximální povolený obsah dusičnanů ve vodě pro možné užití jako pitné vody je 50 mg.l^{-1} (Govindal, Noel, Mohan, 2015). Naměřené hodnoty z odběrových míst byly nižší. Nejvyšší naměřená hodnota byla $4,91 \text{ mg.l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$.

Fosforečnany

Obsah fosforu v povrchových vodách dosahuje hodnoty tisícín až setin mg.l^{-1} . Průměrné množství celkového fosforu se udává okolo $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$. Hodnoty obsaženého fosforu se mění dle znečištění vody, především vlivem odpadních vod a zemědělského znečištění, a to až na několik mg.l^{-1} (Lellák a Kubíček, 1991). Hodnoty z odběrových míst se v těchto řádech pohybují. Nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna na horním uzávěru Bedřichovského potoka. Zde byla hodnota mediánu $0,026 \text{ mg.l}^{-1}$.

Rozdíly mezi vzorky vody ze zemědělsky obhospodařovaných území a vzorky z lesních ekosystémů jednoznačně nevykazují, že zemědělská činnost ovlivnila obsah fosforečnanů ve vodě. Nejmenší rozdíl v hodnotách PO_4 byl zjištěn u Váčkového potoka, kde rozdíly v průměrných hodnotách jsou stejné. Největší rozdíl byl zjištěn u Veverského potoka. Obsah fosforečnanů je na dolním uzávěru (zemědělsky využívaná půda) několikrát větší.

KNK_{4,5}

Alkalita (KNK_{4,5}) se pohybovala v rozmezí průměrných hodnot od $0,71 \text{ mmol.l}^{-1}$ po $0,09 \text{ mmol.l}^{-1}$. V pitné vodě KNK nepřímo vyjadřuje obsah hydrogenuhličitanů. Ty mají příznivý vliv na chuť vody, z tohoto důvodu je jejich přítomnost žádoucí. Hodnota KNK se dle ČSN 75 7111 (norma pro pitnou vodu) doporučuje nad $0,8 \text{ mmol.l}^{-1}$. Hydrogenuhličitaný bývají zpravidla dominujícím aniontem (Pitter, 1999).

pH

Dle Pittera (1999) se hodnoty pH povrchových vod pohybují v rozmezí od 6,0 do 8,5. Hodnoty pH, které byly naměřeny na modelovém území, se v tomto rozmezí pohybovaly. Výjimkou byla hodnota naměřená na dolním uzávěru Nakolického potoka, kde byla zjištěna průměrná hodnota pH nižší ($\text{pH} = 5,6$). Hateša a Kočková (1997) uvádí stupnici, dle které všechna odběrová místa spadají do slabě kyselých až neutrálních vod.

Největší rozdíl v uzávěrech jednotlivých toků byl naměřen u Nakolického potoka. Tento potok má v dolní části charakter TTP, v horní části má charakter lesa. Nejmenší rozdíl byl zjištěn u Bedřichovského potoka. Ve spodní části potok protéká zemědělsky obhospodařovanou půdou, v horní části protéká lesem.

Majer a Veselý (2005) vidí jako jeden z parametrů pro snížení pH nadmořskou výšku. Obecně na území České republiky platí, že se stoupající nadmořskou výškou dochází k poklesu pH a snížení obsahu iontů.

6.2 Závislosti vybraných parametrů

Na čtyřech odběrových místech byla zjištěna prokazatelná závislost mezi hodnotou vodivosti a množstvím dusičnanů ve vodě. Jak již bylo zmíněno, vodivost udává celkový obsah iontů ve vodě. Naměřené korelace byly kladné, což znamená, že se zvyšujícím se obsahem dusičnanů se zvyšovala i vodivost. Z toho lze vyvozovat, že jedním z řídicích iontů byly právě dusičnany.

Lewin a Szoszkiewicz (2012) tvrdí, že hodnota pH je spojena s koncentrací hydrogenuhličitanů. V řekách je hodnota hydrogenuhličitanů odpovědná za hodnotu KNK. U hodnoty pH vyšší než 4,5 se ve vodě objevují již hydrogenuhličitanové a u hodnoty pH mezi 7 až 9 hydrogenuhličitanové převažují. Toto tvrzení podporuje Pokorný (2014), když za důležitý faktor změn pH vod považuje její pufrací schopnost, tedy tendenci vody vytvářet rovnováhu jednotlivých forem uhlíku (viz. hydrogenuhličitan - uhličitanový systém). Snížením obsahu oxidu uhličitého a zvýšením obsahu hydrogenuhličitanů (zvýšením KNK) dochází ke zvýšení pH.

Vody na území ČR mají hodnotu KNK nízkou a jsou málo úživné, což znamená, že mají malé množství anorganického uhlíku pro fotosyntézu a snadno podléhají acidifikaci. Vyšší hodnoty pH lze dosáhnout vápněním.

Dolní uzávěr Nakolického potoka (odběrové místo 12) je místo oděru vody protékající ze zemědělsky obhospodařovaného území. Zde byla zjištěna statisticky prokazatelná závislost pH a KNK, což znamená, že s vyšším pH se zvyšoval i obsah hydrogenuhličitanů.

Dále byla zjištěna závislost mezi parametry pH a dusičnany, tato korelace byla záporná. Koncentrace dusičnanů se zmenšovala se zvyšujícím se pH a tím pádem i se zvyšujícím se obsahem hydrogenuhličitanů. Pitter (1999) uvádí reakce a procesy ve vodě, které snižují či zvyšují hodnotu pH a KNK_{4,5}. Mezi ně řadí i proces denitrifikace. Dle Jacoba Kalffa (2003) je denitrifikace proces, kdy dochází k redukci dusičnanů (NO_3^-) nejprve na dusičnanové oxidy (NO a N_2O) a následně na plynný dusík (N_2). Tento proces je uskutečňován díky bakteriím nebo houbám obsaženým v jezerech, řekách či mokřadech a je zodpovědný za úniky dusíku do atmosféry.

6.3 Vícerozměrová analýza rozptylu

Pomocí vícerozměrové analýzy rozptylu (ANOVA) byly vyhodnoceny vybrané parametry v porovnání se všemi odběrovými místy, aby byly zjištěny statisticky významné rozdíly. Pouze toky z chemicky podobného podloží a vyskytující se ve stejných klimatických podmínkách by vykazovaly malé rozdíly (Whitton, 1975)

Dusičnany

Vícerozměrové analýza rozptylu potvrdila, že na vodních tocích jsou rozdíly mezi odběrovými místy, to znamená mezi zemědělskými povodími a povodími lesními, vyjma Paseckého potoka.

Statisticky významný rozdíl dusičnanů byl zjištěn u odběrového místa 5 (dolní uzávěr Váčkového potoka) se všemi zbývajících odběrovými místy, protože zde byla průměrná hodnota dusičnanů nejvyšší. V okolí tohoto odběrového místa je orná půda.

Amonný dusík se poměrně snadno mění na dusičnanový pomocí denitrifikace zejména na orné půdě. Ten je poté částečně odebrán plodinami, částečně vyplaven do podzemních a povrchových vod a část uniká do ovzduší jako N_2 a N_2O (Černohous a Švihla, 2013).

Horní odběrové místo Váčkového potoka (5a) se nachází v lesním společenstvu. Zde byla naopak změřena průměrná nejnižší hodnota dusičnanů. Analýza prokázala statisticky významné rozdíly i pro toto odběrové místo téměř se všemi zbylými odběrovými místy. Výjimku tvořilo odběrové místo 16, které se rovněž nachází v lesním ekosystému.

Menší vyplavování dusíku lesní půdou si Černohous a Švihla (2013) vysvětlují kombinací příčin, jako např. silně kyselá reakce půdy, nepříznivé látky původem z jehlic, menší intenzita hnojení a méně výkonné nitrifikační bakterie.

KNK

Původ hydrogenuhličitanů je převedším z geologického podloží. Pokud vody protékají dolomitickými či vápencovými oblastmi, bývají jejich koncentrace vysoké (Pitter, 1999). Dle analýzy rozptylu byly však zjištěny některé statisticky významné rozdíly při porovnání odběrových míst zemědělských a lesních povodích. Hodnoty $KNK_{4,5}$ ze zemědělských povodí byly většinou vyšší. Nejvyšší hodnoty $KNK_{4,5}$ byly zjištěny u odběrového místa 3a a 13. Obě tato odběrová místa jsou ze zemědělského povodí.

Při porovnání lesních povodí vyplývají statistiky významné rozdíly. Nejnižší hodnoty byly zjištěny u odběrových míst 5a, 16, 10. Tato místa mají statisticky významné rozdíly téměř se všemi dalšími odběrovými místy. Nízké koncentrace mohou být důsledkem odlišného podloží, nebo nižších hodnot pH, se kterými obsah hydrogenuhličitanů klesá, jak již bylo uvedeno výše (kapitola 6.2).

pH

Dle analýzy vyplývá, že při porovnání pH všech odběrových míst ze zemědělsky obhospodařované půdy nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Jedinou výjimku tvoří odběrové místo 12.

Pro odběrové místo 12 (dolní uzávěr Nakolického potoka) byl zjištěn statisticky významný rozdíl se všemi odběrovými místy, kromě horního uzávěru Váčkového potoka (odběrové místo 5a), který ale odvodňuje území lesa. Vody mající nízkou hodnotu vodivosti, nízký obsah hydrogenuhličitanů a nízkou hodnotu KNK jsou

náchylné k acidifikaci (Jacob Kalff, 2003). Tato odběrová místa mají hodnotu KNK i hydrogenuhličitanů nízkou. Odběrové místo 5a má nízkou i hodnotu konduktivity.

Odběrové místo 12 má nejnižší průměrnou hodnotu pH. Původně se zde hospodařilo na orné půdě a pozemek byl pomocí meliorace odvodněn. Kvítek a kol. (2005) považuje odvodnění za zásah do koloběhu vody v krajině. Ten může změnit odnos živin a také snížit hodnotu pH.

Dnes je orná půda převedena na TTP, tím došlo k znefunkčnění meliorace. Voda má parametry spíše vlhké louky, proto zde nacházíme statisticky významné rozdíly v porovnání s ostatními lučními porosty – Pasecký potok.

Jacob Kalff (2003) jako nejsilnější kyselé anionty vidí dusičnany společně se sírany. Na odběrovém místě 12 byla hodnota dusičnanů druhá nejvyšší, tím je lze považovat za řídicí ionty, a lze tak vysvětlit nízké pH.

Při porovnání jednotlivých odběrových míst na jednom toku bylo zjištěno, že na Veverském potoce, Nakolickém potoce a povodí Stropnice byly zjištěny statisticky významné rozdíly, lze tvrdit, že zemědělská činnost ovlivnila pH vody.

7 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo porovnání stavu vod z odlišně obhospodařovaných území. Dle vybraných parametrů byla srovnávána zemědělská a lesní povodí. Důraz byl kladen na látky a parametry, které výraznou měrou souvisí s eutrofizací vod. Většina parametrů vod ze zemědělsky obhospodařovaných území vykazovala vyšší hodnoty.

Lesní společenstva fungují jako přírodní filtry a nedochází u nich k tak intenzivnímu vymývání živin. Zemědělská povodí (hlavně orná půda) jsou náchylná ke splavům a odnosu živin. Živiny jsou zde ve vyšším množství díky hnojení. Lesní společenstva jsou oproti tomu hnojena jen velmi málo. To dokazují hodnoty vodivosti, které byly u některých povodí skoro 3x vyšší při porovnání s lesními ekosystémy.

Za klíčové živiny pro rozvoj eutrofizace jsou považovány převážně sloučeniny dusíku a fosforu, proto byla sledována jejich koncentrace. Hlavní změna byla zjištěna na území Nakolického potoka u odběrového místa 12. Zde došlo historicky k převodu orné půdy na TTP a vlivem managementu nově vzniklých lučních porostů

získaly charakter vlhkých luk. Tím došlo ke změně v hydrochemii povrchových vod. Zjištěny byly překvapivě vyšší koncentrace NO₃ a zcela zásadní byly nízké hodnoty pH, které se při porovnání s ostatními lučními porosty blíží spíše lesním ekosystémům.

8 Použitá literatura

ČERNOHOUS, V., ŠVIHLA, V.: Kvalita odtékajících vod z lesního a zemědělského povodí na základě porovnání vyplavování dusíku. VULH, VS Opočno, Proceedings of Central European Silviculture, 2013.

DOSTÁL J., HABERLE J., KLÍR J., KOZLOVSKÁ L., KVÍTEK T., RŮŽEK P.: *Zásady správné zemědělské praxe zaměřené na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů*. 1.vyd. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR v Ústavu zemědělských a potravinářských informací, 2003, 44s. ISBN 80-7084-268-7.

FORMAN, RICHARD T. *Krajinná ekologie*. 1. vyd. Praha: Academia, 1993, 583 s. ISBN 80-200-0464-5.

HETEŠA, J., KOČKOVÁ, E. *Hydrochemie*. 1. vyd. Praha: MZLU, 1998, 95 s. ISBN 80-7157-289-6.

HOLOUBEK I., KOMÁREK J. *Chemie životního prostředí*. 1. vyd. Brno, Univerzita J. E. - Purkyně v Brně, Fakulta přírodovědecká, 1982, 152s.

HORÁKOVÁ M., LISCHÉ P., GRŮNWALD A. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. 2. vyd. Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury n. p., 1989, 392 s.

CHÁBERA, Stanislav. *Fyzický zeměpis jižních Čech: přehled geologie, geomorfologie, horopisu a vodopisu*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Pedagogická fakulta, 1998, 139 s. ISBN 80-704-0218-0.

JŮVA K., HRABAL A. a TLAPÁK V. *Malé vodní toky*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984, 253 s.

KADARKARAI GOVINDANA, MICHAEL NOELA, RAJA MOHANC: *Removal of nitrate ion from water by electrochemical approaches Journal of Water Process Engineering*. Volume 6, June 2015, Pages 58–63.

KALACH P., TRISKA J., KOLAR L., JIROVCOVA E.: *Chemie životního prostředí*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2010, 2. vyd., 171 s., ISBN 978-80-7394-232-8.

KALFF, Jacob. *Limnology: inland water ecosystems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Inc. 2003, xii, 592 p. ISBN 01-303-3775-7.

KINCL M., KUBICOVA S., ZELINKA J.: *Základy rostlinné výroby pro učitele*. 1. vyd., Ostrava: Pedagogická fakulta v Ostravě, 1989, 232 s. ISBN 80-704-2009-X.

KOCI V., BURKHARD, J., MARŠÁLEK, B.: *Eutrofizace na přelomu tisíciletí*. *Eutrofizace 2000*, Praha, 2000, str. 3-13.

KUBEŠ J. (ed): *Krajina Novohradských hor: Fyzicko-geografické složky krajiny*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2004, 160s. ISBN 80-7040-757-3.

KVÍTEK T., TIPPL M.: *Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině*. Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2003, 46 s., *Zemědělské informace*, č. 10, ISBN 80-7271-140-7.

KVÍTEK, Tomáš a kol. *Využití a ochrana vodních zdrojů*. 1. vyd. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2005, 169 s., ISBN 80-7040-773-5.

LELLÁK J., KUBÍČEK F. *Hydrobiologie*. 1. vyd. Praha, Karolinum, 1992, 256 s., ISBN 80-7066-530-0.

LEWIN, Iga and SZOSZKIEWICZ, Krzysztof: *Drivers of macrophyte development in rivers in an agricultural area: indicative species reactions*. *Cent. Eur. J. Biol.* • 7(4) • 2012 • 731-740.

MADAR Z., PFEFFER A. *Životní prostředí*. 1. vyd. Praha, Orbis, 1973, 571 s., [40] s. obr. příl., ISBN 510-21-855

MAJER, V., VESELÝ, J.: *Složení povrchových vod na území NP Šumava*. Silva Gabreta, vol. 11 (2-3), p. 69–81, Vimperk, 2005.

MANAHAN, Stanley E. *Environmental chemistry*. 9th ed. Boca Raton: Taylor, 2010, p. cm. ISBN 978-1-4200-5920-5.

MAREČEK A., HONZA J.: *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. Nakladatelství Olomouc s. r. o., 2005, Olomouc, 3. vyd., 240 s., ISBN 80-7182-055-5.

MIKULOVÁ, L., I. VOTŘELOVÁ, V. LEIFROVÁ, P. HORN: *Regionální oborový dokument ochrany přírody a krajiny pro území Přírodního parku Novohradské hory*. České Budějovice: LesInfo, 2000.

MOLDAN, Bedřich. *Podmaněná planeta*. 1. vyd. Praha, Karolinum, 2009, 419 s., ISBN 978-80-246-1580-6.

PAPÁČEK M. (ed.): *Biodiverzita s přírodní podmínky Novohradských hor II*. Jihočeská univerzita a Entomologický ústav AV ČR, České Budějovice, 2003, 221 s., ISBN 80-7040-657-7, 80-86668-01-0.

PERRY, J. A., VANDERKLEIN, E. *Water quality: management of a natural resource*. Cambridge, Mass., USA: Blackwell science, c1996, xiii, 639 p. ISBN 0-86542-469-1.

PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 3.vyd. Praha, Vydavatelství VŠCHT, 1999, 568 s., ISBN 80-7080-340-1.

POKORNÝ, Jan.: *Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí, 2014, Ústí nad Labem, ISBN 978-80-7414-886-6.

POLÁŠKOVÁ, Anna. *Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí*. Vyd. 1. V Praze: Karolinum, 2011, 283 s., [16] s. obr. příl. ISBN 978-802-4619-279.

SMITH, V. H., TILMAN, G. D., NEKOLA, J. C.: *Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. environmental pollution 100*, 1999, 179-196. In: KOČÍ, V., BURKHARD, J., MARŠÁLEK, B.: *Eutrofizace na přelomu tisíciletí. Eutrofizace 2000*, 2000, Praha, str. 3-13.

ŠAFAŘÍČKOVÁ S. a PEŠATA M. *Živiny v krajině: dusík, fosfor, eutrofizace půdy a vody, indikace dusíku*. 1. vyd. Č. Budějovice: DAPHNE ČR - Institut aplikované ekologie, 2006, 16 s.

ŠARAPATKA B., URBAN J.: *Ekologické zemědělství v praxi*. Šumperk: PRO-BIO, 2006, 502 s. ISBN 80-870-8000-9.

ŠTĚRBA, Otakar. *Pramen života*. 1. vyd. Praha, Panorama, 1986, 224 s., [48] s. obr. příl.

TLAPÁK V., ŠÁLEK J., LEGÁT V.: *Voda v zemědělské krajině*. 1. vyd, Praha, Zemědělské nakladatelství Brázda, 1992, 320 s., ISBN 80-209-023205.

URBAN J., ŠARAPATKA B.: *Ekologické zemědělství: učebnice pro školy i praxi*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 2003, 280 s. ISBN 80-721-2274-6.

VANĚK, Václav. *Výživa a hnojení polních a zahradních plodin*. 3. dopl. vyd. Praha: Martin Sedláček, 2002, 132 s. ISBN 809024131X12.

WHITTON B. A.: *River Ecology. Studies in Ecology 2*, London, Blackwell Sci. Publ., 1975, 725 s. IN: LELLÁK J., KUBÍČEK F. *Hydrobiologie*. 1. vyd. Praha, Karolinum, 1992, 256 s., ISBN 80-7066-530-0.

ZALEWSKI, M., HARPER, D. M., PACINI, N. *Ecohydrology: processes, models and case studies : an approach to the sustainable management of water resources*. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI, 2008, 1 online resource (ix, 391 pages).

ZIMMERMANN L., MORITZ K., BITTERSÖHL J., ALEWELL C., MATZER E., 2000: Influence of bark beetle infestation on water quantity and quality in the Grosse Ohe catchment (Bavarian Forest National Park). *Silva Gabreta*, 4:51–62. IN:

MAJER, V., VESELÝ, J.: *Složení povrchových vod na území NP Šumava*. Silva Gabreta, vol. 11 (2-3), p. 69–81, Vimperk, 2005

internetové zdroje:

Ministerstvo zemědělství *Správci vodních toků*. dostupné z:

<http://eagri.cz/public/web/mze/voda/spravci-vodnich-toku/> (staženo dne 16. 3. 2015)

Ministerstvo zemědělství. *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. [online] Praha: Ministerstvo zemědělství. Dostupné z:

http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-2001-254-viceoblasti.html (staženo dne: 28.1.2015)

