

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny



Vliv zemědělství na jakost vody v tocích

Bakalářská práce

Autor práce: Tomáš Vaňourek

**Obor studia: Krajinářství -
Územní technická a správní služba**

Vedoucí práce: Ing. Jan Vopravil, Ph.D .

© 2021 ČZU v Praze

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Vaňourek

Krajinářství

Název práce:

Vliv zemědělství na jakost vody v tocích

Název anglicky:

Agricultural management and its influence to water course quality

Cíle práce:

Cílem mé práce je vytvoření literární rešerše k problematice vlivu zemědělství (převážně vodní eroze) na jakost vody v tocích. A dále pak porovnání jakosti povrchové vody dvou odlišných profilů menších povodí – Hamerského potoka (přítok Mže) a Divokého potoka (přítok Úhlavy). Okolí Hamerského potoka je intenzivně zemědělské a břehy Divokého potoka jsou převážně zatravněné či zalesněné. S využitím dat poskytnutých společností Povodí Vltava s.p., provedu vyhodnocení, zda rozdílné využívání půdy na předmětných tocích mělo vliv na jakost vody.

Téma práce lze rozložit do několika otázek:

- a . jaký vliv na jakost vody má druh povodí (zemědělské, zatravněné)?
- b . je rozdíl v obsahu živin?
- c . který ze sledovaných ukazatelů bude mít na povodí nejlepší hodnotu?

Metodika:

Na podkladě doporučené literatury zpracuji podrobnou literární rešerši, kde posoudím vliv zemědělství na jakost vody v povrchových tocích.

Následně dojde ke shromáždění veškerých dat poskytnutých společností Povodí Vltava s.p. Data se týkají jakosti vody v povodí Hamerského potoka (přítok řeky Mže) a povodí Divokého potoka (přítok řeky Úhlavy). Společnost mi předá data, která budou statisticky zpracovaná (roční průměr, minimum, maximum, medián) z monitoringu jakosti povrchových vod. Následně dojde k porovnání a vyhodnocení těchto dat z uvedených profilů a v daných ukazatelích. Profilem je myšlen konkrétní potok a ukazatelem jsou sledované hodnoty. Tímto porovnáním dojde k závěru, které povodí má lepší jakost vody a jaký vliv na jakost vody má vymezené povodí.

Doporučený rozsah práce:

35-45

Klíčová slova:

vodní eroze, jakost vody, zemědělství

Doporučené zdroje informací:

1. JANEČEK, M. -- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Základy erodologie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1842-7 .
 2. JANEČEK, Z . -- ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. *Základy předávání dat o jakosti: tvorba zpráv o jakosti*. Praha: Česká společnost pro jakost, 1998. ISBN 80-02-01196-1 .
 3. KUŘÍK, P . -- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ FAKULTA, -- HRÁDEK, F . *Hydrologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta ve vydavatelství Credit, 2002. ISBN 80-213-0950-4 .
 4. MÁČA, P.-- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ, -- HRÁDEK, F. *Vliv průběhu dešťových srážek na vytváření extrémních odtoků v povodí : disertační práce*. 2005.
 5. VAŠŠOVÁ, D -- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, -- KOVÁŘ, P . *The catchment area characteristics and its management with respect to flood genesis [rukopis] = Vliv charakteristik povodí a jeho managementu na vznik povodňových situací: dissertation: disertační práce*. Disertační práce. Praha: 2012.
 6. VOPRAVIL, J -- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, -- VOPRAVIL, J *Příspěvek ke stanovení erodovatelnosti půdy v podmínkách České republiky [rukopis]*. Disertační práce. Praha: 2006.
 7. VOPRAVIL, J *Půda a její hodnocení v ČR. Díl II./ Jan Vopravil a kol*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2011. ISBN 978-80-87361-08-5 .
 8. VOPRAVIL, J . *Půda a její hodnocení v ČR. Díl. I* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010. ISBN 978-80-87361-05-4 .
 9. VYSOKÁ ŠKOLA ZEMĚDĚLSKÁ V PRAZE, -- KOVÁŘ, P *Úpravy toků: určeno pro stud. oboru zeměd. meliorace*. Praha: MON, 1988.
-

Vedoucí práce:

Ing. Jan Vopravil, Ph.D .

Garantující pracoviště:

Katedra biotechnických úprav krajiny

Konzultant:

Ing. Petr Fučík, Ph.D .

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Vliv zemědělství na jakost vody v tocích " jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Vopravila, Ph.D ., s odbornými konzultacemi Ing. Petra Fučíka, Ph.D ., ve spolupráci se stáním podnikem Povodí Vltava s .p . a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Plzni dne

3.3 .2021

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce panu Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D . za vedení práce, Ing. Petru Fučíkovi, Ph.D . za konzultace a za poskytnutí cenných rad a odborných připomínek. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a svým blízkým, kteří mi po celou dobu studia podporovali. A v neposlední řadě, také svým nadřízeným a mému zaměstnavateli Povodí Vltava s.p., který mi umožnil studovat a na celém projektu se podílet.

V Plzni dne

3.3.2021

Vliv zemědělství na jakost vody v tocích

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se věnuje tématu provázanosti kvality vody ve vodních tocích a půdy v jejich bezprostřední blízkosti.

Cílem práce je, na základě literární rešerše a dat z monitoringu prováděného Povodím Vltava, státní podnik, vyhodnotit vliv využívání půdy v okolí výše uvedených zdrojů na jakost povrchové vody v těchto tocích.

V literární rešerši je čtenář seznámen s pojmy půda a její degradace, eroze a její typy, příčiny a opatření k její minimalizaci, voda, jakost vody a další. V této části je poukázáno na souvislosti mezi vodou a půdou v její blízkosti. V tomto ohledu jsou zde popsány fyzikální a chemické vlastnosti půdy, její význam, složení a jak všechny tyto odolnosti ovlivňují kvalitu a složení vody.

Ve výzkumné části byly poskytnuty údaje společností Povodí Vltava, státní podnik, který pravidelně provádí monitoring jakosti povrchových vod, na námi vybraných tocích. V metodické části jsou dále popsány charakteristiky vybraných toků. Prvním, námi vybraným tokem je Hamerský potok (přítok Mže), jehož okolí je intenzivně zemědělsky využíváno a ošetřováno. Druhým je Divoký potok (přítok Úhlavy), jeho okolí je převážně zatravněná, nebo zalesněná krajina. Oba výše uvedené toky jsou dále porovnány ve vybraných parametrech a tyto rozdíly jsou následně zhodnoceny pomocí kvantitativních výzkumných metod. Byl sledován zejména roční průměr, minimum, maximum a medián sledovaných oblastí. Časový úsek pro tuto práci byl vybrán rozmezí let 2014 - 2018.

Závěr práce je věnován výsledkům výzkumné části. Sledováno bylo celkem 23 veličin, které byly v průběhu let 2014-2018 sledovány u obou toků. U Divokého potoka byly naměřeny vyšší hodnoty u teploty vody a vzduchu a obsahu dusitanů a dusičnanů. Hamerský potok měl oproti tomu vyšší neměřené hodnoty chlorofylu a nasycení kyslíkem, dále v množství amoniaku, amonných iontů, amoniakálního dusíku, CHSK-cr, DK, organického uhlíku a rozpuštěného kyslíku. Srovnatelné hodnoty byly u obou toků v případě PH, fosforu. Bylo tedy zjištěno, že okolí toku má zásadní vliv na jakost vody v toku, kdy ze zemědělsky využívané půdy mohou do vody pronikat rezidua splašků, hnojiv, krmiv, pesticidů a dalších látek, které jsou v zemědělských oblastech hojně využívány. V případě Divokého potoka je kvalita vody ovlivněna také kyselostí lesní půdy. Nemalý vliv na výše uvedené má také délka, celková plocha a průtok jednotlivých toků, kdy rozdíl v námi vybraných tocích je markantní.

Přínos práce vidím zejména v možnosti dalšího podrobnějšího studia vlivu zemědělství a nedostatečného využívání ČOV na kvalitu vod, které jsou mnohdy následně využívány jako zásobárna pitné vody pro lidi.

Klíčová slova:

vodní eroze, jakost vody, zemědělství

Agricultural management and its influence to water course quality

Abstrakt

The presented bachelor thesis deals with the topic of interconnection of water quality in watercourses and soil in their immediate vicinity.

The goal of this work is to evaluate the impact of land use in the vicinity of the above sources on the quality of surface water in these streams based on literature search and data from monitoring carried out by the Povodí vltava, s.p.

In the literature search, the reader is acquainted with the concepts of soil and its degradation, erosion and its types, causes and measures to minimize it, water, water quality and more. This section points out the connections between water and the soil in its vicinity. In this regard, the physical and chemical properties of the soil, its significance, composition and how all these resistances affect the quality and composition of water are described.

In the research part were provided data by the company Povodí Vltava, s.p. that regularly monitors the quality of surface water on our selected streams. The methodological part further describes the characteristics of selected flows. The first stream selected by us is the Hamerský potok (tributary of the Mže), the surroundings of which are intensively used and treated for agriculture. The second is the Divoký potok (a tributary of the Úhlava), its surroundings are mostly grassy or wooded landscape. Both of the above flows are further compared in selected parameters and these differences are then evaluated using quantitative research methods. The annual average, minimum, maximum and median of the monitored areas were reported. The time period for this work was chosen between 2014 – 2018.

The conclusion of the work is devoted to the results of the research part. A total of 23 variables were monitored, which were monitored for both streams during the years 2014-2018. Higher values of water and air temperature and nitrite and nitrate content were measured at Divoký potok. Hamerský potok, on the other hand, had higher unmeasured values of chlorophyll and oxygen saturation, as well as in the amount of ammonia, ammonium ions, ammoniacal nitrogen, COD-cr, DK, organic carbon and dissolved oxygen. Comparable values were for both streams in the case of PH, phosphorus. Thus, it was found that the surroundings of the stream have a major impact on the quality of water in the stream, where residues of sewage, fertilizers, feeds, pesticides and other substances that are widely used in agricultural areas can enter the water from agricultural land. In the case of Divoký potok, the water quality is also affected by the acidity of the forest soil. The length, total area and flow of individual streams also have a significant effect on the above, when the difference in our selected streams is significant.

I see the benefit of my work mainly in the possibility of further detailed study of the impact of agriculture and insufficient use of wastewater treatment plants on the quality of water, which are often subsequently used as a reservoir of drinking water for people.

Keywords:

water erosion, water quality, agriculture

Obsah

1 Úvod	15
2 Cíl práce	16
3 Literární rešerše	17
3 .1 Půda	17
3 .1 .1 Vznik půdy.....	17
3 .1 .2 Hlavní typy půdy	18
3 .1 .3 Význam půdy.....	20
3 .1 .4 Fyzikální vlastnosti půdy	20
3 .1 .5 Chemické vlastnosti půdy	22
3 .1 .6 Degradace půdy	24
3 .2 Eroze	28
3 .2 .1 Eroze obecně	28
3 .2 .2 Druhy eroze.....	29
3 .2 .3 Vodní eroze, její příčiny a důsledky a formy eroze	29
3 .2 .4 Větrná eroze, její příčiny a důsledky	36
3 .2 .5 Ledovcová eroze	39
3 .2 .6 Sněhová eroze	40
3 .2 .7 Ochrana proti vodní erozi	41
4 Voda	44
4 .1 Voda – základ života	44
4 .1 .1 Ochrana vod a politika	45
4 .1 .2 Legislativa a dezinfekce odpadních vod	45
4 .1 .3 Koliformní bakterie ve vodě.....	46

4.2 Hnojení a management půdy na odvodněných pozemcích nebo v jejich návaznosti	47
4.2.1 Možnosti snížení vyplavování dusičnanů z orných půd agrotechnickými postupy	47
4.3 Eutrofizace a znečišťování vody	51
4.3.1 Fosfor	51
4.3.2 Dusík	55
Procesy ovlivňující vyplavování dusíku z orné půdy do vod	56
4.3.3 Pesticidy	59
4.4 Povodí Vltavy, státní podnik - jeho profil	64
4.4.1 Hamerský potok – přítok řeky Mže.....	66
4.4.2 Divoký potok – přítok Úhlavy.....	69
4.4.3 Výzkumné metody	72
4.4.4 Sběr dat	72
4.4.5 Vyhodnocení dat	72
4.4.6 Výběr výzkumného souboru.....	73
5 Monitoring.....	74
6 Výsledky	75
7 Diskuse.....	92
8 Závěr	95
9 Seznam použité literatury a internetových odkazů	97
graf č. 1 Srovnání teploty vody a vzduchu na sledovaných tocích	75
graf č. 2 Porovnání zákalu odebraných vzorků vody	76
graf č. 3 Srovnání obsahu chlorofyl-a na obou tocích.....	76

graf č. 4 Srovnání nasycení kyslíkem u sledovaných toků	77
graf č. 5 Srovnání obsahu fosforu fosforečnanového	77
graf č. 6 Obsah celkového fosforu	78
graf č. 7 Srovnání obsahu amoniakálního dusíku	78
graf č. 8 Srovnání obsahu anorganického dusíku	79
graf č. 9 Srovnání obsahu dusičnanového dusíku	80
graf č. 10 Srovnání hodnot dusitanového dusíku	81
graf č. 11 Srovnání obsahu celkového dusíku	81
graf č. 12 Srovnání pH vody	82
graf č. 13 Srovnání elektrolytické konduktivity terénu	82
graf č. 14 Srovnání množství výskytu FKOLI	83
graf č. 15 Srovnání obsahu celkového organického uhlíku	84
graf č. 16 Srovnání množství dusičnanů	85
graf č. 17 Srovnání obsahu dusitanů	86
graf č. 18 Srovnání obsahu rozpuštěného kyslíku	87
graf č. 19 Srovnání množství nerozpuštěných látek	87
graf č. 20 Srovnání CHSK - Cr	88
graf č. 21 Srovnání biochemické spotřeby kyslíku	88
graf č. 22 Srovnání obsahu Amoniaků – amonných iontů	89
obr. č. 1 Pedosféra (Priessnitzová, 2013)	18
obr. č. 2 Ukázka typů půd (Priessnitzová, 2013)	20
obr. č. 3 Struktura půdy (Šarapatka, 1996)	21
obr. č. 4 Černozemě mají optimální složení sorpčního komplexu (Vopravil, 2010)	22

obr. č. 5 Podzoly mají špatné sorpční vlastnosti (na fotografii je mikropodzol) (Vopravil, 2010)	23
obr. č. 6 Mezi půdy s přirozeně nízkým pH, a tím vyšší zranitelnosti k okyselování patří naše nejběžnější půda – kambizem (Vopravil, 2010)	23
obr. č. 7 Degradace půdy představuje závažný problém pro všechny státy (zdroj UNEP)	24
obr. č. 8 Typický proces degradace půdy: nejdříve byla půda využívána jako les, později k pastvě – intenzivní zemědělskou činností nastala degradace půdy a vznikla poušť (Anthoni,2000).....	25
obr. č. 9 (Šimůnek, Macková, 2015)	26
obr. č. 10 (Šimůnek, Macková, 2015)	26
obr. č. 11 Poškození kukuřice vodní erozí (Vopravil, 2010).....	31
obr. č. 12 Erodovaná půda z výše ležících částí půdního bloku poškozuje plodiny na úpatí svahu a v údolnici (Novotný a kol., 2014)	31
obr. č. 13 Nánosy poškozující nižší partie půdního bloku (Novotný a kol., 2014) ...	32
obr. č. 14 Potenciální ohroženost půdního bloku vodní erozí (Novotný a kol., 2014)	32
obr. č. 15 Ukázka plošné eroze (Novotný a kol., 2014)	33
obr. č. 16 Vodní eroze snižuje výnos plodin až o 75% (ekolist.cz)	33
obr. č. 17 Vodní eroze snižuje výnos plodin až o 75%	34
obr. č. 18 Detail rýžkové eroze (Novotný a kol.,2014)	34
obr. č. 19 Detail rýhové eroze (Novotný a kol, 2014).....	35
obr. č. 20 Výmolná eroze v údolnici půdního bloku (Novotný a kol., 2014)	35
obr. č. 21 Zavátí komunikace (Novotný a kol., 2014).....	37
obr. č. 22 Typ prodouvavého větrolamu (Novotný a kol., 2017)	37
obr. č. 23 Typ neprodouvavého větrolamu (Novotný a kol., 2017)	38

obr. č. 24 Typ poloprodouvacího větrolamu (Novotný a kol., 2017)	38
obr. č. 25 Ledovcová eroze (wikipedie).....	40
obr. č. 26 Sněhová eroze (Spotmatik).....	41
obr. č. 27 Erozní rýha s bramborami. Českomoravská vrchovina. Foto J. Konečná	54
obr. č. 28 Průběh odtoku, teploty drenážní vody a koncentrací pesticidů v průběhu srážko-odtokové epizody krátce po aplikaci na pokusné lokalitě Vepřikov	63
obr. č. 29 Příklad kaskády tůní a umělých mokřadů pro odbourávání pesticidů z drenážních a povrchových vod, Plzeňsko (foto P. Fučík)	63
obr. č. 30 Územní působnost státního podniku Povodí Vltavy.....	65
obr. č. 31 Hamerský potok blízko soutoku se Mží	67
obr. č. 32 Hamerský potok	68
obr. č. 33 Hamerský potok	68
obr. č. 34 Divoký potok.....	69
obr. č. 35 Divoký potok.....	70
obr. č. 36 Divoký potok.....	70

1 Úvod

Téma bakalářské práce „Vliv zemědělství na jakost vody v tocích“ jsem si zvolil s ohledem na svoji práci ve státním podniku Povodí Vltava, státní podnik, které mi poskytlo potřebná data ke zkoumání, porovnání a vyhodnocení jakosti vody ve dvou odlišných povodí.

Porovnávat budu profily dvou vymezených povodí v ukazatelích poskytnutých společností Povodí Vltava, státní podnik.

- 1073 Hamerský p. (př.Mže) – Brod nad Tichou, ř . km 4 ,7 ,
- 3224 Divoký p. (př.Úhlavy) – Dolní Lukavice, ř . km 0 ,2 .

Součástí sledování bude porovnání poskytnutých ukazatelů jako je teplota vody, teplota vzduchu, zákal v laboratoři, dusík, fosfor, amoniak, hořčík, vápník, draslík atd. Zaměřím se na vyhodnocení daných ukazatelů v obou profilech povodí v roce 2014, 2015, 2016, 2017 a 2018. Jedno povodí je intenzivně zemědělské a druhé sledované povodí je z části zatravněné, z části zalesněné.

Zaměřím se na prokázání rozdílů mezi oběma druhy povodí. Porovnáám, ve kterém ukazateli je rozdíl nepatrný a kde naopak zásadní.

Hlavním cílem mé práce bude určit, které ze sledovaných profilů povodí má lepší jakost vody v období 2014-2018. A jaký vliv na tuto jakost má způsob využití území v povodí a případné další (nezemědělské) zdroje znečištění vod.

Ke zkoumání tohoto procesu jsem využil odbornou literaturu dle soupisu a statisticky zpracovaná data poskytnutá Povodím Vltava, státní podnik. Data byla souhrnně ve formě ročních hodnot za roky 2014-2018.

2 Cíl práce

Cílem mé práce je vytvoření literární rešerše k problematice vlivu zemědělství (převážně vodní eroze) na jakost vody v tocích. A dále pak porovnání jakosti povrchové vody dvou odlišných profilů menších povodí – Hamerského potoka (přítok Mže) a Divokého potoka (přítok Úhlavy). Okolí Hamerského potoka je intenzivně zemědělské a břehy Divokého potoka jsou převážně zatravněné či zalesněné. S využitím dat poskytnutých společností Povodí Vltava, státní podnik, provedu vyhodnocení, zda rozdílné využívání půdy na předmětných tocích mělo vliv na jakost vody.

3 Literární rešerše

3.1 Půda

3.1.1 Vznik půdy

Půda je zemitá povrchová vrstva pevné kůry zemské, která je schopná dávat úrodu, popřípadě která se dá přizpůsobit za stanoviště kulturních plodin. Úrodnost je tedy osobitou vlastností půdy, kterou se půda liší od mateční horniny z níž vznikla. (Laník, Halada, 1960).

To, že půda není pro člověka samozřejmostí, nýbrž dar, a že ji neumí vytvořit, ani regenerovat uvádí ve své knize J. Vopravil. Popisuje půdu jako absolutně vzácný statek, který musí stačit ke splnění potřeb a nároků lidí a všech živých bytostí. Nároky, které lidstvo klade přímo i nepřímo na půdu, musí být uspokojeny nenahraditelným statkem – půdou. Někdy zůstanou na základě rozhodnutí člověka, tyto nároky neuspokojeny. Musíme si uvědomit, že je jen na nás, jak půdu využíváme, ne-li zneužíváme. Naše chování by mělo umožňovat život i v blízké budoucnosti. Je nutné definovat a dodržovat pravidla, jak půdu využívat s přihlédnutím na současnost, ale i budoucnost. Člověk je bez půdy nemyslitelný, zatímco půda existuje nezávisle na lidech. S půdou nesmíme volně nakládat, není zde jenom náhodně. Půda je život a se životem nelze volně nakládat. (Vopravil a. kol, 2010).

Názory na půdu se během doby vyvíjely. Do osmdesátých let minulého století se pohlíželo na půdu pouze ze statického hlediska jako na mrtvou směs nerostných částic, vzniklých zvětráním hornin, s příměsí ústrojného podílu, který se vytvořil rozkladem rostlinných i živočišných zbytků. Novodobý názor na půdu spojoval vždy zkoumání půdy jako přírodního organismu se studiem půdy jako výrobního prostředku v zemědělství. Poukazuje na to, že se půdy vytvářejí za současného působení pěti přírodních činitelů – podnebí, mateční horniny, rostlinných a živočišných organismů, reliéfu území a podzemní vody. (Laník, Halada 1960).

Půda tvoří obal země (viz.obr. 1). Její vznik trval několik milionů let. Zjednodušeně řečeno, půda vzniká zvětráním hornin. Na její vznik má vliv působení vody, větru, živočichů, rostlin a v neposlední řadě změny teploty vzduchu. Nejúrodnější částí půdy je humus, který obsahuje velké množství živin. (Vopravil a kol., 2010)

Pedosféra

Půdní obal Země, nacházející se na povrchu litosféry.



obr. č. 1 Pedosféra (Priessnitzová, 2013)

3 .1 .2 Hlavní typy půdy

- Černozemě – nížiny, silná vrstva humusu, černá barva, přímo na mateční hornině (spraš), nejúrodnější, na vápnatých spraších (viz obr.č. 2, 4)
- Hnědozemě – nížiny, nízké pahorkatiny, méně humusu než černozemě (do 30 cm), spraš a sprašová hlína (viz obr.č. 2)
- Zamokřené půdy (pseudogleje, gleje) - provlhčené povrchovou nebo podzemní vodou, typická je špatná propustnost (louky), jíly, slíny
- Rendziny - na silně karbonátových horninách (vápence, dolomity), v krasových oblastech, malý humusový horizont s vyšším obsahem skeletu
- Pararendziny - a zvětralinách karbonátově-silikátových hornin (vápnité břidlice, pískovce, opuky)
- Litozemě – na zpevněných silikátových až karbonátových substrátech, mělký povrchový humusový horizont

- Regosoly – na nezpevněných silikátových až karbonátových podkladech
- Fluvizemě (nivní půdy) – vyplňují dna údolí
- Černice (lužní půdy) - vznikají na nivách při jejich vnějších okrajích, mimo dosah pravidelných záplav
- Rašeliništní půdy - jsou vytvořeny intenzivní akumulací slabě rozložených rostlinných zbytků v silně zvodnělém prostředí (Vopravil a kol. 2010)

Klasifikace půd je uváděná jako rozlišovací systém. Český Taxonomický klasifikační systém je založen na seskupování půd podle jejich geneze a podle některých dalších znaků, hlavně analytických charakteristik půd. Zahrnuje tyto kategorie:

- Referenční třídy půd
- Půdní typy
- Půdní subtyp
- Půdní varieta
- Půdní subvarieta
- Substrátové a lokální půdní formy
- Degradační, erozní a akumulační fáze nebo formy
- Půdní druh
- Substrátová příslušnost

Půdní typy v tomto pojetí jsou uváděny jako skupiny půd, které jsou charakterizovány obdobnými morfologickými a analytickými znaky, se stejným genetickým půdotvorným pochodem a určitou kombinací (výskytem a pořadím) diagnostických horizontů. Jejich český název je dán buď tradičním pojmenováním (glej, rendzina, podzol) či názvem končícím na – zem (nikdy -sol), např. černozem, hnědozem, antropozem apod. (Vopravil a . kol, 2010)

- Černozem

- Hnědozem



obr. č. 2 Ukázka typů půd (Priessnitzová, 2013)

3 .1 .3 Význam půdy

Půda je pro člověka významným zdrojem surovin, energie a také nám dává možnost stavět obydlí, které nám slouží k bydlení nebo jako zdroj hospodářské obživy. Půda má i vodohospodářský význam, kdy reguluje odtok vody v krajině. Je nepostradatelným zdrojem obživy pro člověka. (Vopravil a kol., 2010)

3 .1 .4 Fyzikální vlastnosti půdy

Fyzikálními vlastnostmi můžeme nazvat soubor vlastností, které jsou charakteristické pro fyzický stav půdy. S těmito vlastnostmi je úzce spojeno zásobování rostlin vodou a živinami. Spojení souvisí s fyzikálně chemickými procesy v půdě, i biologickou činností půdních organismů, to znamená všechna dynamika půdy. Nejdůležitější vlastností je konzistence, struktura, pórovitost, momentní vlhkost a vzdušnost, vodní a vzdušná kapacita, zralost, teplota a barva půdy. (Laník, Halada, 1960)

Konzistenci půdy můžeme popsat jako určitý stav hmoty, který je určen výší soudržnosti a přilnavosti. **Struktura půdy** je její schopnost rozpadat se na jednotlivé částice nazývané strukturnost půdy. (viz obr.č. 3) **Pórovitost** popisuje obsah pórů v rostlém stavu zeminy. **Momentní vlhkost** půdy je myšlen obsah volné vody v procentech objemu zeminné hmoty v době vyjmutí vzorku z původního souvrství. Tato hodnota značně kolísá a je závislá na řadě činitelů. **Momentní vzdušnost** popisují jako množství vzduchu v objemových procentech, které jsou obsažené v půdě v danou chvíli, kdy je vyjmut půdní vzorek. U **vodní kapacity** uvádí, že se jedná o schopnost půdy zadržovat delší dobu určité množství vody v pórech. Proti tomu **vzdušná kapacita** umí poutat jisté množství vzduchu, které je závislé na množství volných pórů a na momentním stupni půdní provlhkosti. **Zralostí půdy** autor rozumí stav charakterizovaný optimálními fyzikálními, chemickými a biologickými půdními poměry, které připravují nejlepší podmínky pro vývoj rostlin. **Teplota** je důležitá hodnota, která rozhoduje o růstu a vývoji rostlin. A konečně **barva půdy** nám pomůže rozpoznat vyšetření půdního profilu. (Laník, Halada 1960)

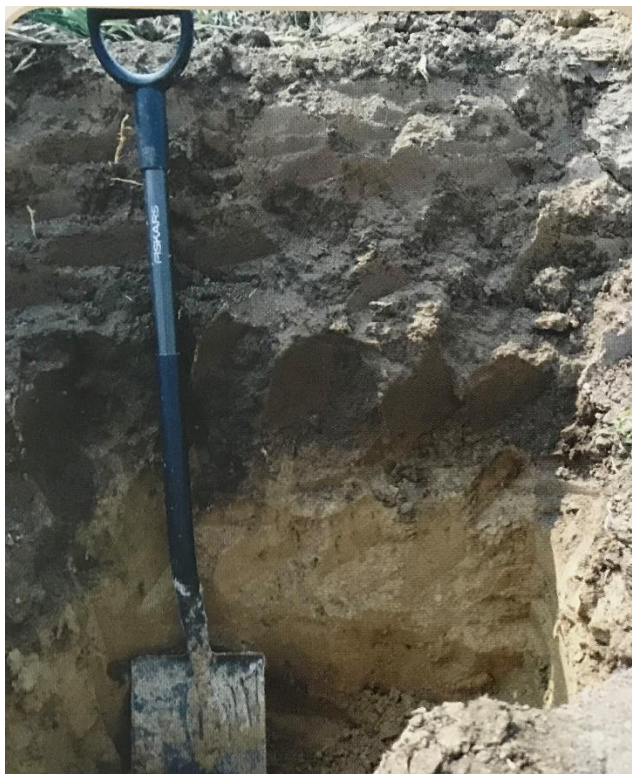


obr. č. 3 Struktura půdy (Šarapatka, 1996)

Hodnoty pórovitosti půdy, půdní vzduch a půdní voda jsou považovány za jedny z nejdůležitějších půdních hodnot. Objem, tvar a velikost půdních pórů mají vliv na vlastnosti vody obsažené v půdě. Všechny fáze půdního vzduchu – pevná, kapalná i plynná, tvoří jednu ze součástí půdy. Půdní voda je veškerá voda v půdě a to v jakémkoliv skupenství. Voda se dostává do půdy převážně z atmosférických srážek, infiltrací z vodních nádrží a toků, vztláním z hladiny podzemní vody a částečně i kondenzací vodních par. (Vopravil et. al., 2010).

3.1.5 Chemické vlastnosti půdy

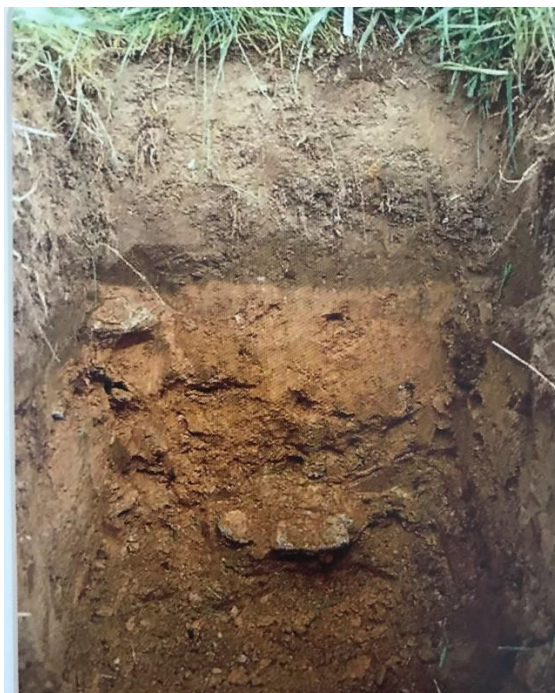
Tyto vlastnosti jsou označovány jako pH půdy tak zvaná kyselost půdy. Tento parametr patří mezi důležité ukazatele, které hodnotí stav půdního prostředí. Ovlivňuje růst rostlin, složení mikrobiálních společenstev, dostupnost a rozpustnost prvků, humifikační proces, pedogenezi půd, pohyblivost těžkých kovů atd. Autor se zmiňuje, že tento ukazatel patří mezi ukazatele degradace půdy, kdy v našich podmínkách hrozí zejména nebezpečí okyselování půdy, kdy dochází ke snižování hodnot pH a to má za následek nepříznivé důsledky, ke kterým patří především změna růstových podmínek rostlin a jakost vody atd. Dále autor popisuje sorpční komplex (viz obr.č. 4) a jeden ze základních chemických ukazatelů, kterým je stanovení sumy bazických kationtů. Kritéria pro nasycenost sorpčního komplexu bazickými kationty jsou hodnocena jako úplně nasycená, nasycená, slabě nasycená, nenasyčená a extrémně nenasyčená. (Vopravil, et. al., 2010)



obr. č. 4 Černozemě mají optimální složení sorpčního komplexu (Vopravil, 2010)



obr. č. 5 Podzoly mají špatné sorpční vlastnosti (na fotografii je mikropodzol) (Vopravil, 2010)

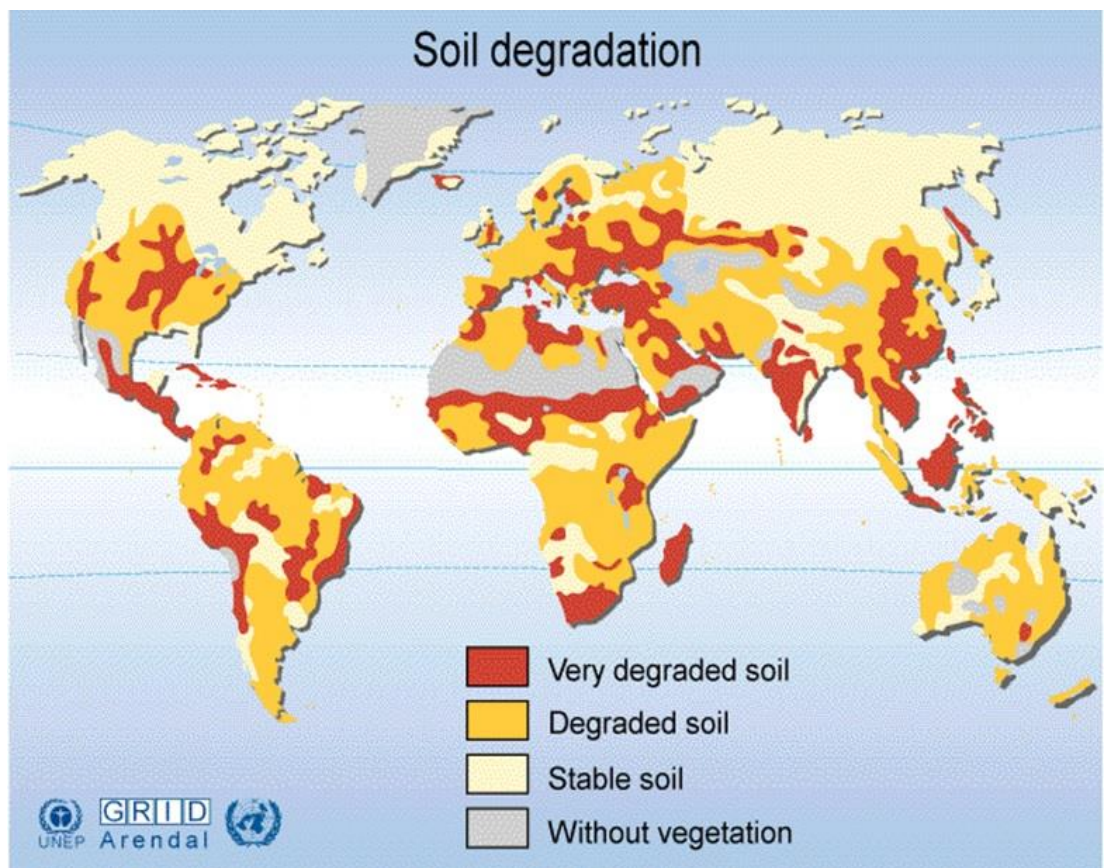


obr. č. 6 Mezi půdy s přirozeně nízkým pH, a tím vyšší zranitelnosti k okyselování patří naše nejběžnější půda – kambizem (Vopravil, 2010)

3.1.6 Degradace půdy

Degradaci půdy jako globální problém popisuje Šimůnek, Macková. Autoři uvádí, že půda, která produkuje velké množství plynů, je nekvalitní a tedy degradovaná. Degradace se projevuje zvýšenou tvorbou skleníkových plynů. Lidstvo je na půdě přímo závislé, znamená pro něj jeden z nejvýznamnějších přírodních zdrojů. Pro společnost by měla být prvořadým úkolem péče o půdu, o její kvalitu a zdraví. Pojem degradace v sobě skrývá i nejzávažnější poškození půdy – eroze. (Šimůnek, Macková, 2015).

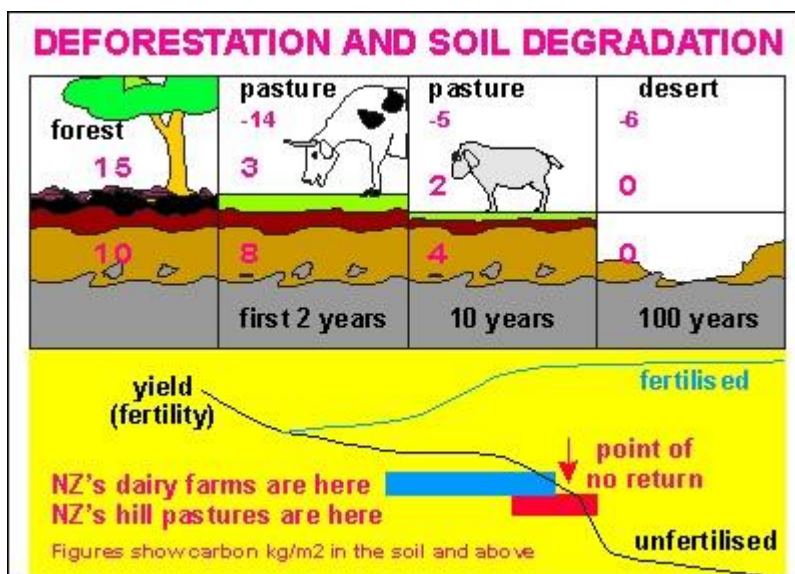
Degradace půdy je v současném zemědělství hlavním celosvětovým problémem, který ohrožuje produkční funkce zemědělské půdy. (viz obr.č. 7) (Vopravil, 2010)



obr. č. 7 Degradace půdy představuje závažný problém pro všechny státy (zdroj UNEP)

Z literárních děl, která se zabývají tímto tématem je patrné, že právě člověk může z velké části za vnik degradace a to především lesních a zemědělských půd. Degradací jsou zasaženy fyzikální (struktura půdy, pórovitost), chemické (změna pH) i biologické (půdní organismy) vlastnosti půdy. Důsledkem degradace půdy je úbytek půdy a její trvalá ztráta. (www.mzp.cz)

V současnosti u nás ubývá každým rokem 1–2 tisíce hektarů zemědělské půdy. Vzhledem k tomu, že jeden hektar středně kvalitní půdy uživí v našich podmínkách cca 3 lidi, ročně ubývá v České republice možnost uživit asi 3–6 tisíc lidí. Zbytek zemědělské půdy je ale také ohrožen, a to zejména vodní erozí (více než polovina zemědělské půdy) a utužením. Půdní eroze je sice přirozený proces, avšak pozvolný. Činností lidí však dochází k jeho mnohonásobnému zrychlení. Nejčastější příčinou je nevhodné hospodaření, tj. pěstování monokultur, absence zatravněných pásů nebo teras, nerespektování svazitosti pozemku či pěstování erozně nebezpečných plodin. (viz obr.č. 8) Skutečný stav ohrožení ale není na celém území republiky sledován, bohužel chybí i systematická ochrana zemědělské půdy před erozí. Jisté ale je, že eroze u nás působí velké škody (Šimůnek, Macková, 2015).



obr. č. 8 Typický proces degradace půdy: nejdříve byla půda využívána jako les, později k pastvě – intenzivní zemědělskou činností nastala degradace půdy a vznikla poušť (Anthoni,2000)

Obrázek č. 9 ukazuje, jak po prudších deštích dochází často ke splachu svrchní vrstvy nechráněné půdy, a to zejména u širokořádkových plodin, v tomto případě kukuřice, a k tvorbě erozních rýh. Zmenšit riziko eroze a zamezit odnosu půdy lze např. využitím netradičních meziřádkových plodin, jako je svazenka vratičolistá či katrán etiopský. (Šimůnek, Macková, 2015)



obr. č. 9 (Šimůnek, Macková, 2015)

Obrázek č.10 poukazuje na stav bohužel běžně pozorovatelný na našich polích: velké nerovnosti povrchu půdy vlevo svědčí o špatném zpracování půdy po sklizni plodiny, patrně prováděném při nevhodné vlhkosti půdy. Půda ve střední a pravé části obrázku je silně utužena pojezdem dopravních prostředků nebo zemědělských strojů. (Šimůnek, Macková, 2015)



obr. č. 10 (Šimůnek, Macková, 2015)

Pokud bychom chtěli degradaci půdy zastavit, museli bychom se vrátit k osvědčeným postupům dobrých hospodářů. Především je nutné vybírat správné plodiny pro danou oblast a využívat osevní postupy – střídat plodiny, které rozdílně využívají a koření půdu, aby nebyla jednostranně zatěžována. V osevním postupu by měl být dostatek rostlin, které zásobují půdu organickou hmotou. Mělo by být užíváno organických a minerálních hnojiv. S velkým uvážením používat pesticidy, vhodným způsobem vápnit půdu a v neposlední řadě s pomocí nejrůznější technologie šetrně zpracovávat půdu. (Šimůnek, Macková, 2015)

Všechny formy degradací spolu úzce souvisí a navzájem podmiňují svůj vznik. (Vopravil a. kol., 2010)

Česká republika patří k zemím, kde je zemědělská půda hojně využívána, a proto je vysoce ohrožená podstatná část půdního fondu. Měli bychom přistoupit ke snaze o její ochranu. (Voltr a kol. 2011).

V podmínkách ČR jsou půdy ohroženy erozí (vodní a větrnou), acidifikací, utužením, znečištěním a kontaminací, úbytkem organické hmoty, úbytkem biodiverzity, ztrátou stability půdní struktury a dále pak jejím nezemědělským využíváním pro účely těžby surovin, výstavby apod. Degradace půd a její rychlost závisí na působení okolního prostředí, ale i na vnitřních vlastnostech samotné půdy. O degradačních procesech obecně platí, že všechny příčiny i následky jsou vzájemně spjaty, že jedna primární forma degradace podmiňuje vznik sekundárních forem, a tím i celkově urychluje procesy degradace až destrukce půdy. (Vopravil a kol., 2010)

Intenzita a rychlost procesu degradace půdy je ovlivňována vnějšími faktory, které na ni působí. Mezi vnější faktory můžeme zařadit např. způsob hospodaření, extrémní projevy počasí a změny klimatu. Některé faktory lze hospodařením ovlivnit, jiné – jako například podnebí - nikoli. Změna klimatu má zákonitě dopad také na půdní klima – dochází ke změně oxidačně-redukčního potenciálu, ovlivněny jsou složení půdní fauny, procesy mineralizace, zvětrávání atd. Otázkou tedy je, jak, resp. jakým způsobem a jakou rychlostí ovlivňují změny podnebí jednotlivé degradační procesy. (Vopravil a kol., 2012)

Mezi hlavní degradační faktory, které významně ovlivňují produkční, a mimoprodukční funkce půdy, lze zařadit: (Vopravil a kol., 2012)

- Ztrátu půdní biodiverzity
- Změnu klimatu
- Erozi půdy
- Ztrátu půdní organické hmoty
- Zhutnění podorničí
- Acidifikace půd
- Kontaminace půd polutanty

3 .2 Eroze

3 .2 .1 Eroze obecně

Slovo eroze, je odvozeno z latinského názvu „erodere“, což znamená rozhodávat. Velmi zjednodušeně můžeme tento jev popsat jako rozrušování zemské kůry (litosféry), která je složená převážně z hornin, mající silikátovou povahu a dále pak půdy, která se vyskytuje na povrchu litosféry a nazýváme jí pedosféra. Erozi definuje jako ucelený proces, který zahrnuje rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic a to působením vody, větru, ledu a jiných erozních činitelů. Tím, že působí eroze na zemský povrch, se jednak snižuje – degraduje, ale na druhé straně se vyvyšuje díky hromadění usazených hmot – agraduje. Výsledkem těchto dění dochází k planaci – k zarovnání zemského povrchu. Tento proces probíhá za podmínky, že hmoty vyvýšených částí zemského povrchu jsou rozpojitelné. Tento jev je zajištěn zvětráváním hornin. Proces zvětrávání je tím intenzivnější, čím je kypřejší zvětralinový plášť. (Janeček, 2008).

Eroze půdy je proces degradace půdy, který má za následek omezení či úplnou ztrátu jejích produkčních schopností. Pojem tak je spojován hlavně s půdou zemědělskou, i když může docházet k erozi i na půdách lesních v důsledku těžby. Samotný proces eroze půdy je procesem přírodním, který nelze zcela zastavit. Rozlišuje se tak eroze normální (geologická) a eroze zrychlená. (Vopravil a kol., 2010)

Pojem eroze je znám již od roku 1911, kdy jej poprvé použil W.J. Mc. Gee. Běžně se začal používat ve 30. a zejména 40. letech minulého století. Rozlišuje erozi normální tzv. přirozenou a erozi zrychlenou. Značný vliv na rychlost eroze má klima. Dále popisuje působení eroze v zemědělství, kdy eroze půdy připravuje zemědělství o nejurodnější části půdy – ornici, působí na zhoršení fyzikálně-chemických vlastností půdy, snižuje mocnost půdního profilu, zvyšuje stav šterkovitosti, snižuje obsah živin a humusu. V neposlední řadě poškozuje plodiny, připravuje problémy strojům, které se pohybují po pozemcích, způsobuje ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Díky půdním částicím a látkám, které jsou na ně vázány jsou znečišťovány vodní zdroje, dochází k zakalení povrchových vod, zhoršují se podmínky pro život vodních organismů, rostou náklady na úpravu vody. U větrné eroze pak dochází k narušování klíčících rostlin a znečišťování ovzduší. (Janeček, 2008)

3.2.2 Druhy eroze

Erozi třídíme podle erozních činitelů na erozi vodní (akvatickou, či fluvialní), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou (nivální) atd. (Janeček, 2008).

3.2.3 Vodní eroze, její příčiny a důsledky a formy eroze

„Voda je mnohem rozumnější než lidé, ta kašle na hranice“ (Marianne Fredriksson)

Vodní eroze obecně je definována jako komplexní proces, který zahrnuje rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Tento proces je přírodní a nelze jej zcela zastavit. Dělíme erozi na normální (geologickou) a erozi zrychlenou. Normální eroze je přirozená, probíhá postupně, neustále mění reliéf území a pro lidskou generaci je prakticky nepozorovatelná. Vodní eroze ohrožuje ornou půdu v ČR na více než 50%. Na velké části takto ohrožené půdy není prováděna žádná systematická ochrana, která by zabránila dalším škodám. (Novotný a kol., 2014)

V Příručce ochrany proti vodní erozi (Novotný a kol., 2014) autor popisuje ochranu proti vodní erozi, kterou je možné zajistit aplikací protierozních opatření. Opatření dělí na organizační, agrotechnická a technická.

ČR má největší půdní bloky v Evropě a to díky intenzifikaci zemědělské výroby v minulosti. V této době byly rušeny hydrografické a krajinné prvky, které zrychlené erozi účinně bránily. Jednalo se například o rozorání mezí, zrušení zatravněných údolnic, polních cest, likvidace zeleně, atd. Současně máme většinu pozemků, na kterých zemědělci hospodaří, pronajatých. A to má za následek menší zájem o investice do větších ochranných opatření. (Novotný a kol., 2014).

Díky intenzifikaci zemědělské výroby v minulosti jsou v ČR největší půdní bloky v Evropě, což průběh vodní eroze jen podporuje. Navíc byly při scelování pozemků ve velkém rušeny hydrografické a další krajinné prvky (rozorání mezí, zatravněných údolnic, polních cest, likvidace rozptýlené zeleně apod.), které zrychlenou erozi účinně omezovaly. (Vopravil a kol., 2010)

Pokud jsou tato fakta přehlížena při plánování osevních postupů, zpracování půdy a dalších operacích, zejména na svažitéch pozemcích (pěstování erozně nebezpečných plodin, orba po spádnici, absence zatravněných pásů, teras či dalších technických opatření), dochází k intenzivní vodní erozi. (viz obr.č. 11) Nejkritičtější částí roku je v této souvislosti období červen až srpen, kdy se odehrává 80 % všech erozně nebezpečných dešťů. (www.eagri.cz)

Největší vliv na vznik vodní eroze má sklonitost pozemku v kombinaci s délkou tohoto pozemku. (viz obr.č. 12,13) Dále pak protierozní opatření, která jsou v daném místě uplatněna, množství přivalových srážek, náchyllost k erozi, vlastnosti půdy, atd. (Janeček a kol., 2008)

Důsledkem zrychlené vodní eroze je zemědělská půda ochuzena o ornici, což je nejurodnější část půdy. Tato eroze zhoršuje vlastnosti půdy, zvyšuje podíl šterku, snižuje obsah živin, propustnost půdy, poškozují plodiny. Svým působením snižuje i hektarové výnosy. (Novotný a kol., 2014)

Hlavní důsledky vodní eroze Novotný a kol. (2014) dělí do skupin:

- ✓ Hrozba pro trvalé udržení úrodné půdy (viz obr.č. 17)
- ✓ Ovlivnění kvantitativních parametrů vodních zdrojů
- ✓ Ovlivnění kvalitativních charakteristik vodních zdrojů
- ✓ Ohrožení infrastruktury měst a obcí a procesy povrchového odtoku a vodní eroze.



obr. č. 11 Poškození kukuřice vodní erozí (Vopravil, 2010)

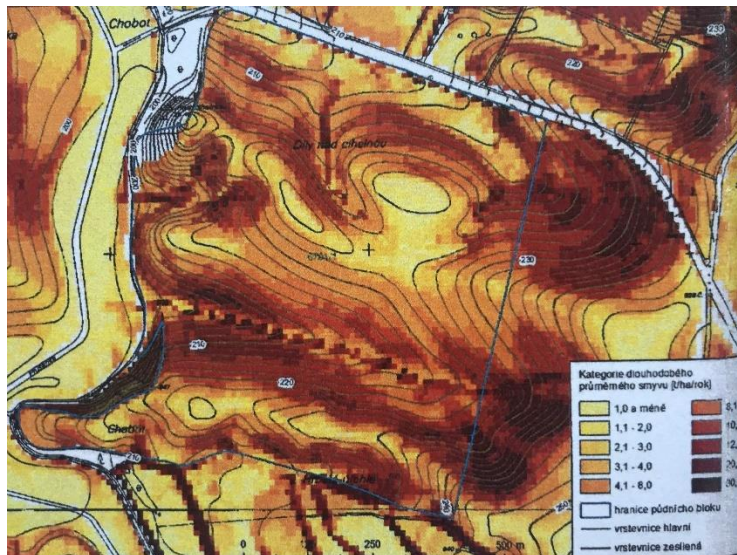


obr. č. 12 Erodovaná půda z výše ležících částí půdního bloku poškozuje plodiny na úpatí svahu a v údolnici (Novotný a kol., 2014)



obr. č. 13 Nánosy poškozující nižší partii půdního bloku (Novotný a kol., 2014)

Ohrožení půdy vodní erozí je takový způsob hospodaření, kdy na půdním bloku (viz obr.č.14), či jeho díle nebo parcele osevnického postupu nesplňují stav hospodaření a přijatá protierozní opatření požadavky na vypočtenou ochranu. (Novotný a kol., 2014)



obr. č. 14 Potenciální ohroženost půdního bloku vodní erozí (Novotný a kol., 2014)

Abychom mohli posoudit a vyhodnotit, zda vodní eroze v dané lokalitě probíhá, je důležité vědět, jaké formy může konkrétní eroze nabývat. Vodní erozi na zemědělské půdě dělíme na erozi plošnou (viz obr.č.15) a výmolnou (viz obr.č.16). Přechod mezi těmito erozemi je pozvolný a souvisí s přechodem plošného odtoku vody v odtok soustředěný. Plošná eroze má silně selektivní působení. Projevuje se rozrušováním a rovnoměrným smyvem půdních částic po celé ploše. Tak dochází k plošnému odtoku a postupnému snižování mocnosti půdy. Tento druh eroze nezanechává na povrchu půdy viditelné stopy. (Novotný a kol., 2014)



obr. č. 15 Ukázka plošné eroze (Novotný a kol., 2014)



obr. č. 16 Vodní eroze snižuje výnos plodin až o 75% (ekolist.cz)



obr. č. 17 Vodní eroze snižuje výnos plodin až o 75%

Výmolná eroze se dělí podle intenzity na rýžkovou (viz obr.č. 18) a brázdovou, rýhovou (viz obr.č.19), výmolnou (viz obr.č. 20) a stržovou. Přechod k výmolné erozi spočívá v postupném soustředování plošného odtoku a následném vytváření mělkých zářezů, které se postupně prohlubují. (Novotný a kol., 2014)



obr. č. 18 Detail rýžkové eroze (Novotný a kol.,2014)



obr. č. 19 Detail rýhové eroze (Novotný a kol, 2014)



obr. č. 20 Výmolná eroze v údolnici půdního bloku (Novotný a kol., 2014)

3.2.4 Větrná eroze, její příčiny a důsledky

Větrná eroze je přírodní jev, kdy vítr působí na povrch půdy svou mechanickou silou a rozrušuje půdu. Tím uvolňuje půdní částice, které následně uvádí do pohybu a přenáší je na různou vzdálenost. Po snížení rychlosti větru se tyto částice ukládají. Rozhodujícím faktorem větrné eroze je vítr-rychlost větrného proudu, doba po jakou vítr trvá a četnost jeho výskytu. Větrná eroze je ovlivněna klimatickými faktory, především intenzitou, směrem a četností větrů a vlhkostí území. (Janeček a kol., 2008). Autor podrobně popisuje druhy pohybu půdních částí při větrné erozi. Prvním je pohyb ve formě **suspence**, druhým pak pohyb **skokem**, **saltací** a posledním je **sunutí po povrchu**. (Janeček a kol., 2008).

Způsoby protierozní ochrany se určují na základě vyhodnocení terénních šetření a určení intenzity větrné eroze. Tato opatření mají organizační, agrotechnický a technický charakter. (Novotný a kol., 2017)

Větrnou erozi ovlivňují meteorologické a půdní poměry. Ty jsou dále buď zesilovány nebo zeslabovány dalšími faktory a přímým zásahem člověka. Jedním z nejdůležitějších půdních faktorů, který ovlivňuje větrnou erozi, je struktura půdy, její vlhkost, velikost půdních částic, drsnost povrchu půdy. Větrnou erozí jsou především ohroženy půdy lehké. Za určitých podmínek může větrná eroze působit i v oblastech s těžkými půdami, jako např. v oblasti Bílých Karpat. (Novotný a kol., 2014).

Jedním z negativních důsledků působení větrné eroze je degradace půdního profilu. Větrná eroze je způsobena rozpadem půdních agregátů vlivem dynamického působení větru a odnosem jemných částic půdy. (viz obr.č. 21, 22) Tento přenos začíná působením větru na povrch obnažené půdy. Suché agregáty se rozbíjí a následně vznikají jemné částice, které jsou přenášeny silou větru po půdním krytu nebo jsou unášeny do ovzduší. (Novotný a kol., 2017)



obr. č. 21 Zavátí komunikace (Novotný a kol., 2014)

Jako nejúčinnější opatření proti větrné erozi se jeví větrné bariéry, které mohou být ve formě umělé větrné zábrany nebo úzké pruhy trvalé dřevinné vegetace, kterými jsou například ochranné lesní pásy, tzv. větrolamy. Větrolamy se dělí na tři typy. **Prodouhavý** – jedná se o jednu či dvě řady stromů bez keřů (viz obr.č. 22). **Neprodouhavý** – složený z více řad, které jsou dobře zapojené. Je zde vytvořené keřové patro a na návětrné i závětrné straně dochází k vytvoření uzavřené stěny (viz obr.č. 23). **Poloprodouhavý** – nejvhodnější typ, který je vytvořený jednou nebo dvěma řadami stromů a keřového patra (viz obr.č. 24). (Novotný a kol., 2017).



obr. č. 22 Typ prodouhavého větrolamu (Novotný a kol., 2017)



obr. č. 23 Typ neprodouvavého větrolamu (Novotný a kol., 2017)



obr. č. 24 Typ poloprodouvavého větrolamu (Novotný a kol., 2017)

3.2.5 Ledovcová eroze

Ledovce jsou výrazným erozním činitelem, který vytváří charakteristické tvary reliéfu, na který přímo či nepřímo působil a který velmi snadno pomáhá identifikovat jeho působení. Velká tíha a tlak sestupující ledovcové masy vytváří typické ledovcové údolí tvaru U, které může ledovec vyhloubit až do několikasetmetrové hloubky (viz obr.č.25). Rozlišujeme několik základních druhů ledovcové eroze:

brázdění (exarace) – postupující ledovec před sebou tlačí úlomky, které pod velkým tlakem ryjí podložní horninu, čímž zahlubují ledovcové údolí stále hlouběji do reliéfu a případně ho rozšiřují, čímž vzniká typický tvar písmene U. Díky rozdílné tvrdosti hornin a bočních ledovců může vzniknout zvláštní druh visutého údolí.

odlamování (detrakce) – změny teplot mají za následek roztávání a následné zamrznání vody pod ledovcem, ta se částečně vsakuje do horniny, kde při zmrznutí zvětšuje svůj objem, což má za následek roztrhávání horniny. Hornina je pak unášena spolu s ledovcem a následným ohlazováním vznikají souvky.

ohlazování (abraze) a obrušování (deterze) – části unášené ledovcem se postupně třou o jiné části, což se na tělesu projevuje jako typické rýhování a zahlazování. Stupeň ohlazení je závislý na tvrdosti obou hornin.

Při boční erozi se uplatňují boční morény. Ovšem podobné projevy může mít obyčejná řeka, což může být problém při stanovení přítomnosti ledovce v minulosti. (www.is.mendelu.cz)



obr. č. 25 Ledovcová eroze (wikipedie)

3 .2 .6 Sněhová eroze

Sněhová eroze odnáší při tání půdu stejně jako déšť, oproti vodní erozi má však určitá specifika, např. kinetická energie sněhových srážek, která působí na zemský povrch je zcela zanedbatelná. Eroze tedy probíhá při tání (viz obr.č.26). (Hosnedl, 2007)

Sněhová (nivální) eroze vzniká pohybem sněhu formou lavin. Erozní činnost lavin probíhá při velkých tlacích a rychlostech sněhu. Zasažený pás území často zničí. Sněhová eroze může být i důsledek pomalého pohybu vrstvy sněhu po neumrzlém povrchu půdy při jarním tání. Projevuje se zejména v podhorských oblastech (Holý, 1994).



obr. č. 26 Sněhová eroze (Spotmatik)

3.2.7 Ochrana proti vodní erozi

Příručka „Ochrana proti vodní erozi popisuje opatření organizačního charakteru, agrotechnického charakteru, technická protierozní opatření, postup při výstavbě technických protierozních opatření (TPEO), protierozní opatření agrotechnického charakteru v ekologickém zemědělství (EZ) a protierozní opatření ve speciálních kulturách. (Novotný a kol., 2014)

„Zajištěním aplikací protierozních opatření, lze zajistit ochranu proti vodní erozi. Tato opatření spočívají v ochraně půdy před účinkem nebezpečného deště. Měly by podporovat vsakování vody do půdy, dále by měly zajistit omezení unášecí síly vody a soustředit povrchový odtok, zpomalit zachycení a bezpečné odvedení povrchového odtoku na zájmovém půdním bloku či jeho dílu. Tento odtok je nutné bezpečně odvést do vodoteče nebo do jiného místa, kde již nemůže způsobit další škodu. Při protierozních opatření je vhodné přihlížet na jednoduchost a finanční náklad, ale zároveň na opatření technického charakteru“ (Novotný a kol., 2014, s. 38).

Prvním opatřením **organizačního charakteru** je výběr optimálního tvaru a velikosti pozemku, půdního bloku, či jeho dílu (PB/DPB). Dalším opatřením je pak vhodné místo pro pěstování plodin, včetně ochranného zatravnění a pásové pěstování plodin. (Novotný a kol., 2014).

Agrotechnická opatření Novotný a kol. (2014) popisuje jako:

- Setí/sázení po vrstevnici
- Ochranné obdělávání (bezorebné setí, setí/sázení do mulče, setí/sázení do mělké podmítky, setí do ochranné plodiny, setí s podplodinou)

- Hrázkování, důlkování
- Plečkování, dlátování, podrývání
- Setí kukuřice do úzkého řádku (v současnosti je opatření testováno na naše podmínky)
- Pásové zpracování půdy (v současnosti je opatření testováno na naše podmínky)

Technickými opatřeními jsou příkopy, průlehy, zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku, polní cesty s protierozní funkcí, ochranné hrádky, ochranné nádrže, terénní urovnávky, terasy, protierozní meze a asance erozních výmolů a strží. (Novotný a kol., 2014)

Základem organizačních opatření protierozních je situování pozemků delší stranou ve směru vrstevnic. Je důležité vhodně zvolit velikost a tvar pozemku a vymezit parcely vhodné ke změně druhů pozemků. Podle autora k opatřením organizačního charakteru patří delimitace kultur, ochranné zatravnění a zalesnění, protierozní oseední postupy, pěstování plodin v pásech, úpravy pozemků, kterými se mění jejich velikost a orientace, včetně trasování polních cest. Autor uvádí, že vhodná velikost pozemku je závislá na více faktorech. V každém konkrétním případě je výsledkem kompromisu dvou navzájem protichůdně působících přírodních faktorů (takových, které působí na vytváření menších půdních celků) a dále pak ekonomických faktorů (které naopak upřednostňují tvorbu dostatečně velkých pozemků). Z těchto poznatků vyplývá, že je poměrně náročné dodržet nejvhodnější velikost pozemku. V každém konkrétním případě je odlišné zohlednění vlivů místních podmínek. (Janeček a kol., 2008).

Pro rozměr pozemku, který je obdělávaný jako jeden celek nebo jako skupina produktů, které jsou oddělené pouze hranicemi, které nemají schopnost zachycovat povrchový odtok, jsou z hlediska protierozní ochrany stejné parametry. Rozměry pozemku orné půdy ve směru sklonu by neměly převyšovat přípustnou délku stanovenou na základě vypočítané přípustné ztráty půdy erozí. (Janeček a kol., 2008)

Protierozní opatření je chápáno jako delimitace druhu pozemku, což je prostorová a funkční optimalizace pozemků, která slouží k pěstování jednotlivých kultur, dále pak jako ochranné zatravnění a zalesnění. Popisuje protierozní rozmístování plodin a jejich pásové střídání, čím je možné omezit ztráty půdy erozí a to tak, že se střídají pásy plodin, které chrání půdy (jako je jetel, vojtěška, ozimá obilnina, hrách, řepka ozimá) s pásy plodin, které mají nízký protierozní účinek jako jsou okopaniny, kukuřice, atd. (Janeček a kol., 2008).

Dalším tématem, kterým se Novotný a kol. (2014) zabývá, je protierozní opatření agrotechnického charakteru, jako je ochranné obdělávání půdy, protierozní technologie pěstování kukuřice a slunečnice. Kdy jako nejvýznamnější protierozní opatření agrotechnického charakteru uvádí, že je setí kukuřice do mulče.

Protierozní technologie popisuje pěstování řepky ozimé a obilnin, pěstování brambor, cukrovky a protierozní ochrana chmelnic. Neméně důležité jsou i protierozní opatření technického charakteru, jakou jsou zemní úpravy např. terénní urovnávky, protierozní meze a terasy. Terasy dělíme na úzké, široké, stupňové zemní, stupňové s opěrnými zdmi a terasové dílce. (Janeček a kol., 2008).

Novotný a kol. (2014) ve své knize popisuje **protierozní příkopy** (záchytné, sběrné a svodné), dále pak **průlehy, zatravněné údolnice, protierozní hrázky a protierozní nádrže**. Pojednává o ochraně strmých svahů před erozí, kdy uvádí, že základem biologických protierozních opatření je kvalitní travní porost, který je doplněn stromky a keři.

K protierozním opatřením technického charakteru patří i hrazení bystřin a strží. Nejdůležitější podmínkou syntézy ekologických a vodohospodářských požadavků je zejména zachování čistoty vody v toku a přítocích, existenční podmínky pro vodní živočichy, zejména pro ryby, podpora a zvýšení retenční schopnosti povodí jako celku, dodržení podmínek průtoční kapacity koryta, vytvoření souladu geomorfologické a biologické diverzity v korytě bystřinného toku. (Novotný a kol., 2014)

4 Voda

4.1 Voda – základ života

„Voda spolu se vzduchem tvoří základní podmínky pro existenci života na Zemi. Voda je také základní stavební látkou živých těl. Většina organismů obsahuje cca 60 % vody, některé dokonce i 99 %“ (www.envic.cz) Ochrana vod by měla být jedním z nejdůležitějších témat na celém světě. Veškeré vodstvo na zemi se nazývá hydrosféra. (www.envic.cz)

Hydrosféra (vodní obal Země) představuje soubor všeho vodstva Země – tj. povrchové vody, podpovrchové vody, vody obsažené v atmosféře a vody v živých organismech. Celkové zásoby vody na Zemi činí asi 1 385 989 610 km³, z toho sladká voda představuje 2,530 %. (www.wikipedia.cz)

Pod pojmem hydrosféra (vodní obal země) rozumíme tedy vodu v oceánech a mořích a vodu na povrchu souše, patří sem i voda vázaná v ledovcích a organismech, půdní, podzemní a atmosférická voda. (www.wikipedia.cz)

Voda patří k nejrozšířenějším látkám na Zemi a je v neustálém koloběhu. Pro člověka má prvořadý význam podzemní voda jako pitný zdroj, řeky a jezera jako zdroj energie a spolu s půdní a atmosférickou vodou jako zdroj vláhy. (www.envic.cz)

Země se liší mezi planetami sluneční soustavy svojí hydrosférou. Je to prostor na povrchu, pod povrchem i v zemské atmosféře, kde se vyskytuje a pohybuje voda v různých skupenstvích. (www.mzp.cz)

Různé zdroje uvádějí poměr slané vody na zemi cca od 94 do 97%. Zbytek tvoří voda sladká a to v různých podobách – jezera, řeky, ledovce, podzemní voda, atd.).(www.envic.cz)

„Voda se v průběhu nepřetržitého procesu přeměňuje na plyn (vodní pára), kapalinu (voda v oceánech, déšť) a pevné skupenství (sníh, led). Tento proces se nazývá koloběh vody neboli hydrologický cyklus“ (www.envic.cz)

„Člověk však mnohdy do přirozeného koloběhu vody neuváženě zasahuje například budováním přehrad, melioračními zásahy, zavlažováním rozsáhlých území, napřimováním vodních toků, atd. Tím ovšem vážně ohrožuje vodní režim krajiny, což se v současné době projevuje stále častějšími přívalovými dešti a povodněmi“ (www.envic.cz)

61 % dešťové vody se odpaří ještě před dopadem

16 % dešťové vody stéká zpátky do vodních toků

23 % dešťové vody se vsákne do půdy (Voda, základ života) (www.envic.cz)

4 .1 .1 Ochrana vod a politika

„Obecným cílem státní politiky v oblasti vod je vytvořit podmínky pro udržitelné hospodaření s omezeným vodním bohatstvím České republiky. To znamená soulad požadavků všech forem užívání vodních zdrojů s požadavky ochrany vod a vodních ekosystémů, při současném zohlednění opatření ke snížení škodlivých účinků vod. Hlavní zásady státní politiky v oblasti vod pak vycházejí z tzv. Rámcové směrnice EU o vodní politice, dalších směrnic z oblasti voda a z obnovené strategie EU pro udržitelný rozvoj“ (www.mzp.cz).

„Odbor ochrany vod Ministerstva životního prostředí je ústředním vodoprávním úřadem zejména v následujících oblastech:

- ✓ *ochrana množství a jakosti povrchových a podzemních vod*
- ✓ *ochrana před povodněmi*
- ✓ *plánování v oblasti vod na národní a mezinárodní úrovni včetně programů opatření*
- ✓ *mezinárodní spolupráce v oblasti ochrany vod*
- ✓ *ekonomické, finanční a administrativní nástroje v ochraně vod*
- ✓ *tvorba legislativy a norem v oblasti ochrany vod“ (www.mzp.cz)*

4 .1 .2 Legislativa a dezinfekce odpadních vod

S ohledem na možnosti dalšího nakládání s vyčištěnou vodou z decentrálních zařízení mimo napojení na veřejnou kanalizaci (274/2001 Sb. Zákon o vodovodech

a kanalizacích ve znění pozdějších předpisů), se jeví vypouštění do vhodné vodoteče, zasakování či bezodtokové řešení jako rizikové z hlediska ochrany zdraví a zdrojů pitné vody. Jedním z emisních standardů pro odpadní vody jsou i biologické ukazatele bakteriálního znečištění, jejichž dodržení může být problematické. Cílem tohoto příspěvku je shrnout problematiku týkající emisních standardů mikrobiálních ukazatelů vyčištěné vody z decentrálních zařízení do 2000 EO a předložit přehled vhodných metod pro dezinfekci vod z těchto zařízení. (www.asio.cz)

V malých obcích do 2000 EO, ve kterých žije cca 26 % populace ČR v 5619 obcích ČR, tj. cca 2,65 milion obyvatel, v souvislosti s platnou evropskou a českou legislativou začínají být zaváděny decentrální technologie čištění splaškových vod (Šrámková et al., 2010). Decentrální technologie se stávají rovnocenným řešením k centrálním zařízením v případě, že jsou zaručeny efektivní systémy provozu a následné kontroly. Problematiku financování čištění odpadních vod v obcích do 2000 EO řeší mimo jiné dotační programy Ministerstva životního prostředí, letošní výzva je ve výši 1,5 mld. Eur, a programy Ministerstva zemědělství, kde jsou pro letošek dotace již vyčerpány. (www.asio.cz)

4.1.3 Koliformní bakterie ve vodě

Koliformní bakterie, z nichž nejčastějším zástupcem je *Escherichia coli*, obývají střeva lidí a jiných živočichů. Odtud se skrze výkaly mohou dostat až do zdrojů vody. Koliformní bakterie jsou tedy takzvaným indikátorem fekálního znečištění. Nejenže jsou samy o sobě škodlivé, mohou je provázet jiné škodlivé látky a mikroorganismy. (www.euroclean.cz)

K likvidaci bakterií slouží dezinfekční prostředky schválené k tomuto použití. Při dodržení postupu použití jsou bakterie spolehlivě zlikvidovány a není nijak negativně ovlivněna kvalita vody (zápach, pachuť, zdravotní závadnost). Výhodou chemické dezinfekce je, že její funkce je řízená průtokem vody a dezinfekční prostředek je vodou unášen i skrze rozvody, takže likviduje i bakterie tam usazené. (www.euroclean.cz)

Dezinfekce pomocí UV lampy vodoměrem řízená není, lampa svítí neustále a zpravidla po roce je třeba ji vyměnit. Dále také UV lampa zabíjí jen ty mikroorganismy, které skrze ni protékají unášené vodou. Pokud nějaké bakterie sídlí v rozvodech za lampou, nemá na ně lampa žádný účinek. Výhodou UV lampy

pak je, že se do vody nedávkuje žádné látky a nemění se její složení, což může být pro některé uživatele důležité. (www.euroclean.cz)

4 .2 Hnojení a management půdy na odvodněných pozemcích nebo v jejich návaznosti

4 .2 .1 Možnosti snížení vyplavování dusičnanů z orných půd agrotechnickými postupy

Dusičnany jsou hlavními zdroji plošného znečištění vod ze zemědělství. Do vod vyplavené dusičnany nemusí pocházet přímo z hnojiv, ale často vznikají v půdě postupnou přeměnou dusíkatých organických látek. Zdrojem tvorby dusičnanů v půdě mohou být statková hnojiva živočišného původu, nebo hnojiva minerální, po jejichž aplikaci může být urychlen rozklad organické hmoty. Organicky vázaný dusík obsažený v organických a organominerálních hnojivech, statkových hnojivech a upravených kalech se v půdě mineralizuje a přechází do forem využitelných rostlinami a zároveň podléhající ztrátám, např. vyplavením. Rychlost rozkladu organických sloučenin, uvolňování a vyplavování N do vod je složitý proces, který závisí zejména na poměru půdního uhlíku k dusíku (C :N ; úzký poměr indukuje rychlejší mineralizaci a možné vyplavení, širší potom imobilizaci) a na rozložitelnosti jednotlivých typů organických látek, dále na vlastnostech prostředí a průběhu počasí (fyzikální vlastnosti půdy, půdní teplota a vlhkost). (Klír a kol. 2012; Kohler et al. 2006; Zavadil a kol., 2004)

Pro vyplavování dusičnanů z půdy dále do vod je rovněž podstatná dynamika půdní vody. Zemědělské půdy v podhorských oblastech ČR, tvořené kambizeměmi, pseudogleji a příbuznými typy půd na krystaliniku, jsou značně heterogenní a výrazný na vyplavování dusičnanů je v těchto půdách vliv preferenčního proudění. Typickými jevy pozorovanými v těchto podmínkách jsou lokální nerovnováha půdní vody mezi makropóry a vnitřkem agregátů, značná variabilita hydraulické vodivosti půdy, průsaku v lyzimetrech a koncentrací dusičnanů v půdní a průsakové vodě. Tyto skutečnosti jsou výslednicí dvou protichůdných efektů: a) zvýšeného vymývání

akumulovaných dusičnanů z ornice na začátku každého vlhkého období a b) zředování dusičnanů další vsakující vodou. (Doležal et al., 2005)

Řada studií v ČR i zahraničí se shoduje na zjištění, že hlavním nositelem dusičnanového znečištění je tzv. hypodermický (podpovrchový) odtok, který v podmínkách krystalinika ČR tvoří cca 40-50% celkového odtoku a často je tvořen odtokem drenážních vod. (Doležal and Kvítek 2004; Fučík et al., 2012)

Typickými představiteli hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem jsou ze statkových hnojiv kejda, tekutý podíl po její mechanické separaci (fugát kejdy), hnojůvka, močůvka, silážní šťávy, trus drůbeže a drobných hospodářských zvířat s podestýlkou nebo bez podestýlky, výkaly a moč zanechané hospodářskými zvířaty při pastvě. Z organických hnojiv to je např. digestát z bioplynové stanice včetně tekutého podílu po jeho mechanické separaci (fugát digestátu). Typickými představiteli hnojiv s pomalu uvolnitelným dusíkem jsou statková hnojiva vznikající ve stelivových provozech (např. hnůj skotu či prasat, koňský hnůj apod.) nebo při mechanické separaci kejdy (separát kejdy), z organických hnojiv pak kompost nebo tuhá část po separaci digestátu (separát digestátu). Statková hnojiva jsou do skupin podle rychlosti uvolňování dusíku zařazena přímo, tedy taxativně. Podle poměru C :N se do skupin zařazují pouze organická, příp. organominerální hnojiva. (Klír a kol., 2012)

Výzkumy sledující vyplavování N z orné půdy, se zabývají možnostmi snižování hnojení, používání meziplodin či ozimů a změn agrotechniky a vzájemných kombinací těchto variant, za zachování výnosů plodin. Obecně je konstatována značná meziroční variabilita ve vyplavování N z půdy, způsobená zejména průběhem počasí a obsahem akumulovaného N v půdě. Např. Haberle et al. (2012) zjistili pro typický osevní postup (ozimá pšenice, ozimý ječmen, brambory) během 11letého pokusu na kambizemích českomoravské vrchoviny průměrnou koncentraci nitrátů v půdní vodě, překračující hranici 50 mg/l při úrovni celkového vstupu dusíku 148 kg N /ha/rok, což odpovídalo průměrnému vyplavení 20 kg N /ha/rok. O něco nižší hodnoty dávek hnojení byly zjištěny ve studii Dresler et al. (2011), kdy autoři na 411 místech v různých půdních podmínkách východního Polska dokladují, že v průměru dávky dusíku nad 121 N /ha/rok byly rizikové z hlediska zvýšené koncentrace dusičnanů v půdních vodách.

Studie zabývající se dávkami hnojiv a vyplavením N do vod shodně konstatují, že klíčová je rovněž doba aplikace N hnojiv ve vazbě na osevní postup. Mnohem více nitrátů bývá vyplaveno z hnojiv aplikovaných na podzim než na jaře, i v případě N z pomalu uvolnitelných hnojiv. (Aronsson et al., 2010; Vacek et al., 2005)

Větší problém s vyplavením dusíku může být u širokořádkových plodin, kde je menší hustota kořenové biomasy (v ČR např. kukuřice, zejména cca do konce června). Zde je možnost snížení vyplavení dusíku např. pomocí mezipásů obilnin. Problémem z hlediska vyplavení dusičnanů je aplikace organických látek v období, kdy porost neodebírá nebo odebírá dusíku jenom málo (aplikace digestátů, kejdy, fugátů na konci zimy či v brzkém jaře). Tyto poznatky jsou vtěleny do závazných postupů pro zemědělce hospodařící v tzv. zranitelných oblastech dusičnany (ZOD) tak i do obecnějších Zásad správné zemědělské praxe (Klír a kol., 2012).

Jak je uvedeno výše, vazba na dávky N v hnojivech ovšem nemusí být klíčová z hlediska vyplavení N do vod. Např. Kaspar et al. (2012) zjistili výrazné snížení koncentrací NO_3 v drenážní vodě při pěstování ozimů jako meziplodin mezi kukuřicí a sojou (žito o 48%, oves o 26%), nicméně nejvyšší odnosy NO_3 pozorovali v letech s největším kumulativním drenážním odtokem za nízké nebo žádné aplikace hnojiv. Obdobně Kohler et al. (2006) zjistili, že výrazné snížení dávek N v hnojivech významně nesnížilo vyplavování N během 5 letého pokusu na písčité půdě. Jako hlavní faktor označují intenzitu mineralizace půdní organické hmoty a dynamiku srážek. Doporučují maximálně možné využití meziplodin, zejména na zrnitostně lehkých půdách. Pro výrazné a trvalé snížení vyplavování N z těchto půd ovšem dokládají nutnost zatravnění nebo zalesnění těchto půd, což je management, doporučovaný i řadou studií v ČR, např. Kvítek a kol. (2005), i za prokázané možnosti bezpečných vyšších dávek N v hnojivech. (Duffková a kol., 2011)

Modelové simulace (ADAPT, EPIC, SWAT, STICS, aj.) ukazují, že vhodné kombinace různých agrotechnických postupů (omezení hnojení, dělená aplikace minerálních hnojiv, přechod na pomaleji působící hnojiva, vyloučení podzimní aplikace kejdy a podzimního zaorání jetelovin, meziplodiny) se ve svém komplexu projevuje výrazným snížením ztráty dusíku, a proto ji lze doporučit k praktické aplikaci, přičemž změny ve výnosech plodin jsou uváděny jako přijatelné. (Doležal et al., 2005)

Laurent et al. (2011) prováděli modelové hodnocení různých variant osevních postupů a hnojení ve středozápadní části Francie, po dobu 9 let. Zjistili, že nejnáchylnější k vyplavení N byly lehké půdy při pěstování kukuřice. Použití meziplodin (zejména oves), které na ploše 16% plochy povodí znamenaly průměrný pokles NO_3 ve vodách okolo 11-15%.

Jako přínosné prokázali modelově Constantin et al. (2012) v podmínkách severní Francie na různých půdách (luvizem, kambizem, rendzina) opakované (13 let) použití meziplodin (ředkev, jílek mnohokvětý a hořčice) mezi hlavními plodinami (ozimá pšenice, cukrovka, jarní ječmen a kukuřice) a současné snížení dávek N o 20-25 kg N/ha/rok. Výnosy hlavních plodin se významně nezměnily a meziplodiny snížily vyplavení N do půdních vod (lyžimetry a sukční kelímky) v průměru o cca 33-55%.

Nangia et al. (2010) zjistili vlivem razantního snížení dávek N (ze cca 180 na 112 kg N/ha/rok) pokles odnosu NO_3 o průměrně 23%; nicméně v návazné studii (2010) titíž autoři konstatují, že důležitější z hlediska odnosů NO_3 z povodí je dynamika srážko-odtokového procesu.

4 .3 Eutrofizace a znečišťování vody

Zemědělské hospodaření se různou mírou spolupodílí na znečišťování vod. V této souvislosti jsou jako nejzávažnější z hlediska vlivu zemědělství obecně sledovány problémy eutrofizace, vstupy dusičnanového dusíku, nerozpuštěných látek a přípravků na ochranu rostlin (pesticidů) do vod. (Straškraba, 1980)

Eutrofizace je proces nadměrného obohacování vod živinami, pocházejícími z různých zdrojů znečištění. V podmínkách střední Evropy je tento proces a související negativní projevy tekoucích a zejména stojatých vod (nárůsty sinic a řas, zákal vody a negativní dopady na celý ekosystém) téměř vždy spojen se zvyšováním koncentrací fosforu. (Straškraba, 1980)

4 .3 .1 Fosfor

Ze tří hlavních nutrietů vyskytujících se v prostředí (N, P a K) je fosfor ve sladkovodních vodách nejčastěji limitujícím faktorem růstu fytoplanktonu a je nejčastěji spojován s jevem eutrofizace v povrchových vodách, stojatých i tekoucích. Povrchové vody jsou velice citlivé k vnosům fosforu ze zemědělských zdrojů, neboť kritické koncentrace z hlediska eutrofizace (10 – 20 g P / l) bývají o řád nižší než koncentrace (obsah) fosforu v půdě potřebné pro zdárný růst rostlin (200 – 300 g P / l). Projevem bývají exponenciální nárůsty potenciálně toxických vodních květů (řas a sinic), odumírání bezobratlých a ryb z důvodu snížení provzdušnění a biodiverzity. Množství a formy fosforu, odnášeného ze zemědělské půdy do povrchových vod je ovládáno dvěma klíčovými faktory – obsahem fosforu v půdě a cestami odnosu. (Laník, Halada, 1960)

Pro eutrofizaci vod je významný zejména fosfor v rozpuštěné ortofosforečnanové formě ($\text{PO}_4\text{-P}$), ve které jej vodní mikroorganismy (řasy, sinice, bakterie) a vyšší i nižší vodní rostliny přijímají a zabudovávají do biomasy. Organofosforové sloučeniny v biomase se pak stávají součástí koloběhu ve vodním ekosystému, postupují do potravních řetězců a po odumření organismů nebo exkreci jsou biochemicky hydrolyzovány a uvolňuje se z nich opět ortofosforečnan, který může být opakovaně využit k růstu jiných organismů. Částicový fosfor ve vodním prostředí je tvořen širokou škálou organických a minerálních částic, např. řasami, sinicemi, zbytky odumřelé organické hmoty (detrit), bakteriálními vločkami, částicemi erozního původu z povodí či koryt toků a jinými plaveninami. Zatímco rozpuštěný

fosfor lze celý považovat za biologicky dostupný (tzv. BAP – bioavailable phosphorus, případně SRP- soluble reactive phosphorus), u částic to možné není a je třeba hodnotit jejich eutrofizační potenciál, neboli schopnost částice zadržovat/uvolňovat fosfor. Tato schopnost je určena jejím složením, resp. místem původu. (Novotny & Olem, 1994)

Obecně lze říci, že vysoký eutrofizační potenciál mají částice s velkým množstvím fosforu vázaným v organické složce (jako jsou řasy, sinice a bakteriální vločky, jež se při biochemickém rozkladu rozpadnou a uvolní fosfor) a současně obsahují v minerální složce málo vazebných partnerů pro fosfor (nejčastěji hydroxoxidů železa a hliníku). Schopnost částic uvolňovat fosfor je možné odhadnout pomocí jednoduchých ukazatelů, jako je např. obsah fosforu v sušině nerozpuštěných látek, poměr železa anebo hliníku v částicích vůči fosforu, či podobně poměr organického uhlíku a fosforu v částicích, nebo přesněji stanovit pomocí speciálních analýz, např. postupnou frakcionací sloučenin fosforu, železa a hliníku, nebo sorpční izotermy pro sloučeniny fosforu. (Jan a kol., 2013) Posledně zmíněné metody jsou laboratorně poměrně náročné, poskytují však detailní informaci o zastoupení fosforu a jeho vazebných partnerů v dílčích složkách částic, ze kterých se fosfor může uvolňovat za různých situací nastávajících ve vodním prostředí, např. po změnách koncentrace kyslíku či pH ve vodním sloupci nebo v sedimentu. (Borovec a kol., 2012)

Vysoký eutrofizační potenciál a riziko vyplavení fosforu představují zemědělské půdy silně saturované fosforem a náchylné k urychlenému, zejména tzv. saturačnímu, povrchovému a podpovrchovému odtoku vody, erozi a souvisejícímu vnosu nerozpuštěných látek a partikulárního fosforu do vod. Hnojiva, minerální i organická (statková), aplikovaná na povrch půdy, mohou být přímým a podstatným zdrojem vnosu fosforu do vod – fosfor ani další látky se „nestihnou“ stát součástí půdy a jsou vodou odnášeny do vodního prostředí. Tento typ odnosu fosforu bývá klasifikován jako náhodný (anj. incidental) a může být významný jak na orné půdě, tak i v případě travních porostů, kde jsou hnojiva aplikována na povrch půdy bez dalšího zapravení nebo pocházejí z vysokých stavů chovaného dobytka. Mnoho studií prokázalo úzký vztah koncentrací rozpuštěného i celkového P ve vodách povrchového a drenážního odtoku ke koncentracím fosforu ve svrchní vrstvě půdy; bylo zjištěno, že ztráty P podpovrchovým odtokem mohou být nezanedbatelné, zejména během vyšších odtoků. V ČR je obecně dle ÚKZUZ dlouhodobá zásobenost půd fosforem (tzv. přístupným) spíše průměrná až nižší, což

souvisí zejména s nízkými dávkami fosforečných hnojiv v minerální i organické formě. (Smatanová a kol., 2018)

Fosforem saturované půdy, které mají zároveň potenciál vzniku povrchového odtoku, bývají označovány jako tzv. kritické zdrojové lokality (Critical Source nebo Hydrologically Sensitive Areas; Pionke et al. 2000), což jsou vedle ploch s potenciálem výskytu povrchového odtoku a eroze půdy dále půdy mělké, promyvné a/nebo odvodněné či s výskytem makropórů. Hydrologická a hydrochemická role těchto enkláv se projevuje zejména v souvislosti s významnou srážko-odtokovou epizodou – erozní, popř. neerozní (Stamm et al., 2014; Zajíček a kol., 2017).

Za limitní hranici pro eutrofizaci bývá považována koncentrační hodnota 0,035 mg/l BAP; jako limitní hodnotu roční průtokově vážené koncentrace (Flow-weighted concentration, FWC) pro celkový P uvádějí Novotny et al. (1994) hodnotu 0,1 mg/l.

Výsledky monitoringu vod, prováděných v rámci hydrologických jednotek různých měřítek v ČR dokládají, že plošné vyplavování fosforu (celkového i rozpuštěného) z většiny půdních typů, je obecně během základního odtoku relativně nízké a eutrofizačně méně významné než zdroje bodové, především komunální. (Duffková a kol., 2014; Fiala a kol., 2013; Rosendorf a kol., 2017)

To se týká vod povrchových toků zemědělských povodí či vod drenážních, pokud nejsou odvodňovací soustava nebo tok napojeny na jiný zdroj znečištění (trativod z obce, ČOV, intenzivní zemědělský provoz, pastevní napáječku, polní hnojiště umístěné na pozemku odvodněném drenáží, výtok z rybníka, apod.) nebo se nejedná o odvodněné půdy s nižší sorpční kapacitou (lehké nebo písčité půdy, organozemě), přehnojované tekutými statkovými hnojivy (kejda, digestát). K významnému zvyšování koncentrací fosforů dochází během srážko-odtokových epizod, kdy rychlá složka odtoku buď přináší do toku či drenáže zbytky nedávno aplikovaných statkových hnojiv, popř. rezidua rostlin, anebo způsobuje povrchovou či podpovrchovou (vnitropůdní) erozi z okrajů a bází makropórů, prasklin a trhlin různých velikostí a původu. (Fučík a kol., 2010; Gächter et al., 2010)

Tyto závěry potvrzuje řada studií ze zahraničí, z lokalit s obdobnými i odlišnými přírodními podmínkami i parametry drenážního odvodnění. Pro podmínky

Českomoravské vrchoviny byly tyto situace se zvýšeným odnosem P z půd kvantifikovány v průměru pro 20 – 30denní průtoky.(Fučík a kol., 2012)



obr. č. 27 Erozní rýha s bramborami. Českomoravská vrchovina. Foto J. Konečná

4 .3 .2 Dusík

Studiu všech forem dusíku ve vodách a půdách byla a je věnována značná pozornost. Sledovány a v příslušné legislativě ČR týkající se jakosti vod ukotveny jsou všechny tři jeho anorganické formy, ve kterých se ve vodách vyskytuje – dusičnanový, amoniakální i dusitanový dusík, ačkoli pouze dva první z nich mají z hlediska plošných zdrojů a závažnosti znečištění vod zásadní význam. Dusičnanový dusík (či jejich iontové vyjádření jako dusičnany) je jedním z nejrozšířenějších polutantů v povrchových i podzemních vodách. Při dlouhodobém využívání vody s vysokými koncentracemi dusičnanů jako pitné hrozí na lidský organismus toxické účinky, prostřednictvím methemoglobinaemie způsobované dusitany, které mohou vznikat v lidském těle bakteriální činností z dusičnanů. Dusitany mohou kromě toho spolupůsobit při vzniku N -nitrosoaminů, které jsou karcinogenní. Amoniakální dusík (přesněji nedisociované molekuly NH_3) mají toxické účinky na vodní faunu, především ryby. **Dusičnany** jsou hlavními produkty plošného znečištění vod a zejména jsou spojovány se zemědělsky využívanou půdou. Řada bilančních studií zdrojů znečištění v rozsáhlých povodích zdokumentovala, že zemědělské půdy jsou převažujícím zdrojem dusičnanů v povrchových vodách ČR a jejich podíl činí zpravidla více než 70-80 %. (Hejzlar et al., 2010; Konečná et al., 2017)

Aktuálně připravovaná Strategie ke snížení obsahu živin ve vodách v mezinárodní oblasti povodí Labe uvádí, že průměrný roční odtok celkového dusíku z povodí Labe v ČR činil v období 2011-2015 téměř 46 tisíc tun, zatímco v období 1997-2001 více než 58 tisíc tun (MKOL, 2017). Je patrné, že mezi oběma obdobími došlo k poklesu přibližně o 20 %, nicméně při srovnání s odtokem fosforu, který se snížil o 50 %, je dokumentovaný pokles nízký. Důvodem může být to, že pro fosfor, který ve vodách pochází převážně z bodových zdrojů, byla uplatněna řada cílených opatření v klíčových zdrojích (intenzifikace a výstavba čistíren odpadních vod), v případě dusičnanů, mají opatření spíše obecný charakter a cíleně jsou uplatňována pouze ve zranitelných oblastech. Významnost vlivu zemědělského znečištění povrchových vod dusičnany dokumentuje vyhodnocení monitoringu vod pro potřeby nitrátové směrnice. (Hrabánková, 2018)

Z hodnocených 1 917 monitorovacích profilů v období 2012-2015 byly maximální koncentrace dusičnanů > 50 mg/l zjištěny v 16,5 % profilů, koncentrace v rozmezí 40–50 mg/l v 13,1 % profilů a koncentrace v rozmezí 25–40 mg/l v 28,7 % profilů. V téměř 60 % monitorovaných profilů tak byly zjištěny koncentrace, které jsou vyšší než 25 mg/l, tedy hodnota, stanovená jako kritérium pro možné zrušení zranitelných oblastí pro dusičnany (ZOD) na území ČR. (Hrabánková, 2018)

Zdrojem tvorby dusičnanů v půdě mohou být statková hnojiva živočišného původu, nebo hnojiva minerální, po jejichž aplikaci může být urychlen rozklad organické hmoty. Organicky vázaný dusík, obsažený v organických a organo-minerálních hnojivech, statkových hnojivech a upravených kalech se v půdě mineralizuje a přechází do forem využitelných rostlinami a zároveň podléhajícím ztrátám, např. vyplavením. Interakce mezi různými formami dusíku v půdě a vodě se odehrávají poměrně rychle, v závislosti na cestách transportu z půdního prostředí a charakteru tohoto prostředí. Všechny formy dusíku mají, kromě iontů NH_4^+ , totiž společnou nízkou afinitu k půdním partikulám a nitrátový ion navíc disponuje vysokým difúzním koeficientem, což jej činí vysoce pohyblivým v půdním profilu (Gächter et al., 2010). V půdě v klidovém stavu je převážná část dusíku obsažena v organické hmotě a v průměru pouze 2–5 % je ve formě minerální. Při intenzivní kultivaci lze však v období bez rostlinného pokryvu nalézt až 16 % půdního dusíku v nitrátové formě. (Čížek, 2002; Klír, 2003)

Procesy ovlivňující vyplavování dusíku z orné půdy do vod

Způsob využití území (půdy) a vliv tohoto faktoru na jakost povrchových i podzemních vod je v současnosti obecně uznávaným principem, který je přítomen s větší či menší významností v různých typech a měřících povodí, a který je ovlivněn zejména faktory přírodních charakteristik a antropogenních zátěží území. Zorněním a odvodněním půdy dochází k celkové změně oxidačně-redukčních podmínek v půdě, urychluje se mineralizace organického dusíku, snižuje se denitrifikační činnost, orná půda je častěji a více hnojena. Na orné půdě – na rozdíl od trvalých kultur (TTP, les) obvykle není po celý rok přítomná vegetace odebírající dusík, který je takto vyplavován do nižších půdních horizontů, horninového prostředí a vod. Pramenné vývěry v lesích mají maximální koncentrace dusičnanů pod úrovní 20 mg NO_3^-/l , neboť jim příslušné infiltrační (zdrojové) a transportní zóny jsou zalesněny. (Čížek, 2002; Kvítek a Doležal, 2003)

Sledování malých povodí na Českomoravské vrchovině ukazuje, že koncentrace dusičnanů jsou ovlivněny více stupněm zornění půd než momentálním hnojením. (Fučík et al., 2015; Kvítek et al., 2009; Zajíček a Kvítek, 2013)

I když hnojení v devadesátých letech ubylo, trendová složka chodu koncentrací nitrátů v řadě povodí krystalinika ČR narůstala. Typické je, že koncentrace dusičnanů v drenážních vodách, pramenech i povrchových tocích během roku výrazně kolísají. Maximálních hodnot dosahují obvykle na jaře, minim na podzim. Tento jev naznačuje, že živiny se v půdě během podzimu a zimy hromadí a jsou vyplavovány až při zrychlení průsaku vody, které nastává v době tání a bezprostředně po tání sněhu (Haberle, 2007).

Kolísání koncentrací nenavazuje bezprostředně na období aplikace minerálních hnojiv v povodí. Významnějším faktorem je množství vody, které prosakuje půdou, postupuje přípovrchovým (hypodermickým) odtokem a objevuje se v povrchovém toku. (Švihla et al., 1992)

Největší rozdíly mezi maximálními a minimálními koncentracemi během roku lze tedy pozorovat na půdách orných a odvodněných. (Haberle, 2007)

Řada studií popisuje statisticky významnou závislost koncentrací dusičnanů ve vodách (povrchových i podzemních) na podílu orné půdy v povodí a na podílu orné půdy v lokalitách s nejvíce propustnými půdami (tzv. kritických zdrojových lokalitách) v povodí a mikropovodí drenážních systémů. Fučík a kol. (2008) na povodích tří různých měřítek (desítky ha, stovky až tisíce ha a stovky až tisíce km²) prokázali významné vazby mezi procentem zornění v povodí a hodnotami koncentrací dusičnanů v povrchových vodách drobných vodních toků v povodí VN Švihov a zjistili, že každé snížení zastoupení zornění v povodí o 10% může snížit hodnotu (C90 – 90% kvantil) koncentrace dusičnanů (NO₃⁻) v průměru o 6,4 mg/l (viz tab.č. 1). (Fučík et al., 2010)

Tab. 1. Pokles koncentrací NO_3^- ve vodách drobných vodních toků povodí různých měřítek (Fučík et al. 2010).

Skupina povodí	Snížení hodnoty C90 (NO_3^- , mg/l) s poklesem zastoupení orné půdy v povodí o 10%.
Povodí Kopaninského toku (30-700 ha; N =12)	6,47
Podpovodí v rámci povodí VN Švihov na Želivce (94 - 5396 ha; N =36)	7,01
Povodí vodárenských nádrží v krystaliniku ČR (512 - 3016,5 km²; N =10)	5,65
Průměr	6,38

4 .3 .3 Pesticidy

Pesticidní látky se do vod dostávají z bodových i plošných zdrojů znečištění, přičemž plošné zdroje (odtok ze zemědělské půdy) mají na kontaminaci vod významný podíl (Brown a van Beinum, 2009).

Dříve byl považován za rozhodující cestu pesticidů do vod povrchový odtok (Kladivko et al., 2001), nicméně v současné době, společně se zlepšenými možnostmi monitoringu, se ukazuje také velký význam mělkého podpovrchového odtoku. Podstatnou součástí mělkého podpovrchového odtoku je odtok drenážní, jehož význam roste zejména v povodích s velkým podílem odvodněné zemědělské půdy. Evropský program pro modelování pesticidů FOCUS (2007) definuje tři hlavní cesty vstupu pesticidních látek do povrchových vod - drenážní odtok, povrchový odtok a aerosolový rozptyl. Pro vyplavování pesticidů podpovrchovým odtokem jsou podstatné půdní vlastnosti, vlastnosti pesticidu, typ odvodnění a hydrologické podmínky v povodí v době krátce po aplikaci těchto látek. Významnou roli v transportu pesticidů hrají preferenční cesty, např. makropóry (Kodešová et al., 2012) a v případě krystalických hornin v podloží také trhliny a pukliny. Rychlost preferenčního proudění během srážko-odtokových epizod (SOE) může být natolik vysoká, že fyzikálně-chemické vlastnosti pesticidů ztrácejí z hlediska jejich vyplavování v těchto situacích význam. (Lefrancq et al., 2017)

Zrychlený odtok (jakéhokoli typu) významně snižuje čas na reakci pesticidu s prostředím (sorpci nebo degradaci) a může vést k přímému a bezprostřednímu vyplavování mateřské látky do povrchových vod. Přítomnost pesticidů v drenážních i povrchových vodách drobných toků bývá rozložena v průběhu sezóny nerovnoměrně (Zajíček et al., 2018), s vysokými koncentracemi v průběhu aplikačního období. Podrobný monitoring na několika pokusných lokalitách prokázal značnou variabilitu a dynamiku koncentrací pesticidů v drenážních vodách i vodách drobných vodních toků v závislosti na hydrologické situaci (srážky, momentální složení odtoku) a na časové vzdálenosti od aplikace. (Zajíček et al., 2017)

Metabolity jsou v drenážním odtoku přítomny permanentně, často ve velmi vysokých koncentracích. Za běžných průtoků se jejich souhrnné koncentrace pohybují v jednotkách tisíců ng/l. Nejčastěji jsou detekovány metabolity chloracetanyldových herbicidů, ve vysokých koncentracích se objevují zejména metabolity Metazachloru, Metolachloru, Alachloru, Acetochloru, ve formách ESA i OA, přičemž mnohé z těchto látek již byly zakázány před několika lety. Z ostatních látek se do drenážního odtoku dostávají zejména metabolity Terbutylazinu a Chloridazonu. Zajímavým zjištěním je skutečnost, že metabolity pesticidů jsou vyplavovány i z lokalit, které jsou dlouhodobě zatravněny. V průběhu SOE dochází k významným změnám koncentrací metabolitů. Tento jev souvisí se složením drenážního odtoku v průběhu epizody. Vzhledem ke skutečnosti, že metabolity jsou perzistentní látky setrvávající v povodí delší dobu, jsou vázány na pomalejší složky odtoku. (Zajíček et al., 2017)

Pokud do odtoku v průběhu SOE pronikne voda z příčinné srážky (Zajíček et al., 2018), dojde k významnému ředění jejich koncentrací. Naopak pokud je drenážní odtok v průběhu SOE tvořen pouze starší vodou (rychle mobilizovaný podpovrchový odtok) koncentrace metabolitů se v průběhu SOE zvyšují až na desítky tisíc ng/l.

Vyplavování mateřských látek drenážním odtokem je, na rozdíl od metabolitů, vázáno téměř výhradně na srážko-odtokové epizody. Aby došlo k jejich vyplavení, musí SOE nastat krátce po aplikaci pesticidů, obvykle do dvou měsíců, přičemž s časovou vzdáleností SOE od data aplikace se koncentrace mateřských látek rychle snižují. Další podmínkou k vyplavení mateřských látek je přítomnost „nové“ vody pocházející z příčinné srážky v drenážním odtoku. Tato voda, která rychle proniká preferenčními cestami, vyplavuje z povrchu půdy a z její svrchní vrstvy dosud nezmetabolizované pesticidy. Extrémním příkladem je epizoda uvedená v grafu 1. Epizoda nastala tři týdny po časně emergentní aplikaci na kukuřici. Způsobena byla 20mm srážkou. Drenážní průtok vzrostl z 0,25 l/s na 9,0 l/s za pouhých 90 minut. Náhlá změna teploty drenážní vody (11,3 °C – 19,7 °C) indikovala značný podíl „nové“ vody. Zaznamenány byly extrémně vysoké koncentrace mateřských látek i metabolitů pesticidů z poslední aplikace, tj. Metolachloru (až 120 000 ng/l) a Terbutylazinu (až 92 033 ng/l). Hodnota průtokově vážené koncentrace mateřských látek byla 154 140 ng/l, souhrnné koncentrace mateřských látek se pohybovaly od 14 ng/l do 434 135 ng/l dosažených těsně před kulminací průtoků. (Zajíček et al., 2018)

Výsledky získané podrobným monitoringem potvrdily, že drenážní systémy představují velmi významnou cestu vyplavování pesticidů z půd do povrchových vod. (viz graf č.1) Vzhledem k permanentnímu vyplavování perzistentních metabolitů i několik let po poslední aplikaci pesticidů je nutno na ně pohlížet jako na starou zátěž, obtížně řešitelnou agrotechnickými opatřeními. Naopak vyplavování mateřských látek je akutní problém. Kombinace rizikové plodiny z hlediska vyplavování pesticidů (např. kukuřice, brambory, řepka, strniště nebo čerstvě zasetá plodina) s odtokovou epizodou krátce po aplikaci způsobí, že koncentrace pesticidů v drenážních vodách bývají značně vysoké, až ve stotísících ng/l a odnos mateřských látek v průběhu SOE může být v jednotkách až desítkách gramů za den. Tyto hodnoty mohou již představovat vážné environmentální, příp. i zdravotní rizika. (Zajíček et al., 2017)

Opatření pro snižování vyplavování pesticidů z půd do vod

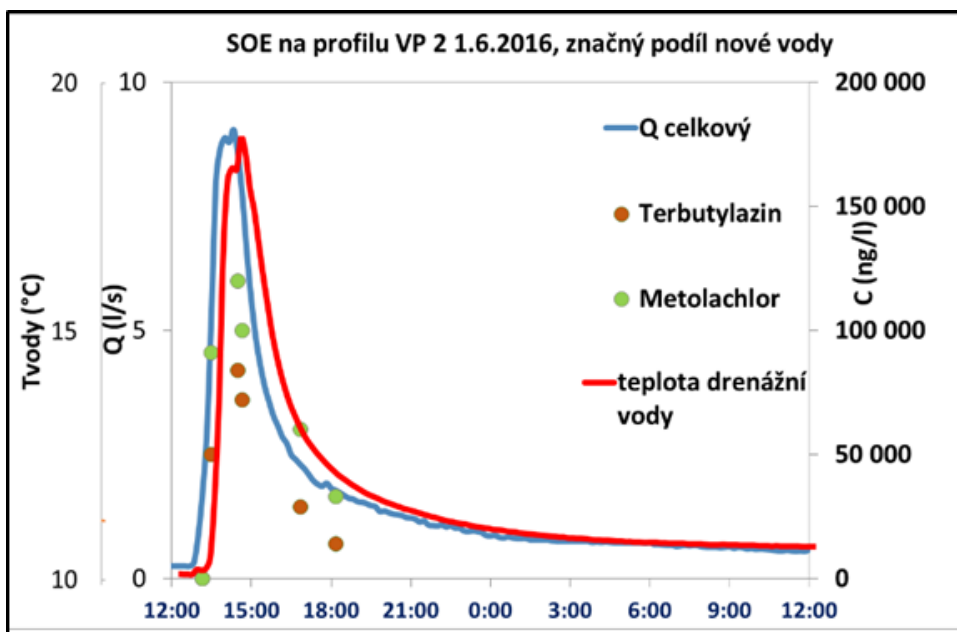
Vzhledem k potřebě konkurenceschopné zemědělské výroby je nutno uvažovat o aplikaci opatření snižující riziko vyplavování pesticidních látek do vod. Principiálně lze rozdělit na opatření vztažená k aplikaci látek, dále na opatření vztažená přímo ke zpracování a managementu zemědělské půdy (agrotechnická) a na různá opatření v krajině; na zemědělské půdě či v její návaznosti. (Beresvill et al., 2014) Cílem opatření může být redukce vystavení ekosystémů působení pesticidních látek, anebo zmírnění vlivu již vyplavených látek na vodní ekosystém. (Zajíček et al. 2017)

Opatření vztažená k aplikaci zahrnují šetrné postupy aplikace, zóny bez aplikace, snížení aplikovaných dávek, precizní aplikace. Opatření agrotechnické povahy představují např. postupy zpracování půdy, které mají za cíl zvýšit adsorpci pesticidu a jeho perzistenci v půdě. Dalším opatřením tohoto typu je zatravnění lokalit, které jsou nejvíce zranitelné vyplavováním pesticidů. Další skupinou opatření agrotechnických jsou opatření redukující vyplavování pesticidu z půdy. Toho lze docílit jednak minimalizováním zpracování půdy a také dodáním organické hmoty do půdy (kompost, biouhel, separát se slámou), což jsou vzhledem ke skutečnosti, že většina pesticidů se v půdě váže na organický uhlík, opatření s vysokým potenciálem účinnosti. (Marin-Benito et al., 2018)

Opatření v krajině mohou mít kromě omezení vyplavování pesticidů další pozitivní efekt na ekosystémy jako např. vytvoření vhodných prostředí pro opylovače a ptáky nebo tvorbu biokoridorů. Tím dochází kromě ochrany vodních ekosystémů také ke zlepšení stavu suchozemských ekosystémů a zvýšení biodiverzity. Emise pesticidů ze zemědělské půdy lze redukovat vhodnými protierozními opatřeními, jako jsou meze, remízky, travnaté pásy, pásy břehové vegetace. K opatřením následným redukcí již vyplavených pesticidů patří zejména umělé mokřady, retenční nádrže a drenážní biofiltry. Často jsou vhodná do lokalit, ve kterých je podstatná část pesticidů odnášena odtokem podpovrchovým, reprezentovaným zejména drenážními systémy (viz obr. č. 28). Jako následná opatření se však mohou uplatnit pro všechny cesty odtoku. (Janeček et al., 2007)

Umělé mokřady se v mnoha zemích staly nejčastěji používaným opatřením pro redukcí pesticidů pocházejících z plošných zemědělských zdrojů v podpovrchovém (drenážním) odtoku. Odbourávání pesticidů v mokřadu probíhá prostřednictvím různých procesů, jako jsou hydrolyza, fotolýza, sedimentace, adsorpce, mikrobiální degradace, příjem rostlinami, nicméně rozsah těchto procesů závisí na lokálních podmínkách daného mokřadu. Přítomnost mokřadní vegetace posiluje dekompozici pesticidů a zvyšuje šanci na jeho odbourání. Účinnost mokřadů je variabilní pro různé látky, nicméně obecně je relativně vysoká (50 – 75 %). (Vymazal a Březinová, 2015)

V lokalitách, kde drenážní odtok není příliš velký, lze uvažovat o využití drenážního biofiltru. Principem je, že znečištěná drenážní voda pomalu prochází přes filtr s organickou náplní popř. aktivním uhlíkem a pesticidy jsou touto náplní sorbovány. Účinnost opatření je závislá na době zdržení, jakou se podaří v reaktoru zajistit. Výhodou opatření je malá prostorová náročnost, umístění pod povrchem půdy a relativně nízké náklady na vybudování. Nevýhodou je naopak malá účinnost při vyšších průtocích. Obecně se účinnost biofiltru při odbourávání pesticidů uvádí v širokém rozmezí 30 – 80 %. (Janeček et al., 2007)



obr. č. 28 Průběh odtoku, teploty drenážní vody a koncentrací pesticidů v průběhu srážko-odtokové epizody krátce po aplikaci na pokusné lokalitě Vepříkov



obr. č. 29 Příklad kaskády tůní a umělých mokřadů pro odbourávání pesticidů z drenážních a povrchových vod, Plzeňsko (foto P. Fučík)

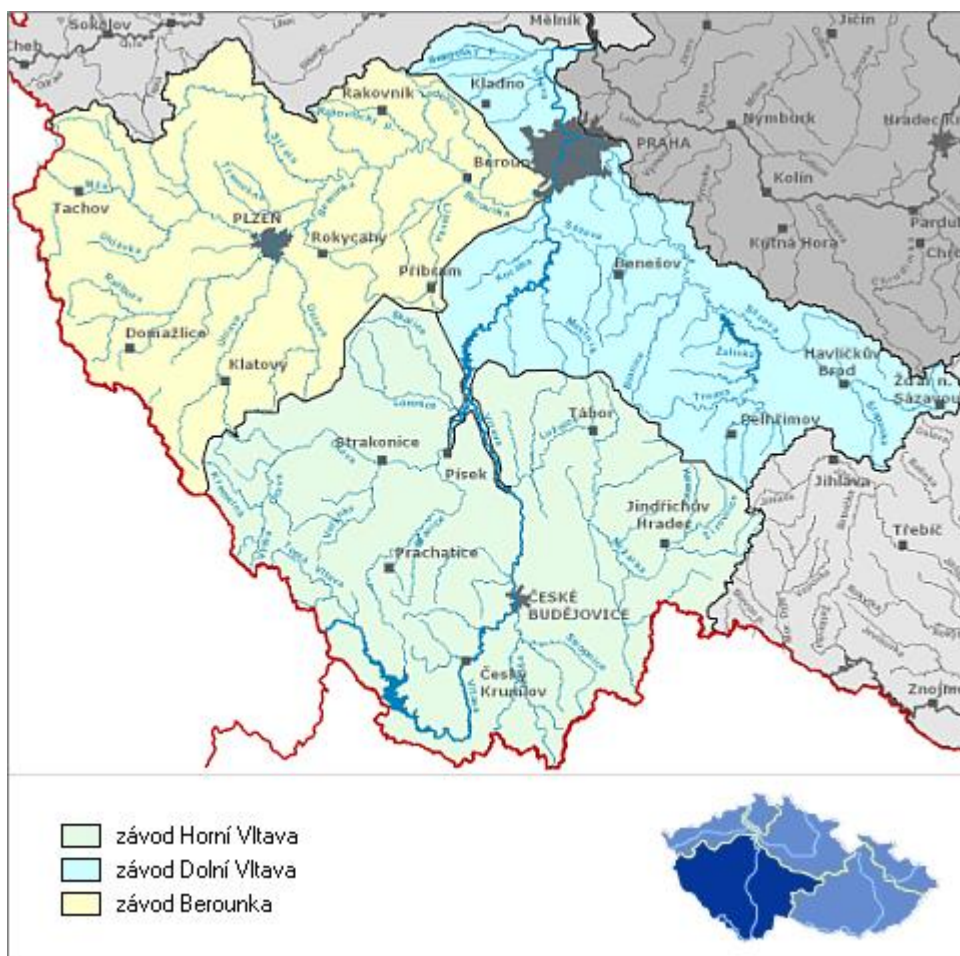
4 .4 Povodí Vltavy, státní podnik - jeho profil

„Povodí Vltavy, státní podnik, navazuje na nejlepší tradice a zkušenosti českého vodního hospodářství. Cílem je zlepšovat možnosti všestranného využívání povrchových a podzemních vod v celém hydrologickém povodí Vltavy tak, aby zůstalo významným místem zdravého životního prostředí a plnohodnotného života lidí“ (www.pvl.cz)

„Na území o celkové rozloze 28 708 km² spravuje Povodí Vltavy, státní podnik téměř 22 000 km vodních toků v hydrologickém povodí Vltavy a v dalších vymezených hydrologických povodích, z toho je 5 533 km významných vodních toků, přes 12 000 km určených drobných vodních toků a dalších více než 4 300 km neurčených drobných vodních toků (viz obr.č. 29). Dále má právo hospodařit se 110 vodními nádržemi a 10 poldry, z toho je 31 významných vodních nádrží, s 21 plavebními komorami na Vltavské vodní cestě, 48 pohyblivými a 297 pevnými jezy a s 20 malými vodními elektrárnami. Základním posláním státního podniku je“ (www.pvl.cz):

- ✓ výkon funkce správce povodí, správce významných, určených a dalších drobných vodních toků, provoz a údržba vodních děl ve vlastnictví státu, k nimž má právo hospodařit,
- ✓ výkon dalších činností stanovených právními předpisy, Statutem a Zakládací listinou,
- ✓ výkon práva hospodařit s určeným majetkem ve vlastnictví státu,
- ✓ nakládání s vodami na vodních dílech v majetku státu, s nimiž má právo hospodařit za stanovených podmínek,
- ✓ zajištění vyjadřovací činnosti k záměrům staveb, zařízení a činností v povodí Vltavy,
- ✓ zajišťování povinností správce vodních toků, správce, správce povodí a vlastníka vodních děl při ochraně před povodněmi,
- ✓ zajišťování odborné pomoci vodoprávním úřadům při jejich činnosti,
- ✓ pořizování plánů dílčích povodí pro dílčí povodí Horní Vltavy, dílčí povodí Berounky, dílčí povodí Dolní Vltavy a dílčí povodí ostatních přítoků Dunaje,
- ✓ zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod, včetně zajišťování provozního monitoringu jakosti povrchových vod,

- ✓ vytváření podmínek pro racionální, šetrné a ekologicky únosné využívání vodních toků (www.pvl.cz)



obr. č. 30 Územní působnost státního podniku Povodí Vltava

4 .4 .1 Hamerský potok – přítok řeky Mže

Hamerský potok pramení jihovýchodně od vrchu Čupřina (864 m) v Českém lese, nedaleko hranic s Německem, v nadmořské výšce 754 m n .m . Nejprve teče směrem na jih. Po zhruba 2 km vtéká na území Německa, kde protéká obcí Mähring. Zde, pod touto obcí se obrací na jihovýchod a vrací se zpět na české území. Jihovýchodním směrem se drží až k městu Planá, kde se stáčí více k jihu. Na dolním toku bývá též nazýván Tichá. Dále protéká obcí Brod nad Tichou, pod níž ústí zleva do Mže na jejím 77,7 říčním kilometru (viz obr.č.30). Délka toku Hamerského potoka je 33,6 km, výškový rozdíl 317 m, průměrný sklon toku 9 ,4 ‰, průměrný průtok u ústí $1,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pod Josefovou Hutí se Mže otáčí k jihovýchodu ke Stříbru, protéká kaňonovitým, rekreačně využívaným územím (GIS analýzy dat LPIS, ZABAGED, vrstvy odvodnění dle ZVHS a DIBAVOD).

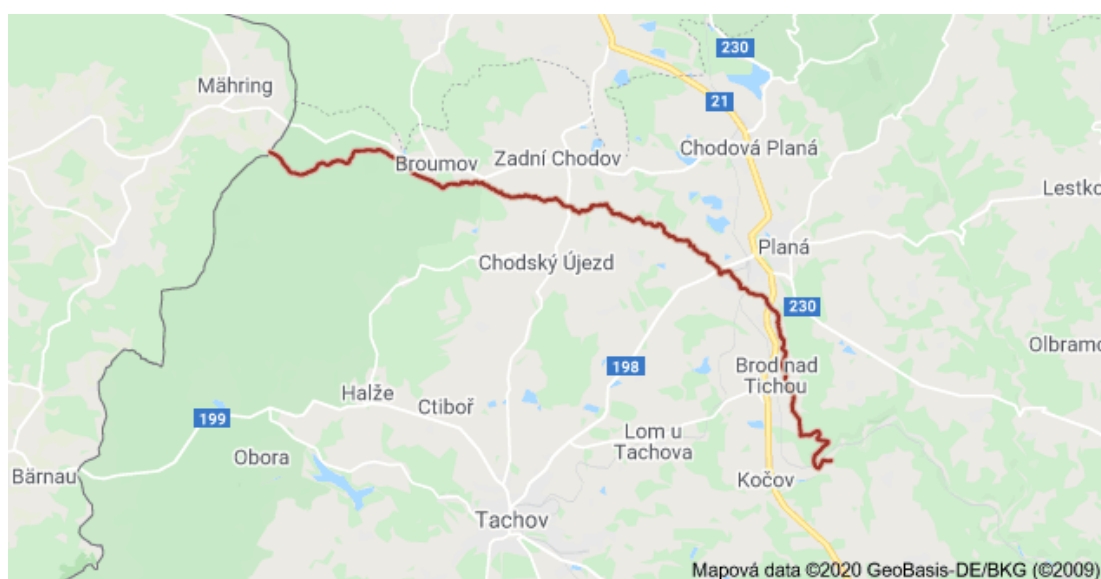
Povodí (viz obr.č. 31, 32) se nachází jižně od Mariánských Lázní na ploše 18 689 ha. Část plochy povodí se nachází v Bavorsku (cca 10% plochy). Způsob využití půdy v povodí znázorňuje tab. 1 . Zemědělská půda tvoří cca 33% z plochy povodí; její využití je následující: orná půda 13,5 % (40% ze ZPF), louky 20,3 % (60% ze ZPF). Ostatní plocha je kolem 650 ha (3 ,5 % z plochy povodí), les 11 500 ha (62% z plochy povodí), vodní plochy 210 ha (1 ,1 % z plochy povodí). Odvodněno zemědělskou drenáží je dle podkladů ZVHS 2 712 ha, tj. 14,5 % plochy povodí; tj. 43% zemědělské půdy. Odvodněná půda v povodí je cca z 80% zatravněna (GIS analýzy dat LPIS, ZABAGED, vrstvy odvodnění dle ZVHS a DIBAVOD).

Vodní erozí (SEO, MEO) je dle aktuálních podkladů LPIS ohroženo cca 40% orné půdy v povodí. (GIS analýzy dat LPIS, ZABAGED, vrstvy odvodnění dle ZVHS a DIBAVOD).

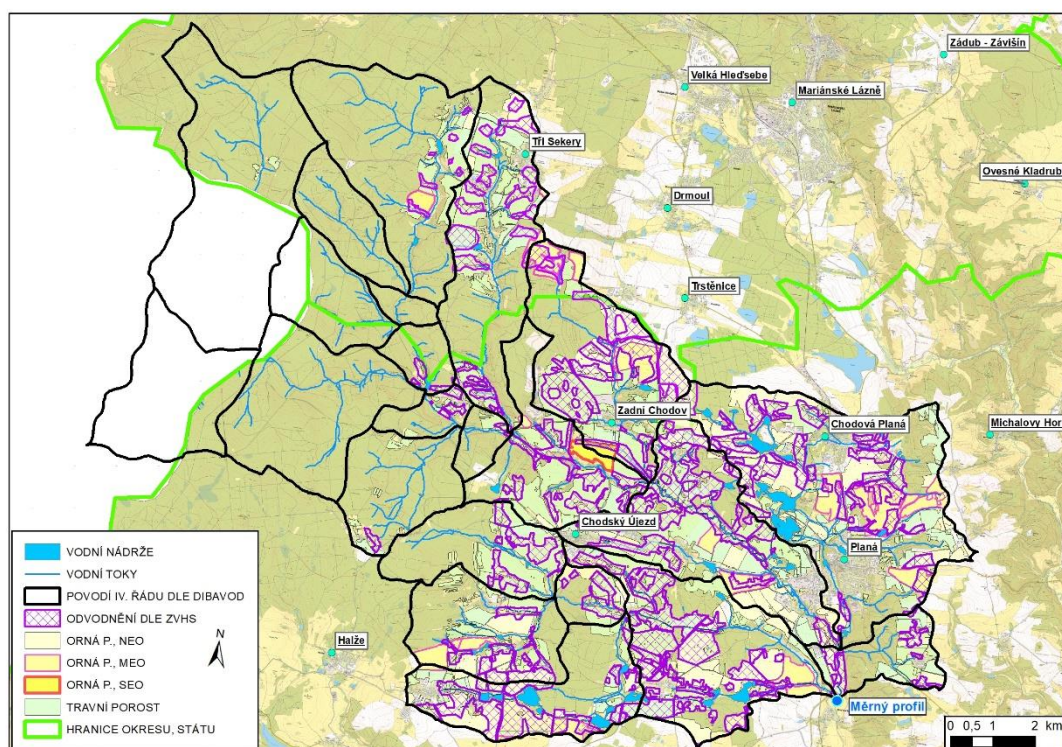
V pohraniční části protéká Hamerský potok lesy, pod Broumovem silně meandruje v místních lučinách a lesy protéká až před svým ústím. Koryto řeky je široké maximálně 3-5 metrů. Jezy jsou stavidlové, čili nesjízdné a další překážky tvoří popadané stromy a břehový porost. (www.wikipedia.cz)



obr. č. 31 Hamerský potok blízko soutoku se Mží



obr. č. 32 Hamerský potok



obr. č. 33 Hamerský potok

Základní informace

Délka toku - 33,6 km

Plocha povodí - 200,0 km²

Průměrný průtok - 1,46 m³/s

Světadíl - Evropa

Hydrologické pořadí 1 -10-01-029

Pramen - jihovýchodně od vrchu Čupřina v Českém lese 754 m n . m .

Ústí do Mže - 49°48'48,8 " s . š . , 12°45'46,2 " v . d .

Protéká - Německo (Bavorsko - Mähring)

- Česko (Plzeňský kraj - Broumov, Planá, Brod nad Tichou)

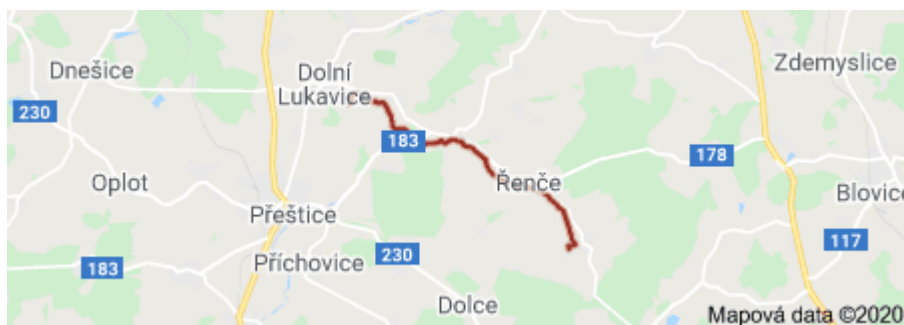
Úmoří, povodí - Atlantský oceán, Severní moře, Labe, Vltava, Berounka, Mže
(www.wikipedia.cz)

4 .4 .2 Divoký potok – přítok Úhlavy

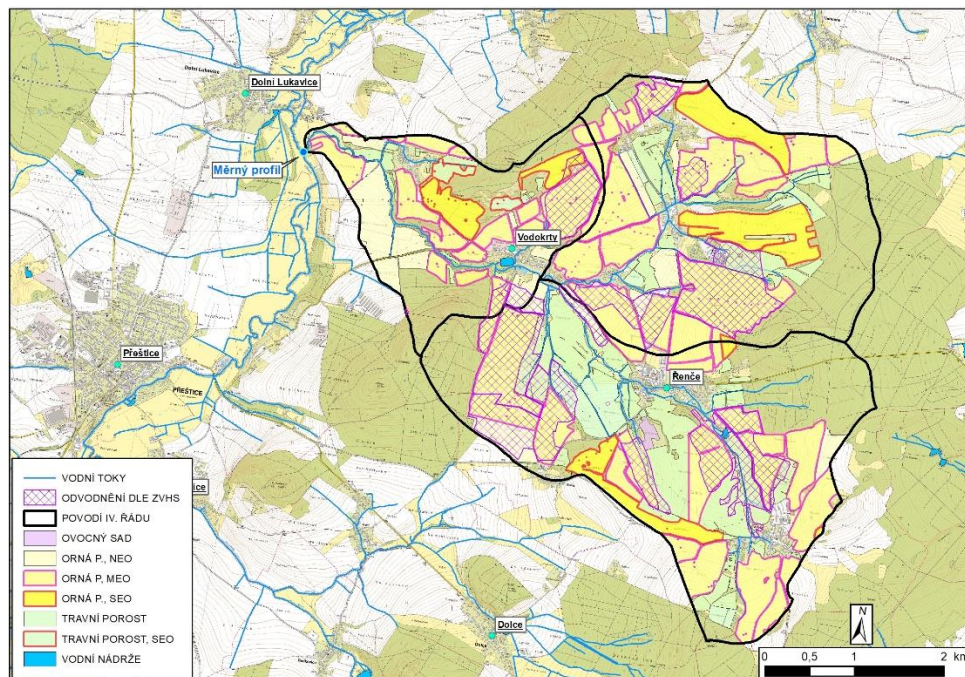
„Divoký potok (nazývaný též potok Lukavice) (viz obr.č.35) je pravostranný přítok řeky Úhlavy v okrese Plzeň-jih v Plzeňském kraji. Délka toku činí 9,2 km. Plocha povodí měří 23,2 km². Potok pramení jižně od Libákovíc v nadmořské výšce okolo 560 m n.m. Na horním toku směřuje nejprve na sever. Protéká západní částí výše zmíněné vsi, kde napájí místní rybník. Od Libákovíc se postupně stáčí na severozápad k obci Řeňče, kterou protéká a dále ke vsi Vodokrty, kde přijímá zprava Osecký potok. Od Vodokrt proudí na západ až severozápad k Dolní Lukavici. Jihovýchodně od Dolní Lukavice se vlévá do řeky Úhlavy na jejím 26,7 říčním kilometru v nadmořské výšce okolo 345 m n.m.“ (GIS analýzy dat LPIS, ZABAGED, vrstvy odvodnění dle ZVHS a DIBAVOD).

Povodí se nachází východně od Přeštic, na ploše 2 312 ha (viz obr.č.33,34). Způsob využití půdy v povodí znázorňuje tab. 1 . Zemědělská půda tvoří cca 63% z plochy povodí; její využití je následující: orná půda 47,2 % (75% ze ZPF), louky 16% (25% ze ZPF). Ostatní plocha je kolem 75 ha (3,2 % z plochy povodí), les 772 ha (33,4 % z plochy povodí), vodní plochy 2,5 ha (0,1 % z plochy povodí). Odvodněno zemědělskou drenáží je dle podkladů ZVHS 425 ha, tj. 18,4 % plochy povodí; tj. 29% zemědělské půdy. Odvodněná půda v povodí je cca z 85% zorněna. (GIS analýzy dat LPIS, ZABAGED, vrstvy odvodnění dle ZVHS a DIBAVOD).

Vodní erozí (SEO, MEO) je dle aktuálních podkladů LPIS ohroženo cca 75% orné půdy v povodí. (GIS analýzy dat LPIS, ZABAGED, vrstvy odvodnění dle ZVHS a DIBAVOD).



obr. č. 34 Divoký potok



obr. č. 35 Divoký potok



obr. č. 36 Divoký potok



Základní informace

Délka toku - 9,2 km

Plocha povodí - 23,2 km²

Světadíl - Evropa

Hydrologické pořadí 1 -10-03-0770

Pramen - jižně od Libákovíc, okolo 560 m n . m .

Ústí do Úhlavy jihovýchodně od Dolní Lukavice - okolo 345 m n . m .

Protéká - Česko (Plzeňský kraj - Libákovice, Řenče, Vodokrty)

Úmoří, povodí - Atlantský oceán, Severní moře, Labe, Vltava, Berounka,

Radbuza, Úhlava

(www.wikipedia.cz)

4.4.3 Výzkumné metody

Výzkumný soubor byl stanoven pomocí záměrného výběru. Tento druh výběru byl zvolen z důvodu nemožnosti náhodného výběru vzhledem k nutnosti specifických vlastností toků a jejich počtu omezeného na dva vodní toky. „Záměrný výběr nevychází ze zákonitostí náhodných jevů, ale uskutečňuje se na základě určení typických znaků základního souboru, přičemž se výzkumník opírá o své zkušenosti, vědomosti, úsudek a případy, které dobře zná“ (Švec, 1998, s. 74). Na základě této definice byl proveden výběr toků i v našem případě. Hamerský i Divoký potok byly vybrány za pomoci konzultace s odbornými pracovníky Povodí Vltavy, kteří na základě svých zkušeností a odborných znalostí doporučili právě výše uvedené toky, které splňovaly požadavky na charakteristiky okolí, kterým protékají a splňují tak požadavky zadání mé závěrečné práce. Tento výběr je vzhledem k odbornosti výběru výzkumného souboru nazýván výběrem kvalifikovaným. (Švec, 1998)

4.4.4 Sběr dat

Sběr dat byl realizován formou pravidelných měsíčních odběrů vzorků vody z vybraných toků na jejich stanovených úsecích. Tyto odběry probíhaly u většiny vzorků v rozmezí let 2014-2018. V případě, že tomu bylo jinak, je tato skutečnost uvedena ve výsledkové části u jednotlivých prvků. Odběr vzorků, stejně jako jejich vyhodnocení bylo v kompetenci pracovníků Povodí Vltavy státní podnik. Metody zpracování jsou standardizovanými postupy, které zaručují vypovídající hodnotu výsledků.

4.4.5 Vyhodnocení dat

Vyhodnocení získaných dat bylo provedeno prostřednictvím kvantitativního výzkumu a to za pomoci statistických metod. V případě mé závěrečné práce se jedná o matematickou funkci průměr, pomocí které jsem získal data z jednotlivých toků, následně porovnal, rozdíl jsem zpracoval graficky a slovně popsal zjištěné výsledky.

4.4.6 Výběr výzkumného souboru

Vybrané toky byly stanoveny, jak již bylo uvedeno, na základě konzultace s odbornými pracovníky Povodí Vltavy státní podnik, tak, aby splňovaly kritéria stanovená cílem mé závěrečné práce. Jednalo se tedy zejména o dodržení místní – tedy oba toky musí protékat plzeňským krajem. Dalším požadavkem byla diametrální rozdílnost v charakteristice prostředí, kterým oba toky protékají. Jeden z vybraných toků protéká v zásadě prakticky pouze krajinou zastavěnou, nebo intenzivně zemědělsky využívanou a druhý tok protéká zejména krajinou, která není zásahem člověka extrémně ani pravidelně ovlivňována- v tomto případě tedy loukami a lesy.

Oba toky byly v námi vybraném období pravidelně kontrolovány pomocí odebírání vzorků a jejich vyhodnocením. V této oblasti nebylo možné dosáhnout absolutní shody u obou toků ve všech bodech. Tuto skutečnost jsem uvedl ve výsledkové části a zohlednil v souhrnném vyhodnocení výsledků, stejně jako rozdílnost délky a plochy jednotlivých toků.

5 Monitoring

Monitoring probíhal v terénu a v laboratořích Povodí Vltavy, státního podniku. Společnost mi poskytla data, která mi umožnila porovnání a vyhodnocení dané problematiky.

Vzorky vod, které byly sebrány z Hamerského potoka – okolí Brodu nad Tichou a Divokého potoka – okolí Dolní Lukavice, se sbíraly pravidelně v měsíčních intervalech po celý rok v období od roku 2014-2018. Ne vždy se sbíralo na stejných místech. Vzorky byly pořizovány v úseku ř. km. 4,7 Hamerského potoka a ř. km. 0,2 Divokého potoka.

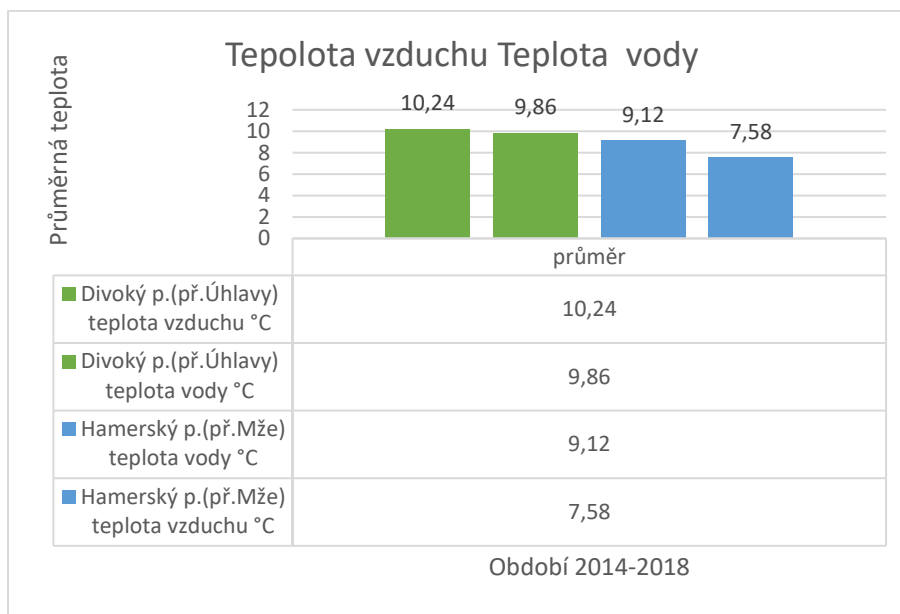
Mým úkolem bylo porovnat jakost vody mezi těmito dvěma potoky. Data vzorků, která jsem obdržel k vyhodnocení byly: Teplota vzduchu, reakce vody PH, elektrolytická konduktivita v terénu, teplota vody, zákal vzorku, nerozpuštěné látky při teplotě 105°C, kyslík rozpuštěný, nasycení kyslíkem, CHSK-Cr, BSK-5, uhlík organický celkový (TOC), uhlík organický rozpuštěný (DOC), dusík celkový, dusík anorganický, dusík amoniakální, dusík dusitanový, dusík dusičnanový, amoniak a amonné ionty, dusitany, dusičnany, fosfor celkový, fosfor fosforečnanový, draslík, vápník, hořčík, železo celkové, chlorofyl-a, bakterie koliformní termotolerantní, (FKOLI).

Provedl jsem výpočet průměru za sledové období (ve většině případů to bylo období pět let) a porovnal jsem mezi sebou obě povodí. U každé hodnoty jsem vyhodnotil stručný závěr.

6 Výsledky

V této části práce předkládám vyhodnocení měření ve zkoumaných oblastech a srovnání mezi oběma sledovanými toky.

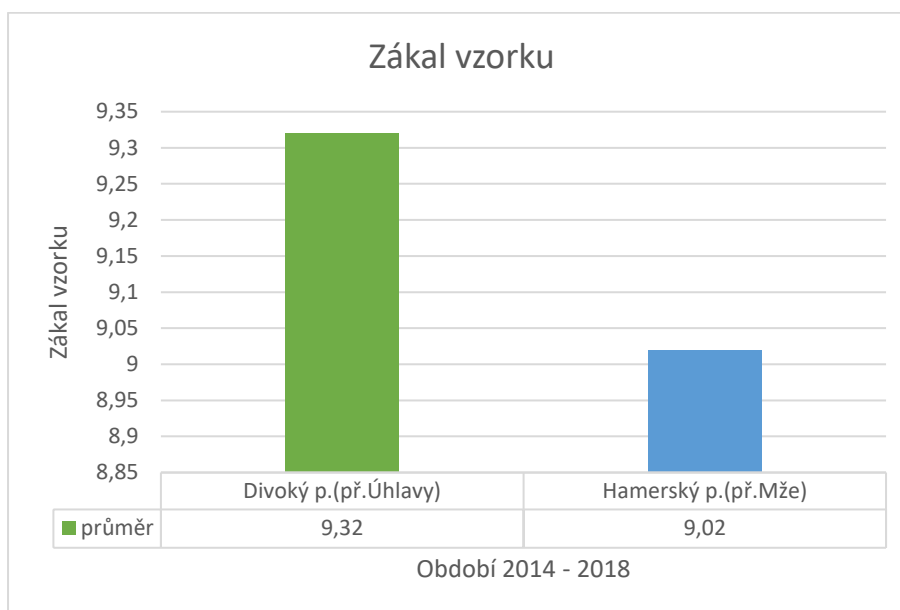
1) Srovnání průměrné teploty vody a vzduchu na obou tocích



graf č. 1 Srovnání teploty vody a vzduchu na sledovaných tocích

Průměrná teplota vzduchu, i teplota vody je v okolí Divokého potoka vyšší než na území Hamerského potoka. Průměrná teploty vzduchu ve sledovaném období byla o 0,38°C vyšší v okolí Divokého potoka, oproti okolí potoka Hamerského. Rozdíl mezi průměrnými teplotami vody byl markantnější a to v hodnotě 0,6°C.

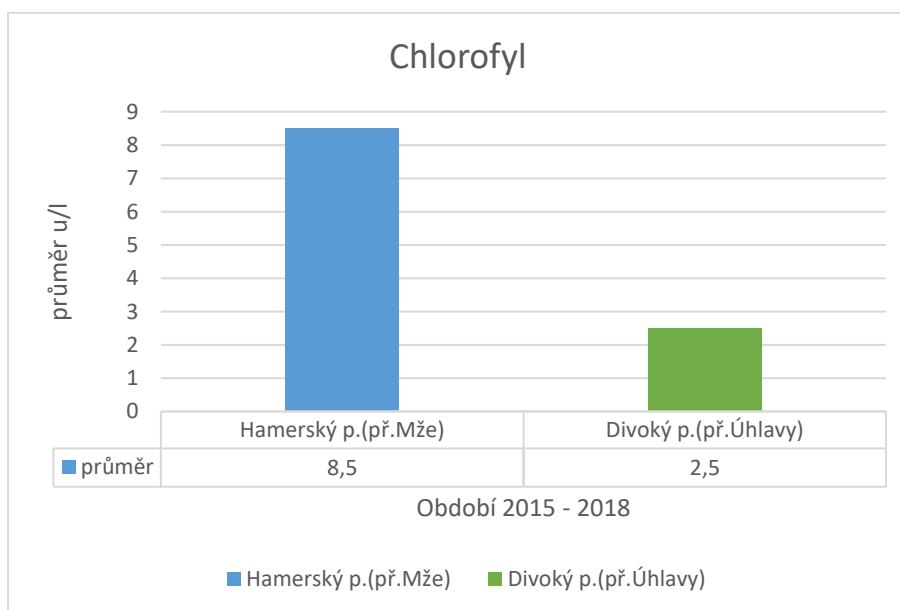
2) Srovnání zákalu vzorku odebrané vody



graf č. 2 Porovnání zákalu odebraných vzorků vody

Průměrný zákal odebraných vzorků vody ve sledovaném období Divokého potoka je vyšší, než zákal v potoce Hamerském. Domnívám se, že důvodem pro tuto skutečnost je fakt, že Divoký potok má vysoký spád a vždy při dešti se do potoka dostanou všechny látky z okolní půdy.

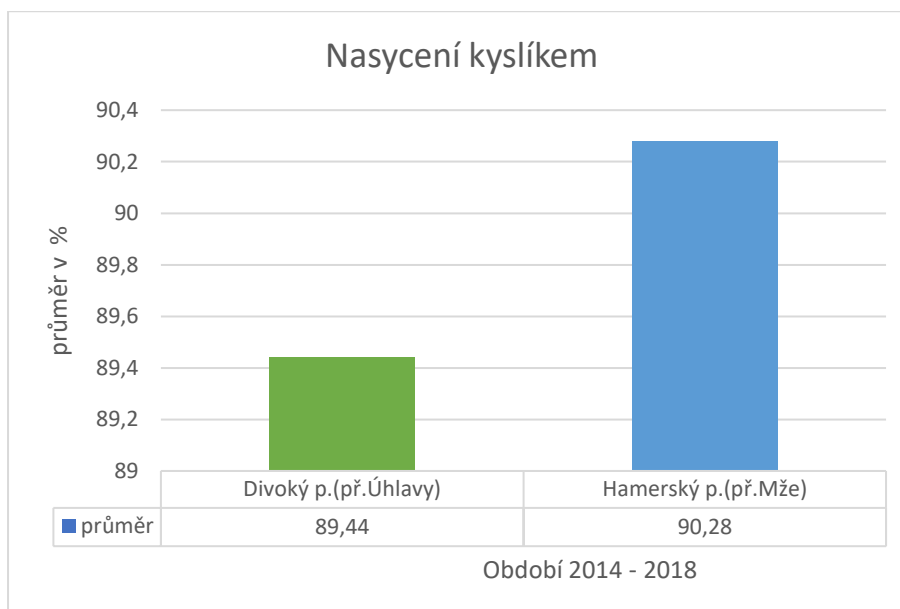
3) Srovnání obsahu chlorofyl



graf č. 3 Srovnání obsahu chlorofyl na obou tocích

Jak je z grafu č. 3 viditelné, hodnota Chlorofylu je na území Hamerského potoka podstatně vyšší, než bylo naměřeno u vzorků odebraných z toku Divokého potoka a to o celých 6 iak/l.

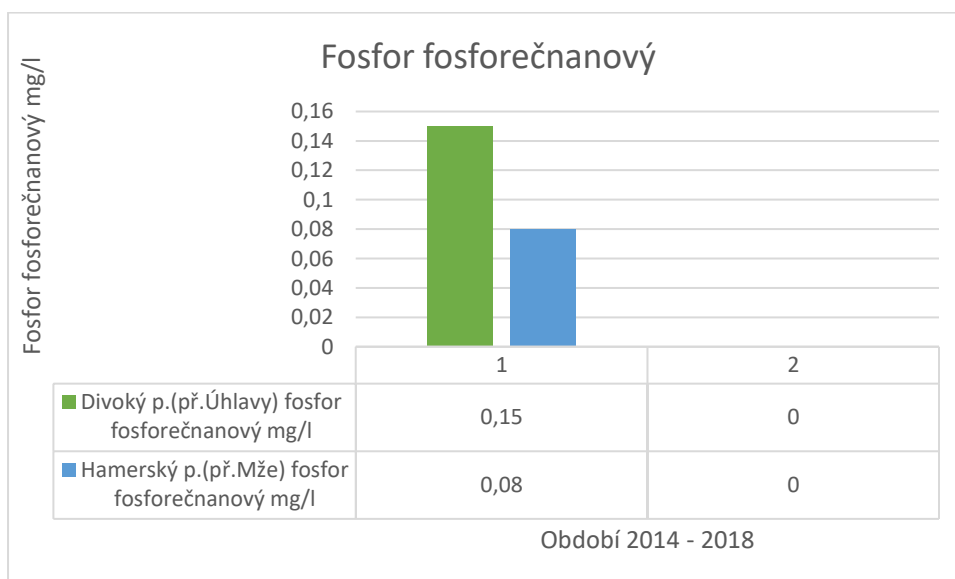
4) Srovnání nasycení kyslíkem



graf č. 4 Srovnání nasycení kyslíkem u sledovaných toků

Odběrem vzorků ve sledovaném období na obou tocích bylo zjištěno, že průměrná nasycenost kyslíkem je vyšší v Hamerském potoce a to v hodnotě 90,28% oproti 89,44% u divokého potoka.

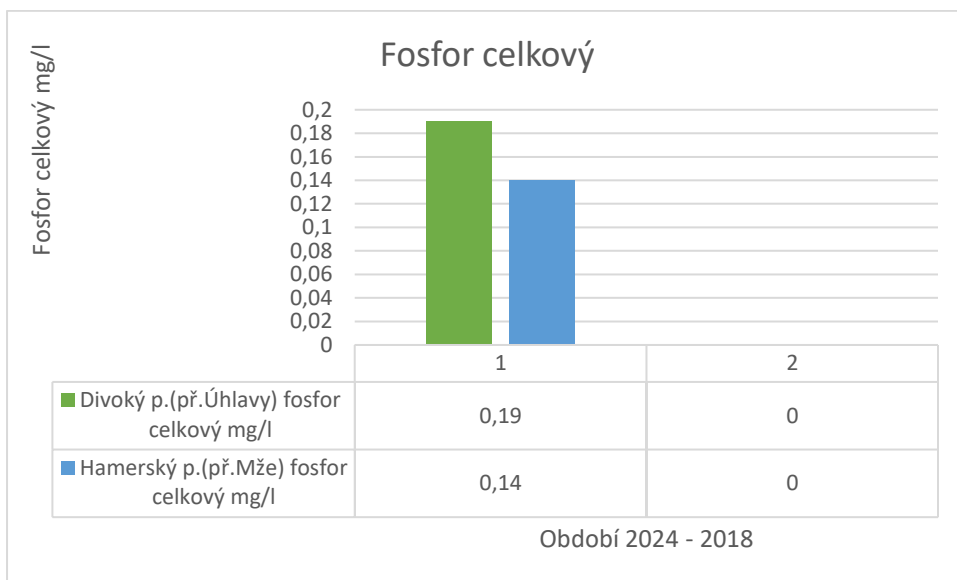
5) Srovnání obsahu fosforu fosforečnanového ve sledovaných tocích



graf č. 5 Srovnání obsahu fosforu fosforečnanového

Hodnota fosforu fosforečnanového je uváděna v mg/l vody. Z provedených měření ve sledovaném období bylo zjištěno, že obsah látky byl vyšší na území Divokého potoka a to z důvodu, že protéká obcemi, které nemají vybudovanou kanalizaci (ČOV). V případě Divokého potoka byla naměřena hodnota 0,15 mg/l a u Hamerského potoka 0,08 mg/l.

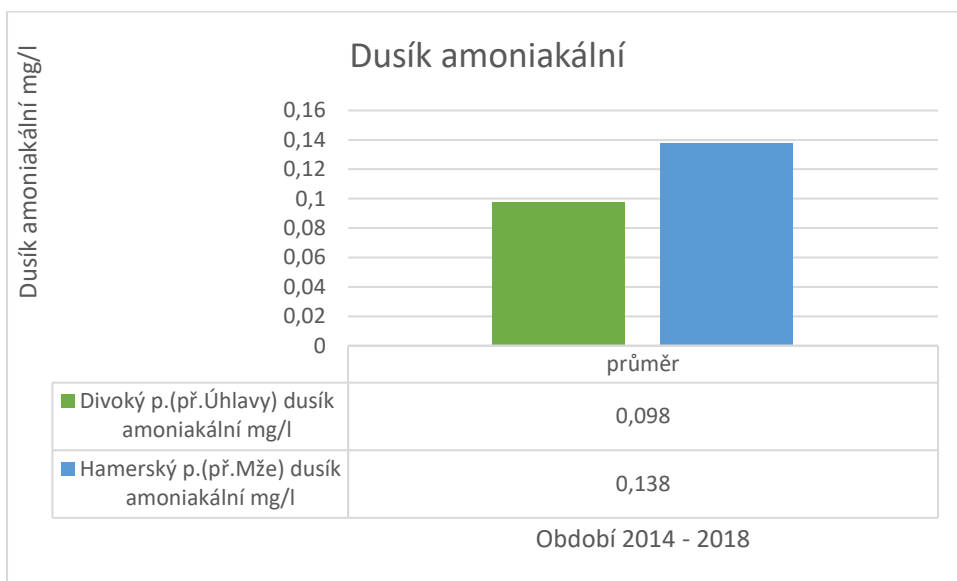
6) Srovnání celkového obsahu fosforu v obou sledovaných tocích



graf č. 6 Obsah celkového fosforu

Obsah celkového fosforu byl naměřen nižší v povodí Hamerského potoka. Rozdíl mezi oběma toky je 0,05 mg/l.

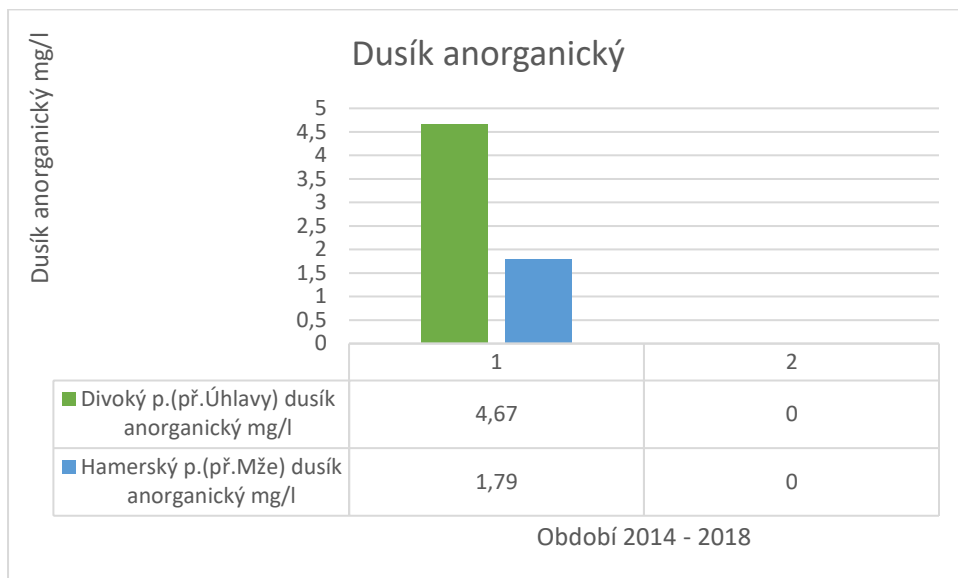
7) Srovnání obsahu amoniakálního dusíku ve sledovaných tocích



graf č. 7 Srovnání obsahu amoniakálního dusíku

Obsah amoniakálního dusíku byl naměřen vyšší (0,138 mg/l) na území Hamerského potoka, přičemž v povodí divokého potoka byl naměřen v průměrné hodnotě 0,098 mg/l.

8) Srovnání obsahu anorganického dusíku ve sledovaných tocích

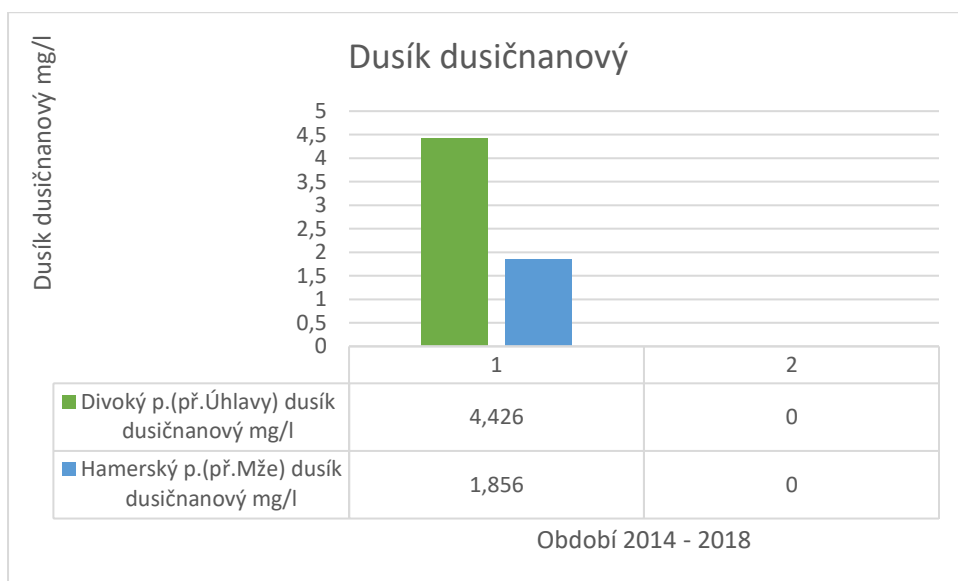


graf č. 8 Srovnání obsahu anorganického dusíku

Oproti amoniakálnímu dusíku byly vyšší hodnoty anorganického dusíku naměřeny v povodí Divokého potoka a to v hodnotě 4,67 mg/l oproti potoku Hamerského, kdy naměřená hodnota ve sledovaném období byla 1,79 mg/l. Dusičnany obecně zvedají hladinu anorganického dusíku.

Jakost vody je pravidelně klasifikována a vyhodnocována od 60. let 20. století. Klasifikací se přitom rozumí výpočet charakteristické hodnoty (u většiny ukazatelů ze souboru 11 až 24 měření je hodnota nepřesahovaná v 90 %), její porovnání se soustavou mezních hodnot tříd kvality vody a zařazení ukazatele do jedné z pěti tříd jakosti podle znečištění vody. První norma, která se zabývala touto problematikou, byla ČSN 83 0602 z 23. 6. 1965. Norma obsahovala celkem 25 ukazatelů (ukazatele kyslíkového režimu, ukazatele základního chemického složení, zvláštní ukazatele a ukazatele mikrobiálního znečištění). Norma pro klasifikaci jakosti povrchových vod byla pravidelně revidována a v souvislosti s výskytem nových znečišťujících látek v životním prostředí byly do normy doplňovány další ukazatele jakosti vody. V tomto článku je představena revize předchozí normy ČSN 75 7221 z října 1998. Obsahuje celkem 65 ukazatelů sdružených v pěti skupinách (obecné, fyzikální a chemické ukazatele, organické látky, kovy a metaloidy, mikrobiologické a biologické ukazatele, radiologické ukazatele). (VTEI)

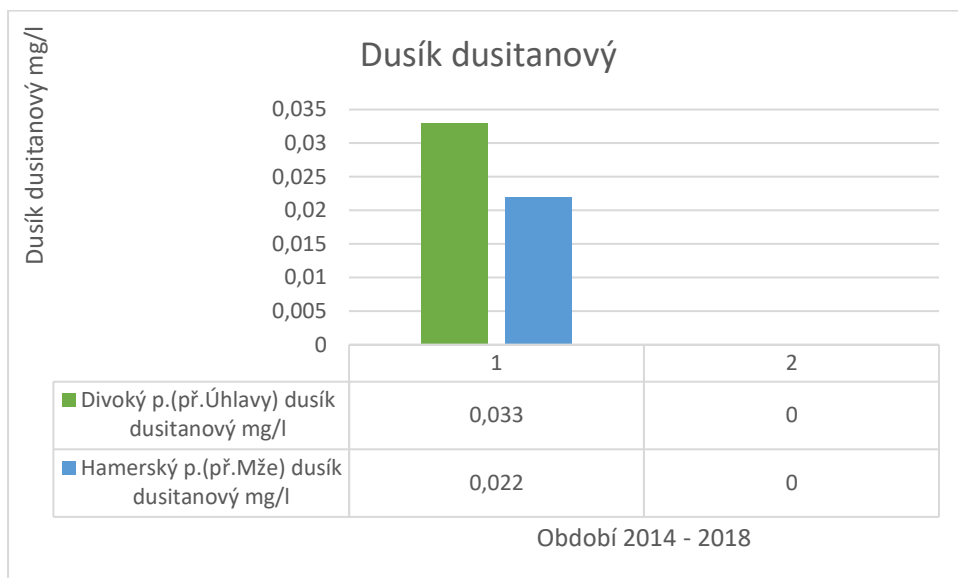
9) Srovnání obsahu dusičnanového dusíku ve sledovaných tocích



graf č. 9 Srovnání obsahu dusičnanového dusíku

Ve sledovaném období byl větší obsah dusičnanového dusíku naměřen v povodí Divokého potoka. Jeho průměrná hodnota byla 4,426 mg/l, zatímco v povodí Hamerského potoka byl naměřen obsah 1,856 mg/l.

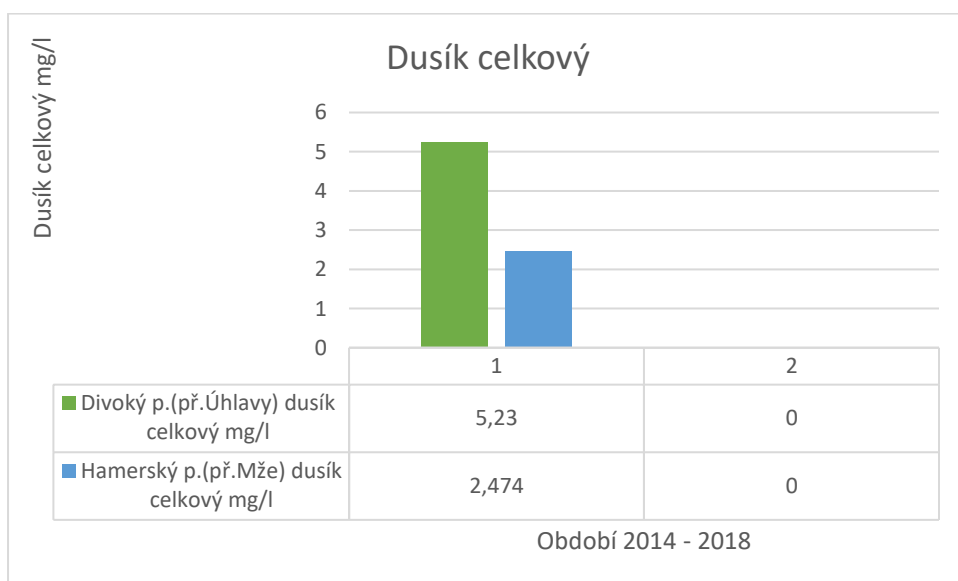
10) Srovnání obsahu dusitanového dusíku ve sledovaných tocích



graf č. 10 Srovnání hodnot dusitanového dusíku

Hodnota naměřeného Dusitanového dusíku byla ve sledovaném období vyšší v oku Hamerského potoka. Zjištěný rozdíl mezi oběma toky byl 0,011 mg/l.

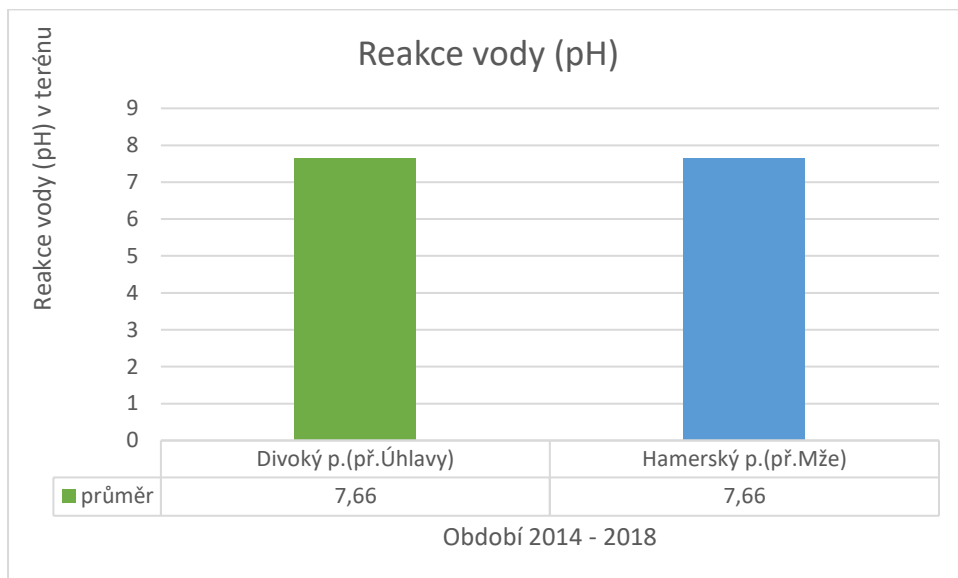
11) Srovnání obsahu celkového dusíku ve sledovaných tocích



graf č. 11 Srovnání obsahu celkového dusíku

Obsah celkového dusíku ve sledovaném období byl naměřen vyšší ve vodě Divokého potoka a to v hodnotě 5,23 mg/l oproti 2,474 mg/l v toku Hamerského potoka.

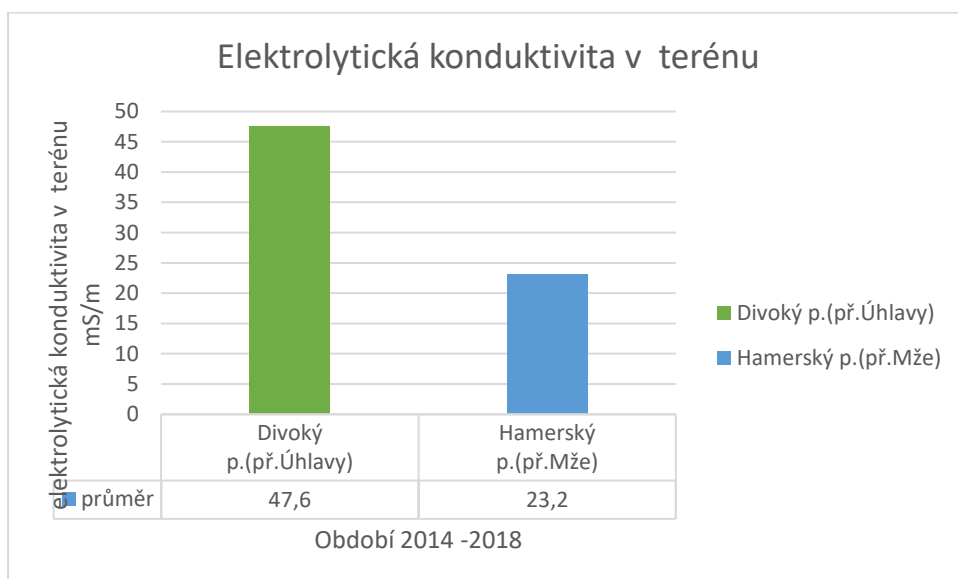
12) Srovnání pH vody na sledovaných tocích



graf č. 12 Srovnání pH vody

Zatím co u předchozích sledovaných látek byly u obou toků naměřeny rozdílné hodnoty, u reakce vody (pH) je hodnota totožná na obou tocích

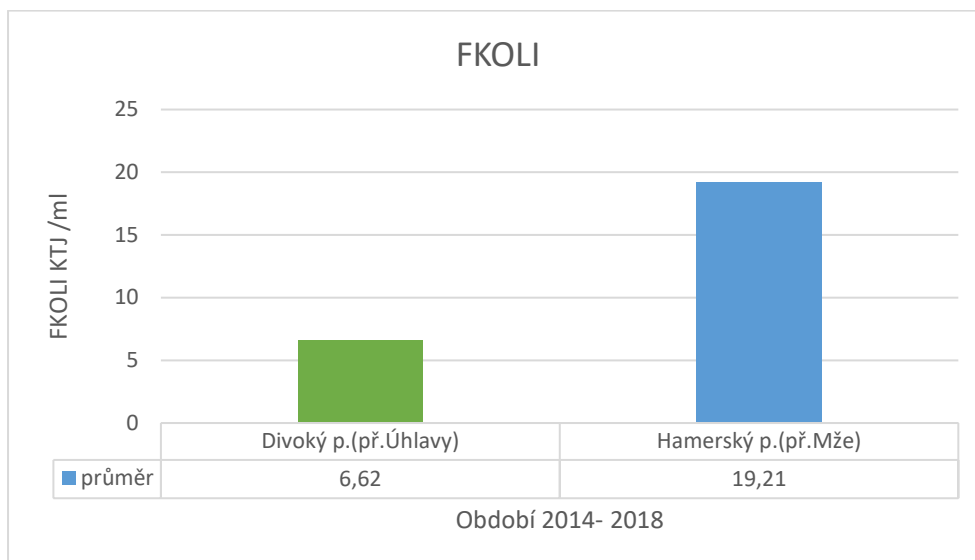
13) Srovnání hodnot elektrolytické konduktivity terénu u sledovaných toků



graf č. 13 Srovnání elektrolytické konduktivity terénu

Elektrolytická konduktivita v terénu ve sledovaném období byla naměřena vyšší v okolí Divokého potoka a to v hodnotě 47,6 numS/m a to je o 24,4 numS/m více, než v druhé lokalitě Hamerského potoka.

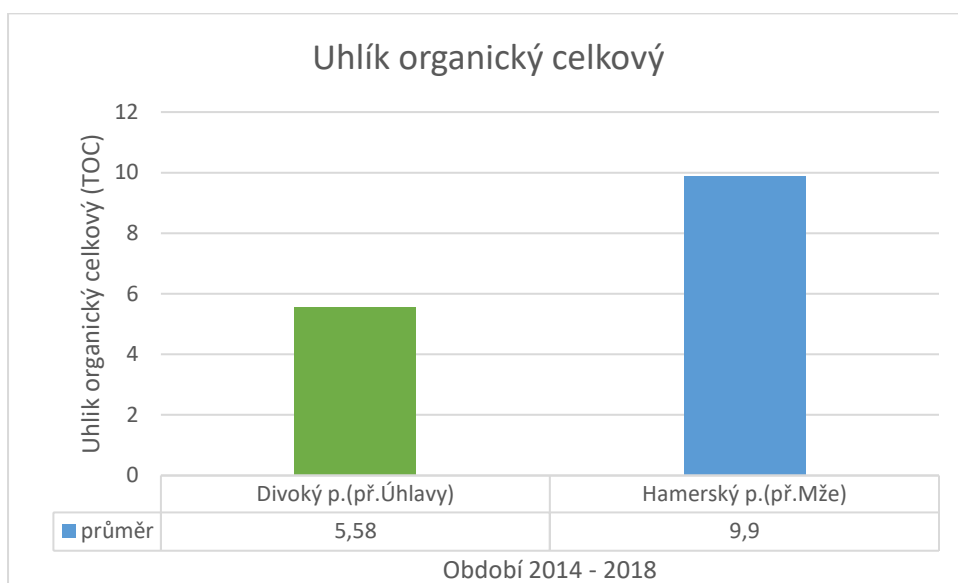
14) Srovnání množství FKOLI ve sledovaných tocích



graf č. 14 Srovnání množství výskytu FKOLI

Hodnoty výskytu koliformní termotolerantní bakterie (FKOLI) jsou podstatně vyšší u Hamerského potoka. Průměrná hodnota, která zde byla ve sledovaném období naměřena je 19,21 KTJ/ml. Ve vzorcích z druhého sledovaného toku, Divokého potoka, bylo naměřeno pouze 6,62 KTJ/ml. Důvodem této skutečnosti je, dle nepodloženého zdroje informací, znečištění vod z ČOV v okolí Plané.

15) Srovnání množství celkového organického uhlíku ve sledovaných tocích



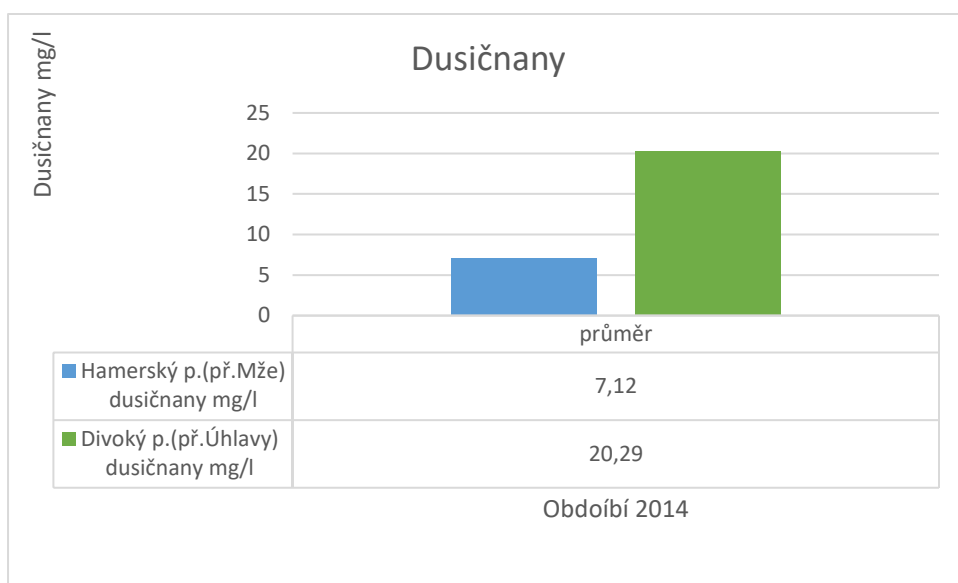
graf č. 15 Srovnání obsahu celkového organického uhlíku

Ve sledovaném období bylo naměřeno větší množství celkového organického uhlíku ve vodě Hamerského potoka. Tato hodnota činila 9,9 mg/l. V případě Divokého potoka se jednalo o 5,58 mg/l.

16) Organický uhlík – rozpuštěný

Rozpuštěný organický uhlík byl měřen pouze v toku Hamerského potoka a to jen v roce 2018. Měřením a vyhodnocením odebraných vzorků byla zjištěna přítomnost výše uvedené látky v průměrné hodnotě 7.5 mg/l.

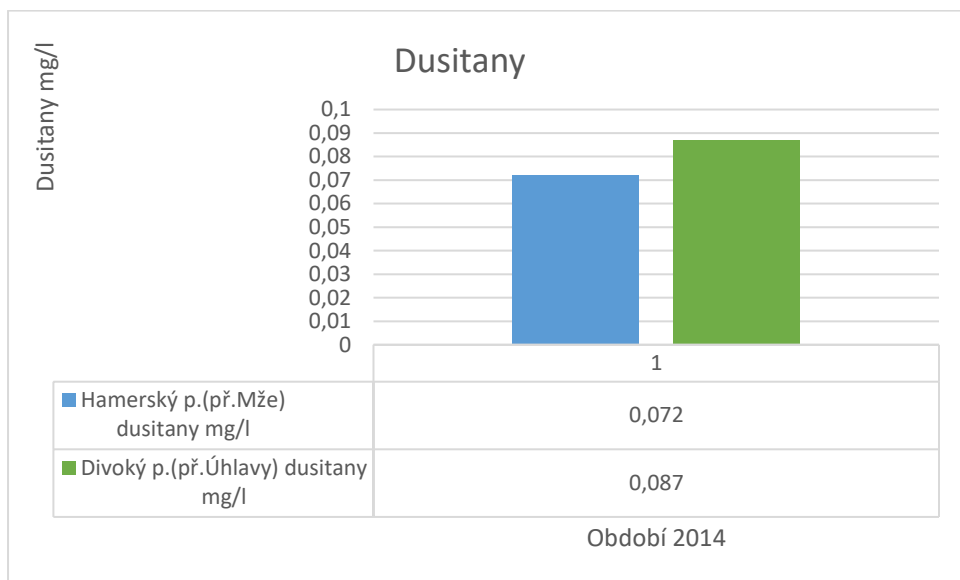
17) Srovnání množství dusičnanů ve sledovaných tocích



graf č. 16 Srovnání množství dusičnanů

Sledovaným obdobím u této látky byl rok 2014. Naměřené hodnoty jasně ukazují, že vyšší obsah byl zjištěn v toku Divokého potoka a to v průměrné hodnotě 20,29 mg/l. Hamerský potok obsahoval v tomto období průměrně 7,12 mg/ l dusičnanů.

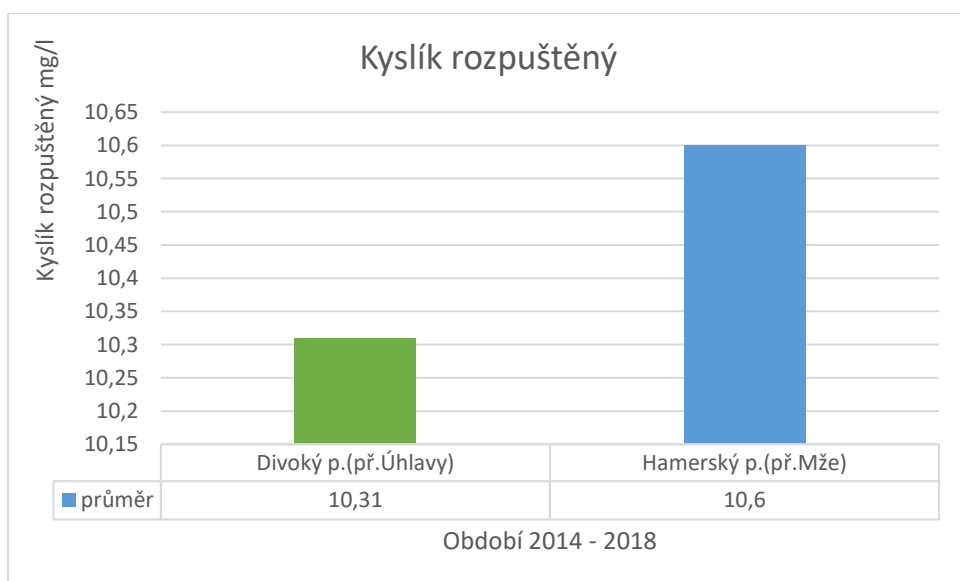
18) Srovnání obsahu dusitanů ve sledovaných tocích



graf č. 17 Srovnání obsahu dusitanů

Obsah dusitanů ve vodě byl na vybraných tocích sledován opět pouze v roce 2014. V tomto roce bylo na základě měření zjištěno, že průměrná hodnota dusitanů, a to 0,087 mg/l, je vyšší ve vodě Divokého potoka. Rozdíl mezi oběma toky v roce 2014 byl 0,015 mg/l.

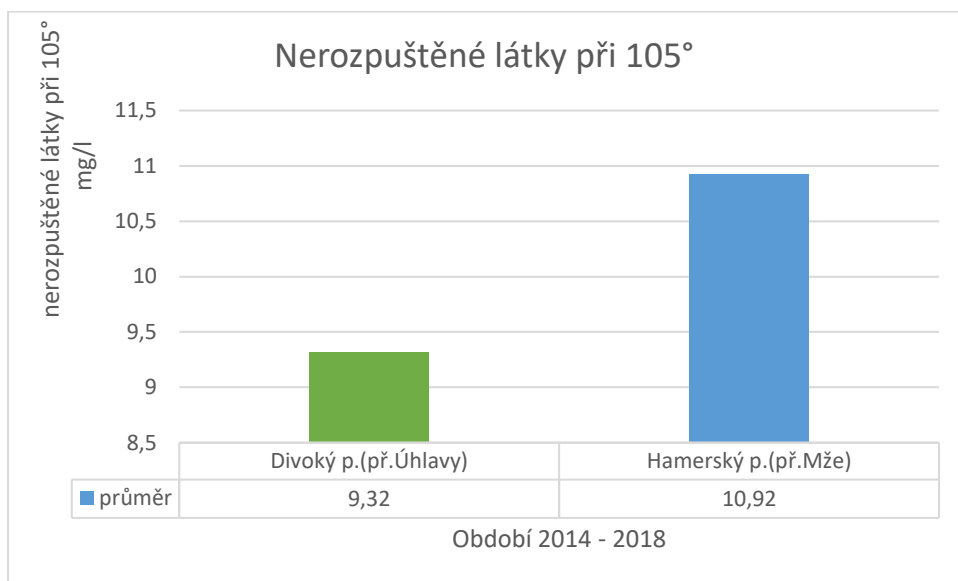
19) Srovnání množství rozpuštěného kyslíku ve sledovaných tocích



graf č. 18 Srovnání obsahu rozpuštěného kyslíku

U tohoto prvku byla průměrná hodnota u obou toků velice podobná. Vzorky odebrané z Hamerského potoka obsahovaly průměrně 10,6 mg/l. Vzorky odebrané z Divokého potoka obsahovaly průměrně 10,31 mg/l rozpuštěného kyslíku.

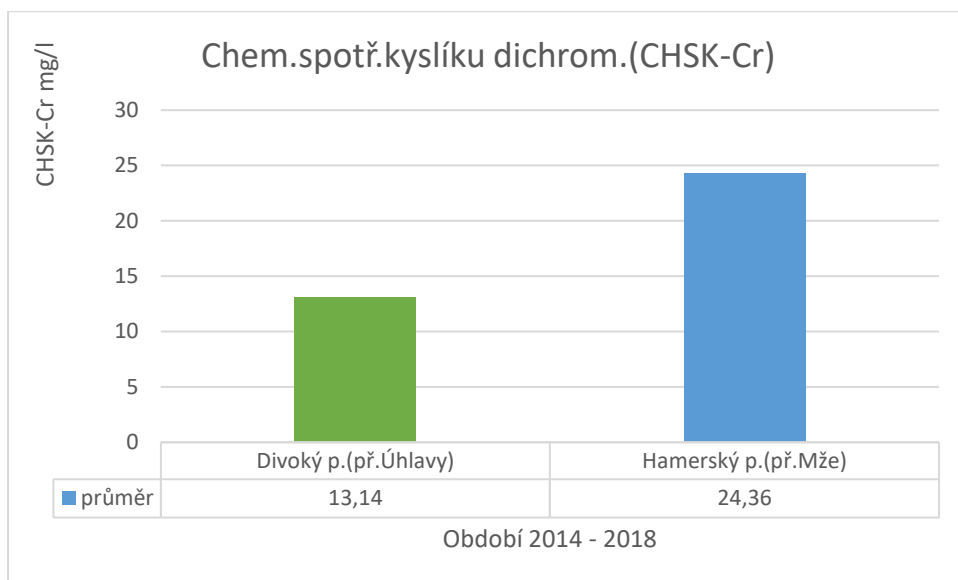
20) Srovnání množství nerozpuštěných látek při 105° ve sledovaných tocích



graf č. 19 Srovnání množství nerozpuštěných látek

Při porovnání množství látek, které ve vzorku zůstali nerozpuštěné při zahřátí na 105°C, bylo zjištěno, že jejich větší obsah v průměru sledovaného období obsahovali vzorky odebrané z Hamerského potoka. Rozdíl mezi sledovanými toky byl 1,6 mg/l, jak je patrné z grafu č. 20.

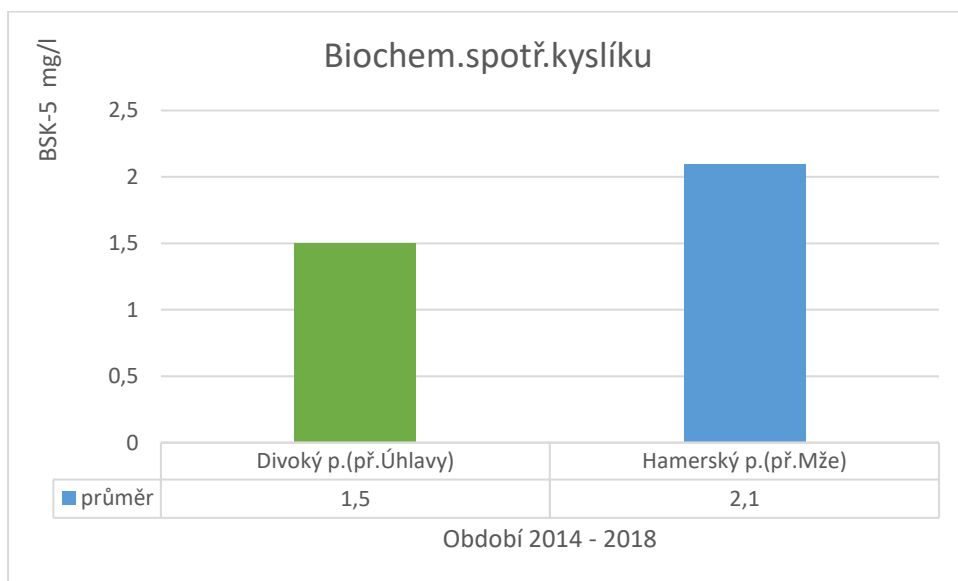
21) Srovnání chemické spotřeby kyslíku dichrom. (CHSK-Cr) ve sledovaných tocích



graf č. 20 Srovnání CHSK - Cr

Jak je z Grafu č. 21 zřejmé, hodnota CHSK-Cr je vyšší, a to v hodnotě 24,36 mg/l, u Hamerského potoka. Ve vzorcích odebraných z Divokého potoka byla, ve sledovaném období, naměřena CHSK-Cr v hodnotě 13,14 mg/l.

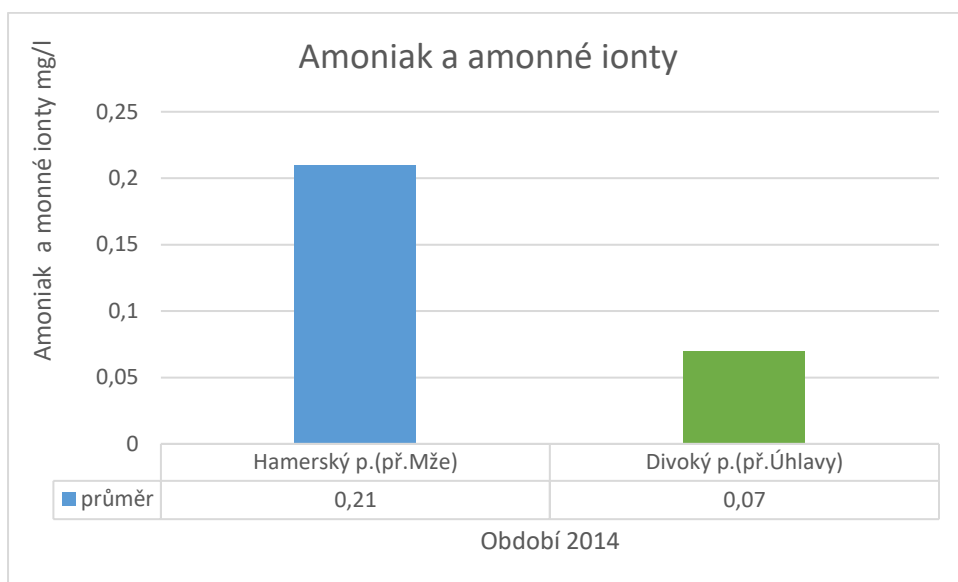
22) Srovnání biochemické spotřeby kyslíku ve sledovaných tocích



graf č. 21 Srovnání biochemické spotřeby kyslíku

Ve sledovaném období bylo zjištěno, že Hamerský potok má větší biochemickou spotřebu kyslíku a to v hodnotě 2,1 mg/l. Rozdíl mezi oběma toky je 0,6 mg/l a Divoký potok má tedy v této oblasti hodnotu 1,5 mg/l.

23) Srovnání obsahu amoniaku – amonných iontů ve sledovaných tocích



graf č. 22 Srovnání obsahu Amoniaků – amonných iontů

Měření v této oblasti bylo prováděno pouze v roce 2014 a to na obou tocích. Průměrná hodnota 0,21 mg/l, která byla neměřena ve vzorcích odebraných z toku Hamerského potoka, je přesně trojnásobná, oproti průměrné hodnotě 0,07 mg/l, která byla zjištěna ve vzorcích vody z potoka Divokého.

24) Srovnání obsahu draslíku na sledovaných tocích

Tento prvek byl ve sledovaném období měřen pouze ve vzorcích odebraných z Hamerského potoka. Zde byl zjištěn obsah draslíku v množství 3,42 mg/l. Vzhledem k výše uvedenému není srovnání ve sledovaných tocích možné.

25) Srovnání obsahu hořčíku na sledovaných tocích

Obsah hořčíku byl sledován pouze v roce 2018 a to opět pouze na Hamerském potoce. Výsledky měření ukázali obsah hořčíku v průměrné hodnotě 7,8 mg/l. Ani v tomto případě nebylo možné provést srovnání, vzhledem k absenci odběrů vzorku z Divokého potoka.

26) Srovnání obsahu vápníku na sledovaných tocích

Obsah vápníku byl sledován pouze v toku Hamerského potoka, a to v roce 2018. Průměrná naměřená hodnota v odebraných vzorcích byla 19,58 mg/l. Vzhledem k absenci měření a z něj vyplývající průměrné hodnoty z toku Divokého potoka, nebylo možné provést v této oblasti srovnání.

27) Srovnání obsahu železa na sledovaných tocích

Obsah železa ve vodě z odebraných vzorků byl měřen v námi sledovaném období, tedy v letech 2014-2018 a to pouze na Hamerském potoce. Opět tedy nebylo možné provést srovnání mezi sledovanými toky. Na Hamerském potoce byl zjištěn průměrný obsah železa v hodnotě 0,88 mg/l.

Celkové zhodnocení a porovnání provedených měření na sledovaných tocích

Hamerský potok - dle analýzy způsobu využití území a výsledků monitoringu vod není plošné zemědělské znečištění (vodní eroze – nerozpuštěné látky, fosfor a anorganické formy dusíku) v povodí dramatickým problémem z pohledu vlivu na jakost vod.

Divoký potok - dle analýzy způsobu využití území a výsledků monitoringu vod může být plošné zemědělské znečištění (vodní eroze – nerozpuštěné látky, fosfor a drenážní odtok - zejména anorganické formy dusíku) v povodí problémem z pohledu vlivu na jakost vod.

Tyto komplexní výsledky jsou přehledně zobrazeny v tabulce č. 2.

Tabulka 2 Způsob využití půdy v povodí Hamerského a Divokého potoka

		Plocha povodí	zemědělská cpůda (ZPF)				ostatní plocha	Les	Vodní plochy	Odvodnění
			celkem ZPF dle LPIS	orná	louky	ostatní				
Hamerský	Celkem ha	18 689,4	6 326,7	2 516,8	3 790,3	19,6	650,0	11 499,0	209,7	2 711,7
	%	100,0	33,9	13,5	20,3	0,1	3,5	61,5	1,1	14,5
	% ZPF									
Divoký	Celkem ha	2 311,6	1 462,2	1 090,0	366,9	5,3	75,0	771,9	2,5	424,8
	%	100,0	63,3	47,2	15,9	0,2	3,2	33,4	0,1	18,4
	% ZPF									

7 Diskuse

Cílem mé práce bylo srovnání jakosti vody na dvou tocích, které protékají diametrálně odlišnou krajinou a to zejména z hlediska jejího využití.

Pro toto srovnání byla využita data a měření, která jsou na sledovaných tocích prováděna spol. Povodí Vltavy- státní podnik. Jednalo se o toky Hamerský potok a Divoký potok.

Hamerský potok protéká ve velké části krajinou, která je intenzivně zemědělsky využívána. Z tohoto důvodu je půda ohrožena vodní erozí, díky níž může být do vody vyplavováno velké množství nežádoucích látek z hnojiv a pesticidů. Tím může docházet k negativnímu ovlivnění kvality vody v potoce.

Divoký potok protéká z velké části zalesněnou a zatravněnou krajinou. I toto okolí je ohroženo vodní erozí, ale vzhledem k jeho charakteru není voda ohrožena vnosem škodlivých látek.

Ve sledovaných veličinách byly v obou tocích zjištěny jako rozdílné, tak i shodné a velmi podobné (rozdíl v setinách) hodnoty. Totožné, nebo téměř stejné hodnoty byly naměřeny například u pH vody, obsahu dusitanů, celkového fosforu, stejně jako u průměrné teploty vody u obou toků.

Některé výsledky mohou být ovlivněny nejen okolím toku a způsobem jeho využití, ale i samotným charakterem toku.

Zatím co Hamerský potok má od pramene po soutok délku 37,6 km a má celkovou plochu 200km², divoký potok má délku pouhých 9,2 km s plochou 23 km².

Plocha a délka toku ovlivňuje kvalitu vody pozitivním způsobem. Je velmi pravděpodobné, že čím větší a delší je povodí toku, tím více škodlivých látek je cestou po proudu vstřebáno.

Oproti tomu u krátkého toku s malou vodní plochou může docházet ke kumulaci těchto látek.

Pokud tedy budeme nahlížet na výsledky provedeného měření pouze jako na soubor dat bez širších souvislostí, zjistíme, že naměřené hodnoty jsou horší u Divokého potoka a to i přes to, že protéká z velké části okolím nezatíženým intenzivním zemědělstvím ani jinou krajinou silně ovlivněnou pravidelným působením člověka, oproti potoku Hamerskému, u kterého bylo ve vybraném období sledováno i více veličin.

Pokud však vezmeme v úvahu už jen výše zmíněné proměnné a to délku a plochu toku, kdy délka Hamerského potoka je téměř čtyřnásobná a plocha téměř čtyřnásobná, je zřejmé, že schopnost vstřebávání látek výsledky významně ovlivňuje. Můžeme předpokládat, že pokud by měli oba toky shodnou délku i plochu, byly by naměřené hodnoty u Hamerského potoka výrazně horší.

Jako důvod obsahu větší koncentrace škodlivých látek ve vodě divokého potoka osobně vidím převážně, právě výše zmíněnou, několikrát menší délku i plochu toku a nemožnost tyto látky přirozeně odbourávat. Na kvalitu vody má pochopitelně vliv i prostředí, kterým protéká. V případě Divokého potoka, jak již bylo několikrát zmíněno, se jedná o lesy a louky. Tyto se chovají jako „houba“, která v případě dešťů absorbuje velké množství látek. Tato voda se zpět do vodního recipientu dostane podzemními vodami již „přefiltrovaná“. Voda, která může ovlivnit vodní profil je ta, která již vlivem nadměrného množství nebyla absorbována a díky vodní erozi se dostane do toků po povrchu. Tato voda je vzhledem k prostředí, organické látky-jehličí, kůra, kyselejší, než voda v samotném toku. Případné havárie pracovních strojů v lese či na loukách, nebo úniky provozních kapalin, mohou také negativně ovlivnit kvalitu vody.

Oproti tomu výsledky zjištěné v toku Hamerského potoka jsou, mimo délky a plochy, ovlivněny také okolím. Největším problémem tohoto toku je intenzivní zemědělství, ve kterém jsou hojně využívány pesticidy, herbicidy a hnojiva. Z těchto se do vody mohou vyplavovat různé formy fosforu a dusíku. V případě chovu skotu mohou být do vody uvolňována různá rezidua léčiv a antibiotik, která se skotu přidávají do krmiva. Část Hamerského potoka protéká zastavěnou oblastí. Těmito oblastmi jsou převážně vesnice u kterých, podle výsledků měření a osobní znalosti, předpokládám nepoužívání ČOV, ačkoliv tuto povinnost dle zákona mají. Tuto svou teorii nemohu v současné chvíli nijak podložit.

Při zohlednění výše uvedených faktů se tedy dostávám k otázce, zda je možné výsledky, pro praktické využití, porovnávat pouze jako strohá data, nebo je nutné zohlednit i skutečnosti, které nejsou lidským faktorem ovlivnitelné, ale do značné míry mohou výsledky měření zkreslit, jako v tomto případě, kdy statisticky vychází v testování lépe potok Hamerským, oproti Divokému.

V případě mnou vyhodnocených toků je nutno podotknout, že Divoký potok je jedním z přítoků řeky Úhlavy, která je zásobárnou pitné vody pro Plzeňský kraj a kontrola kvality vody tedy podléhá velmi přísným pravidlům a normám.

Zjištěné skutečnosti, zejména v oblasti ochrany kvality vody, mě vedou k zamyšlení nad tímto tématem. Právě v krajině, kterou protéká Hamerský potok, jsem na základě osobní znalosti došel k závěru, že dodržování zákonů, které upravují používání ČOV, je velmi diskutabilní.

Zjištěním skutečností, zda tomu tak je, nebo není, bych se chtěl zabývat ve své diplomové práci. Prokázáním fungování, či nefungování ČOV by dále bylo možné položit důkazy průniku škodlivých látek do vod Hamerského potoka.

8 Závěr

Mým úkolem bylo porovnat rozdíl jakosti vody mezi Hamerským potokem, který protéká intenzivně v zemědělském prostředí a Divokým potokem, který je z části v zatrávněném a z části v zalesněném prostředí.

Z celkového počtu monitorovaných a srovnávaných látek (vzorků) 27, bylo 23 vzorků srovnáváno stejně na obou potocích a 4 vzorky, které byly měřeny pouze na jednom z nich a to konkrétně na Hamerském potoce. Na Divokém potoce tyto 4 vzorky nebyly po celém období 2014-2018 měřeny. Jednalo se o draslík, vápník, hořčík a železo. Podle informací, které jsem získal nebyly tyto hodnoty zkrátka měřeny.

Nezákladnější parametr jako je teplota vody a vzduchu mi v obou případech vyšel s vyšší hodnotou Divoký potok. Naproti tomu chlorofyl a nasycení kyslíkem zase u Hamerského potoka. Zde si pokládám otázku, jak je možné, že teplota, která když je ve vodě vyšší, je hlavní příčinou toho, že se ve vodě tvoří řasy, a sinice vyjde vyšší u Divokého potoka, ale vyšší podíl chlorofylu, paradoxně tedy i nasycení kyslíkem ve vodě, vyjde vyšší u Hamerského potoka. Jako příčinu bych viděl v tom, že vzorky z Hamerského potoka byly brány v okolí zemědělských obydlí a pastvin, kde může dojít s největší pravděpodobností ke splachu z povrchu nebo pastvin,.. jako je např.: kejda, hnůj, krmivo pro skot a jiná masná plemena, hnojiva z polí atd. Myslím si, že výsledky vzorků to může hodně ovlivnit. Konkrétně to můžeme třeba vidět na množství chlorofylu a nasycení kyslíkem ve vodě, kde tyto hodnoty může ovlivnit právě množství splachů ve vodě.

Reakce pH je v průměru stejná u obou povodí.

Amoniak a amonné ionty, které byly měřeny pouze v období 2014 u obou povodí, dále pak dusík amoniakální vyšel vyšší ve všech případech u Hamerského potoka. Zde bych viděl jako hlavní důvod velký výskyt zemědělských obydlí a pastvin, kdy se do vody dostává velké množství výkalů, pesticidů a krmiv, které obsahují velké množství dusíku a mnohdy i fosforu. Fosfor ale jako celkový, který vyšel u obou podobně, jen s odchylkou cca 0,05 mg/l pro Divoký potok. U těchto hodnot nemám oficiálně podložené informace absence ČOV v přilehlých obcích. Proto jsou hodnoty celkového fosforu a fosforu fosforečnanového téměř stejné.

A stejně tak všechny formy dusíku včetně dusičnanů a dusitanů, tedy kromě výše uvedeného dusíku amoniakálního, vyšly vyšší u Divokého potoka. Tam bych viděl jako příčinu kyselé deště. Lesy a louky pojmu velké množství vody. Zároveň se vsáknutá voda musí dostat z půdy nějakým způsobem pryč. A to výparem nebo půdními vodami, které se dostávají do potoků a řek. Vsáknutá voda vezme s sebou téměř všechny látky z povrchu - z mechů, hub a rostlin. To by vysvětlovalo přítomnost dusíku a fosforu v Divokém potoce. U Hamerského potoka je příčina opačná. Splach různých pesticidů, herbicidů, hnojiv a léčiv.

Hodnoty, které vyšly u Hamerského potoka také vyšší, byly: CHSK-Cr, BSK, uhlík organický celkový, kyslík rozpuštěný.

Může se zdát, že výše uvedené výsledky mohou hrát pro Hamerský potok. Ale vzhledem k tomu, že Divoký potok je přítok Úhlavy, která je zásobárnou pitné vody, jsou zde pravidla přísnější. Voda hned sice nekončí u nás doma v kohoutku, ale probíhá u ní ještě složitá úprava, tedy úprava pitné vody.

Z osobního hlediska ale mohu tvrdit, že Hamerský potok, který je přítokem Mže, nemusí být ve finále tak špatný, jak se zdá. Samotná řeka Mže je velice krásná a poměrně čistá. Troufnu si říci, že na Plzeňsku je právě po Úhlavě jedna z nejčistších. Bohužel ale látky, které se do ní dostávají – z polí, pastvin a zemědělství jako jsou např.: různé herbicidy a léčiva pro zvířata, nemohu řadit mezi zdravotně nezávadné.

Podrobnějším zkoumáním uvedeného tématu bych se rád popřípadě zabýval ve své diplomové práci.

9 Seznam použité literatury a internetových odkazů

1. Aronsson, H., Stenberg, T. 2010. Leaching of nitrogen from a 3 -yr grain crop rotation on a clay soil. *Soil Use and Management*, 26, 274–28. doi: 10.1111/j.1475-2743.2010.00277.
2. Bereswill, R., Strelke, M., Schulzy, R., 2014. Risk Mitigation Measures for Diffuse Pesticide Entry Integrated Environmental Assessment and Management, 10 (2): 286–298
3. Brown, C.; van Beinum, W., 2009. Pesticide transport via sub-surface drains in Europe. *Environmental Pollution*, 157: 3314–3324.
4. Borovec, J., Jan, J., Hejzlar, J., Krása, J., Rosendorf, P., 2012. Eutrofizační potenciál erozních částic v nádržích. In: Kosour, D. (ed.), *Sborník konference Vodní nádrže 2012*, 26.–27.9.2012, Brno, Česká republika. Brno: Povodí Moravy, s.p., Brno: pps. 57–61.
5. Constantin, J., Beaudoin, N., Launay, M., Duval, J., Mary, B., 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: Test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147, 36–46.
6. Čížek V., 2002. Transport aniontů půdním profilem. In: *Pokusná zemědělsko-lesní povodí VÚMOP ve středočeském krystaliniku* (Ed. F. Doležal). *Sborník z workshopu Nové Hrady, VÚMOP Praha*: 83-95.
7. Doležal, F., Kvítek, T. 2004. The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in penplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A /B /C. Volume 29, Issues 11-12, 2004, Pages 775-785*
8. Doležal, F. a kol. 2006. Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. *J. Hydrol. Hydromech.*, 54, 2, 217–229
9. Doležal, F., Vacek, J., Zavadil, J. 2005. Problems of potato growing and irrigation in highland regions of Czechia with regard to water resources protection. In: *Integrated Land and Water Resources Management: Towards Sustainable Rural Development. 21st European Regional Conference ICID, Frankfurt (Oder) and Słubice, 15. – 19. 5. 2005. Proceedings on CD.*

10. Dresler, S., Bednarek, W., Tkaczyk, P. 2011. Nitrate nitrogen in the soils of Eastern Poland as influenced by type of crop, nitrogen fertilisation and various organic fertilisers 2011. *Journal of Central European Agriculture*, 12 (2), 367 – 379. DOI:10.5513/JCEA01/12.2.924.
11. Duffková, R., Zajíček, A. 2011. Hodnocení kvality podzemní vody po kejdování a mulčování trvalého travního porostu. *Vodní hospodářství*, 7, 34-37.
12. Duffková, R., Zajíček, A. 2011. Hodnocení kvality podzemní vody po kejdování a mulčování trvalého travního porostu. *Vodní hospodářství*, 7, 34-37.
13. Fiala, D., Fučík, P., Hruška, J., Rosendorf, P., Simon, O. 2013. Fosfor v centru pozornosti. *Vodní hospodářství* 8, s. 247 – 250.
14. [FOCUS] Forum for Coordination of Pesticide Fate Models and Their Use. 2007. Landscape and mitigation factors in aquatic risk assessment. Vol 1 . Extended summary and recommendations. Report of the FOCUS working group on landscape and mitigation factors in ecological risk assessment, EC Document Reference SANCO/10422/2005 v2.0 .
15. Fučík P., Kvítek T, Lexa M., Novák P, Bílková A., 2008. Assessing the Stream Water Quality Dynamics in Connection with Land Use in Agricultural Catchments of Different Scales. *Soil and Water Research* 3: 98–112.
16. Fučík, P., Bystřický, V., Doležal, F., Lechner, P., Kvítek, T, Váchal, J., Žlábek K, P. 2010. Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. *Metodika*. Praha 6, VÚMOP, v.v.i ., 2010, 90s., ISBN 978-80-87361-00-9 .
17. Fučík, P.; Kaplická, M.; Kvítek, T. and Peterková, J. 2012. Dynamics of Stream Water Quality during Snowmelt and Rainfall – Runoff Events in a Small Agricultural Catchment. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 40: 154–163. doi: 10.1002/clen.201100248.
18. Fučík P., Kvítek T., Hejduk T, Peterková J. 2012. Příspěvek k vyčíslení podílů zdrojů znečištění vod ze sledovaných profilů v malém odvodněném zemědělsko-lesním povodí. *Vodní hospodářství*, č. 8, roč. 62, s. 257–264, ISSN 1211-0760.
<http://dx.doi.org/10.5772/59298>
19. Fučík P., Zajíček A., Duffková R, Kvítek T. 2015. Water Quality of Agricultural Drainage Systems in the Czech Republic — Options for Its Improvement. In *Research and Practices in Water Quality Teang Shui Lee* (ed.): 239-262. InTech. Kapitola v knize. ISBN 978-953-51-2163-3 .

20. Gächter, R.; Steingruber, S. M.; Reinhardt, M; Wehrli, B ., 2010. Nutrient transfer from soil to surface waters: Differences between nitrate and phosphate. *Aquat Sci*, 66: 117 – 122.
21. Haberle J., Káš M., 2007. Význam strniskových meziplodin z hlediska ztrát dusíku. *Úroda* 10: 42–43.
22. Haberle, J., Káš, M. 2012. Simulation of nitrogen leaching and nitrate concentration in a long-term field experiment. *Journal of Central European Agriculture*, 13(3), p .416-425.
23. Holý M.:Eroze a životní prostředí, ČVUT,Praha,1994.ISBN 80-01-01078-3
24. Hrabánková, A. 2018. Zjišťování účinnosti akčního programu podle nitrátové směrnice 91/676/EHS v době klimatické změny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace (VTEI)*, 5 , s . 30-33.
25. Jan, J., Borovec, J., Kopáček, J., Hejzlar, J., 2013. What do results of common sequential fractionation and single-step extractions tell us about p binding with fe and al compounds in non-calcareous sediments? *Water Research*, 2013, 47 (2): 547–557.
26. Janeček, M. *Základy erodologie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1842-7. 165 s .
27. Kaspar, T.C., Jaynes, D.B., Parkin, T.B., Moorman, T.B, Singer, J.W 2012. Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. *Agricultural Water Management* 110, 25– 33
28. Kladivko, E. J.; Brown, L. C.; Baker, J. L , 2001. Pesticide Transport to Subsurface Tile Drains in Humid Regions of North America, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31:1 :1 -62, DOI: 10.1080/20016491089163.
29. Klír, J. 2003. Uplatnění nitrátové směrnice v podmínkách České republiky. *Vodní hospodářství*. 6 /2003; s. 170-172.
30. Klír, J., Kozlovská, L. 2012. Zemědělské hospodaření ve zranitelných oblastech. *Certifikovaná metodika*. VURV, 72 s . ISBN 978-80-7427-123-6 .
31. Klír, J., Kozlovská, L. 2012. Správná zemědělská praxe pro ochranu vod před znečištěním. *Certifikovaná metodika*. VURV, 28 s . ISBN 978-80-7427-124-3 .
32. Kodešová R., Kočárek M., Hajková T ., Hýbler M ., Drábek O . & Kodeš V. 2012. Chlorotoluron mobility in compost amended soil. *Soil and Tillage Research*, 118, 88-96. DOI: 10.1016/j .still.2011.10.014

33. Kohler, K, Duynisveld, W.H.M., Böttcher, J. 2006. Nitrogen fertilization and nitrate leaching into groundwater on arable sandy soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169 (2), 185–195. DOI: 10.1002/jpln.200521765.
34. Konečná, J., Karásek, P., Fučík, P., Podhrázská, J., Pochop, M., Ryšavý, S., Hanák, R. (2017): INTEGRATION OF SOIL AND WATER CONSERVATION MEASURES IN AN INTENSIVELY CULTIVATED WATERSHED – A CASE STUDY OF JIHLAVA RIVER BASIN (CZECH REPUBLIC). *Europ. Countrys.* · 1 · 2017 · p. 17-28. DOI: 10.1515/euco-2017-0002.
35. Kvítek T, Doležal F. 2003. Vodní a živinný režim povodí Kopaninského toku na Českomoravské vrchovině. *Acta Hydrologica Slovaca* 2 : 255–264.
36. Kvítek, T a kol. 2005. Uplatnění systému alternativního managementu ochrany půdy a vody v krajině. Certifikovaná metodika. VÚMOP Praha. 90 s. ISBN 80-239-5350-8.
37. Laník, Josef a Jan Halada. Kniha o půdě. 1.díl, 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1960. 259 s, Zemědělská výroba.
38. Laurent, F., Ruelland, D. 2011. Assessing impacts of alternative land use and agricultural practices on nitrate pollution at the catchment scale. *Journal of Hydrology* 409, 440–450.
39. Lefrancq, M.; Jadas-Hécart, A.; La Jeunesse, I.; Landry, D.; Payraudea, S., 2017. High frequency monitoring of pesticides in runoff water to improve understanding of their transport and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 587–588, 75–86.
40. Marín-Benito, J.M. et al. 2018. Application of green compost as amendment in an agricultural soil: Effect on the behaviour of triasulfuron and prosulfocarb under field conditions. *Journal of Environmental Management*, vol. 207, p. 180-191. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.11.024.
41. MKOL. Zpráva o činnosti Mezinárodní komise pro ochranu Labe (2017); <https://www.ikse-mkol.org/cz/>
42. Nangia, V., Gowda, P.H., Mulla, D.J. 2010. Effects of changes in N-fertilizer management on water quality trends at the watershed scale. *Agricultural Water Management* 97, 1855–1860.
43. Nangia, V., Mulla, D.J., Gowda, P.H. 2010. Precipitation Changes Impact Stream Discharge, Nitrate–Nitrogen Load More Than Agricultural Management Changes. *J. Environ. Qual.* 39:2063–2071.

44. Němeček, J Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2 . uprav. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2155-7 .
45. Novotny V . and Olem H . 1994. Water Quality: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold, New York, 1054 p .
46. Novotný, Ivan. Příručka ochrany proti vodní erozi: aktualizované znění - leden 2014. 2 . aktualizované vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014. ISBN 978-80-87361-33-7 . 73 s
47. Novotný, Ivan. Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy: aktualizované znění - březen 2017. 3 .aktualizované vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2017. ISBN 978-80-87361-67-2 . 86 s
48. Pekárek, Milan. Právní ochrana zemědělského půdního fondu v podmínkách současné etapy vědeckotechnické revoluce v ČSSR. Brno: Univerzita J .E . Purkyně, 139 s ., 1983.
49. Pionke, H .B ., Gburek, W .J ., Sharpley, A .N ., 2000. Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed located in the Chesapeake Basin. Ecol. Eng. 14, 325–335.
50. Rosendorf, P . a kol. 2017. Komplexní analýza emisí fosforu ze všech obcí v povodích Lomnice, Skalice, Loděnice a Želivky a jejich vliv na stav vodních útvarů. In sborník z konference Vodní nádrže 2017. ISBN 978-80-905368-5 - 2 .
51. Smatanová, M. a kol. 2018. Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2012–2017. 37 s + přílohy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, ISBN 978-80-7401-162-7 .
52. Stamm, Ch.; Jarvie, H .P .; Scott, T . 2014. What's More important for managing Phosphorus: Load, Concentrations or Both? Environ Sci Technol, 48: 23-24.
53. Straškraba, M . 1980. The effects of physical variables on freshwater production: analyses based on models. The functioning of freshwater ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 13-84.
54. Šarapatka, B . *Pedologie*. 1 . vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1996. 235 s . ISBN 80-70 67-590
55. Šimek, Miloslav. Základy nauky o půdě. 2 ., upr a rozš. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 2005. ISBN 80-7040-747-6

56. Šimek, Miloslav , Jana Macková. Degradace půdy a emise skleníkových plynů z půd a ze zemědělství – nutné zlo? Vyd. Středisko společných činností AV ČR, v .v .i ., 2015. Ediční číslo 11859, 50 s .
57. Štefan Švec a kol., Metodológia vied o výchove – Kvantitatívno- scientické a kvalitatívno-humanitné prístupy v edukačným výskume, Bratislava: IRIS, 1998, ISBN 80-88778-73-5
58. Švihla V . a kol. 1992. Výzkumný objekt Ovesná Lhota. Monografie. VÚMOP, Praha.
59. Vopravil, J . Půda a její hodnocení v R. Díl. I . Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010. ISBN 978-80-87361-05-4 .
60. Vopravil, J . Půda a její hodnocení v ČR. Díl II./ Jan Vopravil a kol. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2011. ISBN 978-80-87361-08-5 .
61. Vymazal, J . & Březinová T . 2015. The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. Environment International, 75, 11 – 20. DOI: 10.1016/j .envint.2014.10.026
62. Zajíček A ., Kvítek T . 2013. Vliv cíleného zatravnění infiltrační oblasti na koncentrace dusičnanů v drenážních vodách. SOVAK, 22(9): 14-17.
63. Zajíček, A ., Fučík, P ., Maxová, J ., Kaplická, M . 2017. Rezidua pesticidů v drenážních vodách – limity, koncentrace, principy vyplavování. Agromanuál 12(8): 58-61. ISSN 1801-7673.
64. Zavadil, J ., Doležal, F ., Vacek, J . 2004. Vyplavování dusičnanů z půdy při pěstování brambor. Soil and Water (Scientific Studies RISWC Praha), 3 , 163–178.

1. <https://cz.depositphotos.com/194745350/stock-video-aerial-landscape-view-snow-ice.html>
2. <https://slideplayer.cz/slide/2763660/>
3. http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=jak_vznika_a_kde_se_ztraci_puda&site=puda
4. <https://slideplayer.cz/slide/13318865/>
5. https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast
6. <https://www.fibl.org/en/media/media-archive/media-archive12/media-release12/article/organic-farming-enhances-soil-carbon.html>
7. http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=zakladni_fyzikalni_vlastnosti_pudy&site=puda
8. http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3976&typ=html
9. https://cs.wikipedia.org/wiki/Eroze_p%C5%AFdy
10. <https://www.vysokeskoly.cz/maturitniotazky/zemepis/hydrosfera-2>
11. <http://www.envic.cz/voda-zaklad-zivota.htm>
12. <https://www.mzp.cz/cz/voda>
13. <http://www.pvl.cz/profil-statniho-podniku>
14. [https://cs.wikipedia.org/wiki/Divok%C3%BD_potok_\(p%C5%99%C3%ADtok_%C3%9Ahlavy\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Divok%C3%BD_potok_(p%C5%99%C3%ADtok_%C3%9Ahlavy))
15. <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vodni-eroze-pudy/>
16. <https://www.vtei.cz/2017/12/klasifikace-kvality-povrchovych-vod/>
17. <http://eagri.cz/public/web/pvl/portal/zakladni-informace/>
18. <https://www.asio.cz/cz/123.legislativa-a-dezinfekce-odpadnich-vod>
19. <https://euroclean.cz/problemy-vody/koliformni/>
20. <http://dx.doi.org/10.5772/59298>