

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Vliv drenážních systémů na jakost povrchových vod**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický

Autor: Jiří Kamarýt

Brzotice, duben 2012

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Fakulta zemědělská  
Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří KAMARÝT  
Osobní číslo: Z09494  
Studijní program: B4106 Zemědělská specializace  
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí  
Název tématu: Vliv drenážních systémů na jakost povrchových vod  
Zadávací katedra: Katedra krajinného managementu

### Zásady pro vypracování:

Práce bude mít charakter literární rešerše týkající se vlivu drenážních systémů na jakost povrchových vod. Drenážní systémy byly vybudovány plošně na velkém území ČR a jejich existence ovlivňuje různými mechanismy jakost vod. Rešerše bude zpracována tak, aby sloužila jako podklad pro případné zpracování diplomové práce zabývající se touto problematikou.

Rámcový obsah literární rešerše:

- příčiny budování odvodnění v ČR
- vývoj budování odvodnění v ČR i ve světě
- mechanismy způsobující změnu jakosti vod po vybudování drenážního systému
- kvantifikace podílu drenážních systémů na koncentracích analytů v povrchových vodách

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

Seznam odborné literatury:

Fučík, P. (ed.) a kol. Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. VÚMOP, v.v.i., Praha, 2010, 90 s.  
Novotny, V., Chesters, G. Handbook of nonpoint pollution - sources and management. Litton educational publishing, 1981, 555 s.  
Kulhavý, Z., Doležal, F., Soukup, M. a kol. Zemědělské odvodnění v kulturní krajině. Sborník panelové diskuze a workshopu konaných v Praze dne 3.11.2005, VÚMOP Praha, 2005, 102 s.\96  
časopisy: Science of the total environment, Physics and chemistry of the earth, Journal of environmental management, Journal of environmental quality, Soil and water research, atd.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický  
Katedra krajinného managementu


Datum zadání bakalářské práce: 14. března 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2012

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
speciální oddělení  
Studentů 13  
370 01 České Budějovice

  
prof. Ing. Miroslav Šoch, CSc.  
děkan

L.S.

  
prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 14. března 2011

## **Prohlášení autora BP**

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

Datum 7. Dubna 2012

Podpis studenta

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěl poděkovat svým blízkým, především rodičům, za podporu a vytvoření vhodných podmínek k práci.

Velice rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému za podporu při tvorbě této práce. Děkuji za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na jakost povrchových vod. Práce je psaná formou rámcové literární rešerše a zasahuje do oborů klimatologie, geologie, topografie a především hydrologie a hydrochemie. Obsahem literární rešerše je seznámení s příčinami budování odvodnění v ČR a vývojem odvodnění. Dále jsou zde popsány mechanismy způsobující změnu jakosti vod po vybudování drenážního systému a kvantifikace podílu drenážních systémů na koncentracích analytů v povrchových vodách. Voda je důležitou složkou v přírodě a je třeba dbát na její vysokou jakost. Půdní mechanismy, způsobující znečištění povrchových vod, byly značně ovlivněny vybudováním drenážního systému na velkém území v ČR od 50. let dvacátého století. Systémy byly budovány kvůli intenzivnímu zemědělství, ale již nebyla domyšlena následná udržitelnost krajiny, především vody a půdy. Následky necitlivého zásahu do krajiny jsou znatelné i v dnešní době.

Vypracovaná bakalářská práce by měla sloužit jako podklad pro navazující diplomovou práci, která by měla tuto práci rozšířit o vlastní měření a následné porovnání.

**Klíčová slova:** drenážní systémy, drenážní odtok, jakost vod, povrchové vody, koncentrace analytů

## **Abstract**

My bachelor thesis is focused on quality of surface water. My thesis is written by the form of framework literature search. And it interferes with the fields of climatology, geology, topography and especially hydrology and water chemistry. The content of the literature search is getting acquainted with the reasons of building of underdrainage and its particular development in the Czech Republic. Furthermore there are contrivances described which cause the change of quality of water after building drainage system and quantification of holding of drainage systems in concentration of analytes of surface water. Water is important environmental component in nature and it is necessary to pay attention to its high quality. The soil contrivances, causing pollution of surface water, were considerably affected by building of drainage system in a large area of the Czech Republic in 1950's. Those drainage systems were built due to intensive agriculture. But there were no thoughts

about following conservation of countryside, particularly water and soil. There still have been consequences of insensitive interference with countryside even these days.

My bachelor thesis can be used as a base for my thesis which is supposed to enrich it with my own measurement and further comparison.

Key words: drainage systems, drainage discharge, quality of water, surface water, concentration of analytes.

## **OBSAH:**

1	ÚVOD .....	9
2	DRENÁŽNÍ SYSTÉMY (ODVODNĚNÍ) .....	11
2.1	Způsoby odvodnění .....	11
2.1.1	Ojedinelá (sporadická) drenáž a plošná systematická drenáž .....	12
2.2	Příčiny budování odvodnění .....	13
2.2.1	Zamokřené půdy a její znaky .....	14
2.3	Vývoj budování odvodnění .....	16
2.3.1	Historické stavby a budování odvodnění ve Světě .....	16
2.3.2	Historické stavby a budování odvodnění v Evropě .....	17
2.3.3	Vývoj budování odvodnění v ČR .....	18
3	DRENÁŽNÍ ODTOK .....	21
4	POVRCHOVÉ VODY .....	23
4.1	Jakost povrchových vod .....	23
5	LÁTKY ZPŮSOBUJÍCÍ ZMĚBU JAKOSTI VOD A EUTROFIZACE .....	25
5.1	Fosfor a fosforečnany .....	26
5.2	Dusík a dusičnany a jejich výskyt ve vodách .....	27
5.2.1	Nitrátová směrnice .....	28
6	MECHANISMY ZPŮSOBUJÍCÍ ZMĚNU JAKOSTI VOD PO VYBUDOVÁNÍ DRENÁŽNÍHO SYSTÉMU .....	31
6.1	Mechanismus č. 1 .....	31
6.2	Mechanismus č. 2 .....	32
6.3	Mechanismus č. 3 .....	32
7	PODÍL DRENÁŽNÍCH SYSTÉMŮ NA KONCENTRACÍCH ANALYTŮ V POVRCHOVÝCH VODÁCH .....	34
7.1	Koncentrace a vyplavování dusičnanů .....	34
7.2	Koncentrace a vyplavování fosforečnanů .....	36



7.3	Kvalita drenážních vod.....	38
8	ZÁVĚR .....	40
9	LITERATURA.....	42

# 1 ÚVOD

Lidská populace se rozvíjí od samého počátku. Aby, mohla přežít, potřebuje k životu tři základní složky, které jsou půda, voda a potrava. Tyto složky na sebe navzájem navazují a ovlivňují se. Půda je základním vstupem pro rozvoj zemědělství. Samozřejmě, některé půdy jsou k zemědělským účelům velice výhodné, některé méně a některé vůbec. Půdy méně výhodné pro zemědělství např. zamokřené jdou však ovlivnit technickými zásahy v podobě drenážních systémů (odvodnění). Stále narůstající populace vyžaduje vyšší nároky a obdělávání těchto pozemků. Odvodnění zvyšuje úrodnost těchto pozemků a pozitivně zvyšuje zemědělskou úrodnost. Má však i negativní vlivy, jelikož odvodněná půda zcela mění půdní strukturu a požadavky na koncentraci látek potřebných k pěstování rostlin. V minulosti se však nekoukalo na dopady a důsledky těchto zásahů, ale zakládalo se na pozitivních přínosech těchto zásahů.

Události po roce 1989 ovlivnily nejenom celou naši republiku, ale i vodní hospodářství a to ve velké míře.

Voda již zdaleka není považována jen za surovinu, ale je chápána jako základní součást životního prostředí, na kterou je nutno pohlížet v souvislosti s jejími ostatními složkami, a kterou je nutno zachovat pro příští generace v co největším množství a nejlepší kvalitě (KVÍTEK, 2005). Tento pohled zdůraznil, jak důležitá je pro lidstvo kvalita všech vod. Bylo vypracováno mnoho směrnic, které měly zvýšit požadavky na limity a množství škodlivých a nežádoucích látek ve vodě.

Vybudování drenážních systémů ovlivňuje do velké míry strukturu půdního profilu a celkový ráz. V půdě se vytváří několik nových spouštěcích mechanismů, které mají zvýšený vliv na vyplavování analytů. Proto je potřeba tomuto problému věnovat zvýšenou pozornost. Stále více je kladen důraz na jakost povrchových vod a na činitele, kteří narušují její rovnováhu. Jedním z těchto činitelů je i budování drenážních systémů a jejich ovlivnění s vyplavováním škodlivých látek drenážní vodou, která přímo ovlivňuje jakost povrchových vod. Je tedy nutný monitoring složení drenážních vod.

Práce má vytvořit ucelený koncept o příčinách a vývoji budování drenážních systémů. Dále má nastínit, jak se s těmito zásahy mění půdní profil, jak půdní profil

mění svou strukturu a jaké procesy vedou k tomu, že se půda stává zdrojem znečištění. Dalším bodem je vymezení samotného zastoupení koncentrace analytů v drenážních vodách a jejich vliv na jakost povrchových vod. Tato bakalářská práce má posloužit jako rámcová rešerše k případné budoucí diplomové práci, tak aby následný vlastní výzkum byl přínosem a na základě výsledků mohla nastat diskuze a porovnání.

## 2 DRENÁŽNÍ SYSTÉMY (ODVODNĚNÍ)

Velmi výrazným prvkem vyskytujícím se v zemědělsky využívané krajině České republiky je přítomnost drenážních systémů. Plochy v České republice odvodněné drenáží, uváděné Zemědělskou vodohospodářskou správou k 1.1.1995, jsou 1 064 999 ha (KULHAVÝ A KOL., 2007). Drenážní systémy jsou nezbytným a velice důležitým technickým prvkem zemědělských meliorací. BENETIN (1987) vysvětluje, že meliorační zásahy v podmínkách nadměrného zásobení vodou tj. odvodnění půdy jsou významným regulačním, stabilizačním a intenzifikačním prvkem zemědělské soustavy. Je to soubor opatření ke sbírání a odvádění vody ze zamokřených a zaplavených území a k jejich ochraně před záplavami.

Skutečností je, že drenážní systémy nadále více či méně plní odvodňovací funkci, což se projevuje při transformaci odtoku srážek z pozemku ve formě soustředěného drenážního odtoku (ŠTIBINGER A KULHAVÝ, 2010). Jsou to opatření, která především slouží k odvedení přebytečné povrchové a podpovrchové vody ze zájmové lokality za účelem zvýšit úrodnost půd a zpřístupnit lokalitu pro zemědělskou činnost.

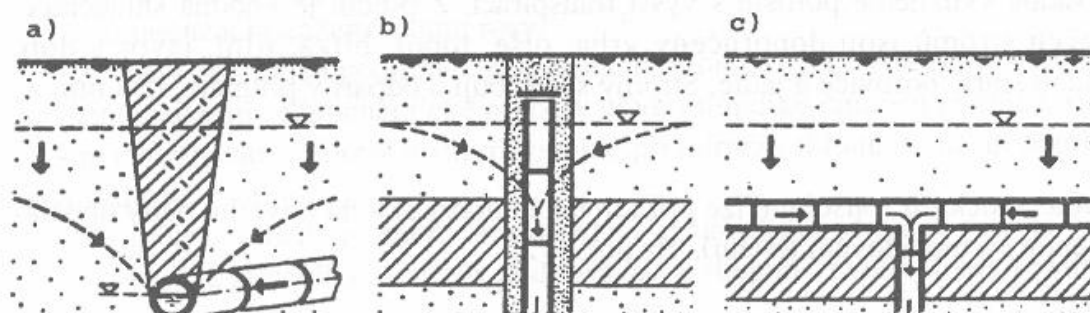
Odvodnění vyvolává v zamokřené půdě různé jevy a účinky, které jsou povahy fyzikální, biochemické a biologické. Hlavním fyzikálním účinkem je odstranění přebytku vody. Toho se dosáhne tím, že se odvodňovacím zařízením (kanály, příkopy, drény) umožní odtok povrchové i volné (gravitační) půdní vody a hladina podzemní vody se sníží a ustálí v požadované hloubce. Přitom povrchová voda přitéká k odvodňovacímu zařízení vlivem spádu území, kdežto v půdě prosakuje voda působením přetlaku (JŮVA, 1964).

### 2.1 Způsoby odvodnění

JŮVA (1964) uvádí, že o způsobu odvodnění rozhodují tyto faktory: příčiny, způsob a stupeň zamokření, reliéf území, povaha půdy a její využití po odvodňovacím zásahu a účel odvodnění. Rozeznávají se dvě skupiny odvodňovacích způsobů:

- Zemědělskolesnické (biologické), při nichž se odvodňují méně zamokřené nebo k zamokření jenom náchylné půdy úpravou struktury půdy nebo výsadbou porostů.
- Vodohospodářské (hydromeliorační, technické), při nichž se používá k odvodnění výrazněji zamokřených půd různých technických úprav a staveb, jako jsou úpravy toků, odvodňovací kanály, příkopy, drenáže a různé zvláštní stavby.

KVÍTEK A KOL. (2006) rozlišuje povrchové a podzemní odvodnění. Drenáž řadí do podzemního technického odvodnění a do tzv. odvodňovacích zařízení podrobných (odvodňovací detail), která spolu s hlavními odvodňovacími zařízeními (odvodňovací kostra) tvoří odvodňovací soustavu (drenážní systémy). K odvodňování snad všech ploch, jak užitkových, tak zemědělských je zpravidla využíváno podzemního odvodnění, neboli drenáže. Na obrázku níže jsou uvedeny způsoby založení drénů. Nejčastěji využívaná je vodorovná drenáž (horizontální)..



Obr. 1: Způsoby založení drénů: a) drenáž vodorovná, b) drenáž svislá, c) drenáž kombinovaná.

Zdroj: (KVÍTEK A KOL., 2006).

### 2.1.1 Ojedinelá (sporadická) drenáž a plošná systematická drenáž

JŮVA K. (1964) uvádí, že ojedinelá drenáž se využívá v lokalitách, jde – li o místní zamokření k odvádění nadbytku vody z menších ploch. Nejedná se o pravidelnou soustavu. Drény jsou pokládány podle potřeb v lokalitě. Plošnou systematickou drenáž charakterizuje jako, soustavu sběrných drénů, které se sbíhají

do společného svodného drénu a vytváří drenážní souřad. Několik souřad vytváří drenážní skupinu a více jak dvě skupiny tvoří drenážní soustavu, která je zakončena drenážní výustí. Tyto soustavy lze kombinovat s dalšími technickými odvodňovacími prvky (záchytnými drény, záchytnými příkopy), nemusí se tedy jednat pouze o trubkovou drenáž. Plošná systematická drenáž se využívá na velkých půdních blocích.

Na polích tuto drenáž můžeme rozpoznat pomocí drenážních šachtic, které jsou jasně viditelné.

## 2.2 Příčiny budování odvodnění

Odvodňování půdy je nepochybně součástí naší republiky a zároveň nejčastěji používané meliorační opatření. Také se řadí mezi nejstarší, nejspolehlivější a zároveň k velice propracovaným opatřením zúrodnování půdy. V našich klimatických podmínkách se střídají suchá léta s vlhkými, kdy v období srážkového sucha je postihováno cca 20 % zemědělské půdy, proti tomu v období vysokých srážek cca 25 % zemědělské půdy trpí nadměrným množstvím vody. Aby byla dodržena vysoká úrodnost půd, je nezbytné upravovat půdu závlahou, nebo odvodněním.

Vláhové poměry půdy zásadním způsobem ovlivňují úrodnost půdy a výnosy všech pěstovaných plodin. Významným regulačním, stabilizačním a intenzifikačním prvkem zemědělské soustavy jsou meliorační zásahy. V podmínkách nadměrného zásobení půdy vodou hovoříme o odvodnění půdy. Jedná se o soubor opatření ke sbírání a odvádění vody ze zamokřeného půdního profilu a z povrchu zaplavovaných půd. Odvodňování prováděné v rozumné míře zlepšuje provzdušenost půd a kladně působí na jejich fyzikální a chemické a biologické vlastnosti (KVÍTEK A KOL., 2006). Půdy, které mají neupravený vodní režim následkem zamokření nebo zaplavování, je nutno odvodnit, neboť jsou nevhodným stanovištěm pro rostlinnou výrobu, činí potíže při zakládání různých staveb, jsou náchylné k sesuvům apod. V zemědělství se odvodněním zajišťují a zvyšují výnosy plodin (JŮVA, 1964). Karel Jůva byl velkým odborníkem v oblasti vodohospodářských meliorací a zároveň velkým zastáncem budování odvodnění v ČSSR.

Systémy odvodnění zemědělské půdy postrádají, až na výjimky složku retardace odtoku, neboť byly navrhovány především pro zajištění odvodu přebytečné

vody z půdního profilu. Funkce odvodnění je u těchto systémů nejdůležitější a je třeba ji zachovat, pokud odpovídá požadavkům zemědělské výroby, respektive požadavkům hlavních zemědělských plodin (EICHLER A KOL., 2000). Při výstavbě odvodnění a závlah v druhé polovině minulého století byly stavby navrhovány s ohledem na tehdejší koncepci zemědělské velkovýroby, která odrážela z dnešního hlediska nesmyslné požadavky na soběstačnost výroby potravin. Rozsah realizace těchto staveb tak respektoval politickou linii; provedení rozsáhlých odvodňovacích děl i do horských a podhorských oblastí se složitějšími morfologickými, klimatickými, půdními a hydrogeologickými podmínkami však spolu s následnou intenzivní zemědělskou činností vyústilo ve výraznou destabilizaci agrosystémů; došlo ke snížení jejich strukturální heterogenity, biodiverzity a přirozeného krajinného potenciálu. Tento fakt, umocněný poškozením nebo úplným funkčním vyřazením drenáže (změny půdních hospodářských či klimatických podmínek, eroze, zanedbaná nebo neodborná údržba a manipulace bez příslušné technické dokumentace, atd.), má za následek kvantitativní – pozitivní i negativní – změny ve vodním režimu celých povodí (FUČÍK A KOL., 2010).

Odvodnění ovlivňuje režim mělkého podpovrchového, povrchového i podzemního odtoku, vodní bilanci saturované a nesaturované zóny a následně všechny další složky životního prostředí. Plošně velmi významné je ovlivnění vodního režimu zemědělsky využívaných pozemků. Úpravy a optimalizace vodního režimu zejména v po-povodňových obdobích, vytváření dostatečných retenčních kapacit v povrchových vrstvách krajiny a tím zvyšování jejich infiltračních schopností, zmírňování nežádoucích důsledků povodní a záplav, to vše patří k základním funkcím a hlavním cílům podzemních odvodňovacích systémů v krajině (ŠTIBINGER A KULHAVÝ, 2010).

### 2.2.1 Zamokřené půdy a její znaky

Příčiny zamokření a jejich znalost jsou základním podkladem pro návrh odvodnění půdy a její využití po odvodnění. Správné určení příčin zamokření je předpokladem pro určení nejvhodnějšího odvodňovacího zásahu a často vede ke značným ekonomickým úsporám. Je rozhodující pro návrh technických parametrů odvodňovacích zařízení (způsob a druh odvodnění, rozchody, hloubky uložení drénů

apod.) (SANETRŇÍK A FILIP, 1991). Zamokření pŮdy kvantitativně i kvalitativně poškozujee pěstované rostliny, kdy příčinnou je přetrvávající nadbytek vody v pŮdě i na jejím povrchu. PŮda je plně nasycena nebo zaplavena vodou a tudíž se stává nevhodným stanovištěm pro pěstování rostlin. LUTHIN (1966) uvádí, že zamokřeni pŮd je způsobeno vysokým stavem hladiny podzemní vody. Po zkušenostech z Holandska dále tvrdí, že kolísání hladiny podzemní vody v aktivní vrstvě způsobuje odumírání a hnití kořenů.

Výskyt, způsob i stupeň zamokřeni se posuzuje na podkladě hydrologického průzkumu, při němž se zjistí složení a vlhkostní stav pŮdy, poměry podzemní vody, příčiny zamokřeni, možnosti jeho odstranění aj. Avšak již také podle různých vnějších znaků na pŮdě či na porostu můžeme usuzovat, zda pŮda trpí zamokřením a v jaké míře. Nadměrné množství vody v pŮdě způsobuje nepříznivý poměr mezi obsahem vody v pŮdě a pŮdního vzduchu. V pŮdě je tedy nedostatek kyslíku. Nedostatek kyslíku má za příčinu převahu anaerobních procesů. Dochází tak k hromadění toxických produktů anaerobního rozkladu organické hmoty (organická hmota je redukčním činidlem). Zároveň dochází k hromadění nerozložené organické hmoty – dochází k ulmifikaci (rašelinění). Nadměrné množství vody v pŮdě způsobuje denitrifikaci (likvidaci dusičnanů a vznik skleníkových plynů). Zamokřeni umožňuje výskyt škůdců a cizopasníků (motolice, měchovci), a výskyt zhoubných nemocí (malárie, tyfus). PŮda je zpravidla neúnosná pro běžnou zemědělskou techniku. V aridních a semiaridních oblastech dochází k zasolování pŮd (KVÍTEK A KOL., 2006). Podle SANETRŇÍKA A FILIPA (1991) jsou znaky zamokřeni na porostech pozorovatelné podle vnějších znaků, čímž je především myšleno nezdravé zbarvení porostu, které ze sytě zelené přechází v tón zelenožlutý až běložlutý. Při převládajícím zamokřeni začínají typické vlhkomilné až mokřadní porosty vytlačovat stávající porost. Typickými indikátory zamokřených pŮd je výskyt pýru, pryskyřníku prudkého, vstavače, pcháče zelinného atd. Ze stromů se vyskytují zejména vrby, olše, jívy, břízy. Zamokřenost na pŮdě můžeme posuzovat tmavší barvou zamokřeného povrchu zejména zjara, déle ležící sníh nad zamokřenými místy, obtížné zpracování pŮdy, nápadné zbarvení pŮdního profilu, výrazně zhutnělý podorniční horizont.

Zamokřeni způsobuje převahu redukčních procesů v pŮdě. Ty jsou patrné z charakteristického modrozeleného zbarvení, které je způsobené obsahem dvojmocného železa. Silně zamokřené pŮdy může prozradit i bahnitý zápach. Dalším



znakem zamokření je obtížnější zpracování půdy. Zamokřená půda, zejména jílovitohlinitá a jílovitá, ztěžuje rozpojování svou lepkavostí a sléváním. Při orbě tak dochází k tvorbě hrud a lavic. Při silném zamokření nastávají již zjevné poruchy ve vodním režimu půdy. Ve vykopané sondě se ustaluje podzemní voda v malé hloubce pod povrchem nebo sahá až k povrchu (KVÍTEK A KOL., 2006).

## 2.3 Vývoj budování odvodnění

Odvodňovací práce jsou starým odvětvím inženýrské činnosti, které lidstvu zajišťovala možnost využívat bažinaté a zamokřené plochy (BENETIN A KOL., 1987). Rozvoj zemědělského odvodnění byl vždy spojen s potřebami zemědělství. Odvodnění slouží jako prostředek, který umožňuje dosažení určitých cílů. Už dříve se vědělo, že bez těchto zásahů nebude fungovat intenzivní zemědělská výroba a naopak.

### 2.3.1 Historické stavby a budování odvodnění ve Světě

Počátky meliorací jsou spojeny s nejstaršími lidskými kulturami. Nejstarší soustavné meliorační znalosti byly získány patrně v Egyptě, kde již v 5. tisíciletí před n.l. byly stavěny hráze a zavlažována půda v údolí Nilu. Odvodňovací stavby byly stavěny podle potřeb stavu vody v řece. Uměle byly také zavlažovány oblasti dnešní Arábie, Sýrie, Palestiny. Staří Číňané znali vodní kolo pro umělý zdvih závlahové vody, odvodňovali zamokřené půdy a chránili svahová pole terasováním před vodní erozí (SANETRŇÍK A FILIP, 1991). Nálezy nejstarších detailních odvodňovacích prvků pocházejí z Mezopotámie, z doby 2000 let před naším letopočtem. Budovaly se i kanálové stavby, zvláště za krále Chamurapiho v roce 2000 př.n.l., který dal zpracovat první vodní zákon. V 6 st. př.n.l. byly budovány hrázové stavby a kanál Pallakopas, dlouhý až 600 km, který kromě odvodňovací funkce sloužil i pro plavbu a závlahy. Úplně samostatně se vyvíjela kultura amerických Indiánů. Ve stavbě odvodňovacích zařízení vynikli především Mayové, kteří ve 3. až 10. století n.l. vybudovali rozsáhlé soustavy odvodňovacích kanálů na ploše téměř 80000 km<sup>2</sup>. Ještě nyní jsou 0,5 m hluboké a 3 m široké. Tyto systémy byly objeveny až speciální fotografickou technikou z družic (BENETIN A KOL., 1987).

### 2.3.2 Historické stavby a budování odvodnění v Evropě

V Evropě převzali znalosti z Fénicie, Sýrie a Egypta Řekové a Etruskové. Velké kultivační práce, hlavně odvodňovací, prováděli na území střední Itálie Etruskové. V Etrusii byly „fakulty“ vodního stavitelství a práce, které staří Etruskové provedli, umožnily proměnit střední Itálii v oblast z vysoce rozvinutým zemědělstvím. Ostatně známá Cloaca maxima ve starém Římě, odvodňující bažinaté území mezi římskými pahorky, která je dílem Etrusků, funguje dodnes. Také odvodnění Albského jezera i jezera Burano bylo dílem etruských vodních stavitelů. Geniální je i odvodňovací soustava na jezeře Nemi u Říma. Etruskové vysušili a zúrodnili i další rozsáhlá území, původně pokrytá bažinami a močály, v dnešní Kampánii. Postupně se i Římané naučili odvodňovat zamokřené půdy, jak to dokazují stavby v údolí řeky Sávy u Bělehradu v Jugoslávii. (BENETIN A KOL., 1987). Na území Holandska byly stavěny hráze proti mořskému přílivu již ve 13. století př. n. l. a po příchodu Římanů se v jejich stavbě pokračovalo, a to prakticky dodnes. Plinius v 1. Století n. l. popisuje odvodňování půdy v holandské provincii Friesland. Ze stejného období jsou zprávy o stavbě kanálu mezi Rýnem a Isselou v Holandsku, kanálu mezi řekami Ness a Vitham v Británii a o odvodňovacích stavbách ve Španělsku v provincii Valencie (JŮVA, 1957). Středověk k rozvoji odvodňovacích prací podstatněji nepřispěl. Těžiště prací bylo v Holandsku, kde se rozvinuli stavby ochranných uzavřených hrází – poldrů s dokonalým kanálovým odvodněním a počínaje rokem 1408 i složitými soustavami přečerpávání vody větrnými mlýny, protože půdy v poldrech ležely pod úrovní mořské hladiny. Zúrodnění bažin a rašelinišť v Británii se provádělo již v 8. Století a od roku 1220 na podkladě vydaných právních předpisů. (BENETIN A KOL., 1987). Dnes nejčastější způsob odvodnění zemědělských pozemků – trubková drenáž – se u nás poprvé začal používat až na konci čtyřicátých let 19. století. Pro rozšíření tohoto novodobého způsobu odvodnění mělo však rozhodující význam až vynalezení stroje na výrobu drenážních trubek. Uskutečnil jej v roce 1843 J. R. Reed v Anglii, kde se ovšem ručně vyráběné drenážní trubky z pálené hlíny začaly pro odvodňovací účely používat již r. 1810 (VAŠKŮ, 2010).

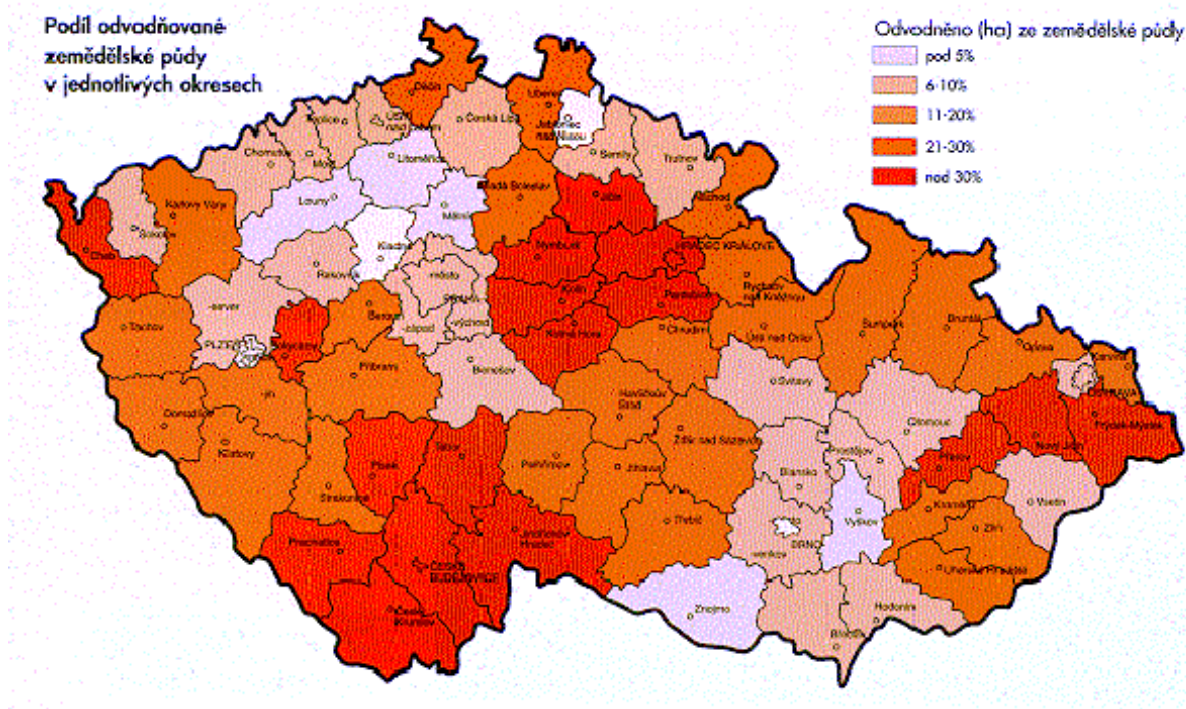
### 2.3.3 Vývoj budování odvodnění v ČR

Také na území Čech byly uskutečněny významné odvodňovací práce v souvislosti s Majestátem stavům a městům, ve kterém Karel IV. ukládal svádět v močálech vodu do nejnižších míst a v nich zakládat rybníky. Byl to začátek rozsáhlých prací zvláště v jižních Čechách, ale i v ostatních oblastech, které znamenaly kultivaci dříve nevyužívaných ploch močálů. Péče Karla IV. o vysoušení močálů a bažin ve 14. Století navazovala na staré zkušenosti s těmito pracemi u nás, zaznamenané už v 10. Století. Močály, popřípadě rašeliniště, byly protkány kanály navazujícími na trasy přírodních odtoků v terénních průlezech, které sváděly vodu do nejnižšího místa území, kde byl založen rybník přehrazením úpadů ve vhodných terénních podmínkách. Příkladem tohoto využití močálovité půdy a ochrany níže ležících pozemků před povodněmi odvodňovacími postupy je soustava jihočeských rybníků, vybudovaná v letech 1505 až 1604 v povodí řek Lužnice a Nežárky na Rožmberském panství Štěpánkem Netolickým a Jakubem Krčínem z Jelčan. Rybníky jsou propojeny umělým kanálem – Zlatou stokou, dlouhou 42,6 km, s průtočnou kapacitou do 2,5 m<sup>3</sup>, která kromě napájecí funkce má i funkci hlavního odvodňovacího recipientu rozsáhlého zájmového území. Ochranný a odvodňovací účinek této rybníční soustavy byl později doplněn umělým kanálem Nová řeka, dlouhým 13,5 km, s kapacitou až 50 m<sup>3</sup>, který převádí vody z Lužnice do Nežárky. Začíná se rozvíjet i soustavné odvodňování zamokřených pozemků půd. První takové práce se prováděly v Polabí na Roudnicku a v okolí Třeboně (BENETIN A KOL., 1987).

Nejstarší trubkové drény (trativody) byly vybudovány na Schwarzenberském panství v Třeboni v roce 1850. To když lisovací stroj na výrobu drenážních trubek v Třeboni postavil schwarzenberský konstruktér Jan Spiess (VAŠKŮ, 2010). Práce prováděli hannoverští mistři, hlavně Klapproth a Gliman, později s větším úspěchem inženýr Kreuter. Těmto trubkovým drénům předcházely drény z kamenné rovnaniny, šterku, cihel, hatí a tyčí. Tyto primitivní trativody byly nazývány na Lounsku a Kolínsku klusy, na Rokycansku, Semilsku, Trutnovsku hejcuchy, na Sedlčansku nostrštreje, na Strakonicku štěky apod. Právní podklad pro odvodňovací práce byl postupně vytvořen vodními zákony tehdejšího Rakouska – Uherska, jehož součástí byly české země i Slovensko. V českých zemích to byl říšský vodní zákon z roku 1869 a na něj navazující zemský zákon z roku 1870.

Říšský meliorační zákon z roku 1884 řešil poskytování státních a zemských podpor na regulační a meliorační práce vodním družstvům, obcím a okresům. Na Slovensku platil vodní zákon z roku 1885. Všechny tyto zákony převzal československý stát v roce 1918 a jejich podstatné části platily až do roku 1955, kdy byl vydán nový československý zákon o vodním hospodářství, nahrazený v roce 1979 současně platným Zákonem o vodách (BENETIN A KOL., 1987). V letech 1949 – 1953 byl zpracován Státní vodohospodářský plán, který jako první na světě obsahoval zpracovaný návrh na obhospodařování a využití všech zdrojů vody pro společenskou potřebu, vytyčoval potřeby odvodnění, úprav toků, závlah, budování nádrží aj. V našem státě bylo odvodněno 1 501 000 ha zemědělských půd (SANETRŇÍK A FILIP, 1991). Je nutno zdůraznit, že cejch velmi špatné pověsti získalo odvodnění zemědělských pozemků až jako nástroj státního mocensko-politického aparátu při násilné kolektivizaci zemědělství. Tomuto funkčně silně účinnému zázračnému zúrodňovacímu opatření, kterým byl kdysi oprávněně doslova nadšen kníže Jan Adolf II. ze Schwarzenbergu, se za vinu kladou téměř veškeré negativní jevy, za které ve skutečnosti mohla nastoupená cesta direktivně řízené násilné koncentrace zemědělské půdy. Tak např. od roku 1948 do konce osmdesátých let bylo v ČR rozoráno 270 000 ha luk a pastvin, 145 000 ha mezí (což odpovídá jejich úctyhodné délce nejméně 800 000 km), 120 000 km polních cest, 35 000 ha hájků, lesíku a remízků ve volné krajině a došlo k odstranění 30 000 km liniové zeleně (VAŠKŮ, 2010).

Stavby odvodnění byly budovány v několika postupných etapách, nejintenzivněji v letech 1935 - 1940 a 1965 – 1985. Pro návrh těchto opatření byly postupně aktualizovány a upřednostňovány metodické a normativní podklady. Z těchto podkladů je třeba vycházet při současném hodnocení funkce odvodnění a v případech, kdy změnou využití pozemků dochází ke změnám potřeby odvodnění (ŠTIBINGER A KULHAVÝ, 2010). Do konce roku 1995 je v ČR funkčních odvodňovacích systémů 1 081 534 ha, tj. na 25,3% celkové výměry zemědělské půdy. V porovnání s jinými státy Evropy odpovídá provedený rozsah odvodnění přírodním podmínkám České republiky, zejména podmínkám klimatickým, půdním a morfologickým. Pro výzkum odvodnění zemědělských půd bylo v minulosti sledováno mnoho pokusných lokalit v různých částech Česka i Slovenska (DOLEŽAL, 2002).



Obr. 2: Podíl odvodňované zemědělské půdy na zemědělské půdě v jednotlivých okresech ČR.

Zdroj: (VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, 1997).

### 3 DRENÁŽNÍ ODTOK

Po vybudování podpovrchové drenáže se začne povrchový a mělký podpovrchový odtok stahovat do podzemí a značným způsobem se podílí a vytváří drenážní odtok, který zároveň ovlivňuje odtok podzemních vod.

Voda vytékající ze systémů podpovrchového odvodnění zemědělských půd, je specifickou hydrologickou charakteristikou povodí mnoha drobných vodních toků. Jeho vhodnou interpretací lze kvantifikovat krajinně-vodohospodářský potenciál existujících nebo zamyšlených odvodňovacích staveb i skutečné nebo hrozící důsledky zanedbání péče o tato hydromeliorační zařízení, v českých zemích velmi rozšířená. Nabízí se celá řada metod podpisu a analýzy drenážního odtoku, k nimž patří i separace různých odtokových složek uvnitř drenážního odtoku samotného (DOLEŽAL A KOL., 2001). Drenážní odtok se tedy vyskytuje u zemědělsky využívaných půd v povodí a tvoří specifickou složku hydrologické bilance. Aby drenážní odtok pozitivně přispíval efektivnímu hospodaření a zlepšení jakosti vod, je potřeba tuto složku odtoku regulovat a retardovat stavebními opatřeními již při výstavbě odvodňovacích systémů, nebo při jejich rekonstrukci.

Drenážní odtok je typickým hydrologickým procesem odtoku. Kulminační vlna odtoku obvykle odezní během krátké doby, zatímco po většinu času je intenzita odtoku velmi nízká nebo nulová. Dalšími zvláštnostmi drenážního odtoku jsou jeho prostorová variabilita a nekonzervativnost režimu proudění v drénech (KULHAVÝ A KOL., 2007). Drenážní odtok disponuje mnoha vlastnostmi. Zvyšuje a urychluje podpovrchový odtok. Dále zvyšuje infiltraci vody do půdy a snižuje tím odtok povrchový, který se přeměňuje na podpovrchový odtok.

Drenážní odtok je zvláštním případem mělkého podpovrchového odtoku. Pokud je podíl odvodnění vysoký (dosahuje běžně téměř 40%), znamená to za určitých odtokových podmínek také zvýšení podílu složky drenážního odtoku na odtoku celkovém. Obecně platí, že podíl drenážních vod je nízký u významné srážky – odtokové epizody (tj. odvodnění nezhoršuje výrazně povodňové stavy), ale je vyšší v období sušším a někdy může v delším období beze srážek odtékat z povodní drobného vodního toku po určitý čas pouze voda drenážní (KULHAVÝ A KOL., 2007). KULHAVÝ A KOL. (2001) zjistil, že na několika malých zemědělsko – lesních povodí v oblasti krystalinika České republiky vyplynulo, že přímý odtok činil

v průměru ze všech sledovaných povodí cca 30%, hypodermický 40% a základní cca 30 % z celkového odtoku.

Na drenážním odtoku se tedy vedle hypodermického odtoku podílí i odtok základní a přímý. Podle DOLEŽALA A KOL. (2003) právě výrazný podíl hypodermického a základního odtoku zapříčiňuje a nejvíce přispívá k znečišťování povrchových vod, jelikož velká část celkového odtoku je tvořena z ustálených cest a z drenážních systémů.

## 4 POVRCHOVÉ VODY

Voda přirozeně se vyskytující na zemském povrchu; tento charakter neztrácí, protéká - li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních (ČSN 75 0101). Povrchové vody jsou všechny vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu. Dělí se na vody kontinentální a vodu mořskou. Kontinentální povrchové vody jsou jednak tekoucí (vodní toky), jednak stojaté (jezera, nádrže, rybníky). Podle užití tekoucích vod se rozlišují toky vodárenské, určené po úpravě pro pitné účely, a ostatní (obecně užitné), určené pro průmyslové účely, chov ryb, rekreační účely, závlahy apod. Význam povrchových vod pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou neustále roste. V roce 1960 kryly zdroje podzemních vod kolem 60 % spotřeby pitné vody, avšak v roce 1968 již jen asi 50 % a počátkem 80. let klesl tento podíl na 40 % (PITTER, 1990).

### 4.1 Jakost povrchových vod

Charakteristika složení a vlastnosti vody pro určení její vhodnosti k určitému účelu; v obecném smyslu charakteristika vody zjišťovaná hodnocením souboru ukazatelů pro účely klasifikace a srovnání vod (ČSN 75 0101).

Tekoucí povrchové vody se podle jakosti vody zařazují do 5 tříd jakosti:

- I. **neznečištěná voda:** stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn antropogenní činností, při kterém ukazatele jakosti vody nepřesahují limitní hodnoty
- II. **mírně znečištěná voda:** stav povrchové vody, který byl ovlivněn antropogenní činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému
- III. **znečištěná voda:** stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí tvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému



- IV. **silně znečištěná voda:** stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky umožňující existenci pouze nevyváženého ekosystému
- V. **velmi silně znečištěná voda:** stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky umožňující existenci pouze silně nevyváženého ekosystému (ČSN 75 7221, 1998).

Změny ve složení povrchových vod mohou být buď krátkodobé, nebo dlouhodobé. Krátkodobé změny jsou způsobeny převážně hydrologickými nebo klimatickými poměry. Dlouhodobé, trvalejší změny jsou způsobeny zejména antropogenní činností, spočívající v chemizaci zemědělství, urbanizaci a industrializaci (PITTER, 1990).

Studium jakosti vod ve VÚMOP bylo od začátku 90. let stimulováno zejména na problémy vodní nádrže Švihov na Želivce, která zásobuje pitnou vodou hlavní město Prahu a okolí. Hodnocením jakosti povrchových vod drobných vodních toků se zabývá přibližně od r. 1999 i Zemědělská vodohospodářská správa (ZVHS, dřívější Státní meliorační správa), mj. i s ohledem na bodové a plošné zdroje zemědělského znečištění (KOTRNEC A KOL., 1999).

## **5 LÁTKY ZPŮSOBUJÍCÍ ZMĚBU JAKOSTI VOD A EUTROFIZACE**

Voda zemědělských drenážních systémů může být kromě dusičnanového dusíku zatížena dalšími významnými polutanty, které se podílejí na zhoršování jakosti povrchových vod v povodích se zastoupenými odvodňovacími systémy. Jedná se zejména o látky skupiny fosforu, dále nerozpuštěné látky a potom také pesticidy a herbicidy (FUČÍK A KOL., 2010).

Při vysokém obsahu živin dochází k narušení přirozené rovnováhy vodních systémů (WHO, 2002).

Značnou pozornost je třeba věnovat standartně sledovaným prvkům, kterými jsou dusík a fosfor. Protože právě tyto prvky při vyplavování drenážním odtokem nebo erozí a povrchovým odtokem jsou příčinnou kontaminace povrchových vod a stávají se spouštěčem procesu eutrofizace, který negativně ovlivňuje jakost povrchových vod. Tento proces se za poslední století stává čím dál závažnějším problémem, jelikož přísun živin do hydrosféry se rapidně navýšil a navyšuje.

Eutrofizace vod je proces obohacování stojatých a tekoucích vod živinami, zejména dusíkem a fosforem. Přirozená eutrofizace je způsobena zejména přísunem sloučenin dusíku a fosforu vyluhovaných z půdy a z rozkladu odumřelých vodních organismů. Antropogenní eutrofizace vod vzniká především smýváním dusíkatých látek a fosforečných hnojiv z polí, splaškovými vodami a fekáliemi. V eutrofizované vodě dochází k masovému rozvoji řas a sinic, jejichž hromaděním při hladině se označuje jako vodní květ (KVÍTEK A TIPPL, 2003). Obecně platí, že čím je voda bohatší na živiny, to znamená, že v ní je obsaženo více rozpuštěných minerálních látek, je s tím spojena i změna některých chemických a fyzikálních parametrů dané vody (ŠTĚPÁNEK A ČERVENKA, 1974). Eutrofizaci lze podle původu živin dělit na přírodní a umělou. Přírodní eutrofizace je zapříčiněna uvolňováním dusíku a fosforu, případně silikátů z půdy, sedimentů a odumřelých vodních organismů. Umělá eutrofizace vzniká intenzivní zemědělskou výrobou, některými druhy průmyslových odpadních vod, používáním polyfosforečnanů v pracích a čistících prostředcích a zvýšenou produkcí komunálních odpadních vod a odpadů fekálního charakteru (KOČÍ A KOL., 2000).

Eutrofizace tedy negativně působí na vodní ekosystém, protože způsobuje masový rozvoj sinic a mění zbarvení vody. Tento jev je pozorován a dobře viditelný

v letních měsících za dostatku tepla a světla. Sinice tak vytvoří na hladině souvislou vrstvu, která zamezuje přísunu světla do nižších vrstev vodního sloupce. Mění se tedy jakost vod a dochází k úhynu živočichů, kteří jsou na světle závislí.

## 5.1 Fosfor a fosforečnany

Sloučeniny fosforu se ve velkém množství používají jako průmyslová hnojiva (např. superfosfát), jedná se o jejich nejvýznamnější použití.

Koncentrace fosforečnanů v povrchových vodách bývá nízká, protože se tvoří velmi málo rozpustné fosforečnany Ca, Mg, Fe, Al aj. a kromě toho se ustavuje adsorpční rovnováha mezi sedimenty, suspendovanými látkami a fosforečnany rozpuštěnými v kapalně fázi. Antropogenním zdrojem fosforečnanů jsou zejména splachy z polí hnojených fosforečnými hnojivy a splaškové vody, ve kterých koncentrace fosforečnanů vzrůstá díky polyfosforečnanům v pracích prostředcích. Koncentrace P ( $\text{PO}_4$ ) se obvykle pohybuje v setinách až desetinách  $\text{mg l}^{-1}$ . Stejně jako u sloučenin dusíku lze i u sloučenin fosforu pozorovat sezónní změny v koncentraci, způsobené biologickými a chemickými pochody. Při fotosyntetické asimilaci dochází k inkorporaci fosforečnanů do biomasy. Naopak při biologickém rozkladu biomasy se sloučeniny fosforu uvolňují zpět do prostředí (PITTER, 1990).

TUNNEY A KOL. (1997) uvádí, že za posledních 15 let se na základě výzkumu zjistilo, že po vybudování podpovrchové drenáže obsahují drenážní vody vysoké koncentrace forem fosforu, které několikanásobně překračují závazné limity a způsobují eutrofizační problémy v povrchových vodách.

Vyplavování nerozpuštěných látek a různých forem fosforu není způsobováno pouze erozními procesy na povrchu půdy, ale odehrává se především rychlým podpovrchovým a drenážním odtokem, kde dochází podobně jako na povrchu půdy k trhlinám a vytváření charakteristických preferenčních cest pod povrchem a následnému odnosu látek. GRANT A KOL. (1996) tvrdí, že poměr rozpuštěných fosforečnanů a nerozpuštěného fosforu v drenážních vodách je ovlivněn závislostí ročních období, hydrologickou situací v lokalitě, způsobem využití půdy (zornění, trvalé kultury, použitá agrotechnika), druhem a množstvím aplikovaného hnojiva a s jeho použitím a načasováním.

Opatření pro omezení ztrát nejen fosforu, ale i dalších látek a půdy ze zemědělských ploch jsou již běžně rozšířena a zohledněna v zásadách správné

zemědělské praxe. Tato opatření by měla být cíleně zaměřená, aby se maximalizoval jejich efekt a současně aby byl dopad na zemědělce co nejmenší. P index (Index fosforu) je aplikovatelný na úrovni jednotlivých půdních bloků a umožňuje identifikovat právě ty lokality v rámci povodí, které nejvíce přispívají ke ztrátám fosforu. Hlavní myšlenkou pro zavedení P indexu byl předpoklad, že největším zdrojem fosforu v zemědělských povodích jsou pouze malé, dobře definovatelné zóny, kde se kombinuje vysoký obsah fosforu v půdě, případně kde se intenzivně hnojí, s vhodnými podmínkami pro zvýšený odnos. Posuzují se jednak zdroje – obsah fosforu v půdě, vstup fosforu s hnojivem (organickými i anorganickými) a způsob a načasování jejich aplikace, a současně faktory ovlivňující transport, jako je erozní ohrožení, povrchový i podpovrchový odtok, vzdálenost od vodního toku. Každému faktoru je přiřazena váha podle jeho významnosti (BERÁNKOVÁ, 2010).

## 5.2 Dusík a dusičnany a jejich výskyt ve vodách

Dusík je jeden ze čtyř základních prvků, které tvoří základní strukturu bílkovin (NOVOTNÝ A CHESTERS, 1981). Tento prvek je velice důležitým stavebním prvkem buněčné soustavy a dalších vodních organismů. Samotný koloběh dusíku je pro kvalitu vody velice důležitý. V zemědělsky obhospodařovaných půdách se však dusík nachází ve formě dusičnanů, které podléhají v zamokřených půdách denitrifikaci. V nitrifikačních procesech dochází k oxidaci amoniaku a dusitanů na dusičnany, kdy tento proces probíhá za spotřeby rozpuštěného kyslíku ve vodním sloupci. Proto, právě pozorování jakosti povrchových vod je směřováno na výskyt dusičnanů, protože tyto látky nejvíce zasahují a ovlivňují kvalitu drenážních vod, která dále ovlivňuje povrchové vody.

Dusičnany jsou součástí všech vod. Koncentrace těchto látek neustále roste a rostla především v dřívějších letech, kdy velké technické zásahy v podobě odvodnění a následné používání průmyslových dusičnanových hnojiv značně ovlivnili a ovlivňují nárůst těchto látek.

V důsledku okysličení půdy dochází k urychlení mineralizace půdní organické hmoty k omezení anaerobních a tudíž také denitrifikačních procesů, což má škodlivý důsledek v podobě vyplavování živin, zejména dusičnanů, do vodních toků, ale na druhé straně to vede ke snížení emise skleníkových plynů –  $N_2O$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$  a

pravděpodobně i dalších (KULHAVÝ A KOL., 2005). Sloučeniny dusíku jsou zejména původu atmosférického a antropogenního (zemědělství, splaškové vody). Dusičnanový dusík pochází ze splachů z hnojených polí a z atmosférických srážek a vzniká též nitrifikací amoniakového dusíku. V čistých vodách se obvykle vyskytuje méně než 1 mg N(NO<sub>3</sub>) v 1 litru. Ve znečištěných vodách bývá jeho koncentrace v jednotkách mg l<sup>-1</sup> a někdy přesahuje i 1 mg l<sup>-1</sup>. Koncentrace dusičnanového dusíku v povrchových vodách má stoupající tendenci, což komplikuje jejich úpravu na kvalitní pitnou vodu. Je to způsobeno zejména častým používáním dusíkatých hnojiv v zemědělství. Sloučeniny dusíku podléhají za omických a anoxických podmínek biochemickým přeměnám (nitrifikaci a denitrifikaci). Uplatňují se při fotosyntetické asimilaci a disimilaci. Proto koncentrace veškerého anorganického dusíku a distribuce jeho forem závisí na ročním období (PITTER, 1990). Za aerobních podmínek jsou dusičnany konečným produktem, jsou stabilní, a proto je jich nejvíce. Za anaerobních podmínek, však podléhají denitrifikaci za vzniku elementárního dusíku (GERGEL, 1994).

### 5.2.1 Nitrátová směrnice

Drenáž se jako hydrologicky účinný prvek uplatňuje také při transportu chemických látek z pozemku (živiny, znečištění atd.) a je proto postupně zakomponována do směrnic souvisejících s ochranou vodní komponenty krajiny (např. tzv. "nitrátová směrnice" podle novelizací Nařízení č. 103/2003 SB., případně GAEC – kontrola podmíněnosti atd.) (ŠTIBINGER A KULHAVÝ, 2010).

Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., ze dne 3. března 2003 o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech (nitrátová směrnice) je v souladu se směrnicí Rady 91/676/EHS. Přestože je používání hnojiv obsahujících dusík a hnojiv statkových pro zemědělství společenství nezbytné, představuje nadměrné hnojení nebezpečí pro životní prostředí.

Požadavky a cíle nitrátové směrnice Rady 91/676/EHS:

1. Stanovení znečištěných a ohrožených vod, provádět následný monitoring jakosti povrchových a podzemních vod.

2. Vymezení zranitelných oblastí, které představují území odvodňovaná do povrchových a podzemních vod znečištěných nebo ohrožených dusičnany ze zemědělských zdrojů. Kritérium koncentrace dusičnanů je 50mg/l a nebo koncentrace vyšší.
3. Vytvořit zásady správné zemědělské praxe, zaměřené na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů, tak aby hospodaření předcházelo nadměrnému zatěžování. Jejich dodržování je doporučováno.
4. připravit v případě potřeby akční programy, školení a poskytovat informace s cílem podporovat uplatňování zásad správné zemědělské praxe.
5. snižovat znečišťování vod, které je způsobované nebo jehož příčinou jsou dusičnany ze zemědělských zdrojů,
6. předcházet dalšímu takovému znečišťování, a to zejména pro zajištění dostatku kvalitní pitné vody.

Zásady správné zemědělské praxe slouží jako jeden z nástrojů směřujících ke snížení znečišťování vody dusičnany. Přihlédnutím k podmínkám v různých oblastech společenství by měly obsahovat určitá pravidla s následujícími ustanoveními uplatňovanými podle jejich reálné použitelnosti:

- období nevhodné pro půdní aplikaci hnojiv
- aplikace hnojiv na půdu na velmi strmých pozemcích, na půdu na podmáčených, zaplavených, zmrzlých nebo sněhem pokrytých pozemcích
- podmínky pro aplikaci hnojiv na půdu v blízkosti vodních toků
- kapacita a konstrukce zásobníků pro skladování statkových hnojiv včetně opatření k zamezení znečišťování podzemních a povrchových vod odtoky a průsaky tekutin s obsahem statkových hnojiv a odtoky ze skladovaného rostlinného materiálu jako je siláž
- postupy pro aplikace umělých a statkových hnojiv na půdu, včetně dávky hnojiv a rovnoměrnosti jejich aplikace, které zajistí, že úniky živin do vod zůstanou na přijatelné úrovni
- postupy při obhospodařování půdy, včetně střídání plodin

- udržování minimálního rostlinného pokryvu, který je schopný odebírat z půdy dusík, který by jinak mohl způsobovat znečištění vod dusičnany
- vypracování plánů vedení záznamů o hnojení na zemědělských provozech
- předcházení znečišťování vod odtoky nebo vsakováním vod mimo dosah kořenů rostlin

Plnění uvedených zásad je v souladu s požadavky nitrátové směrnice založeno na principu dobrovolnosti. Ve zranitelných oblastech jsou však příslušná opatření stanovená v Zásadách součástí Akčního programu, jehož plnění je pro podnikatele hospodařící v zemědělství povinné. První Akční program byl vyhlášen nařízením vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech, s účinností od 1. ledna 2004, na základě zmocnění § 33 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách (DOSTÁL A KOL., 2003).

Přezkoumání vymezení zranitelných oblastí provádí odborný subjekt pověřený Ministerstvem životního prostředí na základě identifikace znečištěných nebo ohrožených povrchových nebo podzemních vod dusičnany ze zemědělských zdrojů. Opatření ve zranitelných oblastech se vztahují na fyzické osoby a právnické osoby provozující zemědělskou činnost v těchto oblastech, a které jsou zapsány ve zvláštním právním předpisu.

## **6 MECHANISMY ZPŮSOBUJÍCÍ ZMĚNU JAKOSTI VOD PO VYBUDOVÁNÍ DRENÁŽNÍHO SYSTÉMU**

Drenáží odvodněná plocha je trvale tímto vodohospodářským opatřením ovlivněna. Stávající drenážní systémy doplňují detail hydrografické kostry povodí a podílejí se na procesu transformace srážek v odtok (KULHAVÝ A KOL., 2007). Dále se mění hydraulická (infiltrační) schopnost půd, jelikož voda se rychleji vsakuje a váže na sebe látky vyskytující se v půdě a stává se jejich přenašečem. Odvodněná půda mění svou strukturu. Znalost těchto mechanismů transportu látek je klíčová pro navržení efektivních vstupů sloužící jejich redukci.

Vedle odvodnění hraje zásadní roli i využití půdy v povodí. Půda bez vegetačního pokryvu je v našich podmínkách nepřírodní stav (MÍCHAL, 1994).

### **6.1 Mechanismus č. 1**

NOVÁK (1994) tvrdí, že první mechanismus je neustálený a působí jen během několika prvních let po odvodnění. Právě v této době je postupně mineralizován dusík z nahromaděné organické hmoty hydromorfní půdy, která byla odvodněním provzdušněna. Po umělém snížení hladiny podzemní vody dochází tedy k rychlé mineralizaci organických látek v půdě a jejich uvolňování do drenážní vody převážně ve formě dusičnanového iontu (s maximem ve druhém až čtvrtém roce po provedeném odvodnění).

Bezorebné zpracování půdy omezuje mineralizační procesy a tím i tvorbu nitrátového dusíku v půdě. Při dlouhodobém používání podporuje bezorebné zpracování půdy imobilizaci dusíku v půdě a tím i omezuje intenzitu nitrifikačních procesů v půdě (WOOD A EDWARDS, 1992).



## 6.2 Mechanismus č. 2

Druhý mechanismus působení drenáží na vyplavování dusičnanů je ustálený a působí trvale. Spočívá v tom, že drenáž modifikuje dráhy odtoku. Část vody, která by jinak odtékla po povrchu, se vsakuje a odtéká drenáží. Je tak nucena protékat půdním profilem a vyplavovat odtud dusičnany. Vedle toho drenáž odvádí podzemní vodu z mělkých zvodní, kterými by jinak tato voda protekla pomalu a dospěla do recipientu o něco později, takže by bylo více příležitostí k denitrifikaci dusičnanů obsažených v této vodě (FUČÍK A KOL., 2010). Tento mechanismus je ovlivněn infiltrační intenzitou půdy a změnou infiltrační křivky. Rychlost vsaku se zvyšuje a tím se snižuje rychlost povrchového odtoku. Dusičnany v půdě jsou tedy mnohem více ovlivněny množstvím vody. BENETINA A KOL. (1987) uvádí, že pro zachování odvodňovací funkce je podmínkou zachování gravitační pórů v půdním profilu. Jelikož pokles infiltračních schopností půdního profilu vede k zamokření půd. Aby bylo předcházeno těmto problémům, je potřeba využívat vhodnou agrotechniku. ERIKSSON (1979) provedl výzkum a zjistil, že využívání těžké zemědělské agrotechniky, vede k utužování (zhutnění) půdy až do hloubky 1 m.

Z toho vyplývá, že druhý mechanismus, který je způsoben odvodněním v podobě infiltračních schopností a změn ve struktuře půdy (zvětšení pórů, trhlin a preferenčních cest odtoku) může být ovlivňován využitím zemědělské techniky a daných pozemcích.

## 6.3 Mechanismus č. 3

Třetí mechanismus je založen na tom, že drenáž trvale činí stanoviště méně příznivým pro odbourávání dusičnanů. Jde zejména o alochtonní dusičnany, které do daného místa přitékají spolu s podzemní vodou. Ta by na zamokřeném stanovišti stagnovala nebo vyvěrala a vytvářela by anaerobní prostředí vhodné k denitrifikaci. Původní údolní louky byly s velkou pravděpodobností zamokřovány vodou s vysokými obsahy dusičnanů. Tím, že tyto zamokřené louky byly odvodněny pouze povrchovými svodnými příkopy, příp. zde existoval plošný rozliv, mohlo docházet k denitrifikaci a také k využití dusíku travním porostem. Odvodněním do té doby zamokřených nivních poloh, které byly využívány jako louky a pastviny, byly tyto

plochy zpřístupněny pro zemědělskou mechanizaci a často zorány. S provedenou systematickou drenáží došlo ke změně oxidačně redukčních poměrů v půdě a k provzdušnění do té doby anaerobních míst. Vybudováním systematické drenáže v hloubce kolem 1 m byla poškozena ekologická stabilita území; jednak došlo k urychlení odtoku vody z území a dusičnany z území a dusičnany z kontaminovaných vod vsáklých ve vrcholových zorněných partiích povodí nemají kde denitrifikovat a jsou odváděny dál do toků nižších hydrologických řádů (KVÍTEK, 2002).

# 7 PODÍL DRENÁŽNÍCH SYSTÉMŮ NA KONCENTRACÍCH ANALYTŮ V POVRCHOVÝCH VODÁCH

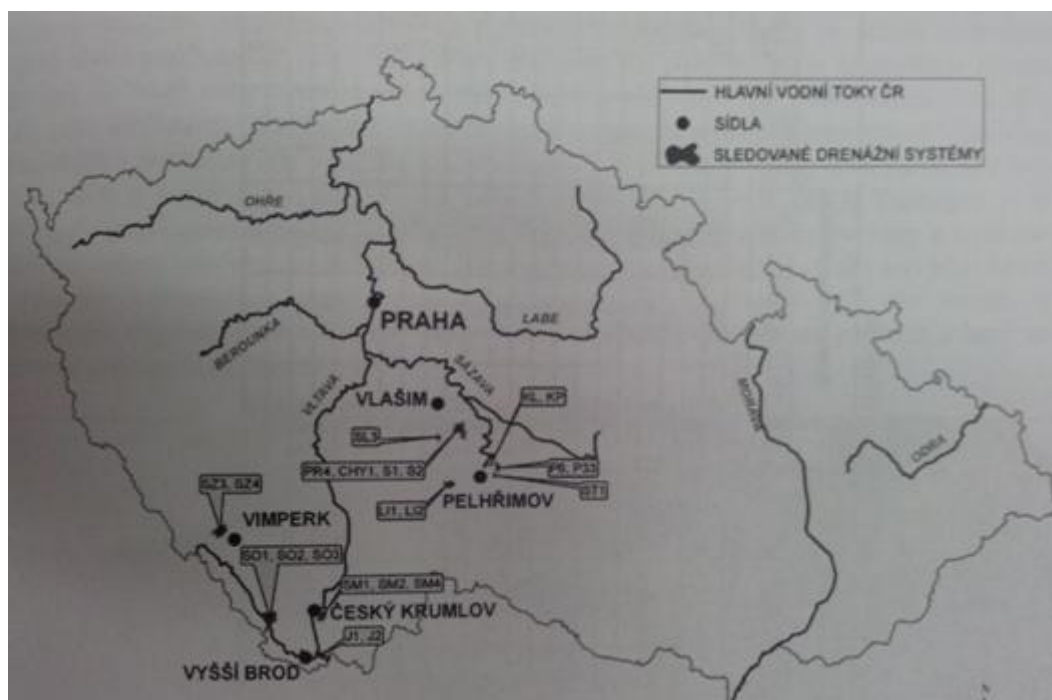
Dusičnany vykazují významnou sezónní variabilitu a obecně jsou vyšší v předjaří a na jaře, poněvadž nemají přes zimu jako produkty probíhající nitrifikace odpovídající možnost odběru biomasou rostlin. Jejich náhlé zvýšení ve vodě v období vegetace je většinou zaviněno nešetrnou (jednorázovou) aplikací ledkových hnojiv nebo mimořádně významným zásahem na půdě v povodí např. hloubkovým melioračním kypřením (GERGEL, 1994).

## 7.1 Koncentrace a vyplavování dusičnanů

Více než stoletým pozorováním je prokázáno, že jejich koncentrace neustále vzrůstají. Například v Labi vzrostla průměrná koncentrace N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> asi z 0,5 mg.l<sup>-1</sup> v roce 1892 na 3,6 mg.l<sup>-1</sup> v roce 1976 a v roce 1994 až na 5 mg.l<sup>-1</sup>, což znamená desetinásobný vzrůst oproti konci 19. století. To se týká i stojatých vod. Například v Černém jezeře na Šumavě vzrostla v období let 1936 až 1986 koncentrace dusičnanů více než pětkrát. Do Želivky se s dešťovou vodou dostává dusíku 10 až 80 kg na hektar za 1 rok (1 až 8 t na 1 km<sup>2</sup> za 1 rok). Zejména koncentrace amoniakového dusíku bývají větší než u podzemních vod. U čistých toků dosahují setin až desetin mg.l<sup>-1</sup> a u znečištěných povrchových vod řádově jednotek mg.l<sup>-1</sup>. Koncentrace dusitanového dusíku se pohybují podle znečištění v setinách až desetinách mg.l<sup>-1</sup> (PITTER, 1999). SLEPIČKA (1974) prokázal, že vyplavování dusičnanů z půdy bez vegetačního pokryvu je mnohem vyšší než pod porostem polních plodin, a to jak na variantě intenzivně hnojené, tak i na variantě kontrolní bez hnojení. SLEPIČKA (1982) dlouhodobými lyzimetrickými pokusy prokázal, že porost má zřetelný vliv na vyplavování nitrátů z půdního profilu. Nejnižší vyplavování dusičnanů bylo zjištěno pod porostem louky (0,35 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), pod pícninami na orné půdě (2,6 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), pod obilninami (3,6 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a nejvíce pod okopaninami (6,8 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

FUČÍK A KOL. (2010) provedl měření na 22 zemědělských podpovrchových systémech. Polohy zkoumaných drenážních systémů nalezneme na obr. 3. Pro

všechny tyto lokality byla typická mateční hornina pararula, ortorula nebo žula. Sledované lokality se většinou nacházely na svahu a pro většinu typickým půdním představitelem byla kambizem, v nižších polohách pak kambizem oglejená a pseudoglej. Monitoring probíhal od léta 2004 do podzimu 2006 a pak v roce 2009. Všechny vybrané systémy byly v pořádku bez závažných závad. Na odvodňovaných plochách byla provedena analýza zastoupení jednotlivých kultur a podle vlastností BPEJ byly tyto oblasti rozděleny do 5. kategorií infiltrační zranitelnosti podle metodiky JANGLOVÁ A KOL. (2003).



Obr. 3: Rozmístění analyzovaných drenážních systémů v ČR

Zdroj : (FUČÍK A KOL., 2010).

Výsledky tohoto výzkumu lze shrnout do závěru, že parametry, které nejvíce ovlivňují hodnoty koncentrací  $N-NO_3^-$  je plošné zastoupení orné půdy v I. a II. kategorii infiltrační zranitelnosti a plošné zastoupení trvalých travních porostů v kategorii III. Tyto parametry však působí opačně, protože zastoupení orných půd kladně koreluje s koncentracemi  $N-NO_3^-$  (tzn. čím více orné půdy v I. a II. kategorii zranitelnosti, tím vyšší koncentrace  $N-NO_3^-$ ), kdežto zastoupení TTP koreluje negativně (tzn. čím více TTP v III. kategorii zranitelnosti, tím nižší koncentrace  $N-NO_3^-$ ). Podrobnou tabulku se statistickými ukazateli  $N-NO_3^-$  na 22 zemědělských odvodňovaných povodí nalezneme ve FUČÍKOVÍ A KOL. (2010). Touto studií byl

prokázán vliv způsobů využití půdy na základě infiltračních kategorií na množství dusičnanů v drenážních vodách a jejich následné ovlivnění povrchových vod.

## 7.2 Koncentrace a vyplavování fosforečnanů

GRANT A KOL. (1996) ve své studii píše o ztrátě rozpuštěných částic fosforu z orné půdy do podpovrchových drenáží, která byla v průběhu roku sledována na čtyřech různých lokalitách, jako například nízko ležící oblasti pro pastvy, kde roční ztráta celkového fosforu (TP) byla stanovena intenzivním vzorkováním na hodnotu 0, 241 kg/P/ha/rok. Na dalších třech povodích byla roční ztráta nižší a to od 0, 071 – 0, 169 kg/P/ha/rok. Hlavní část ztráty celkového fosforu (TP) připadala na rozpuštěný orthofosforečnan (DP). Roční ztráta partikulovaného fosforu (PP) byla v rozmezí 0, 043 – 0, 182 kg/P/ha/rok. Tyto ztráty byly epizodické a hlavně se vyskytovaly během silných dešťových událostí. V závěru se zmiňuje, že spolehlivé odhady ztrát fosforu z uměle odvodněných půd povodí lze získat pouze pomocí strategického odběru vzorků, který zahrnuje intenzivní vzorkování během silných dešťových událostí. Cílem studie ALGOAZANY A KOL. (2007) bylo zhodnotit osud a transport rozpustného fosforu přes podzemní drenáže a odtok. Pro tuto studii byly vybrány čtyři místa. Na třech ze čtyř sledovaných míst se pěstovaly v pravidelných intervalech kukuřice a sója a na zbývajícím sójové boby. Podpovrchové odvodnění a povrchový odtok odváděl na všech místech v průměru 16, 1 % a 2, 6 % srážek. Měřené koncentrace fosforu kolísaly se srážkami, přestože koncentrace inklinovala ke zvýšení s vysokými srážkami v souvislosti s vysokým dávkováním fosforu. Dlouhodobý průměr koncentrace rozpuštěného fosforu byl v drenážním odtoku 102, 99, 194 a 86 mg/l. Koncentrace fosforu v podpovrchovém odtoku byly nižší než koncentrace fosforu v drenážním odtoku (270, 253, 534, 572 mg/l) pro jednotlivé pozemky. Tyto hodnoty byly podstatně vyšší než kritické hodnoty podporující eutrofizaci. Statistická průkaznost interakce plodiny a odtoku na koncentraci fosforu v drenážním proudění byla významná, ale při povrchovém odtoku reagovala důsledněji. Studie SANCHEZE A KOL. (2007) se zabývá koncentrací fosforu v drenážních vodách v Quebecu (Kanada), kdy je koncentrace fosforu trvale vyšší než norma pro jakost povrchových vod (0,03 mg/l), to je způsobeno zvýšenou koncentrací fosforu ve vodách kontrolovaných drenáží, i když byl celkový odtok ze

sledovaných pozemků snížen o 27% ve srovnání s pozemky bez drenážního systému. Koncentrace fosforu byla kolem 96 % ve formě rozpuštěného fosforu za obě sledovaná období. Během experimentu byla koncentrace fosforu v drenážních vodách průměrně 0,84 kg/P/ha, což bylo zanedbatelné ve srovnání s množstvím hnojení. Hodnota však byla asi 8,5 krát vyšší než průměrná celková ztráta fosforu ze sledovaných pozemků. Bylo zjištěno, že zvýšená koncentrace fosforu v drenážních vodách ze sledovaných pozemků je pravděpodobně způsobena zvýšením rozpustnosti fosforu vzhledem k mělkým spodním vodám. HODGINSON A KOL. (2002) ve studii pojednávají o aplikaci zemědělských statkových hnojiv, jako např. drůbeží podestýlky, čistírenských kalů a hnojiv z anorganického fosforu, či prasečí kejdy, jenž může mít vliv na koncentraci fosforu a jeho ztrátu do drenážních systémů. Tento jev byl sledován v průběhu čtyř sezón po tání sněhu a následném odvodnění pomocí nově nainstalovaného drenážního systému. Aplikace prasečí kejdy v listopadu (4 – 6 týdnů před nástupem zimy) měla za následek vysoké koncentrace rozpuštěného fosforu (až do 10 mg/l) a celkového fosforu (TP) v drenážním odtoku až (75 mg/l). Ztráta celkového fosforu (TP) po aplikaci prasečí kejdy (v prvním období po instalaci drenáže), měla za následek zvýšení koncentrace až čtyřikrát. Což bylo způsobeno rychlým průchodem kejdy přes makropóry vytvořené v půdě po instalaci drenáže. Tato studie podporuje stávající názory správné zemědělské praxe, která doporučuje, aby se kapalná statková hnojiva neaplikovala do nedávno drenážovaných půd, aby se zabránilo přímé kontaminaci a obohacování drenážní vody fosforem.

Koncentrace fosforu v drenážních vodách z plošných zdrojů znečištění způsobuje fosfor, který se do drenážních vod dostává z intenzivně obhospodařovaných odvodňovaných pozemků. Pohyblivost fosforu v půdě je ve srovnání s ostatními živinami velmi malá. Velikost koncentrace fosforu je ovlivněna mnoha faktory. Mohou to být jednak půdní typy, sorpční nasycenost, množství fosforu v půdě, hladina spodní vody, typ a stáří drenáže, roční období, správná zemědělská praxe jako doba hnojení, množství aplikovaných fosforečných hnojiv nebo i pěstované plodiny. Většina autorů se ale shoduje, že nejvíce koncentraci fosforu v drenážních vodách ovlivňuje množství srážek a tedy množství vody, které drény z pozemků odvádí.

### 7.3 Kvalita drenážních vod

V současné době je již známo, že vzhledem ke kvantitativnímu poměru vody drenážní a povrchové, nemůže být drenážní voda i při velkém obsahu  $\text{NO}_3^-$  hlavním původcem vysoké koncentrace dusíkatých látek v povrchových vodních zdrojích. Hlavním transportním činitelem jsou povrchové splachy vznikající při přívalových srážkách (TLAPÁK A KOL., 1992). S tímto názorem se neshodují KVÍTEK (2005), který po výzkumu došel k závěru, že v drenážních vodách je obsaženo v průměru výrazně více dusičnanů než ve vodách povrchových. Ve své studii tvrdí, že jakost drenážních vod nespĺňuje limity a je tedy nutno zlepšit různými opatřeními přímo na odvodněných pozemcích, nebo mimo nich. HLAVÍNEK A ŘÍHA (2004) ve své knize uvádějí, že kvalita a jakost drenážních vod je ovlivňována hned několika faktory, kterými jsou složení podzemních vod, pěstované rostliny, použitá agrotechnika, složení půdy a podloží, na množství a složení srážkových a závlahových vod. Dále kvalita drenážních vod kolísá v průběhu roku, podle toho, které faktory momentálně mají největší vliv a účinek. Při používání jednotlivých hnojiv a pesticidů se dostávají tyto látky do drenážních vod, a právě v těchto období jsou vody nejvíce znečištěny. Některé složky hnojiv nejsou zachyceny v půdě, jsou z ní vyplavovány a tvoří hlavní anorganické znečištění např.  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ .

Variabilita jakosti vod v letech 1985–2003 byla studována na základě širšího souboru chemických analýz v povodí Žejbra i v sousedních povodích. Od r. 2001 jsou k dispozici i výsledky vzorkování drenážních vod. Mezi obdobími 1989–1993 a 2001–2003 došlo k poklesu většiny ukazatelů znečištění vod (zejména koncentrací dusičnanů a amonných iontů) v důsledku poklesu intenzity zemědělské výroby, zvýšily se však koncentrace dusitanů. Drenážní vody vykazují významně vyšší znečištění dusičnany a nižší pH než povrchové vody, podle ostatních ukazatelů jsou však čistší (ČMELÍK A KOL., 2004). ULRICH A SEIFERT (1979) laboratorně zkoumali nitrifikační procesy na lučních půdách a došli k závěru, že při zornění travních porostů se z konzumentů dusíku stanou výrazné zdroje znečištění – produkce dusičnanů je enormní. V půdě v klidovém stavu je převážná část dusíku obsažena v organické hmotě a v průměru pouze 2 – 5 % je ho v minerální formě. KVÍTEK (1994) uvádí, že drenážní systémy v oblasti Českomoravské vrchoviny se potýkají s vyšší koncentrací nitrátů než se nachází v povrchových vodách. Zároveň je

patrný vliv kulturního zastoupení porostu na koncentraci nitrátů v H<sub>2</sub>O a vztahu rozmístění kulturního zastoupení porostu v infiltračních a infiltračně transportních zónách. Jelikož po vybudování drenážních systémů se půda více provzdušňuje a vytváří se větší transportní zóny, snižuje se doba možnosti denitrifikace dusíku v půdním profilu při odvodnění. KVÍTEK (1999) ze svého sledování dílčích povodí Kopaninského toku v povodí Želivky vyvozuje, že koncentrace dusičnanů jsou ovlivněny více stupněm zornění půd než momentálním hnojením. I když hnojení v devadesátých letech ubylo, trendová složka chodu koncentrací nitrátů narůstala. Dále z výzkumu z roku 1999 i zde můžeme konstatovat, že největší rozdíly mezi maximálními a minimálními koncentracemi během roku lze pozorovat na půdách orných a odvodněných.

K tomuto pozorování se přiklání mnoho dalších odborníků, nebo se jejich výzkum nepatrně liší. Např. KLADIVKO (1991) uvádí, že koncentrace dusíku v drenážním odtoku je ovlivněna hnojením, půdním typem, pěstovanou plodinou, typem orby a jejím praktikováním a obsahem vody během vegetační sezóny. Dále EVANS (1990) k těmto hypotézám přidává, že vyplavování dusičnanů roste s větší drenážní účinností a drenážní intenzitou. Zároveň však potvrzuje, že i nadále velice závisí na místních podmínkách, pěstovaných plodinách, typech drenážních systémů a hydrologii regionu.



## 8 ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval drenážními systémy, příčinami a vývojem budování drenážních systémů. Dále jsem se zaměřil, jak tyto zásahy ovlivňují a mění půdní strukturu v podobě spouštěcích mechanismů, které dále ovlivňují a mají dopad na odnos znečišťujících látek, kdy k přenosu a znečištění povrchových vod slouží voda drenážní. K nejčastějším analytům způsobující znečišťování povrchových vod se řadí dusičnany a fosforečnany, proto je potřeba tyto indikátory stále sledovat a jejich množství regulovat. Proto jsem svou práci dále směřoval k zastoupení těchto látek v drenážních vodách.

Samotná historie a budování odvodnění má své opodstatnění. Je to jeden z nejstarších technických oborů. Potřeba těchto zásahů byla v tehdejší době potřebná, nebo alespoň přínosná pro tehdejší krajinu a usnadnění zemědělství vůbec. S nárůstem těchto prací se však častěji začalo stávat, že kvantita začala převyšovat nad kvalitou a to zejména ve 20. století.

Proto jsem dále zaměřil, jaké změny vyvolávají drenážní systémy v půdě a do jaké míry, a jak se podílí na jakosti povrchových vod. Provedl jsem ucelený koncept sestavený z několika studií a pozorování, provedených odborníky v oblasti hydrochemie, drenážních systémů, meliorací a ochrany půd. Odborníci se zde jednoznačně shodují, že vliv drenážních systémů na jakost povrchových vod je vysoký. Z půdy jsou pomocí spouštěcích mechanismů prostřednictvím drenážního odtoku vyplavovány znečišťující látky, především dusičnany a fosforečnany, které jsou hlavními prvky pro vznik eutrofizace vod.

Všechna pozorování byla prováděna na menších zemědělsky odvodněných pozemcích, kde byly koncentrace dusičnanů a fosforečnanů vyhodnocovány. Z pozorování je patrné, že dusičnany po vybudování drenážních systémů značně zvyšují svou koncentraci při vyplavování do povrchových vod. Je to zapříčiněno mechanismy, které mění půdní strukturu. Z pozorování FUCÍKA A KOL. (2010) je patrné, že koncentrace dusičnanů je závislá na porostu, jelikož v našich podmínkách zemědělská půda bez pokryvu není běžný případ, dále na infiltrační kategorii zranitelnosti jednotlivých půd. Množství dusičnanů také do velké míry ovlivňují srážkové úhrny a především použití průmyslových hnojiv. Právě v období aplikace hnojiv a srážkových úhrnu jsou hodnoty vysoké a překračují závazné limity. Za tímto účelem funguje tzv. „nitratová směrnice“, aby eliminovala množství dusičnanů

v drenážních vodách a vedla k dodržování zásad hospodaření na odvodněných pozemcích. U fosforečnanů je to podobné s jediným rozdílem, že nejvyšší výkyvy a hodnoty jsou v období srážkových úhrnů, kdy vyplavování těchto látek je nejintenzivnější.

Z mého pohledu je velice důležité budování drenážních systémů, pokud jsou tyto zásahy opodstatněné a následné chování především zemědělců šetrné. Intenzivní zemědělská činnost by měla být šetrná k přírodě a jejím složkám, protože voda je nesmírné bohatství a tohoto daru je potřeba si velice vážit.

## 9 LITERATURA

1. ALGOAZANY, A. S., KALITA, P. K., CZAPAR, G. F., MITCHELL, J. K. Phosphorus transport through subsurface drainage and surface runoff from a flat watershed in east central Illinois, USA. *Journal of Environmental Quality*, 36(3), 2007, 681-693 s. Dostupné z: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=pubmed&Cmd=Retrieve&list\\_uids=17412904&dopt=abstractplus](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=pubmed&Cmd=Retrieve&list_uids=17412904&dopt=abstractplus)
2. BENETIN, J.; DVOŘÁK, J.; FÍDLER, J.; KABINA, P. *Odvodňovania*. Bratislava: nakladateľství Příroda, 1987.
3. BERÁNKOVÁ, T. Přístup k hodnocení náchylnosti zemědělských povodí ke ztrátám fosforu z půdy do vody. *Vodní hospodářství*, 2010, 7, 182-184 s.
4. DOLEŽAL, F.; KULHAVÝ, Z.; SOUKUP, M.; KODEŠOVÁ, R., Hydrology of the drainage runoff, European Geophysical Society, XXV General Assembly, Physics and Chemistry of the Earth, 2001.
5. ČMELÍK, M.; DOLEŽAL, F.; KULHAVÝ, Z. Pilot monitoring of tile drainage and small stream water quality in the Skuteč region. In: HALASIKUN, G., ŠTEKAUEROVÁ, V.; NEMÉNYI, M., LO PINTO R. Global warming and other Central European issues in environmental protection. *Pollution and Water Resources. Columbia University Seminar Proceedings*, Bratislava : Vol. XXXV, ÚH SAV, STU, 2003-2004.
6. DOLEŽAL, F.; KULHAVÝ, Z.; KVÍTEK, T.; SOUKUP, M.; TIPPL, M. Methods of runoff separation applied to small stream and tile drainage runoff. In HOLKO, L.; MILÁNEK, P. *Interdisciplinary approaches in small catchment hydrology: Monitoring and research. IHP-VI Technical Documents in Hydrology No. 67*. Paris: UNESCO, 2003.
7. DOSTÁL, J.; HABERLE, J.; KLÍR, J.; KOZLOVSKÁ, L.; KVÍTEK, T.; RŮŽEK, P.; KOUŘA, J. *Zásady správné zemědělské praxe zaměřené na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů*. Praha : MZE ČR Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2003.
8. EICHLER, J.; SOUKUP, M.; PILNÁ, E. Využití DMT při návrhu retardace podzemního drenážního odtoku. *Sborník GIS Seč 2000*, Seč, 2000.

9. ERIKSSON, J. Soil Function and Drainage. Proceedings of the international Workshop. Wageningen, 1979.
10. EVANS, R. O et GILLIAN, J. W. Controlled drainage and subirrigation effects on drainage water duality. ICID, New Delhi, 1990.
11. FUČÍK, P., et al. Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. Praha : VÚMOP, v.v.i., 2010.
12. GERGEL, J., et al. Metodika 12/1994 : Hlavní zásady pro odběr a vyhodnocování kvality povrchových vod odtékajících ze zemědělsky využívaných povodí. Praha : VÚMOP, v.v.i., 1994.
13. GRANT, R.; LAUBEN, A.; KRONVANG, B.; ANDERSEN, H.E.; SVENSEN, L.M. Loss of dissolved and particulate phosphorus from arable catchments by subsurface drainage. Water research, 1996.
14. HLAVÍNEK, P.; ŘÍHA, J. Jakost vody v povodí. Nakladatelství Cerm, Brno, 2004.
15. HODGKINSON, R.A., B.J. CHAMBERS, P.J.A. WITHERS AND R. CROSS. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil. Agric. Water Manage. 57, 2002, 155–173 s. Dostupné z: <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/phosphorus-losses-to-surface-waters-following-organic-manure-8TF0YgxtAa>
16. JANGLOVÁ, R., KVÍTEK, T., NOVÁK, P. Soil infiltration capacity categorisation based on a geo – informatic synthesis of the Comprehensive Soil Survey and Valuated Soil – Ecological Units data. Soil and Water 2: 61 – 82. Research Institute for Soil and Water Conservation. Praha, 2003.
17. JÚVA, K. Vodohospodářské meliorace. Odvodnění - závlaha. Praha: SNTL, 1964.
18. KLADIVKO, E. J. Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drain on a silt loam soil in Indiana. J. Environ, Quasi, 1991.
19. Kočí, V.; BUKHARD, J.; MARŠÁLEK, B. Eutrofizace na přelomu tisíciletí. In Eutrofizace 2000. Praha : Fakulta technologie ochrany prostředí, 2000.
20. KOTRNEC, J.; RUNŠTUK K.; RIEDR M.; POKORNÝ J. Kvantitativní hodnocení transportu rozpuštěných chemických látek v tocích ČR – období 1994/1997. In: Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí. Sborník konference, Brno : FaSt VUT, MZLU a DT Brno, 1999.

21. KVÍTEK, T. Metodika: Uplatnění systému alternativního managementu ochrany půdy a vod v krajině, Praha : VÚMOP, v.v.i., 2005.
22. KVÍTEK, T. Možnosti snížení zatížení povrchových vod nitráty. Rostlinná výroba, 1994.
23. KVÍTEK, T. et al. Etapa výzkumného záměru. Vytvoření systému diferenciované ochrany půdy a vody před plošnými zdroji znečištění při preferenci trvalých travních porostů. Odnos dusíku z povodí Kopaninského toku, Uživatelský výstup, VÚMOP, Praha, 2002 In FUČÍK, P., et al. Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. Praha : VÚMOP, v.v.i., 2010.
24. KVÍTEK, T.; GERGEL, J.; ONDR, P.; ZÁMIŠOVÁ, K. Zemědělské meliorace. České Budějovice : Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2006. ISBN 80-704-0858-8.
25. KVÍTEK, T.; TIPPL, M. Zemědělské informace : Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině. Praha : ÚZPI, 2003.
26. KULHAVÝ, Z.; DOLEŽAL, F.; SOUKUP, M. Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů. Praha : Vědecké práce VÚMOP, v.v.i., 2001.
27. KULHAVÝ, Z.; SOUKUP, M.; DOLEŽAL, F.; ČMELÍK, M. Zemědělské odvodnění drenáží - Racionalizace využívání, údržby a oprav. Praha : VÚMOP, v.v.i., 2007.
28. KULHAVÝ, Z.; SOUKUP, M.; ČMELÍK, M.; DOLEŽAL F. Zemědělské odvodnění v kulturní krajině – sborník z panelové diskuze a workshopu. Praha : VÚMOP, v.v.i., 2005.
29. LUTHIN, J. N. Drainage engineering. New York – London – Sydney 1966.
30. MÍCHAL, I. Ekologická stabilita. Brno : Veronica, ekologické středisko ČSOP Brno, 1994.
31. NOVÁK, P. Půda a voda po provedeném odvodnění. In Sborník semináře Problematika vodního hospodářství v zemědělství a lesnictví. Praha : VÚMOP, v.v.i., 1994.

32. NOVOTNÝ, V.; CHESTERS, G. Handbook of nonpoint pollution – sources and management. Litton educational publishing, 1981, 555 s.
33. PITTER, P. Hydrochemie. Praha :Vydalo SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1990, 569 s.
34. SANETRŇÍK, J.; FILIP, J. Meliorace. Brno : Vysoká škola zemědělská v Brně, 1991.
35. SANCHEZ VALERO, C., MADRAMOOTOO, C. A., & STÄMPFLI, N.: Water table management impacts on phosphorus loads in tile drainage. Agricultural Water Management, 89(1-2), 2007, 71-80 s. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377406003544>
36. SLEPIČKA, J. Vysoké dávky živin a jejich vyplavování v různých ekologických podmínkách. Rostlinná výroba. 1974.
37. SLEPIČKA, J. Vyplavování dusíku ze dvou půdních profilů na hnědě půdě v osevním postupu s maximální pokryvností. Rostlinná výroba. 1957.
38. ŠTĚPÁNEKtěpánek, M., Červenka R. Problémy eutrofizace v praxi. Praha : Avicenum, 1974.
39. ŠTIBINGER, J.; KULHAVÝ, Z. Úpravy vodního režimu půd odvodněním. Praha : Česká zemědělská univerzita, VÚMOP, v.v.i.. 2010. ISBN 978-80-213-2132-8.
40. TLAPÁK, V., ŠÁLEK, J., LEGÁT, V. Voda v zemědělské krajině. Praha : Zemědělské nakladatelství Brázda, 1992.
41. TUNNEY, H.; CARTON, O.T.; BROOKES, P.C.; JOHNSTON, A.E. Phosphorus Loss from Soil to Water. CAB International, Wallingford, UK, 1997.
42. ULRICH, R.; SEIFERT J. Nitrifikace – producent nitrátového dusíku půd. Rostlinná výroba, 1979.
43. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka. Voda v České republice. Praha : Consult, 2006. ISBN 80-903482-1-1.
44. Vašků, Z. Zlo zvané meliorace. *Vesmír* 2010, 90, 440–444 s.
45. WHO. Eutrofizace a zdraví. Praha : Státní zdravotní ústav, 2002.

## Právní normy

46. ČSN 75 0101 Vodní hospodářství – Základní terminologie. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 28 s.
47. ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. Praha : Český normalizační institut, 1998.
48. Č. 103/2003 Sb. Nařízení vlády, o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech, ve znění pozdějších předpisů.
49. SMĚRNICE RADY 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů (tzv. nitratová směrnice), ve znění pozdějších předpisů.