

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

**Ústav pro životní prostředí**

Studijní program: **Ekologie a ochrana prostředí**

Studijní obor: **Ochrana životního prostředí**



**Michal Kešner**

**Vliv drenáže na tok vody a další funkce ekosystémů**

The effect of artificial drainage on the flow of water and other  
ecosystem functions

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: **prof. Mgr. Ing. Jan Frouz, CSc.**

Praha, 2014

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 30.5.2014

Michal Kešner

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval prof. Mgr. Ing. Janu Frouzovi, CSc. za věcné připomínky, vstřícnost při konzultacích a cenné rady při zpracování této práce.

## **Abstrakt**

Tato práce má za cíl shrnout dosavadní poznatky o tom, jaké změny v půdě vyvolá odvodnění pomocí podzemní drenáže. Zaobírá se však i otázkou vlivu na další složky s půdou úzce spojené, vodou, atmosférou a organismy. Ze zahraniční i tuzemské literatury vyplývá, že odvodnění podzemní drenáží urychluje odtok vody z povodí, snižuje hladinu podzemní vody, drenážní vody snižují kvalitu povrchových vod. Mění strukturu půdy, převážně redukční a anaerobní procesy jsou nahrazeny oxidačními a aerobními, snižuje tak množství organické hmoty. Dochází k vyplavování živin z půdního profilu do drenážních vod. Původní ekosystém získává odlišné parametry, a tak se mění i složení organismů. Biodiverzita lokality tím nemusí být zasažena. V širším kontextu se snižuje hodnota beta diverzity, společenstvo původního mokřadu se složením přibližuje okolním ekosystémům. Díky úzkému propojení všech složek systému dochází i k ovlivnění klimatu. Vědomosti nabyté při vypracování této práce by měly být využity při výzkumu vlivů drenáže v terénu na lokalitě u obce Senotín.

## **Abstract**

The aim of this thesis is to summarize the current knowledge about the changes of soil caused by the subsurface tile drainage. It also deals with a question of the influence on other parts which are closely connected, as water, atmosphere and organisms. Foreign and domestic literature suggests that tile drainage by accelerates discharge from the watershed decreases groundwater level and drainage water influences the quality of surface water. It also changes the structure of soil, mainly reducing and anaerobic processes are replaced by oxidative and aerobic ones and all these decrease the amount of soil organic matter. Leaching of nutrients is observed from soil to drainage water. Original ecosystem changes and the composition of organisms shifts as well. But the biodiversity of location does not have to be affected. However, a reducing value of betadiversity may appear in broader context, community composition of original wetland is getting closer to surrounding ecosystems eventually. Due to close connections of all parts of the system, an impact on climate can occur. Knowledge achieved during the development of this thesis should be used in the research about the impact of tile drainage near village Senotín.

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	7
<b>2. Srážkové a odtokové poměry a retence vody v povodí</b> .....	8
2.1 Hydrologické cykly, vstupy a výstupy ze systému.....	8
2.2 Hydrologická bilance pedosféry a klasifikace půd.....	13
2.3 Faktory ovlivňující odtok a důsledky jejich změn.....	14
<b>3. Meliorace</b> .....	17
3.1 Obecný popis .....	17
3.2 Příčiny odvodňování, technologie, metody .....	18
<b>4. Vliv odvodnění na fungování ekosystému</b> .....	19
4.1 Vliv na tok vody, hladinu podzemní vody .....	19
4.2 Vliv na fyzikální vlastnosti půdy .....	22
4.3 Vliv na toky živin a chemické vlastnosti půdy.....	24
4.4 Vliv na organismy a diverzitu .....	28
4.5 Vliv na klima .....	29
<b>5. Důvody, možnosti revitalizace</b> .....	31
5.1 Detekce drenážního systému pomocí DPZ a GIS .....	32
5.2 Retardace, eliminace odtoku, převod drenážních vod k závlaze .....	33
<b>6. Projekt Monitoring revitalizace odvodněných luk u Senotína</b> .....	35
6.1 Úvod .....	35
6.2 Lokalita .....	35
6.3 Přechozí výzkumy, revitalizace .....	36
6.4 Otázky.....	37
6.5 Hypotézy.....	38
6.6 Obnovení výzkumu, metodika.....	38
<b>7. Závěr</b> .....	39
<b>8. Seznam použité literatury</b> .....	40

# 1. Úvod

Již od dob neolitické revoluce je půda esenciální součástí lidské kultury. Člověk střední Evropy je na půdě víceméně závislý zhruba 6 až 7 tisíc let. Do druhé poloviny 18. století, doby počátku průmyslové revoluce, byla půda obdělávána převážně extenzivně. S nástupem nových pořádků, technologií a výkonných strojů však přichází intenzifikace celé škály pracovních úkonů, včetně těch v zemědělství (Sádlo et al. 2005).

Další změna přišla se změnou režimu v druhé polovině 20. století. V tomto období se zvýšila intenzita obdělávání polí, více se využívala krajina, docházelo ke scelování polí, rozorávání mezí, obdělávání i dříve extenzivně obhospodařovaných ploch a pole byla nadměrně hnojena. Rozorány byly louky ve vyšších polohách či s vyšším sklonem, prameniště, rašeliniště a bažiny (Sádlo et al. 2005).

Tomu však nutně předchází jejich odvodnění a zpřístupnění pro zemědělskou techniku. Povrchové odvodnění bylo součástí zemědělství na našem území již od středověku. Odvodnění podzemní drenáží se v Českých zemích pokusně využívalo již od poloviny 19. století. Tyto historické odvodňovací stavby však měly často charakter jednotlivých trativodů, odvodňujících prameny či zamokřená místa. Většího rozmachu dosáhly hydromeliorace po roce 1850, kdy byl v Třeboni postaven první lis na drenážní trubky v Rakousku-Uhersku. Jen několik let poté co J. R. Reed v Anglii zkonstruoval první lis na drenážní potrubí vůbec. Od 2. pol. 20. st. však odvodňování nabylo nevídaného rozsahu. Drenáže byly pokládány plošně do stromovité struktury na rozsáhlých pozemcích. Do dnešní doby je evidováno přes jeden milion hektaru pozemků odvodněných plošnou trubkovou drenáží (Vašků 2011). Ne vždy byl tento způsob odvodnění využit správně s ohledem na typ půdy a její vodní režim (Kuráž & Soukup 2004). Konečně, ve velkých rozlohách a v masovém využití, to ani nebylo možné, protože vlastnosti půdy se mohou měnit v řádu jednotlivých metrů. Dalším problémem může být to, že tehdejší odvodnění bylo projektováno pro potřeby určité zemědělské kultury, či přímo plodiny (Fídlér & Křovák 1981). V současných podmínkách tento předpoklad jistě nemůže být dodržen. Více než viditelnou těžkostí je neutěšený stav drenáží, způsobený především zanedbáním údržby. Dochází tak k bodovým či liovým vývěrům drenážních vod na povrch. Ty zapříčiňují soustředěný povrchový odtok, způsobující erozi půdy (Kulhavý et al. 2011a).

Toto dědictví, kromě výše uvedených zátěží, přináší i mnoho otázek. Jak drenáž mění atributy půdy? Při správném využití snižuje hladinu podzemní vody, zvyšuje infiltraci vody do půdy, tím snižuje povrchový odtok a na něj úzce vázanou erozi (Kuráž & Soukup 2004). Zvyšuje provzdušnění půdy, tím tvoří lepší podmínky pro formování půdních agregátů, což zlepšuje půdní strukturu a pórovitost (Montagne et al. 2009). Avšak zvýšená míra provzdušnění také zvyšuje dekompozici a tím zapříčiňuje úbytek organické hmoty v půdě, která je taktéž esenciální pro tvorbu půdních agregátů a zlepšování půdní struktury (Frouz et al. 2012b). Má tedy podzemní odvodnění spíše kladné nebo záporné dopady? Společně s těmito vlivy přichází i řada dalších, jako například změna odtokových poměrů z daného povodí či vyplavování živin z půdy do recipientu.

V konečném důsledku má odvodnění vliv i na teplotu půdy, teplotu vzduchu v její těsné blízkosti a také na transpiraci rostlin. Mají tyto změny dopad na lokální klimatické poměry (Eliáš et al. 2002)?

Odvodnění podporuje změnu využívání krajiny. Intenzivním obděláváním dříve téměř nevyužívaných ploch samozřejmě dochází k negativnímu ovlivnění, zde žijících, organismů a biodiverzity lokality (Frouz et al. 2012a).

Negativní účinek odvodnění může vést některé hospodáře k revitalizaci odvodněné plochy. Jaké jsou v tomto oboru možnosti a dají se účinky drenáže vůbec zvrátit?

## **2. Srážkové a odtokové poměry a retence vody v povodí**

### **2.1 Hydrologické cykly, vstupy a výstupy ze systému**

#### *2.1.1 Hydrologické cykly*

Jedná se o uzavřený systém, ve kterém voda střídá svá skupenství, a díky fyzikálním činitelům dochází k jejímu pohybu po Zemi. Kondenzací vodní páry v atmosféře vznikají srážky, které z atmosféry vypadávají v různých formách a doplňují tak zásoby vody na povrchu. Srážky mohou být na povrchu akumulovány v kapalně formě v depresích či v pevném stavu jako led nebo sníh. Tato akumulace zpomaluje odtok vody z povodí. Podobnou funkci má i půda, zde záleží na retenční schopnosti půdy. Část vody procházející půdou následně doplňuje zásoby podzemní vody. Vodní masa, která není zadržena žádnou z předešlých zásobáren, odtéká různými formami odtoku do vodního toku a s ním do oceánů. Ve všech



zmíněných součástech cyklu dochází k evaporaci vody, tedy vypařování, ať už z volné hladiny, půdy atp. (Obr.1)



Obr.1 Oběh vody (Wikimedia Commons 2006)

Jedním z nejdůležitějších přechodů skupenství vody je změna z kapalného skupenství na plynné. V tomto případě je nejdůležitějším zdrojem energie sluneční záření (Likens 2009). Zhruba 20–30 % z radiační bilance je spotřebováno na skupenské přechody vody z kapalné fáze do plynné, tzv. latentní teplo. Důvodem je vysoká hodnota měrného skupenského tepla výparu vody. Jedná se o množství tepla potřebného ke skupenskému přechodu jednotky hmotnosti vody, za předpokladu, že se nezmění její teplota. Určuje se k dané teplotě vody (Macková 2006). Asi z jedné čtvrtiny zprostředkovává tento skupenský přechod transpirace rostlin, ty fungují jako pumpy, čerpající vodu z půdy do ovzduší (Netopil 1972).

Rozlišujeme dva modelové příklady koloběhu vody, tzv. velký, kde jsou vodní páry, vypařené z oceánu, přeneseny nad pevninu (asi 8,1%), kde kondenzují a vrací se na povrch ve formě srážek. (Netopil 1972) Na tomto oběhu vody se podílí jen nepatrná část celkových zásob na Zemi, což ale neubírá celému systému na důležitosti (Dub 1963).

Malý cyklus vody je principiálně velmi podobný velkému (Obr.1), ale pohyb vodních par se omezuje na místo jejich vzniku. Evaporace z oceánu tedy končí precipitací nad oceány. Stejný princip se odehrává nad pevninou, kde se může navíc jednat o bezodtokou oblast. Veškeré srážky jsou zde buď dočasně akumulovány, nebo dochází k jejich evaporaci či transpiraci rostlinami. Odtok do oceánů z bezodtoké oblasti není umožněn (Netopil 1972).

### *2.1.2 Srážky*

Srážky lze rozdělit na horizontální, tedy ty vznikající blízko povrchu země a na objektech, snížením teploty pod teplotu rosného bodu. Jedná se o rosu, jinovatku atd.. Druhým typem srážek jsou srážky vertikální vznikající vpadáváním z volné atmosféry, déšť, kroupy a sníh. Základem pro vznik vertikálních srážek je pokles teploty vzduchu na rosný bod a přítomnost tzv. kondenzačních jader. Jsou to drobné prachové částice, různého původu, které umožňují nárůst kapky do dostatečné velikosti a váhy, aby síla gravitace překonala vzestupné proudění vzduchu (Bednář 2003). Srážky vertikálního charakteru mají výraznější podíl na přítomnosti vody na povrchu země a jsou určující silou pro odtok vody a zásoby vody v povodí (Dub 1963).

Pro měření množství srážek, se využívá srážkoměrů. Jedná se o zařízení kruhového půdorysu, umístěné na volné prostranství, které zachytává vertikální srážky. Množství srážek se pak udává, jako výška v milimetrech, kterou by vytvořily vertikální srážky po dopadu na hladkou, nepropustnou a vodorovnou plochu bez odtoku a výparu. Jeden milimetr srážek znamená srážku o objemu jednoho litru rozprostřenou na jeden metr čtvereční. U pevných srážek je množství odečteno po převodu na kapalnou fázi (Dub 1963).

### *2.1.3 Evapotranspirace*

Evapotranspirace zajišťuje přechod vody mezi povrchem a atmosférou. Skládá se ze dvou složek a to evaporace, což je odpar vody z půdy, povrchu rostlin a vodních ploch. A dále transpirace rostlin, které svými průduchy uvolňují molekuly vody. Tímto způsobem se rostliny ochlazují a zbavují se přebytečné vody (Likens 2009). Na transpiraci je využito až 95 % vody, kterou rostlina přijme. Běžné kulturní plodiny potřebují k vytvoření jednoho kilogramu sušiny 200–900 kg vody (Kutílek et al. 1993). Z důvodu závislosti na mnoha faktorech (teplota,

vlhkost, pohyb a tlak vzduchu, intenzita slunečního záření, druh a stav vegetace a další) jsou měření evapotranspirace jen velmi obtížná, a proto se často přistupuje k prostému určení evapotranspirace jako rozdílu mezi srážkami a odtokem. Při zohlednění změny zásob vody v povodí. (Dub 1963; Likens 2009).

#### *2.1.4 Odtok*

Po precipitaci srážek je voda částečně a dočasně zadržena na vegetaci. Část vody ze srážek je zachycena v této nádrži a zpomaluje se tak postup vody hydrologickým cyklem (Jeníček 2013). Zbytek se dostává na povrch, kde dochází k infiltraci vody do půdy a jejímu podpovrchovému proudění. V místech s vysokým nasycením či lokalitách s nepropustným povrchem přechází podpovrchový odtok v povrchový nebo je voda zadržena v depresích, vodních nádržích či mokřadech (Likens 2009).

#### **- Povrchový odtok**

Jedná se o vodu, která se neinfiltrovala do půdy. K povrchovému odtoku může dojít dvěma způsoby, vysvětlenými níže. Část vody zůstává zachycena v depresích a nádržích (Šulcová 2008).

#### **Hortonovský odtok**

Vzniká v místech, kde intenzita srážek přesáhne infiltrační kapacitu půdy. Na povrchu půdy se vytvoří vrstva vody a gravitačním působením dochází k odtoku vody po svahu. Voda se zadržuje v depresích či se stéká do stružek. Tento model je možno použít v místech s vysokými objemy srážek, aridních oblastech a v oblastech s nízkou mocností půdy, která tak zákonitě nemá dostatečnou infiltrační kapacitu (Šulcová 2008).

#### **Nehortonovský odtok ze saturace**

Vznik povrchového odtoku závisí na vlhkosti půdy před srážkovou epizodou. Hlavním procesem je zde podpovrchový odtok půdou. S přibývajícimi srážkami se ve svahu podél toku, případně okolo depresí naplněných vodou nachází půda, která je již vodou nasycená. Pokud srážky dopadají na tyto oblasti, dochází přímo k povrchovému odtoku. Tato nasycená zóna se, s narůstajícím množstvím srážek, rozšiřuje dále do svahu. Nasycená zóna také svým postupem vzhůru

po svahu vytlačuje podpovrchový odtok zpět na povrch, tzv. return flow. Po skončení srážkové epizody rychle opadá povrchový odtok. Oproti tomu jen velmi pomalu opadá odtok podpovrchový, který se dále mění a ustaluje (Šulcová 2008).

#### - Podpovrchový odtok

Složky odtoku z povodí se rozdělují na základní odtok, tzv. baseflow, což je odtok podzemní vody. Dále odtok hypodermický tzv. interflow – poměrně rychlý podpovrchový odtok preferenčními cestami a makropóry a konečně nasycený povrchový odtok, který vzniká v místech, kde je snižena možnost infiltrace vody (Šulcová 2008).

#### **Půdní voda**

Srážky se do půdy infiltrují především tzv. preferenčními cestami, tedy většími spárami a póry, které jsou zpravidla vytvořeny půdními organismy nebo puklinami ve struktuře půdy. Ve vrchní vrstvě půdy se vytváří nenasyčená zóna (zóna aerace), kde volné prostory v půdě nejsou zcela vyplněny vodou, ale obsahují i různé směsi plynů (půdní vzduch). Voda ve větších pórech je tzv. gravitační, není vázána žádnými silami a může se tak vlivem gravitace pohybovat (Brady & Weil 2007).

V pórech o menším průměru se začínají uplatňovat další síly, tzv. kapilární voda je zde držena adhezí a kohezí, může vzlínat směrem k povrchu a je hůře dostupná pro rostliny.

Voda adsorpční je pevně vázána na částice půdy adsorpčními a osmotickými silami. Tato voda není dostupná pro rostliny a v kapalně formě je nepohyblivá (Brady & Weil 2007).

Na nenasyčenou zónu neostře navazuje hladina podzemní vody, pod kterou se nachází tzv. zvođeň, kde je půda plně nasycena vodou. Hloubka pod povrchem, kde již můžeme najít hladinu podzemní vody, je závislá na zásobě vody v povodí a také na mocnosti půdy nad nepropustnou vrstvou. Při zvýšení hladiny podzemní vody nad určitou mez dochází k základnímu podpovrchovému odtoku, který vyrovnává hladinu podzemní vody v ploše, sytí vodní toky a případně se může vracet zpět na povrch, kde vyvěrá v podobě pramenů (Likens 2009).

## **Půdní hydrolimity**

Půdní hydrolimity se používají pro kvalitativní charakteristiku půd, podle vzájemného vztahu s půdní vodou. Kromě vztahu půdy s vodou je podstatný i vztah půdní vody a rostlin (Brady & Weil 2007).

### **- Maximální retenční vodní kapacita**

Tohoto stavu je dosaženo, když jsou všechny půdní póry naplněny vodou, půda je tzv. saturovaná vodou. Proto je někdy také označována jako maximální polní kapacita. Tento stav trvá jen krátce, než voda z místa nasycení odeče, přesto dobře popisuje kolik vody je půda schopna na daném území krátkodobě pojmout a zpomalit tak odtok vody z povodí (Pokorný et al. 2007).

### **- Polní vodní kapacita**

Poté co voda z větších makropórů odeče, vlivem gravitační síly, do méně vlhkých míst, zůstane v půdě voda držená v kapilárních pórech. Tato voda je stále dostupná pro rostliny. Polní vodní kapacita je stav, při kterém je v půdě nejvyšší podíl vody, která je optimální pro růst rostlin. Při vyšším nasycení půdy vodou dochází ke sníženému provzdušnění půdy, které je nepříznivé pro růst většiny rostlin. Při této míře vlhkosti půda drží svoji drobnou strukturu, při překročení polní vodní kapacity je vyšší riziko, že se půda při manipulaci stane blátivou. Polní vodní kapacita je tedy horní hranicí pro ideální podmínky k obdělávání či jinému nakládání s půdou (Brady & Weil 2007).

### **- Bod vadnutí**

Kapilární voda je poměrně rychle vyčerpána rostlinami a v případě, že není doplněna srážkami či zavlažováním, dochází ke snížení na minimální mez tzv. fyziologicky využitelné vody. Za tohoto stavu je zbylá voda již velmi silně držena na povrchu částic a rostliny ji mohou využít jen obtížně. Důsledkem je vadnutí rostlin (Kutílek et al. 1993).

## **2.2 Hydrologická bilance pedosféry a klasifikace půd**

Za předpokladu, že se objem vody v hydrosféře nemění, můžeme součtem všech výše zmíněných složek získat hrubé obrysy popisující pohyby vody půdou v konkrétním povodí za určité časové období.

$$H_Z + H_S + H_P + H_K = H_E + H_T + H_O + H_N$$

kde:  $H_Z$  je objem zásob v půdě na začátku bilančního období,  $H_S$  je objem srážek,  $H_P$  je objem povrchového a podpovrchového přítoku do půdy,  $H_K$  je objem kondenzované vody,  $H_E$  je objem výparu,  $H_T$  je objem vody transpirované rostlinami z půdy,  $H_O$  je objem povrchového a podpovrchového odtoku z půdy a  $H_N$  je objem zásob vody v půdě na konci bilančního období (Likens 2009).

Z hlediska pedologie lze na základě hydrologické bilance odvodit tzv. základní typy vodního režimu půd:

*Promyvný* – celý půdní profil je několikrát ročně provlhčen

*Periodicky promyvný* – půdní profil není provlhčen každoročně

*Nepromyvný* – půdní profil není provlhčen celý

*Výparný* – půdní profil je zvlhčován vztlínáním podzemní vody, převládá tedy vzestupný pohyb vody nad sestupným,

*Závlahový* – půda je sycena zavlažováním

*Nivní* – půdní profil je plně sycen cizí vodou

*Mokřadní* – půdní profil je téměř trvale nasycen, voda dosahuje povrchu půdy (Abdujev 2012)

## 2.3 Faktory ovlivňující odtok a důsledky jejich změn

Dobrou představu o stavu odtoku z povodí získáme při sestavení bilanční rovnice pro dané povodí. V reálném čase je patrné, jak odtok vody z povodí reaguje na přísun srážek. Zvláště dobře tento vztah ukazuje rychlost odtoku vody z povodí, míru infiltrace vody do půdy, stav nasycení kolektorů podzemní vody či míru evapotranspirace. Existuje mnoho faktorů, které urychlují nebo zpomalují odtok vody po precipitaci.

### 2.3.1 Intercepce srážek

Před samotným dosažením povrchu země srážky nejprve dopadají na povrch vegetace a objektů. Zde jsou srážky na určitou dobu zadrženy. V případě lesa je míra této tzv. intercepce 10 – 50 %. To znamená, že až polovina srážek je zachycena vegetací. Intercepce je rezervoárem, který zpomaluje odtok vody.

Část vody zadržené vegetací se, buď okamžitě, nebo až po skončení srážkové epizody vypařuje zpět do atmosféry. Část postupně padá na zem pod vegetaci nebo stéká po kmeni (Klaassen et al. 1998). Kromě této retenční schopnosti, intercepce také snižuje sílu, kterou dopadají vodní kapky na povrch půdy. Brání tak rozrušování povrchu půdy a v konečném důsledku snižuje míru eroze půdy (Tsiko et al. 2012). Ke snižování retenční schopnosti intercepce přispívá odlesňování.

### 2.3.2 Morfologie terénu

Morfologií terénu v tomto případě myslíme především svažitosť terénu a drsnost povrchu. Tedy faktory mající vliv především na povrchový odtok vody. S rostoucí svažitosťou roste rychlost odtoku a zvyšuje se síla vody. Stejný dopad má i snižování, již zmíněné, drsnosti povrchu. Důsledkem urychlení povrchového odtoku je eroze. Pro popis síly eroze půdy v povodí se využívá tzv. modelu USLE (Universal Soil Loss Equation) podle Wischmeiera & Smithe (1978). Jejich rovnice shrnuje faktory ovlivňující povrchový odtok na základě morfologie povrchu. Pro popis situace v povodí provádí výpočet hmotnosti půdy smyté z jednotky plochy povodí za rok. Tuto průměrnou hmotnost získáme součinem šesti faktorů (Fidler & Křovák 1981).

$$G = R * K * L * S * C * P$$

Kde je:

R...faktor erozního účinku deště z povrchového odtoku

K...faktor náchylnosti půdy k erozi

L...faktor nepřerušené délky svahu

S...faktor sklonu svahu

C...faktor vegetačního krytu

P...faktor účinnosti protierozních opatření

(Fidler & Křovák 1981)

Faktor R závisí na množství i momentální intenzitě deště, faktor K je stanovený podle BPEJ (bonitovaná půdně ekologická jednotka) (Wischmeier & Smith 1978) a závisí na zrnitostním složení půdy, obsahu organické hmoty, struktuře půdy a propustnosti půdního profilu. Hodnota součinu faktorů L a S, počítaná dohromady závisí na délce nepřerušovaného svahu a procentním

sklonu svahu. Faktor C je vyjádřen poměrem smyvu půdy z plochy s určitým rostlinným pokryvem vůči smyvu půdy, ze stejné plochy, bez pozitivního efektu rostlin za stejných podmínek. Hodnoty faktoru P jsou tabelovány podle hodnoty sklonu svahu, který ovlivňuje tento faktor. Mezi protierozní opatření v zemědělství patří obdělávání po vrstevnicích, pásové pěstování plodin či zřizování terénních průlehů a mezí (Fídlér & Křovák 1981).

V předešlé rovnici byl představen vliv rostlinného pokryvu na erozní činnost vody. Rostliny v otázce odtoku vody z povodí hrají i další role. Významným fenoménem je již zmíněná transpirace rostlin, která část vody ze srážek vrátí zpět do atmosféry. Rostliny v povodí ochlazují povrch, čímž mimo jiné snižují evaporaci z půdy (Eliáš et al. 2002).

### *2.3.3 Morfologie toku*

Koryto toku, které je v přírodě blízkém stavu, zahrnuje říční meandry, slepá ramena, tůň. Tyto prvky zvyšují objem vody, kterou je tok schopný v případě potřeby pojmout. Zahloubení toku přerušuje kontakt s nivou a možnost rozlivu. Napřímení vodního toku snižuje objem a zároveň urychluje odtok vody korytem (Langhammer 2012).

### *2.3.4 Retenční schopnost půdy*

Tuto vlastnost popisuje tzv. maximální retenční vodní kapacita, jež byla vysvětlena výše. Ve své podstatě se rovná celkové pórovitosti půdy. Kladnými jevy v půdě tak jsou například tvorba půdních agregátů a činnost edafonu. Hodnota maximální retenční kapacity je dále závislá na hloubce půdního profilu, obsahu vody v půdě přítomné, zohledňují se fyzikální, chemické a morfologické charakteristiky půd (Brady & Weil 2007).

### *2.3.5 Antropogenní vlivy*

Většina z výše zmíněných faktorů byla v minulých letech a i nyní je stále měněna člověkem podle jeho potřeb. Bohužel většina těchto změn přináší jen krátkodobý užitek nebo v horším případě vede ke zhoršení ekologického stavu a ztrátě schopnosti poskytovat ekologické služby. Téměř všechny faktory zařazené ve výpočtu intenzity eroze byly negativně ovlivněny člověkem. Mnohá opatření má na svědomí zemědělství a vodohospodářská činnost. Tyto obory postupovaly



společně a měnily krajinu. Jen pro představu: scelování polí, tedy zvyšování nepřerušené délky svahu, degradace půd intenzivním zemědělstvím, tedy zvyšování faktoru náchylnosti půdy k erozi, napřimování a dláždění vodních toků, tedy snižování hydraulické drsnosti koryta, zvýšení rychlosti proudění vody v toku a v konečném důsledku zvyšování rizika při povodňových událostech (Langhammer 2012), dále zavádění odvodňovacích drenáží, které urychlují odtok především podzemních vod z povodí.

### **3. Meliorace**

#### **3.1 Obecný popis**

Z hlediska etymologie toto slovo vyjadřuje proces zlepšení stavu (Rejzek 2001). V našem českém prostředí se toto slovo ujalo pro popis zlepšování funkcí krajiny, a to nejintenzivněji využívaných částí, tedy lesa a zemědělské půdy. V nejširším slova smyslu se jednalo o širokou paletu zúrodňovacích, kulturně technických a vodohospodářských úprav. Pod tento pojem byla zahrnuta protierozní opatření ve formě vytváření terasovitých polí v kopcovité krajině, stabilizace strží, účelové výsadby dřevin. Vodohospodářským opatřením dominovalo rybníkářství, povrchové i podpovrchové odvodňování, zavlažování a hrazení bystřin. K technickým a účelovým úpravám pak patřilo budování polních cest nebo rekultivace po těžbě. Tato a mnohá další opatření měnila tvář krajiny (Vašků 2011).

V druhé polovině 20. století začala většina těchto opatření ustupovat z povědomí společnosti a do praxe přicházel nový, výrazně užší, význam slova meliorace. Ten se již tolik neopíral o etymologický základ slova a podlehl tehdejší ideologii. Meliorační opatření nabylo významu nástroje k razantní intenzifikaci zemědělství. Mezi nejrozsáhlejší zásahy do krajiny v tomto odvětví patří kategorie tzv. hydromelioračních úprav, tedy opatření, která mění vodní režim plochy (Vašků 2011). Do seznamu těchto zpravidla vodohospodářských, technicky řešených opatření patří plošné odvodňovací drenáže a úprava malých vodních toků (Fidler & Křovák 1981).

### 3.2 Příčiny odvodňování, technologie, metody

Úrodné a dobře dostupné plochy zemědělské půdy byly obdělávány od nepaměti poměrně intenzivně. Méně úrodné půdy či plochy špatně dostupné technikou, využívané do té doby spíše extenzivně například jako pastviny, louky atd., pocítily velmi citelný zásah. V zájmu zajištění potravinové soběstačnosti státu došlo, i na těchto méně úrodných plochách, dnes například spadajících pod definici LFA, (Less Favoured Areas) (OECD 2002), k zúrodnění výše zmíněnými typy meliorací. Zamokřené plochy byly odvodněny plošnou nebo bodovou drenáží (přes 1 mil. ha evidovaných a až 450 000 ha mimo evidenci). Louky a pastviny (270 000 ha), meze (145 000 ha) a remízy (35 000 ha) byly rozorány (Vašků 2011) a přirozená koryta drobných vodních toků byla usměrněna do betonových koryt či trubek napřímených po nejkratších cestách krajinou. Říční síť byla tímto zásahem ve 20. století výrazně zkrácena (Langhammer 2012). Vše se tedy připravovalo na jednoduché intenzivní a velkoplošné využívání krajiny.

Technologie i metodika byla velmi pečlivě připravena. Samotný projekt odvodnění určité plochy měl podléhat několika stupňům plánování, schvalování a kontroly. V celém procesu se dokonce nezapomínalo na hodnocení vlivu stavby na okolní prostředí. Systém byl projektován podle potřeb převážně pěstované plodiny (Fídlér & Křovák 1981).

I přes všechny kontrolní mechanismy a kvanta vydané literatury na toto téma, probíhaly samotné realizace drenážních systémů velmi rychle a z dnešního pohledu neodborně či nadbytečně (Kuráž & Soukup 2004). Neodlučitelná složka projektu, tedy monitoring stavu po realizaci a velmi potřebná údržba odvodňovací sítě, nebyla důsledně dodržována, a tak mnohé systémy trpěly a trpí problémy (Kulhavý et al. 2011a). Vedla k tomu i určitá ideologická glorifikace meliorací, jako univerzálně účinného nástroje zvyšování zemědělské produkce (Vašků 2011).

Základním prvkem hydromeliorací je tzv. podrobné odvodňovací zařízení, sestávající z plošné stromovité struktury trubek z pálené hlíny, kterou dnes začíná nahrazovat perforovaný plast. Další možností jsou otevřené odvodňovací příkopy. Trubková drenáž byla využívána také pro odvodnění bodových vývěrů (pramenů) a zamokřených depresí. Při zamokření málo propustných půd se někdy přistupovalo i k dvouetážové drenáži. Další neodmyslitelnou součástí je tzv. hlavní odvodňovací zařízení, tedy úprava malých vodních toků a tvorba retenčních nádrží. Úprava

malých vodních toků spočívala v napřímení a zpevnění dna i břehů (Fidler & Křovák 1981).

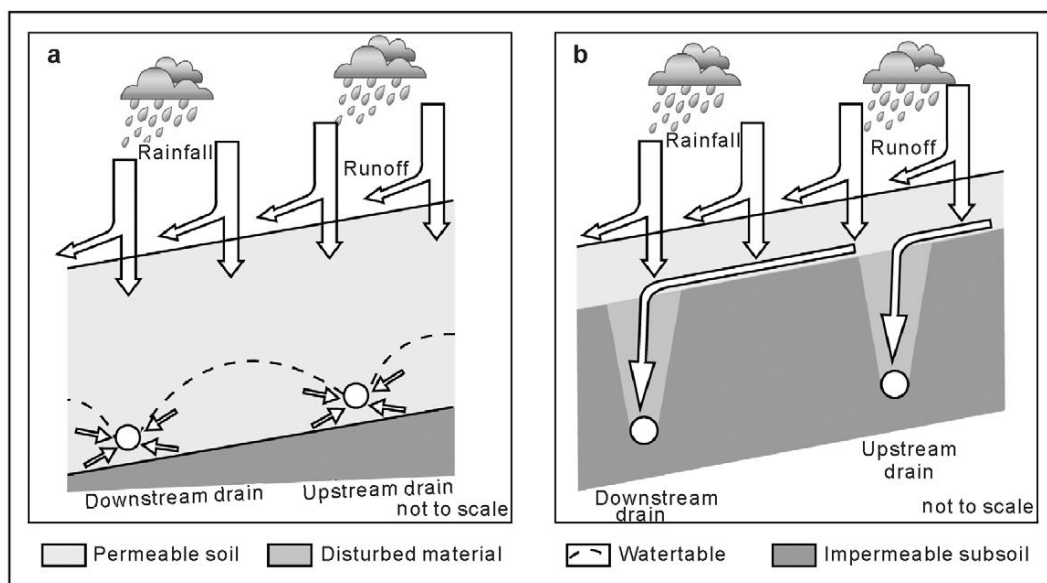
## **4. Vliv odvodnění na fungování ekosystému**

### **4.1 Vliv na tok vody, hladinu podzemní vody**

Hydromeliorační opatření jsou významným činitelem, který mění vodní režim lokality. Odvodněním zamokřené půdy se sníží hladina podzemní vody a změní se směr proudění vody půdou. V neodvodněné půdě voda následuje gravitační spád a její tok je ovlivňován především preferenčními cestami a nepropustným podložím. Pokud je drenáž uložena nad nepropustnou vrstvou půdy či horninovým podložím, pak voda nejprve prochází půdou vertikálně směrem k hladině podzemní vody, ta se vlivem drenáže deformuje, viz Obr. 2. Pokud byla drenáž uložena až do profilu nepropustné vrstvy, potom voda proudí vertikálně až k nepropustné vrstvě, kde je její cesta usměrněna touto nepropustnou vrstvou, a gravitačně svedena k nejbližšímu drénu (Montagne et al. 2009).

Tok vody půdou také závisí na poloze hladiny podzemní vody vůči drenážnímu potrubí. Během na srážky méně bohatého období v půdách s příznivou strukturou dochází ke snížení hladiny podzemní vody pod úroveň potrubí. Drenážní odtok je tak zastaven a srážky odtékají preferenčními cestami k hladině podzemní vody. Drenážní odtok je opět obnoven ve chvíli, kdy hladina podzemní vody dosáhne úrovně drenážního potrubí (Jacobsen & Kjaer 2007).

Významným fenoménem je zvýšená infiltrace na tzv. drenážní rýze. Jde o místo, kde bylo výkopovou technologií uloženo drenážní potrubí. Vrstva půdy nad potrubím byla promíchána v celém horizontu. Tento efekt podpořen přítomností potrubí snižuje objemovou hmotnost, tím zlepšuje půdní strukturu a zvyšuje infiltraci (Kuráž & Soukup 2004; Tlapáková et al. 2004; Jacobsen & Kjaer 2007)



Obr.2 Změna podpovrchového odtoku vlivem drenáže nad nepropustnou vrstvou (vlevo) a pod hranicí nepropustné vrstvy (vpravo) (Montagne et al. 2009)

Drenáž zvyšuje hydraulickou vodivost (Kuráž & Soukup 2004), snižuje dobu zdržení vody v půdě až o polovinu (Schilling et al. 2012), tím zvyšuje provzdušnění, snižuje povrchový odtok o 34 – 55 % a zvyšuje množství vsakované vody a vody odváděné z půdy do recipientu (Montagne et al. 2009). Zavedením drenážního systému je celoročně zvýšen základní odtok z podzemní vody do recipientu (Schilling et al. 2012). Sezónně je zvýšený odtok v srážkově bohatých obdobích a při tání sněhu, jde především o jaro až brzké léto (Schilling & Helmers 2008).

Během přívalových dešťů s krátkým trváním je základní odtok podzemní vody vytlačován přitékající vodou na povrch, kde tvoří složku povrchového odtoku. Tato část podzemní vody odnáší látky z půdy na povrch a do recipientu (Vidon & Cuadra 2010). Kliment & Matoušková (2009) zaznamenali zvýšený odtok z horních toků v době největšího budování odvodňovacích systémů. Tento efekt urychluje a zároveň zvyšuje odtok vody z krajiny a může tak mít negativní dopady v podobě povodní.

Modelování povodňových událostí ale ukázalo, že tyto úpravy v krajině mají vliv především na povodně s kratší dobou opakování. U extrémnějších povodní s delší dobou opakování přestávají mít tato opatření zásadnější dopad na odtok vody (Langhammer 2012).

Odvodnění plochy drenážním systémem snižuje průsak infiltrované vody do podzemní vody, může tak ovlivnit hladinu podzemní vody v oblastech vodohospodářského zájmu (Kuráž & Soukup 2004).

Pozitivní vlivy na vodní režim půdy, které odvodnění přináší, jsou podmíněny správnou diagnostikou a provedením. V našich podmínkách byly odvodněny půdy silně ovlivněné hydromorfními půdotvornými procesy. Jedná se tedy o půdní typ glej. Ten je specifický zrašeliněným horizontem, obsahujícím zvýšené množství organické hmoty, a výrazným reduktomorfním glejovým horizontem, který vzniká v důsledku dlouhodobého provlhčení podzemní vodou (Kuráž & Soukup 2004).

Odvodněním zamokřené či zaplavované půdy je umožněno střídavé vysychání a opětovné zvlhčování půdy, které má pozitivní vliv na tvorbu půdních agregátů a pórů. Touto formou je zvyšována schopnost infiltrace a retence vody (Montagne et al. 2009). Pro vznik půdních agregátů je však neméně důležitá přítomnost organické hmoty v půdě. Její obsah se po odvodnění snižuje. Voda v pórech je nahrazena vzduchem. Oxidace organické hmoty a její rozklad na anorganické látky a plyny je tak, oproti zavodněnému anaerobnímu prostředí, usnadněn (Furukawa et al. 2008; Fennessy & Craft 2011; Clarkson et al. 2013; Guo et al. 2013). Proto některé výzkumy přisuzují vlivu odvodnění na schopnost infiltrace, retence a snižování povrchového odtoku negativní vlastnosti (David et al. 2000; Abid & Lal 2009; Frouz et al. 2012b; ). Nastává tedy spor, jaký vliv mají hydromeliorace na vodní režim půdy.

Klíč k řešení sporu může být skryt v pochopení negativních důsledků odvodnění semihydromorfních a těžkých půd.

Semihydromorfní půdy, tedy typy pseudogleje a stagnogleje, se vyznačují mramorovaným redoximorfním horizontem, kde vlivem střídání převlhčení a vysoušení, tedy střídání reduktivních a oxidativních podmínek, vznikají sraženiny železa a manganu. Snížená hydraulická vodivost těchto typů půd způsobuje sezónní periodické zamokření díky vysokým srážkám. V jarních měsících byl znemožněn přístup těžké techniky na tyto plochy, to vedlo k zavádění plošného odvodnění (Kuráž & Soukup 2004).

Odvodnění těžkých půd sice přináší snížení hladiny podzemní vody, ale vlhkost půdy se významně nesníží díky stále silnému kapilárnímu výstupu vody do vrchních horizontů. Výchozí stav je tak určující pro výslednou výšku hladiny podzemní vody po odvodnění (Kuráž & Soukup 2004).

Pozitivní vliv, pokud nastal, tak míval pouze krátkého trvání. Hydraulická vodivost byla zvýšena v místech výkopu příkopů pro uložení drenáže, díky promíchání půdy. Výkopové rýhy po určitou dobu zajišťovaly pozitivní výsledky a umožnily vjezd zemědělské techniky na plochy. Docházelo k druhotnému zhutnění půdy a díky intenzivnímu obdělávání i k další degradaci struktury půdy a opětovnému zhoršení vlhkostních podmínek (Kuráž & Soukup 2004).

Závěry uvedené výše byly stanoveny na základě výzkumů zemědělských půd. Zajímavým zjištěním je průzkum, který ukazuje roli rašelinišť na odtokové poměry v povodí. Původně logická „houbová teorie“, popisující rašeliniště, jako místo, které v případě nadbytku vodu poutá a v případě nedostatku vodu poskytuje, byla překonána. Ukazuje se, že rašeliniště nejsou tak účinná, jak se předpokládalo. Voda je v rašeliništích držena pevně a odtok v sušších dobách je malý, nevznikne tak ani významně velké místo pro infiltraci vody v dobách na srážky bohatších. Po doplnění kapacity nastává odtok, který není výskytem rašeliniště téměř ovlivněn (Janský 2002).

Nutno však počítat se zvýšenou evapotranspirací v místě mokřadu, která ovlivňuje tok vody ekosystémem (Fennessy & Craft 2011). V dnešní době jsou rašeliniště zachovávána pro vysokou ekologickou hodnotu (Janský 2002) a postupně se zvyšuje i povědomí o jejich vlivu na místní klima (Eliáš et al. 2002).

#### 4.2 Vliv na fyzikální vlastnosti půdy

Po dobře uváženém a provedeném odvodnění hydromorfních půd dochází k nastartování oxidativních procesů – srážení železa, manganu, zrychlení rozkladu organických látek – přeměny fulvokyselin v huminové kyseliny, které jsou nerozpustné ve vodě, vysychání půdy a opětovnému zvlhčování srážkami. Všechny tyto prvky umožňují tvorbu půdních agregátů a zlepšují tak strukturu půdy (Kuráž & Soukup 2004). Současně se snižuje objemová hmotnost půdy (Bucur & Moca 2012), zvyšuje se pórovitost, zlepšuje se retence vody v půdě (Montagne et al. 2009).

Zvýšením intenzity rozkladu půda ztrácí půdní organickou hmotu, která zlepšuje vlastnosti půdy, co se týče její struktury. Ruark et al. (2004) popisuje vyplavování rozpuštěného uhlíku z půdního profilu díky zvýšenému průtoku vody půdou. Tyto ztráty považuje za téměř zanedbatelné oproti ztrátám uhlíku

z biochemických procesů v plynné formě. Naopak Guo et al. (2013) přisuzuje vyplavování rozpuštěného organického uhlíku větší dopad než jeho emise do atmosféry z mikrobiálních procesů.

Některé práce ukazují výrazně negativní vliv odvodnění na strukturu půdy. Významným činitelem je v tomto ohledu intenzita hospodaření na odvodněné ploše. Orba zvyšuje degradaci organické hmoty v půdě (Bucur & Moca 2012), pojezd techniky ohrožuje půdní strukturu (Abid & Lal 2008; Bucur & Moca 2012), nahrazení hnojení organickou hmotou chemickými hnojivy podíl organické hmoty v půdě přímo nezvyší. Vlivem těchto negativních jevů, a také odvodněním výše zmíněných semihydromorfních půd, dochází k značně negativním dopadům na fyzikální vlastnosti odvodněné plochy (Kuráž & Soukup 2004).

Teplota půdy je další z vlastností, které odvodnění ovlivňuje. Voda má totiž vyšší tepelnou kapacitu, než minerální látky v půdě. Znamená to, že ohřát zamokřenou půdu vyžaduje více tepla, než ohřát půdu s nižší vlhkostí. Voda se vyznačuje i vysokou tepelnou setrvačností, získané teplo voda udrží lépe, než by ho zadržovaly minerální látky v půdě. Výsledkem jsou, oproti teplotě vzduchu, nižší teploty půdy v létě a vyšší teploty půdy v zimě. Akumulace tepla ve vodě tak vyrovnává rozdíly oproti teplotě vzduchu. Odvodnění zvyšuje, obzvláště na jaře a v létě, teplotu půdy, tím by se měly zlepšit podmínky pro klíčení a růst plodin. Některé práce ovšem ukazují, že největší oteplení půdy, odvodněné oproti zamokřené, nastává mezi květnem a červencem a v hloubkách od 30 do 60 cm, což je období, kdy je plodina již naklíčená a hloubka, která je pro rozvoj kořenů některých plodin nedůležitá. Hospodářský význam tak není jasně potvrzen (Jin et al. 2008).

Z nastíněného mechanismu udržování stabilní teploty půdy je patrné, že odvodnění může tento mechanismus porušit. Dochází k přehřívání povrchu v letních měsících a naopak k nadměrnému promrzání půdy v zimě. Tato rozkolísanost teplot má negativní vliv, jak na fyzikálně chemické vlastnosti půdy, tak na půdní organismy.

## 4.3 Vliv na toky živin a chemické vlastnosti půdy

### 4.3.1 Toky živin

#### **Cyklus uhlíku**

Uhlík je do organických sloučenin vázán energií slunečního záření v procesu fotosyntézy z oxidu uhličitého. Je tak akumulován do těl rostlin. Po odumření rostlinné, případně živočišné biomasy dochází k jejímu rozkladu. Organické sloučeniny jsou štěpeny a rozkládány. Tento rozklad může probíhat mnoha různými cestami v závislosti na dostupnosti kyslíku. V aerobním prostředí je organická sloučenina, za zisku energie, postupně enzymaticky štěpena až na oxid uhličitý, vodu a další látky (Šimek 2008b; Guo et al. 2013).

V anaerobním prostředí probíhá dekompozice pomaleji (Furukawa et al. 2008; Sierra et al. 2011; Clarkson et al. 2013; Guo et al. 2013;). Zprostředkovávají ji především metanogenní bakterie. Produkty anaerobního štěpení mohou být organické látky v různém stupni rozkladu, například organické kyseliny, alkoholy. Konečným produktem může být opět oxid uhličitý, ale především je jím metan (Brady & Weil 2007).

Důležitým úložištěm uhlíku, kromě oceánů a atmosféry je právě půda. V půdě se akumuluje asi dvojnásobek uhlíku oproti součtu jeho množství v atmosféře a rostlinné biomase. Mokřady a rašeliniště uchovávají v organické hmotě celosvětově 16–33 % veškerého půdního uhlíku (Fennessy & Craft 2011). Rostlinná biomasa je mimo jiné tvořena řadou organických sloučenin, které jsou různě odolné vůči dekompozici. Rozklad až na oxid uhličitý a vodu je nejrychlejší u jednoduchých cukrů a škrobů. Jak roste komplexita organických sloučenin, roste i čas a množství energie potřebné k jejich rozkladu. Jedny z nejhůře rozložitelných sloučenin jsou celulóza a lignin (Šimek 2008b).

Kromě samotné dekompozice, vedoucí k mineralizaci, probíhá v půdě i humifikace. Je to proces, při kterém je mrtvá biomasa rozložena jen částečně. Vzniklé metabolity se za dalšího působení mikroorganismů kondenzují a polymerizují v nové organické sloučeniny, odolné vůči rozkladu. Vznikají tak vysokomolekulární polycyklické sloučeniny, které kromě zmiňovaného uhlíku obsahují i další důležité prvky, jako například dusík. Tyto jsou postupně dále rozkládány až na oxid uhličitý, či jsou z nich syntetizovány další látky. Souborně se jedná o humusové látky či humus. Mezi tyto látky patří huminové kyseliny, fulvokyseliny, soli humusových kyselin, huminy a humusové uhlí



(Kutílek et al. 1993). Důležitou vlastností je odolnost těchto látek vůči rozkladu. Díky tomu jsou živiny uvolňovány a dodávány do prostředí postupně. Kromě toho mají tyto látky pozitivní vliv na strukturu půdy, sorpci látek a další ukazatele (Brady & Weil 2007).

Kromě míry aerace a komplexity sloučeniny, ovlivňují míru dekompozice i další faktory, jako například teplota, pH, vlhkost. Speciálním druhem humifikace je rašelinění, které probíhá na velmi zamokřených půdách. Díky vysoké vlhkosti a tím pádem nízkému přístupu kyslíku k organické hmotě v půdě, dochází k tvorbě vrstvy jen málo rozložených rostlinných zbytků na povrchu půdy – rašeliny. Přírůstek organické hmoty je v tomto případě vyšší, než její ztráty způsobené přeměnou organické hmoty rašeliněním ( Fennessy & Craft 2011; Sierra et al. 2011; Clarkson et al. 2013; Guo et al. 2013;). Rašelinou nazýváme zeminu, která obsahuje více než 50 % spalitelných látek (Kutílek et al. 1993). Organozemě mokřadů obsahují vysoké množství uložené organické hmoty (Brady & Weil 2007).

### **Cyklus dusíku**

Přechod dusíku mezi půdou a atmosférou probíhá, kromě atmosférické depozice, prostřednictvím plynů. Elementární dusík je z atmosféry vyvazován tzv. hlízkovými bakteriemi rodu *Rhizobium* a dalšími. Tak se do půdy dostává dusík ve formě amonných iontů. Následuje proces nitrifikace. Kdy opět bakteriálním procesem po dvou stupních biochemických reakcí vzniká dusičnanový aniont. Ten je dostupný pro rostliny. Pokud je dostupného dusíku v půdě přebytek, více než potřebují zde rostoucí rostliny, zbývá dostatek materiálu pro další bakteriální pochod, a to denitrifikaci. Denitrifikace je redukční proces, probíhající v anaerobním prostředí. Z dusičnanového aniontu postupně stává dusitanový a dále oxidy dusíku: oxid dusnatý, oxid dusný. Ideálním konečným výstupem je elementární dusík (Šimek 2008a).

#### *4.3.2 Vliv na chemické vlastnosti půdy*

Vzhledem ke změně vodního režimu odvodněných půd musí nutně, kromě výrazných fyzikálních změn struktury půdy, docházet i ke změnám chemismu půdy. Nejvýraznějšími faktory ovlivňujícími chemické prostředí jsou v tomto případě zvýšení průtoku vody přes půdní horizonty a okysličení vrchní odvodněných horizontů půdy.

Průtok vody půdou způsobuje vyplavování látek z horizontů do nižších poloh, nebo až do drenážního potrubí, odkud jsou transportovány do recipientu. Oproti trase běžného povrchového odtoku je, při drenážním odtoku, vynechán přechod přes pobřežní zóny vodního toku. Ty jsou schopny část splavených látek a částic zachytit a zabránit tak znečištění toku (Blann et al. 2009).

Skrze drenážní odtok jsou prokázány ztráty minerálních látek, jako například vápník, draslík, hořčík a sodík ( Duren et al. 1997; Mathew et al. 2001; Montagne et al. 2009). Stejně tak byly pozorovány zvýšené koncentrace dusíku a fosforu v drenážních vodách ( Karlen et al. 1998; Kladivko et al. 1999; Davis et al. 2000; Conrad & Fohrer 2009; Nangia et al. 2010; Neumann et al. 2012). Některé práce ukazují ztrátu živin přímo rozbořem půdy a prokázáním snížených koncentrací živin v půdě odvodněné oproti neodvodněným plochám (Frouz et al. 2012b).

Dusík je vyluhován z půdy až po překročení jeho optimálního obsahu v půdě ( Karlen et al. 1998; Simmelsgaard 1998; Davis et al. 2000; Conrad & Fohrer 2009). Což je poměrně častý jev. Hospodáři se totiž snaží zaručit dostatečný přísun živin, tím že překročí doporučenou dávku hnojiva. Jeho ztráty jsou výrazné především při vydatnějších srážkových epizodách v brzké době po aplikaci hnojiv nebo pesticidů ( Kladivko et al. 1999; Kalita et al. 2006), kdy v některých případech může odtéct až 75 % dusíku z celoročního odtoku drenážními vodami. Pro snížení ztrát jsou podstatné i další faktory, jako jsou načasování hnojení, rozložení hnojiva v ploše, forma hnojiva (Kladivko et al. 1999), množství dusíku v půdě již přítomného, požadavky plodiny (Conrad & Fohrer 2009).

Zajímavou roli hraje také rozchod drenážního potrubí a hloubka uložení. Výzkumy ukazují, že čím větší je mezera mezi drény a čím mělčeji jsou uloženy, tím nižší je vyplavování dusíku ve formě nitrátů (Davis et al. 2000; Nangia et al. 2010). Gentry et al. (1998) ukazuje, že při selhání správného načasování je hnojivo zmetabolizováno půdními organismy dříve než je zasetá plodina schopna živiny přijímat. Fosfor je, stejně jako dusík, velmi citlivý na vydatné srážky.

Guo et al. (2013) popisuje postupnou dekompozici organické hmoty, po odvodnění a nastolení aerobních podmínek, na posloupnosti látek, kde se ze stabilních huminových agregátů rozkladem tvoří rozptýlené koloidní uhlíkaté látky a následně rozpuštěný organický uhlík. Je tedy zřejmé, že zvýšený průtok vody vyplavuje z půdního horizontu i uhlík.

Úbytek živin fosforu a hořčíku může být způsoben ztrátou organické hmoty z půdy, protože organická hmota tyto živiny obsahuje a spolu s jílovými minerály i sorbuje a tím zadržuje v půdě ( Simard et al. 2000; Frouz et al. 2012b). Vysoké koncentrace živin v drenážních vodách ohrožují eutrofizací řeky, vodní nádrže, ale dokonce i pobřežní mořské vody, kde se v posledních letech zvyšuje výskyt řas a sinic (Karlen et al. 1998; Neumann et al. 2012).

Dalšími látkami ohrožujícími životní prostředí jsou pesticidy. Jejich výskyt v drenážních vodách není výjimkou (Jacobsen & Kjaer 2007). U těchto látek, však kromě výše zmíněných proměnných, záleží především na preferenčním toku vody (Kladivko et al. 1999) a také na míře sorpce pesticidů na organickou hmotu a jílové minerály. Vzhledem k intenzitě hospodaření však míra sorpce, díky úbytku organické hmoty a vyplavování jílových minerálů, spíše klesá (Jacobsen & Kjaer 2007).

Odvodňovací soustavy mění dynamiku železa a manganu. Tyto látky se v zamokřených půdách, v téměř anaerobním prostředí, vyskytují rozpuštěné (železo i mangan v druhém oxidačním stupni) a mohou se tedy pohybovat a odcházet z půdy. Odvodnění v půdě nastolí aerobní podmínky uvolněním pórů pro vzduch. Železo a mangan se vysráží v nerozpustné formě oxidů a hydratovaných oxidů (železo ve třetím oxidačním stupni a mangan ve třetím až čtvrtém). Tím se sníží jejich pohyb půdou. Odvodněním se sníží i pohyblivost jílových minerálů (Furukawa et al. 2008; Montagne et al. 2009).

### *4.3.3 Eroze*

Odvodnění přináší snížení objemové hmotnosti a snížení vlhkosti. To vyvolává pozitivní dopady na míru povrchového odtoku. Snižuje se eroze (Schilling & Helmers 2008; Montagne et al. 2009). Záleží však jak vysoký je pozitivní efekt snížení povrchového odtoku a povrchové eroze oproti vlivům odtoku drenážního a podpovrchového, které jsou výrazně urychleny. Ty způsobují jev, který by se snad dal nazvat erozí z masy půdy či erozí všech horizontů půdy. Díky zvýšení průtoku vody půdou dochází k tomu, že se v odtékající drenážní vodě vyskytují jílové minerály, které pocházejí z povrchových vrstev půdy. Jedná se především o částice menší než 50  $\mu\text{m}$ . Přes to, že odvodnění půdy sníží pohyb železa a manganu jejich oxidací, nastává jejich ztráta z půdy díky vysokému průtoku vody skrze půdu (Stone & Krishnappan 1997; Furukawa et al. 2008; Montagne et al. 2009).

Všechny výše uvedené faktory ovlivněné podpovrchovým odvodněním půdy a vysokou intenzitou obdělávání způsobují, že půdy, které se do recentního stavu vyvíjely stovky a více let, dnes prodělávají výrazné změny za výrazně kratší časová období a mluví se o urychlené evoluci půd (Montagne et al. 2009).

#### 4.4 Vliv na organismy a diverzitu

Vliv meliorace na půdní organismy se liší v závislosti na původní výšce vodní hladiny a obsahu vody v půdě. Je-li původní půdní profil zcela nasycen vodou, nastává po odvodnění dočasně příznivé období, kdy je degradována organická hmota nashromážděná za anaerobních podmínek (Guo et al. 2013). Rozvíjí se edafon, i když se mnohdy jedná o jiné druhy, než se zde vyskytovaly před odvodněním (Boháč et al. 2005).

Některé hygrofilní druhy tuto změnu nepřežijí a ztrácejí se z půdy. Přeživší organismy doplní migranti obsazující uvolněné niky. Nemusí tak nutně docházet ke snižování abundance či diverzity. Tento přechod je ještě více patrný při členitém reliéfu území s drobnými depresemi. (Frouz 1999; Boháč et al. 2005).

Zvyšuje se výskyt zástupců málostětinatců čeledí *Lumbricidae* a *Enchytraeidae*, obě patří do třídy *Oligochaeta*. Tito se podílí na rozkladu organické hmoty, tedy na procesu její humifikace, a tak na vzniku humusu (Wasilewska 2006). Práce finských autorů ukazují, jak podzemní drenáž ovlivňuje, systematickou různorodostí podmínek v půdě, variabilitu organismů v prostředí. Tzv. drenážní rýha má odlišné vlastnosti oproti prostoru mezi drény. Žížala *Lumbricus terrestris* L. obývá až dvakrát častěji prostor nad drenážním potrubím. Vysvětlením může být nejnižší hladina podzemní vody přímo v okolí drénu či snazší prostupnost půdy, která byla vykopána a následně převrstvena zpět (Nuutinen et al. 2001; Nuutinen & Butt 2003; Nuutinen et al. 2011) Nesmíme zapomínat, že i v tomto případě není tak klíčové snížení hladiny podzemní vody, ale snížení vlhkosti půdy. Dalším výrazným faktorem je obsah organické hmoty, který se po odvodnění půdy začne zpravidla snižovat (Furukawa et al. 2008; Fennessy & Craft 2011; Frouz et al. 2012b; Clarkson et al. 2013; Guo et al. 2013).

Odvodněním půdy dochází k mobilizaci živin, ty jsou však po určité době buď vyčerpány organismy, nebo odplaveny vyluhováním, některé odchází v podobě plynů. Úvodní oživení půdy je utlumeno (Frouz 1999). Výzkum odvodněných ploch deset let po vybudování drenáže ukázal celkové snížení

diverzity i množství půdních organismů. Pokles počtu jedinců byl prokázán u skupin *Mollusca*, *Chilopoda*, *Isopoda*, *Protura*, *Diplura*, *Symphyta*, *Coleoptera* a larev řádu *Diptera* (Frouz et al. 2012a). Kromě změny těchto kvantitativních ukazatelů se ale mohou měnit i ty kvalitativní. Mezi zástupci kmene *Nematoda* se po odvodnění změnil relativní poměry v trofické struktuře. Zatímco v přírodních mokřadech je sestupná posloupnost trofických úrovní bakteriovoři, fakultativní herbivoři, obligatorní herbivoři, omnivoři, fungivoři a predátoři, v odvodněných mokřadech se poměry mění na posloupnost obligatorní herbivoři, bakteriovoři, fakultativní herbivoři, fungivoři, omnivoři a predátoři (Wasilewska 2006). Odlišné trofické rozdělení zaznamenal i Frouz (1999). Po 15 letech od instalace drenáže střídají predátoři a fytofágové původní saprofágy, příslušící do řádu *Diptera*. Tyto změny by mohly nastiňovat změny poměrů v půdě.

Pokud odvodnění trvá déle nebo je pokles hladiny spodní vody výraznější, dojde k postupné ztrátě organické hmoty a na ní vázaných živin (Frouz et al. 2012b). Odvodnění způsobuje snížení diverzity i četnosti skupin bezobratlých, obojživelníků a ptáků (Fennessy & Craft 2011). Výzkumy sice ukazují, že diverzita stanovišť nemusí být odvodněním ovlivněna (Boháč et al. 2005), ale v tomto případě klesá tzv. beta diverzita. Původně odlišné zamokřené stanoviště, hostící specifickou skladbu organismů, se vlhkostními a dalšími poměry stává podobným okolním stanovištěm (Fennessy & Craft 2011). Jiné studie ukazují až 50% pokles diverzity (Frouz et al. 2012a). Na rašeliništích se zastavuje vývoj zrašelinělé vrstvy půdy (Guo et al. 2013). Dochází ke změnám v charakteru vegetace (Wasilewska 2006). Po odvodnění plochy původních mokřadů rychle zarůstají křovinami (Bart et al. 2011). Odvodnění stanoviště je jen prvním krokem na cestě k hospodářskému využití plochy. Dalšími častými kroky jsou agrotechnické úpravy a změna využití pozemku především pro zemědělské využití. Orba společně s hnojením minerálními hnojivy je zásah, který sníží i výše zmíněný, znovu nabytý stav diverzity organismů. Mizí tedy hygrofilní druhy ovlivněné snížením vlhkosti půdy a tyto nejsou v takové míře nahrazeny druhy vázanými na nižší vlhkost z důvodu častých disturbancí a stresového prostředí (Boháč et al. 2005).

#### 4.5 Vliv na klima

Jak již bylo naznačeno v odstavci popisujícím vztah odvodnění a teploty půdy i vzduchu, množství půdní vody ovlivňuje klimatické podmínky nejbližšího

okolí. Vztahy, které tuto závislost vytvářejí, jsou popsány teorií tzv. retenčně-evapotranspirační jednotky (dále už jen RETU (*Retention-Evapotranspiration Unit*)). Tato myšlenka byla již mnohokrát potvrzena praktickými pokusy. Chybějícím článkem, potřebným k pochopení celého systému, je vegetace. Rostliny totiž, stejně jako další organismy, potřebují, pro optimální průběh metabolických procesů, určité rozpětí teplot. U rostlin je tímto optimálním rozmezím 24–25°C (Eliáš et al. 2002).

Zdrojem tepla je sluneční záření, část je na povrchu rostlin odražena a část je rostlinami pohlcena. Přijaté tepelné záření zvyšuje teplotu rostliny. Termoregulaci rostliny zajišťují pomocí transpirace. Proces ochlazující rostliny je, z fyzikálního pohledu, skupenským přechodem vody z kapalné formy na plynnou. Aby transpirace probíhala, musí být rostliny nepřetržitě zásobeny vodou. Tímto odběrem vody z půdy vegetace (ve vegetační sezóně) aktivně upravuje malý hydrologický cyklus a tím i odtok vody z povodí. Dobře fungující RETU je závislá na vegetačním krytu a dobré retenci vody v půdě. Co se týče vegetace, největší fotosyntetickou produkci a v návaznosti na to i nejúčinnější regulaci teploty zvládá vegetace klimaxového stádia sukcese (v našich podmínkách lesy). Za optimálních podmínek se rostliny chladí na požadovanou teplotu, tím je ochlazován i vzduch nad zemí, nedochází k přehřívání povrchu a odtok vody z povodí je stabilizovaný (Eliáš et al. 2002).

Narušení tohoto systému přináší omezení některých ekosystémových služeb (UNEP 2005), které tento děj zajišťuje (Fennessy & Craft 2011). Změna světového klimatu je, při pohledu na problematiku z nejširšího možného měřítka, největší hrozbou pro tento vyvážený systém. Hrozbou pro místní klimatické podmínky může být změna využívání krajiny. Jak již bylo naznačeno výše, klimaxové stádium sukcese reguluje teplotu účinněji. V rámci Evropy však bylo nahrazeno nižšími stádii a uvedeno do podoby stepi. Výrazným prvkem, ovlivňujícím systém RETU, je nynější i minulé hospodaření s půdou. Snižováním retenční schopnosti a utužováním půd dochází k nedostatečnému zásobení rostlin vodou. Tyto důsledky může vyvolat i přítomnost drenáže v půdě. Všechny tyto negativní faktory posléze vedou ke spirálovitému kumulování problémů (Eliáš et al. 2002).

Pokud není povrch vlivem rostlin chlazen, potom teplý a vlhký vzduch stoupá vzhůru, kde se ochlazuje, vodní pára kondenzuje a může způsobovat tzv. odpolední bouřky s výskytem extrémních jevů typu krup a přívalových dešťů. To vše společně s nízkou retencí vody v krajině (a nestabilním vegetačním krytem)

zvyšuje výskyt lokálních tzv. bleskových povodní. Ve větším měřítku dochází ke vzniku tlakové výše, která brání posunu studených front od oceánu. Nastává delší období bez srážek. Pokud se nakonec studená fronta přece jen dostane nad přehřátou pevninu, vytlačí teplý vzduch do výšky a začne období s velmi vysokými srážkovými úhrny. Vzniká tlaková níže, která nasává vlhký vzduch od oceánu, který se opět vlivem stále teplého vzduchu nad pevninou kondenzuje ve vyšších výškách a zapříčiňuje další vydatnou srážku. Tento cyklus je ukončen až po vyčerpání tepla. Nejde tedy jen o místní bleskové povodně, ale o vysoké riziko povodní regionálního významu a dopadu (Eliáš et al. 2002).

## **5. Důvody, možnosti revitalizace**

Z předešlých údajů je patrné, že odvodnění pozemků pomocí trubní drenáže má svá pro a proti. V mnoha případech převažují negativní dopady na půdní vlastnosti (Kuráž & Soukup 2004; Jin et al. 2008; Montagne et al. 2009; Frouz et al. 2012b), výnosy plodin, kvalitu povrchových vod (Grazhdani et al. 1996; Gentry et al. 1998; Jacobsen & Kjaer 2007) atd.. Za těchto okolností je třeba uvažovat o možnostech nápravy.

Úprava odvodňovacích systémů by se každopádně měla vyvarovat chyb, které nastaly při zavádění drenáží. Důležité je dodržení standardních postupů. V našem případě je asi nejvhodnější postupovat podle metodiky MŽP (Kulhavý et al. 2011b). Základem pro jakékoli další kroky je kvalitní hydrologický a pedologický průzkum lokality a stanovení aktuální funkčnosti drenážního systému. V nejlepším případě jsou provedeny další průzkumy, například botanický, či zoologický.

Mohou totiž ukázat, že i ve zdánlivě nevábném a pro život nevhodném prostředí žijí významné druhy. Mám na mysli příklad tzv. efemérních polních mokřadů na orné půdě, které se občasně objevují na místech, která popisem odpovídají vývěřům drenážních vod z porušeného odvodnění, okolí drenážních šachet atd. Tyto mokřady hostí společenstva říčních náplav a odhalených den. Hrají v krajinné mozaice významnou roli a eliminace podzemní drenáže s následnou revitalizací by mohla být těmto jedinečným ekosystémům osudnou. Nutností pro udržení těchto ploch je disturbance vyvolaná orbou, ta by mohla na revitalizované části ustát (Němec et al. 2012).

## 5.1 Detekce drenážního systému pomocí DPZ a GIS

Problémem již v počátcích projektu úpravy drenážního systému může být absence či neúplnost mapových a technických podkladů. Využívá se tedy různých metod, kterak informace doplnit či odhalit, zda je plocha vůbec odvodněna drenáží a chybí o tom záznamy. Pro upřesnění dat, která již máme k dispozici, mnohdy stačí terénní doplňovací průzkum. Pokud však chybí mapové podklady či potřebujeme upřesnit data pro větší plochy, je vhodné přistoupit k metodám dálkového průzkumu země (DPZ) (Naz et al. 2009). Při tomto postupu se využívá specifických chemických a především fyzikálních vlastností drenážní rýhy, tedy linie, pod kterou se nachází odvodňovací drén. Při výkopovém typu instalace drenážních trubek je půdní profil nad budoucím drénem vykopán, převrstven a uložen zpět na odvodňovací systém. Promícháním půdního profilu získá místo odlišné vlastnosti, co se týče vlhkosti a teploty půdy. Tento efekt je znásoben odvodňovacím drénem uloženým pod touto linií (Tlapáková et al. 2004). Nad drenážní linií dochází ke zvýšení infiltrace a snížení objemové hmotnosti půdy v porovnání s prostorem mezi drény (Montagne et al. 2009). Za těchto podmínek se mění teplotní režim této linie (Jin et al. 2008). Toho se dá využít při leteckém snímkování v infračervené části spektra. Povrch nad drénem má v tomto případě vyšší odrazivost, která se projeví na snímcích. Nevýhodou tohoto postupu je, že přináší nejlepší výsledky při snímkování povrchu 2–3 dny po dešťové srážce. Výzkum je tedy obtížně plánovatelný (Naz et al. 2009).

Využití stejného principu, ale za jiných podmínek, tzv. fytoindikaci, publikuje Tlapáková et al. (2004). Změněné fyzikální a chemické vlastnosti povrchu ovlivňují růst plodin v linii nad drenáží. Rostlinný pokryv v této linii má lepší růstové podmínky, dochází k odlišení porostu. Rostliny jsou vyšší, porost je hustší a odlišné barvy než prostory mezi drenážemi. Letecké snímkování se provádí v barevném či černobílém provedení a nejlepší výsledky podává v jarních měsících, když se porost stává zapojeným. Úskalí této metody spočívá v typu plodiny pěstované na ploše. Nejlépe indikují obiloviny, dále travní porost v rozmezí výšek 5–10 cm. Širokořádkové plodiny nebo uvláčená půda nevykazují potřebné výsledky. Předpokladem pro úspěch obou výše uvedených metod je instalace drenážního systému výkopovou metodou (Tlapáková et al. 2004).

Letecké snímky je vhodné dále upravovat pomocí GIS (geoinformačního systému). U zpracování velký rozloh se využívá maskování ploch, které s největší



pravděpodobností nebyly odvodněny, za pomoci mapových vrstev land use, svažitosti terénu, vlhkostních poměrů, míry přirozeného odvodnění půd a dalších. Vyloučíme plochy zastavěné, plochy vodních toků a nádrží, svahů nad 2 % svažitosti, plochy dobře přirozeně odvodněných lehkých půd atd. Snížíme tak rozlohu zkoumané plochy. Na zbylých plochách hledáme typickou stromovitou strukturu drenážního systému. Využit se dá například funkce detekce okraje prostřednictvím GIS analýzy (Naz et al. 2009). Upřesnění dat se provádí, buď terénním průzkumem lokality, anebo vyhledáváním nadzemních součástí odvodňovacího systému, například šachtic, výpustí do recipientu, povrchových odvodňovacích kanálů atd. (Tlapáková et al. 2004).

## 5.2 Retardace, eliminace odtoku, převod drenážních vod k závlaze

Důsledkem drenáží může být snížení hladiny podzemní vody do takové míry, že se voda stane, ve srážkově chudých obdobích, nedostupnou pro pěstované plodiny či jinou povrchovou vegetaci. V těchto případech je možné, za podmínky maximálního sklonu původních drénů do 0,15 %, uvažovat o regulaci či také retardaci drenážního odtoku. Jedná se o několik opatření, která upravují hladinu podzemní vody. Jde například o aplikace retardačních prvků (hradítek, záslepek) do stávajícího systému, případně se využívá tzv. převodu drenážních vod k závlaze (Soukup & Kulhavý 1996; Kulhavý et al. 2011a).

Další možností, jak omezit negativní vlivy odvodnění, je eliminace jeho funkce, tedy snížení, či naprosté přerušení drenážního odtoku z odvodněné plochy. Toto opatření by mělo mít následující dopady: zvýšení vlhkosti půdy, zlepšení tepelné bilance půdy, zvýšení schopnosti dlouhodobé retence vody v povodí, snížení retenčního potenciálu pro přívalové krátkodobé srážky, zvýšení hladiny podzemní vody, snížení infiltrační schopnosti povrchu, zvýšení povrchového odtoku, vliv zvýšené hladiny podzemní vody na stavby i mimo odvodněné území, nastartování anaerobních glejových procesů v půdě, vznik povrchové vrstvy bohaté na organickou hmotu, zvýšení denitrifikace, snížení vyplavování živin a dalších látek z půdy, zvýšení evapotranspirace, možné zlepšení mikroklimatu (Kulhavý et al. 2011b).

V praxi je možné použít eliminaci části, či celého systému, zaslepení úseků drenáže nebo vytvoření clony na drenážním potrubí (Kulhavý et al. 2011a).

Při regulaci pramenných vývěřů může být využito založení ochranného pásma v blízkém okolí jímky a jeho zatravnění (Soukup et al. 2000). Případně kompletní odstranění pramenní jímky s následným obnovením pramene či vytvořením tůň v místě vývěru (Kulhavý et al. 2011a). Tyto zásahy mohou být finančně podpořeny v rámci programů Revitalizace říčních sítí, Obnovy venkova, Komplexních pozemkových úprav atd. (Soukup et al. 2000).

Lze využít i méně invazivní postupy. Drenážní potrubí bylo v minulosti vyráběno z pálené hlíny. Mnohdy dochází k rozpadu tohoto materiálu, zanášení drénu jílovitými částicemi či prorůstání kořenů povrchové vegetace. Životnost je mnohdy negativně ovlivněna. Můžeme proto využít tzv. kontrolovaného spontánního stárnutí drenáže, které je opatřením ekonomicky sice nejvýhodnějším, ale časově náročným. V průběhu je nutné řešit často bodové poruchy systému, které se projevují například vývěrem drenážních vod na povrch a tvorbou erozních rýh. Pro urychlení procesu stárnutí se uplatňuje prorůstání kořenového systému drenážním potrubím. Stone (1911) ve svém článku potvrzuje, že rostliny obzvláště dřeviny, jsou v tomto ohledu velmi účinné. Na drenážní rýze se vysazují hluboko kořenící rostliny, které omezují vliv drenáže (Kulhavý et al. 2011a).

Po navrácení vodního režimu půdy nemusí dojít k navrácení původní vegetace. Například vyplavování draslíku drenáží je tak účinné, že ho může být v půdě nedostatek. Na základě hydropedologických průzkumů lokality je tedy vhodné zvážit aplikaci některých hnojiv (Duren et al. 1997).

Při jakémkoli zásahu bude nejdůležitější změnou na odvodněné ploše změna poměru produkčních a mimoprodukčních funkcí území (Kulhavý et al. 2011b). Ve své podstatě se jedná o změnu poměrů mezi ekosystémovými službami, které nám plocha poskytuje. Dochází tak k snížení produkční služby, ale oproti tomu k posílení služeb podpůrných, regulačních i kulturních (UNEP 2005). Mokřady zajišťují například zlepšování kvality vody, zpomalení odtoku při povodňových stavech, ukládání uhlíku a zvyšují biodiverzitu (Fennessy & Craft 2011). Právě tyto jsou v naší kulturní krajině podceňovány a nebývá jim dáván dostatečný prostor.

## 6. Projekt Monitoring revitalizace odvodněných luk u Senotína

### 6.1 Úvod

Na rašelinných loukách v okolí Senotína bylo v osmdesátých letech provedeno odvodnění podzemní trubkovou drenáží, přitom byly zachovány fragmenty původních rašelinných luk. V devadesátých letech zde proběhl rozsáhlý výzkum, sledující změny vodního režimu, půdních poměrů a biologického oživení dané lokality (Frouz et al. 2012a; Frouz et al. 2012b). Následně byl proveden unikátní velkoplošný experiment směřující k přerušení drenáže. To činí z dané lokality ideální místo pro studium vlivu drenáže na ekosystémy a posouzení možností případné sanace těchto opatření.

Cílem tohoto projektu je obnovení výzkumu podhorských pramenných oblastí v okolí obce Senotín. To umožní porovnat řadu hodnot s měřeními z devadesátých let a posoudit dlouhodobý dopad odvodnění a následné revitalizace.

### 6.2 Lokalita

Obec Senotín (49°3'52.843"N, 15°8'42.792"E) leží v Jihočeském kraji poblíž obce Nová Bystřice. Lokality výzkumu leží v těsné blízkosti obce v nadmořské výšce 650–700 m. Spadá tak pod chladnou klimatickou oblast. Nejbližší automatizované srážkoměrné stanice ČHMÚ jsou ve Strmilově a Nové Bystřici (Cenia n.d.). Průměrná roční teplota je 6,0°C a roční srážkové úhrny činí přibližně 700 mm (Frouz & Syrovátka 1995). Geologicky se jedná o podloží z pegmatické žuly centrálního masivu moldanubického plutonu (Česká geologická služba 2013), zastoupen hruběji zrnitým dvouslídovým granitem (Cenia n.d.). Převážným půdním typem jsou podzoly. V místech, kde se zachovala vysoká vlhkost půdy, můžeme stále najít půdy oglejené či gleje. V místech rašelinišť se nacházejí organozemě. Potenciální přirozenou vegetací je biková bučina. Fytogeograficky leží na rozmezí českomoravského mezofytika a českého oreofytika, mezi okresy 67–Českomoravská vrchovina a 90–Jihlavské vrchy. Výškově patří do submontánního výškového vegetačního stupně (Cenia n.d.).

Louky s četnými pramennými vývěry byly plošně odvodněny drenáží. Instalace drenáže proběhla v letech 1985–1987. Louky byly posléze rozorány a průběžně hnojeny a přeměněny v kulturní louky. Uchovaly se však neodvodněné

fragmenty a ty slouží jako kontrolní plochy (Frouz et al. 2012b). Okraj jedné výzkumné plochy tvoří potok Potočná, který se pod Senotínem vlévá do Lhotského potoka (Syravátka 2014, per. comm., 10.2.).

### 6.3 Přechozí výzkumy, revitalizace

Následky suchého období v létě 1992 podnítily skupinu ekologů k akci. Od roku 1993 započal široce mezioborový výzkum lokality s cílem předejít dalším podobným odchylkám. V řešení byly otázky obnovení vodního režimu a na něj vázaných specifických půdních vlastností, vegetace a rozmanitosti druhů (Syravátka 2014, per. comm., 10.2.).

V okolí Senotína vzniklo pět trvalých výzkumných ploch, na kterých byly zkoumány fyzikální a chemické vlastnosti půdy, včetně sledování hladiny podzemní vody. Dvě z ploch byly vytyčeny na odvodněné části, zbylé tři na neodvodněné. Na odvodněné části byla jedna plocha umístěna na suché stanoviště, druhá nad poruchu drenážního potrubí, kde byl půdní horizont provlhčen. Plochy na neodvodněné lokalitě byly zvoleny pro postižení všech specifík, které místo nabízelo. Jednalo se o vyvýšeniny tzv. bulty a šlenky, což jsou sníženiny mezi bulty, dále pak místo s porostem rašeliníku. Na těchto plochách byly zkoumány výše zmíněné fyzikální a chemické charakteristiky a také proběhl biologický průzkum. Jednalo se o výzkum půdních bezobratlých a měření rychlosti rozkladu organické hmoty (Syravátka 2014, per. comm., 10.2.).

Na základě těchto výzkumů proběhla v roce 1995 další etapa – revitalizace odvodněné plochy o rozloze zhruba 9 ha na levém břehu potoka Potočná. Funkce drenáže byla omezena pomocí sedmi jílových těsnících clon, které byly aplikovány po vrstevnici. Nad čtyřmi clonami byly obnoveny meze, které přispívají ke snižování povrchového odtoku a zvyšují odolnost proti erozi. Nad těmito mezemi vznikly mělké zasakovací deprese. Další úpravy vedly ke zlepšení prostředí na potoce Potočná. Šlo o obnovu tůň a vybudování příčných prahů (Syravátka 2014, per. comm., 10.2.).

Po tomto revitalizačním zásahu pokračovaly výzkumy se zaměřením na vývoj vlhkosti půdy na lokalitě. Jednalo se o sledování hladiny podzemní vody. Ukázalo se, že rychlý vzestup hladiny bezprostředně po revitalizaci nebude mít dlouhého trvání. Hladina podzemní vody tedy vzrostla, ale dále jen kolísala, jen výjimečně dosahovala povrchu. Vytvořila se tak mozaika různě zamokřených

plach. Tato, podpořena vznikem mezí, poskytuje široké spektrum ekotonálních stanovišť. Diverzita druhů postupně rostla. Dalšími zásahy bylo vysetí některých druhů rostlin, přenos drnů či pasení koz v letních měsících (Syrovátka 2014, per. comm., 10.2.).

Tyto postupné změny ve vegetačním krytu území dávají samozřejmě prostor pro šíření dalších druhů živočichů. Výzkumy provedené po realizaci ukazují, že revitalizace přibližuje podmínky lokality podmínkám neodvodněné plochy (Syrovátka 2014, per. comm., 10.2.).

Jedním z dílčích výzkumů, byl i výzkum fyzikálních a chemických vlastností půdy na výzkumných plochách, který probíhal v letech 1995 a 1996. Na sedmi výzkumných plochách v rámci šesti fragmentů neodvodněných ploch a na odvodněných plochách v blízkém okolí byly umístěny plastové pažnice pro manuální odečítání hladiny podzemní vody. V květnu 1995 byly odebrány vzorky půdy o ploše 100 cm<sup>2</sup> do hloubky 10 cm. Pět dalších vzorků, z okolí do 0,5 m od předchozích, bylo odebráno a zhomogenizováno do jednoho složeného vzorku. U vzorků bylo, po prosátí přes 2mm síto, stanoveno: pH, oxidovatelný obsah uhlíku, celkový obsah fosforu, obsah organického fosforu, dostupný fosfor, ve vodě rozpustný fosfor, ve vodě rozpustný hořčík. Z fyzikálních vlastností se stanovovala půdní zrnitost a u neporušených půdních vzorků dále: retenční vodní kapacita a polní vodní kapacita. Po vysušení vzorků byla zjišťována objemová hmotnost a měrná (specifická) hmotnost půdy. Z těchto hodnot byla následně vypočtena pórovitost vzorku. Část neporušených vzorků byla použita ke zkoumání mikrostruktury půdy (Frouz et al. 2012b).

Výsledky potvrzují výzkumy uvedené v rešerši, některé charakteristiky se liší od předpokladu. Nedošlo k zjištění rozdílu mezi hladinami podzemní vody na odvodněné a neodvodněné ploše i přesto, že vlhkost je na neodvodněných plochách vyšší. Na odvodněných plochách je v půdě přítomný štěrk, zatímco na neodvodněných se vůbec nevyskytuje. Co se týče živin, vyšší hodnoty byly naměřeny na neodvodněných plochách. Ty mají také nižší pH (Frouz et al. 2012b).

## 6.4 Otázky

Liší se hladina podzemní vody na odvodněných a neodvodněných plochách?  
Jak probíhá vývoj hladiny podzemní vody na revitalizované ploše, vzhledem k historickým datům?

Ovlivňuje revitalizace odtok vody z povodí potokem Potočná?

Jak se liší fyzikální a chemické vlastnosti půdy mezi revitalizovanými, odvodněnými a neodvodněnými stanovišti?

## 6.5 Hypotézy

Hladina podzemní vody se na revitalizovaném území zvýšila a postupně se ustaluje.

Odtok z revitalizovaného povodí bude nyní nižší než odtok měřený těsně po revitalizaci Ing. Šírem.

Hodnoty fyzikálních i chemických vlastností půdy se budou vzdalovat od hodnot odvodněných ploch a budou se přibližovat, či téměř shodovat s hodnotami ploch neodvodněných.

U odvodněných ploch se předpokládá pokles obsahu půdní organické hmoty, pokles obsahu draslíku a snížení obsahu jílové frakce.

## 6.6 Obnovení výzkumu, metodika

Výsledky tohoto i dalších výzkumů by měly být v rámci diplomové práce porovnány s aktuálními daty a z jejich rozdílů by měla být pochopena a popsána změna, která se na revitalizovaném stanovišti odehrává.

Nová data budou získávána z již instalovaných automatických stanic měřících srážky a hladinu vody na měrném přepadu potoka odvodňujícího revitalizované povodí. Následně budou porovnána s historickými daty, která naměřil Ing. Miloslav Šír Csc. na stejných bodech. Tato by měla nastínit srážkoodtokové poměry povodí po revitalizaci. Hladina podzemní vody bude sledována pomocí plastových pažnic zakopaných do půdy v místech, kde byla analogická měření prováděna během devadesátých let, a opět porovnána historickými daty.

Dále bude opakován odběr půdních vzorků z míst, co nejvíce se blíží původním odběrům, za účelem získání dat pro posouzení fyzikálních a chemických vlastností půdy podle práce Frouze et al. (2012b) s ohledem na změnu parametrů 20 let po výzkumu, téměř 30 let po odvodnění a 20 let po revitalizaci.

U těchto vzorků budou stanoveny tyto parametry: půdní struktura, retenční schopnost, polní vodní kapacita, objemová hmotnost, specifická hmotnost půdy, z chemických parametrů: pH, množství oxidovatelného uhlíku, množství celkového, organického, dostupného fosforu a fosforu rozpustného ve vodě, množství hořčíku rozpustného ve vodě. Tyto budou porovnávány s historickými daty (Frouz et al. 2012b). K těmto parametrům bude přidáno stanovení draslíku v půdě, abychom potvrdili či vyloučili jeho nedostatek na odvodněných plochách (Duren et al. 1997).

Navíc budou odebrány vzorky z revitalizované plochy. Plochy pro odběr by měly zahrnovat suchá stanoviště, vlhká až sezónně zaplavená stanoviště nad jílovými clonami, místo přímo nad původní drenáží (drenážní rýha), místo mezi původními drenážemi. U těchto vzorků půdy budou zkoumány tytéž vlastnosti půdy jako výše. Naměřené parametry budou poměřovány s parametry z ploch odvodněných a neodvodněných.

Kromě těchto bodů bude proveden odběr půdních vzorků v pravidelné síti bodů, který umožní celkovou kvantifikaci zásoby půdní organické hmoty, půdního uhlíku a dalších klíčových prvků v celém zasaženém území a umožní odhad změn vyvolaných odvodněním a následnou revitalizací.

## **7. Závěr**

Důležité je si uvědomit, že meliorace, případně přímo odvodňovací drenáže, nemusí nutně znamenat zkázu lokality. Oba termíny nabyly za minulého režimu špatné pověsti díky masivnímu a často neuváženému využívání. Pod záminkou meliorace, tedy zlepšení stavu, probíhaly obrovské úpravy krajiny, které vedly k pravému opaku. Po důkladném výzkumu ale může meliorační opatření ve formě protierozních opatření, účelových staveb či již zmíněné drenáže plnit svoji funkci a opravdu zlepšovat podmínky pro hospodaření bez významného vlivu na krajinu (Kuráž & Soukup 2004; Vašků 2011). Krajina, kterou jsme zdělili po našich předcích, obsahuje mnohá místa, kde ke zlepšení stavu a podmínek pro hospodaření nedošlo anebo měly pouze krátkého trvání. Často se jedná o místa, která nejsou vhodná pro intenzivní obdělávání, a přesto jsou díky drenážím zpřístupněna technice a obdělávána. Je tedy potřeba začít přemýšlet, jak tato bolavá místa krajiny řešit. Ministerstvo životního prostředí se již touto otázkou zabývalo a vydalo

metodiky, která tyto plochy revitalizovat. Především je nutné se vyvarovat chyb, které provázely instalaci drenáží (Kulhavý et al. 2011b).

Revitalizaci musí předcházet hydropedologický průzkum a stanovení účinnosti drenážní soustavy. V nejlepším případě by měl být proveden i průzkum určující organismy žijící na ploše. Mnoho se toho však dosud neví o vývoji revitalizované lokality po zásahu. Jednou z prvních lokalit, kde tyto výzkumy probíhají, a kde se zkoumá dynamika prostředí po revitalizaci, je oblast Senotína v jižních Čechách. Zde proběhl důkladný průzkum před i bezprostředně po revitalizaci (Syrůvka 2014, per. comm., 10.2.). Nyní je potřebné ve výzkumu pokračovat a nastítnit vývoj podmínek zhruba dvacet let po navrácení území do podobných hydrologických podmínek jako před instalací drenáže. V okolí se nachází dostatek kontrolních ploch, jak odvodněných, tak téměř nedotčených melioracemi. Výzkum se bude zabývat charakterem odtoku ze zkoumané plochy a fyzikálně chemickými parametry půdy.

## 8. Seznam použité literatury

Abdujev, M., 2012. *Diluvial Soils and Their Amelioration* 1st ed., Reading: Garnet Publishing Ltd.

Abid, M. & Lal, R., 2008. Tillage and drainage impact on soil quality I. Aggregate stability, carbon and nitrogen pools. *Soil and Tillage Research*, 100(1-2), pp.89–98. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198708000676> [Accessed April 30, 2014].

Abid, M. & Lal, R., 2009. Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 103(2), pp.364–372. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198708002158> [Accessed April 30, 2014].

Bart, D., Simon, M., Carpenter, Q., Graham, S., 2011. Historical Land Use and Plant-Community Variability in a Wisconsin Calcareous Fen. *Rhodora*, 113(954), pp.160–186. Available at: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.3119/10-09.1>.

Bednář, J., 2003. *Meteorologie* 1st ed., Praha: Portál.



- Blann, K. L., Anderson, J. L., Sands, G. R., Vondracek, B., 2009. Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(11), pp.909–1001. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380801977966> [Accessed May 5, 2014].
- Boháč, J., Frouz, J., Syrovátka, O., 2005. Communities of carabids and staphylinids in seminatural and drained peat meadows in southern Bohemia. *Ekologia-Bratislava*, 24(3), pp.292–303. Available at: <Go to ISI>://000232708900006.
- Brady, N. C. & Weil, R. R., 2007. *The Nature and Properties of Soils*, Harlow: Prentice Hall.
- Bucur, D. & Moca, V., 2012. The influence of improvement procedures and a tile drainage system on soil physical properties in a north-east romanian experimental site. *Irrigation and Drainage*, 61, pp.386–397.
- Cenia, Národní geoportál INSPIRE. Available at: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map> [Accessed May 6, 2014].
- Clarkson, B. R., Moore, T. R., Fitzgerald, N. B., Thornburrow, D., Watts, C. H., Miller, S., 2013. Water Table Regime Regulates Litter Decomposition in Restiad Peatlands, New Zealand. *Ecosystems*, 17(2), pp.317–326. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s10021-013-9726-4> [Accessed May 15, 2014].
- Conrad, Y. & Fohrer, N., 2009. Modelling of nitrogen leaching under a complex winter wheat and red clover crop rotation in a drained agricultural field. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(8-9), pp.530–540. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474706508002234> [Accessed May 13, 2014].
- Česká geologická služba, 2013. Geologická mapa 1:25000. Available at: [http://mapy.geology.cz/geocr\\_25/](http://mapy.geology.cz/geocr_25/).
- David, M. B., McIsaac, G. F., Darmody, R. G., Omonode, R. A., 2000. Long-term changes in mollisol organic carbon and nitrogen. *Journal of environmental quality*, 38(1), pp.200–11. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19141810> [Accessed May 13, 2014].
- Davis, D. M., Gowda, P. H., Mulla, D. J., Randall, G. W., 2000. Modeling nitrate nitrogen leaching in response to nitrogen fertilizer ... *Journal of Environmental Quality*, 29, pp.1568 – 1581.

- Dub, O., 1963. *Hydrológia Hydrografia Hydrometria* 2nd ed., Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry.
- Duren, I. C. Van, Boeye, D., Grootjans, A. P., 1997. Nutrient limitations in an extant and drained poor fen : implications for restoration. , pp.91–100.
- Eliáš, V., Tesař, M., Šír, M., Syrovátka, O., 2002. Stabilita extremalizace hydrologického cyklu pramenných oblastí. In A. Patera et al., eds. *Povodně: prognózy, vodní toky a krajina*. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, pp. 363–385.
- Fennessy, S. & Craft, C., 2011. Agricultural conservation practices increase wetland ecosystem services in the Glaciated Interior Plains. *Ecological Applications*, 21(3), pp.S49–S64.
- Fídl, J. & Křovák, F., 1981. *Cvičení z meliorací* 1st ed., Praha: Vysoká škola zemědělská v Praze.
- Frouz, J. & Syrovátka, O., 1995. The effect of peat meadow drainage on soil dwelling dipteran communities - a preliminary report. *Dipterologica boemoslovaca*, 7, pp.47–54.
- Frouz, J., 1999. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74, pp.167–186.
- Frouz, J., Pižl, V., Tajovský, K., Syrovátka, O., 2012a. The effect of pipe drainage on peat meadow soil: soil macrofauna. *ENVIRONMENTALICA*, 24, pp.91–107.
- Frouz, J., Kalčík, J., Syrovátka, O., 2012b. The effect of pipe drainage on peat meadow soil: physical and chemical soil properties. *ENVIRONMENTALICA*, 24, pp.83–89.
- Furukawa, Y., Shiratori, Y., Inubushi, K., 2008. Depression of methane production potential in paddy soils by subsurface drainage systems. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54(6), pp.950–959. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1747-0765.2008.00310.x> [Accessed April 28, 2014].
- Gentry, L. E., David, M. B., Smith, K. M., Kovacic, D. A., 1998. Nitrogen cycling and tile drainage nitrate loss in a corn/soybean watershed. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 68(1-2), pp.85–97.

- Grazhdani, S., Jacquin, F., Sulce, S., 1996. Effect of subsurface drainage on nutrient pollution of surface waters in south eastern Albania. *Science of the Total Environment*, 191(1-2), pp.15–21.
- Guo, X., Du, W., Wang, X., Yang, Z., 2013. Degradation and structure change of humic acids corresponding to water decline in Zoige peatland, Qinghai-Tibet Plateau. *The Science of the total environment*, 445-446, pp.231–6. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23334317> [Accessed May 15, 2014].
- Jacobsen, O. H. & Kjaer, J., 2007. Is tile drainage water representative of root zone leaching of pesticides? *Pest management science*, 63(5), pp.417–428.
- Janský, B., 2002. Retence vody v povodí. , pp.59–70. Available at: [hydro.natur.cuni.cz/zmeny\\_povodni/pdf/jansky.pdf](http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/pdf/jansky.pdf).
- Jeníček, M., 2013. MZ330P75 Aplikovaná hydrologie: Srážky, sníh, evapotranspirace, intercepce. , p.69. Available at: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=69> [Accessed May 6, 2014].
- Jin, C. X., Sands, G. R., Kandel, H. J., Wiersma, J. H., Hansen, B. J., 2008. Influence of Subsurface Drainage on Soil Temperature in a Cold Climate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(1), pp.83–88. Available at: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9437%282008%29134%3A1%2883%29> [Accessed April 30, 2014].
- Kalita, P. K., Algoazany, A. S., Mitchell, J. K., Cooke, R. A. C., Hirschi, M. C., 2006. Subsurface water quality from a flat tile-drained watershed in Illinois, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115(1-4), pp.183–193. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880906000338> [Accessed May 13, 2014].
- Karlen, D. L., Kumar, A., Kanwar, R. S., Cambardella C. A., Colvin, T. S., 1998. Tillage system effects on 15-year carbon-based and simulated N budgets in a tile-drained Iowa ® eld. , 48, pp.155–165.
- Klaassen, W., Bosveld, F., de Water, E., 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 212-213, pp.36–50. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169498002005>.

- Kladivko, E. J., Grochulska, J., Turco, R. F., Van Scoyoc, G. E., Eigel, J. D., 1999. Pesticide and Nitrate Transport into Subsurface Tile Drains of Different Spacings. *Journal of Environment Quality*, 28(3), p.997. Available at:  
<https://www.agronomy.org/publications/jeq/abstracts/28/3/JEQ0280030997>.
- Kliment, Z. & Matoušková, M., 2009. Runoff Changes in the Šumava Mountains (Black Forest) and the Foothill Regions: Extent of Influence by Human Impact and Climate Change. *Water Resources Management*, 23(9), pp.1813–1834. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11269-008-9353-6> [Accessed April 30, 2014].
- Kulhavý, Z., Fučík, P., Soukup, M., Čmelík, M., 2011a. Metodická příručka pro žadatele OPŽP - přílohy. In *Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině pro podporu žadatelů o PBO v prioritních osách 1 a 6*. Praha: MŽP ČR.
- Kulhavý, Z., Fučík, P., Tlapáková, L., 2011b. Metodická příručka pro žadatele OPŽP. In *Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině pro podporu žadatelů o PBO v prioritních osách 1 a 6*. Praha: MŽP ČR, pp. 1–29.
- Kuráž, V. & Soukup, M., 2004. Vliv odvodnění na půdní a hydrologické režimy. *Vodní hospodářství*, 8, pp.246–248.
- Kutílek, M., Kuráž, V., Císlarová, M., 1993. *Hydropedologie* 1st ed., Vydavatelství ČVUT.
- Langhammer, J., 2012. Vliv změn v krajině na průběh a následky povodně 2002. *Vodní hospodářství*, 9, pp.285–288.
- Likens, G. ed., 2009. *Encyclopedia of Inland Waters* 1st ed., Amsterdam: Elsevier.
- Macková, I., 2006. *Vyzařování tepla v krajině*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. Available at: [http://gis.fzp.ujep.cz/files/0624\\_EnergieKrajiny.pdf](http://gis.fzp.ujep.cz/files/0624_EnergieKrajiny.pdf).
- Mathew, E. K., Panda, R. K., Nair, M., 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. *Agricultural Water Management*, 47, pp.191–209.
- Montagne, D., Cornu, S., Le Forestier, L., Cousin, I., 2009. Soil Drainage as an Active Agent of Recent Soil Evolution: A Review. *Pedosphere*, 19(1), pp.1–13. Available at:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1002016008600788> [Accessed April 30, 2014].

- Nangia, V., Gowda, P. H., Mulla, D. J., Sands, G. R., 2010. Modeling Impacts of Tile Drain Spacing and Depth on Nitrate-Nitrogen Losses. *Vadose Zone Journal*, 9(1), p.61. Available at: <https://www.soils.org/publications/vzj/abstracts/9/1/61> [Accessed May 13, 2014].
- Naz, B. S., Ale, S., Bowling, L. C., 2009. Detecting subsurface drainage systems and estimating drain spacing in intensively managed agricultural landscapes. *Agricultural Water Management*, 96(4), pp.627–637. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377408002436> [Accessed April 30, 2014].
- Němec, R., Škorpíková, V., Křivan, V., 2012. Fenomén efemérních polních mokřadů na orné půdě Pojd'te se s námi podívat do zdánlivě nudné zemědělské krajiny na Znojemsku ., *Živa*, 2, pp.57–59.
- Netopil, R., 1972. *Hydrologie pevnin* 1st ed., Praha: Academia.
- Neumann, A., Torstensson, G., Aronsson, H., 2012. Nitrogen and phosphorus leaching losses from potatoes with different harvest times and following crops. *Field Crops Research*, 133, pp.130–138. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429012001049> [Accessed April 30, 2014].
- Nuutinen, V., Pöyhönen, S., Ketoja, E., Pitkänen, J., 2001. Abundance of the earthworm *Lumbricus terrestris* in relation to subsurface drainage pattern on a sandy clay field. *European Journal of Soil Biology*, 37(4), pp.301–304. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1164556301011050>.
- Nuutinen, V. & Butt, K. R., 2003. Interaction of *Lumbricus terrestris* L. burrows with field subdrains. *Pedobiologia*, 47(5-6), pp.578–581. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031405604702413>.
- Nuutinen, V., Butt, K. R., Jauhiainen, L., 2011. Field margins and management affect settlement and spread of an introduced dew-worm (*Lumbricus terrestris* L.) population. *Pedobiologia*, 54, pp.S167–S172. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031405611000667> [Accessed May 15, 2014].
- OECD, 2002. Glossary of Statistical Terms. , p.1. Available at: <http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1520> [Accessed May 6, 2014].
- Pokorný, E., Šarapatka, B., Hejátková, K., 2007. *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku* 1st ed., Náměšť nad Oslavou: ZERA–Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s.

- Rejzek, J., 2001. *Český etymologický slovník* 1st ed., Voznice: Leda.
- Ruark, M. D., Brouder, S. M., Turco, R. F., 2004. Dissolved organic carbon losses from tile drained agroecosystems. *Journal of environmental quality*, 38(3), pp.1205–15. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19398518> [Accessed May 13, 2014].
- Sádlo, J., Pokorný, P., Hájek, P., Dreslerová, D., Cílek, V., 2005. *Krajina a revoluce: významné přelomy ve vývoji kulturní krajiny českých zemí* 2nd ed., Praha: Malá Skála.
- Schilling, K. E. & Helmers, M., 2008. Effects of subsurface drainage tiles on streamflow in Iowa agricultural watersheds : Exploratory hydrograph analysis. , 4506(May), pp.4497–4506.
- Schilling, K. E., Jindal, P., Basu, N., B., Helmers, M., J., 2012. Impact of artificial subsurface drainage on groundwater travel times and baseflow discharge in an agricultural watershed, Iowa (USA). *Hydrological Processes*, 26(20), pp.3092–3100. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.8337> [Accessed May 6, 2014].
- Sierra, C. A., Harmon, M. E., Perakis, S. S., 2011. Decomposition of heterogeneous organic matter and its long-term stabilization in soils. *Ecological Monographs*, 81(4), pp.619–634.
- Simard, R. R., Beauchemin, S., Haygarth, P. M., 2000. Potential for preferential pathways of phosphorus transport. *Journal of Environmental Quality*, 29(1), pp.97–105.
- Simmelsgaard, S., 1998. The effect of crop, N-level, soil type and drainage on nitrate leaching from Danish soil. *Soil use and Management*, 14, pp.30–36. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00607.x/abstract> [Accessed April 30, 2014].
- Soukup, M. & Kulhavý, Z., 1996. Regulace a retardace odtoku vody z odvodňovacího systému s ohledem na období sucha. In *Voda v krajině*. Brno: ČVTVS, p. 5. Available at: [http://www.hydomeliorace.cz/vumop/1996\\_2.pdf](http://www.hydomeliorace.cz/vumop/1996_2.pdf).
- Soukup, M., Mimrová, K., Pilná, E., 2000. Retardace odtoku z pramenných oblasí. , pp.238–242.
- Stone, G. E., 1911. The clogging of drain tile by roots. *Torrey*, 11(3), pp.51–55.

- Stone, M. & Krishnappan, B. G., 1997. Transport characteristics of tile-drain sediments from an agricultural watershed. *Water, Air and Soil Pollution*, 99, pp.89–103.
- Syrovátka, O., Šír, M., Balounová, Z., Teoretická a praktická hlediska revitalizace pramenných oblastí.
- Šimek, M., 2008a. Skleníkové plyny v půdě: Dusíkaté plyny-oxid dusný. *Vesmír*, 87, pp.758–761.
- Šimek, M., 2008b. Skleníkové plyny v půdě: Uhlíkaté plyny-oxid uhličitý a metan. *Vesmír*, 87, pp.674–678.
- Šulcová, L., 2008. *Porovnání srážek a průtoků na lokalitě Jenín ve vztahu ke koncentraci dusičnanů*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- Tlapáková, L., Burešová, Z., Čmelík, M., Eichler, J., Kulhavý, Z., Žaloudík, J., 2004. Využití leteckých snímků při identifikaci drenážních systému. In *Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda - rastlina - atmosféra: 12. posterový deň s medzinárodnou účasťou a deň otvorených dverí na ÚH SAV*. Bratislava: ÚH SAV. Available at: [http://www.hydomeliorace.cz/vumop/2004\\_5.pdf](http://www.hydomeliorace.cz/vumop/2004_5.pdf).
- Tsiko, C. T., Makurira, H., Geritts, A. M. J., Savenije, H. H. G., 2012. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 47-48, pp.122–127. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474706511001148> [Accessed May 25, 2014].
- UNEP, 2005. Ecosystems and Human Well-Being. Synthesis. In *Millenium Ecosystem Assessment*. Washington DC.: Island Press.
- Vašků, Z., 2011. Zlo zvané meliorace. *Vesmír*, 90, pp.440–444.
- Vidon, P. & Cuadra, P. E., 2010. Impact of precipitation characteristics on soil hydrology in tile-drained landscapes. *Hydrological processes*, 24, pp.1821–1833.
- Wasilewska, L., 2006. Changes in the structure of the soil nematode community over long-term secondary grassland succession in drained fen peat. *Applied Soil Ecology*, 32(2), pp.165–179. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0929139305001253> [Accessed April 30, 2014].
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D., 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses*, U.S. Department of Agriculture.