

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Ochrana životního prostředí



Tomáš Mařík

Vliv odvodnění na ekosystémy a možnosti revitalizace

Drainage its effect on ecosystem and possibilities for restoration

Bakalářská práce

Školitel: Prof. Ing. Mgr. Jan Frouz, CSc.

Praha, 2024

Charles University

Faculty of science

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, 30.4.2024

Tomáš Mařík

Poděkování

Rád bych v první řadě poděkoval prof. Mgr. Ing. Janu Frouzovi, CSc. za odborné a cenné rady a trpělivost v průběhu tvorby této práce. Dále bych rád poděkoval mé kolegyni Bc. Saře Skotnické za věcné diskuze k práci. V poslední řadě patří velké poděkování mé rodině a přátelům za podporu a důvěru.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem odvodnění na ekosystémy a možnostmi jejich revitalizace. Odvodnění, jakožto proces, který má za cíl regulovat vodní režim v krajině, může mít zásadní dopady na kvalitu vody, biodiverzitu a půdní procesy. Práce analyzuje historický vývoj odvodňovacích systémů v Čechách a jejich vliv na přírodní prostředí. Dále se zaměřuje na biologické a technické metody odvodnění a jejich důsledky na místní ekosystémy. V závěru jsou navrženy možné strategie revitalizace, které by mohly přispět k obnovení ekologické rovnováhy v postižených oblastech.

Klíčová slova: odvodnění, odvodňovací systém, podpovrchové odvodnění, revitalizace, kvalita vody

Abstract

This bachelor's thesis deals with the effect of drainage on ecosystems and the possibilities of their revitalization. Drainage, as a process that aims to regulate the water regime in the landscape, can have major impacts on water quality, biodiversity and soil processes. The thesis analyzes the historical development of drainage systems in Bohemia and their influence on the natural environment. It also focuses on biological and technical drainage methods and their consequences on local ecosystems. In the conclusion, possible revitalization strategies are proposed that could contribute to the restoration of the ecological balance in the affected areas.

Keywords: drainage, drainage system, subsurface drainage, revitalization, water quality

Obsah

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÉ POZNATKY	8
2.1	CO JE ODVODNĚNÍ.....	8
2.2	HISTORIE ODVODŇOVÁNÍ.....	8
2.2.1	<i>Historie odvodnění v Čechách</i>	8
2.3	VÝZNAM ODVODŇOVACÍCH SYSTÉMŮ.....	10
2.4	BIOLOGICKÉ ODVODNĚNÍ.....	11
2.5	TECHNICKÉ ODVODNĚNÍ.....	11
2.5.1	<i>Povrchové odvodnění</i>	11
2.5.2	<i>Podpovrchové odvodnění (drenáž)</i>	12
3	VLIV ODVODNĚNÍ NA EKOSYSTÉMY	13
3.1	VLIV NA KVALITU VODY, TOK VODY A HLADINU PODZEMNÍ VODY.....	13
3.2	VLIV NA PŮDU A PŮDOTVORNÉ PROCESY.....	13
3.3	VLIV NA BIODIVERZITU.....	14
3.3.1	<i>Biodiverzita rostlin</i>	15
3.3.2	<i>Biodiverzita živočichů</i>	15
3.4	VLIV ODVODNĚNÍ NA KLIMA.....	16
4	SOUČASNÁ SITUACE STAVEB ZEMĚDĚLSKÉHO ODVODNĚNÍ	17
4.1	LEGISLATIVNÍ A VLASTNICKÉ VZTAHY.....	17
4.2	EVIDENCE STAVEB.....	17
4.3	PŘÍSTUPY K ŘEŠENÍ SOUČASNÝCH STAVŮ ODVODŇOVACÍCH SYSTÉMŮ.....	18
4.3.1	<i>Diagnostika a monitoring</i>	19
4.3.2	<i>Druhy závad a příčina nefunkčnosti odvodňovacích systémů</i>	19
4.3.3	<i>Údržba a opravy zemědělského odvodnění</i>	21
5	MOŽNOSTI REVITALIZACE ODVODŇOVACÍCH SYSTÉMŮ	22
5.1	CO JE REVITALIZACE.....	22
5.2	POSTUP K NÁVRHU REVITALIZACE.....	22
5.2.1	<i>Pedologický průzkum</i>	23
5.2.2	<i>Hydrologický průzkum</i>	23
5.3	REVITALIZAČNÍ METODY.....	23
5.3.1	<i>Výběr revitalizační opatření pro HOZ a POZ</i>	24
6	ZÁVĚR	27
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	28

Seznam užívaných zkratk

C – uhlík

HOZ – hlavní odvodňovací zařízení

OH – organická hmota

OS – odvodňovací systém

P – fosfor

POZ – podrobné odvodňovací zařízení

1 Úvod

Odvodnění je proces, jehož cílem je snížení hladiny spodní vody a následně půdní vlhkosti, to má zásadní vliv na hydrologické cykly a ekosystémy, zejména v oblastech, kde je půda přirozeně mokřadní. Tento zásah do přírodního prostředí, ať už z důvodu zemědělské činnosti, urbanizace nebo jiných lidských aktivit, může mít dalekosáhlé důsledky pro biodiverzitu, kvalitu vody a celkovou ekologickou rovnováhu. V posledních desetiletích se ukazuje, že tradiční metody odvodnění, které byly navrženy s cílem zvýšit produktivitu půdy a snížit riziko záplav, často vedou k degradaci přírodních ekosystémů a ztrátě biologické rozmanitosti (Kulhavý, 2018).

Cílem této bakalářské práce je analyzovat vliv odvodnění na ekosystémy a prozkoumat možnosti jejich revitalizace. Práce se zaměřuje na různé aspekty, jako jsou změny v hydrologickém cyklu, eutrofizace vodních toků a degradace stanovišť, které jsou důsledkem odvodňovacích praktik. Dále se zabývá metodami, které mohou přispět k obnově těchto ekosystémů, včetně biologických a technických přístupů, které se osvědčily v praxi (Craft et al., 2018).

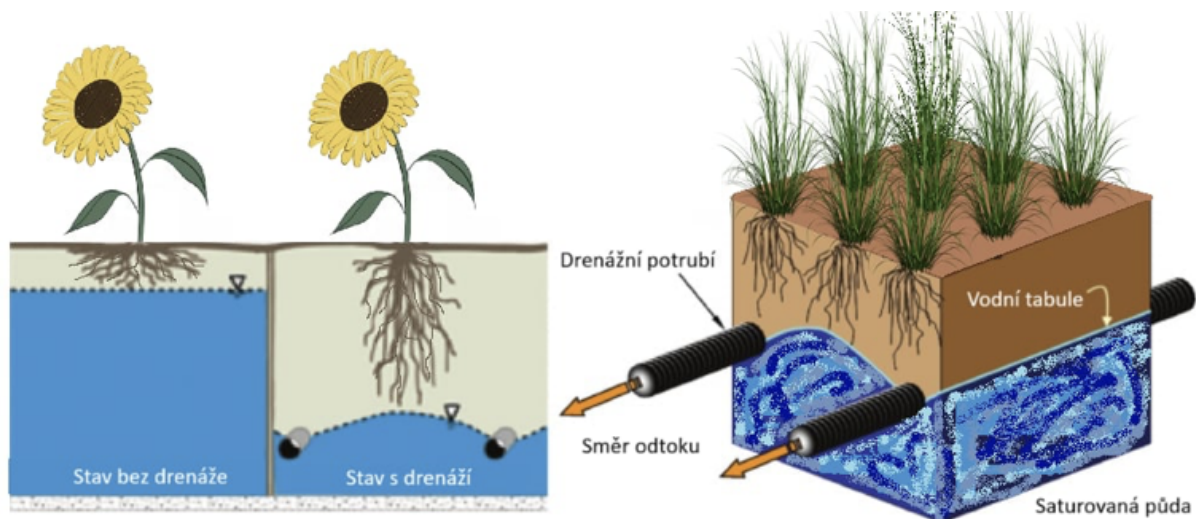
V první části práce bude podrobně popsán teoretický rámec, který se týká hydrologie a ekologie, a bude uveden přehled dosavadních výzkumů v oblasti vlivu odvodnění na přírodní prostředí. Následně budou prezentovány konkrétní příklady z praxe, které ilustrují negativní dopady odvodnění na biodiverzitu a kvalitu vody. V závěrečné části práce se zaměříme na návrhy revitalizačních opatření, která mohou pomoci obnovit přirozené funkce ekosystémů a zlepšit jejich odolnost vůči změnám způsobeným změnou klimatu a lidskou činností (Zajíček et al., 2021).

Tato práce si klade za cíl přispět k lepšímu porozumění problematice odvodnění a jeho vlivu na ekosystémy, a zároveň nabídnout praktické návrhy pro ochranu a revitalizaci přírodního prostředí. Vzhledem k rostoucímu tlaku na přírodní zdroje a klimatickým změnám je důležité hledat udržitelné přístupy, které zajistí ochranu biodiverzity a kvality vody pro budoucí generace.

2 Teoretické poznatky

2.1 Co je odvodnění

Odvodnění je jeden z mnoha melioračních zásahů do krajiny. Latinské melior, v překladu zlepšit, tedy popisuje snahu o zásah do území ve směru jeho zlepšení. Druhů melioračních opatření je celá řada (odvodňování půdy, zúrodnění půdy, pozemkové úpravy, závlahy půdy, protierozní ochrana půdy) a jsou prováděny na zemědělsky využívaných půdách, pro zefektivnění a zvýšení zemědělské produkce (Jůva, 1962). Nicméně já se zde zaměřím na odvodňování, které mění hladinu podzemní vody, jak lze vidět na **Obr.1**, kde jsou porovnané hladiny s odvodněním a bez odvodnění. Je zde vidět pokles hladiny se snižující se vzdáleností od drenážního potrubí (Blann et al., 2009).



Obrázek 1 Rozdíly hladiny podzemní vody při stavu bez podpovrchové drenáže a s podpovrchovou drenáží a schéma provedení drenáže ve 3D zobrazení. Podpovrchová drenáž snižuje hladinu podzemní vody, aby se zlepšil růst kořenů plodin v půdách se špatnou vnitřní drenáží. Převzato z (Blann et al., 2009).

2.2 Historie odvodňování

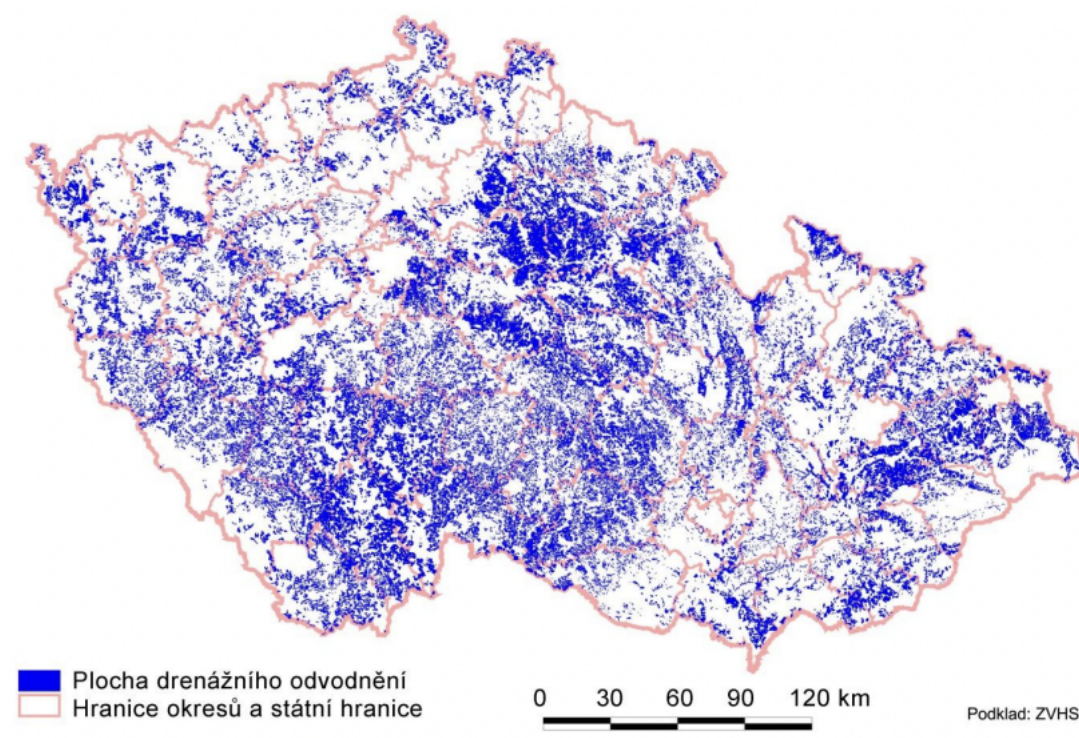
Od dob neolitické revoluce si člověk osvojil zemědělskou dovednost, která navýšila produkci potravin na menším prostoru. S rostoucí populací bylo nutné zajisti další zemědělské plochy (Perlès, 2006). Od 1. tisíciletí př.n.l. existují záznamy z Řecka a Římské říše, kde růst zemědělské plochy zajišťovali odvodněním rozsáhlých močálů a bažin. Podobně později probíhalo odvodnění velké části pobřeží severního moře (Sedlák & Sanetník, 1985). Velkou inovací v odvodňování Evropy se stal vynález přístroje na výrobu drenážních trubek v roce 1843 (Vašků, 2011). Tento velice významný způsob

odvodnění pomocí drenážního potrubí se používá přes 150 let (Fučík et al., 2021). Plocha odvodňovacích staveb ve světě zabírá přibližně 200 miliónu hektarů zemědělské půdy (Marval et al., 2020).

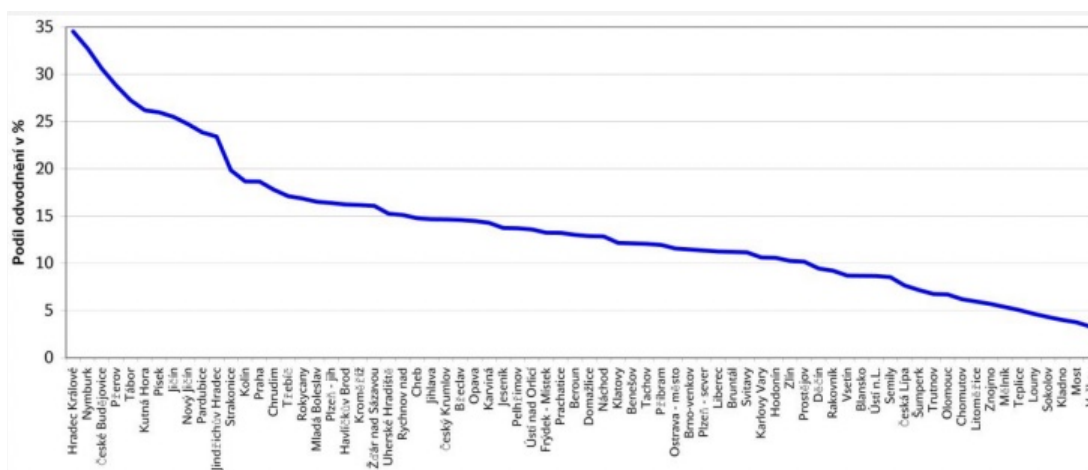
2.2.1 Historie odvodnění v Čechách

Celkově lze konstatovat, že odvodňování v České republice je kontinuální proces adaptace na měnící se potřeby zemědělství a hospodářský rozvoj, který se vyvíjel od středověku až do současnosti. Na území České republiky probíhalo vysušování zamokřených ploch již v 10. století. Později v 14–16. století na vysušených plochách vznikaly ve velkém nové rybníčné soustavy v okolí Třeboňské a Českobudějovické pánve, na Pardubicku a v mnoha dalších částech státu. Výstavbu rybníků doprovázelo narovnávání toků a stavba hrází. Soustavy plnily hospodářskou a zároveň protipovodňovou funkci (Sedlák & Sanetrník, 1985).

Během doby socialismu byl brán zřetel na co nejvyšší zemědělskou produkci. V té době odvodnění patřilo k primárním opatřením, jak této produkce dosáhnout. Za podpory státu bylo odvodněno 27% zemědělské půdy (pro představu je odvodněná plocha zobrazená na **obr.2**, na **obr.3** je graf zobrazující evidované zemědělské odvodnění na celkové ploše okresů). Zásahu na tom měla státní meliorační správa a meliorační družstva s ní související. Vysoká míra odvodnění půdy měla za následek snížení schopnosti půdy zadržovat vodu a živiny, a také způsobila pokles biodiverzity (Frouz & Frouzová, 2021).



Obrázek 2 Plošné zastoupení zemědělského odvodnění pro celou ČR (Kulhavý et al., 2011).



Obrázek 3 Podíl plochy evidovaného zemědělského odvodnění na celkové ploše okresů (z územní databáze ZVHS vypracoval VÚMOP, v.v.i.) (Kulhavý et al., 2011).

Nejčastějším provedením odvodňovacích systémů (OS) v ČR je kombinace hlavního odvodňovacího zařízení (HOZ), které může být povrchové nebo podpovrchové, a podrobného odvodňovacího zařízení (POZ). POZ bývá provedeno povrchově nebo podpovrchovou drenáží (svodné, sběrné a záchytné drény) a může ústít do HOZ nebo do drobných vodních toků (Marval et al., 2020). K budování nových odvodňovacích systémů prakticky v ČR již nedochází, a to od roku 1990. Celkové odvodněné území k tomuto roku zabírá 1 064 999 ha tedy asi jednu čtvrtinu zemědělských ploch. Stáří odvodňovacích staveb se pohybuje přibližně od 17–100 let. V současnosti jsou odvodňovací stavby často zanedbávány čímž je snižována jejich funkce. Zejména se jedná o tzv. „detailní odvodňovací zařízení“, kde podle průzkumů provedených Kulhavým et al. (2006) v jižních Čechách dochází k poškození prorůstáním kořenů, chemickou nebo fyzikální erozí, zanášením nebo mechanickými poruchami. Dodnes nebyl zrealizován obdobný celostátní průzkum hodnotící reálný stav odvodňovacích systémů, který dostatečně popíše míry funkčnosti a rozsah výskytu různých závad (Kulhavý et al., 2007).

2.3 Význam odvodňovacích systémů

Odvodňovací systémy hrají klíčovou roli v ochraně území před negativními dopady nadměrného množství vody, a to jak v zemědělství, tak v urbanizovaných oblastech. V zemědělských oblastech je účinné odvodňování nezbytné pro zajištění optimálních podmínek pro růst plodin, což vede k vyšší produktivitě a lepší kvalitě úrody (Wayne Skaggs, 1999). Důležitým faktorem při odvodnění půdy je, zda je zamokřená trvale nebo dočasně. Hladina podzemní vody v zamokřených půdách může být příliš blízko k povrchu (30-50 cm pod povrchem) a to u dočasného zamokření (přibližně týden). Tento stav není pro kulturní rostliny zvláště negativní. Pokud ale mluvíme o dlouhodobějším setrvání hladiny v daných mezích, je již žádoucí půdu odvodnit (Fiala et al., 1980). Správně navržené a udržované odvodňovací systémy provzdušňují půdu a zabraňují přemokření půdy, což minimalizuje riziko eroze

a ztráty živin. Řešení systémů odvodnění regulovatelnou drenáží může umožnit regulaci hladiny podzemní vody, což je důležité pro dlouhodobou udržitelnost zemědělské produkce. Odvodnění zemědělské půdy umožňuje v rostoucí společnosti pokrýt zvyšující se poptávku po potravinách (Wang et al., 2020).

V urbanizovaných oblastech je význam odvodňovacích systémů ještě zřetelnější. Tyto systémy pomáhají předcházet záplavám, které mohou způsobit značné škody na infrastruktuře, majetku a ohrozit lidské životy (Prasad et al., 2022). Efektivní správa dešťové vody prostřednictvím odvodňovacích systémů také přispívá k ochraně vodních zdrojů a ekosystémů. Moderní odvodňovací systémy často zahrnují prvky, které umožňují zpětné využití dešťové vody, čímž se snižuje tlak na tradiční vodní zdroje a zvyšuje se celková udržitelnost městského prostředí (Elliott & Trowsdale, 2007).

Kromě ochrany před záplavami a optimalizace podmínek pro zemědělství mají odvodňovací systémy také významný ekologický dopad. Udržení správné hydrologické rovnováhy prostřednictvím odvodňovacích systémů je klíčové pro zachování biodiverzity v mnoha přírodních oblastech. Odvodňovací systémy mohou pomoci snížit riziko sucha tím, že regulují hladinu vody v půdě a podporují přirozenou infiltraci vody do podzemních zdrojů. Tento proces je důležitý pro udržení zdravých ekosystémů a zajištění dostatečných zásob pitné vody pro budoucí generace (Kaur et al., 2023).

2.4 Biologické odvodnění

Existují biologické metody odvodnění, které se obvykle používají na méně zamokřených půdách. Mají nízkou ekonomickou zátěž a při jejich uplatnění i nižší nároky na realizaci než u technických způsobů odvodnění. Nevýhodou však může být nejistá spolehlivost a pomalý účinek. Principem biologického odvodnění je zvýšením výparu dané lokality za pomoci rostlin nebo vhodnou úpravou struktury půdy. Zlepšení struktury půdy se doporučuje tam, kde je její strukturální stav nevyhovující. Dobrá struktura půdy s vhodným poměrem kapilárních a nekapilárních pórů efektivně nakládá s vodou a zamezuje zamokření. U rostlin je důležitá volba druhového složení. Některé rostliny zvládnou přirozeně růst ve vodou obohacených půdách. Za pomoci hluboko sahajícího kořenového systému, který odebírá vodu z půdního profilu, rostliny transportují vodu cévami do listů, kde se voda odpařuje. Vysoká míra transpirace umocňuje efekt odvodnění. Užití rostlin zároveň zlepšuje půdní strukturu, napomáhá provzdušnění půdy a podporuje další růst rostlin, což přispívá k celkové biologické diverzitě a zdraví ekosystému (Lehman et al., 2015). Nejvýznamnější efekt mají vlhkomilné dřeviny (vrba, topol, osika a olše) (Černohous et al., 2012).

2.5 Technické odvodnění

Technicky řešené odvodňovací systémy začali být používány při intenzifikaci zemědělství. Jejich užití umožnilo sjednocení malých zemědělských ploch ve velkoplošné plochy za doby privatizace. Velké

plochy umožnily vjezd těžké techniky (zemědělských strojů) pro zintenzivnění obdělávání půdy (Sims et al., 1998). Výstavba odvodňovacích staveb často zahrnovala výkopové práce či narovnávání malých vodních toků pro zvětšení zemědělského území. Rozlišujeme dva druhy provedení technického odvodnění podle jeho umístění, a to na povrchové odvodnění a podpovrchové odvodnění. Oba druhy mají své specifické využití a jsou klíčové pro efektivní hospodaření s vodou na různých druzích zemědělských ploch (Craft et al., 2018). Účinnosti těchto druhů odvodnění závisí na sklonu půdy, srážkových poměrech, typu půdy a typech pěstovaných plodin (Helenius & Herzon, 2008).

2.5.1 Povrchové odvodnění

Povrchové odvodnění je častěji používané v sušších a polovlhkých oblastech světa (Bigalke et al., 2022). Tento způsob je využíván při potřebě odvést přebytek povrchové vody z území nebo jako svod výstří podpovrchové drenáže (Fiala et al., 1980). Zdroji vody můžou být silné deště, záplavy vodními toky nebo jarní tání sněhu. Vykonává se jimi i snížení a ustálení podzemní vody v souvislosti s odstraněním povrchového zamokření půdy (Jůva et al., 1987). Voda je odváděna po přirozeném nebo uměle svažitém terénu za pomoci otevřených příkopů a kanálů (záchytné příkopy a suché nádrže k zachycení vnějších vod, svodné odvodňovací příkopy, přehrážky a objekty sloužící k regulaci) směrem k povrchovým výpustím, mělkým příkopům a zatravněným vodním tokům (Ghane, 2018). Povrchové odvodnění může být využito i pro snížení hladiny podzemní vody a to v případě kdy její hladina je položená výš než dno příkopu (Frouz & Frouzová, 2021).

2.5.2 Podpovrchové odvodnění (drenáž)

Podpovrchové odvodnění je nejběžnějším drenážním systémem v mírném pásu (Bigalke et al., 2022). Účel tohoto typu odvodnění je dost podobný jako u povrchového odvodnění. Snaha odvedení nadbytečného množství podpovrchové vody z požadovaného půdního profilu z důvodu obdělávání nebo jiného využití. Jelikož se drenáž nachází pod povrchem zvětšuje se tím plocha obdělávatelné půdy, což je výhodou oproti povrchovým příkopům a kanálům. Nevýhodou může být náročnější postupy při opravách podpovrchového odvodnění (Sedlák & Sanetník, 1985). Drény mohou být použity samostatně provedením sporadickou (ojedinělou) drenáží, například pro odvodnění místních pramenišť, bezodtokové oblasti, průsaků z vodních toků, přítoků cizí vody z vyšších poloh atd. nebo jsou použity souběžné řady drénů provedeny plošnou drenáží (vystavěné v určité soustavě zajišťující stejnoměrné odvodnění) odvodňující souvislé plochy zamokřené půdy. Tyto drény zapadají do přesně navržených soustav plošné drenáže (systematické) skládající se ze sběrných drénů, které přímo zachycují a odvádějí přebytečnou vodu, a drénů svodných, které přebírají vodu ze sběrných drénů a odvádějí ji nejkratší cestou do povrchového recipientu (Jůva et al., 1987).

3 Vliv odvodnění na ekosystémy

Sčítající se vliv zemědělského odvodnění přispívá ke změně životního prostředí v povodí, krajině, v regionálním i globálním měřítku. Celková ekologická změna v životním prostředí je obvykle součtem kumulativních efektů, u kterých není vždy možné plně zohlednit relativní důležitost jednotlivých faktorů jakožto i vlivu odvodnění (Blann et al., 2009).

3.1 Vliv na kvalitu vody, tok vody a hladinu podzemní vody

Intenzita odvodnění hraje klíčovou roli v obsahu znečišťujících látek ve vodě. Ztráty znečišťujících látek z půdy jsou primárně ovlivněny objemem odváděné vody. Hluběji položené a hustší systémy mají větší přepravní potenciál oproti mělčeji položeným systémům s menší hustotou (Strock et al., 2010). Hlavní dvě cesty transportující živiny ze zemědělské půdy zahrnují povrchový a podpovrchový odtok. Za poslední dekádu způsobil hlavně podpovrchový odtok obavy s environmentálních dopadů na kvalitu vody. Mineralizující organická hmota (OH) spolu s komerčními hnojivy a hnoji používaných k produkci je odnášena do povrchových vod. Ve sladkých vodách tyto živiny obsahující fosfor (P) podporují eutrofizaci, jelikož je P limitující pro růst řas. Zvýšená míra respirace řas může vést k hypoxii (nízké hladině kyslíku) což má za následek umírání ryb a vodních živočichů. Společně s P jsou z polí vyplavovány dusičnany, které zvyšují produkci toxinů řas (Ghane, 2018).

Dalšími látkami nacházejícími se v drenážních vodách a odvodňovacích systémech jsou pesticidy. Používají se na polích k zvýšení výnosu plodin, ale mají negativní vliv na životní prostředí, pokud opouští zemědělské ekosystémy. Transport pesticidů preferenčním prouděním přes makropóry do drenáže značně urychluje jejich následný vstup do povrchových vod, čímž se zhoršuje její kvalita (Vymazal & Březinová, 2015). Snížení kvality vody ve vodních ekosystémech má za následek ztráty biologické rozmanitosti a ohrožení zdrojů pitné vody (Becke et al., 2022).

Plastový materiál užívaný v zemědělství a plastový odpad volně se vyskytující v krajině z řady důvodů degraduje na formy mikroplastů. Mikroplasty jsou řazeny mezi další kontaminanty vody, do které se dostávají mnoha různými způsoby. Do povrchových odvodňovacích systémů se mikroplasty dostávají erozí a splachem povrchu. V podpovrchových drenážích se plasty nacházejí díky jejich transportu z povrchu do nižších vrstev půdy až k hladinám mělkých podpovrchových vod, kde preferovanými cestami končí v odvodňovacím systému následně vyústěným do povrchových vod, což má za následek jejich kontaminaci mikroplasty. Nejběžnějšími polymery v drenážních vodách jsou polyetylen a Polyamid (Bigalke et al., 2022).

Pro ochranu vod je důležité, aby intenzita odvodnění byla navržena pro dané místo adekvátně a realisticky podle využití místa, na rozdíl od historických odvodnění, u kterých se málokdy předcházelo nadměrnému odvodnění. Předchází se tím nadměrnému odtoku živin a látek z lokality a sníží se riziko znečištění (Strock et al., 2010).

Odvodnění mění hydrologické režimy, což ovlivňuje objem a načasování odtoku vody. Tyto

změny mohou mít dalekosáhlé důsledky pro ekosystémy, včetně změn v dostupnosti vody pro vodní organismy (Blann et al., 2009).

3.2 Vliv na půdu a půdotvorné procesy

Půda plní více funkcí, jako je produkce potravin, regulace vody, sekvestrace uhlíku, cyklování živin a podporuje biodiverzitu. Je důležité brát v úvahu tyto funkce při navrhování agri-environmentálních politik (Coyle et al., 2016). Půda je nedoceňovaným základním zdrojem i životním prostorem, na kterém je závislé chování ekosystému. Je domovem kořenů rostlin a obrovského množství organismů. Ty se v půdě nacházejí v živých i mrtvých formách a tím ovlivňují její složení, chemické procesy a celkové zdraví půdy (Frouz & Vindušková, 2020). Obecně platí, že podpovrchové odvodnění snižuje erozi půdy a ztrátu většiny živin pro rostliny na středně těžkých až těžkých půdách. Vzniká tím prevence před degradací půdy a zároveň je udržována její úrodnost (Grazhdani et al., 1996). Odvodnění může zlepšit stabilitu makroagregátů v půdě, což je důležité pro udržení struktury půdy (Kumar et al., 2014). Dále roste provzdušněnost půdy snížením doby, po kterou je půda nasycená vodou, čímž dochází k lepší aeraci. Aerace má pozitivní vliv na redoxní podmínky v půdě a mění chemické procesy, které v půdě probíhají. Vlivem toho mohou být dostupnější živiny pro rostliny a lepší zdraví půdy (Montagne et al., 2009).

Vliv odvodnění závisí na původním stavu odvodňovaného území a je proměnné v čase. Odvodníme-li velmi zamokřenou půdu, pak po jejím odvodnění dochází k většímu provzdušnění, zvyšuje se biologická aktivita, roste teplota půdy, a to opět zvyšuje biologickou aktivitu, zvyšuje se uvolňování živin, a to vše podporuje růst rostlinné produkce. Nicméně po nějakém časovém období, podle velikosti půdního horizontu obsahujícího OH, může dojít k významné až úplné ztrátě OH, ztrátě vody a živin (Krejčová et al., 2021).

Půdní vlastnosti ovlivňuje množství půdní OH, která je klíčovým faktorem pro zdraví půdy. OH v půdě zlepšuje strukturu, lépe zadržuje živiny před vyplavením, a také zvyšuje vododržnost půdy. V modelové studii v jižních Čechách bylo prokázáno, že odvodněním půdy klesá množství půdní organické hmoty v dlouhodobém měřítku. To může snižovat do budoucna zdraví odvodněných půd a jejich funkci pro společnost (Frouz & Vindušková, 2020). Proces snižování obsahu OH je zapříčiněn nižší hladinou spodní vody, a tedy vyšší aerací zvyšující činnost aerobních mikroorganismů, které OH rychleji rozkládají. Rychlost rozkladu organické formy uhlíku (C) a živiny na anorganické formy C ovlivňují faktory chemického složení, pH, teplota a vlhkost. Anorganický C je dostupnější pro rostliny. Vedlejším produktem metabolismu aerobních mikroorganismů je oxid uhličitý (CO_2), který je uvolňován z půdy. Tento typ ztrát uhlíku je velice významný zvláště v odvodněných rašeliništích, které jsou významnými uhlíkovým úložištěm. Uložený C dříve v anaerobních podmínkách je tedy více uvolňován a jako významný skleníkový plyn může ovlivnit toto odvodnění rychlost globálního oteplování (Clarkson et al., 2014). Společně s aktivním C (přístupný rostlinám a mikroorganismům jako

zdroj energie a živin) se v půdě nachází aktivní dusík. Přítomnost obou látek značně roste v odvodněné půdě v hloubkách pod 15 cm, jak dokázala studie (Frankl et al., 2023). Studie upozorňuje, že odvodnění není statickým procesem nýbrž dynamickým, a proto je při dalších výzkumech důležité zahrnovat stáří OS a chápat spektrum podmínek tím ovlivněných.

Transformace půdních podmínek způsobená úpravami hydrologického režimu v půdě společně s charakterem zemědělského využití mění původní charakter půd před odvodněním. Horní organické horizonty se přeměňují na minerální (Suleymanov et al., 2023).

3.3 Vliv na biodiverzitu

Opět je důležité podotknout, že vliv odvodnění se mění v čase a je závislý na výchozím stavu území. Okolí systémů odvodňovacích příkopů a kanálů představují mnoho kombinací různých vlastností stanovišť, včetně půdy, vody a vegetace. Různorodost stanovišť umožňuje mnoha rostlinným i živočišným druhům setrvat trvale a mnoho dalším užít oblasti příkopu v době rozmnožování. Jako primární faktor ovlivňující druhové složení společenstva je uváděn hydrologický cyklus určený hloubkou, průtokem, chemickým složením vody a dobou setrvání vody v půdě. Cyklus je ovlivňován velikostmi příkopů a režimem hospodaření na okolních zemědělských a přírodních stanovištích (Helenius & Herzon, 2008). Odvodnění mokřadních ekosystémů může způsobovat do značné míry jejich degradaci (Bourgault et al., 2017). Mokřadní ekosystémy často hostí velkou biodiverzitu (Kajak, 1983; Rusek, 1984; Grootjans et al., 1988; Krejčová et al., 2021). Zvýšení aerace půdy spolu se sníženou hladinou podzemní vody může zpočátku vést k zvýšení počtu druhů (Soro et al., 1999). Nicméně posléze vede k arerace a zvýšená dekompozice rašelinného substrátu má k jeho mineralizaci, což vede k ztrátě OH a narušení schopnosti zadržovat vodu a změně dalších parametrů což má za následek pokles množství fauny a flóry specializované na rašelinný pokryv (Fisher et al., 1996; Mountford and Chapman, 1993; Kleinen, Brovkin, & Schuldt, 2012; Krejčová et al., 2021). Změny, které odvodněním nastávají, tvoří příznivé prostředí pro invazivní druhy, které jsou schopny vytlačit původní druhy a tím změnit složení ekosystému (Fei et al., 2024). Velké množství odvodňovacích příkopů je zasaženo eutrofizací, používáním pesticidů a organickým znečištěním. Tyto podmínky snižují rozmanitost bezobratlých. Vyšší fluktuace v koncentracích živin a nižší rozmanitost vegetace ovlivňuje strukturu společenstev (Keizer-vlek et al., 2011).

3.3.1 Biodiverzita rostlin

Změny v hydrologických podmínkách mohou způsobit salinizaci půdy, zvláště v aridních oblastech, čímž je negativně ovlivněn růst rostlin a může dojít k úbytku druhů citlivých na vysokou salinitu (Fei et al., 2024). Odvodnění u rašeliníšť a mokřadů vede k homogenizaci rostlinného pokryvu. Variabilita půdní vlhkosti je v odvodněných rašeliníštích a mokřadech nižší než v neodvodněných. Odvodněním zanikají mikrohabitaty mající různou úroveň vlhkosti podporující velkou škálu rostlinných druhů.

Homogenizací těchto podmínek dochází k úbytku druhů adaptovaných na specifické podmínky, naopak tolerantní druhy mohou dominovat. Odvodněním jsou také rostlinám více zpřístupněné živiny, zejména dusík, který může ovlivnit růst dominantních druhů. Tyto druhy vytlačují méně konkurenceschopné druhy, což přispívá k homogenizaci společenstva a poklesu celkové diverzity stanoviště (Krejčová et al., 2021). Odtok pomáhá předcházet akumulaci solí v kořenové zóně plodin, a tím je podporován zdravý růst rostlin a udržení úrodnosti půdy (Kannazarova et al., 2024).

3.3.2 Biodiverzita živočichů

Stanoviště odvodňovacích kanálů a příkopů poskytují vhodné habitaty různým druhům živočichů. Druhy obojživelníků, ryb, ptáků a bezobratlých využívají tyto systémy jako útočiště nahrazující jejich původní ztracená stanoviště. Poskytují vhodné podmínky pro rozmnožování a vývoj larev. Slouží jako migrační koridory pro ryby, ale změny v hydrologii a znečištění mohou ovlivnit jejich populace. Příkopy využívají druhy ptáků jako krmné oblasti a některé druhy využívají meze příkopů k hnízdění. Odvodňovací systémy jsou zdrojem predace a konkurence propojující potravní sítě napříč druhy živočichů (Herzon & Helenius, 2008).

Vlivem odvodnění mohou nastat změny v půdě, které ovlivňují organismy v ní žijící. Pozměněný chemismus projevující se vyšší koncentrací některých živin a látek má negativní dopad na citlivé zástupce *Symphyta* (širopasich), *Diptera* (dvoukřídlých) a *Coleoptera* (brouků). Pokles populací může být také způsoben snížením půdní vlhkosti. Zástupci vyžadující vlhké prostředí k přežití jako jsou *Diplopoda* (mnohonožky), *Isopoda* (stejnonožci), *Protura* (hmyzenky), *Mollusca* (měkkýši) a *Chilopoda* (stonožky) vlivem odvodnění přicházejí o značně velké prostředí jim vyhovující. Naopak vyšší provzdušněnost po odvodnění vyhovuje zástupcům *Annelida* (kroužkvců), konkrétně žížalám, kterým za vyšší aerace prostředí může růst populace. Negativní snižování populací může narušovat potravní řetězce. Například pokud se sníží počet *Diptera* (dvoukřídlých) jakožto kořisti, ovlivní to jejich predátory, ku příkladu ptáky a savce (Frouz et al., 2010). Převažují tedy spíše negativní vlivy odvodnění na diverzitu půdních živočichů nad těmi pozitivními.

3.4 Vliv odvodnění na klima

Práce pojednávající o makroenergetice krajiny přichází s průkopnickou myšlenkou, že nedostatečná transpirace produkuje do atmosféry stejné množství tepla jako zvětšený skleníkový efekt, ne-li větší. Půda slouží jako vyrovnávací prvek mezi epizody přítoku srážkové vody a pravidelnými odběry vody na evapotranspiraci. Díky skupenskému teplu vody, přibližně 2,45 MJ/l dochází při výparu a kondensaci vody k velké spotřebě či uvolňování tepla, čímž jsou vyrovnávány rozdíly teplot. Vodní pára se v atmosféře sráží nad chladnými místy a při tom uvolňuje skupenské teplo vody, což ohřívá okolí. Sluneční energie je primárním zdrojem tepla na planetě. V jednom letním dnu pak na metr čtvereční dopadá asi 25MJ. Při dopadu sluneční energie na povrch, který je nasycený vodou, je spotřebovávána

výparem a poté rovnoměrně rozprostřena (disipována). V případech, kdy se v půdě voda nenachází, je sluneční energie přeměňována na teplo. Pro jeden metr čtverečný tato energie představuje energii, kterou získáme při spálení 0,75 kg uhlí. Projevem změn v hospodaření na 2/3 rozlohy naší republiky vlivem odvodnění, zorněním, odlesněním a případným zastavěním se za poslední dobu velice změnila transpirace v hydrologickém cyklu. Kontinentální charakter klimatu ČR zřetelně ovlivňuje porost daného území a míru jeho transpirace, a to převážně ve vegetačním období. Přísun srážkové vody dominantně řídí pravidelné průniky oceánských srážkových front. Rozdílné klima najdeme v podhorských zemědělských oblastech a horském lesním pokryvu. Příčinu rozdílu nezpůsobuje poměrně malý rozdíl v nadmořské výšce, ale transpirace odlišného typu porostu. Zemědělský porost transpiruje méně ze tří důvodů: (1) v zemědělských oblastech je snížený průměrný úhrn srážek. (2) zemědělský pokryv tvoří převážně obilí a rostliny spíše stepního charakteru s krátkým vegetačním obdobím. (3) Sníženou vodní retenční kapacitou vlivem velkoplošného odvodnění krajiny. Nedostatečnou transpirací ztrácíme nejkvalitnější klimatizační systém chladící krajinu. Změny klimatu globálním oteplováním upravují hydrologický režim převážně negativní způsobem. Mění se vodní a teplotní režim původně lesního charakteru v ČR je přetvářen na podmínky charakterizující stepní krajinu. (Šír et al., 2002).

4 Současná situace staveb zemědělského odvodnění

4.1 Legislativní a vlastnické vztahy

Legislativní a vlastnické vztahy k odvodňovacím systémům v České republice jsou složitou problematikou, která zahrnuje vlastnictví, správu a údržbu drenážních systémů. V roce 1990 došlo k legislativním změnám, které z velké části pozměnili vlastnictví odvodňovacích systémů. Podle zákona č. 92/1991 Sb. se stát vzdal převážné části těchto systémů převedením na fyzický majetek majitele pozemku. Většina odvodňovacích systémů je ve vlastnictví jednotlivých vlastníků pozemků, kteří často nejsou informováni o své odpovědnosti za jejich správnou funkčnost a údržbu. To vyvolává otázku, zda by se vlastnictví a správa těchto systémů neměly vrátit pod jednu organizaci, což by mohlo zjednodušit jejich správu a údržbu (Tlapáková et al., 2013).

Odvodňovací stavby (systém zemědělského odvodnění) spadají pod normu (ČSN 75 0140 Meliorace – Terminologie eroze, hydromeliorace a rekultivace půdy), zařazenou pod hydromeliorační stavby, tj. „stavby, které úpravou vodohospodářských poměrů v půdě přispívají ke zlepšení přírodních a environmentálních podmínek v krajině“ (Zajíček et al., 2021: s11). Dále dle Stavebního zákona č.183/2006 Sb. musí tyto stavby splňovat náležitosti staveb podle stavebního zákona. Zároveň vodní zákon č. 254/2001 Sb. odvodňovací stavby uvažuje jako vodní dílo a v jeho znění toto vodní dílo musí splňovat tento vodní zákon. Spojení těchto zákonů dává odvodňovací stavby pod záštitu vodohospodářských meliorací pozemků (Zajíček et al., 2021). Dle legislativy spadá odpovědnost za funkčnost vodohospodářské stavby na majitele pozemku, kde se stavba nachází. Dochází k zanedbávání odvodňovacích staveb ze stran vlastníků buď z neznalosti odpovědnosti za funkčnost nebo vlastníci ani nevědí, že daná stavba se na jejich pozemku nachází kvůli nedostatečné informovanosti při privatizaci (navrácení státního majetku do soukromého vlastnictví) nebo z důvodů nedostatečné evidence těchto staveb, která vznikla v minulosti. Aktuálně platná legislativa neumožňuje efektivní spolupráci mezi vlastníky a uživateli odvodňovacích zařízení. Vlastníci pozemků mají povinnost pečovat o stavbu, ale často nemají motivaci a potřebné zdroje k tomu, aby se o zařízení starali (Kulhavý, 2018).

4.2 Evidence staveb

Přibližně na třetině zemědělsky využívané půdě se nachází odvodňovací stavby, které přibývaly během 150 let intenzivního odvodňování. Snaha o archivování příslušné územní dokumentace je kvůli lidskému faktoru dosti ztížená, a to obzvlášť u podpovrchového odvodnění. Měníci se vlastníci na pozemcích, kde se zařízení na odvodnění nacházejí, spolu s mnohokrát se měnícími hospodářsko-politickými zájmy komplikují zkompletování jednotné evidence dodnes (Zajíček et al., 2021). Před rokem 2011 byla centrální dokumentace odvodňovacích systémů spravována Zemědělskou vodohospodářskou správou (ZVHS). Tlapáková et al., (2013) uvádí že zde chybí přibližně 450 000 ha neevidovaných záznamů. Po zrušení ZVHS byla správa rozdělena mezi několik organizací, což vedlo k neúplnosti a neaktuálnosti

záznamů (Tlapáková et al., 2013). Současný Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy (VÚMOP) udává, že technické dokumentace ke stavbám k odvodnění pozemků jsou archivovány ve VD Orlík. Stalo se tomu tak v roce 2012 kdy byla zrušena ZVHS. VÚMOP na požadavek státního podniku Povodí Vltavy digitalizuje archiv technické dokumentace staveb odvodnění (VÚMOP, 2017). V případě, kdy je OS ve vlastnictví státu, je jeho evidence vedená odborem vodohospodářských staveb spadajícím pod Státní pozemkový úřad (Zajíček et al., 2021).

Aplikační výzkum si vzal za cíl vytvoření a verifikaci mapovací metodiky vhodné pro georeferencování existující dokumentace na moderní mapovací prostředky. Vybrání správné metodiky pro určení existujících odlišností v dokumentaci vůči reálnému stavu drenážních systémů. Dále identifikaci existujících DS pomocí vyvinutých metod aplikace dálkového průzkumu země (DPZ) pro zpřesnění a opravy polohy DS a zároveň identifikaci DS kde se dokumentace nedochovala. Pomocí DPZ také metodiky mohou zjišťovat stav funkčnosti DS (Zajíček et al., 2021).

Možnosti lokalizace OS

- Dle archivovaných materiálů s nutností aktualizací dle reálného výskytu
- Provedení terénních prací zaměřených na lokalizaci OS (pro evidované a neevidované OS)
- Pomocí DPZ

4.3 Přístupy k řešení současných stavů odvodňovacích systémů

Správná působnost vhodných melioračních opatření se odvíjí od jejího správného provedení. Složka odvodnění jakožto melioračního opatření není vždy provedena podle potřeby odvodnit danou lokalitu. Dřívější tempo odvodňování v mnoha případech bylo nad míru potřeby. Tento problém je spojen s historickým přístupem k vodohospodářskému managementu, který často nezohledňoval komplexní funkce a potřeby krajiny. Stavby byly prováděny bez dostatečné analýzy jejich potřeby a dopadu na životní prostředí. Proto při posuzování jejich stavu, funkčnosti a schopnosti upravovat půdní podmínky na kritéria výnosu a zisku je důležité zhodnotit jejich potřebu (Kulhavý & Pelíšek, 2018). Nevýhodou současných systémů je jejich jednostranné využití. Tyto systémy byly koncipovány pouze na odvodnění vody. V západních zemích existují systémy s dvojí funkcí tzv. regulované drenáže. Umožní (i) odvádět přebytečnou vodu a regulovat hladinu podzemní vody (Kulhavý & Fučík, 2015). (ii) využít zadrženou vodu znovu k zavlažování. Recyklace drenážní vody je jeden z kroků modernizace OS pro udržitelné zemědělství. Pomáhá zmírňovat sucho efektivnějším využíváním vody a snižovat zemědělské znečištění (Kaur et al., 2023).

4.3.1 Diagnostika a monitoring

Při určování významu OS je nutné provést hodnocení stavu ekosystému ve kterém se nachází a jaký dopad na něj OS má. Dle výsledků pak nastavit řádná opatření o dalším naložení s OS. Pokud jde o zcela

funkční systém není potřeba dalších zásahu (Kulhavý & Soukup, 2010). V případě že systém disponuje závadami, ale má příznivý vliv na ekosystém, je nutno tyto závady napravit a nadále monitorovat jeho celkový stav. To platí dle normy TNV 4922 (MZe, 2018). 1 krok diagnostiky začíná u drenážních šachtic a výustí. V 2 kroku se diagnostikuje drenážní potrubí průzkumnými kamerami pro vizualizaci jeho stavu (Kulhavý & Soukup, 2010). Dosah inspekčních kamer se odvíjí od stavu potrubí. Většinou je možné zasunout kameru do 10 až 30 m. Průzkum je velice produktivní u drenážních výustí a šachtic (Kulhavý et al., 2011). V případě průzkumu na sběrných drénech je nutné vytyčit spoj drénu a poté odkopat pro přístupnost umístění potrubní kamery. Těmto krokům mohou nápomoc metod DPZ s přesností na řády desítek centimetrů (Kulhavý & Soukup, 2010).

4.3.2 Druhy závad a příčina nefunkčnosti odvodňovacích systémů

V časovém období, kdy OS plní svůj účel, působí souběžně řada přírodních i lidských faktorů ovlivňujících jeho funkci. V mnoha publikacích se lze dočíst o dlouhodobém bez závadovém provozu trvajícím i 100 let. Přesto většina systémů je dimenzována na období mezi 30-50 lety životnosti. S rostoucím věkem drenážního potrubí a jiných prvků OS klesá jeho účinnost. Stárnutí drenáže probíhá dle podmínek různým tempem a projevuje se různým způsobem. Nikdy nedojde k nefunkčnosti celého systému, ale spíše jeho některých částí z objektů na drenáži (drenážní výustí, šachtice) nebo liniových prvků (drenážní rýhy, drenážní potrubí, zvláštní opatření na drenáži – př. Filtrů atd.). Problém vzniká fyzickým stárnutím konstrukčních prvků (degradací stavebních hmot, kolmatací částicemi zeminy viz. **Obr.4.**), extrémní jevy (eroze půd, povodně), nedostatečná údržba, kolize se zemědělskou technikou, mechanické poškození, vandalismus a zarůstáním biologickými či chemickými procesy, které jsou zobrazeny na **obr.5** (Kulhavý et al., 2011).

Optimální hloubka uložení trubek by na orné půdě měla být 80-130 cm v závislosti na půdě specifické pro dané místo. V minulosti však byla hloubka uložení provedená nedostatečně, což vede k odkrytí a poškození potrubí při hluboké orbě nebo jiných agrotechnických činnostech. Takové faktory způsobují neprůchodnost potrubí, které následně zanáší zeminou a nečistotami. Neprůtočnost může být rovněž způsobena zarůstáním vegetace, zejména na narušených úsecích nebo u výustí. Vnitřní strany potrubí se navíc postupně zanášejí železitými usazeninami, což dále snižuje jeho funkčnost.

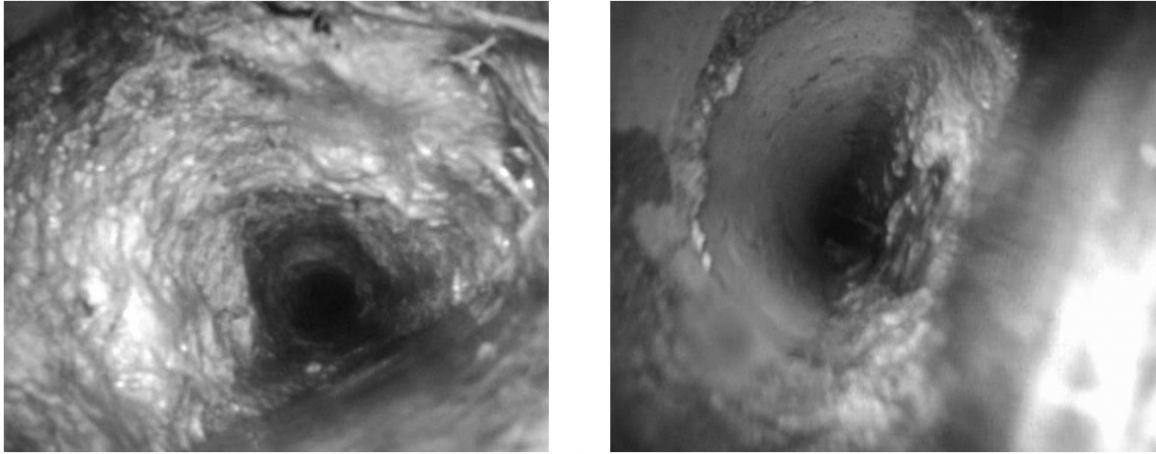
Nejčastěji způsobená nefunkčnost OS nastává propady a zanášení potrubí, nevhodným návrhem nebo realizací staveb odvodnění. K propadání potrubí dochází buď přirozeným stárnutím bez následné údržby, nebo vlivem zemědělských prací na odvodněných plochách, kde působí zhutňování půdy a zatížení strojů, což může vést k poškození potrubí. Při nedostatečné péči se šachtice zanášejí splaveninami. Nadzemní části šachtic se mohou bortit nebo sesouvat v důsledku nárazů zemědělské techniky, podemletí způsobeného erozí, či degradace materiálu vlivem zvětrávání.

Výše uvedené problémy vedou k neschopnosti drénů odvádět vodu, což se projevuje povrchovými výrony vody a zamokřením. Takto zamčené plochy mají různé tvary, intenzitu a stáří.

Objevují se nejčastěji po vydatných srážkách, výjimkou ale není i jejich celoroční výskyt. Zatopením v problematické ploše pozemku je znepřístupněno k jeho obhospodařování a místo dává vzniku menších mokřadů ve kterých stagnuje voda, která utváří místa vhodná pro vlhkomilné rostliny a s odstupem času i keře. Ve svažitéch polohách, kde dochází k vývěřům vody po vydatných deštích nebo táním sněhu dochází k liniové erozi způsobující smyv zeminy do nižší části území, kde dochází k usazování či vtoku do recipientu a sběrných kanálů. Tímto způsobem dochází k zanešení zeminou těchto úseků. Při dlouhodobém setrvávání vody na povrchu je pod její tíhou utužována půda, která tím ztrácí schopnost zasakování srážkové vody. V této spodní partii je hojný výskyt vlhkomilné vegetace a nitrofilních společenstev. Příkladem mohou být *Urticaria*, *Juncus*, *Polygonum*, *Phragmites* a další. Horní polohy odvodněných ploch ve většině případech ani nebylo nutné odvodňovat. Nižší množství odvedené vod vrchními částmi neopotřebovává tolik OS a ty proto bývají často plně funkční a během roku bez významného přísunu vody (Kulhavý et al., 2005). To je důkazem nadbytečného i nedostatečného odvodnění.



Obrázek 4 Příklady částečného nebo úplného zanesení drenů zemitými částicemi. U částečného zanesení drenážní prvek nadále plní odvodňovací a transportní funkci v závislosti na rozsahu zmenšení světlosti drenážního potrubí. Jiné důsledky zanesení jsou u drenů sběr



Obrázek 5 Příklady chemického zarůstání drénu oxidy železa a zanášení zemíými částicemi. Uplatnění potrubní kamery (typ Rocam) pro průzkum stavu drenáže (Kulhavý et al., 2011).

4.3.3 Údržba a opravy zemědělského odvodnění

Jak už bylo řečeno v kapitole za funkčnost OS odpovídá majitel pozemku, na kterém se celý systém nebo jeho část nachází. Investice do oprav a údržby ze stran majitelů neprobíhají podle jejich povinnosti udržovat jejich funkčnost. Pozemky jsou často pronajímány zemědělcům, kteří provádí opravy jen z důvodu stěžení obdělávatelnosti pozemku a nižšímu výnosu. Vzhledem ke krátké výpovědní době od nájemní smlouvy jsou investice z řad nájemců tlumené. Za poslední dobu nebyli vypsaný ani žádné dotační programy na údržbu (Paradoxně jsou vypisovány dotace na opatření k likvidaci staveb přímou i nepřímou cestou) (Kulhavý & Pelíšek, 2017). Nerespektování či nedořešení majetkových vztahů komplikuje opravy, rekonstrukce, údržbu a modernizaci. Velký rozsah odvodnění je důvodem neuskutečňováním novostaveb OS, ale při ekonomicky nevýhodných opravách se mohou jevit jako žádoucí přístup. Ovlivněné hydrologické procesy v krajině jsou veřejným zájmem pro funkci zemědělství při zajišťování péče o krajinu. Vyvinutím koncepčního přístupu pro existující odvodňovací stavby, odborné zázemí a přiměřené podpory ze strany státu mohou být nutnými kroky k udržení funkce odvodnění v pozitivním chodu. Strategické řízení na národní úrovni s cíli aktualizovat metodické postupy efektivního provozu a údržby včetně oprav, rekonstrukcí, ve zdůvodněných případech i odstranění systému či jejich částí, by měli být nastaveny alespoň z hlediska nejvýznamnějšího správce hlavních zařízení současného Státního pozemkového úřadu. Navrácením tématiky podpůrných dotačních titulů Ministerstva zemědělství je zásadním krokem pro co nejlepší řešení současných problémů OS v cele ČR (Vopravil et al., 2015).

5 Možnosti revitalizace odvodňovacích systémů

5.1 Co je revitalizace

Revitalizace se obecně chápe jako proces obnovy přirozených podmínek v krajině, vodních tocích či jiných ekosystémech. Cílem je vrátit prostředí do stavu blízkého přirozeného, aniž by to nutně znamenalo dosažení jeho původního stavu. Jde o zásahy, které vyžadují biodiverzitu, podporu ekosystému a často zahrnují renaturaci (návrat k přirozenému tvaru koryt nebo ekosystémů), odstranění technických úprav a podporu přirozených procesů. V některých opatřeních zahrnuje revitalizace také technická opatření ke zlepšení funkčnosti systému, například při úpravách vodních toků a jejich niv (Dostal, 2008). Před zahájení revitalizačních prací je zapotřebí znát stav revitalizované lokality před jejími antropogenními úpravami. Tato znalost umožňuje zhodnotit změny, které nastaly po odvodnění, podle kterých bude vytvářen návrh a provedení revitalizačních opatření pro příznivou obnovu do původního stavu (Just et al., 2005). Vytyčením cílů a stanovení postupů obnovy vodního režimu nelze správně dosáhnout bez dostatečné analýzy historického vývoje a aktuálního stavu řešeného území (AOPK ČR, 2022). Důležité při revitalizacích je vyvarovat se chybám, které nastali při prvotním zavedení OS. Je namístě dodržet standardní postupy navržené odborníky (Kulhavý et al., 2011).

5.2 Postup k návrhu revitalizace

Priority na provedení revitalizačních opatření spadají na místa, kde budou mít největší efekt. Jedná se o lokality s nejvíce ovlivněnou změnou vodního režimu po provedení odvodnění, které jsou ohroženy zvýšeným vyplavováním živin a polutantů, značnou erozí půdy, vysokou mírou zornění a přítomností půd s nízkou retenční schopností pro vodu ze zdrojových oblastí v lokalitě (Zajíček et al., 2021). Před zahájením revitalizace je důležité zhodnotit existenci a stav odvodňovacích zařízení. Zjišťování těchto informací je zásadní jak pro projektanta, tak pro majitele pozemku (Kulhavý, 2017). Shromáždění co nejpřesnějších dat o stávajících odvodňovacích systémech, včetně historické dokumentace, pomůže lépe pochopit rozsah a stav těchto systémů (Tlapáková et al., 2013). Provedením řádného hydrologického a pedologického průzkumu pomůže analyzovat potřeby dané lokality, a proto je nutné před tvorbou revitalizačních opatření zohlednit výsledky z jejich výstupů. Pro správné navržení postupů obnovy mohou být dále provedeny průzkumy hydrogeologické, inženýrsko-geologické, geodetické, zemědělsko-výrobních poměrů a klimatických poměrů. Prováděné průzkum odpovídá zpravidla průzkumu pro meliorační opatření dle ČSN 75 4100 (Kulhavý et al., 2011). Dále je dobré zmínit i zoologické a fytocenologické průzkumy, které mohou prokázat lokalitu jako významný krajinný prvek. Polní mokřady utvářejí prostor pro řadu ohrožených a kriticky ohrožených druhů. Je tedy dobré předejít devastaci pro co nejlepší zajištění jejich ochrany (Němec et al., 2012).

Pro řádný návrh je tedy důležité vytyčit si lokalitu, kterou budeme revitalizovat. Poté nastupuje krok s řádným analyzováním lokality pomocí průzkumů uvedených výše společně se získáním

a sjednocení podkladů o odvodnění a terénním průzkum. V dalším kroku se již vybírá vhodné opatření podle typu revitalizované stavby, výsledku z průzkumů, možností jeho provedení a cílů obnovy (Zajíček et al., 2021). V revitalizačním řešení by měli být zahrnuty úkony následné péče po revitalizaci (AOPK ČR, 2022).

5.2.1 Pedologický průzkum

Probíhá zkoumáním obecných pedologických poměrů a hydropedologických vlastností půdy.

- stanovení charakteristik aktuálního stavu zamokření
- zhodnocení hydromorfismu půdního profilu a typologické zařazení
- zatřídění zemin dle jejich rozpojitelnosti pro návrh způsobu provedení eliminačního opatření
- stanovení chemismu půd, hydropedologických poměrů povrchových a podpovrchových vod (včetně drenážních) a některých mechanických vlastností zemin
- návrh potřeby, rozsahu a druhu doporučených opatření
- hydropedologické podklady pro stanovení základních eliminačních parametrů
- prognózu následného vodního režimu půd po realizaci eliminačního opatření (Kulhavý et al., 2011).

5.2.2 Hydrologický průzkum

Hydrologickým průzkumem mohou být prokázány hydrologické vazby na okolí, které není vhodné opomenout. Separátní řešení vyčleněného úseku je obvykle nedostatečné. Hydrologický průzkum musí zahrnovat režim odtoku:

- povrchový odtok
- podpovrchový odtok

Nedostatek vody se hodnotí měřením průtoku. Při důrazu revitalizace na zlepšení kvality vody se opatření zaměřují na příčiny zdroje znečištění drenážních vod. Jsou prováděny opakované odběry vzorků pro zajištění statistických vyhodnocení akutnosti znečištění. Odběry se provádí převážně v jarních a letních měsících a sledují doporučené spektrum pozorovatelných parametrů – anionty, kationty, vodivost, pH, NL, CHSK_{cr}, TOC; minimálně však pH, CHSK_{cr}, NL, NO₃-N, NH₄-N, P, Fe (Kulhavý et al., 2011).

5.3 Revitalizační metody

Revitalizace odvodňovacích zařízení, která zahrnují hlavní odvodňovací zařízení (HOZ) a podrobné odvodňovací zařízení (POZ), se zaměřením na obnovu jejich funkčnosti a minimalizaci negativních dopadů na krajinu. V oblasti HOZ, jako jsou hlavní kanály a nádrže, používají metody zahrnující rekonstrukci stávajících struktur, vytvoření přírodně-blízkých tvarů koryt, a doplnění retenčních nádrží

pro zpomalení odtoku vody. Tyto změny mohou přispět k větší stabilitě vodního režimu a zdroje biodiverzity. Podrobné odvodňovací zařízení, jako jsou příkopy a drenáže, mohou být revitalizovány odstraněním znečištění a obnovou původní kapacity. Důraz je kladen na zavádění dvouetážových drenáží či krtčí drenáže, které podporují provzdušnění půdy a lepší infiltraci vody. Vhodné je propojení těchto opatření s melioračními technikami, jako je hloubkové kypření půdy nebo zvýšení obsahu OH, což posiluje dlouhodobou udržitelnost systému. V některých případech může být vhodné opuštění či postupná likvidace nefunkčních systémů s přechodem na přírodně-blízké systémy pro správu vody, například vytvoření mokřadů nebo retenčních pásů (Zajíček et al., 2021).

5.3.1 Výběr revitalizační opatření pro HOZ a POZ

Pro správný postup realizace vhodných opatření pro HOZ je důležité včetně znalostí reálného průběhu HOZ i znalost průběhu původního koryta malého vodního toku. V případě, kdy byl HOZ realizován bez jeho existence na tzv. zelené louce, existuje pouze stavba plošného odvodnění. Tyto informace jde nejlépe ověřit z projektů stavby odvodnění, historických map nebo dotazem na místní pamětníky. Důležitý předpoklad je znalost současného stavu HOZ společně s územními limity případného návrhu. Důležitý je dlouhodobý charakter vodního režimu pro určení, zda stávající systém zachovat či nějak eliminovat jeho funkci. Podklady pro projektovou činnost musí zahrnovat spolu s vlastnickými vztahy i postoj uživatelů sousedících a dotčených pozemků. Dle podkladů z katalogu sestrojeným v metodice (Návrhy revitalizačních opatření na hlavních a přilehlých podrobných odvodňovacích zařízeních) sestrojené (Zajíček et al., 2021) existuje 7 typů možných provedení.

1. Realizace nového málo kapacitního koryta, nahrazení HOZ zatrubněním v celé trase
Tento typ cílí na obnovení přírodě blízkého vzhledu koryta a přilehlých břehů. Důraz je kladen na samočisticí funkci, zpomalení odtoku vody z koryta, obnovení zaniklých biotopů podél vodoteče tvořících pilíře krajinné kostry.
2. Realizace nového málo kapacitního koryta, zaústění drénů do potrubí vedoucího u paty údolí
Zrušené stávajícího HOZ je nahrazeno vodním tokem v přibližně odpovídajícím původním korytu s charakterem přírodě blízkým, které je zaslepeno v místech nekopírujících staré vytyčení HOZ. Místa mohou být vytvořeny tůňe a slepá ramena. Tímto způsobem je využita celá šíře původní nivy bez ohledu na napojení stávajících úseků staveb plošného odvodnění.
3. Realizace kaskády tůňe ve stávající trase HOZ s úpravou břehů, zaústění drénů v místě tůňe
Úprava je uskutečněna ve stávající trase koryta HOZ z důvodu omezení možností daným územím. V korytu jsou navrženy kaskády kamenitých skluzů (přehrážek) tak, aby pod přehrážkami byla zachována současná hloubka koryta a vyústění stávajících drénů. Dále je odstraněno technické zpevnění břehu, které jsou upraveny do pozvolnějšího sklonu ke korytu.

4. Realizace širokého potočního pásu s meandrující kynetou, zaústění POZ do koryta

V tomto případě byl HOZ realizován do podoby koryta z existujícím drobným vodním tokem (DVT) s plynulým průtokem. Toto koryto je opatřením odstraněno a nahrazeno přírodě blízkým vodním tokem v jeho přibližné trase. Otevřené původní koryto bude zcela zasypáno. V místech vyústění POZ je možné vytvořit tůň nebo slepá ramena. Nový vodní tok bude namodelován v souladu s geomorfologickým typem dané lokality. Opatření dle lokality je možné vytvořit s plně vyvinutým meandrováním.

5. Přeměna HOZ z korytového na zatravněnou údolnici

Celkové zrušení stávajícího koryta HOZ a následné převedení na zatravněnou údolnici. Odstraněním opevnění koryta formou investiční revitalizace je pozvolně snížen okolní terén v jeho spádu ke korytu. Vznikne výrazná údolnice miskovitého tvaru, ve které je tok ponechán zcela samovolnému vývoji. Zatravněná část má kumulační funkci k průtoku vody.

6. Revitalizace pramenních částí a pramenišť

Prameniště bývají podchycené trubkovou drenáží, které jsou společně s pramení jímkou zcela odstraněny. Původní orná půda v okolí stávajícího systému je převedena na trvalý travní porost. Místo jímky je nahrazeno kamenným nebo štěrkovým pohozením a funkce drénu je zcela zrušena. Okolí prameniště je po odstranění jímky vhodným způsobem sanováno s revitalizováním zatravněním nebo vysazením doprovodné zeleně. Mohou být realizovány drobné terénní (meze, průlehy, mikrodeprese). Cílem úpravy je co největší zpomalování odtoku a zadržování vody.

7. Renaturace a úprava managementu správy HOZ

Cílem tohoto opatření je nastartovat a podpořit procesy obnovy přirozeného stavu vodního toku a zároveň upravit způsob správy daného území (management HOZ). Hlavním výsledkem by měla být obnova přírody blízkého charakteru koryta i jeho přilehlých břehů. Tyto změny mají zajistit zpomalení odtoku vody z oblasti, zvýšit samočisticí schopnost toku a případně obnovit zaniklé biotopy podél přirozených vodních cest, které tvoří součást krajinné struktury.

Komplexní analýza pro vytvoření a výběr vhodného revitalizačního opatření pro POZ se skládá z mnoha kroků a je podložena mírou znečištění vod z odvodnění. Jednotlivé kroky posouvají výběr přes nutnost potřeby opatření, výběr přístupu k opatření, výběr opatření eliminující funkci POZ nebo opatření k jeho zachování, opatření modifikující funkci POZ nebo opatření na výustích a v lokalitách navazujících na HOZ. 1 krokem se vybere stavební řešení výustí do revitalizovaného HOZ nebo se úplně pomine POZ v rámci revitalizace HOZ. V případě vyššího stupně znečištění nastupuje krok 2 určující, zda funkci drenáže zachovat či nikoliv. Pokud funkce není potřeba zachovat je dle 3 kroku potřeba vybrat vhodná eliminující opatření (zalesnění pozemku výsadbou, odkrytí drénu a jeho odstranění, kontrola stárnutí drénu). Při zachování funkce drénů (4 krok) je nutno zjistit, zda se dá zasahovat do funkce drénů a pokud ano je potřeba opatření modifikujících funkci POZ. Modifikaci lze provést třemi způsoby dle kroku 5 snížení intenzity odvodnění, užití zasakovacího drénu nebo použít regulační

drenáže. V místech, kde se do stavby POZ nedá zasahovat je potřeba, dle kroku 6, vytvořit opatření na jeho výustí v místech kde již úpravy jsou zpřístupněné. Zde může být vytvořen umělý mokřad, tůň na výustí nebo při nižším stabilním odtoku užít biofiltr. Hlavním cílem revitalizačních opatření na POZ je zpomalit odtok a snížit znečištění ve formě vyluhovaných polutantů vyplavovaných z půdy drenážním odtokem do nižších stupňů povrchových vod (Zajíček et al., 2021). Toto jedna z mnoha možností, jak postupovat při volbě revitalizačních opatření pro POZ.

5.3.2 Revitalizace rašelinišť

Při sestavování revitalizačního návrhu je zapotřebí znát typ rašeliniště, které chceme obnovit. Vybraná opatření si kladou za cíl zvýšení hladiny podzemní vody na původní úroveň charakteristickou pro přirozená rašeliniště, zmírnění jejího kolísání a snížení ztrát vody povrchovým odtokem odvodňovacími kanály (Bufková, 2013). Technická řešení těchto cílů mohou být provedena mnoha způsoby a před jejich aplikací je zapotřebí stanovení způsobu obnovy určením míry zavodnění a cílovou hladiny vody dle vyhodnocení poznatků z terénního průzkumu. Většinou se jedná o zrušení podpovrchové drenáže a blokování příkopů příčným hrazením nebo jejich vyplnění. Pro účely blokování jsou užívány přírodní materiály. Nejčastěji se jedná o dřevo, které bylo prořezáno na zpřístupnění revitalizovaného úseku (AOPK ČR, 2022).

Provedená opatření si kladou za cíl podporu nebo znovunastartování rašelinotvorných procesů. Většina provedených zásahů je časově vymezená a po jejich uskutečnění se lokality nechají samovolně vyvíjet. Pro správném provedení revitalizace rašeliniště je vhodné nadále monitorovat jeho vývoj a v některých případech i zapojit aktivní management. Například u lučního typu rašeliniště se jejich část udržuje sečením a prořezáváním náletových dřevin (Bufková, 2013).

6 Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřila na analýzu vlivu odvodnění na ekosystémy a na možnosti jejich revitalizace. V průběhu výzkumu bylo prokázáno, že odvodnění, ať už povrchové či podpovrchové, má významný dopad na kvalitu vody a biodiverzitu v postižených oblastech. Zvláštní pozornost byla věnována eutrofizaci vodních toků, která je způsobena nadměrným přísunem živin, zejména P, z odvodněných zemědělských ploch. Tento proces negativně ovlivňuje jak ekosystémy, tak i kvalitu vody, což má dalekosáhlé důsledky pro místní faunu a flóru. Znečišťující látky ze zemědělství by měli být limitovány a veškeré možnosti jejich eliminace mohou pomoci v budoucích snahách v ochraně přírody a životního prostředí.

V rámci revitalizačních opatření byly identifikovány různé přístupy, které mohou přispět k obnovení přírodních funkcí ekosystémů. Mezi navrhované metody patří realizace nových koryt, které se zaměřují na obnovu přírodního vzhledu vodních toků a zlepšení samočisticích funkcí, což může vést ke snížení znečištění pocházejícího ze zemědělství. Zároveň návrhy revitalizačních opatření mohou být budoucím řešením problému se suchem v krajině díky jejich schopnosti zpomalovat odtok vody z odvodněných ploch. Důraz na dlouhodobé sledování vodního režimu se ukázal jako klíčový pro úspěch těchto opatření. Lze říci, že efektivní management odvodňovacích systémů a implementace revitalizačních strategií jsou nezbytné pro ochranu a obnovu ekosystémů, které byly negativně ovlivněny lidskou činností. Tato práce podtrhuje důležitost interdisciplinárního přístupu a spolupráce mezi odborníky, místními obyvateli a institucemi, aby bylo možné dosáhnout udržitelného rozvoje a ochrany přírodního prostředí.

7 Seznam použité literatury

- AOPK ČR. (2022). *Standardy péče o přírodu a krajinu: Obnova vodního režimu rašelinišť a pramenišť*. AOPK ČR.
- Bigalke, M., Fieber, M., Foetisch, A., Reynes, J., & Tollan, P. (2022). Microplastics in agricultural drainage water: A link between terrestrial and aquatic microplastic pollution. *Science of The Total Environment*, 806, 150709.
- Blann, K., Anderson, J., Sands, G., & Vondracek, B. (2009). Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology - CRIT REV ENVIRON SCI TECHNOL*, 39, 909–1001.
- Bourgault, M.-A., Garneau, M., & Larocque, M. (2017). Quantification of peatland water storage capacity using the water table fluctuation method. *Hydrological Processes*, 31(5), 1184–1195.
- Bufková, I. (2013). Šumavská rašeliniště a jejich ochrana. *Živa*, 5(2013), 220
- Clarkson, B. R., Moore, T. R., Fitzgerald, N. B., Thornburrow, D., Watts, C. H., & Miller, S. (2014). Water Table Regime Regulates Litter Decomposition in Restiad Peatlands, New Zealand. *Ecosystems*, 17(2), 317–326.
- Coyle, C., Creamer, R. E., Schulte, R. P. O., O'Sullivan, L., & Jordan, P. (2016). A Functional Land Management conceptual framework under soil drainage and land use scenarios. *Environmental Science & Policy*, 56, 39–48.
- Craft, K., Helmers, M., Malone, R. W., Pederson, C., & Schott, L. (2018). Effects of Subsurface Drainage Systems on Water and Nitrogen Footprints Simulated with RZWQM2. *Transactions of the ASABE*, 61, 245–261.
- Černohous V. (2012). *Metodické postupy úpravy vodního režimu lesních půd: Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 1/2012*. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.
- Dostal, T. (2008). *Zásady revitalizace drobných vodotečí*. České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta, Praha.
- Elliott, A., & Trowsdale, S. (2007). A Review of Models of Low Impact Urban Stormwater Drainage. *Environmental Modelling & Software*, 22, 394–405.
- Fiala, J., Kaura, J., & Sádlo, J. (1980). *Stavby vodní a meliorační pro 4. Ročník SPŠ stavebních*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, N. P.

- Frankl, A. L., Sherbine, K. T., Strock, J. S., Fernández, F. G., Cates, A. M., & Pease, L. A. (2023). Comparing the short- and long-term impacts of subsurface drainage installation on soil physical and biological properties. *Journal of Soil and Water Conservation*, 78(6), 457–465.
- Frouz, J., Kalčík, Jiří, & Syrovátk, Oldřich. (2010). Does the traffic flow affect the lichen diversity? A case study from the novohradské hory Mts, Czech Republic. *Acta Universitatis Carolinae, Environmentalica*, 24, 27–44.
- Frouz, J., & Vindušková, O. (2020). *PŮDA – DŮLEŽITÁ, I KDYŽ OPOMÍJENÁ SOUČÁST PŘÍRODY*.
- Frouz Jan & Frouzová Jaroslava. (2021). *Aplikovaná ekologie*. Praha: Nakladatelství Karolinum.
- Fučík, P., Kulhavý, Z., & Duffáková, R. (2021). Vracejme vodu polím i na odvodněné půdě. *Časopis Vesmír*, 5(2021), 328
- Ghane, E. (2018). Agricultural Drainage. *AGRICULTURAL DRAINAGE*.
- Grazhdani, S., Jacquin, F., & Sulçe, S. (1996). Effect of subsurface drainage on nutrient pollution of surface waters in south eastern Albania. *Science of The Total Environment*, 191(1), 15–21.
- Helenius, J., & Herzon, I. (2008). Agricultural drainage ditches, their biological importance and functioning. *Biological Conservation*, 141(5), 1171–1183.
- Just et al. (2005). *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Praha: Český svaz ochránců přírody Hořovicko.
- Jůva, K., Dvořák, J., & Tlapák, V. (1987). *Odvodnění zemědělské půdy*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- Kannazarova, Z., Juliev, M., Abuduwaili, J., Muratov, A., & Bekchanov, F. (2024). Drainage in irrigated agriculture: Bibliometric analysis for the period of 2017–2021. *Agricultural Water Management*, 305, 109118.
- Kaur, H., Nelson, K. A., Singh, G., Veum, K. S., Davis, M. P., Udawatta, R. P., & Kaur, G. (2023). Drainage water management impacts soil properties in floodplain soils in the midwestern, USA. *Agricultural Water Management*, 279, 108193.
- Keizer-vlek, H. E., Verdonschot, P. F. M., & Verdonschot, R. C. M. (2011). Biodiversity value of agricultural drainage ditches: A comparative analysis of the aquatic invertebrate fauna of ditches and small lakes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21(7), 715–727.

- Kleinen, T., Brovkin, V., & Schuldt, R. J. (2012). A dynamic model of wetland extent and peat accumulation: Results for the Holocene. *Biogeosciences*, 9(1), 235–248. <https://doi.org/10.5194/bg-9-235-2012>
- Krejčová, J., Vicentini, F., Flynn, T., Mudrák, O., & Frouz, J. (2021). Biodiversity loss caused by subsurface pipe drainage is difficult to restore. *Ecological Engineering*, 170, 106336.
- Kulhavý, Z. (2018). *Aktuální problémy zemědělského odvodnění v podmínkách ČR. Důsledky zanedbání systematické péče o stavby zemědělského odvodnění a proč začít neodkladně s nápravou.* (č. 2018), 40–43.
- Kulhavý, Z., Doležal, F., Fučík, P., Kulhavý, F., Kvítek, T., Muzikář, R., ... Švihla, V. (2007). Management of agricultural drainage systems in the Czech Republic. *Irrigation and Drainage*, 56(S1),
- Kulhavý, Z. & Pelíšek, P. (2017). Podmínky udržitelnosti staveb zemědělského odvodnění. *Vodní hospodářství*, 67(6/2017).
- Kulhavý, Z., Soukup, M., Čmelík, M., & Doležal, F. (2005). *Zemědělské odvodnění v kulturní krajině.* Praha: VÚMOP.
- Kulhavý, Zbyněk, & Fučík, P. (2015). Adaptation Options for Land Drainage Systems Towards Sustainable Agriculture and the Environment: A Czech Perspective. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24, 1085–1102.
- Kulhavý, Zbyněk, Fučík, P., & Tlapáková, L. (2011). *Metodická příručka pro žadatele OPŽP.*
- Kulhavý, Zbyněk, & Soukup, M. (2010). *ZEMĚDĚLSKÉ ODVODNĚNÍ A KRAJINA.*
- Kumar, S., Nakajima, T., Mbonimpa, E. g., Gautam, S., Somireddy, U. r., Kadono, A., ... Fausey, N. (2014). Long-term tillage and drainage influences on soil organic carbon dynamics, aggregate stability and corn yield. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(1), 108–118.
- Lehman, R. M., Cambardella, C. A., Stott, D. E., Acosta-Martinez, V., Manter, D. K., Buyer, J. S., ... Karlen, D. L. (2015). Understanding and Enhancing Soil Biological Health: The Solution for Reversing Soil Degradation. *Sustainability*, 7(1), 988–1027.
- Marval, Š., Hejduk, T., Zajíček, A., Vybíral, T., Roub, R., & Kaplická, M. (2020). Identifikace plošného zemědělského znečištění s využitím termografického snímkování. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 62(3), 18–25.
- Montagne, D., Cornu, S., Le forestier, L., & Cousin, I. (2009). Odvodňování půdy jako aktivní činitel nedávného vývoje půdy: Recenze *1. *Pedosphere*, 19(1), 1–13.

- Mže, M. (2018). Technické normy-Vodní hospodářství, kvalita půdy, odpadové hospodářství.
- Němec, R., Škorpíková, V., & Křivan, V. (2012). *Fenomén efemérních polních mokřadů na orné půdě*.
- Perlès, C. (2006). First Farmers: The Origins of Agricultural Societies by Peter Bellwood. *Journal of Field Archaeology*, 31, 109–110.
- Prasad, R. L. R., Gangireddy, M., & Mohapatra, P. (2022). Urban stormwater management for sustainable and resilient measures and practices: A review. *Water Science and Technology*, 85.
- Sedlák, L. & Sanetník, J. (1985). *Meliorace*. Brno: vysoká škola zemědělská v Brně.
- Schönenberger, U. T., Beck, B., Dax, A., Vogler, B., & Stamm, C. (2022). Pesticide concentrations in agricultural storm drainage inlets of a small Swiss catchment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(29), 43966–43983.
- Sims, J. T., Simard, R. R., & Joern, B. C. (1998). Phosphorus Loss in Agricultural Drainage: Historical Perspective and Current Research. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 277–293.
- Strock, J. S., Kleinman, P. J. A., King, K. W., & Delgado, J. A. (2010). Drainage water management for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation*, 65(6), 131A-136A.
- Suleymanov, R., Kamalova, R., Suleymanov, A., Adelmurzina, I., Nigmatullin, A., Khamidullin, R., ... Yurkevich, M. (2023). Pedo-climatic changes of drained floodplain soils within the forest-steppe zone of the Republic of Bashkortostan (Russia). *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijic”, SASA*, 73(3), 295–309.
- Šír, M., Tesar, M., Lichner, L., & Syrovátka, O. (2002). *Klimatická změna a transpirace rostlin*.
- Tlapáková, L., Karásek, P., & Stejskalová, D. (2013). *Retrospective Evaluation of the Extent and Spatial Changes of Realized Hydromelioration Systems*.
- Vopravil, J., Kulířová, P., & Kulhavý, Z. (2015). *Povodně a sucho – krajina jako základ řešení 3. Voda v zemědělských půdách*.
- VÚMOP. (2017, červenec 27). Digitalizace podkladů evidenčního systému odvodnění zahájena | VÚMOP, v.v.i.
- Vymazal, J., & Březinová, T. (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. *Environment International*, 75, 11–20.

Wang, Q., Li, S., Fei, L., Wu, M., Zheng, R., Peng, Y., & Shen, F.(2024). A study of typical plant growth changes in response to drainage water and salt in ditch wetland in arid area. *Science of The Total Environment*, 912, 169315.

Wang, Z., Shao, G., Lu, J., Zhang, K., Gao, Y., & Ding, J. (2020). Effects of controlled drainage on crop yield, drainage water quantity and quality: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 239, 106253.

Wayne Skaggs, R. (1999). Drainage Simulation Models. In *Agricultural Drainage* (s. 469–500). John Wiley & Sons, Ltd.

Zajíček, A., Sychra, I., Vybíral, I., Hejduk, I., Čmelík, I., Fučík, P., & Kaplická, M. (2021). *Návrhy revitalizačních opatření na hlavních a přilehlých podrobných odvodňovacích zařízeních (Design of the Revitalization measures on the Main drainage facilities and hydrologically related Detailed drainage facilities)*.