

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Katedra biotechnických úprav krajiny



Návrh odvodnění zemědělského pozemku v obci
Otvovice na Kladensku

Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

Autor:
Bc. Ondřej Nožička

2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Ondřej Nožička

Krajinné inženýrství

Název práce

Návrh odvodnění zemědělského pozemku v obci Otovice na Kladensku

Název anglicky

Agricultural Land Drainage in Otovice Village in the Kladno Region

Cíle práce

Cílem práce je zjištění metod využívaných při odvodňování zemědělských pozemků a návrh odvodnění vybraného zemědělského pozemku

Metodika

Prvním krokem při tvorbě práce bude nalezení vhodné lokality, která bude splňovat určitá kritéria. Mezi tato kritéria bude patřit např. velikost lokality, způsob zamokření, způsob využití apod.

Po nalezení vhodné lokality bude za pomoci orgánů statní správy zjištěno maximum informací o dané lokalitě a po dohodě s vlastníkem bude zajištěn vstup na konkrétní pozemek za účelem shromažďování informací, potřebných k sepsání práce.

Následně bude shromážděna literatura potřebná k vytvoření rešerše. V rámci rešerše budou nejdříve porovnány přístupy k odvodňování zemědělských pozemků v České republice a ve světě. Dále budou šetřeny znaky a způsoby zamokření zemědělských půd a způsoby jejich odvodnění prostřednictvím různých typů odvodňovacích zařízení.

V praktické části práce pak bude charakterizováno zájmové území. Na tomto území bude, v závislosti na způsobu zamokření, navržena odvodňovací soustava. Návrh bude doplněn tabulkami s výpočty, výkresy a fotodokumentací zájmového území. V diskusi práce bude návrh zhodnocen, popř. zde budou uvedeny variantní dílčí možnosti návrhu.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu

Klíčová slova

drenážní systém, proudění vody k drénům, zemědělský pozemek

Doporučené zdroje informací

HOLÝ M. a kol., 1984: Odvodňovací stavby. SNTL, Praha.

RITZEMA H. P., 1994: Drainage principles and applications. ILRI Publ. 16,

ŠTIBINGER J., KULHAVÝ Z., 2010: Úpravy vodního režimu půd odvodněním. ČZU

VÚMOP, 2005: Zemědělské odvodnění v kulturní krajině. VÚMOP, v. v. v., Praha

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Konzultant

Doc. Švihla

Elektronicky schváleno dne 11. 4. 2017

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 4. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma Návrh odvodnění zemědělského pozemku v obci Otovice na Kladensku vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Jakuba Štibingera, CSc. a uvedl jsem veškeré zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 12. dubna 2017

.....

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu doc. Ing. Jakubovi Štibingerovi, CSc. za vstřícný přístup, konzultace, vedení a cenné rady při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat paní Lence Bartákové, která mi umožnila na jejím pozemku provádět potřebná měření a pozorování. V neposlední řadě patří mé poděkování také celé mojí rodině za to, že mi vytvořila optimální podmínky pro studium a pro sepsání této práce.

ABSTRAKT

V souvislosti s celosvětovými klimatickými změnami se, zejména ve vyspělých státech světa, proměňuje celkový přístup k hospodaření s vodou. Hlavními charakteristickými rysy této proměny jsou racionální a efektivní využívání vodních zdrojů a snaha o minimalizaci dopadů lidské činnosti na vodní ekosystémy, potažmo celou biosféru.

V teoretické části práce je řešena historie a současnost odvodňování ve světě a v České republice. Práce je zaměřena především na aktivně zemědělsky využívanou krajinu, jejíž stav se neustále proměňuje a tomu se musí přizpůsobovat i současné trendy. Dále jsou v práci popsány příčiny a znaky zamokření půd, způsoby odvodňování a druhy odvodňovacích zařízení, pomocí kterých lze regulovat vodní režim v krajině.

V praktické části práce je řešena problematika odvodnění sezónně zamokřeného zemědělského pozemku, který se nachází v obci Otovice na Kladensku (Středočeský kraj, Česká republika). Pozemek je charakterizován přírodními podmínkami a způsobem zamokření. Přírodní podmínky a způsob zamokření jsou zhodnoceny a na jejich základě je na pozemku navržen odvodňovací systém.

KLÍČOVÁ SLOVA

vodní režim, hladina podzemní vody, zamokření, kulturní krajina, půda, voda

ABSTRACT

In the context of the global climate change, the total approach to the water management is changing, especially in developed countries around the world. The main characteristics of this change is the rational and efficient use of water resources and the efforts to minimize the impact of human activities on water ecosystems, or the entire biosphere.

The theoretical part deals with the history and the present of the drainage in the world and in the Czech Republic. The work is focused mainly on active agriculturally used land whose condition is constantly changing and current trends have to adapt to it. Furthermore, the work describes the causes and characteristics of waterlogged soils, ways of drainage and types of dewatering equipment that can be used to regulate the water regime in the landscape.

The practical part looks into the solution of the problems of the drainage of a seasonally wet agricultural land located in the village of Otovice in the Kladno region (Central Bohemia, Czech Republic). The land is characterized by natural conditions and by the way of water logging. The natural conditions and ways of water logging are evaluated and on the basis of those, a drainage system is designed on the land.

KEYWORDS

water regime, groundwater level, waterlogging, cultural landscape, soil, water

OBSAH

ÚVOD.....	10
CÍLE PRÁCE.....	11
METODIKA.....	11
1. Vymezení pojmu odvodňování.....	12
1.1 Odvodňování v České republice.....	13
1.2 Odvodňování ve světě.....	16
2. Zamokřená půda a její posuzování.....	19
2.2 Příčiny zamokření.....	20
2.3 Znaky zamokřené půdy.....	22
3. Způsoby odvodnění.....	23
3.1 Zemědělsko-lesnické způsoby odvodnění.....	24
3.2 Technické způsoby odvodnění.....	24
4. Druhy odvodňovacích zařízení.....	25
4.1 Hlavní odvodňovací zařízení.....	25
4.2 Podrobné odvodňovací zařízení.....	27
4.2.1 Příkopové odvodnění.....	27
4.2.2 Odvodnění drenáží.....	29
5. Drenážní proudění.....	32
5.1 Ustálené drenážní proudění.....	32
5.2 Neustálené drenážní proudění.....	35
6. Charakteristika zájmového území.....	39
6.1 Stručný popis.....	39
6.2 Přírodní podmínky v oblasti.....	40
6.2.1 Klimatické a hydrologické poměry.....	41
6.2.2 Půdní a geologické poměry.....	42
6.2.3 Morfologické poměry.....	43
6.2.4 Vegetační poměry a způsob využití území.....	44
7. Způsob a příčiny zamokření zájmového území.....	45
8. Zhodnocení stavu a způsob odvodnění zájmového území.....	46
9. Návrh drenážní soustavy.....	47
9.1 Podklady pro návrh drenážní soustavy.....	48
9.1.1 Stanovení hydraulické vodivosti terénním vsakovacím měřením.....	48
9.1.2 Stanovení množství průsakové vody při zvýšené hladině v přilehlém vodním toku pomocí zjednodušeného výpočtu.....	51

9.2 Výpočty parametrů drenážní soustavy.....	53
9.2.1 Výpočet pro ustálené proudění.....	53
9.2.2 Výpočet pro neustálené proudění.....	56
9.3 Výkresy drenážní soustavy.....	58
DISKUSE.....	61
ZÁVĚR.....	63
PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	65
Literatura.....	65
Zákony, vyhlášky a normy.....	68
Internetové zdroje.....	68
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....	70
FOTODOKUMENTACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	71
Seznam fotografií.....	71
Fotografie.....	72

ÚVOD

V souvislosti s celosvětově probíhající změnou klimatu dochází čím dál častěji na různých místech planety k extrémům počasí, ke kterým dříve nedocházelo, nebo k nim docházelo pouze zřídka. Tyto extrémy se někde projevují výrazněji, někde méně výrazně. Problematika extrémů počasí se zejména v poslední dekádě dotkla také České republiky, potažmo celé Evropy. Extrémy počasí se na našem území projevují zejména v letních měsících, například jako dlouhotrvající sucha nebo velmi intenzivní krátkodobé srážky. To se velmi výrazně projevuje v oblasti vodohospodářství, zemědělství, ale i dalších odvětvích lidské činnosti, kde tyto extrémy způsobují v lepším případě problémy, v horším případě finanční ztráty.

V současnosti je celá problematika změn klimatu velmi dobře popsána a pochopena a je zapotřebí tyto poznatky uplatňovat v praxi. Vyspělé státy světa, s ohledem na pravděpodobný budoucí vývoj klimatu, budují stavby a přizpůsobují kulturní krajinu tak, aby mohla i v budoucnu sloužit k účelům, ke kterým slouží dnes a aby pod vlivem probíhajících změn nedošlo k její degradaci. Každý vyspělý stát by měl mít svou vlastní specifickou strategii pro boj s následky klimatických změn. Základem této strategie by v zemědělsko-vodohospodářské oblasti mělo být racionální využívání vodních zdrojů a vyhledávání pozemků, které jsou ohroženy nadbytkem nebo nedostatkem vody, ať už v současnosti nebo v budoucnu. Stav těchto pozemků by měl být odborně zhodnocen a poté by měl být navržen způsob řešení nevyhovujícího stavu.

Aby byl zajištěn trvale udržitelný rozvoj, je v současnosti zapotřebí investovat do vyspělých vodohospodářských technologií počínaje čistírnami odpadních vod a konče zavlažovacími nebo odvodňovacími systémy. Veškeré hospodaření s vodou je úzce provázáno s krajinou jako celkem. Z tohoto pohledu se jako velmi užitečný nástroj jeví pozemkové úpravy, pomocí kterých lze racionálně proměňovat celou krajinu a doplňovat ji o potřebné prvky, sloužící ku prospěchu všem.

Nedílnou součástí celého snažení, týkajícího se trvale udržitelného rozvoje se zřetelem na ochranu a racionální využívání vody, je dobrá informovanost široké veřejnosti. Lidé musí o současných problémech vědět, aby chápali a podporovali rozhodování elit, popř. aby se sami mohli aktivně zapojovat do dění a věděli o možnostech, které jsou v současnosti k dispozici (Nováček, 2010; Siegel, 2017).

CÍLE PRÁCE

Prvním cílem rešeršní části této práce je vytvořit shrnutí současných domácích i zahraničních trendů v problematice odvodňování a poukázat na tyto trendy v souvislosti s historickým a současným vývojem v různých částech světa. Druhým cílem je pak zjistit, jaké jsou nejčastější příčiny zamokření zemědělských půd, znaky zamokřených pozemků a jak lze tento problém vyřešit prostřednictvím různých typů odvodňovacích soustav, zejména prostřednictvím horizontální trubkové drenáže.

Cílem praktické části této práce je vytvoření návrhu horizontální systematické trubkové drenáže na sezónně zamokřeném zemědělském pozemku v obci Otovice na Kladensku. Drenáž bude navržena tak, aby mohla být využívána v podmínkách ustáleného i neustáleného drenážního proudění. Pro účely tohoto návrhu bude nutné zjistit aktuální přírodní charakteristiky v dané oblasti, příčiny zamokření pozemku a provést určitá měření. K samotnému návrhu drenážního systému pak bude využit autorizovaný software (kalkulátor), který vznikl v rámci aktivit oddělení vodních režimů půd Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

METODIKA

Prvním krokem při tvorbě této diplomové práce bylo nalezení vhodné lokality, na které by bylo možné realizovat můj záměr. Po hledání v mapách a následně i v terénu jsem vhodnou lokalitu našel v obci Otovice na Kladensku. Nález lokality jsem oznámil svému vedoucímu práce, který byl již dříve obeznámen s mým záměrem a po konzultaci souhlasil s mým výběrem.

Následně jsem začal shromažďovat potřebnou domácí i zahraniční literaturu, abych si rozšířil svůj vědomostní základ, který jsem získal na ČZU v Praze, zejména díky předmětům Odvodňování a Závlahy. Dále jsem kontaktoval vedení obecního úřadu v Otovicích, abych získal co nejvíce informací o vybrané lokalitě. Poté jsem kontaktoval také majitelku vybraného zemědělského pozemku. Tu jsem seznámil se svým záměrem a ona souhlasila, že mi umožní vstup na její pozemek za účelem měření a pozorování potřebného k napsání této práce.

Po absolvování výše popsaných přípravných schůzek jsem začal s psaním samotné práce. Nejdříve jsem vytvořil rešerši, díky které jsem získal řadu užitečných informací, které jsem využil v praktické části práce při návrhu odvodňovací soustavy. V průběhu vytváření práce jsem několikrát navštívil vybraný pozemek z důvodu upřesnění různých nejasností. Během jedné návštěvy pozemku jsem také provedl terénní vsakovací měření, pomocí kterého se stanovuje parametr potřebný k návrhu odvodňovací soustavy (viz kapitola Fotodokumentace zájmového území).

Při celém procesu vytváření práce jsem se vždy při nějakých nejasnostech obracel na vedoucího své práce, který mi vždy ochotně poradil, popř. mě odkázal na odbornou literaturu.

1. Vymezení pojmu odvodňování

Odvodňováním rozumíme proces, při kterém je z daného území odváděno určité množství vody. Toto množství by v ideálním případě mělo být vždy takové, aby na území nepřetržitě zůstávala optimální úroveň zavodnění pro účel, ke kterému území slouží. Odvodňování souhrnně reprezentuje veškerá opatření, která vedou k odvodu vody z daného území (Štibinger a Kulhavý, 2010).

Odvodňování řadíme mezi tzv. hydromeliorační opatření, což jsou opatření vedoucí ke zlepšení podmínek v daném území pro určitý účel formou úpravy vodního režimu. Výstavba vhodných odvodňovacích systémů přispívá k ekonomickému rozvoji společnosti a zabezpečuje trvale udržitelný rozvoj s ohledem na ochranu životního prostředí. Vhodné zásahy do vodního režimu umožňují rozvoj průmyslu, zemědělství a urbanizovaných oblastí.

K úpravám vodního režimu odvodněním je zapotřebí přistupovat zodpovědně a s náležitými znalostmi přírodních procesů, protože úpravou vodního režimu dochází k ovlivňování dalších režimů v přírodě. Těmito ovlivňovanými režimy jsou například režim tepelné výměny v krajině, vzdušný režim nebo režim pohybu živin. Proto při nezodpovědně nebo neodborně provedeném zásahu do vodního režimu může být napácháno více škody než užitku (Holý a kol., 1989). Škody se nemusí projevit okamžitě, ale projeví se až v dlouhodobém časovém horizontu. Škody způsobené nevhodnou úpravou vodního režimu mohou být například nežádoucí zrychlení či zpomalení povrchového i podzemního odtoku, přílišný pokles hladiny podzemní vody nebo změna vodní bilance jako takové. To vše může mít za

následek delší období sucha nebo naopak časté intenzivní povodně. Z pohledu člověka se tyto negativní důsledky projeví zejména na výnosech a kvalitě sklizně, nákladech souvisejících s nápravou současného stavu nebo třeba jako nedostatek pitné a užitkové vody (Benetin a kol., 1987).

1.1 Odvodňování v České republice

Území České republiky historicky patří k oblastem, v nichž odvodňovací stavby plnily a do dnes plní významnou úlohu při zkulturnění zemědělské krajiny (Štibinger a Kulhavý, 2010). První snahy o vytvoření určitých odvodňovacích prvků jsou na našem území spojeny s obdobím tzv. vnitřní kolonizace v 10. století, tedy s osidlováním nížin a údolních niv vodních toků. Poté následovalo období vlády Karla IV., který nařídil budování rybníků k chovu ryb a využívání močálů k ochraně před povodněmi. Velmi známé je budování odvodňovacích a rybníčních soustav především v jižních Čechách v průběhu 16. století, které úzce spjato se jmény jako Jakub Krčín z Jelčan nebo Štěpánek Netolický. Znalosti o využití trubkové drenáže se do českých zemí dostaly z Hannoverska v 19. století. V této době začal stát podporovat odvodňování jako odbornou činnost legislativně. Nejdříve v roce 1870 umožnil vznik vodních družstev a poté v roce 1884 vydal Říšský meliorační zákon, který zajišťoval státní podporu pro výstavbu melioračních staveb (Dumbrovský a Milerski, 2005). K největšímu budování moderních odvodňovacích staveb docházelo v období před a na začátku 2. světové války a dále mezi lety 1965 – 1990. V těchto obdobích se ve velkém regulovaly malé vodní toky a budovaly plošné odvodňovací stavby. Stavby byly navrhovány tak, aby výrazně urychlovaly odtok vody z území. To se v současnosti v souvislosti s globální změnou klimatu na řadě míst jeví jako nežádoucí (Kulhavý a Kulhavý, 2008; Váška a kol., 2000).

Je však zapotřebí zmínit, že v době budování staveb se muselo samotné budování podřídit určitým specifickým požadavkům tehdejší doby. Je pochopitelné, že přírodní podmínky jako například členitost terénu nebo půdní poměry zůstaly prakticky v nezměněné podobě. Co se však radikálně změnilo, je přístup k obhospodařování zemědělské půdy, tedy přechod od velkovýroby k malovýrobě, a také již zmiňované klima. Při současném hodnocení těchto staveb je tedy třeba vzít v potaz faktory, které ovlivňovaly jejich vznik. Nejlépe si lze podmínky budování představit při pohledu do dřívějších metodických a normativních podkladů. Souhrnně lze konstatovat, že většina odvodňovacích staveb z těchto období ve své

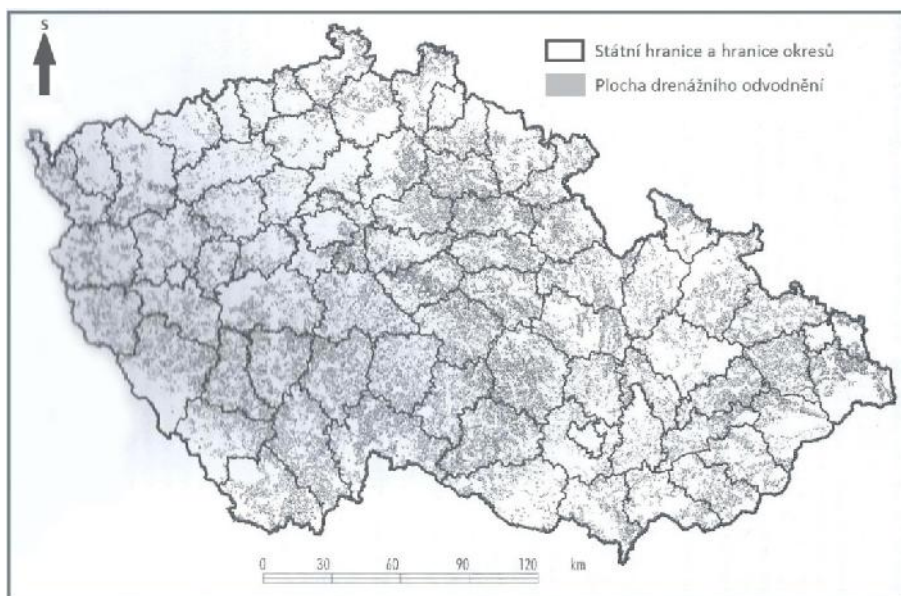
době plnila účel, pro který byla vybudována, ovšem existují i výjimky odvodnění například v horských a podhorských oblastech, kde se i z tehdejšího pohledu musely tyto zásahy jevit jako neopodstatněné (Štibinger a Kulhavý, 2010).

Nejčastějším druhem odvodnění v České republice je odvodnění formou drenážního potrubí. Horizontální potrubí bývá uloženo přibližně v hloubce 1 m pod povrchem. Tímto způsobem je odvodněna zhruba čtvrtina výměry zemědělské půdy (celkové zemědělské odvodnění viz obrázek č. 1). Přítomnost drenážních systémů a jejich vliv na krajinu často zůstávají bez povšimnutí běžného pozorovatele, který si spíše všimne příkopových kanálů nebo upravených vodních toků. Otevřené příkopové kanály se však na našem území k odvodnění zemědělské půdy využívají jen velmi zřídka. Často se stává, že ani samotní vlastníci pozemků netuší, že se na jejich pozemku nachází drenážní systém, který je dokonce s velkou pravděpodobností v jejich vlastnictví (stanoveno zákonem č. 92/1991 Sb.) Je to dáno tím, že při restituci nové vlastníky nikdo neinformoval o existenci drenážního systému na jejich pozemku. Stavební dokumentace odvodňovacích systémů byla uložena na úřadech nebo v zemědělských podnicích a v řadě případů dnes již neexistuje nebo je neúplná. Ještě horší je dostupnost hydropedologických průzkumů, na základě kterých byly odvodňovací systémy budovány. V případě, že by byla dostupná veškerá dokumentace týkající se konkrétního odvodňovacího systému, bylo by například možné drobnějším nenákladným zásahem přizpůsobit systém současným potřebám.

Momentální stav odvodňovacích systémů na zemědělsky využívaných plochách je špatný a nadále se zhoršuje. Můžeme říci, že množství odváděné vody je obecně větší, než je v současné době zapotřebí. Hlavní příčinou špatného fungování odvodňovacích systémů je v první řadě jejich dimenzování na dřívější, zejména klimatické podmínky, a dále také nedostatečná údržba nebo její úplná absence. Samotnou údržbu z velké míry ovlivňuje to, jestli je hospodařící subjekt také vlastníkem pozemku, nebo jestli má pozemek pouze v nájmu. Pokud vlastník sám na pozemku hospodaří, bude mít zájem na tom, aby se jeho pozemek spíše zhodnocoval, proto bude mít větší motivaci investovat do údržby odvodňovacích systémů a dalších melioračních opatření. Pokud má hospodář pozemek pouze v nájmu, půjde mu spíše o aktuální zisk a pravděpodobně se o budoucnost pozemku nebude tolik zajímat – spíše bude mít tendenci řešit případné aktuální problémy a v ideálním případě je nechat vyřešit samotným vlastníkem. Pokud bychom se podívali problematiku údržby odvodňovacích systémů z právního hlediska, tak zákon č. 254/2001 Sb. o vodách, ve znění pozdějších předpisů,

dokonce vlastníků odvodňovacích systémů ukládá přiměřenou péči o tyto systémy, a to zejména s ohledem na možnost jejich budoucího využití. Odvodňovací systémy jsou dnes u pozemků zapsány pouze jako věčná břemena, čímž se alespoň částečně vyřešila situace vzniklá tím, že systémy sice byly budovány bez vyžádání a souhlasu vlastníků, ale na druhou stranu nevyžádané nemusí vždy znamenat nežádoucí. Odvodňování jako takové je v České republice upraveno řadou zákonů, vyhlášek a norem, ke kterým mají výtky, jak odborníci, tak zástupci z řad široké veřejnosti. Proto je celá legislativa v oblasti odvodňování předmětem častých diskuzí. Je pochopitelné, že bez náležité údržby potrubí stárnou, zarůstají nebo jsou zanášena zeminou. Konce trubek, drenážní výusti a jejich opevnění se rozpadají. Kvůli ucpaným drénům a šachticím dochází k vývěrům vody, která způsobuje erozi nebo se hromadí na bezodtokových místech. Spodní části zájmových území zarůstají hydrofilními rostlinami (např. kopřivami či rákosem) a jsou prakticky vyřazeny z obdělávatelné plochy. (Kulhavý a kol., 2005; Fučík a kol., 2010).

Rozbor příčin vzniku povodní, které od roku 1997 až do současnosti zasáhly rozsáhlá území České republiky, poukázal zejména na nedostatečnou infiltrační schopnost povrchových vrstev krajiny, důsledkem čehož dochází k různým krizovým událostem. Těmto událostem lze předcházet výstavbou fungujících a racionálně umístěných horizontálních odvodňovacích systémů, které mají obrovský vliv na vodní režim v zastavěných oblastech a kulturní krajině (Štibinger, 2015).



Obr. č. 1: Plošné zastoupení staveb zemědělského odvodnění (Štibinger a Kulhavý, 2010)

1.2 Odvodňování ve světě

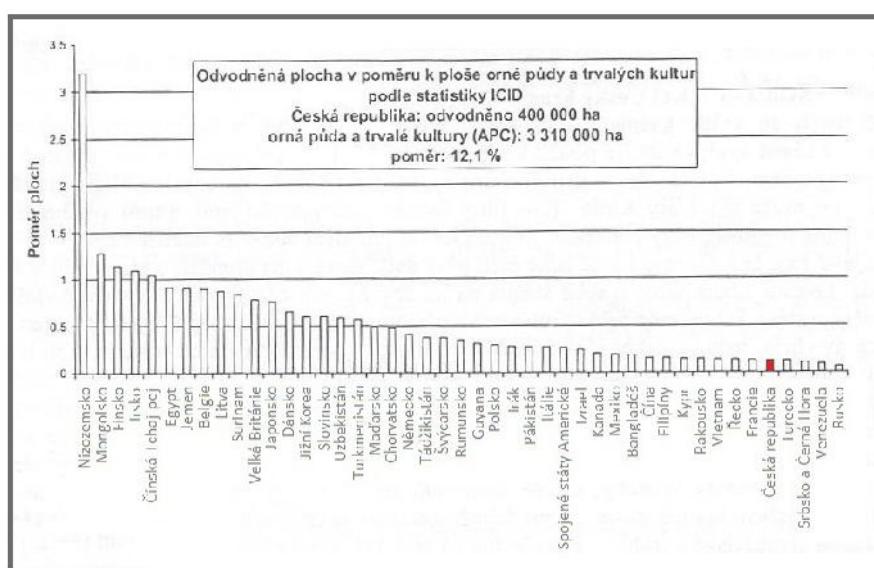
Přibližně před sedmi lety se začal výrazně projevovat nedostatek potravin vyráběných ze zemědělských plodin, mimo jiné například rýže, a to v oblastech, kde množství těchto plodin dříve pokrývalo potřeby vlastního obyvatelstva i export. Je možné, že tato situace bude mít pouze krátkodobý charakter, nicméně s ohledem na hospodářský význam rýže v určitých regionech (severní Afrika, jižní Asie) a současný vývoj klimatu začali některé státy tuto situaci okamžitě řešit. Bohaté arabské země nacházející se v okolí Perského zálivu začali nakupovat relativně levnou půdu v Africe a Asii, kterou mají v úmyslu kultivovat pomocí vyspělých vodohospodářských technologií (odvodnění, závlahy), aby si zajistily potravinovou soběstačnost (Štibinger, 2015). Významný vliv na volbu použitých technologií v těchto semiaridních a aridních oblastech bude mít fakt, že povrchové i podzemní vody, které se zde vyskytují, mají často vysoký obsah rozpuštěných prvků, zejména solí sodíku a vápníku (Ayars a kol., 2006).

Tropické deštné lesy, mokřady, bažiny a rašeliniště tvoří v některých částech světa mimořádně velké plochy o rozloze desítek až stovek km². V kontextu výše uvedených skutečností bude potřeba nalézt rovnováhu mezi ochranou těchto ekosystémů a jejich případným využitím pro hospodářské účely. Je jasné, že hlavní vliv na optimalizace vodního režimu v těchto oblastech budou mít vhodně navržené odvodňovací a zavlažovací stavby, které budou schopné zajistit dostatečnou úrodu při stále častějších hydrologických extrémech (Štibinger, 2015).

Drenážní systémy ve světě nemusí vždy sloužit pouze odvodňování. Z pohledu Evropana je zajímavé využívání drenážních systémů přesně k opačnému účelu, než jsme zvyklí – k zavlažování. V aridních a semiaridních oblastech, například Egypta, Indie nebo Pákistánu, jsou drenážní systémy využívány jako zavlažovací soustavy. Malí zemědělci, kteří tvoří převážnou část hospodářících subjektů v těchto zemích, nemají dostatek finančních prostředků na výstavbu hydromelioračních opatření, a proto většinu zde realizovaných projektů financují místní vlády (Ritzema a Schultz, 2010). Atmosférické srážky v Egyptě jsou naprosto zanedbatelné a celé zemědělství v této zemi je závislé na vodě, která je různými soustavami přiváděna z řeky Nilu (Nijland, 2000). V Indii a Pákistánu jsou přírodní podmínky pro zemědělství příhodnější. Zemědělská činnost se zde odvíjí od periodicky přicházejících monzunových dešťů, které na území vždy přinesou velké množství vody v podobě srážek. Důležité je pak s touto vodou vhodně hospodařit,

aby mohla být co nejdéle využívána a v krátké době z území neodtekla (Yasunari, 1980; Nijland a kol., 2005).

Zdá se, že nastává období, kdy by i vyspělé evropské země měly s ohledem na globální změny přehodnotit svou stávající zemědělskou politiku a zaměřit se především na potravinovou soběstačnost. Tu lze zabezpečit ochranou produktivity zemědělských půd, kde má odvodňování dozajista své nezastupitelné místo (Štibinger, 2015).



Graf č. 1: Odvodněná plocha v poměru k ploše zemědělské půdy podle ICID (Doležal a kol., 2005)

V grafu č. 1 jsou zobrazena statistická data shromážděná organizací ICID (International Commission on Irrigation & Drainage). Z dat je patrné, že Česká republika v porovnání s ostatními státy patří mezi státy s nízkým podílem odvodněných zemědělských ploch. Tato data je však nutné brát s jistou rezervou, protože jiné zdroje uvádějí pro Českou republiku rozdílné (větší) hodnoty, jak pro odvodněné plochy, tak pro celkovou výměru zemědělské půdy (Doležal a kol., 2005; MZe, 2012).

Zemí, která v souvislosti s odvodňováním vyčnívá nad ostatními, je Nizozemsko, což je patrné i z grafu č. 1. Protože velká část tohoto malého státu leží pod úrovní hladiny moře, mají Nizozemci s odvodňováním bohaté zkušenosti. Vytvářejí tzv. poldery, tedy území ohraničená nepropustnou vrstvou, ze kterých pomocí různých odvodňovacích systémů odvádějí vodu. Tato území pak dále kultivují, a tím vznikají nové plochy pro veškerá odvětví lidské činnosti. Poldery jsou snadno rozpoznatelné – nejčastěji jsou to rovinné plochy pod úrovní okolního

terénu, protkané hustou sítí rovnoběžných kanálů (viz obrázek č. 2). S odvodňováním v Nizozemsku začali již ve 13. století. K největšímu posunu však došlo až v 16. století, kdy se pro odvodňování začaly využívat větrné mlýny, což celý proces podstatně urychlilo. V 19. století přišly na řadu první parní stroje a dnes je odčerpávání vody realizováno prostřednictvím různorodých čerpadel. Technologický vývoj umožnil Nizozemcům přejít od vysoušení mokřadů k vysoušení celých jezer nebo dokonce mořských zálivů. Zajímavý je fakt, že na celém území Nizozemska je v současnosti v provozu 20 tisíc čerpadel, která nepřetržitě odvádějí vodu zpět do moře. Pokud by se tato čerpadla na 24 hodin vypnula, jedna osmina území Nizozemska by se ocitla pod vodou (Ritzema a Stuyt, 2015; Lefebvre, 2017).



Obr. č. 2: Letecký pohled na odvodněné území v Nizozemsku (ThinkLink, 2015)

Přístup k problematice odvodňování není prakticky v žádném státě totožný. Vždy ho ovlivňují především přírodní podmínky v dané oblasti a aktuální problémy, které jsou často způsobeny zásahy provedenými v dávné minulosti. Většina států si v dnešní době velmi dobře uvědomuje význam racionálního odvodňování pro kultivaci krajiny a ochranu životního prostředí (Meißner a kol., 2006). Orgány na různých úrovních snažící se o nápravu nevyhovujícího stavu, se však bohužel často střetávají s překážkami, jako jsou například právní vztahy k pozemkům nebo nedostatek finančních prostředků. To do značné míry komplikuje jejich snažení a oddaluje požadované výsledky (Vyhláška č. 225/2002 Sb.; Doležal a kol., 2005).

2. Zamokřená půda a její posuzování

Zamokření půdy je přirozený nebo lidskou činností vzniklý stav, který je charakteristický nadbytkem vody v půdním profilu, což omezuje využitelnost daného území. Půda je zamokřena, je-li její povrch zaplaven nebo je-li nasycena vodou tak, že vzniká nepříznivé prostředí pro obhospodařování, realizaci staveb nebo využívání přírodního bohatství (Dumbrovský a Milerski, 2005).

Na zemědělských půdách se zamokření posuzuje na základě vlhkostního stavu půdy, hloubky hladiny podzemní vody nebo doby zaplavení území. Pro zemědělské účely musí být v půdě obsaženo určité procento vzduchu, aby byl zajištěn správný vývoj rostlin a příznivý rozklad organických látek. Optimální podmínky pro většinu kulturních rostlin nastávají, když jsou půdní póry z 60 – 80 % vyplněny vodou. Optimální hloubka hladiny podzemní vody je závislá nejen na druhu pěstované kultury, ale také na jejích jednotlivých vývojových fázích (Kuklík, 1985; Dumbrovský a Milerski, 2005).

Při posuzování zamokření z hlediska budování staveb je zapotřebí držet se několika zásadních pravidel, tedy pokud se nejedná přímo o stavbu, jejímž účelem je ovlivňování vodního režimu, protože v takovém případě je stavba specifickým podmínkám přizpůsobena. Voda nesmí ohrožovat základy stavby, nesmí trvale (někdy ani dočasně) vystupovat nad úroveň sklepů a suterénů, nesmí svými účinky ohrožovat stabilitu liniových staveb (zejména železnic a dálnic), nesmí rozmáčet povrchy hřišť, parků a zahrad nebo umožňovat sesuvy svahů. Vhodné je také zajistit rozbor podzemní vody, která by při určitém složení mohla mít korozní účinek na beton, kovy nebo jiné stavební materiály (Dumbrovský a Milerski, 2005; Novák, 2017).

Při využívání přírodního, zejména nerostného, bohatství je důležité, aby vodní režim v dané lokalitě nezpůsobil neekonomičnost celého procesu získávání suroviny, tedy aby například voda nezaplavovala povrchové či hlubinné doly nebo nerozmáčela půdní povrch, na kterém se pohybují těžké stroje. Odstraňování takto vzniklých problémů by pochopitelně vedlo ke zvýšení nákladů. Tyto vícenáklady by pak mohly způsobit, že se celý projekt najednou stává nerentabilním (Dumbrovský a Milerski, 2005).

2.2 Příčiny zamokření

Příčiny zamokření lze rozdělit na dvě kategorie. Oblastní (zonální) příčiny, kterými jsou zpravidla klimaticko-hydrologické podmínky, které jsou závislé na zeměpisné poloze, nadmořské výšce, teplotě ovzduší a jejích změnách, intenzitě a časovém rozdělení srážek, poměru výparu a povrchového odtoku a směru a intenzitě převládajících větrů (Jůva a Cablík, 1954). Zamokřené bývají oblasti charakteristické vysokým srážkovým úhrnem a nízkou průměrnou teplotou. Druhou kategorií jsou místní (lokální) příčiny, které jsou dány zejména místními orografickými, hydrologickými, hydropedologickými, hydrogeologickými a antropogenními poměry (Jůva, 1955).

Při stanovování oblastní příčiny zamokření je rozhodující bilance ročního srážkového úhrnu a průměrné roční teploty, která ovlivňuje výpar. Na základě této bilance lze stanovit, zdali se oblast nachází v suchém (aridním) režimu nebo vlhkém (humidním) režimu. Pro hodnocení je důležité využívat přesná data z dlouhodobého měření. Stav v oblasti lze jednoduše zhodnotit využitím Langova dešťového faktoru D_f [L] (Dufková, 2003; Dumbrovský a Milerski, 2005).

$$D_f = \frac{S_r}{T} \quad (1)$$

kde

S_r – dlouhodobý průměrný roční srážkový úhrn [L]

T – dlouhodobá průměrná roční teplota [°C]

Různí autoři uvádějí rozdílné interpretace výsledných hodnot D_f [L]. Obecně lze však říci, že pokud je

$D_f \leq 40$ mm, jedná se o oblast v aridním režimu

$D_f = 40 - 60$ mm, jedná se o oblast v přechodném režimu

$D_f \geq 60$ mm, jedná se o oblast v humidním režimu

(Honsová, 2007).

Při stanovování oblastních příčin je zapotřebí zaměřit se na výše zmíněné orografické, hydrologické, hydropedologické, hydrogeologické a antropogenní poměry v dané oblasti.

Orografické poměry jsou určeny členitostí terénu. V závislosti na těchto poměrech může docházet k rychlému povrchovému odtoku s minimálním vsakem, což se projevuje nedostatkem vláh na svahu a zamokřením paty svahu (Dumbrovský a Milerski, 2005). Voda se také může přirozeně akumulovat v různých kotlinách či stržích. V souvislosti s orografickými poměry nelze opomenout jev zvaný srážkový stín, kdy je převládajícím větrům znemožněn přechod přes horské celky, v důsledku čehož většina srážek spadne na návětrné straně, zatímco závětrná strana zůstává podstatně sušší (Fiala a kol., 1980; AOPK ČR, 2017).

Hydrologickými poměry majícími vliv na zamokření jsou například, průměrný lokální srážkový úhrn a průměrný lokální výpar nebo řídká hydrografická síť neumožňující dostatečně rychlý odtok povrchové vody ze zájmového území.

Hydropedologické poměry se odvíjejí od půdní struktury, textury, pórovitosti, půdních typů a půdních druhů (Horník a kol., 1982; Janeček a kol., 2008). Zamokření způsobuje nízká infiltrační schopnost těžkých půd. Opačným extrémem je vysušená půda. Vysušenost půdy je typická pro lehké půdy, které mají vysokou infiltrační schopnost, obzvláště pokud mají nízký obsah humusu a nejsou chráněny vegetačním pokryvem. Takové půdy jsou pak velmi náchylné k různým druhům půdní eroze (Janeček a kol., 2007).

Hydrogeologické poměry jsou dány hloubkou nepropustného podloží a různou směrovou orientací vrstev místně přítomných hornin, které mají různé propustnosti (Jůva, 1955).

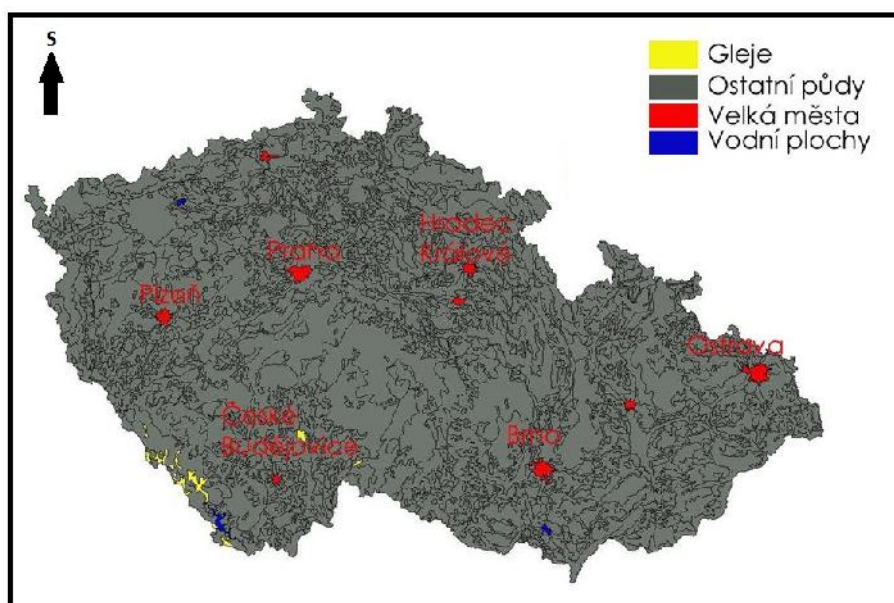
Z antropogenních činností má největší vliv na změnu vodního režimu – a tedy i na případný vznik zamokřených lokalit – budování sídel, budování vodohospodářských staveb a nevhodná zemědělská činnost. Při budování sídel, popř. průmyslových areálů a infrastruktury, dochází k narušování přirozeného vodního režimu v důsledku odstraňování vegetace; vytváření nepropustných vrstev na zemském povrchu; neorganizovaného zřizování výkopů bez odvodnění; nevhodného urovnání povrchu území ve sklonu znemožňujícím odtok; zřizování násypů, za nimiž dochází k akumulaci vody. Vodohospodářské stavby, především ty, které slouží k akumulaci vody, často zvyšují hladinu podzemní vody v důsledku netěsnosti materiálů, které je ohrazují. Zamokření způsobují i různé kanály nebo

vodovodní potrubí. Toto zamokření má však spíše lokální charakter a vzniká, buď jako důsledek špatného stavu celé soustavy, nebo v důsledku nějaké nenadálé situace, kterou bývá nejčastěji porucha na soustavě (Dumbrovský a Milerski, 2005). Na zamokření se může velmi významnou částí podílet nevhodná zemědělská činnost. Pomineme-li zamokření v důsledku příliš velkých dávek při zavlažování, zásadní vliv na změnu vodního režimu má výběr osevních postupů a pěstovaných rostlin. Kombinace špatného osevního postupu a nevhodně zvolené pěstované rostliny má za následek degradaci půdy, která vede k nežádoucí změně vodního režimu v území a ke snížení hospodářských výnosů. V těchto případech je však celá problematika vodního režimu ještě rozšířena o faktor eroze půdy, zejména pak na svažitých pozemcích. Vodní půdní eroze představuje proces rozrušování, transportu a sedimentace půdních částic (Janeček a kol., 2008). V místě působení půdní eroze dochází ke snižování mocnosti půdního profilu a k vyplavování půdních částic, včetně organické hmoty (Brady a Weil, 2002). Půdní částice jsou dále transportovány vlivem proudící vody a nejčastěji končí ve vodních tocích, odkud se dostávají i do vodních nádrží. To vše má za následek znečištění a eutrofizaci vodního prostředí, snižování průtočných kapacit vodních toků nebo snižování akumulačních prostorů vodních nádrží (Janeček a kol., 2007). Náklady na odstraňování následků půdní eroze se v České republice každoročně vyšplhají na částku několik miliard korun (MZe, 2012). Proto se od roku 2010 stát snaží prostřednictvím přímých finančních podpor motivovat zemědělce ke správnému způsobu hospodaření. Zemědělci obdrží finanční prostředky pouze za předpokladu, že dodržují tzv. GAEC (Good Agricultural and Environmental Conditions) standardy (MZe, 2012; Šarapatka, 2013).

2.3 Znaky zamokřené půdy

Zamokření můžeme z časového hlediska rozdělit na krátkodobé, které vzniká například po intenzivní srážce; periodické (sezónní), které se odvíjí od kolísání hladiny podzemní vody; trvalé, jenž je dáno vysokou úrovní hladiny podzemní vody (Valentová, 2017). Trvale zamokřené půdy se nazývají glejové půdy (též gleje). Jedná se o typ půdy, která se vyskytuje pouze na několika málo procentech výměry České republiky, převážně v jižních Čechách (viz obrázek č. 3) (VÚMOP, 2014). Tyto půdy bývají rozmáčené, kyselé až mírně kyselé s různou strukturou a texturou. V důsledku nedostatečného provzdušnění půdního profilu

v nich dochází k redukčním procesům, které zbarvují půdu do zelenomodra nebo šeda. Glejové půdy jsou azonální, nacházejí se zejména na dně terénních depresí, v nejnižších částech širších niv nebo na úzkých nivách malých vodních toků. Často můžeme glejové půdy najít také na rozhraní rašelinných půd. Vegetací vyskytující se na glejových půdách jsou lužní lesy a kyselé louky. Glejové půdy jsou obecně nevhodné pro pěstování kulturních rostlin (Jůva, 1957; Němeček a kol., 1990).



Obr. č. 3: Výskyt glejových půd na území České republiky (Navrátil, 2017)

3. Způsoby odvodnění

Na výběr vhodného způsobu odvodnění má největší vliv příčina, způsob a stupeň zamokření; sklon a tvar území; půdní poměry a využití území po provedeném odvodňovacím zásahu. Způsoby odvodnění rozdělujeme do dvou následujících kategorií (Jůva, 1964).

3.1 Zemědělsko-lesnické (agrobiologické) způsoby odvodnění

Využívají se při odvodňování méně zamokřených nebo k zamokření náchylných půd. Spočívají v úpravě půdní struktury nebo ve výsadbě kultur náročných na spotřebu vody.

Cílem úpravy půdní struktury je vytvořit drobtovitou půdní strukturu, která umožňuje snadnější a rychlejší infiltraci vody do větších hloubek. Drobtovitá struktura půdy se udržuje periodicky se opakujícím kypřením a hnojením. Rozkladem organických látek v půdě za přístupu vzduchu vzniká žádoucí humus, který spolu s vápníkem stmeluje půdní částic, a tak vznikají pevné a nerozpadavé drobty.

Druhým zemědělsko-lesnickým způsobem odvodnění je výsadba kultur náročných na spotřebu vody. Principem tohoto druhu odvodnění je využití rostlin s vysokou transpirací. Mezi tyto rostliny patří například slunečnice, vojtěška, topol, vrba, olše, bříza a jiné. Při souvislé lesní výsadbě mohou vhodné porosty vypařit až 30 mm vody za den. To vede k poklesu hladiny podzemní vody pod porostem a k poklesu hladiny podzemní vody v přilehlém okolí. Dalším pozitivem je příznivé ovlivňování mikroklimatu v dané oblasti (Fiala a kol., 1980; Kulhavý a Kulhavý, 2008).

3.2 Technické (vodohospodářské, meliorační) způsoby odvodnění

Využívají se k odvodňování silně zamokřených půd, kde by zemědělsko-lesnické způsoby odvodnění byly nedostatečné. Také se využívají v místech, kde použití zemědělsko-lesnických způsobů není technicky možné. Technické zásahy do vodního režimu v určité oblasti mění nejen samotný vodní režim, ale mají také velmi silný vliv na fyzikální, chemické a biologické procesy v půdě. Proto návrh technických způsobů odvodnění musíme posuzovat mnohem uvážlivěji než návrh zemědělsko-lesnických způsobů. Technické způsoby odvodnění dělíme na povrchové a podzemní.

Povrchové odvodnění je realizováno prostřednictvím otevřených příkopových kanálů. Tyto kanály z území odvádějí, jak povrchovou, tak podzemní vodu. Oproti tomu podzemní odvodnění (drenáž), odvádí převážně vodu podzemní. Sběrné a svodné příkopy nebo drény pak vytvářejí odvodňovací sítě. V praxi se můžeme setkat i s kombinací povrchového a podzemního odvodnění.

Technické způsoby odvodnění můžeme dále dělit na odvodnění ojedinělé, kdy se odvodňuje jen malá část území a odvodnění plošné (systematické nebo soustavné) které zasahuje velká území (Fiala a kol., 1980).

4. Druhy odvodňovacích zařízení

Stavby k odvodnění zemědělských pozemků se pro účely zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů, dělí na hlavní odvodňovací zařízení a podrobná odvodňovací zařízení. Hlavní odvodňovací zařízení je obvykle tvořeno otevřenými kanály a objekty na nich. Podrobným odvodňovacím zařízením se rozumí pro podzemní odvodnění sběrné a svodné drény, drenážní šachty a výusti, pro povrchové odvodnění sběrné příkopy a objekty na nich (Holý a kol., 1989; Zákon č. 254/2001 Sb.).

4.1 Hlavní odvodňovací zařízení

Hlavní odvodňovací zařízení (tzv. odvodňovací kostra) má zajistit zaústění nadbytečné povrchové a podzemní vody z pozemku do recipientu (vodního toku, jezera, rybníku) a ochranu pozemku před zaplavením vnějšími vodami. Obvykle je tvořeno hlavními a vedlejšími odvodňovacími kanály, které mají v půdorysu tvar přímek s vloženými oblouky (viz obrázek č. 4). Podklady pro návrh tvoří dle potřeby zejména geodetické, hydrologické, hydrogeologické, geologické, hydopedologické podklady. Nezbytný je také výškopisný a polohopisný plán. Při návrhu je třeba respektovat dlouhodobé vodohospodářské cíle v příslušné oblasti (Holý a kol., 1989; Kvítek a kol., 2006). Nadbytečná povrchová a podzemní voda může být prostřednictvím kanálů do recipientu dopravována třemi způsoby – gravitačně, uměle a nebo kombinací dvou předešlých způsobů. Jako nejlepší způsob se jeví

způsob gravitační s možností určité regulace (Benetin, 1987; Vyhláška č. 225/2002 Sb.).

Odvodňovací kanály bývají nejčastěji otevřené, ale mohou být i kryté. O volbě použití otevřeného nebo krytého kanálu rozhodují konkrétní podmínky v dané lokalitě (např. uspořádání pozemků a komunikací, protierozní ochrana půdy, ÚSES apod.)

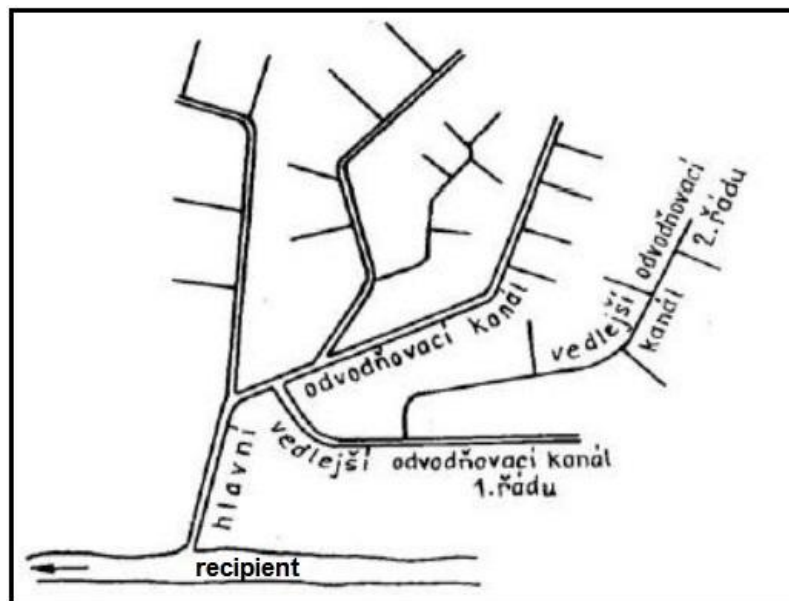
Otevřené kanály snižují nebezpečí vzniku soustředěného odtoku na okolních pozemcích; doplňují přirozenou hydrografickou síť; spolu s vegetačním doprovodem mohou vytvářet biokoridory; jejich příčný profil má nejčastěji tvar rovnoramenného lichoběžníku s minimální šířkou dna 0,5 m a jejich podélný sklon je navrhován s ohledem na mechanické vlastnosti zemin, ve kterých je kanál zbudován – nesmí docházet k rozrušování koryta kanálu vlivem proudící vody (ČSN 75 4210; Kulhavý a Kulhavý; 2008). Koryta kanálů mohou být opevněna (vegetačně, technicky). Sklony svahů v korytě se navrhují v poměru 1:1 až 1:2. U velkých kanálů, které se vyznačují výrazným kolísáním průtoků, je možné navrhnout kynetu, tedy sníženou část koryta, která je většinou trvale zaplavená (Valentová, 2017).

Kryté odvodňovací kanály se navrhují v místech, kde je zapotřebí zachovat územní celistvost nebo v místech, kde nehrozí vznik půdní eroze (ČSN 75 4210; Kulhavý a Kulhavý; 2008).

Při navrhování hlavního odvodňovacího zařízení je nutné posuzovat i jeho vliv na recipient a možnosti samotného recipientu. Proto je důležité, aby odvodňovací zařízení splňovalo několik základních podmínek:

- nesmí docházet ke znečišťování recipientu (splaveninami, látkami obsaženými v hnojivech apod.)
- recipient nesmí zaplavovat odvodňované území a nesmí zvyšovat hladinu podzemní vody, protože to by znemožňovalo dosažení požadované hloubky odvodnění
- recipient musí v požadovaném čase umožnit odvedení nadbytečné vody z území

(Benetin a kol., 1987).



Obr. č. 4: Hlavní odvodňovací zařízení tvořené sítí odvodňovacích kanálů (Holý a kol., 1989)

4.2 Podrobné odvodňovací zařízení

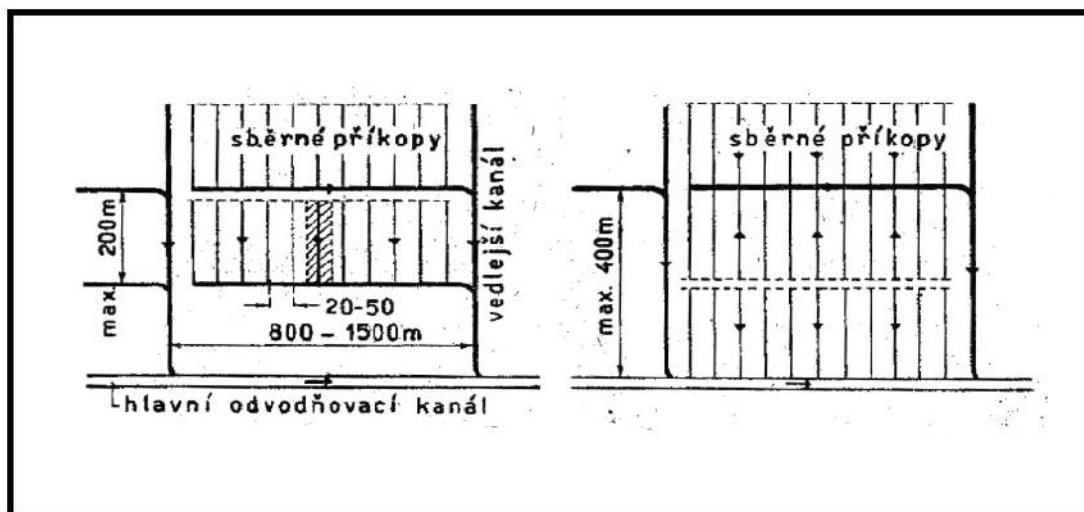
Podle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 225/2002 Sb., o podrobném vymezení staveb k vodohospodářským melioracím pozemků a jejich částí a způsobu a rozsahu péče o ně, ve znění pozdějších předpisů, jsou podrobná odvodňovací zařízení objekty, které slouží k bezprostřední úpravě vodního režimu půdy tak, aby stav pozemku odpovídal vláhové potřebě plodin a předpokládané činnosti na něm. Pro povrchové odvodnění jsou zařízení tvořena sběrnými příkopy a objekty na nich a pro podzemní odvodnění jsou tvořena sběrnými drény, svodnými drény, výustěmi, drenážními šachtami – tedy podzemní drenážní sítí.

4.2.1 Příkopové odvodnění

Příkopové odvodnění se v našich podmínkách používá především pro odvádění většího množství povrchové vody, která se dostala na pozemek například při intenzivní příválové srážce, záplavách nebo při jarním tání sněhu. Pokud bývá zamokření menšího rozsahu, lze pro odvedení vody využívat ojedinělých příkopů. Při rozsáhlejší zamokření je nutné přistoupit k odvádění vody prostřednictvím sítě

odvodňovacích příkopů, které ústí do odvodňovacích kanálů. Sítě odvodňovacích příkopů jsou tvořeny dvěma druhy příkopů. Příkopy sběrnými, které sbírají vodu z plochy pozemku a příkopy svodnými, které odvádějí vodu do odvodňovacích kanálů. Sběrné příkopy vždy ústí do svodných příkopů a svodné příkopy vždy ústí do odvodňovacích kanálů (Jůva, 1955; Fiala a kol., 1980).

Příkopy mají v půdorysu tvar přímek a bývají rovnoběžné (viz obrázek č. 5), napojení sběrných a svodných příkopů se volí zpravidla kolmé, často sítě vytvářejí pravidelné tvary, vždy je však nejdůležitější vzájemné uspořádání volit zejména s ohledem na topografické a hospodářské poměry v oblasti. Na svažitých pozemcích se směr a podélný sklon svodných příkopu navrhuje v závislosti na vrstevnicích. Optimální sklon by se měl pohybovat v rozmezí od 3 ‰ do 10 ‰. Na rovinatých pozemcích by sklon z důvodu zabránění zanášení příkopů neměl klesnout pod 0,3 ‰. U sběrných příkopů by pak neměl být sklon menší než 1 ‰. Návrh rozchodu a hloubky příkopů je vždy závislý na účelu odvodnění. Pokud je účelem odvádět pouze povrchovou vodu, navrhují se příkopy o hloubce 0,4 m a 0,8 m a pokud je účelem snížit hladinu podzemní vody, je důležité, aby dno příkopu leželo pod hladinou podzemní vody. Rozchod příkopů by neměl být menší než 30 m, protože v případě velmi husté sítě příkopů dochází k negativním důsledkům s spojením s přílišnou fragmentací území a znesnadněním zemědělského obhospodařování (Jůva, 1955; Brabec a Smith, 2002).



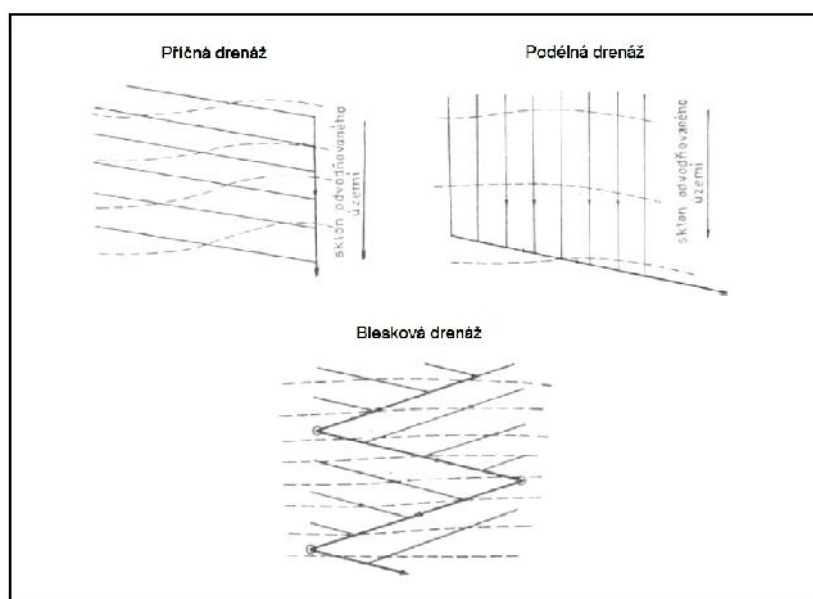
Obr. č. 5: Prostorové uspořádání příkopové odvodňovací sítě (Jůva, 1955)

4.2.2 Odvodnění drenáží

Drenážní odvodnění je odvodnění pomocí zvláštních perforovaných potrubí, uložených v zemi, která do sebe stahují vodu a dále ji odvádějí pryč ze zájmového území. Způsoby uložení a zabezpečení potrubí jsou různé, ale v zásadě rozlišujeme dva základní druhy drenážního odvodnění – vertikální a horizontální. Vertikální využívá svislých drénů, které jsou podobné úzkým studnám. Horizontální využívá horizontálně uložených drénů s umělým sklonem a jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1, tento druh podpovrchového odvodnění je nejrozšířenějším typem odvodnění v České republice. Horizontální drenáž můžeme ještě rozdělit na ojedinělou (sporadickou) a plošnou (systematickou).

Ojedinělá drenáž se využívá při odvodňování zamokřených ploch malých rozměrů, které vznikají například u pramenních vývěrů nebo v terénních depresích. Často se také buduje na okrajích vodou ohrožených pozemků, kde funguje jako záchytné zařízení a svodné zařízení.

Plošná drenáž se využívá k odvodnění souvisle zamokřených a rozsáhlých ploch. Navrhuje se jako síť složená ze sběrných a svodných drénů s různými typy uspořádání (viz obrázek č. 6). Příkladem odvodňování pomocí drenážní sítě může být odvodňování zemědělských pozemků, letišť, fotbalových nebo golfových hřišť (Holý a kol., 1989).



Obr. č. 6: Typy uspořádání drenážních sítí (Holý a kol., 1989)

Pro zajištění správného fungování drenážní sítě je zapotřebí na síti navrhnut tzv. drenážní objekty, prostřednictvím kterých se síť udržuje ve funkčním stavu po celou dobu její životnosti. Mezi drenážní objekty řadíme šachtice, výusti, jímky a objekty sloužící k ochraně drenáže. Údržba na drenážní síti se provádí nejčastěji pomocí šachtic. Šachtice můžeme definovat jako vstupy do drenážní sítě, které se umísťují na různá místa, mají různé velikosti a slouží k různým účelům. Jsou zhotovovány z betonových nebo železobetonových skruží, plastových trub nebo jiných prefabrikovaných dílců z odolného pevného materiálu. Podle účelu rozlišujeme šachtice revizní, spadištní, větrací, s čerpací stanicí nebo regulační.

Sofistikovanějším druhem drenáže je drenáž s regulovaným odtokem, která je využitelná především pro zemědělské účely. Její funkce spočívá v regulaci odtoku vody z území skrze drenážní systém. Regulace se zajišťuje regulačními šachticemi a může být pevná nebo volitelná dle potřeb pěstovaných rostlin. Regulaci je možné zbudovat, jak u nových, tak u starších drenážních systémů. Po zbudování regulovatelné drenáže dochází k rozdělení půdního profilu do třech vrstev:

- aktivní půdní profil
 - o prostor účinného zamokření, jehož mocnost je dána druhem rostliny a aktuální růstovou fází; pro každou rostlinu jiný
- regulovatelný půdní profil
 - o nachází se pod aktivním půdním profilem a sahá až na dno uložených drénů; dochází zde k samotné regulaci odtoku podzemní vody
- neregulovatelný půdní profil
 - o nachází se pod regulovatelným půdním profilem; sahá ode dna uložených drénů až k nepropustné vrstvě podloží; množství vody v tomto profilu není možné pomocí drenáže regulovat

Regulace odtoku v drenážním systému má jasná pozitiva, ale i negativa. Mezi pozitiva patří možnost zvýšit hladinu podzemní vody v sušších obdobích nebo naopak snížit hladinu podzemní vody v obdobích vláhového přebytku. Mezi negativa patří zvýšené riziko zanášení potrubí půdními částicemi, vlivem nedostatečné unášecí síly proudící vody (Kuklík, 1985; Soukup a Kulhavý, 2000).

Trubková drenáž je v současnosti zhotovována především z plastových potrubí, jejichž využití je výhodné z hydraulického, provozního a ekonomického hlediska. Jednou z největších výhod plastových potrubí je možnost vytvořit, jak tuhé, tak ohebné potrubí. Stěna ohebného (flexibilního) potrubí je po celé délce potrubí

zvlněna uzavřenými kruhy nebo spojitou spirálou (viz obrázek č. 7), což umožňuje potrubí ohýbat do libovolného směru. Pro speciální odvodňovací účely lze využít i jiné materiály, jako například kameninu nebo beton. Dříve se pro drenážní účely využívaly též trubky z pálené hlíny nebo azbestocementu. V současnosti jsou pro realizaci drenážních systémů nepoužívanějšími druhy plastů polyvinylchlorid (PVC) a polyetylen (PE). Potrubí z těchto plastů vykazuje dobré vlastnosti z hlediska chemické, tepelné a mechanické odolnosti. Materiál, ze kterého je potrubí vyrobeno musí samozřejmě kvalitativně odpovídat všem zákonným předpisům a po skončení jeho životnosti musí být řádně odstraněn, nejlépe recyklován. Životnost dnes používaných drenážních plastových potrubí je minimálně 100 let.

Stejně jako u každé stavby, i u odvodňovacích drenážních systémů je velmi důležitá finanční náročnost celého projektu, a proto musí životnost použitých materiálů odpovídat finančním prostředkům, které byly na realizaci stavby vynaloženy. (Holý a kol., 1989; PipeLife, 2012). Mimo kvality je z finančního hlediska důležitá také kvantita. Z tohoto důvodu se u drenážních systémů navrhuje co největší možné rozchody jednotlivých drénů, což minimalizuje množství použitého materiálu a náklady na výstavbu a údržbu (Štibinger a Kulhavý, 2010).



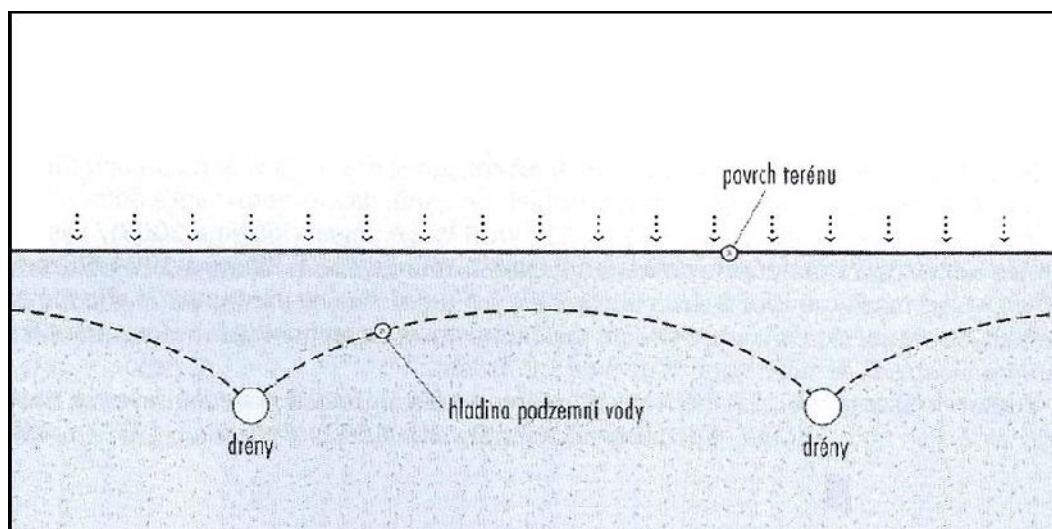
Obr. č. 7: Flexibilní drenážní potrubí z perforovaného PVC
(Stavebniny-rychle, 2017; Vodo-plasttop, 2017)

5. Drenážní proudění

Hydraulické metody pro výpočet a návrh základních parametrů trubkové drenáže vycházejí z teorie drenážní proudění, která se zabývá především prouděním vody v nasyceném porézním izotropním prostředí v systému rovnoběžných, stejně vzdálených a stejně hluboko uložených horizontálních drénů. Tento typ proudění může mít ustálený (stacionární), neustálený (nestacionární) nebo transientní charakter. V reálném prostředí se nejčastěji setkáme s transientním prouděním. K tomuto proudění dochází ve chvíli, kdy se prostřednictvím trubkové drenáže snižuje hladina podzemní vody a zároveň dochází k dalšímu nepravidelnému zásobování prostředí vodou, což vyvolává kmitavý transientní pohyb hladiny podzemní vody. Popisovaný jev může nastat zejména v období po záplavách, jarním tání sněhu, nebo po závlaze a lze ho matematicko-fyzikálně vyjádřit pomocí DeZeeuw-Hellingova vztahu. V běžné odvodňovací praxi si však nejčastěji vystačíme pouze s výpočty pro ustálené a neustálené proudění (Holý a kol., 1989; Dumbrovský a Milerski, 2005; Štibinger a Kulhavý, 2010).

5.1 Ustálené drenážní proudění

Ustálené drenážní proudění je typické pro oblasti s humidním klimatem, kde převládají časově rovnoměrně rozložené srážky střední intenzity. Vyskytuje se především na místech, kde převládá trvalý, ustálený, stejnosměrný zdroj zamokření. Tímto zdrojem bývají nejčastěji již zmíněné déle trvající srážky, pramenní vývěry nebo průsaky, které mají stále přibližně stejnou intenzitu. Pro tento druh proudění je charakteristický relativně vyrovnaný drenážní odtok, který je přibližně stejně velký jako efektivní přítok do drenážního systému. Souhrnně lze říci, že teorie ustáleného drenážního proudění v nasyceném porézním prostředí říká, že přítok k hladině podzemní vody nad drény je stálý a rovnoměrný a má stejnou hodnotu jako drenážní odtok – tedy úroveň hladiny podzemní vody se s přítokem nemění a nemění se ani tvar hladiny podzemní vody. Neměnný tvar hladiny podzemní vody při způsobu odvodnění systematickou trubkovou drenáží za podmínek ustáleného nasyceného proudění je viditelný na obrázku č. 8 (Štibinger a Kulhavý, 2010).



Obr. č. 8: Příčný řez podzemní systematickou trubkovou drenáží v podmínkách ustáleného nasyceného proudění (Štibinger a Kulhavý, 2010)

Metody určování základních parametrů trubkové drenáže při ustáleném proudění vycházejí z Laplaceovy rovnice potenciálního proudění. V praxi se k výpočtům parametrů trubkové drenáže užívají různé vztahy vycházející z laboratorních pokusů a zjednodušujících předpokladů. Velmi známé jsou například vztahy J. Rotha, W. T. Moodyho nebo F. L. Ernsta, z nichž každý má svá určitá specifika a různou vhodnost použití. Je tedy logické, že žádné dva vztahy nemohou ve finále poskytnout totožné výsledky, a proto je nutné vždy pečlivě zvážit vhodnost použití daného vztahu (Dvořák, 1981; Váška a kol., 2000; Dumbrovský a Milerski, 2005).

Pro účely této diplomové práce budeme nadále pracovat se vztahem (rovnicí) S. B. Hooghoudta. Tato rovnice kalkuluje s tzv. ideálním drénem, tedy drénem, do kterého voda vstupuje nepřetržitě ze všech stran a dále zavádí tzv. ekvivalentní, vodorovnou, nepropustnou vrstvu. Hooghoudtova teorie využití této vrstvy má při řešení úprav vodního režimu v krajině pomocí podzemních, horizontálně uložených drénů své opodstatnění a využívá se, jak v podmínkách ustáleného, tak v podmínkách neustáleného drenážního proudění. Výsledný vzorec pro výpočet rozchodu drénů L [L] pak vypadá následovně:

$$L^2 = \frac{8K_s dh}{q} + \frac{4K_h h^2}{q} \quad (2)$$

kde

K_s – hydraulická vodivost vrstvy pod drénem [$L \cdot T^{-1}$]

K_h – hydraulická vodivost vrstvy nad drénem [$L \cdot T^{-1}$]

d – hloubka ekvivalentní nepropustné vrstvy pod drény [L]

h – maximální výška hladiny podzemní vody na drény (tj. v místě ve vzdálenosti $L/2$ od středu drénu) [L]

q – ustálený drenážní odtok [$L \cdot T^{-1}$]

Rovnice platí i pro $K_h = K_s = K$, i pro K_h mnohem větší než K_s . Pokud je K_s mnohem větší než K_h , je možné druhý člen rovnice zcela zanedbat (Dumbrovský a Milerski, 2005; Štibinger a Kulhavý, 2010).

Otázkou stanovení hloubky ekvivalentní nepropustné vrstvy d [L] se mimo Hooghoudta zabývala celá řada hydrologů. Namátkou můžeme zmínit jména jako P. J. Dieleman, B. D. Trafford, D. Kirkham nebo Y. Labye. Zmínění autoři uvádějí různé metody pro stanovení hloubky ekvivalentní nepropustné vrstvy d [L], z nichž se jako velmi užitečný z hlediska rychlosti stanovení jeví vztah pro přímé určení této hloubky, který vypadá následovně:

$$d = \frac{D}{\frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{\pi r_0} + 1} \quad (3)$$

kde

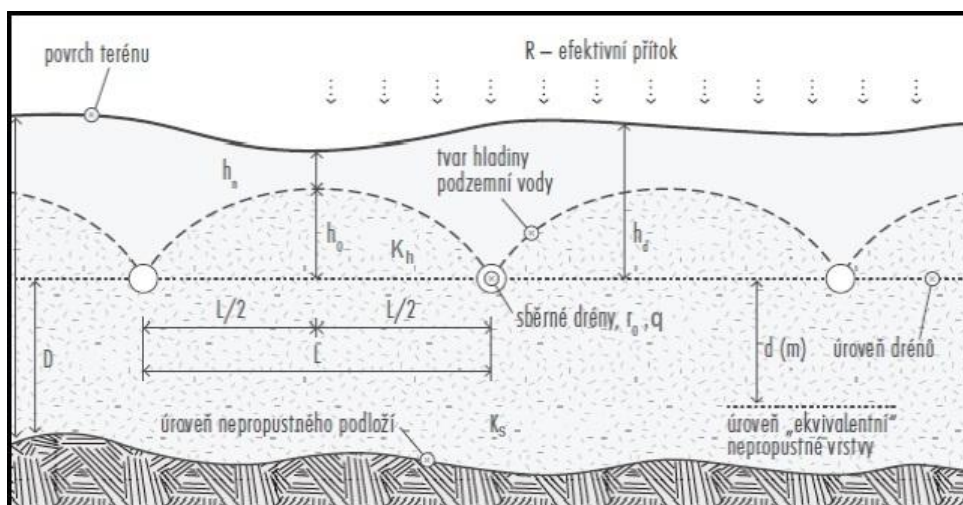
D – hloubka skutečné nepropustné vrstvy pod drény [L]

L – rozchod drénů [L]

r_0 – poloměr drénů [L]

Velmi užitečným nástrojem pro stanovení hloubky ekvivalentní nepropustné vrstvy d [L] Hooghaudtovou metodou je jednoduchý kalkulátor, který nabízí Alterra-ILRI, Wageningen (Dieleman a Trafford, 1976; Štibinger a Kulhavý, 2010).

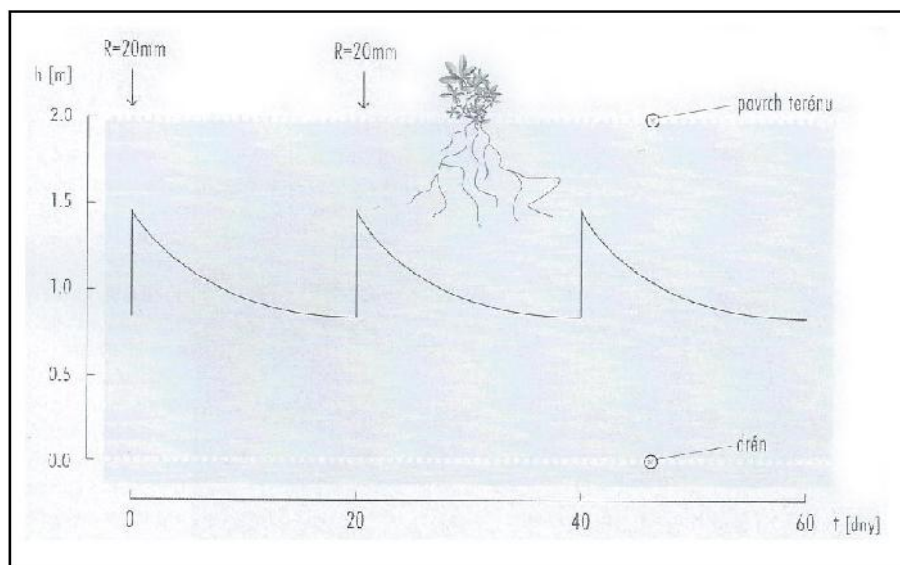
Všechny výše zmíněné parametry z rovnic týkajících se ustáleného drenážního proudění jsou graficky znázorněny na následujícím obrázku č. 9.



Obr. č. 9: Schéma systematické trubkové drenáže v podmínkách ustáleného drenážního proudění (Štibinger a Kulhavý, 2010)

5.2 Neustálené drenážní proudění

K neustálenému drenážnímu proudění dochází v místech, kde je efektivní přítok (infiltrace) do hladiny podzemní vody nad drenážním systémem proměnný. V praxi se neustálené drenážní proudění vyskytuje v drtivé většině případů, a proto je to nejčastěji řešená problematika v odvodňování. V podmínkách neustáleného drenážního proudění v porézním nasyceném prostředí dochází v čase t [T] ke změně úrovně a tvaru hladiny podzemní vody, a také ke změně hodnoty drenážního odtoku, čímž se neustálené proudění liší od ustáleného. Při návrhu drenáže v podmínkách neustáleného proudění řešíme především následující otázku: Jaký musí být rozchod jednotlivých drénů, aby v určitém čase t [T] poklesla hladina vody z úrovně h_0 [L] na úroveň h_t [L]. Kolísání hloubky hladiny podzemní vody h [L] v čase t [T] je patrné z grafu č. 2 (Dumbrovský a Milerski, 2005; Štibinger a Kulhavý, 2010).



Graf č. 2: Změna úrovně hladiny podzemní vody v čase za podmínek neustáleného drenážního proudění v průběhu závlah (Štibinger a Kulhavý, 2010)

Teorie neustáleného drenážního proudění v nasyceném půdním prostředí, ze které budeme pro účely této diplomové práce vycházet a ze které vychází i algoritmy v kalkulátoru poskytovaném Alterra-ILRI, Wageningen, je založena na následujících zjednodušeních (Štibinger a Kulhavý, 2010):

- Darcyho zákon platí i pro neustálené proudění a je vyjádřen Dupuitovou aproximací (Darcy, 1856; Kutílek a Nielsen, 1994)
- platí Dupuitovy postuláty (Dupuit 1863, Mls 1984), tj. při relativně malých sklonech volné hladiny podzemní vody uvažujeme, že jsou proudnice vodorovné, ekvipotenciály svislé, gradient potenciálu volné hladiny je určen jejím sklonem a s hloubkou pod hladinou se nemění
- Hooghoudtův postup stanovení ekvivalentní nepropustné vrstvy platí i v podmínkách neustáleného drenážního proudění
- nasycená hydraulická vodivost $K [L \cdot T^{-1}]$ a efektivní drenážní pórovitost $P_d [-]$ je v oblasti proudění konstantní a nad hladinou podzemní vody je konstantní vlhkost
- v případě, že bude existovat proudění nad hladinou podzemní vody, jeho rychlost bude mít vertikální směr a bude funkcí pouze času

(Štibinger a Kulhavý, 2010).

K matematicko-fyzikálnímu popisu proudění v homogenním půdním prostředí lze využít parciální diferenciální rovnici. Při návrhu parametrů podzemních, horizontálně uložených drenážních systémů, které mají upravovat vodní režim v podmínkách neustáleného drenážního proudění, pak vycházíme z tzv. linearizované Fourierovy tepelné rovnice, která má následující podobu (Váška a kol., 2000; Dumbrovský a Milerski, 2005):

$$K\bar{H} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = P_d \frac{\partial y}{\partial t} \quad (4)$$

kde

K – součinitel nasycené hydraulické vodivosti [$L \cdot T^{-1}$]

$\bar{H}$ – průměrná mocnost prostředí, v němž dochází k proudění [L]

P_d – efektivní drenážní pórovitost [-]

t – čas [T]

x; y – souřadnice dvourozměrného ortogonálního souřadnicového systému [L]

Vytvářením vzorců pro výpočet rozchodu drénů na základě předchozí rovnice se zabývala řada autorů. Podle zkušeností z praxe je doporučováno v našich přírodních podmínkách užívat vzorce R. E. Glovera, I. Radčenka nebo US Bureau of Reclamation. Každý ze vzorců má svá specifika, avšak v základě jsou si velmi podobné. Liší se především ve vstupních předpokladech, kdy například Gloverův vzorec předpokládá uložení drénů na nepropustné vrstvě a parabolický tvar depresní plochy před zahájením odvodňování, zatímco vzorec US Bureau of Reclamation umožňuje řešit problematiku rozchodu drénů, pokud drény neleží na nepropustné vrstvě podloží a mají tedy od této vrstvy vzdálenost $l > 0$. Radčenkův vzorec pak vychází z modelového výzkumu na štěrbinových kuličkových modelech za použití glycerínu a pro vyčíslení tohoto vzorce je zapotřebí použít tabulky a grafy.

Pro porovnání Gloverův vzorec (5) a vzorec US Bureau of Reclamation (6):

$$L = \left[\frac{4,46Kh_0t}{P_d\left(\frac{h_0}{h_t}-1\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$L = \left[\frac{10K\bar{H}t}{P_d \ln\left(1,16\frac{h_0}{h_t}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

kde

K – součinitel nasycené hydraulické vodivosti [$L \cdot T^{-1}$]

$\bar{H}$ – průměrná mocnost prostředí, v němž dochází k proudění [L]

P_d – efektivní drenážní pórovitost [-]

t – čas, za který se změní úroveň hladiny podzemní vody na požadovanou [T]

h_0 – výška původního vzepětí meridiánu depresní plochy v čase **t** = 0 uprostřed dvou sousedních trubkových drénů [L]

h_t – výška vzepětí meridiánu depresní plochy po uplynutí času **t** [T] uprostřed dvou sousedních trubkových drénů [L]

(Holý a kol., 1989; Dumbrovský a Milerski, 2005).

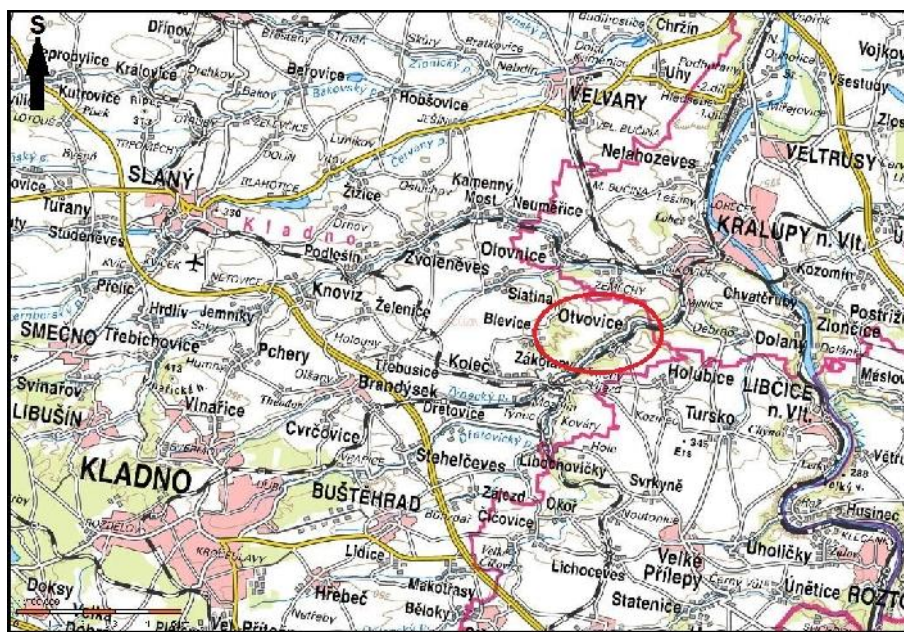
6. Charakteristika zájmového území

Pro následující praktickou část diplomové práce je nutné vymezit zájmovou lokalitu z hlediska územních souvislostí, přírodních podmínek v oblasti a popsat stávající problémy související se zamokřením zemědělského pozemku.

6.1 Stručný popis

Zájmová lokalita, určená k úpravě vodního režimu odvodněním, se nachází v obci Otovice v okrese Kladno, kraj Středočeský. Obec leží prakticky ve středu pomyslného trojúhelníku, jehož vrcholy tvoří města Kladno, Slaný a Kralupy nad Vltavou (viz obrázek č. 10).

Katastrální výměra obce činí 6,16 km² a v obci žije 803 obyvatel. Prakticky celá obec je rozprostřena v údolí Zákolanského potoka. S ohledem na velikost obce a počet obyvatel se zde nachází velmi dobrá občanská vybavenost – škola, zdravotní středisko, fotbalové hřiště, venkovní koupaliště, knihovna, hostinec, kadeřnictví, tiskař a obchod se smíšeným zbožím. Do obce je zavedena elektřina, vodovod a plynovod. Chybí zde kanalizace. Prochází tudy také silnice II. třídy a železniční trať, které spojují Kladno a Kralupy nad Vltavou. Mezi pamětihodnosti obce patří Otovická skála a kaple sv. Prokopa. (Otovice, 2017).



Obr. č. 10: Umístění obce Otovice v Kladenském okrese (ČÚZK, 2017a)

Konkrétní pozemek v katastrálním území Otovice s parcelním číslem 172/1, pro který bude vytvořen návrh odvodnění má dle katastru nemovitostí výměru 1830 m², jeho průměrná nadmořská výška činí 202 m. n. m a půdorysný tvar je patrný z obrázku č. 11. Oblast, ve které se nachází řešený pozek, místní obyvatelé nazývají „Na Palouku“. Ze severní strany je pozemek ohraničen Zákolanským potokem, z jižní pak železniční tratí. Pozemek je soukromém vlastnictví fyzické osoby, která má trvalé bydliště v Praze, ale v současnosti žije v Otovicích (ČÚZK, 2017b; Mapy.cz, 2017a).



Obr. č. 11: Letecký snímek části obce Otovice s červeně ohraničenou zájmovou lokalitou (Mapy.cz, 2017a)

6.2 Přírodní podmínky v oblasti

Podle vyjádření místního obecního úřadu nebyl v zájmové lokalitě ani v její blízkosti proveden autorizovanou osobou žádný hydrologický, pedologický nebo geologický průzkum, který by byl využitelný pro účely této práce. Z tohoto důvodu budou pro popis přírodních podmínek v oblasti využity veřejně dostupné podklady, poskytované převážně státními organizacemi.

6.2.1 Klimatické a hydrologické poměry

Zájmová lokalita spadá do prvního klimatického regionu, což je z globálního hlediska a ve vztahu k této práci paradoxně nejsušší oblast Čech. Do tohoto regionu patří mimo jiné také Mostecká pánev, Žatecko, České křídové tabule a západní část Pražské plošiny. Oblast je charakteristická průměrnou roční teplotou 8 – 9 °C a dlouhodobým průměrným ročním srážkovým úhrnem okolo 600 mm. Obzvláště v poslední dekádě byla léta suchá s vysokými denními teplotami, zimy byly mírné. Hydrograficky je Kladensko součástí povodí Vltavy. Podíl vodních ploch je zanedbatelný a činí pouhých 0,99 % z celkové výměry okresu. Pro účely této práce bude pro návrh parametrů odvodňovací soustavy využita následující tabulka č. 1.

srážkový úhrn ve Středočeském kraji a Praze													
rok	za měsíc v mm												za rok v mm
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
2000	38	35	109	13	55	55	89	35	33	52	28	15	558
2001	31	26	63	63	67	75	92	98	92	25	46	52	736
2002	20	56	32	26	56	87	87	162	57	71	78	48	792
2003	41	9	9	22	72	38	73	30	25	38	12	38	407
2004	65	33	38	25	53	94	55	54	46	25	60	16	566
2005	50	54	19	24	69	54	134	72	42	11	17	47	595
2006	22	32	61	61	90	84	31	110	14	35	25	24	592
2007	55	33	32	3	66	72	78	73	87	20	64	21	604
2008	30	19	40	49	55	55	73	65	22	51	35	33	527
2009	18	42	53	20	87	83	95	44	16	51	30	57	596
2010	59	16	27	33	96	57	98	153	86	8	60	61	752
2011	37	8	28	25	52	82	154	72	43	42	1	42	585
2012	60	23	12	39	41	61	113	81	42	45	42	56	615
2013	51	44	21	27	114	164	46	106	52	48	30	10	712
2014	25	2	36	33	121	27	94	64	85	51	18	31	587
2015	34	5	40	26	41	60	28	70	20	54	64	17	459
2016	30	45	25	26	58	77	95	32	39	57	29	24	535
průměr													601

Tab. č. 1: Měsíční a roční srážkové úhrny na území Středočeského kraje a Prahy
v letech 2000 – 2016 (ČHMÚ, 2017)

V těsné blízkosti zájmové lokality protéká Zákolanský potok, č. hydrologického pořadí – 1-12-02-028, délka vodního toku v kategorii významný – 16,6 km (Gremlica a kol., 2004; eKatalog BPEJ, 2015). Tento vodní tok ústí do řeky Vltavy v Kralupech nad Vltavou prošel v minulosti rozsáhlými technickými úpravami. Došlo k napřímení trasy toku a na některých místech byly nevegetačně opevněny břehy i dno koryta. Koryto bylo nevegetačně opevněno nejen v intravilánech, ale také v extravilánech obcí, kterými protéká. Tyto úpravy výrazně zvýšily povodňové ohrožení, zejména města Kralupy nad Vltavou (ČHMÚ, 2017; Just, 2017).

V rámci hodnocení jakosti vod podle ČSN 75 7221 byl v roce 2003 Zákolanský potok klasifikován jako vodní tok s velmi silně znečištěnou vodou (třída V. základní klasifikace). Na znečištění má významný vliv intenzivní zemědělská výroba a pravděpodobně i staré ekologické zátěže související s dřívější rozsáhlou těžbou černého uhlí v oblasti (Gremlica a kol., 2004; ČSN 75 7221). I přes tento neutěšený stav se na střední části toku udržuje populace raka křemenáče (*Austropotamobius torrentium*) a z tohoto důvodu je také Zákolanský potok zařazen na seznam evropsky významných lokalit (Tremlová a Simon, 2016).

6.2.2 Půdní a geologické poměry

V širším okolí zájmové lokality lze v nivách nalézt fluvizemě i glejové půdy. Na výše položených místech pak zastoupením převládají kambizemě, černozemě a kvartérní spraše. Půdní profil zájmové lokality je tvořen dvěma přibližně homogenními a izotropními vrstvami, u kterých lze předpokládat, že spodní vrstva bude mít výrazně nižší hydraulickou vodivost $K [M \cdot T^{-1}]$ než vrstva svrchní (Jakub Štibinger, 2017, in verb.). V zájmové lokalitě se nacházejí dvě BPEJ (bonitované půdně ekologické jednotky) s číselným označením 1.56.00 a 1.19.51 (Tremlová a Simon, 2016; ČÚZK, 2017b).

V části lokality, kterou pokrývá BPEJ 1.56.00 je půda s nadprůměrným produkčním potenciálem, která spadá do 1. třídy ochrany zemědělského půdního fondu. Hloubka půdy je hluboká až velmi hluboká a mocnost humusového horizontu nevýrazně přesahuje mocnost ornice. Struktura ornice je drobtovitá, v nižších horizontech bez struktury. Na půdním horizontu je patrné působení glejových procesů. Půda je středně těžká, mírně až středně pórovitá, silně vododržná s nízkým obsahem humusu, bezskeletovitá. Náchylnost k acidifikaci a utužení je střední, náchylnost k erozi slabá.

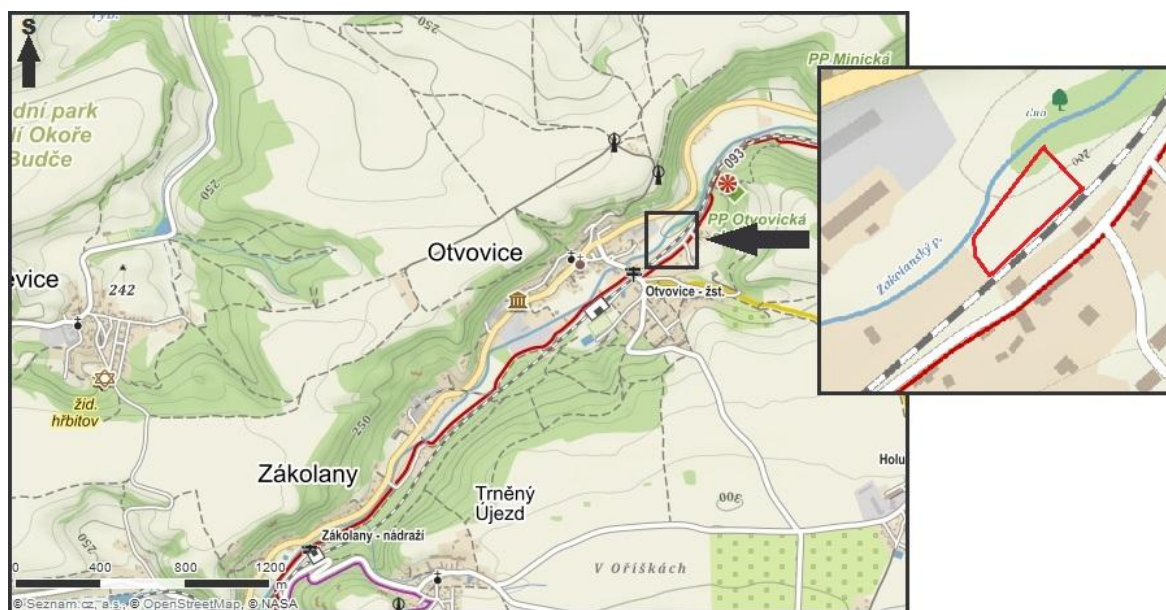
Druhá část lokality, kterou pokrývá BPEJ 1.19.51 se mírně odlišuje od předchozí. Půda má podprůměrný produkční potenciál a spadá do 4. třídy ochrany zemědělského půdního fondu. Hloubka půdy je středně hluboká až hluboká a mocnost humusového horizontu je shodná s mocností ornice. Struktura ornice je drobtovitá, v nižších horizontech zrnitá až náznakově polyedrická. Na půdním horizontu je patrné působení glejových procesů. Půda je středně těžká, mírně až středně pórovitá, silně vododržná se středním obsahem humusu, bezskeletovitá až slabě skeletovitá. Náchylnost k utužení je střední, náchylnost k erozi slabá. Půda není náchylná k acidifikaci (eKatalog BPEJ, 2015).

Podloží v oblasti tvoří turonské písčité slínovce až spongilitické jílovce, často silicifikované, nebo proterozoické fylitické droby a břidlice. Dále můžeme v oblasti nalézt pleistocénní deluvioeolické nezpevněné sedimenty tvořené hlínami a písky. Samotná niva Zákolanského potoka je pak tvořena nečleněnými nezpevněnými holocénními fluvialními sedimenty hlín a písků (Tremlová a Simon, 2016).

Z vyjádření místních obyvatel vyplývá, že přibližně vodorovná nepropustná vrstva podloží se nachází v hloubce 3 – 3,5 m pod úrovní terénu. Jelikož z dostupných informací nelze ověřit, zadli je toto tvrzení pravdivé, budeme pro účely této práce z důvodu technického zabezpečení odvodňovací stavby uvažovat nepropustnou vrstvu v hloubce 2,5 m pod úrovní terénu.

6.2.3 Morfologické poměry

Zájmová lokalita je umístěna v údolí Zákolanského potoka (viz obrázek č. 12). Směrem na severozápad a jihovýchod od pozemku se nacházejí poměrně příkré svahy, které se svažují směrem k pozemku. Samotný pozemek je rovinatý s mírným několika málo stupňovým sklonem na jihovýchod. Převýšení v rámci pozemku je prakticky nulové. Lze říci, že expozice pozemku je všestranná, což vyplývá i z číselných kódů BPEJ, které se na pozemku nacházejí. Z dostupných zdrojů je patrné, že údolí Zákolanského potoka v Otavčicích patří z hlediska nadmořské výšky mezi nejnížší místa na Kladensku. Průměrná nadmořská výška se zde pohybuje mezi hodnotami 200 – 210 m. n. m. (Gremlica, 2004; Mapy.cz, 2017b).



Obr. č. 12: Umístění zájmové lokality v údolí Zákolanského potoka zobrazené na turistické mapě s vrstevnicemi po 10 výškových metrech (Mapy.cz, 2017b)

6.2.4 Vegetační poměry a způsob využití území

Podle regionálního fytogeografického členění, které akceptuje současnou vegetační skladbu a vliv lidské činnosti na vegetaci, můžeme zájmovou lokalitu zařadit do tzv. českého termofytika, tedy oblasti s výskytem teplomilných druhů rostlin (Skalický, 1988).

Největší část území Kladenska je z hlediska výskytu potenciálně přirozené vegetace typická pro výskyt Černýšových dubohabřin (*Melampyro nemorosi-Carpinetum*) ze svazu Dubohabřiny a lipové doubravy (*Carpinion*). Dominantními druhy stromového patra jsou dub zimní (*Quercus petraea*) a habr obecný (*Carpinus betulus*). Prosvětlené porosty jsou charakteristické dobře vyvinutým keřovým patrem, které je tvořeno mezofilními druhy opadavých listnatých lesů. Bylinné patro tvoří především mezofilní druhy bylin, méně často se vyskytují trávy. Rostlinné společenstvo jako celek preferuje eutrofní, místy pseudoglejové kambizemě. Nejčastějšími invazními a expanzivními druhy jsou třtina rákosovitá (*Calamagrostis arundinacea*), konvalinka vonná (*Convallaria majalis*), netýkavka malokvětá (*Impatiens parviflora*), bršlice kozí noha (*Aegopodium podagraria*), černýš hajní (*Melampyrum nemorosum*) a trnovník akát (*Robinia pseudoacacia*) (Neuhäuslová a kol., 1998; Gremlica, 2004).

V údolích v blízkosti vodních toků se nacházejí Mochnové doubravy (*Potentillo albae-Quercetum*) ze svazu Subacidofilní středoevropské teplomilné doubravy (*Quercion petrae*). Dominantními druhy stromového patra jsou dub zimní (*Quercus petraea*) nebo dub letní (*Quercus robur*). Příměs může tvořit habr obecný (*Carpinus betulus*) nebo lípa srdčitá (*Tilia cordata*). V keřovém patře se nejčastěji vyskytuje krušina olšová (*Frangula alnus*), líska obecná (*Corylus avellana*) a růže šípková (*Rosa canina*). Často mozaikovitě bylinné patro je tvořeno společně zastoupenými druhy teplomilných doubrav a druhy střídavě vlhkých půd.

Většina území na Kladensku je využívána k intenzivní zemědělské produkci. Na plochách, kde se zemědělsky nehospodaří, byla přirozená společenstva nejčastěji nahrazena monokulturami smrku ztepilého (*Picea abies*), případně byly plochy využity při rychle se rozvíjejícím budování sídel a infrastruktury. Lze konstatovat, že z krajinářského pohledu se jedná o kulturní krajinu významně ovlivněnou lidskou činností (Gremlica, 2004).

Konkrétní zemědělský pozemek, na kterém bude navrženo odvodnění, je intenzivně využíván nájemcem, který na něm pěstuje brambory. K hnojení je využíváno statkové hnojivo. Obdělávání půdy je realizováno prostřednictvím těžké zemědělské techniky, způsobem běžným pro intenzivní zemědělskou činnost. Jelikož povodí Zákolanského potoka patří dle tzv. nitrátové směrnice (91/676/EHS) mezi zranitelné oblasti vymezené nařízením vlády č. 262/2012 Sb., je v souladu s vodním zákonem (254/2001 Sb.) na okraji pozemku, který sousedí s korytem vodního toku, ponechán neobdělávaný 3 m široký pás trvalého travního porostu (Tremlová a Simon, 2016). Na pozemku se také nachází jeden vzrostlý strom třešně obecné (*Prunus avium*).

7. Způsob a příčiny zamokření zájmového území

Z místního měření, pozorování a analýzy přírodních poměrů vyplývá, že zamokření řešeného pozemku je způsobeno vlivem vysoké hladiny podzemní vody v kombinaci s atmosférickými srážkami. Zamokření má plošný charakter a vyskytuje se krátkodobě až sezónně. Při běžných déle trvajících deštích, zejména v zimních a jarních měsících, hladina podzemní vody vystupuje na úroveň terénu. Je to dáno tím, že déle trvajících dešťů (popř. tání sněhu) zvyšují hladinu vody v korytě přilehlého vodního toku, což má za následek zvýšení hladiny podzemní vody na řešeném

pozemku. Navíc při dešti dochází k přímé dotaci vodou samotnými dešťovými kapkami, které padají na plochu pozemku. Jelikož se řešený pozemek nachází v údolí a je obklopen poměrně příkrými svahy, přichází v úvahu také dotování vodou z těchto svahů při podpovrchovém odtoku. Dotování povrchovým odtokem, resp. přítokem je vyloučeno, protože z jedné strany je řešený pozemek před vnější vodou chráněn korytem vodního toku a z druhé strany zase náspem železniční tratě. Na zamokření pozemku má dozajista velký vliv také silně vododržná půda v kombinaci se špatně propustným nevegetačním opevněním koryta toku. To způsobuje zpomalení odtoku vody z pozemku do níže položeného, přilehlého koryta vodního toku. Dno koryta vodního toku, v úseku, kde je trasa vodního toku souběžná s hranicí pozemku, se nachází zhruba 2 m pod úrovní okolního terénu.

Na takto zamokřeném zemědělském pozemku je obtížné nebo zcela nemožné normálně hospodařit. Půda není dostatečně provzdušněna, tudíž v ní neprobíhají potřebné procesy zajišťující optimální růst rostlin. Zemědělské plodiny buď vůbec nevzejdou, nebo vzejdou a později v důsledku nepříznivých podmínek hynou. To způsobuje hospodařícímu subjektu finanční ztráty. Zamokřená půda je navíc náchylná ke zhutňování, což se projevuje při obhospodařování pomocí moderních těžkých strojů, které při svém pojezdu půdu zcela degradují.

8. Zhodnocení stavu a způsob odvodnění zájmového území

Stav, ve kterém se po významnou část roku řešený pozemek nachází, je nevyhovující. Na pozemku je zapotřebí vytvořit odvodňovací systém, pomocí kterého bude možné upravit aktuální stav hladiny podzemní vody a zároveň odvádět infiltrovanou povrchovou vodu. Systém musí být navržen tak, aby umožňoval v určitém čase, snížit hladinu podzemní a infiltrované vody na požadovanou úroveň. ČSN 75 4200 uvádí jako jeden z možných způsobů řešení takto zamokřeného pozemku plošnou trubkovou drenáž (ČSN 75 4200, 1994).

9. Navrhovaná drenážní soustava

Na řešeném pozemku bude v souladu s ČSN 75 4200 navržena plošná trubková drenáž. Drenáž bude tvořena osmi sběrnými drény z flexibilního PVC o poloměru $r_0 = 0,05$ m a podélném sklonu 3 ‰ a jedním svodným drénem z tuhého PE o průměru DN 150 a sklonu 1,5 ‰ (průměr svodného drénu stanoven dle diagramu Agrosil 2500). Aby se zabránilo zanášení a deformacím drenáže a aby se snížil hydraulický odpor toku vody v oblasti potrubí, bude potrubí uloženo do štěrkového filtračního obsypu tvořeného štěrkem o průměru zrna 8 – 10 mm a mocnosti 0,2 m. Celý obsyp pak bude ještě obalen netkanou geotextilií o gramáži 200 – 250 g·m² (PipeLife, 2012).

Drenážní výúst' bude vyvedena do přilehlého vodního toku. Z důvodu ochrany vodního toku před znečištěním bude před výustí navržena akumulární jímka s přepadem do výusti. Jímka bude sloužit primárně k usazování jemných půdních částic a jiných nečistot, které by se jinak dostávali do vodního toku. Sekundárně pak může sloužit jako zdroj vody pro zavlažování, protože řešený pozemek není zamokřen celoročně a v letních měsících může na pozemku vznikat vláhový deficit. Akumulovaný objem vody v jímce sloužící pro případnou závlahu však nebude nikterak velký, protože se přepad do výusti bude nacházet přibližně ve výšce 1,7 m nade dnem jímky z důvodu zabránění vracení se vody zpět do drenážního systému. Objem vody v jímce při maximální výšce hladiny pod přepadem bude tedy přibližně 1,9 m³. Jímka bude mít nepropustné betonové dno, bude tvořena čtyřmi skružemi z vibrovaného betonu o vnitřním průměru DN 1200 a výšce 0,8 m. Víko jímky bude tvořeno betonovou deskou s kovovým poklopem. Celá jímka včetně drenážní výusti bude uložena v pískovém obsypu. Jímku bude nutné pravidelně kontrolovat a v případě potřeby odstranit usazený kal, aby se nesnižoval akumulární objem. Z tohoto důvodu budou na vnitřní stěně jímky umístěna kovová stupadla umožňující vstup do jímky za účelem její údržby (ČSN 75 4200, 1994; PipeLife, 2012).

Vzhledem k malé velikosti pozemku bude na svodném drénu před jeho vstupem do jímky umístěno jedno stavitko, které umožní v případě potřeby přerušit odvodňovací proces. Připevňovací rám stavitka bude pevně přidělán k podzemním betonovým blokům.

Díky použitému řešení drenážní soustavy, délce svodného drénu a místním přírodním podmínkám existuje pouze nízké riziko zanášení drenáže, a proto na svodném drénu nebude navržena žádná šachtice.

9.1 Podklady pro návrh drenážní soustavy

S výjimkou dvou údajů jsou veškeré podklady potřebné k návrhu parametrů drenážní soustavy uvedeny v kapitole 6. a jejích podkapitolách. Zbývá pouze stanovit hydraulické vodivosti vrstev v půdním horizontu a množství průsakové vody při zvýšené hladině v přilehlém vodním toku. Způsob stanovení těchto dvou parametrů je popsán následujících podkapitolách 9.1.1 a 9.1.2.

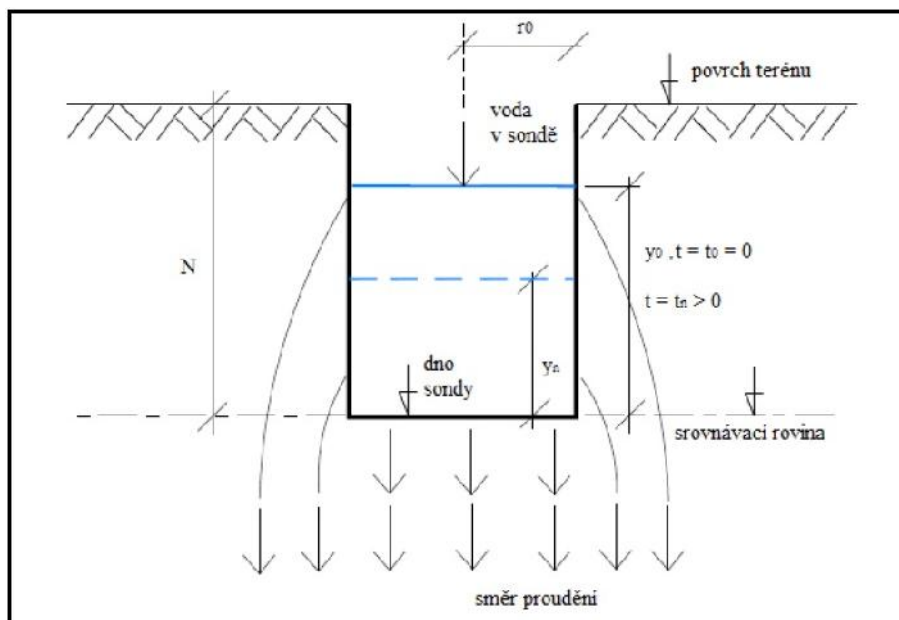
9.1.1 Stanovení hydraulické vodivosti terénním vsakovacím měřením

Hydraulická vodivost $K [L \cdot T^{-1}]$ byla stanovena pomocí terénního vsakovacího měření, tzv. metodou plněné sondy (MPS). Tuto metodu lze využít při stanovování hydraulické vodivosti $K [L \cdot T^{-1}]$ v nenasyceném homogenním izotropním porézním půdním prostředí. Při využití metody se předpokládá, že se úroveň nepropustného podloží nachází v relativně velkých hloubkách, a tedy, že její umístění neovlivní samotné měření. Tato metoda s využitím aproximace jednotkového gradientu hydraulické výšky je v odborné francouzské literatuře též známá jako Porchetova metoda (Ritzema, 2006; Kovář a kol., 2011).

Rovnice, které popisují proudění podzemní vody v nasyceném půdním prostředí, jsou odvozeny ze zákonitostí mechaniky podzemní vody v porézním prostředí s použitím axiomu kontinua a Darcyho zákona (Darcy, 1856; Todd a Mays, 2005), který zároveň s rovnicí kontinuity představuje základní výchozí vztahy pro další postupy.

Princip určování hydraulické vodivosti $K [L \cdot T^{-1}]$ pomocí metody plněné sondy spočívá v měření klesající hladiny vody v sondě v čase $t [T]$. Je zapotřebí vyhloubit válcovitou sondu (díru ve svrchní vrstvě půdního profilu) o poloměru $r [L]$ a hloubce $N [L]$, měřené od povrchu terénu ke dnu sondy. Sonda se celá (nebo jen částí) naplní vodou a od času $t_0 [T]$ se začne zaznamenávat pokles hladiny vody v sondě v čase $t [T]$.

Vodorovná srovnávací rovina je totožná se dnem sondy, osa y [L] je kladná směrem vzhůru. Po naplnění sondy vodou ($t = 0$, $y = y_0$) se měří průběžný čas a zaznamenává se odpovídající snižování úrovně hladiny vody y_n [L] v sondě v čase t_n [T], který je větší než 0 (viz obrázek č. 13) Proudění je nestacionární, ve svislém směru shora dolů, tedy proti kladnému směru osy y [L] (Kovář a kol., 2011).



Obr. č. 13: Schéma metody plnění sondy pro výpočet nasycené hydraulické vodivosti K [L·T⁻¹] (Kovář a kol., 2011)

Při matematicko-fyzikálním popisu tohoto jevu vycházíme z předpokladu, že změna průtoku Q_z [L³·T⁻¹] je rovna změně objemu V [L³] vody v sondě o poloměru r [L] v čase t [T]. Poté je možné s využitím Darcyho zákona, rovnice kontinuity a s uplatněním výše zmiňované aproximace jednotkového gradientu hydraulické výšky formulovat výchozí diferenciální rovnici, která se po několika úpravách změní na následující vztah:

$$K = \left(\frac{0,5 \cdot r}{t_n} \right) \ln \left(\frac{y_0 + 0,5 \cdot r}{y_n + 0,5 \cdot r} \right) \quad (7)$$

kde

r – poloměr sondy [L]

t_n – doba za, kterou klesne hladina vody v sondě z úrovně y_0 na úroveň y_n [T]

y_0 – úroveň hladiny vody v sondě v čase t_0 [L]

y_n – úroveň hladiny vody v sondě v čase t_n [L]

Pomocí tohoto vztahu lze z naměřených hodnot z terénu snadno vypočítat požadovanou hydraulickou vodivost $K [L \cdot T^{-1}]$ (Kovář a kol., 2011).

Na řešeném pozemku byla provedena dvě terénní měření, jejichž umístění je patrné z obrázku č. 14. Měření proběhla 21. března 2017, kdy se pozemek nacházel v nezamokřeném stavu, resp. hladina podzemní vody se nacházela několik desítek centimetrů pod úrovní terénu.

Sonda č. 1 měla následující parametry – poloměr $r = 0,10$ m, hloubka $N = 0,16$ m a byly u ní naměřeny tyto hodnoty – úroveň hladiny y_0 v čase $t_0 = 0,11$ m, úroveň hladiny y_n v čase $t_n = 0,085$ m, čas $t_n = 280$ s. Po dosazení do rovnice (7) dostaneme výslednou hodnotu $K_1 = 3,032 \cdot 10^{-5} m \cdot s^{-1} \Rightarrow 2,62 m \cdot den^{-1}$.

Sonda č. 2 měla následující parametry – poloměr $r = 0,13$ m, hloubka $N = 0,17$ m a byly u ní naměřeny tyto hodnoty – úroveň hladiny y_0 v čase $t_0 = 0,12$ m, úroveň hladiny y_n v čase $t_n = 0,075$ m, čas $t_n = 540$ s. Po dosazení do rovnice (7) dostaneme výslednou hodnotu $K_2 = 3,352 \cdot 10^{-5} m \cdot s^{-1} \Rightarrow 2,89 m \cdot den^{-1}$.

Pokud vypočítáme z hodnot K_1 a K_2 aritmetický průměr, dostaneme výslednou hodnotu hydraulické vodivosti svrchní vrstvy půdy $K = 2,76 m \cdot den^{-1}$. Lze předpokládat, že směrem k nepropustné vrstvě podloží se bude hydraulická vodivost $K [L \cdot T^{-1}]$ snižovat. S ohledem na půdní druh, který se na řešeném pozemku vyskytuje, budeme uvažovat hydraulickou vodivost $K [L \cdot T^{-1}]$ spodní vrstvy půdního profilu výrazně (až o jeden řád) menší než vodivost svrchní vrstvy (Jakub Štibinger, 2017, in verb.).



Obr. č. 14: Letecký snímek části obce Otovice s červeně ohraničenou zájmovou lokalitou a žlutě vyznačenými místy měření hydraulické vodivosti $K [L \cdot T^{-1}]$ metodou plněné sondy (Mapy.cz, 2017a)

9.1.2 Stanovení množství průsakové vody při zvýšené hladině v přilehlém vodním toku pomocí zjednodušeného výpočtu

Pro účely stanovení množství vody, která prosakuje z přilehlého vodního toku na pozemek, budeme uvažovat krajní situaci, kdy je koryto vodního toku naplněno až po svůj okraj (úroveň hladiny vody v korytě se přibližuje úrovni okolního terénu). Tato situace může nastat například po intenzivních dešťových srážkách, které se vyskytovaly na větší ploše povodí nebo při jarním tání. Pro výpočet množství prosakující vody $Q_p [L^3 \cdot T^{-1}]$ použijeme zjednodušený matematicko-fyzikální vztah vycházející z Darcyho zákona a rovnice kontinuity, který vypadá následovně:

$$Q_p = \left(\frac{K}{2 \cdot M} \right) \cdot (D^2 - h_d^2) \cdot l \quad (8)$$

kde

K – vážený průměr hydraulické vodivosti svrchní a spodní půdní vrstvy [$L \cdot T^{-1}$]

M – průměrná vzdálenost vodního toku od odvodňovaného pozemku [L]

D – hloubka nepropustné vrstvy podloží [L]

h_d – průměrná hloubka uložení drénů [L]

I – délka úseku, na kterém vodní tok sousedí s odvodňovaným pozemkem [L]

Vstupní data:

Vážený průměr hydraulické vodivosti svrchní (**K** = 2,76 m·den⁻¹) a spodní (**K** = 0,3 m·den⁻¹) půdní vrstvy. **K = 1,78 m·den⁻¹**.

Průměrná vzdálenost vodního toku od odvodňovaného pozemku. **M = 3 m**.

Hloubka nepropustné vrstvy podloží. **D = 2,5 m**.

Průměrná hloubka uložení drénů. **h_d = 1,5 m**.

Délka úseku, na kterém vodní tok sousedí s odvodňovaným pozemkem.

L = 75 m.

Po dosazení vstupních dat do vzorce (8) dostaneme výslednou hodnotu **$Q_p = 88,8 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$** . Hodnotu **$Q_p$** [$L^3 \cdot T^{-1}$] podělíme výměrou odvodňovaného pozemku (**S** = 1830 m²) a získáme přítok **q** [L] na pozemek vyjádřený v jednotkách vodního sloupce. **$q = 4,85 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{den}^{-1} \Rightarrow 48,5 \text{ mm} \cdot \text{den}^{-1}$**

(Jakub Štibinger, III. 2017, in litt.).

9.2 Výpočty parametrů drenážní soustavy

Pro výpočet parametrů drenážní soustavy bude využit autorizovaný software (kalkulátor), který vznikl v rámci aktivit oddělení vodních režimů půd Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. a který je po registraci uživatele a vyjádření souhlasu s licenčními podmínkami volně k dispozici na internetové adrese <http://www.hydromeliorace.cz/registrace/login.php>. Velmi podrobný manuál pro použití tohoto kalkulátoru s doprovodnými obrázky a řešenými vzorovými příklady je dostupný v publikaci Štibinger J., Kulhavý Z., 2004: Úpravy vodního režimu půd odvodněním. ČZU v Praze, VÚMOP, v. v. i., Praha.

Výpočet parametrů drenážní soustavy bude proveden pro podmínky ustáleného drenážního proudění při využití Hooghoudtovy rovnice. Následně bude při využití Glover-Dummovy rovnice ověřeno, jak velké množství vody (např. z dešťové srážky nebo tání sněhu) je navržený drenážní systém schopen odvést za podmínek neustáleného drenážního proudění během jednoho dne při zachování požadované úrovně hladiny podzemní vody na konci odvodňovacího procesu.

9.2.1 Výpočet pro ustálené proudění

Pro výpočet rozchodu sběrných drénů L [L] při využití Hooghoudtovy rovnice předpokládáme splnění následujících podmínek:

- vstupní hodnoty mají z časového hlediska sezónní charakter
- půdní prostředí je přibližně homogenní a izotropní
- přítok vody do systému se rovná odtoku vody ze systému
- drény se nacházejí přibližně na rozhraní dvou vrstev s rozdílnou hydraulickou vodivostí K [$L \cdot T^{-1}$]
- pod celou plochou řešeného pozemku se nachází přibližně vodorovná nepropustná vrstva podloží

Vstupní data:

Hydraulická vodivost svrchní vrstvy půdního profilu získaná pomocí terénního vsakovacího měření metodou plněné sondy. $K_{sv} = 2,76 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$.

Hydraulická vodivost spodní vrstvy půdního profilu odhadnutá s ohledem na místní podmínky. $K_{sp} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$.

Hloubka přibližně vodorovné nepropustné vrstvy podloží pod úrovní terénu se dle vyjádření dotazovaných místních obyvatel nachází v hloubce přibližně 3 – 3,5 m. Z důvodu technického zabezpečení stavby budeme pro účely této práce uvažovat nepropustnou vrstvu v hloubce 2,5 m pod úrovní terénu. $NEP = 2,5 \text{ m}$.

Hloubka uložení drénů. $h_d = 1,5 \text{ m}$.

Vnitřní poloměr trubkového drénu. ČSN 75 4200 uvádí jako vhodný poloměr sběrného drénu z flexibilního plastu pro role a louky 0,025 m. Z důvodu ochrany drénů před zanášením bude zvolen $r_0 = 0,05 \text{ m}$.

Maximální přípustná úroveň hladiny podzemní vody pod terénem. V závislosti na půdním druhu a pěstované plodině, uvádí ČSN 75 4200 jako optimální úroveň hladiny podzemní vody pro brambory 0,75 – 0,85 m pod úrovní terénu. Pro účely této práce bude zvolena $h_{MAX} = 0,75 \text{ m}$.

Přítok vody vypočtený pomocí zjednodušeného matematicko-fyzikálního vztahu s výslednou hodnotou $48,5 \text{ mm} \cdot \text{den}^{-1}$. Pro úplnost je zapotřebí k této hodnotě přičíst průměrný denní srážkový úhrn z jarních a zimních měsíců, tedy hodnotu $1,3 \text{ mm} \cdot \text{den}^{-1}$. Po sečtení $q = 49,8 \text{ mm} \cdot \text{den}^{-1}$.

Odvozená a výstupní data:

D – mocnost půdního prostředí, které je vymezeno úrovní uložení drénů a nepropustným podložím [L]

d – ekvivalentní mocnost půdního prostředí [L] odvozená z mocnosti **D** [L]

h – výška ustálené hladiny podzemní vody mezi trubkovými drény v [L] měřená od úrovně uložení drénů

L – maximální rozchod sběrných drénů [L]

Drenážní kalkulátor - Hooghoudtova rovnice		
Vstupní data:		
Půda a podloží	K_{sv}	2,76 m·den ⁻¹
	K_{sp}	0,30 m·den ⁻¹
	NEP	2,50 m
Drenážní systém	h_d	1,50 m
	r_0	0,05 m
Zemědělské kritérium	h_{MAX}	0,75 m
Přítok vody	q	49,80 mm·den ⁻¹
Odvozená data (kontrola zadání):		
Půda a podloží	D	1,00 m
	d	0,79 m
Voda	h	0,75 m
Výstupní data:		
Drenážní systém	L	12,29 m

Tab. č. 2: Vstupní, odvozená a výstupní data pro návrh drenážního systému v podmínkách ustáleného drenážního proudění (VÚMOP, 2017)

U návrhu rozchodu sběrných drénů se v praxi běžně berou v úvahu ještě tzv. redukční faktory. Stanovení drenážního odtoku se provádí v souladu s normou, avšak stanovené (vypočtené) hodnoty se často výrazně liší od reálných z důvodu dotvarování odvodňovacího jádra nebo chemického a biologického zanášení. Různí autoři uvádějí rozdílné hodnoty redukčních faktorů. Skutečný rozchod sběrných drénů L_s [L] je pak udáván poměrem vypočítaného rozchodu L [L] a součinu redukčních faktorů, tedy:

$$L_s = \frac{L}{RF_1 \cdot RF_2 \cdot RF_3 \dots RF_n} \quad (9)$$

kde

RF_1 ; RF_2 ; RF_3 ; RF_n – jednotlivé redukční faktory [-]

Pokud nejsou známy přesné hodnoty jednotlivých redukčních faktorů pro řešený pozemek a drenážní soustavu, nemá smysl rozchod sběrných drénů na základě výše zmíněného vztahu (9) přepočítávat.

Obecně však lze uvažovat celkový bezpečnostní faktor odvodňovacího systému **FS** [-], jehož hodnota je většinou 2. To znamená, že systém musí být funkční i při dvojnásobném množství vody přitékající na řešený pozemek. Použijeme-li tedy v našem případě **FS** = 2 [-], původní přítok vody na pozemek **q** = 49,8 mm·den⁻¹ se uměle zvýší na **q** = 99,6 mm·den⁻¹ a v závislosti na tom se sníží rozchod sběrných drénů na **L** = 8,61 m. Pro účely této práce budeme z důvodu technického provedení dále uvažovat rozchod sběrných drénů **L** = **8,5 m** (Jakub Štibinger, III. 2017, in litt.).

9.2.2 Výpočet pro neustálené proudění

Množství vody, které je navrhovaný drenážní systém schopen odvést během jednoho dne v podmínkách neustáleného drenážního proudění při zachování požadované úrovně hladiny podzemní vody na konci odvodňovacího procesu vypočítáme pomocí Glover-Dummovy rovnice. Předpokládáme splnění následujících podmínek:

- vstupní hodnoty mají z časového hlediska krátkodobý (např. denní nebo hodinový) charakter
- celý proces probíhá v jednovrstevném půdním prostředí, které je přibližně homogenní a izotropní
- přítok vody do systému není roven odtoku vody ze systému
- pod celou plochou řešeného pozemku se nachází přibližně vodorovná nepropustná vrstva podloží

Vstupní a odvozená data:

Hodnota efektivní drenážní pórovitosti byla vzhledem k půdnímu druhu stanovena na **P_d = 0,1** (Tourková, 2004).

Doba, za kterou má dojít ke snížení hladiny podzemní vody na požadovanou úroveň je jeden den. **t_p = 1 den.**

h_0 – úroveň hladiny podzemní vody v čase t_0 [L]

h_t – úroveň hladiny podzemní vody v čase těsně po intenzivní závlahové dávce [L]

Ostatní vstupní a odvozená data jsou již známa z předchozího výpočtu rozchodu sběrných drénů L [L] a jsou obsažena v tabulce č. 2.

Výstupní data:

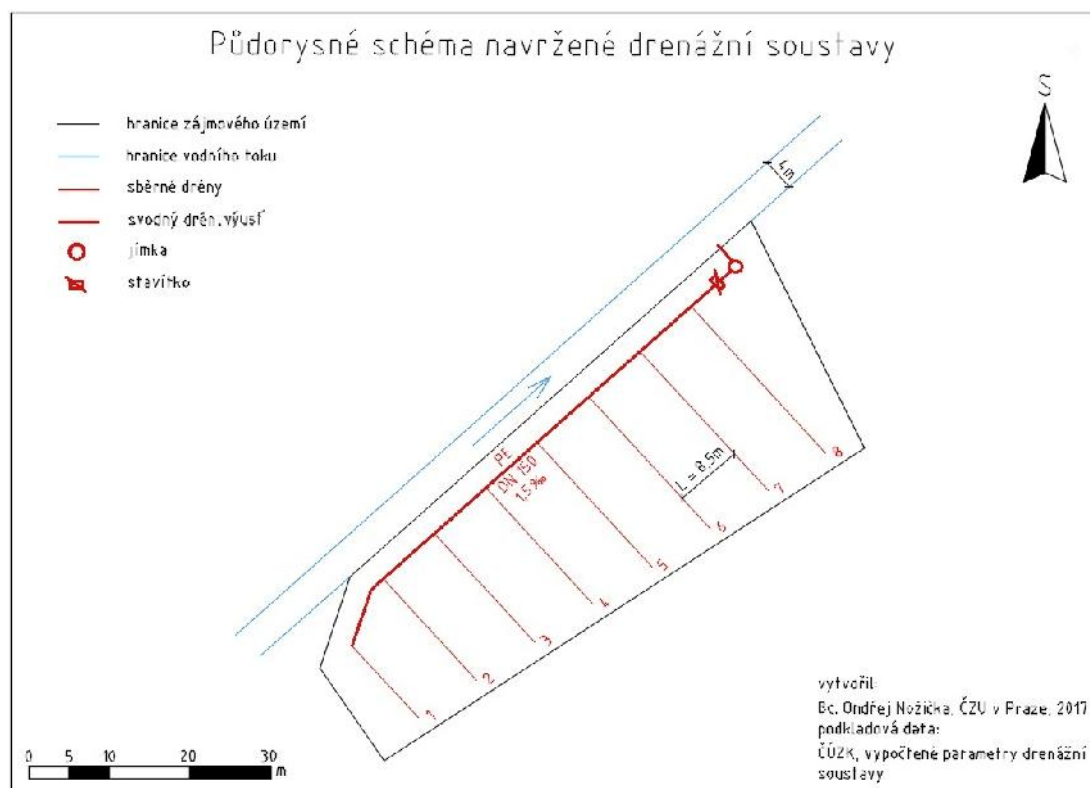
q_z – intenzivní závlahová dávka [mm]

Drenážní kalkulátor - Glover-Dummová rovnice		
Vstupní data:		
Půda a podloží	K	2,76 m·den ⁻¹
	P_d	0,10
	D	1,00 m
Drenážní systém	h_d	1,50 m
	r_0	0,05 m
	L	8,50 m
Doplňování	t_p	1,00 den
	h_{MAX}	0,75 m
Odvozená data (kontrola zadání):		
Půda a podloží	d	0,58 m
Doplňování	h_0	0,75 m
	h_t	0,23 m
Výstupní data:		
Doplňování	q_z	52,20 mm

Tab. č. 3: Vstupní, odvozená a výstupní data pro výpočet schopnosti navrhovaného drenážního systému snížit během jednoho dne úroveň hladiny podzemní vody po intenzivní dotaci na úroveň požadovanou v podmínkách neustáleného drenážního proudění (VÚMOP, 2017)

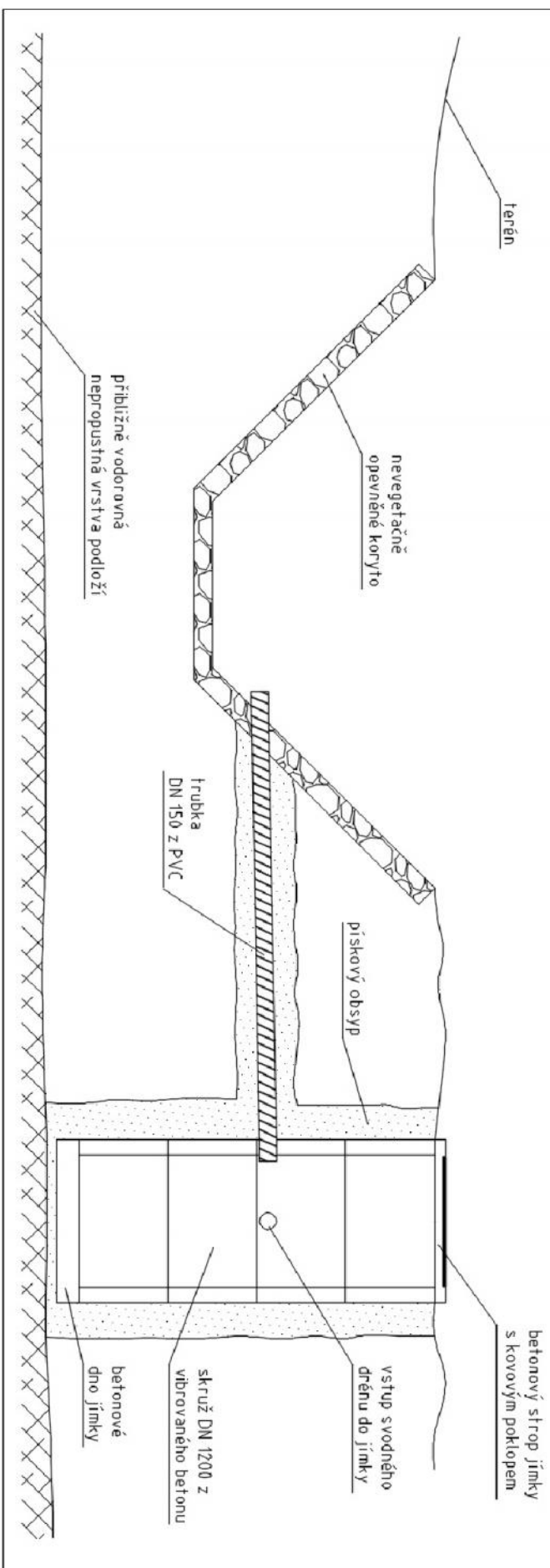
Z výpočtu vyplývá, že navrhovaný drenážní systém je schopen během jednoho dne vrátit úroveň hladiny podzemní vody na úroveň požadovanou, a to až při maximální intenzivní závlahové dávce $q_z = 52,2$ mm.

9.3 Výkresy drenážní soustavy

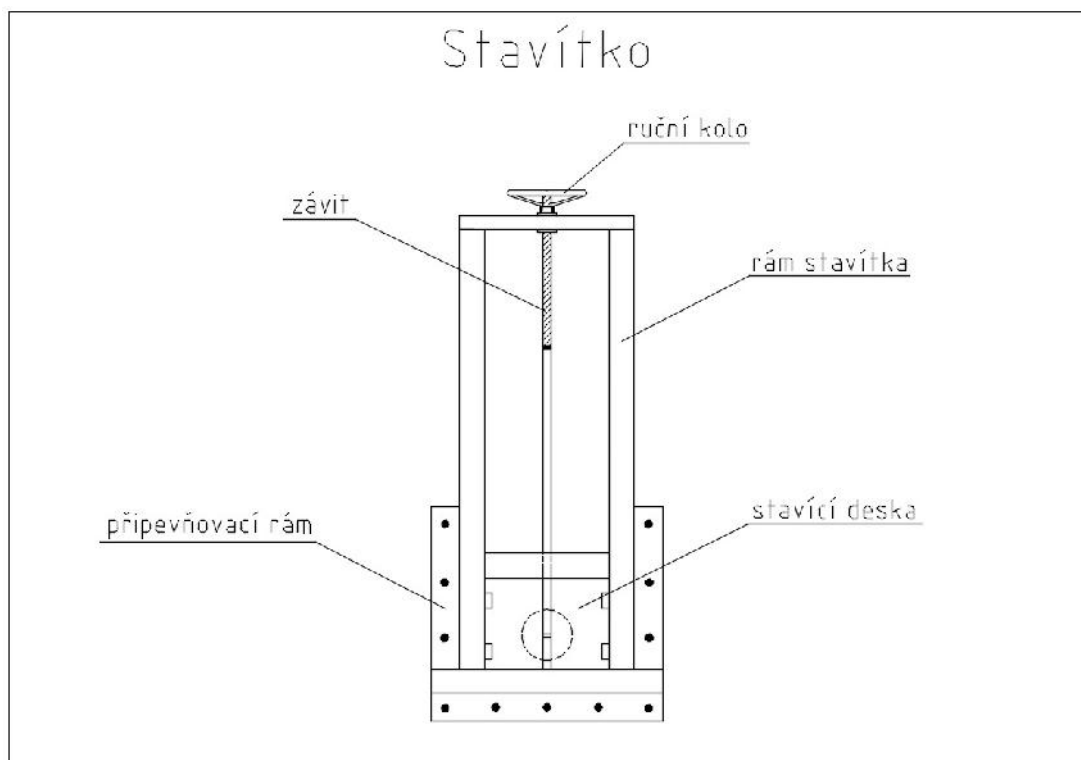


Obr. č. 15: Půdorysné schéma navržené drenážní soustavy (autor práce, 2017)

Jímka s výústí do koryta vodního toku



Obr. č. 16: Řez půdním profilem se zobrazenou jímkou a výústí do přilehlého vodního toku (autor práce, 2017)



Obr. č. 17: Stavítko umístěné před vstupem svodného drénu do jímky (autor práce, 2017)

DISKUSE

Navržené řešení drenážní soustavy je pouze jednou z variant, které by bylo možno na řešeném pozemku uplatnit. Navržená varianta se mi však jeví vzhledem k přírodním podmínkám v oblasti jako ekonomicky i technicky nejsnáze proveditelná.

Samotná kalkulace nákladů potřebných na případnou realizaci stavby není předmětem této práce. Domnívám se ale, že výše nákladů by byla akceptovatelná a dokonce ve finančních možnostech vlastníka pozemku, obzvláště pokud přihlédneme k tomu, jaká pozitiva by mu stavba v budoucnu přinesla, včetně zhodnocení samotného pozemku. Pokud by si vlastník pozemku nemohl dovolit zbudování stavby financovat z vlastních peněz, existují i další způsoby financování, jako například úvěry, či různé dotační programy.

Za úvahu také stojí, zdali při případné realizaci stavby ponechat na svém místě vzrostlý strom třeshně obecné. Jelikož by se jeden ze sběrných drénů nacházel v blízkosti stromu, je pravděpodobné, že by při ukládání drénu došlo k poškození kořenového systému stromu, což by mohlo mít na strom letální vliv. V případě, že by se pokládka drénu v daném místě provedla a strom by tento zásah přežil, hrozilo by v budoucnu narušení drenážního potrubí z důvodu prorůstajících kořenů. Tento problém má dvě řešení. Levnějším, ale horším řešením je strom, včetně jeho kořenové části, odstranit. Dražší řešení je dnes k dispozici díky moderní těžké technice. Speciální kolový stroj může celý strom včetně kořenové části i s půdou vyzvednout ze země a převézt na jiné místo, kde ho opět usadí do předem vyhloubené jámy požadovaných rozměrů.

Existuje řada metod, jak v terénu změřit hydraulickou vodivost půdní vrstvy. Mezi nejznámější metody patří jednosondová Hooghoudtova metoda, metoda plněné sondy nebo dvouválcová infiltrační metoda. Pro účely své práce jsem použil metodu plněné sondy, protože se mi jevila jako jednoduchá, rychlá a k měření pomocí této metody není zapotřebí používat zvláštní vybavení. Na řešeném pozemku byla, vzhledem k půdnímu druhu, zjištěna poměrně vysoká hodnota hydraulické vodivosti. Velmi mě překvapil také fakt, že při kontrolním měření na dříve zkyplené půdě, byly naměřeny hodnoty hydraulické vodivosti až dvojnásobně

vyšší než na půdě nezkyplené. Tento velký rozdíl v hodnotách hydraulické vodivosti je ovšem logický.

Na drenážní soustavě je navržena usazovací jímka, která má primárně sloužit k předčištění drenážní vody před jejím vypuštěním do recipientu. Sekundárně má pak sloužit jako zásobárna vody pro dlouhá období sucha. Vzhledem ke svému objemu a velikosti pozemku je však její význam, coby zavlažovacího zařízení, spíše symbolický, protože pojme maximálně 1,9 m³ vody. Navíc pokud nebude jímka řádně udržována a budou se v ní hromadit usazeniny, akumulační prostor se ještě zmenší. V případě potřeby většího množství vody v letních měsících se nabízejí tři řešení. Prvním řešením je zvětšení průměru jímky, následkem čehož dojde i ke zvětšení akumulačního prostoru, který bude bez problémů naplněn v období, kdy se řešený pozemek nachází v zamokřeném stavu. Druhým řešením je vytvoření nezávislé zavlažovací soustavy, která bude napojena na stálý zdroj vody. Posledním řešením je úprava navržené (stávající) drenážní soustavy tak, aby mohla být využívána i k zavlažování – jako zdroj vody by byl v tomto případě využit přilehlý vodní tok.

Je nutné podotknout, že pro návrh drenážní soustavy byly využity pouze veřejně dostupné informace, převážně od státních organizací, nebo vlastní měření, protože odborné posudky či měření vztahující se k řešenému pozemku neexistují. Z tohoto důvodu lze předpokládat, že návrh provedený např. odbornou firmou, která by měla k dispozici přesná data, by se pravděpodobně v některých parametrech drenáže odlišoval.

V souvislosti s populací raka křemenáče (kapitola 6.2.1), která se vyskytuje na střední části Zákolanského potoka, je třeba říci že, by neměla být vypouštěním drenážních vod nikterak ohrožena, protože se řešený pozemek nachází po proudu potoka pod lokalitou, kde se raci vyskytují. Navíc součástí drenážní soustavy je usazovací jímka, která by měla z větší části zamezit průniku nečistot do vodního toku.

ZÁVĚR

S využitím svých znalostí, literatury a odborných konzultací se mi podařilo naplnit oba hlavní cíle práce. V první části práce jsem vytvořil literární rešerši, která ve zkratce mapuje historii a současné trendy v odvodňování, především zemědělských pozemků, ve světě a v České republice. Dále jsem zjistil, jaké jsou nejčastější příčiny a znaky zamokřených půd a jak lze tento problém řešit pomocí různých druhů odvodňovacích staveb. Ve druhé části práce jsem na vybraném zemědělském pozemku o výměře 1830 m², který bývá sezónně zamokřen především prosakující vodou z přilehlého vodního toku, navrhl odvodňovací drenážní soustavu s následujícími objekty a parametry:

- 8x sběrný drén z flexibilního PVC, DN 100, sklon 3 ‰, rozchod drénů $L = 8,5$ m, celková délka použitého potrubí 158,3 m
- 1x svodný drén z tuhého PE, DN 150, sklon 1,5 ‰, celková délka použitého potrubí 67 m
- 1x stavítko na svodném drénu, které umožňuje přerušení odvodňovacího procesu v době, kdy se pozemek nenachází v zamokřeném stavu
- 1x jímka s přepadem, která primárně slouží k usazování jemných půdních částic a jiných nečistot, DN 1200, hloubka 3,2 m
- hloubka uložení sběrných drénů $h_d = 1,5$ m
- úroveň hladiny podzemní vody $h_{max} = 0,75$ m pod úrovní terénu (vhodná pro pěstování brambor)

Tato drenážní soustava by v případě jejího zbudování měla zabezpečit bezproblémové intenzivní zemědělské využívání řešeného pozemku i v obdobích, kdy bývá pozemek zaplavován průsakovou vodou z přilehlého vodního toku nebo v obdobích, kdy může v oblasti docházet k silným přívalovým deštům. Návrh soustavy byl proveden v souladu s ČSN 75 4200.

V souvislosti s případnou realizací stavby vyvstalo několik doplňujících otázek, jejichž zodpovězení, resp. dořešení je už spíše na investorovi či staviteli. Tyto otázky se týkají provozu a údržby drenážní soustavy a jsou zmíněny v diskusi k této práci.

Krátce bych se zmínil také o kalkulátoru, který byl využit pro výpočty parametrů drenážní soustavy. Chtěl bych vyzdvihnout z mého pohledu velmi dobře odvedenou práci lidí, kteří se na tvorbě kalkulátoru podíleli. Jeví se mi jako velmi

užitečný nástroj, který usnadňuje práci a může ho využít prakticky každý. Práce s ním je jednoduchá a intuitivní. Troufnu si říct, že každý, kdo prošel nějakým základním kurzem týkajícím se odvodňování, dokáže s tímto nástrojem bez větších problémů pracovat a nemusí k tomu využívat ani dostupný manuál.

Na závěr bych rád dodal, že současné generace jsou svědky velmi rychle se proměňujícího klimatu a životních podmínek na celé planetě. Tato změna přináší nové výzvy prakticky ve všech oblastech lidské činnosti, obzvláště pak v oblastech zabývajících se zachováním ekosystémů a trvale udržitelným rozvojem. Domnívám se, že potřeba intenzivního, ale trvale udržitelného hospodaření se bude nadále navyšovat a z tohoto důvodu bude zapotřebí využít všech technologických možností k udržení životních podmínek, na které jsme zvyklí. Při tomto směřování lidské společnosti mají v budoucím světě vyspělá vodohospodářská zařízení, mezi která řadíme i odvodňovací stavby, své nezastupitelné místo.

PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ

Literatura

AYARS J. E., CHRISTEN E. W., HORNBUCKLE J. W., 2006: *Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture*. Agricultural water management 86: 128 – 139.

BENETIN J., DVOŘÁK J., FÍDLER J., KABINA P., 1987: *Odvodňovanie*. Příroda, Bratislava.

BRABEC E., SMITH CH., 2002: *Agricultural land fragmentation: the spatial effects of three land protection strategies in the eastern United States*. Landscape and Urban Planning 58: 255 – 268.

BRADY N. C., WEIL R. R., 2002: *The nature and properties of soil*. Upper Saddle River, New Jersey.

DARCY H., 1856: *Les fontaines publique da la ville de Dijon*. Dalmont, Paris.

DIELEMAN P. J., TRAFFORD B. D., 1976: *Drainage testing*. Irrigation and Drainage 28, FAO, Rome.

DOLEŽAL F., SOUKUP M., JUST T., 2005: *Porovnání se situací v zahraničí*. In: KULHAVÝ Z., DOLEŽAL F., SOUKUP M. (eds.): *Zemědělské odvodnění v kulturní krajině*. VÚMOP, v. v. i., Praha.

DUFKOVÁ J., 2003: *Porovnání klimatologických indexů charakterizujících vlhkostní ráz krajiny*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.

DUMBROVSKÝ M., MILERSKI R., 2005: *Vodní hospodářství krajiny II*. Vysoké učení technické v Brně, Brno.

DUPUIT J., 1863: *Ethudes theoretiques et pratiques sur le mouvement des eaux dam les canaux découverts et a travers les terrains permeables*. Dunod, Paris.

DVOŘÁK P., 1981: *Podklady pro navrhování odvodňovacích staveb*. ČVUT v Praze, Praha.

FIALA J., KAURA J., SÁDLO J., 1980: *Stavby vodní a meliorační*. SNTL, Praha.

FUČÍK P. a kol., 2010: *Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků*. VÚMOP, v. v. i., Praha.

FŽP, 2016: *Metodické pokyny pro zpracování diplomové práce na FŽP*. ČZU v Praze, Praha.

GREMLICA T. a kol., 2004: *Analytická studie stavu krajiny Kladenska v částech narušených těžbou černého uhlí*. Ústav pro ekopolitiku, o. p. s., Praha.

- HOLÝ M., DVOŘÁK P., HÁLEK V., ŠOLTÉZ J., 1989: *Odvodňovací stavby*. SNTL, Praha.
- HORNÍK S. a kol., 1982: *Základy fyzické geografie*. SPN, Praha.
- JANEČEK M. a kol., 2007: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. VÚMOP, v. v. i., Praha.
- JANEČEK M. a kol., 2007: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. VÚMOP, v. v. i., Praha.
- JANEČEK M. a kol., 2008: *Základy erodologie*. ČZU v Praze, Praha.
- JŮVA K., CABLÍK J., 1954: *Protierosní ochrana půdy*. SZN, Praha.
- JŮVA K., 1955: *Základy meliorací*. SZN, Praha.
- JŮVA K., 1957: *Odvodňování půdy*. SZN, Praha.
- JŮVA K., 1964: *Vodohospodářské meliorace: Odvodnění - závlaha*. SNTL, Praha.
- KOVÁŘ P. a kol., 2011: *Metodika návrhu a realizace infiltračních a záchytných opatření v rámci obnovy hydrologických poměrů a způsobů hospodaření v krajině*. ČZU v Praze, Praha.
- KUKLÍK V., 1985: *Cvičení ze závlah*. Videopress MON, Praha.
- KULHAVÝ F., KULHAVÝ Z., 2008: *Navrhování hydromelioračních staveb*. ČKAIT, Praha.
- KULHAVÝ Z., SOUKUP M., ČMELÍK M., DOLEŽAL F., 2005: *K současné a budoucí funkci odvodňovacích, zejména drenážních systémů v zemědělské kulturní krajině*. In: KULHAVÝ Z., DOLEŽAL F., SOUKUP M. (eds.): *Zemědělské odvodnění v kulturní krajině*. VÚMOP, v. v. i., Praha.
- KUTÍLEK M., NIELSEN D. R., 1994: *Soil hydrology*. Geo-ecology textbook, Catena Verlag, Germany.
- KVÍTEK T., GERGEL J., ONDR P., ZÁMIŠOVÁ K., 2006: *Zemědělské meliorace*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- MEIßNER E., NADLER A., ROSENZWEIG G., 2006: *Přírodě blízké odvodnění dopravních ploch v sídlech*. Ústav pro ekopolitiku, o. p. s., Praha.
- MLS J., 1984: *Hydraulika podzemní vody*. ČVUT V Praze, Praha.
- MZe, 2012: *Situační a výhledová zpráva: Půda*. MZe, Praha.
- NEUHÄUSLOVÁ Z. a kol., 1998: *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky: Textová část*. Academia, Praha.

- NĚMEČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M., 1990: *Pedologie a paleopedologie*. Academia, Praha.
- NIJLAND H. J., 2000: *Drainage along the River Nile*. Ministry of Water Resources and Irrigation, Egypt.
- NIJLAND H. J., CROON F. W., RITZEMA H. P., 2005: *Subsurface drainage practices*. Alterra-ILRI Publication 60, Wageningen.
- NOVÁČEK P., 2010: *Udržitelný rozvoj*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- PipeLife, 2012: *Drenážní systém*. Pipelife Czech s.r.o., Kučovaniny.
- RITZEMA H. P., 2006: *Subsurface flows to drains*. In: RITZEMA H. P. (eds.): *Drainage Principles and Applications*. Alterra-ILRI Publication 16, Wageningen.
- RITZEMA H. P., SCHULTZ B., 2010: *Optimizing subsurface drainage practices in irrigated agriculture in the semi-arid and arid regions: experiences from Egypt, India and Pakistan*. *Irrigation and Drainage* 60: 360 – 369.
- RITZEMA H. P., STUYT L. C. P. M., 2015: *Land drainage strategies to cope with climate change in the Netherlands*. *Acta Agriculturae Scandinavica* 65: 80 – 92.
- SIEGEL S. M., 2017: *Budiž voda*. Aligier, Praha.
- SKALICKÝ V., 1988: *Regionálně fytogeografické členění*. In: Hejný S. a Slavík B. (eds): *Květena ČSR I.*, Academia, Praha.
- SOUKUP M., KULHAVÝ Z., 2000: *Způsoby regulace odtoku z odvodňovacích systémů*. VÚMOP, v. v. i., Praha.
- ŠARAPATKA P., 2013: *Ochrana půdy před erozí se zaměřením na roli obce*. Masarykova univerzita, Brno.
- ŠTIBINGER J., KULHAVÝ Z., 2010: *Úpravy vodního režimu půd odvodněním*. ČZU v Praze, VÚMOP, v. v. i., Praha.
- ŠTIBINGER J., 2015: *Odvodňování – představení předmětu*. ČZU v Praze, Praha.
- TODD D. K., MAYS L. W., 2005: *Groundwater Hydrology*. John Wiley and Sons, Inc, Phoenix.
- TOURKOVÁ J., 2004: *Hydrogeologie*. ČVUT v Praze, Praha.
- TREMLOVÁ K., SIMON O., 2016: *Zákolanský potok*. AOPK ČR, Praha.
- VÁŠKA J. a kol., 2000: *Hydromeliorace*. ČKAIT, Praha.
- YASUNARI T., 1980: *A quasi-stationary appearance of 30 to 40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India*. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Ser. II 58/3: 225 – 229.

Zákony, vyhlášky a normy

Zákon č. 92/1991 Sb., o podmínkách převodu majetku státu na jiné osoby, ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška č. 225/2002 Sb., o podrobném vymezení staveb k vodohospodářským melioracím pozemků a jejich částí a způsobu a rozsahu péče o ně, ve znění pozdějších předpisů.

ČSN 75 4200: *Hydromeliorace. Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním*. Český normalizační institut, Praha, 1994.

ČSN 75 4210: *Hydromeliorace. Odvodňovací kanály*. Federální úřad pro normalizaci a měření, Praha, 1993.

ČSN 75 7221: *Jakost vod. Klasifikace jakosti povrchových vod*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1998.

Internetové zdroje

AOPK ČR, 2017: *Klimatické poměry*. AOPK ČR, Praha, online: <http://ceskestredohori.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/klimaticke-pomery/>, cit. 17.2.2017.

ČUHÚ, 2017: *Územní srážky*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>, cit. 26.3.2017.

ČÚZK, 2017a: *Nahlížení do katastru nemovitostí*. ČÚZK, Praha, online: <http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=716987&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>, cit. 14.3.2017.

ČÚZK, 2017b: *Nahlížení do katastru nemovitostí*. ČÚZK, Praha, online: http://nahliznidokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=KYqiySfK0OcCIQAKi-hh3ddcIDZ2H322GGMc7sjHyqyFbnxG7B2qnex6rtz-hCf34Kr1R4NFOEearhBB17ZOTQo0KsJjictwKfHSmS8ekx7SF96laOP_M9A4e6Xp6K7, cit. 14.3.2017.

eKatalog BPEJ, 2015: *1.56.00 a 1.19.51*. VÚMOP, v. v. i., Praha, online: <http://bpej.vumop.cz/15600> a <http://bpej.vumop.cz/11951>, cit. 15.3.2017.

HONSOVÁ D., 2007: *Langův dešťový faktor*. Příroda.cz, Skalice, online: <http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=910>, cit. 16.2.2017.

JUST T., 2017: *Zákolanský potok*. AOPK ČR, Praha, online: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/nektere-vodni-toky-strednich-cech/zakolansky-potok/>, cit. 16.3.2017.

LEFEBVRE K., 2017: *Nizozemský polder: Zem ukradená moři*. Radynacestu.cz, Ostrava, online: <http://www.radynacestu.cz/magazin/nizozemsky-polder/>, cit. 14.2.2017.

Mapy.cz, 2017a: *Otvovice*. Mapy.cz, Seznam.cz a.s., Praha, online: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>, cit. 15.3.2017.

Mapy.cz, 2017b: *Otvovice*. Mapy.cz, Seznam.cz a.s., Praha, online: <https://mapy.cz/turisticka?x=14.2755830&y=50.2130301&z=17&l=0>, cit. 19.3.2017.

NAVRÁTIL T., 2017: *Komplexní průzkum zemědělských půd, bonitace*. KPOP, ČZU v Praze, Praha, online: <http://slideplayer.cz/slide/2842060/>, cit. 19.2.2017.

NOVÁK P., 2017: *Koroze kovů*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, online: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>, cit. 15.2.2017.

Otvovice, 2017: *Informace o obci*. Oficiální stránky obce Otovice, Otovice, online: <http://www.otovice.cz/otovice/informace-o-obci/>, cit. 14.3.2017.

Stavebniny-rychle, 2017: *Drenážní trubka DN 100 žlutá 50bm/bal*. Stavebniny-rychle.cz. Dobříš, online: <http://www.stavebniny-rychle.cz/drenazni-trubka-dn-100-zluta-50bm-bal.html>, cit. 8.3.2017.

ThinkLink, 2015: *This is a picture of a polder*. ThinkLink.com, online: <https://www.thinglink.com/scene/619259160260771842>, cit. 14.2.2017.

VALENTOVÁ J., 2017: *Odvodňovací stavby VK1 2*. ČVUT v Praze, Praha, online: http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/VK1/odvodn%C4%9Bn%C3%AD/prednasky/odvodnovaci_stavby_VK1_2_el.pdf, cit. 20.2.2017.

Vodo-plasttop, 2017: *Drenážní trubky a příslušenství*. Vodo-plasttop.cz, Mikulov, online: <http://www.vodo-plasttop.cz/52748-drenazni-trubky-a-prislusenstvi/>, cit. 8.3.2017.

VÚMOP, 2014: *O Komplexním průzkumu půd*. WAKPP, VÚMOP, v. v. i., Praha, online: <http://wakpp.vumop.cz/>, cit. 20.2.2017.

VÚMOP, 2017: *Drenážní kalkulátor*, VÚMOP, v. v. i., Praha, online: <http://www.hydromeliorace.cz/registrace/login.php>, cit. 30.3.2017.

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

- Obr. č. 1:** Plošné zastoupení staveb zemědělského odvodnění, str. 15
- Obr. č. 2:** Letecký pohled na odvodněné území v Nizozemsku, str. 18
- Obr. č. 3:** Výskyt glejových půd na území České republiky, str. 23
- Obr. č. 4:** Hlavní odvodňovací zařízení tvořené sítí odvodňovacích kanálů, str. 27
- Obr. č. 5:** Prostorové uspořádání příkopové odvodňovací sítě, str. 28
- Obr. č. 6:** Typy uspořádání drenážních sítí, str. 29
- Obr. č. 7:** Flexibilní drenážní potrubí z perforovaného PVC, str. 31
- Obr. č. 8:** Příčný řez podzemní systematickou trubkovou drenáží v podmínkách ustáleného nasyceného proudění, str. 33
- Obr. č. 9:** Schéma systematické trubkové drenáže v podmínkách ustáleného drenážního proudění, str. 35
- Obr. č. 10:** Umístění obce Otovice v Kladenském okrese, str. 39
- Obr. č. 11:** Letecký snímek části obce Otovice s červeně ohraničenou zájmovou lokalitou, str. 40
- Obr. č. 12:** Umístění zájmové lokality v údolí Zákolanského potoka zobrazené na turistické mapě s vrstevnicemi po 10 výškových metrech, str. 44
- Obr. č. 13:** Schéma metody plnění sondy (MPS) pro výpočet nasycené hydraulické vodivosti $K [M \cdot T^{-1}]$, str. 49
- Obr. č. 14:** Letecký snímek části obce Otovice s červeně ohraničenou zájmovou lokalitou a žlutě vyznačenými místy měření hydraulické vodivosti $K [M \cdot T^{-1}]$ metodou plnění sondy, str. 51
- Obr. č. 15:** Půdorysné schéma navržené drenážní soustavy, str. 58
- Obr. č. 16:** Řez půdním profilem se zobrazenou jímkou a výustí do přilehlého vodního toku, str. 59
- Obr. č. 17:** Stavítko umístěné před vstupem svodného drénu do jímky, str. 60
- Tab. č. 1:** Měsíční a roční srážkové úhrny na území Středočeského kraje a Prahy v letech 2000 – 2016, str. 41
- Tab. č. 2:** Vstupní, odvozená a výstupní data pro návrh drenážního systému v podmínkách ustáleného drenážního proudění, str. 55

Tab. č. 3: Vstupní, odvozená a výstupní data pro výpočet schopnosti navrhovaného drenážního systému snížit během jednoho dne úroveň hladiny podzemní vody po intenzivní dotaci na úroveň požadovanou v podmínkách neustáleného drenážního proudění, str. 57

Graf č. 1: Odvodněná plocha v poměru k ploše zemědělské půdy podle ICID, str. 17

Graf č. 2: Změna úrovně hladiny podzemní vody v čase za podmínek neustáleného drenážního proudění v průběhu závlah, str. 36

FOTODOKUMENTACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Seznam fotografií

Foto. č. 1: Část řešeného pozemku připravená k hnojení s viditelně vystupující hladinou podzemní vody na úroveň terénu, str. 72

Foto. č. 2: Pohled na zemědělsky využívanou část pozemku, str. 72

Foto. č. 3: Neudržované koryto přilehlého vodního toku, str. 73

Foto. č. 4: Stupeň na vodním toku nacházející se zhruba v polovině délky pozemku, str. 73

Foto. č. 5: Příprava na měření hydraulické vodivosti svrchní půdní vrstvy pomocí metody plněné sondy, str. 74

Foto. č. 6: Probíhající měření hydraulické vodivosti svrchní půdní vrstvy pomocí metody plněné sondy, str. 74

Foto. č. 7: Vzrostlý strom třešně obecné nacházející se v rohu pozemku, str. 75

Fotografie



Foto. č. 1: Část pozemku připravená k hnojení s viditelně vystupující hladinou podzemní vody na úroveň terénu (autor práce, 2017)



Foto. č. 2: Pohled na zemědělsky využívanou část pozemku (autor práce, 2017)



Foto. č. 3: Neudržované koryto přilehlého vodního toku (autor práce, 2017)



Foto. č. 4: Stupeň na vodním toku nacházející se zhruba v polovině délky pozemku (autor práce, 2017)



Foto. č. 5: Příprava na měření hydraulické vodivosti svrchní půdní vrstvy pomocí metody plněné sondy (autor práce, 2017)



Foto. č. 6: Probíhající měření hydraulické vodivosti svrchní půdní vrstvy pomocí metody plněné sondy (autor práce, 2017)



Foto. č. 7: Vzrostlý strom třešně obecné nacházející se v rohu pozemku (autor práce, 2017)