

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE FAKULTA
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY

NÁVRH ODVODNĚNÍ SOFTBALOVÉHO HŘIŠTĚ
V MĚSTĚ SEDLČANY
DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Diplomant: Bc. Martin Paukner

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Paukner

Voda v krajině

Název práce

Návrh odvodnění softbalového hřiště v městě Sedlčany

Název anglicky

Design of softball field drainage system in Sedlčany

Cíle práce

Cílem diplomové práce je částečné odvodnění softbalového hřiště ve městě Sedlčany, navržení a následné zhodnocení použité metody odvodnění pomocí drenážního systému.

Metodika

Bude provedena rešerše dané a související problematiky. Dále bude proveden doplňující hydro-pedologický průzkum pro stanovení případných chybějících hydrologických charakteristik, zároveň se stanovením příčin zamokření. Návrh drenážního systému bude vycházet z vhodně zvolených hydraulických metod se zaměřením na určení rozchodu drénů.

Do diskuse se promítnou další alternativy řešení, které se pak zohlední v závěrech DP.

Doporučený rozsah práce

40 – 60 stran (tabulky, grafy)

Klíčová slova

odvodnění, vodní režim, metoda plnění sondy, infiltrace

Doporučené zdroje informací

ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ, – KULHAVÝ, F. – KULHAVÝ, Z. *Navrhování hydromelioračních staveb*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2008. ISBN 978-80-87093-83-2.

HOLÝ, M. *Odvodňovací stavby : celost. vysokošk. učebnice pro stavební fakulty*. Praha: Alfa, 1984.

ŠTIBINGER, Jakub a Zbyněk KULHAVÝ. *Úpravy vodního režimu půd odvodněním: monografie : uživatelský výstup projektu 2B06022*. Vyd. 1. V Praze: ČZU, 2010. ISBN 978-80-213-2132-8.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Konzultant

Ing. Sůva

Elektronicky schváleno dne 13. 4. 2017

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 4. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jakuba Štibingera. CSc., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze 17.4. 2017

Martin Paukner

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Jakubu Štibingerovi CSc. za ochotu, trpělivost a připomínky při psaní této práce. Také bych chtěl poděkovat své přítelkyni a rodině za psychickou a morální podporu.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce popisuje vybrané území, včetně popisu přírodních podmínek, mezi které patří charakteristiky hydrologické, geomorfologické a klimatické. Dále řeší problém částečného odvodnění plochy softbalového hřiště v Sedlčanech, které se nachází nedaleko vodního toku Mastník, který s dalšími faktory způsobuje zamokření řešené lokality.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá metodami odvodnění a jejich aplikací, určením parametrů pro výpočet rozchodu drenů a infiltračními metodami. V praktické části je zpracován návrh odvodnění softbalového hřiště pomocí drenážního systému metodou ustáleného drenážního proudění, určení hydraulické vodivosti a objemu akumulací jímky.

Klíčová slova:

Odvodnění, vodní režim, metoda plněné sondy, infiltrace.

ABSTRACT

This thesis describes the selected area, including a description of environmental conditions, which include characteristics of hydrological, geomorphological and climatic. It also solves the problem of partial drainage areas on the softball field in Sedlčany, which is located near a Mastník watercourse. Mastník and other factors causes waterlogging of the location.

The work is divided into theoretical and practical part. The theoretical part deals with methods of drainage and their applications, specifying the parameters for calculating gauge drains and infiltration methods. The practical part includes a drainage system design of the softball field through the drainage system by a steady flow of drainage, determining the hydraulic conductivity and the capacity of the accumulation tank.

Keywords: high groundwater level, softball field, inverse auger hole method, infiltration

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce	11
3. Literární rešerše.....	12
3.1 Historie odvodnění v českých zemích.....	12
3.2 Účel odvodňovacích staveb.....	12
3.3 Příčina zamokření.....	14
3.4 Způsob odvodnění	15
3.5 Biologické odvodnění.....	16
3.6 Technické způsoby odvodnění	17
3.6.1 Hlavní odvodňovací zařízení	18
3.6.2 Podrobná odvodňovací zařízení	19
3.7 Návrhové parametry horizontální drenáže.....	30
3.7.1 Výpočet parametrů odvodnění pro ustálené drenážní proudění.....	31
3.7.2 Výpočet parametrů odvodnění pro neustálené drenážní proudění.....	35
3.8 Infiltrace	38
3.8.1 Laboratorní měření.....	40
3.8.2 Empirické metody	40
3.8.3 Polní zkoušky.....	40
4. Popis a charakteristika zájmového území	49
4.1 Lokalita Sedlčany.....	49
4.1.1 Geomorfologická charakteristika	49
4.1.2 Klimatické charakteristiky oblasti	50
4.1.3 Hydrologické charakteristiky.....	51
4.2 Řešená lokalita	52

4.2.1	Řešené území	52
4.2.2	BPEJ pozemku	53
4.2.3	Hlavní půdní jednotka	53
4.2.4	Pedologické charakteristiky řešeného území	54
5.	Návod k použití kalkulátoru.....	55
6.	Metodika	56
6.1	Účel a způsob využívání pozemku.....	56
6.2	Terénní průzkum	56
6.3	Stanovení příčiny zamokření.....	56
6.3.1	Hydropedologický průzkum	56
6.4	Výpočty	56
7.	Stanovení hydraulické vodivosti terénním vsakovacím experimentem.....	57
8.	Příčiny zamokření	59
9.	Výpočet, výsledky.....	60
10.	Diskuze.....	64
11.	Závěr	66
12.	Přehled literatury a použitých zdrojů	67
13.	Seznam příloh.....	74

1. Úvod

Za rozvoje melioračních staveb v minulosti stála potřeba zajistit větší úrodu pro rostoucí počet obyvatel, tyto stavby umožňovaly obdělávat větší rozlohu půdy. První zmínky o odvodňovacích opatřeních realizovaných otevřenými příkopy pochází z řecké civilizace. V Řecku byla užívaná i podpovrchová drenáž, kdy byli příkopy do poloviny zasypány kameny či šterkem a následně zakryté zemí. O odvodňovacích systémech v údolí řeky Nil, které měly za úkol odvedení vody po povodních, se zmiňoval řecký historik Herodot před více než 2000 lety. Další prameny hovoří o odvodňování údolí řek Pádu, Arny a Tibery v Apeninách ve 3. století před n. l.

Odvodňování humidních a semihumidních oblastí probíhalo už kolem 10. století v okolí Severního moře. Hlavním důvodem bylo zúrodnění přímořských a jezerních bažin. Byly realizovány ochranné hráze chránící před mořskými a říčními vodami. Začátkem 19. století byla v Anglii zavedena trubková drenáž. Trubky s polokruhovým tvarem se vyráběly ručně z pálené hlíny. Díky objevu portlandského cementu v 1. polovině 19. století se v Holandsku drenážní trubky začaly vyrábět z betonu.

V minulém století došlo k rychlému rozvoji odvodnění jako nutného doplňku závlahových systému, jedním z důvodů byla i velká neúroda bavlny v Egyptě v roce 1909 (Holý a kol., 1984). V 60. letech 20. století došlo k výrobě prvních trubek z vlnitého PVC a polyetylénu. Dále v tomto století došlo k rozvoji metod pro hloubení a pokládku drenážního potrubí realizovaných výkopovou nebo bezvýkopovou technologií. Došlo k vyvinutí účinných drenážních filtrů a progresivních návrhů drenážních soustav.

V dnešní době jsou hydromeliorační systémy nezbytné pro udržení či zvýšení výnosů, z důvodů zajištění udržení nebo zvýšení výnosů. Mezi hlavní oblasti s touto problematikou se řadí Egypt, Čína, Vietnam, Indie a Thajsko.

Odvodňovací systémy se využívají nejen pro zemědělské účely, ale i ve stavebnictví a sportovním odvětví. Odvodnění sportovních ploch je v současné době nutností. Zvyšující se profesionalizace sportu klade zvýšené nároky jak na sportovce, tak na sportovní hřiště nebo stadiony. V současné době se nejedná jen o odvodnění, ale i následném využití drenážních vod pro závlahové účely.

Práce je zaměřena na částečné odvodnění hrací plochy, kterou využívá místní softbalový klub ve městě Sedlčany.

2. Cíle práce

Tato diplomová práce se zabývá částečným odvodněním softbalového hřiště na území města Sedlčany, ve Středočeském kraji. Cílem práce je určit rozchod drénů podle rovnic S. B. Hooghaudta a F. L. Ernsta.

Dalším cílem je určit příčiny zamokření na řešeném území a hydraulickou vodivost pomocí terénního experimentu. Dále shrnutí přírodních poměrů, mezi které patří charakteristiky hydrologické, geomorfologické a klimatické, které mohou ovlivňovat infiltraci v dané lokalitě.

Dále se budu zabývat návrhem akumulární jímky s vsakovacím drénem, který bude podporovat infiltraci vody do spodních vrstev půdního prostředí.

3. Literární rešerše

3.1 Historie odvodnění v českých zemích

Odvodnění na území státu, probíhalo už v 10. století, kdy docházelo k osidlování nížin a údolních niv toků. Odvodnění bažin a mokřadů vedlo k realizaci rybníků, v nejnižších místech území za pomoci přehrazení odvodňovacích kanálů. Během panování Karla IV. docházelo k budování nových rybníků za účelem chovu ryb a k využívání močálovité půdy a ochrany před povodněmi (Dumbrovský, Milerski, 2005).

V 16. století došlo k dalšímu velkému realizování odvodňovacích staveb. Je spojeno především s výstavbou rybníků na území jižních Čech. Nejznámější stavitelé z tohoto období jsou Jakub Krčín z Jelčan, který vystavěl Rožmberk, odlehčovací kanál Nová řeka a Štěpán Netolický, který stojí za realizací Zlaté stoky.

V minulých letech bylo odvodňování realizováno z důvodu podpory a rozvoje zemědělství. Tradice odvodňování v České republice sahá až do konce 19. století. K největšímu rozmachu docházelo v letech 1935 - 1940 a 1965 – 1990. Tento trend měl za následek vysokou míru regulace drobných vodních toků a plošně významný rozsah staveb drenážního odvodnění, což dodnes významně ovlivňuje odtokový proces v krajině (MŽP, 2011).

3.2 Účel odvodňovacích staveb

Dumbrovský, Milersky (2005) uvádí, že odvodňovací stavby se realizují hlavně z důvodů zlepšení životního prostředí člověka na daném stupni civilizaci, které umožní intenzivnější využívání krajiny. Realizace těchto opatření má za následek změnu vodního režimu, který je hlavní podmínkou pro vytváření prostředí pro organické i anorganické součásti a následně vede ke změně prostředí samotného. Rozsah změn závisí na intenzitě odvodnění a plošném rozsahu.

Realizované odvodnění umožňuje účelné plánování osídlení oblastí, rozvoj urbanizace, zakládání průmyslových zón, racionální využívání půdy pro zemědělskou a lesnickou výrobu, budování vhodného komunikačního systému. V suchých oblastech odvodnění umožňuje využívání závlahových systému bez

nebezpečí zasolování půd, dalším efektem je ozdravení prostředí, ve kterém se mnohdy objevují tropické nemoci (malárie, spavá nemoc). Mezi další pozitivní efekty odvodnění lze zařadit zlepšení hygienických podmínek, které úzce souvisí s ovlivňováním vodního režimu, pomocí kterého lze usměrňovat tepelný, vzdušný a živinný režim (Holý a kol., 1984).

Mezi další pozitiva odvodnění bezesporu patří ochrana půdy před dalším znehodnocením nadbytkem vody. Umožňuje využití mechanických prostředků při sklizni či zasívání v jarních a podzimních měsících. Dále zvyšuje úrodnost půdy a výnosy pěstovaných plodin. V urbanizovaných oblastech zlepšuje životní prostředí (např. usnadnění zakládání staveb a komunikací), má vliv na zdravotní poměry a rekreační poměry. V neposlední řadě má nepřímý vliv na estetickou stránku sídlišť i krajinného prostředí.

Odvodnění nemá jen pozitivní efekt pro společnost, ale i negativní. V první řadě ovlivňuje vodní bilanci území a kvalitu vody. Odvodnění urychluje povrchový a podzemní odtok, který v aridních oblastech může prodlužovat období sucha vlivem nedostatku vláhy a tím dochází i ke snížení výnosu plodin či ke zhoršení kvality pěstovaných komodit. Odvodnění území vede ke snížení infiltrace vody do podloží a tím i ke snížení zásob podzemní vody a retenční schopnosti krajiny.

Na zemědělských plochách se běžně používají chemická hnojiva na bázi fosforu, dusíku a hořčíku. Drenážní systémy urychlují jejich transport do recipientů a tím negativně ovlivňují kvalitu vody. V důsledku dochází k eutrofizaci, růstu vodních řas a rostlin.

Holý a kol. (1984) uvádí, že odběry vody z hlubších vrstev může docházet k antropogenním morfologickým změnám terénu, které se projevuje sedáním povrchu území. Jako příklad uvádí historickou část Mexiko City, které se dříve potýkalo s těmito problémy, propady činily až 7 metrů.

Odvodnění má negativní vliv na rostlinnou složku a následně i na živočišnou. Říha (1979) uvádí, že dochází nejen ke změně kvality, ale i kvantity vegetačního krytu odvodněných půd. Mění se ekologická skladba, místo mokřadních společenstev vznikají nové systémy kulturních plodin (monokultury). Dále se mění i druhová skladba odvodněného území.

3.3 Příčina zamokření

Kutílek (1978) uvádí, že k zamokření půd a zemin dochází jejich zaplavením nebo porušením vodního, vzdušného a tepelného režimu nadbytkem vody.

Příčiny zamokření jsou obvykle způsobeny hydrogeologickými, hydropedologickými, klimatickými, orografickými, geologickými, hydrologickými a antropogenními podmínkami.

Dumbrovský, Milersky (2005) uvádějí rozdělení příčin zamokření na:

- Oblastní (zonální) – charakterizovány klimatickými a meteorologickými poměry,
- Místní (lokální) – jsou vázány na orografické, geologické, hydrologické, hydropedologické, agrotechnické a antropogenní poměry,
- Kombinované – mají více příčin.

Meteorologické a klimatické poměry jsou charakterizovány hlavně ovzdušnými srážkami (děšť, sníh), teplotou, výparem, výskytem větrů (Jůva a kol., 1964).

Agrotechnické poměry se projevují při špatném obdělávání a využívání půdy. Orba ve směru svahu zvyšuje erozní účinnost deště a snižuje se možné vsakování do spodních vrstev půdy. Dalším příkladem je špatná volba pěstované plodiny, která má větší vláhovou potřebu neodpovídající místním podmínkám.

Antropogenní příčiny vznikají umělým zásahem člověka do přirozeného vodního režimu. Řadíme mezi ně zvýšení hladiny podzemní vody v okolí umělých vodních děl (nádrže, jezy, upravené vodní toky, netěsnosti závlahových, zásobovacích, plavebních a energetických kanálů. Další příčiny zamokření můžou mít na svědomí závlahy s vysokým závlahovými dávkami nebo závlaha výtopou (rýžoviště). V městských a průmyslových oblastech se zamokření objevuje z důvodu odstranění vegetačního krytu půdy, nevhodnými terénními úpravami nebo výstavbou budov ve směru odtoku vodu (Dumbrovský, Milerski, 2005).

Geologické poměry jsou charakterizovány povahou horninového substrátu, obsahem humusu v půdě, druhem a typem půdy.

Hydrologické příčiny závisí především na hustotě říční sítě,

Hydrogeologické poměry popisují vlastnosti podzemní a povrchové vody. Patří mezi ně směr proudění vody, chod hladiny či typ zvodně.

Hydropedologické poměry jsou charakterizovány propustností horninového prostředí, a zda je prostředí nasycené či nenasycené.

Orografické poměry se uplatňují v konfiguraci, sklonitosti a expozici území (síla slunečního záření, návětrnost) (Jůva, 1964). V nížinném území se snadněji akumulují srážkové vody než v pahorkatinách.

3.4 Způsob odvodnění

Rozlišujeme 2 základní typy odvodnění biologický a technický způsob. Při volbě odvodnění bereme v potaz příčinu, způsob a intenzitu zamokření. Dále volbu ovlivňuje reliéf území, vlastnosti půdy a další využití pozemku po realizaci odvodnění (VÚMOP, 2013).

Biologické neboli zemědělskolesnické úpravy se realizují na půdách méně zamokřených nebo na půdách náchylných k zamokření. V těchto případech přistupujeme k úpravě struktury půdy nebo k osazení porostů s vysokou transpirací (Jůva, 1964).

Technické neboli vodohospodářské úpravy se realizují na půdách více zamokřených. K odvodnění těchto půd využíváme trubkové drenáže, odvodňovací kanály či příkopy, jímky a další hydromeliorační stavby.

Technické odvodnění se dále dělí podle způsobu odstranění zamokření na povrchové, podzemní a kombinované odvodnění.

Povrchové odvodnění se realizuje na lokalitách, které jsou zamokřeny povrchovou vodou (dešťovou, sněhovou, záplavnou). Pro tento typ odvodnění se používají otevřené kanály, odvodňovací příkopy. Jůva (1964) doporučuje tento typ odvodnění v rovinných území s velmi malým spádem, pro úpravu vodního režimu luk a nížinných lesů nebo při realizování záchytných příkopů na svazích.

Podzemní odvodnění se realizuje na lokalitách, kde dochází k zamokření z důvodu vysoké hladiny podzemní vody. Příčiny zvýšené hladiny podzemní vody

jsou různé, například nadměrné vsakování, přítok podzemní vody ze sousední oblasti nebo blízkost vodních staveb. Odvodnění je prováděno drenáží.

Podle způsobu uložení drenážního systému rozlišujeme drenáž vodorovnou, svislou a kombinovanou. Vodorovná (horizontální) drenáž je tvořena obvykle trubkovými drény. Vertikální (svislá) drenáž využívá svislých drénů upravených jako vyztužené vrty nebo studny (Jůva, 1964). Kombinovaná drenáž je spojení obou předcházející typů drénů.

Kombinované odvodnění je v reálné činnosti využíváno nejčastěji. Jedná se o kombinaci povrchového a podpovrchového odvodnění.

Výše uvedené typy odvodnění dělíme na sporadické (místní) odvodnění a systematické (plošné) odvodnění.

Místní odvodnění se realizuje na menších plochách, jako jsou prameniště, sídliště, staveniště, úpatí svahu s vyvěrající vodou nebo podél komunikací.

Systematické odvodnění se realizuje na rozlehlých plochách, jako jsou zemědělsky využívané území, účelové plochy, mezi které řadíme letiště, cvičiště nebo hrací plochy. Toto odvodnění se skládá ze svodných a sběrných zařízení.

Plošné odvodnění Jůva (1964) dále dělí podle plochy, která je odvodňována na částečné, úplné a etapové. Částečné odvodnění se týká pouze předem vymezených ploch. Při úplném odvodnění je upravován vodní režim půdy v celé ploše. Při pochybnostech o potřebě úplného odvodnění jsou nejdříve odvodněné nejvíce zamokřené plochy a dále podle potřeby se odvodnění rozšíří. Tento způsob se nazývá postupný (etapový).

3.5 Biologické odvodnění

Biodrenáž využívá potenciál evapotranspirace rostlin, především stromů, ke snížení hladiny podzemní vody. U tohoto typu odvodnění Kulhavý, Kulhavý (2008) uvádějí výhody využívání vegetační zeleně jako velkoplošného vodohospodářského regulačního prvku. V systému půda – vegetace – atmosféra, voda proudí z půdy přes kořenový systém a cévy rostlin do lisů, z kterých evaporací přechází v plynné formě do vzduchu.

Heuperman a kol. (2002) uvádějí pozitiva využití biodrenáže, mezi které patří:

- V zavlažovaných oblastech je dosaženo přirozenější ochrany životního prostředí,
- Významný příspěvek k integraci rozvoje venkova a blahobytu venkovského živobytí,
- V závislosti na použité vegetaci, může mít biodrenáž další výhody, jako jsou: produkce dřeva, palivového dřeva, olejů, ovoce, zmírnění účinků větrné eroze, poskytují stín a přístřeší, mají funkci větrolamů, zvyšují biodiverzitu lokality, snižují znečištění ovzduší,
- V porovnání s obvyklou podzemní drenáží, biodrenáž zvládá následující funkce současně:
 - Odvodňovací, tj. vyvolává průtok vody přes půdní profil směrem k drenáži,
 - Transport odvodněné vody do sběrných drénů a následně do svodných,
 - Konečné odvedení vody na vybrané místo.
- Investice do biodrenáže je relativně nízká a může být svépomocí realizovaná majitelem pozemku.

Nicméně Heuperman a kol. (2002) představují i negativní aspekty biodrenáže:

- Vyžaduje více plochy k docílení snížení hladiny podzemní vody,
- Není příliš efektivní v odstranění zasolování,
- Není možnost regulace drenážního odtoku.

3.6 Technické způsoby odvodnění

Zákon č. 254/2001 Sb. § 56 dělí stavby k odvodnění zemědělských pozemků na hlavní odvodňovací zařízení a podrobná odvodňovací zařízení. Podrobné odvodňovací zařízení rozlišuje pro podzemní a povrchové odvodnění.

3.6.1 Hlavní odvodňovací zařízení

Hlavní odvodňovací zařízení je dle § 2 vyhlášky č. 225/2002 Sb., o podrobném vymezení staveb k vodohospodářským melioracím pozemků a jejich částí a způsobu a rozsahu péče o ně, „*Soubor objektů, které slouží k odvádění nadbytku povrchové a podzemní vody z pozemku, k provzdušňování pozemku a k ochraně odvodňovaného pozemku před zaplavením vnějšími vodami, zejména otevřené kanály (svodné odvodňovací příkopy, záchytné příkopy a suché nádrže k zachycení vnějších vod, přehrážky a objekty sloužící k regulaci, krytá potrubí (od světlosti 30 cm včetně), včetně objektů na nich (stupně, skluzy) a odvodňovací čerpací stanice*“.

Hlavní odvodňovací zařízení tvoří základ odvodnění. Dle ČSN 75 4200 je dělíme na:

- Odvodňovací kanály,
- Odvodňovací čerpací stanice,
- Ochrana před vnějšími vodami (ochranné hráze, ochranné nádrže).

3.6.1.1 Odvodňovací kanály

Odvodňovací kanály jsou realizovány jako recipienty velkoplošných odvodnění vnitřních ploch. Do hlavních kanálů jsou zaústěny kanály druhého řádu, svodné drény nebo příkopy. Tvar průtočného profilu je obvykle lichoběžníkový. V některých úsecích se budují ve tvaru dvojitého lichoběžníku nebo lichoběžníku s kynetou (Kozlovsky Dufkova, 2009). Trasa odvodňovacího kanálu je vedena v údolnici odvodňovaného území s ohledem na místní podmínky, komunikace či stávající stavby.

Kanály se vhodně opevňují a zaústíují se obvykle do povrchových vodních toků. Podle místních podmínek dělíme vyústění na gravitační, umělé a kombinované. Gravitační vyústění umožňuje samospádové vyústění přímo do recipientu, je také ekonomicky nejvýhodnější. Umělé vyústění se buduje v místech, kde není možné realizovat gravitační vyústění. Obvykle je to v situacích, kdy je recipient ohrazován pro ochranu před povodněmi. V těchto případech se využívá čerpací stanice pro přečerpání vody do recipientu. Při kombinovaném vyústění je za nižšího vodního stavu v recipientu využíváno gravitační vyústění, při zvýšené hladině v recipientu se voda musí přečerpávat (Kozlovsky Dufkova, 2009).

3.6.1.2 Odvodňovací čerpací stanice

Odvodňovací čerpací stanice se navrhují v lokalitách, kde se nemůže využít gravitační odvedení vody ze zájmové lokality. Nejčastěji se využívají v nížinných oblastech, kde je nedostatečný sklon, při přečerpávání vody z bezodtokových území, z lokalit chráněných hrázemi, z depresí při poddolování (Pivoda, Šálek, 1982). Kulhavý, Kulhavý (2008) uvádějí zvláštní případ využití odvodňovacích čerpacích stanic pro snížení hladiny podzemní vody přímým odčerpáváním vody ze soustavy vrtů či studní. To je nejčastěji využíváno při ochraně základů stavebních objektů před účinky silně agresivní podzemní vody nebo u ochranné drenáže chránící půdu proti zasolení. Čerpací stanice se také realizují při odběru vody z vodního toku nebo nádrže pro závlahovou fázi regulační nádrže.

3.6.2 Podrobná odvodňovací zařízení

Podrobné odvodňovací zařízení je dle § 2 vyhlášky č. 225/2002 Sb., o podrobném vymezení staveb k vodohospodářským melioracím pozemků a jejich částí a způsobu a rozsahu péče o ně, „*Soubor objektů, které slouží k bezprostřední úpravě vodního režimu půdy, tak aby stav pozemku odpovídal vláhové potřebě plodin a předpokládané činnosti na něm; pro podzemní odvodnění je tvořeno sběrnými drény, svodnými drény, výustěmi, drenážními šachtami (podzemní drenážní sít') a pro povrchové odvodnění je tvořeno sběrnými příkopy a objekty na nich*“.

ČSN 75 4200 rozděluje podrobná odvodňovací zařízení na:

- Záchytné příkopy a drény
- Opatření ke snížení tlaku podzemní vody s napjatou hladinou
- Odvodnění příkopy
- Ojedinelá (sporadická) drenáž
- Plošná (systematická) trubková drenáž
- Krtčí drenáž
- Štěrbínová drenáž
- Dvouetážová drenáž
- Navlažovací drenáž
- Regulační drenáž

Z toho vyplývá, že se odvodňovací detail, může dělit na 2 skupiny, na příkopové odvodnění a na drenážní podzemní odvodnění.

3.6.2.1 Záchytné příkopy a drény

Záchytné příkopy a drény se navrhuje k zachycení a odvedení vnějších a vnitřních povrchových a podpovrchových vod. Jsou obvykle umístovány na hranicích zájmové lokality, na hranicích mezi lesními a zemědělskými pozemky, pod terénními zlomy, pod hráze vodních objektů, okolo vodních toků a nádrží, podél cest. Vždy napříč směru přitékající vody. Záchytné drény se realizují v místech liniových případně difuzních vývěřů podzemní vody. V případě umístění příkopů na svazích se bere v potaz i protierozní ochrana půdy (ČSN 75 4200).

Kulhavý, Kulhavý (2008) rozeznávají v praxi použité záchytné drény a příkopy na:

- Zasakovací drén, který je tvořen propustným zásypem do úrovně terénu,
- Drén s vertikálním hydrologickým filtrem, kdy je odvodňovací prvek usazen vertikálně do drenážní rýhy,
- Záchytný drén je využíván k zachycení a odvedení liniových vývěřů podzemní vody,
- Pobřežní záchytný drén je využíván k zachycení vody z průsaku vodního nádrže nebo toku,
- Záchytný příkop se využívá k zachycení vody z povrchových nebo svahových vod.

Záchytný příkop se obvykle navrhuje v lichoběžníkovém příčném profilu, s minimálním sklonem 1‰, šířkou ve dně 0,40 m a nejmenší přípustnou hloubkou 0,60 m. Tyto minimální rozměry je nutné dodržovat z důvodu, aby se koryto příkopu nemuselo zpevňovat a investice nebyla tak velká.

Při návrhu je potřeba stanovit rozměry a sklon příkopu nebo nutnost opevnění na základě hydraulických výpočtů v závislosti na geologických, hydrogeologických, hydrologických a hydropedologických poměrech (Kříž, 1983). Závisí také na velikosti přítoku povrchové vody, hloubce a velikosti výronů podzemních vod a hloubce nepropustného podloží.

Hloubka, uložení a kapacita záchytných drénů se dle ČSN 75 400 navrhuje podle místních podmínek. Hlavně podle vlastností vodorovné vrstvy a stratigrafie pokryvu. Hloubka uložení drénů by neměla přesáhnout 2,50 m a nejmenší přípustný vnitřní průměr má být 80 mm. Průměr se určuje dle hydraulických podmínek zvodně a umístění drénu v ní, sklonu nivelety a konstrukce drénů. Záchytný drén se v prostoru zvodně obsypává stabilním propustným materiálem minimálně 0,1 m nad vrchol drénů. Tento materiál má funkci ochrannou a hydrologickou.

3.6.2.2 Opatření ke snížení tlaku podzemní vody s napjatou hladinou

Zamokření lokality může být z důvodu tlaku podzemní vody s napjatou hladinou při výšce piezometrické úrovně v hloubce 1 m pod terénem. V situaci, kdy dochází i k povrchovému zamokření může být i při menší hloubce (ČVUT-FS, 2017).

Toto odvodňovací opatření se považuje za mimořádně a před návrhem je potřeba vypracovat podrobný hydrogeologický a hydrogeologický průzkum. Dále je nutné posoudit vliv nového opatření na aktuální vodní hospodářství krajiny a na zdroje vody v lokalitě či region. Toto nové opatření musí být také v souladu s požadavky na ekologickou stabilitu krajiny (Kulhavý, Kulhavý 2008). Dle ČSN 75 400 lze dosáhnout požadovaného snížení:

- Opatřeními mimo zájmovou lokalitu snížením hladiny vody v nádrži nebo v toku, omezením přítoku svahových podzemních vod nebo prohloubením vodního koryta,
- Zásahy po obvodu nebo uvnitř zájmové lokality, zasahující do zvodně s napjatou hladinou (hluboké jednotlivé nebo záchytné drény, hluboké odvodňovací kanály, vertikální odvodňovací objekty vrty, studny, hluboké pramenné jímky),
- Plošným odvodněním.

Tyto odvodňovací zásahy je při návrhu posoudit a případně doplnit retardačními prvky k regulaci výšky odtoku.

3.6.2.3 Odvodnění příkopy

Tento typ odvodnění se navrhuje v situacích, kdy nelze použít odvodnění trubkovou drenáží. Odvodňovací příkopy se realizují na lokalitách s minimálním sklonem, na neúrodných půdách a pro rychlé odvedení povrchové vody (Bartušková a kol., 1985). ČSN 75 4000 uvádí, další využití odvodnění příkopy v situacích, mezi které patří:

- Nedostatečná hloubka recipientu,
- Výskyt podzemní vody s vysokým podílem sloučenin železa, které způsobují zanesení drenáže v krátkém časovém horizontu,
- Ochrana půdy na svazích před vodní erozí,
- Při odvodňování půd méně hodnotných, v inundací a svažitéch lokalitách, dna vodních nádrží před čištěním nebo jako provizorní zařízení pro realizaci trvalých opatření.

Klady odvodňovacích příkopů oproti drenážním systémům jsou větší kapacity příčných profilů, které v krátkém časovém úseku odvedou velké a proměnlivé množství vody, lze je dodatečně prohlubovat a v některých lokalitách je možno příkopy použít k závlaze (Kozlovsky Dufková, 2009). Mezi negativa patří větší zábor půdy, roztráštěnost pozemku po realizaci, zarůstání a zanášení příkopů.

Příkopový systém je tvořen svodným (hlavním) a sběrnými odvodňovacími příkopy. Obvykle se projektuje lichoběžníkový příčný profil. Při navrhování příkopů musí být dodrženy minimální rozměry. Minimální šířka ve dně je 0,40 m, minimální hloubka příkopů je 0,60 m. Sklony svahů se obvykle projektují v poměru od 1:1 do 1:1,5. Minimální sklon dna sběrných příkopů je 1‰, u svodných příkopů musí být sklon větší než 0,3‰.

Délka sběrných příkopů se pohybuje od 200 m do 300 m při sklonu dna nad 3 ‰, při umělém sklonu je délka maximálně 150 m. Svodné příkopy mohou být dlouhé i několik kilometrů (Dumbrovský, Milerski, 2005). Rozchody sběrných drénů pro různé kultury jsou uvedeny v tabulce 1.

Kultura	Rozchod (m)
Pole	30 – 40
Louky	40 – 60
Pastviny	40 – 50
Lesy	50 -100

Tab. 1: Rozchody sběrných drénů pro různé kultury (Hasenöhrl, 1987).

Rozchod příkopů, které odvádějí povrchové vody, lze vypočítat pomocí rovnic (Němec, Kulhavý a kol., 1980):

$$L_p = \frac{0,5 \cdot C \cdot t^2 \cdot (q^{0,75} + 4 \cdot v_{i1})}{q} \quad (\text{m}) \quad (1)$$

$$C = m \cdot \sqrt{I} \quad (-) \quad (2)$$

$$q = i_s - v_i \quad (\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (3)$$

- kde L_p rozchod sběrných drénů (m),
 C součinitel vyjadřující sklonitostní a drsnostní poměry lokality,
 q povrchový odtok ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$),
 i_s intenzita deště ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$),
 v_i průměrná rychlost infiltrace deště ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$),
 m součinitel drsnosti povrchu území (viz. Tab. 2) (-),
 I sklon odvodňované lokality (-),
 t trvání povrchového odtoku po skončení deště nebo tání sněhu (h),
 v_{i1} průměrná rychlost infiltrace po skončení deště ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$).

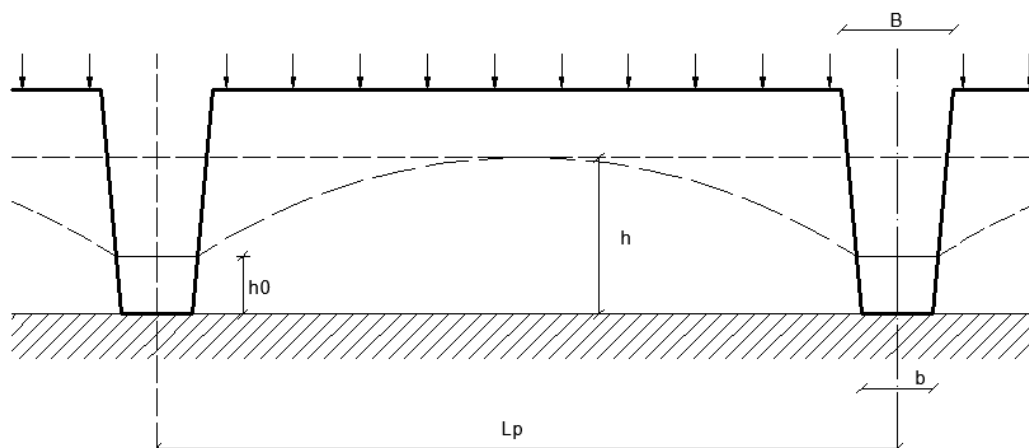
Charakteristika povrchu půdy při pohybu vody v tenké vrstvě	M
Obdělávané pole s brázdami po spádnici	87,0 – 58,0
Rovný urovnaný povrch bez travního porostu	58,0 – 43,5
Oranice bez brázd	34,8 – 24,85
Pole zarostlé rákosím	29,0 – 21,75
Pole zarostlé mechem	17,4 – 14,5
Přirozené louky a pastviny s nízkou posečenou trávou	14,5 – 10,88
Vysévané trávy a zemědělské plodiny	19,33
Přirozené louky a pastviny	10,88
Hrbolatá půda	8,7 – 5,8

Tab. 2. Hodnoty součinitele drsnosti povrchu dle A. A. Čerkasova (Čerkasov, 1950)

Výpočet rozchodu příkopů L_p (m), které odvádějí podzemní vody v případě ustáleného proudění, lze vypočítat pomocí rovnice S. B. Hooghoudta (4) (Šálek, 1978). Předpokládá se, že přítok vody je roven odtoku a zároveň dno odvodňovacího příkopu je nepropustné (obr. 1)

$$L_p = \sqrt{\frac{4 \cdot K (h^2 - h_0^2)}{q}} \quad (\text{m}) \quad (4)$$

Kde K součinitel hydraulické vodivosti půdy ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$),
q specifický odtok = infiltrace ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$),
h počáteční výška hladiny podzemní vody nad úrovní dna příkopu (m),
 h_0 výška hladiny vody ve sběrném příkopu nad úrovní dna (m).



Obr. 1: Schéma pro výpočet rozchodu příkopů, kde dno příkopu je na nepropustném podloží dle S.B. Hooghoudta (autor, 2017)

Holý a kol. (1984) uvádějí zjednodušený vzorec S. B. Hooghoudta (5) pro výpočet rozchodu sběrných příkopů L_p (m) v případě, kdy nepropustné podloží je pod úrovní dna příkopu (obr. 2).

$$L_p = \sqrt{\frac{8 \cdot K \cdot D_e \cdot m}{q}} \quad (\text{m}) \quad (5)$$

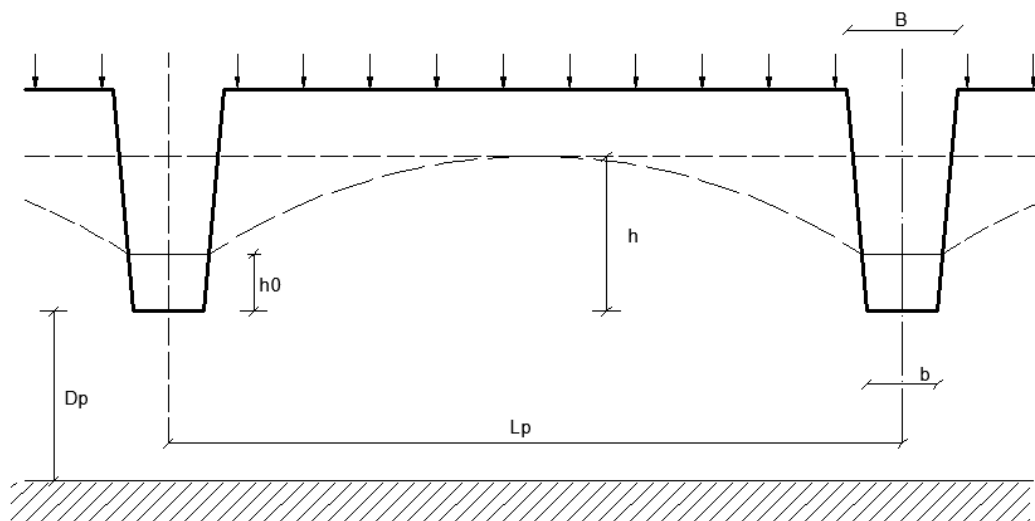
kde D_e velikost tzv. aktivní (ekvivalentní) půdní vrstvy (m),

$$D_e = f(D_p, L_p, r_0)$$

D_p vzdálenost nepropustného podloží od dna příkopu (m),

r_0 poloměr drénů (m),

$$m = h - h_0 \quad (6)$$



Obr. 2: Schéma pro výpočet rozchodu příkopů kde dno příkopu je nad nepropustným podloží dle S.B. Hooghoudta (autor, 2017)

3.6.2.4 Ojedinelá (sporadická) drenáž

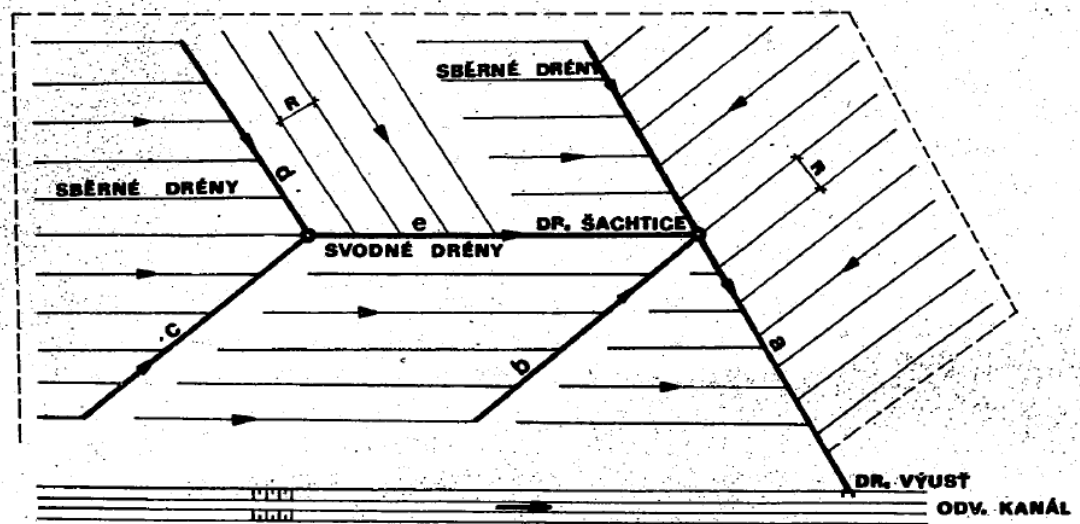
V situacích, kdy je potřeba odvést přebytečnou vodu z lokálního zamokření nebo malé plochy se navrhuje vertikální nebo ojedinelý horizontální drén, který může být zakončen pramenní jámkou (Kulhavý, Kulhavý, 2008).

Sporadická drenáž je tvořena jednotlivými drény, v některých případech mohou tvořit i nepravidelné menší systémy v zájmové lokalitě (ČSN 75 400).

3.6.2.5 Plošná (systematická) trubková drenáž

Plošná drenáž je tvořena sběrnými drény, svodnými drény a objekty nacházející se na nich (šachtice, výusti). Drenážní systém se navrhuje k odvodnění lokalit se souvislým zamokřením půd. Projektují se dle půdních, klimatických, výrobních podmínek a dle charakteristiky zamokření (viz. ČSN 75 400).

Plošná drenáž je tvořena tzv. souřady s jedním svodným drénem nebo do skupin, které jsou tvořeny více propojenými souřady (Slavík, Neruda, 2014) (Obr. 3). Kuklík, Kovář (1988) uvádějí, že v příznivých sklonitostních podmínkách, kde nehrozí zanášení potrubí, se navrhují velké drenážní skupiny. V rovinatých nebo členitých lokalitách se navrhují malé skupiny drenážního odvodnění.



Obr. 3: Drenážní souřad a drenážní skupina (Kuklík, Kovář, 1988)

Sběrné drény se vyrábí z trubek a tvarovek z plastů, pálené hlíny, kameniny, betonu a ve speciálních případech z materiálů, které vyhovují půdním podmínkám a hygienickým požadavkům (Kulhavý, Kulhavý, 2008). Tyto drény obvykle zaústí do svodného drénu pod úhlem $60^\circ - 90^\circ$.

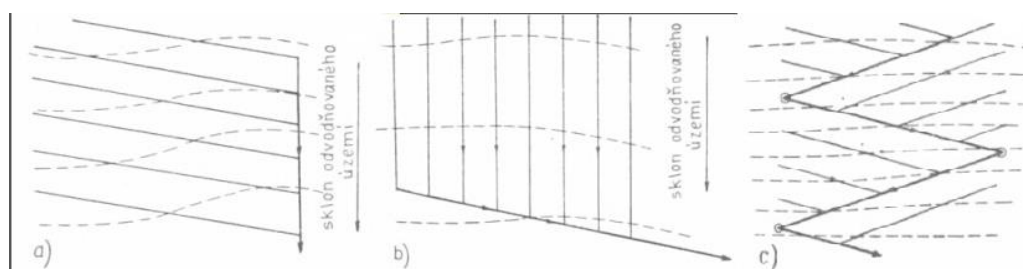
Uspořádání sběrných drénů v systému odvodnění, rozlišujeme dle směrového založení na podélnou, příčnou, bleskovou a v umělém sklonu (obr. 4).

Podélná drenáž se navrhuje v terénu se sklonem 0,3 až 1 %, maximální délka drenážního potrubí je 120 m až 150 m (ČSN 75 400). Navrhují se kolmo na vrstevnice.

Příčná drenáž se navrhuje v terénu se sklonem nad 1 %, maximální přípustná délka drenážního potrubí je 150 m až 200 m (ČSN 75 400). Drenážní potrubí je uloženo napříč územím, tudíž se směrově blíží k průběhu vrstevnic.

Blesková (protisměrná) drenáž se navrhuje v lokalitách s velkým sklonem. Drény jsou vedeny jako v případě příčné drenáže napříč vrstevnicemi, ale svodný drén je charakterizován ostrým střídáním směru, sběrné drény do něj zaústí protisměrně (Kuklík, Kovář, 1988).

Drenáž v umělém sklonu se navrhuje v rovinatém území při sklonu do 0,3 %, maximální délka drenáže je 100 m (ČSN 75 400).



Obr. 4: Uspořádání sběrných drénů

a) příčné b) podélné c) bleskové (Holý a kol, 1984)

3.6.2.6 Krtčí drenáž

Krtčí drenáž se využívá pro odvodnění těžkých, soudržných a méně propustných půd, kde $K \leq 0,5 \text{ m.d}^{-1}$. Jedná se hlavně o trvalé travní porosty, které jsou zamokřovány atmosférickými srážkami nebo cizí povrchovou vodou (ČSN 75 4000). Krtčí drenáž se v závislosti na zamokření lokality provádí periodicky (za 3 až 5 let).

Vyžívá se také na zemědělských plochách, kde může tvořit horní vrstvu dvouetážové drenáže (kap. 3.6.2.8).

Křížovou drenáží se označuje krtčí drenáž, která je prováděna napříč dolní trubkové drenáže.

Krtčí drenáž se může využít na půdách, bez kamenité, štěrkové nebo pískové vložky (kapsy, vrstvy), neobsahuje větší množství zbytků dřeva nebo kořenů (Jůva, 1964). Vhodné půdy k využití krtčí drenáže mají optimálně obsahovat podle kategorií Kopeckého více než 40 % zrn I. kategorie, 20 % zrn II. kategorie a více než 20 % IV. kategorie. Celková pórovitost podorničního půdního profilu je $< 45\%$ (Dvořák, 1981).

V praxi se obvykle navrhuje rozchod krtčích drénů 3 m a hloubka drénů mezi 0,6 až 0,7 m (Kulhavý, Kulhavý, 2008).

3.6.2.7 Štěrbínová drenáž

Štěrbínovou drenáž lze považovat za mimořádné opatření v podmínkách, které jsou uvedeny níže. Navrhuje se v podmínkách, kde nelze zabezpečit v minerálních půdách odvodňovací funkci trubkových drénů bez provedení zvláštních opatření. Štěrbínové drény se vodivě napojují na drény, které jsou uloženy pod ní. Tato drenáž se navrhuje v těchto případech (ČSN 75 400):

- Na území, kde důvodem zamokření je stagnace povrchové vody,
- Na lokalitách, kde dochází k povrchovému zamokření málo propustných půd,
- Jako doplňující opatření při kombinovaném zamokření lokality,
- Jako opatření pro zachycení přítoku mělkých svahových vod,
- Pro realizaci ochranných drénů,
- Na odvodněných lokalitách, které potřebují rekonstrukci.

3.6.2.8 Dvouetážová drenáž

Dvouetážová drenáž se využívá v lokalitách s málo propustnými půdami, kde $K < 0,2 \text{ m.d}^{-1}$ a efektivní pórovitost $P_d < 2\%$. Z tohoto důvodu je snižena schopnost infiltrace vody do půdního prostředí, přímým důsledkem je zhoršení povrchu půdy (rozbahňování), následkem čeho dochází ke snížení účinnosti drenážního systému (ČVUT-VK1).

Při dvouetážové drenáži se vytvoří vrchní, propustnější vrstva (horní etáž), která lépe odvádí infiltrovanou vodu v horizontálním směru k drenážním rýhám, ve kterých se nachází drenážní potrubí (druhá etáž).

Dvouetážová drenáž na zemědělských plochách se provádí vhodnými agrotechnickými, biologickými a technickými opatřeními. Mezi tyto opatření patří vhodné střídání plodin, periodicky kypření půdy hloubkovým kypřením nebo s využitím krtčí drenáže.

Tato drenáž se využívá při odvodnění sportovních ploch, kdy horní etáž tvoří uměle vytvořená propustná vrstva, např. zeminy s vhodnými vlastnostmi nebo vrstva štěrkopísku. Dolní etáž tvoří systém trubkové drenáže.

Na základě dlouhodobého experimentálního výzkumu (Holý a kol, 1987, Dvořák in Váška a kol, 2000) byly definovány čtyři základní matematicko-fyzikální modely pro určování návrhových parametrů. V případě modelu I. je drenážní systém uložen v málo propustné homogenní pórovité vrstvě. U modelu II. je pórovité prostředí tvořeno mocnou nepropustnou vrstvou, která nedosahuje úrovně založení drenáže. U modelu III. je drenážní systém založen v dolní odvodňovací etáži v málo propustné vrstvě. U modelu IV. je drenáž založena na rozhraní propustné a málo propustné vrstvy (Kulhavý, Kulhavý, 2008).

3.6.2.9 Víceúčelové odvodňovací systémy

Víceúčelové odvodňovací systémy jsou výhodné jak z environmentálního, z vodohospodářského a z ekonomického hlediska. Pomocí těchto hydromelioračních staveb dochází k požadované retardaci srážkových vod, zvyšuje se zabezpečení zdrojů závlahových vod a mohou se minimalizovat škody vzniklé povodní.

Z vodohospodářského i environmentálního hlediska jsou regulované odvodňovací systémy důležitým prvkem v krajině. Mají schopnost udržovat půdní vlhkost v rozmezí optimální hodnoty pro danou plodinu. Schopnost zadržení 500 až 2000 m³.ha⁻¹ vody za vegetační období (TNV 4221) ukazuje, že tato opatření jsou vhodným doplňkem revitalizace toků, preventivním opatřením proti suchu a z pohledu povodí potřebným plošným opatřením (Kulhavý, Kulhavý, 2008).

Soukup, Kulhavý (2005) uvádějí opatření sloužící k regulaci či retardaci drenážního odtoku:

- Regulační drenáž
- Zatopená drenáž poldrového typu s přečerpáváním vody do recipientu
- Plošná retardační drenáž
- Drenáž s řízeným odtokem
- Regulace pramenních jímek

3.7 Návrhové parametry horizontální drenáže

Vaška a kol. (2000) v publikaci uvádějí, zásadní charakteristiky pro návrh podpovrchového drenážního systému, mezi které patří propustnost pórovitého prostředí (propustné, málo propustné) a druh drenážního proudění. Hydraulický charakter proudění může být ustálený, neustálený a tranzientní. Holý a kol. (1984) uvádí další podmínky, které musíme brát v potaz při navrhování rozchodu a hloubky trubkové drenáže. Při návrhu musíme brát na zřetel fyzikální vlastnosti odvodňovaného pórovitého prostředí (hydraulická, vodivost, efektivní drenážní pórovitost, stratifikaci půdy a anizotropii) a okrajové geometrické podmínky (sklonitost lokality, polohu a sklon nepropustné vrstvy).

Ustálené drenážní proudění vychází z předpokladu, že přítok vody je konstantní a rovnoměrně rozložený v čase a intenzitě. Přítok je stejný jako drenážní odtok. Po dobu přítoku vody je hladina podzemní vody na stejné úrovni a její tvar je neměnný (Štibinger, Kulhavý, 2010).

Při neustáleném drenážním proudění se v čase mění úroveň a tvar depresní plochy, velikost drenážního odtoku, velikost dotace vody (Zekai, 1995).

Tranzientní drenážní proudění dle Holý a kol. (1984) nastává v přírodních podmínkách zcela běžně. Pokud při snižování hladiny podzemní vody dojde k další dotaci půdního prostředí vodou, tak se zvýší hladina podzemní vody a při dalších infiltracích do prostředí dochází k oscilacím. Tyto oscilace se nazývají tranzientní drenážní proudění.

3.7.1 Výpočet parametrů odvodnění pro ustálené drenážní proudění

Při výpočtu odvodňovacích parametrů ustáleného drenážního proudění můžeme využít různé metody, které vycházejí z Laplaceovy rovnice potenciálního proudění (7). Mezi tyto metody patří analogické, analytické, hodografické, metody sítí, konformního zobrazení (Vaška a kol., 2000). ČSN 75 400 uvádí stanovení rozchodu drénů podle zrnitostního půdního prostředí.

V praxi se doporučuje používat vzorec podle J. Rotha (8), pokud se drenáž nachází na nepropustném podloží nebo nad ním (Vaška a kol., 2000). V případě podmínek konvergence proudění vody do trubkového drénu z pórovitého prostředí pod drenáží se rozchod drénů počítá podle rovnic S. B. Hooghoudta a F. L. Ernsta (Kulhavý, Kulhavý, 2008).

Laplaceova rovnice (7) vychází z předpokladu, že půda je homogenní, póry jsou naplněny vodou, voda a půda jsou nestlačitelné, proudění je laminární a platí Darcyho zákon (Cedergren, 1977).

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (7)$$

Rovnice J. Rotha vychází z předpokladu, že se propustné podloží nachází v blízkosti uložení drénů, pak se rozchod drénů vypočítá (Kulhavý, Kulhavý, 2008):

$$L_n = 2 \cdot (h_d - h_n) \cdot \sqrt{\frac{K}{q_d}} \quad (\text{m}) \quad (8)$$

kde L_n rozchod drénů (m),
 h_d hloubka drenáže (m),
 h_n hloubka hladiny podzemní vody uprostřed sousedních drénů pod terénem (m),
 K nasycená hydraulická vodivost ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$),
 q_d velikost ustáleného měrného odtoku ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$).

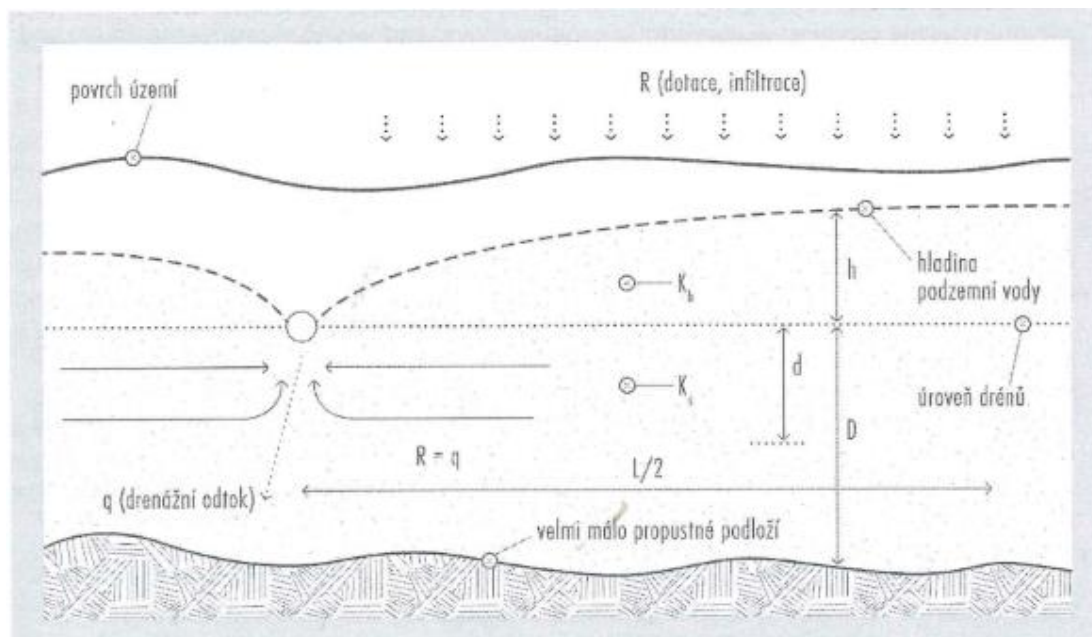
Rovnice S. B. Hooghoudta vychází z předpokladu platnosti Darcyho zákona (Kasenow, 2010) a Dupuit- Forchheimerovy teorie (Dupuit, 1848, Forchheimer, 1930). S. B. Hooghoudt zavedl a definoval imaginární vodorovnou nepropustnou vrstvu pod drény (Štibinger, Kulhavý 2010). V rovnici (9) se vychází z předpokladu, že drenáž bude uložena bezvýkopovou technologií na rozhraní spodní a vrchní propustné vrstvy (Holý a kol., 1984).

$$L^2 = \frac{8 \cdot K \cdot d \cdot h}{q} \quad (\text{m}) \quad (9)$$

Výsledná rovnice výpočtu rozchodu drénů podle S B. Hooghoudta pro dvě půdní vrstvy s různými hodnotami nasycené hydraulické vodivosti a drény nacházející se nad nepropustnou vrstvou (Obr. 5) má tvar:

$$L^2 = \frac{8 \cdot K_s \cdot D \cdot h + 4 \cdot K_h \cdot h^2}{q} \quad (\text{m}) \quad (10)$$

kde K_1, K_2 nasycená hydraulická vodivost ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$),
 D mocnost ekvivalentní vodorovné nepropustné vrstvy, pod trubkovými drény (m),
 q velikost ustáleného měrného odtoku ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$),
 h výška zvodnělé vrstvy nad drény (m).



Obr. 5: Schéma půdního prostředí s trubkovou drenáží pro dvě půdní vrstvy (Štibinger, Kulhavý, 2010)

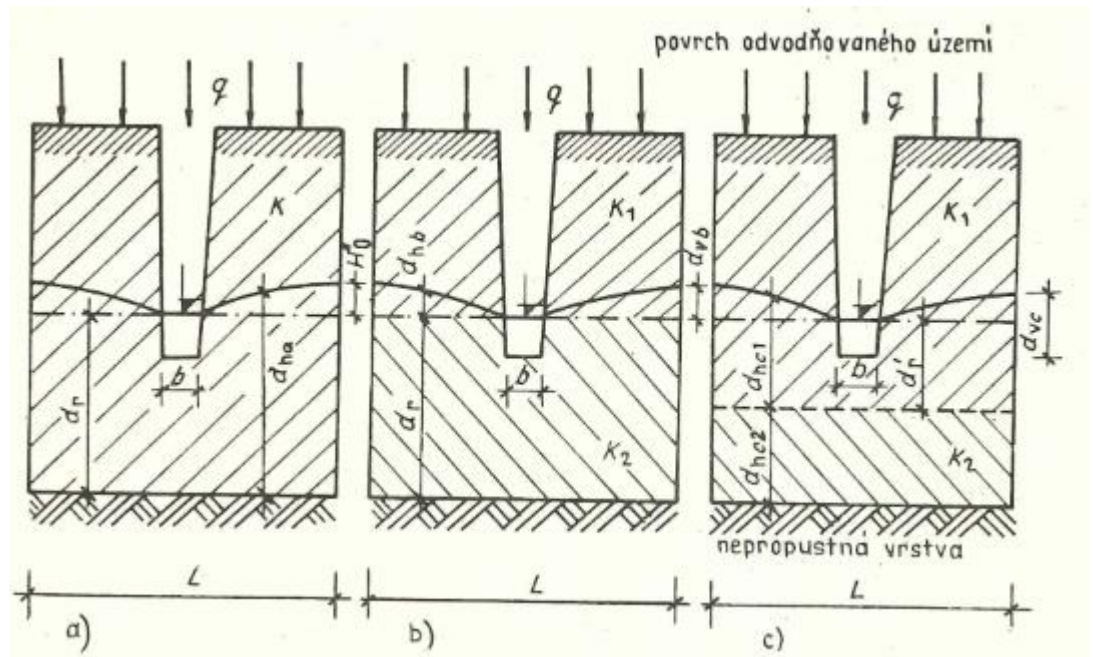
V případě uložení drénů na nepropustné vrstvě ($D \approx 0$), má rovnice S. B. Hooghoudta (9) tento tvar:

$$L^2 = \frac{4 \cdot K \cdot h^2}{q} \quad (\text{m}) \quad (11)$$

Rovnice L. F. Ernsta (Ernst, 1954) pro výpočet výšky zvodnělé vrstvy nad drény při ustáleném drenážním proudění se obvykle se využívá pro jakýkoliv typ dvouvrstvého půdního prostředí, kde horní vrstva má mnohem nižší hydraulickou vodivost než spodní vrstva. Drenáž může být uložena pod i nad rozhraním půdních vrstev. L. F. Ernst vymezuje tři směrové složky ustáleného nasyceného drenážního proudění: horizontální, vertikální a radiální (Bhattacharya, Michael, 2006). Výsledná rovnice L. F. Ernsta má tvar (Ernst, 1954):

$$h = q \cdot \frac{d_v}{K} + \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot K \cdot d_h} + \frac{q \cdot L}{\pi \cdot K} \cdot \ln \frac{d_r}{O} \quad (\text{m}) \quad (12)$$

kde O omočený obvod drenážní rýhy (m),
 d_v, d_h, d_r velikost pórovité odvodňované propustné vrstvy, v níž se projevuje vertikální, horizontální a radiální složka ustáleného drenážního proudění (m).



Obr. 6: Schéma pro použití Ernstova řešení (Holý a kol., 1984)

V reálné situaci mohou nastat tyto čtyři příklady využití rovnice L. F. Ernsta (obr. 4.6):

1. Odvodňované prostředí lze charakterizovat jednou hodnotou součinitele hydraulické vodivosti K a zároveň platí $d_r < \frac{1}{4} L$ (Kulhavý, Kulhavý, 2008).

Pro tuto situaci přechází rovnice (12) do tvaru:

$$h = \frac{q.L^2}{8.K.d_{ha}} + \frac{q.L}{\pi.K} \cdot \ln \frac{d_r}{o} \quad (m) \quad (13)$$

$$d_{ha} = d_r + 0,5.h \quad (m) \quad (14)$$

2. V situacích, kdy je hladina vody v drenážní rýze přibližně na vodorovném rozhraní vrstev s různými součiniteli nasycené hydraulické vodivosti K_1 a K_2 a $d_r < \frac{1}{4} L$ (Holý a kol., 1984). V tomto případě je vertikální složka proudění téměř zanedbatelná a rovnice (12) má tvar:

$$h = \frac{q.L^2}{8.(K_1.d_{hb}+K_2.d_r)} + \frac{q.L}{\pi.K_2} \cdot \ln \frac{d_r}{o} \quad (m) \quad (15)$$

$$d_{hb} = 0,5.h \quad (m) \quad (16)$$

V situacích, kdy spodní vrstva propustného pórovitého prostředí má mnohem větší hodnotu nasycené hydraulické vodivosti K_2 než spodní vrstva

pórovitého prostředí K_1 , je potřeba zavést do výpočtu všechny tři složky ustáleného drenážního proudění:

$$h = q \cdot \frac{d_{vb}}{K_1} + \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot K_2 \cdot d_r} + \frac{q \cdot L}{\pi \cdot K_2} \cdot \ln \frac{d_r}{o} \quad (m) \quad (17)$$

3. Plošná trubková drenáž je realizována rýhovou technologií, drenáž se nachází v horní vrstvě o součiniteli hydraulické vodivosti K_1 , pod ní je vrstva s K_2 a $d_r < \frac{1}{4} L$, poté platí (Kulhavý, Kulhavý, 2008):

$$h = q \cdot \frac{d_{vc}}{K_1} + \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot (K_1 \cdot d_{hc1} + K_2 \cdot d_{hc2})} + \frac{q \cdot L}{\pi \cdot K_2} \cdot \ln \frac{a \cdot d_r'}{o} \quad (m) \quad (18)$$

$$\text{kde } d_{hc1} = d_r' + 0,5 \cdot h \quad (m) \quad (19)$$

a konstanta závislá na poměru K_1 a K_2 (nomogram viz. ČSN 75 400)

4. V případě $d_r > \frac{1}{4} L$ převládá radiální složka ustáleného drenážního proudění, horizontální a vertikální složku proudění lze zanedbat. Rovnice pro výpočet zvodnělé výšky vody nad drény má pak tento tvar:

$$h = \frac{q \cdot L}{\pi \cdot K} \cdot \ln \frac{L}{o} \quad (m) \quad (20)$$

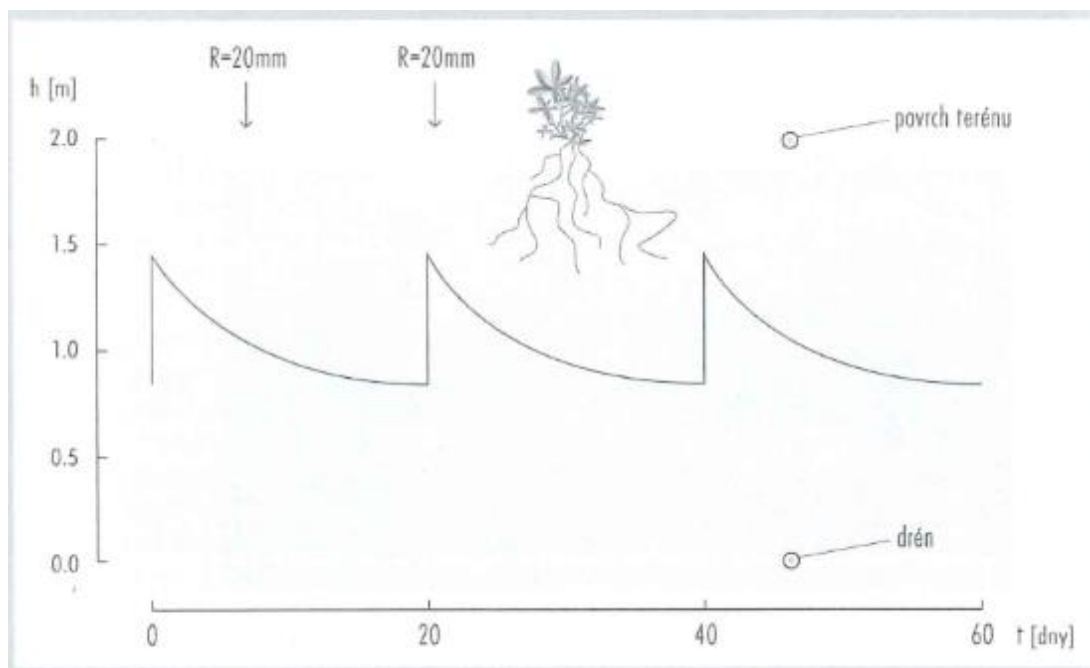
Rovnice L. F. Ernsta (13, 15, 17, 18, 20) mají implicitní charakter s přihlédnutím k výpočtu rozchodu plošné trubkové drenáže, proto lze využít pro určování rozchodu drénů L nomogramy vytvořené W. F. J. Beersem (Beersem, 1965, ČSN 75 42 000).

3.7.2 Výpočet parametrů odvodnění pro neustálené drenážní proudění

V praxi se nejvíce setkáváme s neustáleným drenážním prouděním v nasycené zóně. V těchto podmínkách je dotace vody do půdního prostředí závislá na čase, důsledkem toho není drenážní proudění ustálené. Rovnice neustáleného drenážního proudění jsou založeny na řešení diferenciálních rovnic pro nestacionární proudění. Vychází se z Dupuit – Forchheimer teorie (Dupuit 1848, Forchheimer 1930), stejně jako při výpočtu ustáleného drenážního proudění (Ritzema, 2006).

Na obr. 7 je zobrazen charakteristický příklad neustáleného drenážního proudění v pórovitém nasyceném prostředí. Tato situace může nastat například při závlaze, kdy dojde k okamžité zvýšení úrovně hladiny podzemní vody, drenážní systém

následně zajistí, aby za požadovanou dobu bylo možné opět zavlažovat. K podobné situaci může dojít při po-povodňovém období, kdy po odtoku povrchových vod může být v zasažené lokalitě zvýšená úroveň hladiny podzemní vody. Při využití drenážního systému se může zajistit požadované snížení hladiny podzemní vody za daný čas t (Štibinger, Kulhavý, 2010).



Obr. 7: Schéma časové řady úrovně hladiny podzemní vody za podmínek neustáleného drenážního proudění během závlah (Štibinger, Kulhavý, 2010)

Problematikou neustáleného drenážního proudění v nasycené zóně se podrobně zabývali například Youngs (1999), Nieber a Feddes (1999), Dvořák (1981), Radčenko (1971).

Pro výpočet parametrů odvodnění se v praxi využívají rovnice Glover-Dumma (21), rovnice De Zeeuw-Hellinga (26) a rovnice Kraijenhoffa van de Leur-Maaslanda (Kraijenhoff, 1962; Maasland 1959).

Rovnice Glover- Dumma se využívá k popisu klesání hladiny podzemní vody, po té co je náhle zvýšena v důsledku okamžité dotace vody do prostředí. K této situaci dochází v zavlažovaných oblastech, kde hladina podzemní vody často prudce stoupá v důsledku závlahové vody a poté pomaleji klesá (DE,2013).

Rovnice pro výpočet rozchodu drenážního potrubí v podmínkách nestacionárního drenážního proudění podle Glover- Dumma s návrhovými parametry rozchodem drénů L (m), hloubkou drénů h_d (m), poloměrem trub r_0 (m) má tento tvar (Štibinger, Kulhavý, 2010):

$$L = \left[\frac{\pi^2 \cdot K \cdot H \cdot t}{P_d \cdot \ln 1,16 \cdot \frac{h_0}{h_t}} \right]^{0,5} \quad (\text{m}) \quad (21)$$

$$h_t = \frac{4 \cdot h_0}{\pi} \cdot e^{-at} \quad (\text{m}) \quad (22)$$

$$a = \frac{\pi^2 \cdot K \cdot H}{L^2 \cdot P_d} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (23)$$

$$H = d + \frac{(h_0 + h_t)}{4} \quad (\text{m}) \quad (24)$$

kde P_d efektivní drenážní pórovitost (-),
 K hydraulická nasycená vodivost ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$),
 t doba odtoku (s),
 h_t hladina vody uprostřed sousedních drénů nad drény v čase $t > 0$ (m),
 h_0 hladina vody v čase $t = 0$ nad drény, návrhový (počáteční) stav,
 a drenážní faktor ($1/T$),
 d mocnost Hooghoudtova „ekvivalentní“ nepropustné vrstvy (m),
 H průměrná mocnost zvodnělé vrstvy (m).

Úpravou rovnice Glover- Dumma (21) se získá vztah pro výpočet velikosti drenážního odtoku $Q(t)$ s návrhovými parametry L (m), h_d (m), r_0 (m).

$$Q(t) = h_0 \cdot P_d \cdot \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot e^{-at} \right) \quad (\text{m}) \quad (25)$$

Rovnice De Zeeuw- Hellinga se využívá k popisu kolísání hladiny podzemní vody. De Zeeuw- Helling (1958) předpokládá, nerovnoměrné zavlažování, které je rozděleno do menších časových period (např. dny), ve kterých lze předpokládat dotaci vody do prostředí za konstantní. Změna drenážního odtoku q je úměrná dotaci vody R , koeficient úměrnosti přechází v reakční faktor α (Ritzema, 2006). Tato situace je typická, pro vlhké oblasti s vysokou intenzitou deště.

$$\frac{dq}{dt} = \alpha \cdot (R - q) \quad (26)$$

Úpravou Hooghoudtovy rovnice (9) a rovnice pro výpočet drenážního faktoru (23) můžeme uvažovat $\frac{K.d}{L^2} = \frac{\mu.\alpha}{\pi^2}$. Tento předpoklad upravuje Hooghoudtovu rovnici (9) do tvaru (Ritzema, 2006):

$$q = \frac{8.K.d}{L^2} . h = \frac{8.\mu.\alpha}{\pi^2} . h \approx 0,8 . \mu . \alpha . h \quad (\text{m.d}^{-1}) \quad (27)$$

$$h_t = h_{i-1} . e^{-\alpha.\Delta t} + \frac{R}{0,8.\mu\alpha} (1 - e^{-\alpha\Delta t}) \quad (\text{m}) \quad (28)$$

Tyto rovnice se uplatňují k simulaci drenážního odtoku (27) a k popisu kolísání hladiny podzemní vody (28) na základě kritického rozložení intenzity srážek získaných z historických záznamů (Ritzema, 2006).

3.8 Infiltrace

Při návrhu drenážních systémů je důležitým aspektem určení hodnoty hydraulické vodivosti v porézním prostředí. Určení součinitele hydraulické vodivosti vychází z Darcyho filtračního zákona (29) a Darcy-Buckinghamova zákona (30), v případě neustáleného proudění v nenasyceném prostředí.

$$q = -K_s . \frac{\Delta H}{L} \quad (\text{L.T}^{-1}) \quad (29)$$

kde q objemový tok (Darcyovská rychlost) (L.T^{-1}),

K_s nasycená hydraulická vodivost (L.T^{-1}),

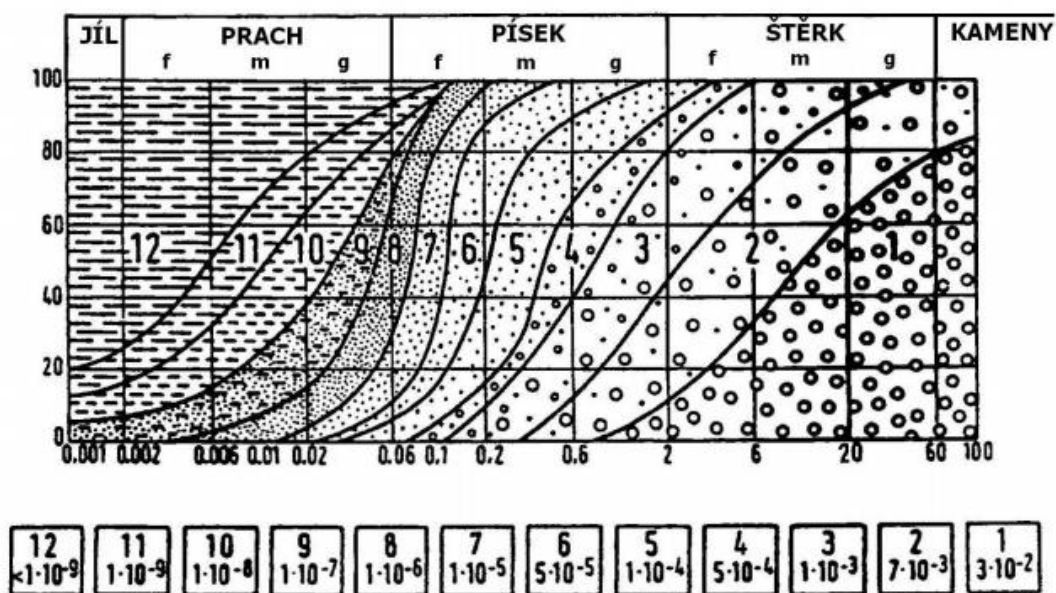
ΔH rozdíl hydraulických výšek (L),

L vzdálenost proudění (L).

$$q = -K(h) . \frac{\Delta H}{L} \quad (\text{L.T}^{-1}) \quad (30)$$

Hodnotu hydraulické vodivosti lze stanovit různými postupy:

- Odečtem z křivky zrnitosti (Obr. 8)
- Empirickými vzorci
- Propustoměry
- Polními metodami



Obr. 8: Vztah zrnitosti zemin a hydraulické vodivosti K (m/s) (Šámáliková, 1996)

Druh zeminy	Hydraulická vodivost stanovená v laboratoři (m.d ⁻¹)	Hydraulická vodivost určená infiltrometrem(m.d ⁻¹)
Sřední a hrubý štěrk	>100	Nelze určit
Jemný štěrk a hrubý písek	1-100	1,5-12
Jemný až prachovitý písek	0,5-10	0,5-1,2
Písčitý prach až prach (silt)	0,1-1	0,15-0,5
Jílovitá hlína s prachem	0,01-0,1	0,15
Jíl, resp. Jíl se s prachem	<0,001	<0,15

Tab. 3: Hydraulická vodivost různých zemin dle ČSN 75 6404

3.8.1 Laboratorní měření

V laboratorních podmínkách se pro určení hydraulické vodivosti využívají tzv. propustoměry, ty dělíme podle typu konstrukce a druhu použití na:

- Propustoměry s konstantním sklonem
- Propustoměry s proměnným sklonem

Tento typ měření se využívá k určení hydraulické vodivosti pro málo propustné, nepropustné a velmi nepropustné zeminy s koeficientem hydraulické vodivosti od 10^{-6} do 10^{-10} m.s⁻¹ (FSV-FS, CEG).

3.8.2 Empirické metody

Empirické metody se využívají pro propustné, nesoudržné a velmi propustné zeminy s hodnotou hydraulické vodivosti mezi 10^{-1} a 10^{-5} m.d⁻¹ (FSV- FS, CEG).

Problematikou určení hodnoty hydraulické vodivosti v závislosti na velikosti půdních částic se zabývali například Alyamani a Sen (1993), Shepherd (189), Tergazhi a Peck (1964), Kozeny (1927) a Hazen (1892).

Rovnice Hazena (31) se obvykle používá pro určení hydraulické vodivosti zemin s velikostí částic od 0,1 mm do 3 mm (Hussain, Nabi, 2016).

$$K = 100 \cdot d_{10}^2 \quad (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (31)$$

kde d_{10} průměr zrna odpovídající v 10% obsahu v křivce zrnitosti.

Terzaghiho (32) rovnice je nejlépe použitelná pro hrubozrnné písky (Cheng, Chen, 2007). Terzaghi bere v potaz i pórovitost prostředí.

$$K = 200 \cdot d_{10}^2 \cdot e^2 \quad (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (32)$$

kde e číslo pórovitosti.

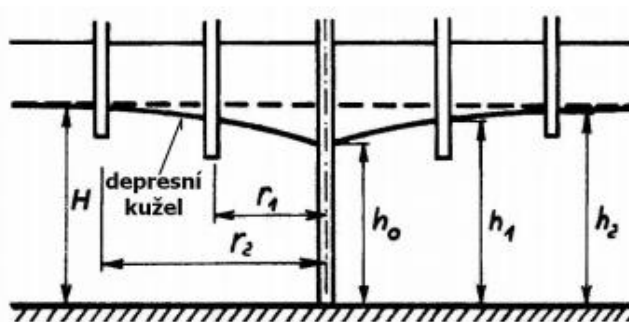
3.8.3 Polní zkoušky

Terénní experimenty se provádějí přímo na lokalitě, kterou chceme odvodňovat. Základní metodou je čerpací zkouška. Pokud se HPV nachází v měřené vrstvě, lze využít jednosondovou metodu. V případech, kdy se HPV nenachází v měřené vrstvě se využívají infiltrační metody, mezi které patří např. dvouválcová metoda, metoda plnění sondy, Porchetova metoda, metoda Guelphského permeamtru. Měření nenasyčené hydraulické vodivosti se provádí pomocí tenzních

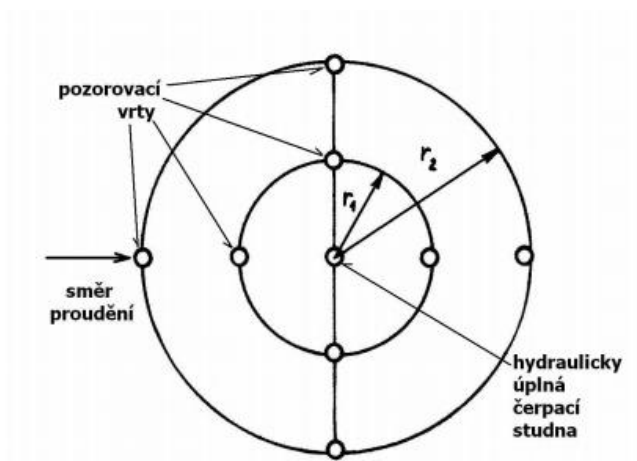
infiltrometrů, mini-diskových podtlakových infiltrometrů nebo hood infiltrometru IL-2700.

3.8.3.1 Čerpací zkouška

Při této metodě je voda čerpána z vrtu (studny), aby se zjistila vydatnost studny, parametry zkoumaného kolektoru a vliv odběru vody na okolí. V praxi se využívá pro správně vystrojené čerpací vrty o průměru 150 – 400 mm, které dosahují na nepropustné podloží. V pozorovacích vrtech umístěných na hydraulickém kříži (obr. 10) se měří depresní křivka. Výška hladiny vody ve vrtech se určí jako průměr kružnic o poloměru r_1 a r_2 (Horák a kol., 2005).



Obr. 9: Schéma čerpací zkoušky (Horák a kol., 2005)



Obr. 10: Schéma hydraulického kříže (Vaníček, 1983)

Hodnota hydraulické vodivosti se vypočítá z rovnic 33, 34. Rovnice 33 se využívá pro artézskou zvědeň, rovnice 34 se využije v případě zvědně s volnou napjatou hladinou.

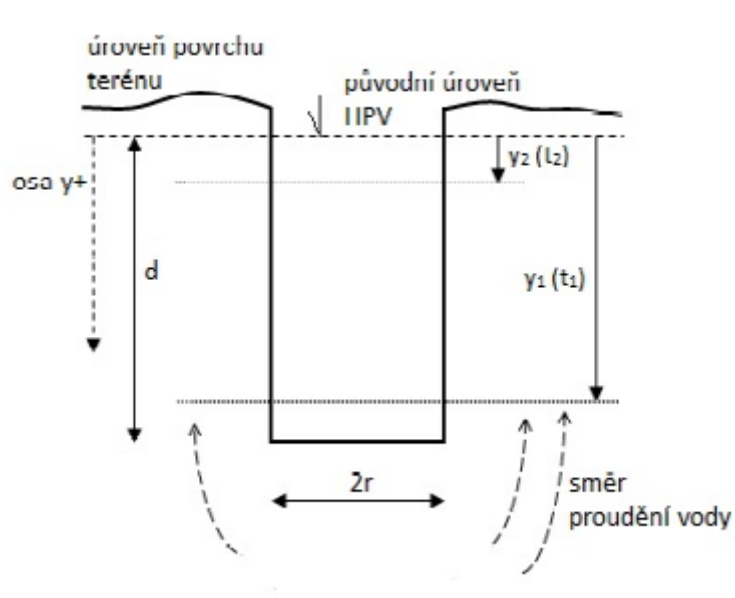
$$K = \frac{Q \cdot \log \frac{r_2}{r_1}}{\pi \cdot 2 \cdot H \cdot (h_2 - h_1)} \quad (\text{M} \cdot \text{T}^{-1}) \quad (33)$$

$$K = \frac{Q \cdot \log \frac{r_2}{r_1}}{\pi \cdot (h_2^2 - h_1^2)} \quad (\text{M} \cdot \text{T}^{-1}) \quad (34)$$

kde Q objem vody čerpané ze studny při ustáleném proudění ($\text{M}^3 \cdot \text{T}^{-1}$),
 h_1, h_2 výška hladiny vody v pozorovacích vrtech (M),
 r_1, r_2 vzdálenost čerpacího vrtu od pozorovacích vrtů (M),
 M výška zvodně (M).

3.8.3.2 Jednosondová metoda (Hooghoudtova metoda)

Tato metoda se využívá v lokalitách s dostupnou hladinou podzemní vody (HPV) v měřené vrstvě. Sonda vrtaná pomocí půdního vrtáku je vyhloubena do hloubky pod HPV. Poté se voda v sondě odčerpá a provádí se měření rychlosti stoupání v sondě do té doby, než se HPV dostane do ustáleného stavu. K měření se obvykle využívá plovák s měřícím pásmem nebo elektrického měřidla, zaznamenávané hodnoty se nejčastěji provádějí v pravidelných časových intervalech (Bařková a kol., 2013).



Obr. 11: Schéma jednosondové metody (Štibinger, Pešková, 2013)

Hodnota nasycené hydraulické vodivosti se vypočítá s využitím aproximace S. B. Hooghoudta. Výpočet hodnoty hydraulické vodivosti K ($\text{M} \cdot \text{T}^{-1}$) se provádí

měřením stoupání HPV v sondě v předem zvolených časových intervalech. Při popisu jevu matematicko-fyzikálním vztahem se předpokládá, že změna objemu v sondě o poloměru r (M) v čase t (M) je rovna změně průtoku dQ (Kovář, 2011).

$$dQ = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{dy}{dt} \quad (\text{M}^3 \cdot \text{T}^{-1}) \quad (35)$$

kde y vertikální osa kladným směrem dolů.

Dále se definuje průsaková plocha S (M^2), která prosakuje stěnami sondy a dnem (Štibinger, Pešková, 2012).

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot d + \pi \cdot r^2 \quad (\text{M}^2) \quad (36)$$

Kde d hloubka sondy (M)

S využitím Darcyho zákona a rovnice kontinuity se změna průtoku dQ ($\text{M}^3 \cdot \text{T}^{-1}$) během zvedání HPV v sondě vyjádří vztahem (Štibinger, 2010):

$$dQ = S \cdot K \cdot I \quad (\text{M}^3 \cdot \text{T}^{-1}) \quad (37)$$

Kde I je hydraulický sklon vyjádřen vztahem $I = \frac{y}{L_d}$ a L_d (M) je délka proudění vyjádřena pomocí Hooghoudtovy aproximace (Luthin, 1957).

$$L_d = \frac{r \cdot d}{0,19} \quad (\text{M}) \quad (38)$$

S využitím rovnic 35 a 37 a následnou úpravou, dostaneme finální rovnici pro přímý výpočet hydraulické vodivosti K ($\text{M} \cdot \text{T}^{-1}$) (Štibinger, 2010).

$$K = \left(\frac{r \cdot n}{0,19} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot d}{r} + 1 \right)^{-1} \cdot \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \ln \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \quad (\text{M} \cdot \text{T}^{-1}) \quad (39)$$

kde y_1, y_2 výška hladiny v měřených časech t_1, t_2 .

Další řešení výpočtu hydraulické vodivosti jednosondové metody (obr. 11) se počítá podle Hooghoudta (1936) (40). Tvarový index C se vypočítá podle Ernsta (1950) (41, 42). Toto řešení se využívá pro vrtané sondy o poloměru 3 – 7 cm, výška vody v sondě v ustáleném stavu je mezi 20 cm až 200 cm, hloubkový interval pro měření nástupu hladiny je $y > 0,2 \cdot H$ (Baťková a kol, 2013).

$$K = C \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (\text{M} \cdot \text{T}^{-1}) \quad (40)$$

V případě, že nepropustná vrstva se nachází ve větší hloubce než $\frac{H}{2}$, má tvarový index dle Ernsta (1950) tvar:

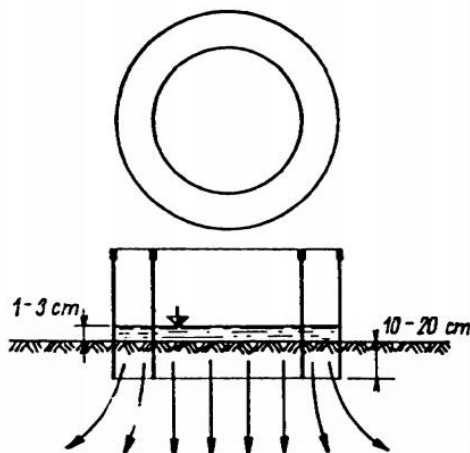
$$C = \frac{4000 \cdot r}{\left(20 + \frac{H}{r}\right) \cdot \left(2 - \frac{y}{H}\right) \cdot y} \quad (41)$$

V případě nepropustné vrstvy nacházející se pod dnem vrtu nebo blízko úrovni dna vrtu má tvarový index dle Ernsta (1950) tvar:

$$C = \frac{3600 \cdot r}{\left(10 + \frac{H}{r}\right) \cdot \left(2 - \frac{y}{H}\right) \cdot y} \quad (42)$$

3.8.3.3 Dvouválcová metoda

Pro tento experiment se využívá dvou soustředěných válců s rozdílnými poloměry. Válců se zarazí několik centimetrů do půdy a do vnitřního válce se umístí děrovaná deska s dvěma měřicími hroty. Tato deska má také za úkol zabránit rozplavení zeminy při doplňování vody pro infiltraci (obr. 12) (Baťková a kol., 2013).



Obr. 12: Dvouválcová metoda (ČVUT-FS, PED, 2017)

Do vnitřního a vnějšího válce se nalije voda do úrovně horního hrotu. Ve vnějším válci se úroveň vody udržuje na konstantní výšce. Ve vnitřním válci se měří čas, za který klesne úroveň hladiny z horního na dolní hrot o známém objemu vody, poté se opět doplní voda na úroveň horního hrotu. Funkce vnějšího válce je minimalizovat horizontální proudění ve vnitřním válci, kde je prováděno měření. Měření infiltrace probíhá do doby, než se hladina ve válci ustálí.

Změřená data se poté mohou vyhodnotit za využití rovnic Phillipa (1957):

$$i(t) = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t \quad (\text{M}) \quad (43)$$

$$v(t) = \frac{1}{2} \cdot S \cdot t^{-0,5} + A \quad (\text{M} \cdot \text{T}^{-1}) \quad (44)$$

Kde $i(t)$ kumulativní infiltrace (M),

S sorptivita ($\text{M} \cdot \text{T}^{-0,5}$),

t čas (T),

A koeficient, charakterizující vliv působení gravitace ($\text{M} \cdot \text{T}^{-1}$),

$v(t)$ intenzita infiltrace ($\text{M} \cdot \text{T}^{-1}$).

V dalším kroku je potřeba nalézt hodnoty parametrů S ($\text{M} \cdot \text{T}^{-0,5}$), A ($\text{M} \cdot \text{T}^{-1}$), aby se křivka vyjádřená rovnicí 43 co nejméně lišila od naměřených dat. Po zjištění neznámých parametrů, lze vypočítat hodnotu hydraulické vodivosti ze vztahu:

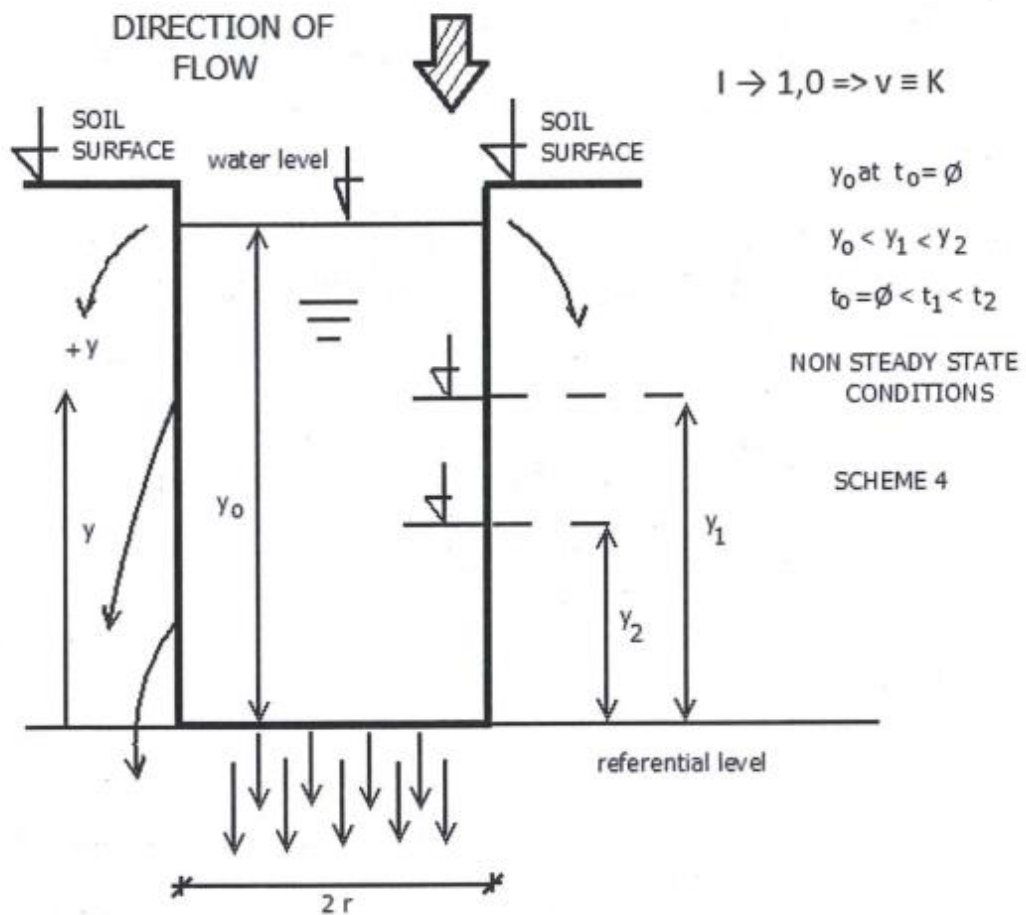
$$K = \frac{A}{m} \quad (\text{M} \cdot \text{T}^{-1}) \quad (45)$$

$$\text{dde } m = \frac{2}{3} = 0,6667$$

3.8.3.4 Metoda plněné sondy

Tento experiment lze využít v nenasycené zóně v homogenním izotropním půdním pórovitém prostředí. Předpokladem k použití této metody je relativně hluboko vyskytující se nepropustné podloží, které nebude ovlivňovat měření (Štibinger, 2012).

Při tomto pokusu se do vrtané sondy o známém poloměru r_0 (M), přidá voda na úroveň y_0 (M) a zaznamenává se pokles hladiny vody v průběhu času t (T).



Obr. 13: Schéma experimentu plnění sondy (Štibinger, 2014)

Změnu průtoku dQ ($M^3 \cdot T^{-1}$) v sondě během experimentu, lze vyjádřit pomocí rovnice 35. Při použití Darcyho zákona, rovnice kontinuity a aproximace jednotkového gradientu hydraulické výšky $I = 1$, lze změnu průtoku dQ ($M^3 \cdot T^{-1}$) během poklesu hladiny v sondě formulovat vztahem (Štibinger, 2014):

$$dQ = -S \cdot K \quad (M^3 \cdot T^{-1}) \quad (46)$$

S využitím rovnic 35,36 a následnou úpravou, dostaneme finální rovnici pro přímý výpočet hydraulické vodivosti K ($M \cdot T^{-1}$) (Štibinger, 2014).

$$K = \left(\frac{r}{2}\right) \cdot (t_2 - t_1)^{-1} \cdot \left(\ln \frac{y_1 + \frac{r}{2}}{y_2 + \frac{r}{2}}\right) \quad (M \cdot T^{-1}) \quad (47)$$

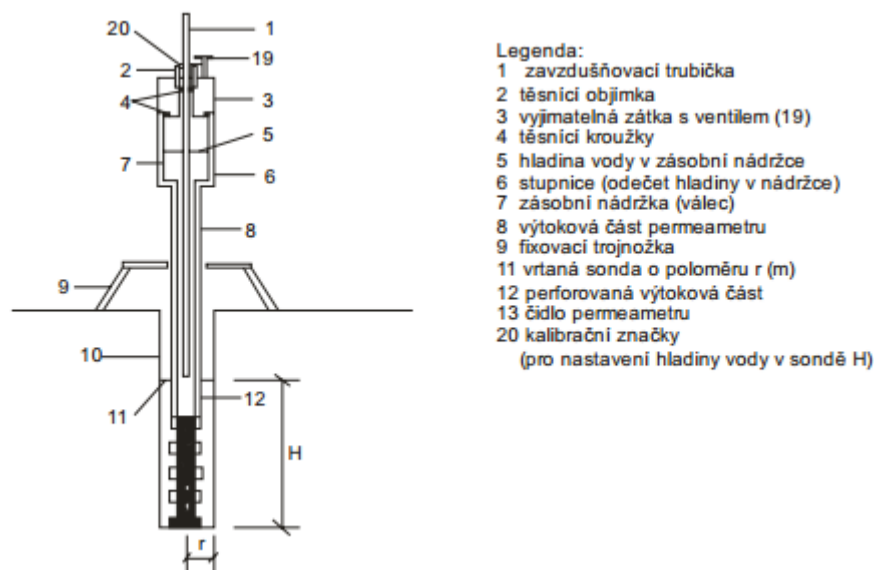
V případě využití obdélníkové vsakovací rýhy o šířce ve dně a (M), délce b (M) a výšce větší než y_0 , platí pro výpočet hydraulické vodivosti K ($M \cdot T^{-1}$) (Štibinger, 2012):

$$K = \left(\frac{c}{t_2 - t_1}\right) \cdot \ln\left(\frac{y_0}{c} + 1\right) \quad (\text{M} \cdot \text{T}^{-1}) \quad (48)$$

kde parametr $C = \frac{a, b}{2(a+b)}$ (M) (49)

3.8.3.5 Guelphský permeometr

Tato metoda dostává v současné době přednost před ostatními metodami, kvůli své přesnosti v terénních podmínkách. Permeometrem lze měřit maximálně do hloubky 8 m.



Obr.14 Schéma Guelphského infiltrometru (Kutílek, 1978)

Principem experimentu je využití Mariotteovy nádoby pro měření ve vrtané válcové sondě. Při infiltraci stěnami a dnem sondy je v sondě udržovaná konstantní výška vody H. Tudíž se jedná o vyhodnocení ustálené infiltrace při konstantní výšce hladiny vody v sondě (Váška a kol., 2010). Tato metoda se měří ve vrtané válcové sondě o průměru 0,04 – 0,1 m. Přístrojem se měří tlak působící vody a infiltrační rychlost.

Výsledky měření lze využít k vyhodnocení hydraulické vodivosti K_{fs} ($\text{M} \cdot \text{T}^{-1}$), k odhadu sorptivity S ($\text{M} \cdot \text{T}^{-0,5}$) a parametru α z Gardnerova exponencionálního vztahu pro určení závislosti nenasyčené hydraulické vodivosti na vlhkostním potenciálu φ (Kameníčková, 2005).

$$k = K_{fs} \cdot \exp(\alpha \cdot \varphi_i) \quad (50)$$

K vyhodnocení měření se používá Richardsova analýza nebo Laplaceova a Gardnerova analýza. Na základě experimentálních a teoretických studií (Kuráž, Doležal, 1997) bylo prokázáno, že Richardsova analýza není v heterogenních půdních podmínkách prakticky použitelná. Jako výsledek Laplaceovy a Gardnerovy analýzy platí pro výpočet hydraulické vodivosti K_{fs} ($M.T^{-1}$) vztah (Vaška, 2000):

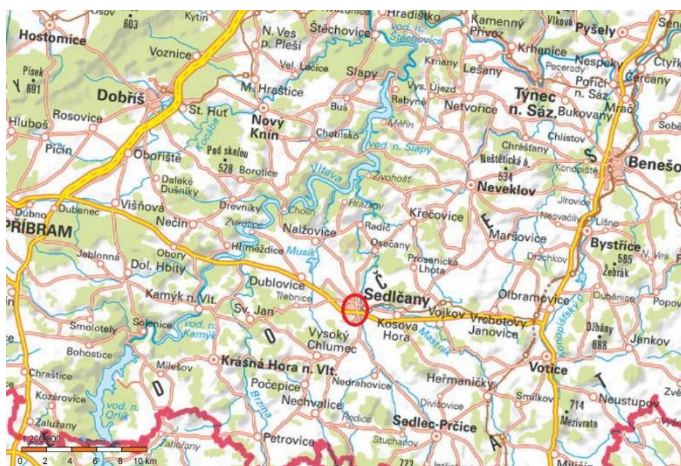
$$K_{fs} = \frac{C.Q}{(2.\pi.H^2 + C.\pi.r^2)} \quad (M.T^{-1}) \quad (51)$$

- Kde
- C součinitel, který je závislý a půdní textuře a poměru $\frac{H}{r}$ (-),
 - Q stacionární hodnota výtoku vody z permeamtru ($M^3.T^{-1}$),
 - r poloměr vrtané sondy (M),
 - H výška vody v sondě (M).

4. Popis a charakteristika zájmového území

4.1 Lokalita Sedlčany

Město Sedlčany se nachází ve Středočeském kraji v okrese Příbram, 30 km východně od Příbrami, 40 km jižně od Prahy a 23 km jihovýchodně od Benešova. Město leží na soutoku dvou vodních toků, Mastníku a Sedleckého potoka.



Obr. 15: Poloha Sedlčan (CUZK, 2016)

Celková rozloha katastrálního území je 3 646 ha. Zeměpisné souřadnice města Sedlčany jsou 49° 39' 38" s. š., 14° 25' 36" v. d. Průměrná nadmořská výška je 321 m n. m.

4.1.1 Geomorfologická charakteristika

Území města Sedlčany patří dle geomorfologického hlediska:

<i>System</i>	Hercynský systém
<i>Provincie</i>	Česká vysočina
<i>Subprovincie</i>	Česko – Moravská soustava
<i>Oblast</i>	Středočeská pahorkatina
<i>Celek</i>	Benešovská pahorkatina
<i>Podcelek</i>	Březnická pahorkatina
<i>Okrsek</i>	Sedlčanská pahorkatina

Oblast Sedlčanska patří z geologického hlediska do soustavy Českého masivu, paleozika a kenozoika. Geologickým regionem spadá území do moldanubika, střeďočeského plutonu. V oblasti se nachází převážně biotit-amfibolický granodiorit (vltavský typ), biotický granodiorit (sedlčanský typ) a v okolí vodního toku Mastník se nachází fluvialní hlíny, jíly, písky až písčité štěrky. Tato krajina se využívá jako lesnickozemědělská.

4.1.2 Klimatické charakteristiky oblasti

Lokalita se nachází v nadmořské výšce 335 m n. m. Zájmové území leží podle Atlasu podnebí Česka (2007) v klimatické oblasti MT11 podnebí mírně teplé, mírně suché, s mírnou zimou. Průměrná roční teplota 7 - 8°C, průměrný roční úhrn srážek 500 – 550 mm.

	MT11
Počet letních dní	40 - 50
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	140 – 160
Počet mrazových dnů	110 – 130
Počet ledových dnů	30 – 40
Průměrná teplota v lednu	-2 - -3 °C
Průměrná teplota v červenci	17 – 18 °C
Průměrná teplota v dubnu	7 – 8 °C
Průměrná teplota v říjnu	7 – 8 °C
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90 – 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období	350 – 400 mm
Srážkový úhrn v zimním období	200 – 250 mm
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	50 – 60
Počet dnů zatažených	120 -150
Počet dnů jasných	40 - 50

Tab. 4: Klimatické charakteristiky oblasti MT11 (CHMI, 2007)

Průměrné roční srážky pro meteorologickou stanici Nedrahovice-Radíč, která se nachází 3 km jižně od Sedlčan, jsou 625 mm.

4.1.3 Hydrologické charakteristiky

Lokalita se nachází v povodí Vltavy, konkrétně na levém břehu vodního toku Mastníku (TOK_ID 124060000100), který je pravostranným přítokem Vltavy, do které se vlévá ve vodní nádrži Slapy u obce Živohošť na jejím 105,13 ř. km

v nadmořské výšce 215,41 m. Číslo hydrologického pořadí Mastníku je 1-08-05-047. Celková plocha povodí je 331,53 km².

Řešené území leží na levém břehu vodního toku Mastník vzdáleném cca 70 m v nejbližším místě.

Vodní tok Mastník je významným vodním tokem s funkcí vodárenského odběru podle vyhlášky č. 178/2012 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků.

4.2 Řešená lokalita

4.2.1 Řešené území

Řešené území se nachází ve městě Sedlčany nedaleko vodního toku Mastník. V současnosti jsou pozemky využívány jako softbalové hřiště místním týmem SK Pegas Sedlčany. V minulých letech byla položena provizorní trubková drenáž do míst s největšími loužemi (příloha č. 13). Celková plocha softbalového hřiště je 7 492 m², odvodňovaná plocha je 2150 m².

Severně od hřiště se nachází budova tělocvičny Gymnázia a střední odborné školy ekonomické (GaSoše). Západní část hřiště je ohraničena opěrnou zdí, která umožnila výstavbu rodinných budov ve svažitém území. V jižní části lokality se do 2. poloviny 20. století nacházel mlýn, v současnosti se v místech nacházejí jeho ruiny a zbytek území je zarostlý keři a několika stromy. Východní část hřiště je ohraničena silniční komunikací, za kterou se nachází travnatá plocha využívaná jako tréninkové hřiště místního fotbalového klubu.

V příloze č. 1 se nachází mapa zobrazující řešené území v širším kontextu, v příloze č. 2 je ortofoto území, v příloze č. 4 se nachází katastrální mapa a v příloze č. 5 je zakreslena stávající poloha drenážních trubek a vsakovací jímky.

Pozemek se nachází blízko záplavového území vodního toku Mastník (příloha č. 3) a část řešeného území má problém s vysokou hladinou podzemní vody.

4.2.2 BPEJ pozemku

Podle údajů u katastru nemovitostí je řešené území vedeno jako trvalý travní porost a zahrady. Na řešeném území se nachází dvě bonitované půdně ekologické jednotky 5.58.00 a 5.29.11.

BPEJ 5.58.00 spadá do 2. třídy ochrany zemědělského půdního fondu, průměrná cena je 7,87 Kč za m² dle vyhlášky 441/2013 Sb. Bodová výnosnost této půdy je číselně vyjádřena na stupnici od 0 do 100 hodnotou 44 (VÚMOP, BPEJ, 2015).

BPEJ 5.29.11 spadá do 2. třídy ochrany zemědělského půdního fondu, průměrná cena je 7,79 Kč za m² dle vyhlášky 441/2013 Sb. Bodová výnosnost této půdy je číselně vyjádřena na stupnici od 0 do 100 hodnotou 44 (VÚMOP, BPEJ, 2015).

4.2.3 Hlavní půdní jednotka

Pro hlavní půdní jednotku 29 je hlavním genetickým půdním představitelem kambizem modální eu- až mesobazická (KAm^e, KAm^a). Reliéf se skládá ze svahů i rovin. Hloubka půdy je charakterizována jako středně hluboká až hluboká. Mocnost ornice je mělká až středně hluboká. Struktura půdy je drobtovitá, hlubší horizonty jsou bezstrukturní. Skeletovitost je bez skeletu až středně skeletovitá. Půdy jsou středně těžké. Pórovitost je 43 – 48 (% obj.), to znamená mírně až středně pórovitá půda. Půda je kyselá až slabě kyselá s pH 4,5 – 6,5. Stupeň sorpčního nasycení je 30 – 75% to znamená silně nenasycená až slabě nasycená. Půda je středně náchylná k acidifikaci a náchylnost k utužení je slabá až střední. Půda je středně náchylná k erozi. Hlavní půdní jednotka patří do hydrologické skupiny půd B, s infiltrací 0,09 mm.min⁻¹ (VÚMOP, BPEJ, 2015).

Pro hlavní půdní jednotku 58 jsou hlavními genetickými půdními představiteli fluvizem glejová (FLq) a fluvizem oglejená (FLg). Reliéf se skládá z rovin a místních terénních depresí. Hloubka půdy je charakterizována jako hluboká až velmi hluboká. Mocnost ornice je středně hluboká až hluboká (humózní hydrogenní horizont). Struktura půdy je drobtovitá - náznakově drobtovitá, další horizonty jsou bezstrukturní. Skeletovitost je bez skeletu až slabě skeletovitá. Vláhové poměry jsou nepříznivé, hladina spodní vody kolísá kolem 1 m. Půdy jsou lehčí středně těžké až středně těžké. Pórovitost je 41 – 45 (% obj.), to znamená mírně pórovitá půda. Půda je slabě kyselá až kyselá s pH 4,5– 6,5, ojediněle je neutrální s pH 6,5- 7. Stupeň

sorpčního nasycení je 50 – 90 % to znamená slabě nasycená až nasycená. Půda je slabě až středně náchylná k acidifikaci a náchylnost k utužení je výrazná až střední. Půda je silně náchylná k erozi. Hlavní půdní jednotka patří do hydrologické skupiny půd C, s infiltrací $0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (VÚMOP, BPEJ, 2015).

4.2.4 Pedologické charakteristiky řešeného území

V blízkém okolí řešeného území byli provedeny geologické vrty (příloha č. 6). Vrt A se nachází 80 m jihovýchodně o pozemku, vrt B se nachází 60 m severně od hřiště. Mapa vrtů se nachází na mapě v příloze č. 6.

Přesná poloha vrtu A (ČGS A, 2007) je $X= 1090753,24$ $Y= 748777,15$, v nadmořské výšce 337,08 m. Hloubka vrtu byla 13,5 m. Svrchní vrstvu tvoří hlína, pod kterou se nachází navážka, štěrk, jíl, písek, štěrk a granodiorit. Hladina podzemní vody byla zjištěna v hloubce 1,67 m pod terénem.

Přesná poloha vrtu B (ČGS B, 2007) je $X= 1090529,0$ $Y= 748884,4$, v nadmořské výšce 365,5 m. Hloubka vrtu byla 11,0 m. Svrchní vrstvu tvoří navážka, pod kterou se nachází hlína, písek a granodiorit. Hladina podzemní vody byla zjištěna v hloubce 1,80 m pod terénem.

Přesná poloha vrtu C (Mao, 2004) je $X= 1090572,9$ $Y= 748869,3$, v nadmořské výšce 365,5 m. Hloubka vrtu byla 6,7 m. Svrchní vrstvu tvoří navážka, pod kterou se nachází písek, jíl, štěrk a eluvium. Hladina podzemní vody byla zjištěna v hloubce 1,30 m pod terénem.

Na lokalitě byly také odebrány půdní vzorky sondýrkou do hloubky 1 m pod terénem. Byli provedeny 2 odběry vzorků. Ze vzorku č. 2 byla zjištěna zvýšená hladina podzemní vody, která se nacházela 0,5 m pod terénem.

V příloze č. 7 jsou výsledky z inženýrsko- geologického průzkumu pro jednotlivé vrty. Fotodokumentace z realizace odvodnění se nachází v příloze č. 16.

5. Návod k použití kalkulátoru

Drenážní kalkulátor je k dispozici ve formě autorizovaného software na Internetu na adrese www.hydrmeliorace.cz ve složce Programy. Po registrování a souhlasu s licenčními podmínkami, lze bezplatně a na časově neomezeně využívat drenážní kalkulátor.

Podle schématu, který se nachází v příloze č. 8, se provádí volba vhodného výpočtového postupu, odpovídajícího co nejlépe podmínkám využití výsledku.

Pro všechny výpočtová schémata se využívá podobný zadávací formulář výpočtu (Štibinger, Kulhavý, 2010):

- Název metody výpočtu s uvedením jména autora,
- Základní podmínky uplatnění metody výpočtu,
- Grafické schéma odvodňovaného profilu pro zobrazení vstupních a výstupních hodnot řešení,
- Formulář pro zadání vstupních dat, který je přizpůsoben metodě výpočtu
- Tabulka odvozených parametrů, hlášení o provedených kontrolách zadání, případně chybová hlášení, dílčí mezivýsledky a dílčí tabulky,
- Tabulka konečných výsledků výpočtu,
- Grafické znázornění zadání/ výsledku ve formě x-y grafu příčného profilu odvodňovaného prostředí s vyznačením: polohy drénů, rozchod drénů, hloubka nepropustné vrstvy, rozhraní půdních vrstev, tvar depresní křivky (u metody výpočtu dle Hooghoudta a Ernsta), resp. pořadnice drenážního odtoku a úrovně HPV jako funkce času (u metody Glover- Dumma), resp. zadané denní úhrny srážek a vypočtené pořadnice úrovní HPV i velikosti denních odtokových výšek drenážního odtoku (metoda De Zeeuw- Hellinga),
- Upřesňující podmínky pro použití metody výpočtu,
- Odkaz na literární zdroj,
- Odkaz na zobrazení grafu závislosti q-L v samostatném okně,
- Tlačítko pro zahájení výpočtu,
- Tlačítko pro návrat na úvodní stránku se schématem kalkulátoru.

6. Metodika

6.1 Účel a způsob využívání pozemku

V současnosti je pozemek využíván jako softbalové hřiště pro místní klub Pegas Sedlčany. V roce 2013 byla položena drenáž do míst s největšími loužemi ve vnějším poli, která je svedena do jímky. Tento stav je pouze přechodný.

6.2 Terénní průzkum

V rámci terénního průzkumu bylo potřeba území projít, zmapovat a pořídit fotodokumentaci. Průzkum byl proveden před vyhodnocením zájmové lokality.

6.3 Stanovení příčiny zamokření

Před vybudováním zařízení je nutné stanovit příčiny zamokření. Z tohoto důvodu byl na zájmové lokalitě proveden hydropedologický průzkum.

6.3.1 Hydropedologický průzkum

Na lokalitě bylo provedeno měření hydraulické vodivosti za pomoci metody plněné sondy. Princip metody je popsán v kapitole 4.8.3.3, postup měření a výsledky jsou uvedeny v kapitole 7. Výsledkem je hodnota hydraulické vodivosti K ($M.T^{-1}$).

6.4 Výpočty

Výpočet byl proveden pro dvě metody výpočtu rozchodu drénů podle rovnic S. B. Hooghaudta a F. L. Ernsta s různými vstupními parametry. Dále byl vypočten objem akumulární jímky s vsakovacími drény pro různé velikosti poloměru betonové skruže a infiltračního drénu.

7. Stanovení hydraulické vodivosti terénním vsakovacím experimentem

Pro určení hydraulické vodivosti byla zvolena metoda plněné sondy (kap. 8.3.). Tento experiment byl proveden v místě vyznačeném v příloze č. 6.

Experiment byl proveden 26. 2. 2017 v 11:30, teplota vzduchu byla 5°C. Vrtaná sonda byla vyhloubena do hloubky 0,35 m vrtákem o průměru 0,1 m. Voda byla naplněna 0,05 m pod okraj terénu, proto je ve vzorci počítáno s hloubkou $y_0=0,3$ m. Celkový čas t_2 , za který se voda vsákla do úrovně 0,02 m od dna sondy byl 1 hod 4 min (tab. 3).

V příloze č. 16 se nacházejí fotografie z terénního experimentu.

Pro výpočet nasycené hydraulické vodivosti K ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) byla použita rovnice 52.

$$K = \left(\frac{r}{2}\right) \cdot (t_2 - t_1)^{-1} \cdot \left(\ln \frac{y_1 + \frac{r}{2}}{y_2 + \frac{r}{2}}\right) \quad (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \quad (52)$$

$$r = 0,05 \text{ m}$$

$$t_1 = 0 \text{ s}$$

$$t_2 = 3860 \text{ s}$$

$$y_1 = 0,3 \text{ m}$$

$$y_2 = 0,02$$

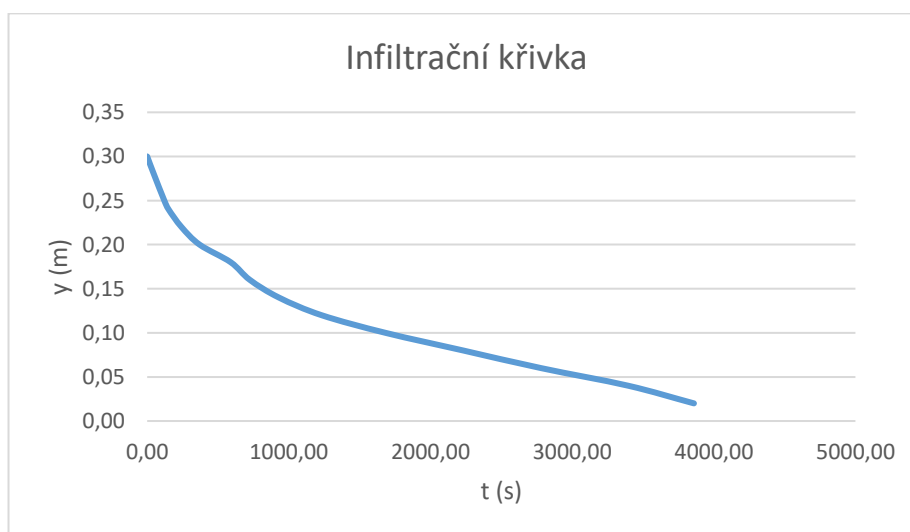
$$K = \left(\frac{0,05}{2}\right) \cdot (3860 - 0)^{-1} \cdot \left(\ln \frac{0,3 + \frac{0,05}{2}}{0,02 + \frac{0,05}{2}}\right) \quad (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \quad (53)$$

$$K = 1,28 \cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$K = 1,16 \text{ m}\cdot\text{den}^{-1}$$

y (m)	t(min)	t(s)
0,30	0,00	0,00
0,28	0,78	47,00
0,25	2,02	121,00
0,24	2,52	151,00
0,22	4,03	242,00
0,20	6,17	370,00
0,18	9,83	590,00
0,16	12,08	725,00
0,14	15,50	930,00
0,12	20,52	1231,00
0,10	28,03	1682,00
0,08	37,17	2230,00
0,06	46,33	2780,00
0,04	56,60	3396,00
0,02	64,33	3860,00

Tab. 5: Naměřená data



Obr. č. 16: Graf infiltrační křivky z naměřených dat

8. Příčiny zamokření

Hřiště se nachází na bývalém mlýnském rybníku, zaneseném jílovitými naplaveninami. HPV se dříve nacházela 0,2 m pod terénem, při dešti vystupovala nad úroveň terénu. Po položení drenážních trubek se hladina vody snížila do hloubky 0,4 m pod terénem.

HPV ve zkoumaných vrtech se nacházela v A: 1,67 m, B: 1,8 m, C: 1,3 m pod terénem. Při výstavbě víceúčelové haly GaSoše Sedlčany se musel vybudovat drenážní systém pro odvod spodních vod. Hodnota drenážního odtoku byla stanovena $3,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ pro plochu $1\,500 \text{ m}^2$, což je $17,86 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$.

Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek v oblasti je 625 mm.

V příloze č. 16 se nacházejí fotografie výšky hladiny podzemní v průběhu realizace odvodnění.

9. Výpočet, výsledky

Pro výpočet rozchodů drénů při ustáleném proudění jsem použil drenážní kalkulátor (kap. 5). Jako metody pro výpočet jsem zvolil Hooghaudtovu rovnici a Ernstovu rovnici.

Při výpočtech se vycházelo z terénního experimentu určení hydraulické vodivosti K ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) (kap. 7), z geologické průzkumu z vrtu C (Příloha č. 6), ČSN 72 1020 Klasifikace zemin pro dopravní stavby pro hodnotu K ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) hlinitého písku, projektová dokumentace tělocvičny gymnázia a střední odborné ekonomické školy, z ČSN 75 4000 tabulka A.5 Optimální hloubky hladin podzemní vody.

Ve všech situacích jsem předpokládal:

- stejnou hloubku uložení nepropustné vrstvy NEP, $Z = 2,2$ m,
- hloubku uložení drénů $h_d = -1,0$ m,
- poloměr světlosti drénů $r_0 = 0,02$ m,
- maximální dovolenou úroveň HPV $h_{\text{MAX}} = -0,75$ m
- drenážní odtok $q = 19,57$ ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$).

Maximální dovolená úroveň HPV byla určena z ČSN 75 4000 pro trvalý travní porost.

Celkový drenážní odtok q ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) se určil jako součet hodnot průměrného denního úhrnu srážek R ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) a q_H drenážního odtoku určeného při výstavbě víceúčelové haly.

$$R = 1,71 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$$

$$q_H = 17,86 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$$

$$q = q_H + R \quad (\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}) \quad (54)$$

Pomocí Hooghaudtovy rovnice jsem vypočetl 4 varianty rozchodu drénů L (m). V první případě jsem zvolil hydraulickou vodivost K ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) z terénního experimentu, v druhé a třetí variantě jsem snížil K ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) z důvodu zajištění maximální dovolené HPV, ve čtvrté variantě jsem použil K ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) z ČSN 75 4000 pro hlinitý písek. V tabulce č. 6 se nachází výsledné rozchody drénů pro jednotlivé varianty. V příloze č. 9 jsou vstupní a odvozená data jednotlivých variant č. 1- 4.

Pomocí Ernstovy rovnice jsem vypočetl 4 varianty rozchodu drénů L (m), kde K_1 ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) se nachází v horní vrstvě a K_2 ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$). V první variantě jsem zvolil K_1 ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) zjištěnou terénním experimentu a K ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) z tabulkových hodnot pro hlinitý písek. V druhé a třetí jsem zmenšil K_1 ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) z důvodu bezpečného zajištění snížení HPV. Ve čtvrté variantě jsem zvolil menší K_2 ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$). Pro všechny varianty jsem zvolil stejnou hloubku uložení horní vrstvy D_1 (m), šířku drenážní rýhy b (m) a výšku drenážního obsypu ob (m). V tabulce č. 6 se nachází výsledné rozchody drénů pro jednotlivé varianty. V příloze č. 9 jsou vstupní a odvozená data pro varianty č. 5- 8.

Varianta	Rovnice	Hydraulická vodivost K (K_1) ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	Hydraulická vodivost K_2 ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	Rozchod drénů L (m)
1	Hooghoudt	1,16	-	9,59
2	Hooghoudt	1,10	-	9,26
3	Hooghoudt	1,00	-	8,71
4	Hooghoudt	0,83	-	7,71
5	Ernst	1,16	0,83	7,59
6	Erns	1,10	0,83	7,6
7	Ernst	1,00	0,83	7,62
8	Ernst	1,16	0,60	5,9

Tabulka 6: Výsledné rozchody drénů pro jednotlivé parametry

Odvodňovaná ploch o celkové ploše $A= 2150 \text{ m}^2$ bude odvodňována svodnými drény do sběrných DN 50, které budou odvádět drenážní vodu do sběrné jímky o objemu V (m^3). Na dně jímky se bude nacházet vsakovací vrt o poloměru r_d a hloubky h_d (v závislosti na hloubce jímky a propustnější půdní vrstvy), ve kterém se bude nacházet štěrk pro zlepšení infiltraci do půdy, v důsledku bude docházet i k navýšení zásoby podzemních vod. Štěrk se bude nacházet 0,2 m nad dnem jímky,

z důvodu zamezení zanášení dna. Jímka bude opatřena bezpečnostním přelivem, který v případě naplnění nádrže odvede vodu do kanalizace nacházející se v těsné blízkosti.

V příloze č. 10 se nacházejí různé varianty objemu jímky pro různou hloubku jímky h_j (m), poloměr jímky r_j (m) a zasakovacího drénu r_d (m). V tabulce se dále nachází čas t_j (s) potřebný k naplnění nádrže a čas t_d (m) potřebný k infiltraci vody z naplněné nádrže do půdního prostředí. Předpokládá se hodnota hydraulické vodivosti K_v (m/s), která byla odhadnuta na základě půdního druhu (šterk s příměsí hrubozrnného písku) určeného z geologického průzkumu. Tato vrstva leží v hloubce v rozmezí 6,7 m – 10,0 m pod terénem. V tabulce se nachází navržená hloubka vsakovacího drénu h_d (m) ode dna studny.

Vstupní hodnoty pro výpočet objemu jímky:

- $h_j = 4 - 6$ (m)
- $r_j = 0,5; 0,75$ (m)
- $r_d = 0,2 - 0,75$ (m)
- $A = 2147,2$ m²

Pro určení objemu jímky a času odtoku byli použity tyto vzorce:

- Velikost drenážního přítoku

$$Q = A \cdot q \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (55)$$

- Plocha dna jímky

$$S = \pi \cdot r_j^2 \quad (\text{m}^2) \quad (56)$$

- Objem jímky

$$V = S \cdot h_j \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (57)$$

- Čas naplnění nádrže

$$t = \frac{V}{Q} \quad (\text{s}) \quad (58)$$

- Čas infiltrace vody

$$t = \frac{V}{S_d \cdot K_v} \quad (\text{s}) \quad (59)$$

kde S_d plocha infiltračního drénu.

Drenážní odtok (přítok do jámky) byl stanoven $4,86 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

V příloze č. 11 a č. 12 se nachází varianty uložení drenážního potrubí. Schéma jámky je zakresleno v příloze č. 13. V příloze č. 14 se nachází tabulka se změřenými délkami potrubí a vypočtený objem zeminy, která by se musela vytěžit při použití rozvodu drénů vypočteného pomocí Ernstovy rovnice. Předpokládala se obdélníková drenážní rýha o šířce 0,25 m a průměrné hloubce 1,0 m.

10. Diskuze

Při návrhu odvodňovacího systému jsem vycházel z dat, které jsem naměřil v terénu a z ČSN 75 4000 Hydromeliorace. Na začátku jsem provedl infiltrační zkoušku metodou plněné sondy. Výsledky a průběh měření je popsán v kap. 7, kde se nachází vypočtená hodnota hydraulické vodivosti. Z této hodnoty jsem vycházel při výpočtu rozchodu drénů, využil jsem rovnice S. B. Hooghaudta a F. L. Ernsta. Celkem jsem spočítal 8 variant rozchodu drénů, pro každou rovnicí 4 s různými hodnotami hydraulické vodivosti.

Vyhotovil jsem 2 varianty uložení drenážního systému a podélný profil pro variantu č. 1 s rozchodem drénů $L = 9,59$ m. V ostatních případech by se lišil pouze rozchod sběrných drénů, svodný drén by se nacházel na stejném místě. Pro jednotlivé varianty jsem spočítal celkovou délku svodného a sběrných drénů. Dále jsem vypočetl objem akumulární studny pro různé vstupní parametry- poloměr a hloubku, návrhové parametry vsakovacího drénu- hloubku a poloměr. Celkovou délku potrubí jsem vypočetl pro 2 varianty uložení drénů o různém rozchodu, dále jsem spočítal objem vytěžené zeminy.

V případě volby výšky retenčního prostoru nádrže 6,2 m se nebude realizovat vsakovací drén z důvodu propustnějšího podloží, které se nachází v hloubce 6,7 m pod terénem. Dno jímky by se nacházelo 7,88 m pod terénem.

V případě zvolení výšky retenčního prostoru 5,2 je hloubka dna 6,88 m pod terénem. Vsakovací drén doporučuji vyhloubit 0,2 m pod úroveň dna jímky, aby zlepšil infiltraci.

Pro akumulární jímku s retenčním prostorem 4,2 m jsem doporučil hloubku vsakovacího drénu 0,9 m od úrovně dna.

Poloměr světlosti drénu $r = 0,02$ m jsem určil z důvodu zrychlení průtoku vody na $0,39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato rychlost by měla zamezit usazování půdních částic v potrubí.

Proč byla určena hodnota hydraulické vodivosti pomocí metody plněné sondy? Na tomto místě jsem předpokládal nepropustné podloží v dostatečné hloubce, aby neovlivňovalo měření. Také jsem předpokládal podobné složení půdy na celém pozemku. V horních vrstvách se obvykle nacházela navážka z minulých dob.

Pokud by se realizovala trubková drenáž s rozchodem drénu vypočtených podle rovnice S. B. Hooghadta, uložení potrubí by se mělo realizovat bezvýkopovou technologií např. technologie pluhování.

Odvodňovací systém s rozchodem drénů vypočtený dle rovnice F. L. Ernsta počítá s dvěma odlišnými K (mm.d^{-1}). Dále se počítá se štěrkovým obsypem potrubí o mocnosti 0,3 m, který omezí zanášení potrubí jemnými částicemi půdy a zlepší infiltrační schopnost prostředí.

Voda z akumulární nádrže se bude využívat pro závlahy, která bude prováděna pomocí přenosných rozstřikovačů. Voda bude čerpána pomocí ponorného čerpadla nebo odstředivého čerpadla. Ponorné čerpadla musí být opatřeno jištěním proti běhu na suchu a sacím košem, který zamezí vniknutí větších částic země do závlahového systému. V případě použití odstředivého čerpadla by se muselo ještě vybudovat stabilní potrubí se sacím košem do jímacího objektu, kterým bude voda přiváděna do závlahového systému. Dále bych doporučil vystavět objekt, který by chránil čerpadlo před klimatickými vlivy, a i před odcizením.

11. Závěr

Tato diplomová práce měla za cíl popsat vybranou lokalitu s popisem přírodních podmínek, mezi které se řadí charakteristiky hydrologické, geomorfologické a klimatické, a které mohou mít vliv na zamokření pozemku. Následně navrhnout částečné odvodnění softbalového hřiště v Sedlčanech pomocí různých metod výpočtů. Byly zvoleny rovnice S. B. Hooghaudta a F. L. Ernsta. Pro jednotlivé varianty byly navrženy dvě uložení drenážního systému a dále vypočtena celková délka drenážního potrubí.

K výpočtu rozchodu drénu bylo nutné určit hodnotu hydraulické vodivosti K . Tato hodnota byla zjištěna terénním experimentem metodou plněné sondy na řešené lokalitě.

Dále bylo cílem navrhnout akumulární jímku s vsakovacím drénem, který má za úkol zvýšit zásoby podzemní vody v lokalitě. Jímka se má využívat pro potřeby závlah pozemku. Přebytečná voda by se odváděla pomocí bezpečnostního přelivu do kanalizace, která se nachází v těsné blízkosti.

Na řešené lokalitě doporučuji využít rozchodu drénů podle F. L. Ernsta, který počítá s různými hydraulickými vodivostmi a obsypem drenážního potrubí. Pro zvýšení bezpečnosti fungování drenážního systému doporučuji výsledek z varianty výpočtu č. 6, kde je snížena hodnota K ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$).

Doporučená velikost jímky je vnitřní poloměr skruže 1500 mm, výška retenčního prostoru 5,2 m, celková hloubka 6,88 m. Celkový retenční objem je $9,19 \text{ m}^3$.

12. Přehled literatury a použitých zdrojů

ALYAMANI, M. S., SEN, Z., 1993. Determination of Hydraulic Conductivity from Grain-Size Distribution Curves. *Ground Water*, 31.

BARTUŠKOVÁ, Ivana, RYBNÍKÁŘ, Jiří, ŠÁLEK, Jan, 1985. *Vodohospodářské inženýrství*. 5. přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

BÁŤKOVÁ, K., MATULA, S., MIHÁLIKOVÁ, M. 2013. *Multimediální učebnice hydroopedologických terénních měření*. 2. doplněné vydání (online) [cit. 2017.14.03]. Česká verze. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. Neustránkováno. Dostupné z: <<http://hydropedologie.agrobiologie.cz>>.

BEERS, W. F. J. van, 1965. Some nomographs for the calculation of drain spacings. Wageningen: H. Veenman. *Bulletin (International Institute for Land Reclamation and Improvement)*, 8.

BHATTACHARYA A. K., MICHAEL A. M., 2006. *Land Drainage: Principles, Methods and Applications*. New Delhi: Vikas publishing house.

CEDERGRENN, Harry R., 1977. *Seepage, Drainage and Flow Nets*. 2. edit. New York: John Wiley.

CUZK, 2016: *Mapový portál Marushka* (online) [cit. 2017.18.03], dostupné z <<http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=746533&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>>.

ČGS, 2012: Česká geologická služba: *Půdní mapa 1:50 000*, (online) [cit. 2017.19.03], dostupné z <http://mapy.geology.cz/geocr_25/?center=-748617,-1090302&scale=15000>.

ČGS A, 2017: Česká geologická služba- *Výpis geologické dokumentace objektu HV-103 (365496) Sedlčany*. Geoindutria, závod Jihlava, 1983.

ČGS B, 2017: Česká geologická služba- *Výpis geologické dokumentace objektu V-2 (720677) Sedlčany*. *Vodní zdroje EKOMONITOR*, s.r.o., Chrudim, 2012.

ČHMI, Praha. *Atlas podnebí česka 2007*. Olomouc: Universita Palackého.

- ČSN 75 4000 Hydromeliorace. Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním.
- ČSN EN 12566-1 (756404) Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel.
- ČVUT-FS, 2017: Hydraulika podzemní vody – Úvod (online) [cit. 2017.17.02], dostupné z <http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/předměty/VK1/odvodnění/prednasky/odvodnovaci_stavby_VK1_4_el.pdf>.
- ČVUT-FS, CEG, 2014: Hydraulická vodivost (online) [cit. 2017.12.03], dostupné z <<https://ceg.fsv.cvut.cz/vyuka/podklady-pro-studenty/definice-parametru/propustnost>>.
- ČVUT-FS, PED, 2017: Pedologie-Přednáška 8: Proudění vody v půdě, hydraulická vodivost (online)[cit. 2017.16.03], dostupné z <http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/předměty/PED/PrednaskyPED/K143PEDO_08_Hydraulicka_vodivost.pdf>.
- ČVUT-VK1: Stanovení návrhových parametrů drenáže hydraulickým výpočtem (online) [cit. 2017.14.03], dostupné z <http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/předměty/VK1/odvodnění/prednasky/odvodnovaci_stavby_VK1_4_el.pdf>.
- DE, 2013: Lesson 7 Unsteady-State Flow to Drains. e-Krishi Shiksha (online) [cit. 2017.14.03] Dostupné z: <<http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=15>>.
- DE ZEEUW, HELLING J.W., 1958. Neerslag en afvoer. Landbouwkundig Tijdschrift. 70, pp. 405-422, (in Dutch with English summary).
- DUPUIT, Jules, 1848. Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes. Paris: Carilian-Gœury et V. Dalmont.
- DVOŘÁK, P., 1981. Podklady pro navrhování odvodňovacích staveb. Praha: Fsv ČVUT.
- ERNST, L. F., 1950. A new formula for the calculation of the permeability factor with the auger hole method. T.N.O. Groningen.

- ERNST L.F., 1954. Het berekenen van stationnaire grondwaterstromingen, welke in een verticaal vlak afgebeeld kunnen worden. Groningen : Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.
- FORCHHEIMER, P., 1930. Hydraulik. 3rd ed. Leipzig- Berlin: Teubner.
- HASENÖHRL, Jaroslav, 1987. Vodohospodářské stavby pre 4. roč. SPŠ stavebných. Bratislava: Alfa.
- Hazen, A. 1892. Some Physical Properties of Sands and Gravels, with Special Reference to their Use in Filtration. 24th Annual Report, Massachusetts State Board of Health, Pub. Doc. No.34, 539-556.
- HEUPERMAN, A. F., KAPOOR, A. S., DENECKE Harry W., 2002. Biodrainage: principles, experiences and applications. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation.
- HOLÝ, Miloš, 1984. Odvodňovací stavby. Praha: Nakladatelství technické literatury.
- HOOGHOUDT, S. B., 1936. Bepailing van den doorlaatfactor van den grond met behulp van pompproeven. Verslag Landbouwk, Onder zoek.
- HORÁK Vladislav, PASEKA Antonín, POSPÍŠÍL Pavel, VUT-OU, 2005: Hydrogeologie a hydrogeologické metody ve SG průzkumu (online) [cit. 2017.15.03], dostupné z <http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech_hornin/mhig_6.pdf>.
- HUSSAIN. F, NABI, G., 2016. PyrexJournals: Empirical Formulae Evaluation for Hydraulic Conductivity Determination Based on Grain Size Analysis (online) [cit. 2017.14.03], dostupné z <<http://www.pyrexjournals.org/pjres/pdf/2016/march/hussain-and-nabi.pdf>>.
- CHENG, C., CHEN, X. 2007. Evaluation of Methods for Determination of Hydraulic Properties in an Aquifer- Aquitard System Hydrologically Connected to River. Hydrogeology Journal. 15: 669- 678.
- JŮVA, Karel, 1964. Vodohospodářské meliorace: odvodnění - závlaha. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Technický průvodce.

- KAMENÍČKOVÁ Ivana. 2005. Vodní hospodářství krajiny I- Pedologie (online) [cit. 2017.16.03]. Vysoké učení technické v Brně, Brno. Dostupné z <<http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BS04-Vodni%20hospodarstvi%20krajiny%20I/M01-Pedologie.pdf>>.
- KASENOW, Michael, 2010. Applied ground-water hydrology and well hydraulics. 3rd ed. Highlands Ranch, Colo.: Water Resources Publications.
- KOSTJAKOV, A. N., 1950. Melioracija i sel'skochozjajstvennoje vodosnabženije'. Moskva: Selchozgiz.
- KOVÁŘ Pavel, ŠTIBINGER Jakub, PEŠKOVÁ Jitka, KASL Milan, 2011. Metodika návrhu a realizace infiltračních a záchytných opatření v rámci obnovy hydrologických poměrů a způsobů hospodaření v krajině (online) [cit. 2017.14.03]. Dostupné na <http://fzp.czu.cz/vyzkum/metodiky/MetodikaINFILTRACE_JH.pdf>.
- Kozeny, J. 1927. Uber KapillareLeitung Des Wassers in Boden. SitzungsberAkad. Wiss.WienMath.Naturwiss.Kl., Abt.2a, 136,271-306 (In German).
- KOZLOVSKY DUFKOVÁ, Jana, 2009. Závlahy a odvodnění: teoretické základy a praktická cvičení. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.
- KUKLÍK, Václav, KŘOVÁK, František, 1988. Cvičení z meliorací. Praha: Česká zemědělská univerzita.
- KULHAVÝ, František, KULHAVÝ, Zbyněk, 2008. Navrhování hydromelioračních staveb. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, Technická knihovna (ČKAIT).
- KUTÍLEK, M., 1978. Vodohospodářská pedologie. SNTL Praha – ALFA Bratislava.
- KURÁŽ V., DOLEŽAL F., 1977. Evaluation of soil physical conditions with the use of CERES model, permeameter and infiltrometer methods. Int. Agrophysics 11.
- KŘÍŽ, Hubert, 1983. Hydrologie podzemních vod. Praha: Academia.
- MŽP, 2011: Metodická příručka pro žadatele OPŽP (online) [cit. 2017.02.02], dostupné na <[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/priroda_blizka_opatreni/\\$FILE/OOV-metodicka_prirucka-20121101.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/priroda_blizka_opatreni/$FILE/OOV-metodicka_prirucka-20121101.pdf)>.

- MAO, 2004. Projektová dokumentace: Výstavba víceúčelové tělocvičny GaSoše Sedlčany.
- NIEBER, J.L., FEDDES R.A., 1999. Solutions for Combined Saturated and Unsaturated Flow. In: R. W. Skaggs, J. van Schilfgaarde, editors, Agricultural Drainage, Agron. Monogr. 38. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. p. 145-212.
- PIVODA, Bohuslav, ŠÁLEK, Jan, 1982. Čerpací stanice. Praha: SNTL.
- PHILIP J. R., 1957. The Theory of Infiltration: 4. Sorptivity and Algebraic Infiltration Equations,"Soil Science, Vol. 84, No. 3.
- RITZEMA, H. P., 2006. Drainage principles and applications. Wageningen: ILRI.
- ŘÍHA, Josef, 1979. Voda a hydromeliorace v životním prostředí. Praha: České vysoké učení technické.
- ŠEN, Zekâi, 1995. Applied hydrogeology for scientists and engineers. Boca Raton: Lewis Publishers.
- SHEPHERD, R. G., 1989. Correlations of Permeability and Grain Size. Groundwater. 27(5):663-638 Terzaghi, K., and Peck, R.B. 1964. Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley, New York.
- SLAVÍK, L., NERUDA, M, 2004. Vodní režim v krajině. 1. vyd. Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí UJEP.
- SOUKUP Mojmir, KULHAVÝ Zbyněk, 2000. VÚMOP: Manipulační a provozní řády odvodňovacích staveb s možností regulace odtoku (online) [cit. 2017.10.03], dostupné z <<http://www.hydromeliorace.cz/sw/oks/obrazky/schemaZbynekKulhavy1312358412.pdf>>.
- ŠÁLEK, Jan, 1978. Odvodňovací a závlahové stavby. Brno.
- ŠÁMALÍKOVÁ Milena, 1996. Inženýrská geologie a hydrogeologie. Brno: VUT.
- ŠTIBINGER, Jakub. Examples of determining the hydraulic conductivity of soils: theory and applications of selected basic methods : university handbook on soil hydraulics. Ed. 1st. Ústí nad Labem: Jan Evangelista Purkyně University, Faculty of the Environment, 2014.

ŠTIBINGER, Jakub, 2012. ČZU- FŽP: Stanovení hydraulické vodivosti K (M.T¹) terénním vsakovacím experimentem (online) [cit. 2017.14.03], dostupné na <http://fzp.czu.cz/vyzkum/programs/stibinger/VsakExperiment/Vsak_Experiment_manual.pdf>.

ŠTIBINGER Jakub, PEŠKOVÁ Jitka, 2013. Terénní experimentální stanovení hydraulické vodivosti mokřadů v Jizerských horách v lokalitě Horní Maxov (online) [cit. 2017.14.03]. v ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, ed. Voda, půda a rostliny: sborník abstraktů a CD s příspěvky z mezinárodní konference : Křtiny 29.6.-30.6.2013. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2013. Dostupné z <http://www.cbks.cz/sbornikKrtiny13/Stibinger_Peskova_Krtiny.pdf>

ŠTIBINGER, Jakub, KULHAVÝ, Zbyněk, 2010. Úpravy vodního režimu půd odvodněním: monografie : uživatelský výstup projektu 2B06022. V Praze: ČZU. TNV 45 4221 Regulace a retardace odtoku (ČSN Regulační a retardační drenáž)

VANÍČEK, Ivan, 1983. Mechanika zemin. Praha: České vysoké učení technické v Praze,

VÁŠKA, Jiří, 2000. Hydromeliorace. Praha: ŠEL. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika.

VÚMOP v.v.i Praha 2013: Informační systém melioračních staveb ČR (online) [cit. 2017.06.02], dostupné z <http://www.vumop.cz:8089/mapserv/meliorace/melio_obecne.php>.

VÚMOP, BPEJ v.v.i. Praha, 2015: eKatalog BPEJ (online) [cit. 2017.20.03], dostupné z <<http://bpej.vumop.cz/>>.

Vyhláška č. 225/2002 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství o podrobném vymezení staveb k vodohospodářským melioracím pozemků a jejich částí a způsobu a rozsahu péče o ně, v platném znění.

Vyhláška č. 178/2012 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků, v platném znění.

Vyhláška č. 441/2013 Sb. Vyhláška k provedení zákona o oceňování majetku (oceňovací vyhláška, v platném znění.

Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění.

YOUNGS, E.G, 1999. Non-Steady Flow to Drains. In: R. W. Skaggs, J. van Schilfgaarde, editors, Agricultural Drainage, Agron. Monogr. 38. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

13. Seznam příloh

Seznam příloh:

Příloha č. 1: Mapa řešeného území v kontextu širšího okolí

Příloha č. 2: Ortofoto řešeného území

Příloha č. 3: Mapa záplavového území vodního toku Mastník

Příloha č. 4: Katastrální mapa s vyznačeným řešeným územím

Příloha č. 5: Stávající stav drenážního systému

Příloha č. 6: Vrtná prozkoumanost

Příloha č. 7: Inženýrsko- geologický průzkum

Příloha č. 8: Schéma výpočtového postupu

Příloha č. 9: Výpočet rozchodů drénů

Příloha č. 10: Výpočet objemu jímky

Příloha č. 11: Situační uspořádání drenážního systému- schéma 1, Hooghaudtova rovnice $L= 9,59$ m

Příloha č. 12: Situační uspořádání drenážního systému- schéma 2, Ernstova rovnice $L= 7,6$ m

Příloha č. 13: Podélný profil: Hooghaudtova rovnice $L= 9,59$ m.

Příloha č. 14: Schéma jímky

Příloha č. 15 Délka drenážního systému

Příloha č. 16: Fotodokumentace