

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití odpadních vod pro závlahu

Reuse wastewater for irrigation

Autorka: Jana Šipanová

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph. D.

2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jana Šipanová

Aplikovaná ekologie

Název práce

Využití odpadních vod pro závlahu

Název anglicky

Reuse wastewater for irrigation

Cíle práce

Cílem práce je prozkoumat a najít vhodné systémy hospodaření s dešťovou vodou (HDV), které jsou schopny odstranit i vyšší koncentrace polutantů v odpadní vodě a ve smyvcích tak, aby kvalita vody vyhověla parametrům stanoveným v Československé státní normě jakosti vody pro závlahu ČSN 75 7173. Ze systémů HDV budou vybrány takové, které mají potenciál k využití pro závlahu v zemědělských podnicích a v průmyslových areálech v ČR. Dalším cílem práce pro vybrané účinné systémy HDV vhodné pro další využití pro závlahu je zjištění možností získat ekonomickou podporu ve formě dotací poskytovaných v rámci OPŽP případně jiných dotačních titulů poskytovaných na základě přijatých koncepčních dokumentů ČR.

Metodika

Tato bakalářská práce je napsána formou rešerše. V první teoretické části se práce zabývá popisem a technickou charakteristikou jednotlivých využitelných systémů HDV. V druhé části jsou zpracovávána data čerpaná z odborných publikací a mezinárodní databáze BMPDB se zaměřením na konkrétní druhy a realizace HDV, a dále je posouzena jejich účinnost při odstraňování polutantů z odpadních vod. Na základě těchto dat jsou vybrány takové HDV, které splňují Československou normu jakosti vody pro závlahu ČSN 7571 43 Jakost vody pro závlahu, jsou ekonomicky výhodné a lze je využít i v průmyslových areálech a v zemědělských podnicích. Ekonomická podpora bude zhodnocena na základě vypsání dotačních titulů dostupných podle přijatých koncepčních dokumentů pro ČR.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

smyvy, HDV, polutanty, čisticí techniky

Doporučené zdroje informací

- Clary J., Jones J., Leisenring M., Hobson P., Strecker E., 2020: International Stormwater BMP Database: 2020 Summary Statistics, The Water Research Foundation, project No. 4968, Denver, 102 s., ISBN 978-1-60573-508-5
- ČSN 7571 43: Jakost vody pro závlahu, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009. 24s.
- Pitter P., 1999: Hydrochemie, vydavatelství VŠCHT, Praha, 568 s. ISBN 80-7080-340-1
- Sholz M., Grabowiecki P., 2007: Review of permeable pavement systems, Building and Environment, Vol. 43, p. 3830-3836.
- ŠÁLEK, J. – TLAPÁK, V. – ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. ISBN 80-86769-74-7.
- Vítek J., Stránský D., Kabelková I., Bareš V., Vítek R., 2015: Hospodaření s dešťovou vodou v ČR, Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, ISBN 978-80-260-7815-9

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 2. 2. 2022

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 2. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2022

Prohlášení autora BP

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Využití odpadních vod pro závlahu vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorských a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti GDPR.

V Praze dne 18.3.2022

.....

Jana Šípanová

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala vedoucí své práce paní Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D. za odborné vedení práce, vstřícnost při jejím vytváření a za čas a rady, které mi věnovala. Touto cestou bych také chtěla poděkovat své rodině, která mi byla oporou, a především bych chtěla poděkovat svým milovaným rodičům za jejich trpělivost a podporu při celém mém studiu.

Abstrakt

Bakalářská práce popisuje různé druhy HDV a jejich účinnost při odstraňování polutantů ze smyvů z veřejných i areálových komunikací. Teoretická část práce představuje jednotlivé systémy HDV a popisuje, jak fungují. Praktická část práce se zabývá jejich účinností při čištění vody a odstraňování jednotlivých polutantů. Hlavní náplní práce je na základě rešerše dostupných dat vyhodnotit, jaká je účinnost konkrétně použitých čisticích technik HDV ve vztahu k plnění požadavku normy pro závlahové vody a vyloučit takové, které by umožnily přečištěné vody opakovaně využít. Kromě zhodnocení účinnosti se práce zabývá i ekonomickou přijatelností posuzovaných systémů HDV, stanovenou na základě ekonomické podpory ve formě dotací poskytovaných v rámci OPŽP případně jiných dotačních titulů poskytovaných na základě přijatých koncepčních dokumentů ČR.

Klíčová slova: smyvy, HDV, polutanty, čisticí techniky

Abstract

The bachelor thesis describes various types of HDV and their effectiveness in removing pollutants from runoff from public and area roads. The theoretical part of the work presents the individual systems of BMPs and describes how they work. Practice part of the work represent their effectiveness in water purification and removal of individual pollutants. The aim of the thesis is to evaluate the effectiveness of specifically used cleaning techniques BMPs in relation to meeting the requirements of the standard for irrigation water on the basis of a search of available studies and to select those that would allow purified water to be reused. In addition to the evaluation of efficiency, the work also deals with the economic acceptability of the assessed HDV systems, determined based on economic support in the form of subsidies provided under the OPE (Operational Programme Environment) or other subsidy titles provided on the basis of accepted conceptual documents of the Czech Republic.

Key words: cleaning techniques, BMPs, pollutants, water runoff

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	2
3	METODIKA	2
4	TEORETICKÁ ČÁST	3
4.1	ODPADNÍ VODY	3
4.2	KLASIFIKACE VOD Z ODVODNĚNÍ (SMYVY)	3
4.3	ZÁVLAHA Z ODPADNÍCH VOD	4
4.3.1	<i>Závlaha plodin</i>	5
4.3.2	<i>Zavlažování výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin (RRD)</i>	7
4.3.3	<i>Závlaha odpadní vodou</i>	8
4.4	HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVÝMI VODAMI (HDV).....	9
4.4.1	<i>Akumulace srážkových vod</i>	10
4.5	VSAKOVACÍ ZAŘÍZENÍ BEZ REGULOVANÉHO ODTOKU	10
4.5.1	<i>Infiltrační plochy (grass strips)</i>	10
4.6	VSAKOVACÍ ZAŘÍZENÍ S REGULOVANÝM ODTOKEM	13
4.6.1	<i>Bioretenční systémy</i>	14
4.6.2	<i>Umělé mokřady a kořenové čistírny odpadních vod</i>	15
4.6.3	<i>Propustné porézní chodníky a porézní asfalt</i>	18
4.6.4	<i>Retenční a záchytné nádrže</i>	20
4.7	PRIMÁRNÍ ODSTRAŇOVACÍ MECHANISMY HDV	21
4.8	JAKOST VODY PRO ZÁVLAHU	22
5	PRAKTICKÁ ČÁST	25
5.1	KVALITA A CHEMICKÉ SLOŽENÍ SMYVŮ V ČR.....	25
5.2	ÚČINNOST JEDNOTLIVÝCH HDV PRO ELIMINACI POLUTANTŮ V ČR	31
5.2.1	<i>Účinnosti jednotlivých systémů HDV dle toxických kovů</i>	31
5.2.2	<i>Účinnosti jednotlivých systémů pro sledované polutanty</i>	35
5.3	POROVNÁNÍ SE ZÁVLAHOVOU NORMOU	37
5.4	EFEKTIVITA A POUŽITELNOST SLEDOVANÝCH SYSTÉMŮ HDV	39
5.5	POSOUZENÍ EKONOMICKÉHO HLEDISKA	41
5.5.1	<i>Operační program životního prostředí výzvy č. 119 pro veřejný sektor</i> .	41
5.5.2	<i>Příklady konkrétních realizací operačního programu 1.3.2</i>	42

5.5.3	<i>Program rozvoje venkova v operaci 4.1.1</i>	44
6	VÝSLEDNÉ ZHODNOCENÍ	45
7	DISKUSE	45
8	ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE	50
9	SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
9.1	ODBORNÉ PUBLIKACE	52
9.2	INTERNETOVÉ ZDROJE	53
9.3	LEGISLATIVNÍ ZDROJE	55
9.4	OSTATNÍ ZDROJE	56
9.5	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
9.6	SEZNAM TABULEK.....	57

Seznam použitých zkratk

ASCE – American Society of Civil Engineers

BMPs – Best management practices

BSK – Biologická spotřeba kyslíku

Cd – Kadmium

CO₂ – Oxid uhličitý

Cr – Chrom

Cu – Měď

ČOV – Čistička odpadních vod

ČR – Česká republika

ČSN – Československá norma

EEA – Evropský agentura pro životní prostředí

HDV – Hospodaření s dešťovými vodami

CHSK – Chemická spotřeba kyslíku

KČOV – Kořenová čistička odpadních vod

LID – Low Impact Development

MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu

MZe – Ministerstvo zemědělství

NEL – Nepochůrné extrahovatelné látky

NH₃ – Amoniak

Ni – Nikl

NL – Nerozpuštěné látky

NPH – Nejvyšší přípustné hodnoty

OPŽP – Operační program životního prostředí

Pb – Olovo

PE – Polyethylen

PVC – Polyvinylchlorid

RRD – Rychle rostoucí dřeviny

SCMs – Stormwater Control

SFŽP – Státní fond životního prostředí

OPŽP – Operační program životního prostředí

TDS – Total dissolved solids (celkové rozpuštěné pevné látky)

US EPA – Agentura pro ochranu životního prostředí Spojených států amerických

Zn – Zinek

1 Úvod

Nedostatek sladké vody na Zemi je globálním a čím dál aktuálnějším problémem. Evropská agentura pro ochranu přírody předpokládá, že se změnou klimatu se situace s nedostatkem vody ještě zhorší, a to zejména v jižní Evropě. Nízká dostupnost vody a sucho může způsobit velké problémy napříč většiny odvětví. Značný problém lze předpokládat v průmyslových sektorech, které jsou na vodě plně závislé, jako třeba závlahové zemědělství, výroba vodní energie nebo průmysl závislý na chladicí vodě (EEA, ©2018).

Klimatická změna zapříčinila větší poptávku po vodě, zatímco kvalita a množství vodních zdrojů v ČR se snižuje. S rostoucí teplotou vzduchu, která se za posledních 30 let zvýšila o 1 °C, se předpokládá i další nárůst teploty o 3 °C do roku 2100 a s ním i větší výpar vody z povodí, což vodní bilanci v ČR negativně ovlivňuje. S vyšším výparem je spojený jak nedostatek vody, tak i její zhoršená kvalita. V ČR je jedním z největších odběratelů povrchových a podzemních vod průmysl a zemědělství. Ministerstvo životního prostředí České republiky se proto snaží vyvinout na podniky tlak, aby si uvědomily tyto skutečnosti a začaly svou závislost na omezeném vodním zdroji snižovat a omezovat negativní dopady na odvětví vodního hospodářství (MŽP, 2021).

Ve světě se kvůli zhoršující situaci s vodou hledají možnosti, jak lze znovu i znečištěnou dešťovou vodu využívat a recyklovat. Přírodě blízká hospodaření s dešťovými vodami (HDV) jsou jedním z potenciálních řešení recyklace dešťových vod a smyvů ze zpevněných ploch a komunikací k opětovnému využití. Jedná se o funkční systémy a zařízení, zabudované a využívané v kulturní krajině, které snižují znečištění odpadní vody. Při protékání vody přes jednotku HDV se voda pročišťuje a zbavuje nežádoucích polutantů, které mohou být ve vyšších koncentracích škodlivé zdraví i životnímu prostředí, a snižují tak škodlivé účinky vody. Další výhodou těchto systémů je i decentralizace odvodnění místo konvenčního přístupu odvedení srážkových vod jednotnou kanalizací. Decentrální způsoby odvodnění mají mnoho výhod – přibližují vodní koloběh jeho přirozené podobě, chrání své okolí před záplavami, snižují neblahé důsledky změn klimatu, a hlavně řeší problém v místě vzniku za finance původce (Vítek et al. 2015).

HDV napodobují přirozený hydrologický režim krajiny prostřednictvím decentrálních objektů. Ty vodu zadržují, vypařují, čistí nebo vsakují v blízkosti lokality, kam voda při dešti dopadla (Vítek et al. 2015). Do budoucna by se mohlo jednat o velmi efektivní řešení recyklování smyvů ze zpevněných ploch, komunikací, z průmyslových oblastí i ze zemědělských podniků. Přečištěná voda zbavena škodlivých látek by se díky těmto systémům mohla opět využít, např. k zalévání v zemědělství nebo městské zeleně v parcích či zahradách.

2 Cíl práce

Cílem práce je prozkoumat a najít vhodné systémy hospodaření s dešťovou vodou (HDV), které jsou schopny odstranit i vyšší koncentrace polutantů v odpadní vodě a ve smyvech tak, aby kvalita vody vyhověla parametrům stanoveným v Československé státní normě jakosti vody pro závlahu ČSN 75 7173. Ze systémů HDV budou vybrány takové, které mají potenciál k využití pro závlahu v zemědělských podnicích a v průmyslových areálech v ČR. Dalším cílem práce pro vybrané účinné systémy HDV vhodné pro další využití pro závlahu je zjištění možností získat ekonomickou podporu ve formě dotací poskytovaných v rámci OPŽP případně jiných dotačních titulů poskytovaných na základě přijatých koncepčních dokumentů ČR.

3 Metodika

Tato bakalářská práce je napsána formou řešerše. V první teoretické části se práce zabývá popisem a technickou charakteristikou jednotlivých využitelných systémů HDV. V druhé části jsou zpracovávána data čerpaná z odborných publikací a mezinárodní databáze BMPDB se zaměřením na konkrétní druhy a realizace HDV, a dále je posouzena jejich účinnost při odstraňování polutantů z odpadních vod. Na základě těchto dat jsou vybrány takové HDV, které splňují Československou normu jakosti vody pro závlahu ČSN 7571 43 Jakost vody pro závlahu, jsou ekonomicky výhodné a lze je využít i v průmyslových areálech a v zemědělských podnicích. Ekonomická podpora bude zhodnocena na základě vypsání dotačních titulů dostupných podle přijatých koncepčních dokumentů pro ČR.

4 Teoretická část

4.1 Odpadní vody

Odpadní vody definuje § 38 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů: „*Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody vznikající při provozování skládek a odkališť nebo během následné péče o ně, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních.*“

Odpadní voda je tedy kterákoliv voda, která po využití změnila některou ze svých chemických nebo fyzikálních vlastností a snížila jakost, ať už se jedná o vody použité v jakékoliv oblasti. Dle původu znečištění je můžeme dále dělit na vody: městské, splaškové, průmyslové, zemědělské a ostatní odpadní vody (Langhammerová, 2017).

4.2 Klasifikace vod z odvodnění (smyvy)

V průmyslových a zemědělských areálech se povrchová voda mísí s průmyslovými a zemědělskými vodami v okolí areálů na zpevněných plochách a pokud se nevsákne do okolní půdy, odchází kanalizací na nejbližší ČOV. Smyvy jsou neoficiální označení pro kombinaci povrchových vod z více zdrojů a jejich složení i koncentrace látek v nich obsažených se může velmi lišit. Smyvy jako takové mohou být tvořeny všemi možnými zdroji vody, a to včetně vody z pozemních komunikacích či kontaminovaných vod z ploch průmyslových a zemědělských areálů (Langhammerová, 2017).

Dle ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky, čl. 5.2.1 lze podle způsobu znečištění a původu odpadní vody rozdělit tyto vody celkem do šesti základních skupin. Jednu z těchto skupin tvoří vody srážkové (vody dešťové a vody z tání sněhu a ledu). Klasifikaci těchto vod z odvodnění (dále jen „smyvy“) více upřesňuje čl.

5.2.3 již zmíněné ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky, a to v tomto znění (TP 83):

Srážkové vody se rozdělují podle způsobu styku s povrchem na:

- Znečištěné vody, pokud odtékají ze znečištěných povrchů, jejichž původcem mohou být např. průmyslové a zemědělské areály. Znečištěné srážkové vody mají být dle ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky čl.5.2.3 vždy čištěny a poté odvedeny do stok jednotné stokové soustavy nebo do oddílné stokové soustavy srážkových vod (TP 83).
- Neznečištěné vody (chladicí, kondenzované, podzemní, pramenité a srážkové) nejsou podle čl. 5.2.2 ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky vodami odpadními, takže se doporučuje nechat je vsakovat podzemně nebo odvést stokou do blízkého vodního recipientu. Podmínkou pro takové nakládání s vodami je, že odtékají z neznečištěných povrchů jako jsou pěší zóny, parky a zahrady, střechy, pozemní komunikace s nízkou intenzitou provozu, a pokud neslouží jako odstavné plochy nebo parkoviště (TP 83).

U průmyslových odpadních vod a smyvů v okolí areálů se může jakost měnit v závislosti na jejím původu a na konkrétních průmyslových odvětvích, kde byla využita, a dle využitých technologií ve výrobních procesech je proto nutné vždy řádně posoudit zdroj smyvu a následnou péči o něj (Langhammerová, 2017).

4.3 Závlaha z odpadních vod

V suchých a teplých zemích naší planety je voda vzácná, a proto se stále hledají způsoby, jak ji co nejefektivněji uchovávat a využívat. Izrael je jednou ze zemí s nejvyspělejším systémem hospodaření s vodou. V zemi s velmi suchými semiaridními až aridními klimatickými podmínkami znamenají velká omezení v zemědělské produkci stále častější sucha, desertifikace půdy, vyčerpávání zdrojů a rychlá urbanizace. Zemědělská půda tvoří v Izraeli jen 20 % z celkové rozlohy půdy, polovina z ní musí být zavlažována. Pouze 4 měsíce v roce zde prší a za tuto dobu musí země nasbírat dostatečné množství dešťové vody pro svou spotřebu na celý následující rok. V suchých oblastech Izraele je zemědělství na závlaze plodin přímo závislé. Z posbírané dešťové vody využije země neuvěřitelných 90 %. I přes tuto nelehkou situaci činí každoroční produkce polních plodin v Izraeli 5 milionů tun a přes mnohá

omezení se jejich zemědělství pyšní vyspělými technologiemi, tlakovými závlahovými systémy, automaticky řízenou mechanizací a vysoce kvalitními rostlinami a semeny. Z veškeré využití vody v zemědělství za rok (přes 1,29 milionů m³/rok) je ze 30 % využita i přečištěná odpadní voda, a to především pro závlahu ovocných sadů a nepotravinářských plodin, z 16 % je pro závlahu využita i mořská odsolená voda (Megersa at al. 2015). Izrael je v efektivitě a udržitelnosti závlah velmocí a velmi jasně nám udává směr, kudy bychom se měli vydat.

4.3.1 Závlaha plodin

4.3.1.1 Lokalizované závlahy – bodová, mikropostřik a kapková závlaha

Závlahové systémy lze rozdělit podle způsobu dodání vody k rostlinnému jedinci. První možností je využití lokalizované závlahy (tzv. mikrozávlahy). Princip je velmi jednoduchý – voda je dodávána ve velmi malém množství přímo ke kořenovému systému rostliny, plochy zeminy v okolí zůstávají suché, díky čemuž se jedná o velmi efektivní řešení šetrné k životnému prostředí i finančním nákladům. Mikrozávlahy můžeme dále rozdělit do 3 kategorií: kapkové, mikropostřik a bodové závlahy (Schwarzová, 2011).

- i. Bodové závlahy byly původně využívány především pro závlahu sadů, chmelnic a vinic, ale dnes již takové uplatnění nemají. Voda je v případě bodové závlahy dopravena k rostlině pomocí tzv. kapkovačů připojených k povrchovému nebo podpovrchovému potrubí. Výhodou tohoto způsobu závlahy jsou nižší nároky na kvalitu vody. Množství využití vody se pohybuje v rozmezí 20–225 l/hod (Schwarzová, 2011). Díky bodovému rozdělení vody je intenzita závlahy nízká, ale dostačující. Vzhledem k nebezpečí eroze může být tento typ závlahy využit jen v terénu s rovnoměrným sklonem do 5 % (Králová, 2005).
- ii. Mikropostřik je šetrný druh závlahy, který dokáže vytvořit optimální mikroklima v okolí rostliny. Voda se rozptyluje ve vzdálenosti od 1 do 10 m od mikropostřikovače, a proto je vhodné využívat tento typ závlahy k zavlažování plodin sázených v řadě (vinice, sady, chmelnice). V minulosti šlo o hojně využívaný druh závlahy používaný zejména ve vegetačním období při dlouhých horkých a suchých dnech (v horkých letních dnech se vlhkost v okolí plodiny při závlaze zvyšuje až o třetinu a teplota snižuje o 3 až 7 °C). Tento typ závlahy zvyšuje produkci v zemědělství a hodí se především

k závlaze kultur citlivých na krátkodobý pokles relativní vlhkosti a zvýšení okolní teploty vzduchu (Králová, 2005).

- iii. Kapková závlaha je velmi rozšířený a vysoce ekonomický způsob závlahy. Výtoky vody jsou 1–10 l/hod. Výhodou je velmi pomalá infiltrace vody do půdy a s ní spojená minimální ztráta vody výparem, voda se nedostává na listy, které pak nemají tendenci plesnivět nebo nejsou spáleny sluncem, a je dodávána opět přímo ke kořenům. Jedná se o velmi využívaný systém, a to zejména v aridních oblastech Izraele a USA. Využití je výhodné zejména pro závlahu ovocných sadů, plantáží jahod, chmelnicí, vinogradů, a především ve sklenících. Rostliny se také doporučuje zalévat ve větších sponech, aby se zamezilo nechtěnému zavlažování plevelu (Schwarzová, 2011).

4.3.1.2 Gravitační závlaha – podmok, přeron a výtopa

- Podmok

Další možností závlahy je podmok. Jedná se o gravitační způsob závlahy, kdy se voda do půdy dostává vsakováním. K závlahové ploše je voda přiváděna kanálky nebo nízkotlakým potrubím. Mezi řádky vysázené plodiny jsou vyorány speciální zavlažovací brázdy kudy je voda přiváděna až k místu vsaku. Voda se zde vsakuje do půdy a obohacuje tak o živiny a vláhu kořenovou zónu okolo pěstované plodiny. Tento způsob závlahy s sebou ale nese i nevýhody, a to především vysokou spotřebu vody zejména v propustných půdách. Výhodou je pak možnost zalévat vyššími dávkami vody, úspora energie a rovnoměrné rozdělení závlahy. Ve světě je tento způsob závlahy hojně využívaný zejména v USA a v zemích rozvojových (Králová 2005 ex. Kochánek 2001).

- Přeron

Závlaha přeronem je další z gravitačních závlah. Voda přes půdu protéká v tenké vrstvě a zároveň se vsakuje. Nevýhodami jsou velké ztráty vody výparem a odtokem. Využití není vhodné na velké zemědělské plochy a pro svažitéjší terén, kde hrozí eroze

půdních částic. Přerón se doporučuje využívat pro závlahu luk a pastvin (Schwarzová, 2011).

- Výtopa

Poslední možností gravitační závlahy je tzv. výtopa. Charakteristické pro tento typ je, že voda na půdě stojí po delší dobu ve vrstvě 15–30 cm. Princip této metody je velmi starý a využívali jej již Egypťané v okolí řeky Nilu (Schwarzová, 2011). Tento princip lze uplatnit i během přirozené záplavy při velkých vodách, uměle se využívají výtopové zdrže. V České republice se závlaha výtopou využívá k zavlažování mimovegetačního období luk. Nejznámější a nejrozšířenější plodinou zavlažující se výtopou je rýže (Králová, 2005).

4.3.2 Zavlažování výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin (RRD)

Trendem zemědělského hospodaření posledního desetiletí v Evropě (a to především v Dánsku, Rakousku, Polsku, Velké Británii a Švédsku) je nová forma hospodaření s využitím tzv. rychle rostoucích dřevin (RRD). V principu se jedná o ekonomicky výhodné sázení rychle rostoucích druhů dřevin a jejich následné využití ve formě dřevní fyto biomasy jakožto energetické plodiny. Biomasa se dále využívá na výrobu štěrky je využitelné jako palivo na vytápění, nebo ji lze také využít ke sdružené výrobě tepla nebo elektřiny. Do budoucna se s ní počítá i na výrobu biopaliv. V našich klimatických podmínkách se na výmladkových plantážích pěstují hlavně různé druhy a klony topolů (*Populus sp.*) a vrb (*Salix sp.*). Porosty těchto druhů se označují také jako výmladkové plantáže (RRD), energetické lesy či energetické plantáže a pro jejich výsadbu se využívají hlavně zemědělské půdy. Principem plantáží je velmi rychlý růst řízků dřevin (1-2 metry za jeden rok). Obmýtí (tzn. čas od zasazení dřeviny do jejího pokácení) se pohybuje v časové rovině od tří do šesti let (Weger et al. 2006).

Výhodou je také fakt, že po spálení vytěžené biomasy lze vzniklý popel opětovně recyklovat a využít jako hnojivo. Vysazované druhy rychle rostoucích dřevin jako topol (*Populus sp.*) a vrba (*Salix sp.*) mají v tomto využití mimo jiné výhodu i v tom, že jejich kořenový systém je mělký, je schopen zvládnout i anaerobní podmínky a velmi významně dokáže akumulovat i absorbovat i těžké kovy. Tím dává potenciál využití i alternativním způsobům zalévání a hnojení jako je využití odpadních vod pro závlahu nebo aplikace čistírenských kalů do půdy, pokud splňují kvalitu a hygienické požadavky (Kotovicová et al. 2012).

Zavlažování výmladkových plantáží RRD odpadní vodou je hlavně využíváno v případech nedostatku vody. Využití odpadních vod pro závlahu je ekonomicky výhodnější alternativa, ale před aplikací na plantáže je potřeba je náležitě přefiltrovat a zbavit se tak nežádoucích škodlivin. Nevýhodou čištění je skutečnost, že mimo škodlivých polutantů jsou z vody odstraňovány i důležité živiny jako je dusík a fosfor. Odpadní voda prochází před využitím čistícími procesy. Nejdříve hrubou a jemnou filtrací, následně chemickou předúpravou a poslední částí čištění je tlakovzdušná flotace. Závlaha by měla probíhat denně, rok po založení nové plantáže RRD. V době, kdy zasazený porost má již vytvořený kořenový systém a vymílání živin je zanedbatelné. Tento proces bývá automatizován z důvodu levnějšího provozu. Velmi klíčová je pravidelná kontrola odebraných vzorků půdy. U vzorků se sleduje chemický rozbor a koncentrace prvků v podzemních vodách a jejich vliv na životní prostředí (Kotovicová et al. 2012).

4.3.3 Závlaha odpadní vodou

Se stále zřetelnějšími klimatickými změnami a s jejich následky v podobě nerovnoměrného nepravidelného zastoupení srážek na Zemi je potřeba hledat alternativní zdroje vody pro závlahu než jen doposud využívané podpovrchové a podzemní vody.

Při zavlažování odpadními vodami je využít jejich vodní i hnojivový potenciál. Odpadní voda vhodná k závlaze by však neměla obsahovat toxické látky a polutanty, proto je nutné ji před využitím přefiltrovat. K jejímu vyčištění se nejčastěji využívají kombinace mechanického, biologického a chemického čištění. U odpadních vod je nutné sledovat jejich kvalitu a složení. Především se klade důraz na jejich chemické, fyzikální a biologické vlastnosti (Šálek a Tlapák, 2006).

Nároky na již přefiltrované odpadní vody upravuje Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Odpadní vody musí splňovat uvedené limity pro vypouštění do podzemních a povrchových vod. To upravuje i Nařízení vlády č. 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Konkrétní přípustné hodnoty pro zavlažování dále upravuje norma ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu (Fojtová, 2020).

4.4 Hospodaření s dešťovými vodami (HDV)

Hospodaření s dešťovými vodami (HDV), americké Best management practices (BMPs), Low Impact Development nebo také Stormwater Control (SCMs), vychází z nakládání a odvodnění dešťových vod a smyvů. Prakticky se jedná o postupy a techniky, které mají zapříčinit smysluplné a hospodárné využívání vody s ohledem na stále se měnící podmínky prostředí (Vítek et al. 2015). Čím dál častěji se v moderních oblastech využívají jako techniky řízení odpadní vody ke snížení dopadů na rozvoje měst, a to zejména na hydrologii a kvalitu vody (Liu et al. 2015). HDV klade důraz na zachování vody vodní bilance v území po územní urbanizaci. V přirozeném prostředí bez antropogenního vlivu se srážková voda vypaří ze 40 % zpět do atmosféry, zhruba 50 % se vsákne do okolního prostředí a jen zhruba 10 % odtéká pryč po povrchu země. V urbanizovaném prostředí na zpevněných plochách se ale výpar a vsakování značně liší. Voda se zde vsákne do povrchu jen minimálně a výpar dosahuje slabých 30 %. S přibývajícím množstvím zpevněných ploch v zastavěných oblastech je zde povrchový odtok stále větší (MMR, 2019).

HDV je způsob odvodu odpadních dešťových vod a smyvů z urbanizovaných území, napodobuje přirozený přírodní hydrologický cyklus povodí s využitím nejrůznějších technik a objektů zabudovaných v krajině. Tyto systémy srážkovou vodu zadržují, vypařují, vsakují nebo čistí. HDV se touto cestou snaží alespoň o částečný návrat či přiblížení k přirozeným podmínkám krajiny, které byly na dotčených stanovištích mnoho let před urbanizací. Důležitou odlišností HDV od klasického konvenčního způsobu odvodu vody je, že HDV vnímá vyústění odvodu do kanalizace jako poslední možné a nejhorší řešení, i když jej také často využívá. HDV se především snaží vodu odvést cestami, které nejlépe napodobují cesty přirozeného koloběhu vody (Vítek et al. 2015). Základním přístupem HDV je decentralní odvodňovací způsob (TNV 75 9011).

Implementací ověřených postupů HDV se prokazatelně snižuje odtok povrchové vody a smyvů se značnými úsporami výdajů na infrastrukturu. Můžeme rozlišit hned několik druhů HDV. Podle Mezinárodní databáze HDV pro dešťové vody je můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin: městské a zemědělské postupy.

Mezi osvědčené systémy řadíme dle mezinárodní databáze BMPDB pro dešťovou vodu zadržovací nádrže, porézní chodníky, retenční rybníky, mokřady (pánve a kanály), travní pásy, travní průlehy či systémy bioretence. Dalšími možnými postupy

jsou také odlučovače oleje či písku s oddělovacími boxy, vysokorychlostní filtrace či zařízení pro hydrodynamickou separaci. Způsob fungování jednotlivých systémů, účinnost při zachycování polutantů a náklady na údržbu či jejich realizaci se výrazně liší. U vsakovacích travních pruhů, retenčních nádrží a umělých mokřadů se dle technické normy TNV 75 9011 tato zařízení pravidelně kontrolují a odstraňují se z nich nahromaděný sediment.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na takové HDV, které mají perspektivu změnit kvalitu vody povrchových odpadních vod a smyvů v zemědělských a průmyslových areálech do takové míry, aby kvalita přečištěné vody vyhovovala československé závlahové normě ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu, a to zejména z pohledu snížení množství nebezpečných látek a polutantů po přečištění vody.

4.4.1 Akumulace srážkových vod

Nakumulované srážkové vody se využívají především jako zdroj vody pro závlahu městské zeleně, zelené infrastruktury či ke chlazení městských povrchů v horkých letních dnech. Přímou v městských budovách vodu využívají jako zdroj užitkové vody pro úklid nebo splachování toalet. Akumulační zařízení se zapojuje mezi odvodňovací plochu a další prvky HDV (např. retenční nádrž, vsakovací zařízení) (Vítek et al 2015).

4.5 Vsakovací zařízení bez regulovaného odtoku

Tento typ zařízení se využívá ve všech typech běžných ploch. U manipulačních ploch, zemědělských areálů, autovrakovišť či autobazarů je nutné individuální posouzení, zda je využití zařízení bez regulovaného odtoku na daném místě vhodné. Omezujícími faktory jsou především hydrologické podmínky stanoviště, tj. výška hladiny podzemní vody (max. 1 metr pod základovou spárou systému/zařízení HDV), sklonitost terénu (nebezpečí sesuvu) a vsakovací schopnost podloží.

Vsakovací zařízení nesmí ohrožovat podzemní vody či půdu kontaminací. Tato zařízení tedy nejsou vhodná na plochách, kde jsou běžně skladovány nebezpečné látky, nebo v místech, kde je přítomna ekologická zátěž bez sanace (Vítek et al. 2015).

4.5.1 Infiltrační plochy (grass strips)

Infiltrační (vsakovací) plochy jsou různé objekty v krajině porostlé vegetací, které v daném místě zajišťují zasakování tekoucí srážkové vody a sněhu do půdy

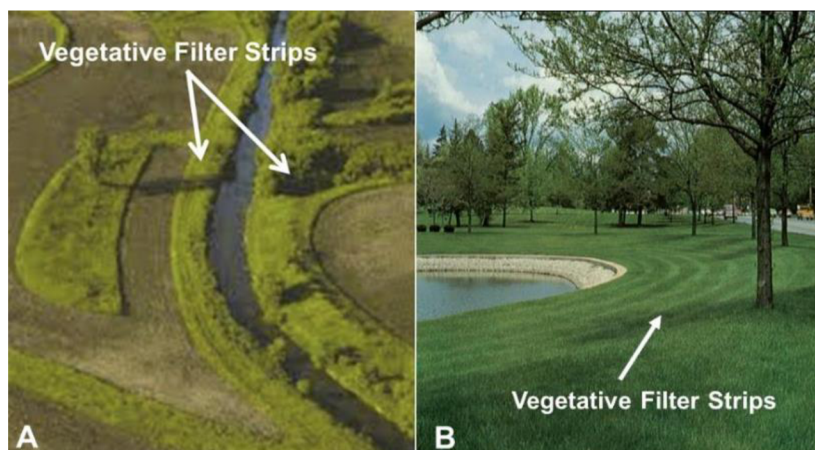
a kořenových systémů rostlin. Mezi infiltrační plochy řadíme zasakovací pásy, vsakovací průlehy a dešťové zahrady, které jsou porostlé vegetací a vodu rovněž zadržují (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., © 2021).

Tyto systémy fungují na základě zachytávání vody do kořenových systémů vegetace, jež na nich roste. Voda se po zatečení do kořenového systému filtruje a zadržuje v daném místě, díky čemuž se zabezpečuje její nadměrný výpar a reguluje mikroklima. Infiltrační plochy jsou schopné zachytit až 98,8% množství srážek. Vegetace nebo štěrk pod ní slouží jako filtr, přes který se voda přečišťuje předtím, než odeče do kanalizace a do nejbližší ČOV. Infiltrační plochy jsou velmi účinné při odstraňování polutantů z vody, neboť jsou schopné z vody eliminovat až 85 % celkových suspendovaných sedimentů a polutanty jako těžké kovy, nitráty, fosfáty a pesticidy. Přínosem je i regulace rychlosti i objemu povrchového odtoku, čímž výrazně přispívají ke snížení rizika lokálních záplav. Sama vegetace na infiltračních plochách pak poskytuje útočiště mnohým druhům fauny a flory a napomáhá tak zachovávat lokální biodiverzitu (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., © 2021).

Realizace infiltračních ploch poskytuje mnohé užitky pro spotřebitele. Zadržují srážkovou vodu a regulují odtok, zvyšují kvalitu vody, regulují teplotu a mikroklima, mají protierozní a protihlukovou funkci, ukládají uhlík do půdy, produkují biomasu, podporují místní biodiverzitu a plní i rekreační funkci. (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., © 2021)

Požadavky na realizaci závisí hlavně na podloží a propustnosti půdy, sklonu terénu a aktuální využití území. Omezení realizace připadá na oblasti s velkým sklonem terénu nebo na lokalitách s málo propustnou půdou (skála, jíl) (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., © 2021).

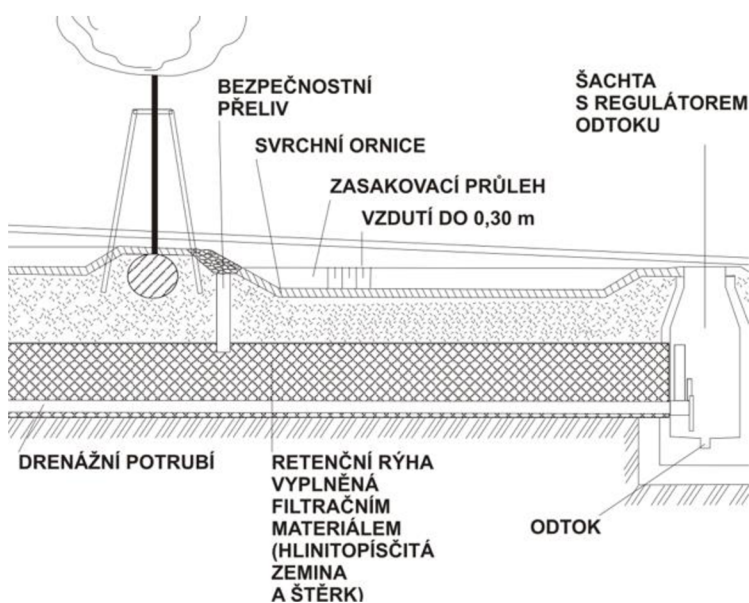
Obrázek 1: Infiltrační pás v zemědělské krajině (A) a v urbanizované oblasti (B) (Ashley Smyth et al. 2018)



4.5.1.1 Vsakovací průlehy

Jedná se o vsakovací zařízení s retencí (obrázek 2a a 2b). Vsakovací průlehy jsou mělká povrchová vsakovací zařízení s vrchní zatravněnou humusovou vrstvou. Před vsáknutím do prohlubně je voda krátce zadržována na povrchu zařízení, následně je vsáknuta do podloží. Průlehy jsou vhodné pro všechny typy zpevněných ploch s dobrými vsakovacími podmínkami. Výhodou je, že nejsou náročné na prostor (využívají 7-20 % z velikosti odvodňované plochy) (Vítek et al. 2015).

Obrázek 2a: Schéma vsakovacího průlehu s regulátorem odtoku (Rozkošný et al. 2014)



Obrázek 2b: Realizace vsakovacího průlehu v areálu Univerzitního kampusu Bohunice



4.5.1.2 Vsakovací nádrže

Vsakovací nádrže řadíme mezi objekty s výraznou retenční funkcí. Jejich výhodou jsou malé nároky na prostor (většinou jde jen o 7 % z velikosti napojených ploch). Většinou se jedná o zařízení tzv. semicentrálního charakteru, kdy je do nich svedeno více typů ploch či více objektů najednou. Předpokladem pro zřízení jsou dobré vsakovací podmínky stanoviště. Jsou vhodné pro všechny typy zpevněných ploch a povrchů (př: střechy, komunikace či parkoviště) (Vítek et al. 2015).

4.6 Vsakovací zařízení s regulovaným odtokem

Tyto plochy se využívají pro všechny typy ploch, kde není možné využít vsakování. Každý z těchto objektů musí být vybaven regulátorem odtoku, který snižuje hodnotu odtoku z objektu na hodnotu nižší, než je pro přípustný odtok daného zařízení, a tzv. bezpečnostním přelivem, aby bylo možné odvádět vodu i při větších srážkách. S ohledem na tvorbu a estetičnost krajiny, kam je zařízení umístováno, je vhodné navrhovat zařízení se zatravněnými břehy a volnou hladinou pro přirozenou evapotranspiraci. Retenční systémy mohou být suché nebo se zásobním prostorem vody (Vítek et al. 2015).

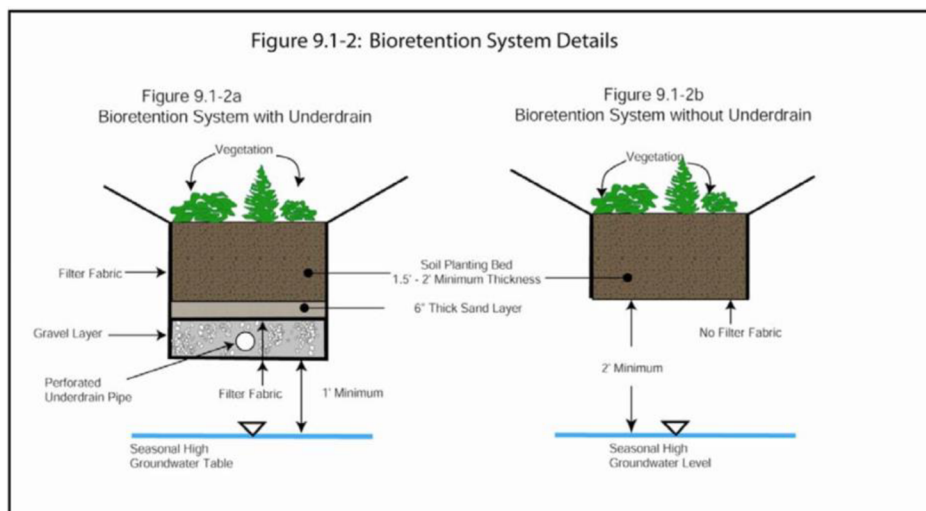
4.6.1 Bioretenciční systémy

Bioretenciční systémy jsou prvky zabudované v krajině, skládající se z vrstvy půdy osázené neinvazivní a vhodnou vegetací. Tato zařízení lze instalovat do krajiny jak s regulovaným odtokem, tak bez něj. Vegetace je zde velmi důležitá, neboť zajišťuje absorpci znečišťujících látek, pomáhá udržovat póry a reguluje rychlost vsakování vody do půdy. Princip fungování je takový, že odtok povrchové vody vstoupí do systému bioretence, je filtrován vegetační vrstvou a půdou a odtud buď odtéká do odvodňovacího kanálu, nebo je infiltrován do podloží pod vrstvou půdy, záleží na zvolené konstrukci systému. Podle konstrukce a manipulace s vodou se systémy dělí na vsakovací nebo odváděcí (State of New Jersey © 2009).

Bioretenciční systémy se budují jako tzv. bioretenciční kotlina, která se značí především plochým dnem, nebo jako bioretenciční průlehy. Ty se vyznačují šikmým dnem a bývají užší a delší (State of New Jersey © 2009).

Konstrukčními parametry bioretencičních systémů jsou objem a plocha realizace, tloušťka a propustnost podloží. Zde záleží na tom, jak je konstrukce zakončena. Pokud voda odtéká pryč odvodním kanálem, konstrukčním parametrem je hydraulická kapacita odtoku. V případě, že se voda vsakuje do půdy, sleduje se propustnost podloží a materiál, z kterého je podloží zkonstruováno. Objem celého systému musí být dostatečně veliký na to, aby i v případě vydatných srážek nepřetekl a i po naplnění zajišťoval odstraňování nebezpečných látek z odtoku. Propustnost systému by měla být dostatečná k vypuštění odtoku do 72 hodin (State of New Jersey © 2009).

Obrázek 3: Bioretenciční systém s odvodním kanálem a bez něj (State of New Jersey © 2009)



Bioretenční systémy jsou ideální k využití pro menší území (méně než 5 ha). Hodí se do obytných oblastí a ke komerčním a průmyslovým budovám v místech, která se vyznačují vysokým procentem nepropustných oblastí. Systémy je vhodné využít v oblastech s nedostatečným odtokem nebo v místech, kde je odtok nespolehlivý, kde jsou půdy příliš propustné, anebo kde je rychlost vypařování příliš vysoká (Government of South Australia © 2010).

Efektivita a účinnost bioretenčních systémů byla v mnoha studiích prokázána v případech, kdy byly tyto systémy správně navrženy a dostatečně udržované. Zlepšit kvalitu vody mohou systémy pomocí několika metod čištění, které se liší svým mechanismem. Patří mezi ně hrubá filtrace povrchovou vegetací, sedimentace, k níž dochází při pronikání zachycené vody, biologický příjem organických i anorganických polutantů vegetací, biologický příjem polutantů za pomoci podzemní bioty, sorpce a filtrace přes filtrační médium (Government of South Australia © 2010).

4.6.2 Umělé mokřady a kořenové čistírny odpadních vod

4.6.2.1 Umělé mokřady

Konstrukce a realizace umělých mokřadů jsou vždy prováděny tak, aby se při čištění využívaly procesy, které probíhají i v přirozených mokřadech. Umělé mokřady můžeme rozdělit do dvou skupin, podle způsobu průtoku odpadní vody a druhu využívané vegetace pro čištění (Vymazal, 2004).

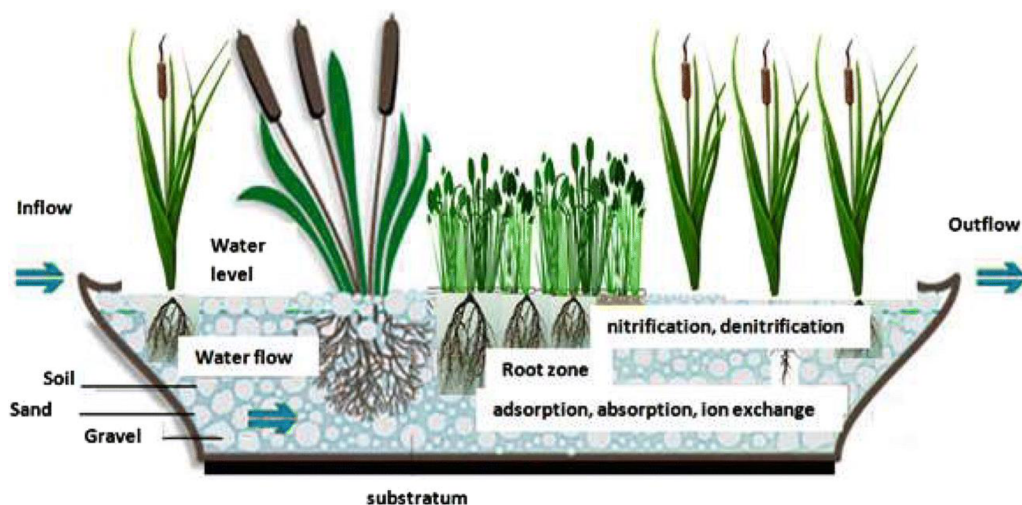
Podle vegetace můžeme systémy rozdělit na systémy s plovoucí vegetací využívající převážně okřehek (*Lemna spp.*) a vodní hyacinty (*Eichhornia crassipes*), umělé mokřady s rostlinami s plovoucími listy (např. stulíky – *Nuphar spp.* nebo lekníny – *Nymphaea spp.*), umělé mokřady s ponořenou (submerzní) vegetací, kde lze využít celou řadu rostlin (např. Morovinku hustolistou - *Egeria densa*, Vodní mor kanadský - *Elodea canadensis*, Růžkatec ostnitý - *Ceratophyllum demersum* nebo přeslenice - *Hydrilla spp.*). Jednoznačně nejrozšířenějším systémem je systém s vynořenou (emerzní) vegetací (Vymazal, 2004).

Podle způsobu průtoku vody můžeme systémy rozdělit na systémy s horizontálním nebo vertikálním průtokem vody. Liší se od sebe kromě směru průtoku také v tom, že do horizontálního průtoku (tzv. kořenové čistírky, KČOV) přitéká odpadní voda kontinuálně, zatímco do vertikálního systému je dávkovaná přerušovaně.

U vertikálního systému je také nutné použít čerpadla a rozvodná zařízení, aby bylo možné zaručit dobrou distribuci odpadní vody, oproti tomu horizontální systém pracuje na přirozeném gravitačním principu (Vymazal, 2004).

Biodegradace organických látek zde probíhá působením gravitace, filtrací či sedimentací, a to anaerobním i aerobním způsobem. Přítomné chemoheterotrofní bakterie jsou metabolicky rychlejší než jejich chemoautotrofní příbuzné a využívají k degradaci organických látek hlavně aerobní procesy, tzn. pomocí kyslíku oxidují organické sloučeniny a přeměňují je na amoniak NH_3 , oxid uhličitý CO_2 a jiné stabilní sloučeniny (Kumar at al. 2019). Velké množství využívaných rostlin v umělých mokřadech má také funkci akumulovat a následně degradovat organické i anorganické látky. Při odstraňování těžkých kovů z vody prokázal svou účinnost Šáchor střídavolistý (*Cyperus alternifolius*), a to zejména pro měď, nikl, chrom, zinek a kobalt. (Soda et Hamada, 2012).

Obrázek 4: Umělý mokřad osázený emerzními makrofyty (Kumar at al. 2019)



4.6.2.2 Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV)

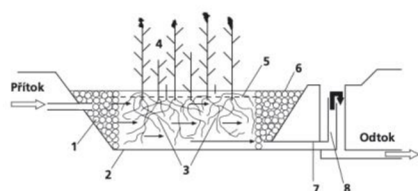
Principem kořenové čistírky je horizontální systém průtoku vody propustným substrátem osázeným rostlinami. Kombinací biologických, chemických a fyzikálních procesů dochází k filtraci vody a odstraňování znečištění při průtoku přes filtrační materiál. V KČOV se čištění provádí ve více částech. Mechanické předčištění vody je různé podle velikosti čistírky, u domácích KČOV se nejčastěji využívají septiky, anaerobní filtry nebo usazovací nádrže. Nejvhodnějším způsobem čištění pro malé obce je kombinace štěrbinové nádrže a česlí. Za předpokladu využívání jednotné

kanalizace, kde jsou splašky neoddělené od dešťových splachů, je vhodné využití i lapáku písku či šterku a oddělit dešťové přívaly (Vymazal, 2004).

Po přečištění je voda přivedena do filtračního lože. To je od podloží odděleno nepropustnou vrstvou, nejčastěji plastovou folií (PVC, PE), a ochrannou geotextilií, která se využívá jako ochrana před protržením spodní plastové vrstvy, aby nedošlo k průsaku vody a nekontrolovatelnému znehodnocení podzemních vod. Filtrační lože bývá hluboké 60–80 cm a vyplněné dostatečně propustným substrátem, který zabraňuje ucpávání lože. V současné době se jako substrát nejvíce využívají kombinace praného šterku, drceného kameniva a kačírek o zrnitosti 4/8 a 8/16 mm. Při použití více frakcí je nutné jejich dostatečné promísení pro zamezení zkratkových proudů vody a ucpávání filtrace. Někdy jsou jako substrát stále využívány těžké, jílovité zeminy (účinnost pro odstraňování fosforu z vody mají jíly >95 %), které mají vysoký čisticí a filtrační účinek. Kvůli své nedostatečné propustnosti se však často ucpávají a může zde docházet k nepříjemným zápachům (Vymazal, 2004).

Obrázek 5: Schéma uspořádání typické KČOV (Vymazal, 2004)

Obrázek 6: Realizace KČOV v obci Dvorce (www.korenova-cisticka.cz)



Obr. 2. Typické uspořádání kořenové čistírny. 1 – distribuční zóna (kamenivo, 50–200 mm), 2 – nepropustná bariéra (PE nebo PVC), 3 – filtrační materiál (kačírky, šterk, drcené kamenivo), 4 – vegetace, 5 – výška vodní hladiny v kořenovém loži nastavitelná v odtokové šachtě, 6 – odtoková zóna (shodná s distribuční zónou), 7 – sběrná drenáž, 8 – regulace výšky hladiny



Další nedílnou součástí kořenové čistírny odpadních vod je vegetace. Její složení se může lišit, ale úplně nejčastěji se pro větší čistírny využívá kombinace rákosu obecného (*Phragmites australis*), tolerujícího značnou míru znečištění, s rychleji rostoucí chřasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*). V menších obecních či domovních kořenových čistírnách jsou hojně využívány mokřadní rostliny s okrasným charakterem. Jedná se především o nejrůznější druhy kosatců (*Iris spp.*) a orobinců (*Typha spp.*). Hustota vegetace se pohybuje v rozmezí 4–8 rostlin na 1 m². Jednotlivé

rostliny se sázejí přímo do šterkového lože, kde se voda udržuje těsně nad hranicí lože, dokud se kořenový systém rostlin pořádně neupevní (Vymazal, 2004).

V odstraňování polutantů z odpadních vod jsou KČOV velmi efektivní zařízení. Nerozpuštěné látky (NL) jsou pohlceny filtrací nebo sedimentují ve filtračním loži, naopak s fosforem je to složitější. Nejčastěji se fosfor vysráží ve filtrační loži nebo absorbuje v substrátu či v rostlinách (poté je nutné přebytečnou biomasu odstranit). U nás používané substráty mají poměrně nízkou sorpční schopnost, proto se odstraňování fosforu z KČOV může jevit jako nízké. Pro splaškové vody většinou nedosahuje více než 50 %. Efektivitu zachycení tohoto polutantu můžeme zvýšit vyměněním filtračního materiálu za kalcit nebo za expandovaný jíl, který se používá v severských zemích Evropy a vykazuje účinnost až 95 %. Nevýhodou materiálu je vyšší cena a nutnost častější obměny filtrační náplně. Amoniakální dusík se v KČOV odstraňuje také velmi málo, neboť v přirozeném mokřadu i v kořenové čistírně je ve filtrační loži velmi málo kyslíku. S těžkými kovy si ale zařízení poradí velmi dobře. Záleží na konkrétních kovech, v průměru dosahuje eliminace těžkých kovů na českých čistírnách 80 %. Největší část polutantů je zachycována v sedimentu a až desetinu těchto polutantů můžeme nalézt i v nadzemních částech rostlin, především v listech a stoncích rostlin (Vymazal, 2004). Jedná se o tzv. fytořemediaci, kdy dochází k přeměně nebezpečné formy nebezpečných kovů na bezpečnou.

Výhodou KČOV je jejich estetičnost – velmi lehce zapadnou do jakékoli krajiny, nevyžadují elektrickou energii, mohou pracovat přerušovaně a dobře se vyrovnávají s různou kvalitou vody. Naopak nevýhodou je náročnost na prostor (průměrně 5,7 m² na jednoho připojeného obyvatele) a nejsou velmi účinné pro odstranění amoniaku a fosforu (Vymazal, 2004).

4.6.3 Propustné porézní chodníky a porézní asfalt

Propustné chodníky jsou na rozdíl od tradičních drenážních systémů pro zadržení dešťové vody udržitelnější a nákladově přijatelnějším řešením. Principem těchto systémů je zadržení odtoku vody, její sběr a následná infiltrace do podzemních vod. Porézní chodníky se liší svojí konstrukcí, ale v principu fungují jako efektivnější řešení pro zadržování vody a zabraňují tak jejímu odtoku.

Chodníky jsou vhodné pro široké spektrum využití – a to jak pro obytné, komerční nebo i průmyslové využití. V průmyslových závodech nebo na místech, kde by mohla

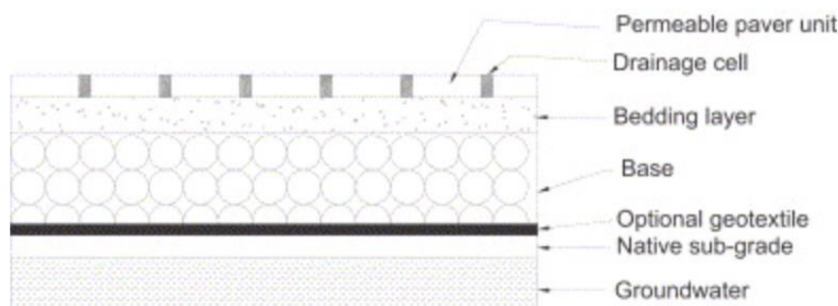
hrozit kontaminace podzemních vod znečišťujícími látkami je na místě konstruovat celý systém s nepropustnou membránou s odvodem do vhodného drenážního systému. Standardně se s těmito systémy můžeme setkat především na příjezdových cestách pro mobilní vozidla (křižovatky, cesty k obytným budovám, požární pruhy, inženýrské sítě), na parkovištích, golfových hřištích (Scholz et Grabowiecki, 2007).

- Propustné chodníky

Obecným cílem propustných chodníků je jednoduchým způsobem shromažďovat, kvalitativně upravovat a infiltrovat kterýkoli povrchový odtok, a to s cílem doplnit podzemní vody. Ve srovnání s klasickými drenážními systémy se jedná o udržitelný a nákladově velmi efektivní proces zadržení a infiltrace dešťové vody, který je vhodný i pro využití v městských zástavbách. Kromě výhod jako snižování odtoku vody a doplňování vod podzemních můžou porézní chodníky nabídnout i prevenci znečištění protékajících smyvů (Scholz et Grabowiecki, 2007).

Výzkumy prokázaly vysokou účinnost propustných chodníků při snižování nerozpuštěných látek z odtoku, dále snížení biochemické spotřeby kyslíku (dále jen BSK), chemické spotřeby kyslíku (dále jen CHSK), a hladiny amoniaku ve srovnání s dálniční vpustí. Dobré výsledky mají zařízení i při odstraňování nerozpuštěných látek a dusíku (Scholz et Grabowiecki, 2007).

Obrázek 7: Typické schématické uspořádání propustného chodníkového systému (Scholz et Grabowiecki, 2007)



- Porézní chodníky a asfalt

Účelem, za kterým byli vymyšleny porézní chodníky, byl sběr smyvů z městských oblastí. Chodníky musí splňovat požadavky na zachycování a přečištění odpadních vod a jejich povrch musí být dostatečně pevný, aby jej bylo možné využít i v místech s větší koncentrací dopravy (Scholz et Grabowiecki, 2007).

Porézní asfalt představuje další alternativu složitých odvodňovacích systémů pro zadržování vody v krajině. Smyv se zde infiltruje v pórovité vrstvě (mají schopnost zadržovat částice), přečistí se v podloží a poté je vpuštěn do podzemní vody. Jedná se i o prevenci při náhlých srážkách a potopách. Využití je velké, především se ale aplikuje na parkovištích, příjezdových cestách, chodnicích, krajnicích pozemních komunikací či na jiných plochách. Nevýhodou systémů je časté ucpávání sedimenty či usazeninami a následná ztráta jejich poréznosti. Bez ucpání fungují okolo 3-5 let od jejich instalace, poté je potřeba je vyměnit za nové. Jejich častá výměna zvyšuje jejich cenu a pokud se řádně nevyměňují, časem zcela přestanou plnit svoji funkci (Scholz et Grabowiecki, 2007).

Porézní asfalt se nijak vzhledově neliší od běžných materiálů. Je vyráběn promícháním velkého kameniva a cementu či betonu. Díky absenci malých částí kameniva vznikají v betonu neuzavřené póry, které propouští vodu skrz celou vrstvu. Celou konstrukcí pak snadno prochází voda i vzduch.

4.6.4 Retenční a záchytné nádrže

Na rozdíl od retenčních nádrží nemají záchytné rybníky stálou vodní hladinu a odtok odtéká odtokovým otvorem na dně z místa mnohem rychleji. Retenční nádrže má naopak díky přítomnosti stoupačky ústí otvoru výše, může si proto dovolit držet stálou vodní hladinu v nádrži (Leber, 2015).

Vzhledem k tomu, že se retenční nádrž nijak neodlišuje od běžného rybníku, hraje výpusť pro kontrolu odtoku dešťové vody velmi důležitou roli. Retenční rybníky mohou nabídnout výhody v podobě vyšší kvality vody snížením znečišťujících látek a sedimentů v nich obsažených. Tyto nádrže se často využívají zejména v oblastech s betonovou nebo asfaltovou zástavbou, a to především proto, že odtok dešťové vody ze zmíněných povrchů odtéká mnohem vyšší rychlostí než v přirozeně se vyskytujících či přírodních oblastech. Odtok je proto nutné odklonit a zpomalit (Leber, 2015).

Záchytné nádrže nebo také suché záchytné nádrže (poldry) se využívají v oblastech s větší rozlohou půdy (10 a více akrů). Princip fungování je prostý. Nádrže jsou velké s betonovou konstrukcí na dně a k odvádění vody používají velmi malý sklon terénu. Nádrž funguje jako sběrná plocha dešťové vody, která se velmi pomalu dostává výpusť pryč. Výhodou použití je cena realizace, která je řádově menší než u retenčních

nádrží, neboť záchytné nádrže bývají menší a do jisté míry zadržují vodu v krajině. Nevýhodou je kvalita vody, která se tímto způsobem záchytu nijak nezvyšuje, v teplých měsících se nádrž může stát líhništěm komárů, čímž může snížit hodnotu okolního území (Leber, 2015).

Retenční nádrže nebo také vsakovací zařízení s regulovaným odtokem jsou budované v krajině a zajišťují jak zadržování, tak i čištění kontaminované dešťové vody a smyvů od nežádoucích polutantů. Na jejich odstranění pracují přirozené přírodní procesy, které jsou typické pro rybníky i pro jezera. Nádrže bývají obklopeny vodní a mokřadní vegetací pro stabilizaci břehů a pro zvýšení účinku čištění posbírané vody. Přítok vody je do nádrže distribuován pomocí sítí okolních podzemních trubíc. Jedná se o stojatou vodní nádrž, množství odtokové vody se pohybuje v závislosti na množství přítoku. V nádrži se udržuje stálá vodní hladina. Výhodou tohoto systému je shromažďování a zlepšování kvality vody přirozenou cestou bez nutnosti dalšího vybavení, jednoduchost, možnost rekreačních účelů v nádrži a vznik nových druhově bohatých vodních stanovišť v krajině. Nevýhodou je potřeba velkého území na vybudování nádrže, negativní dopad na kvalitu vody, pokud není nádrž správně navržena, nádrž se může také stát nežádoucím líhništěm komárů (Leber, 2015). Každá retenční nádrž musí být konstruována spolu s bezpečnostním přelivem zajišťujícím dostatečný průtok i v případě vyšších nečekaných srážek (Vítek et al. 2015).

4.7 Primární odstraňovací mechanismy HDV

Systémy HDV jsou schopné odstraňovat polutanty z přiteklych vod na základě několika principů. Jedná se o kombinace biologických, fyzikálních a chemických procesů zobrazující v níže přiložené tabulce (Scholes et al. 2005).

Tabulka 1: Primární procesy používané při čištění HDV (Scholes et al. 2005)

Proces odstraňování	Princip
Sedimentace	Usazování těžších nerozpustných částic v kapalně směsi
Adsorpce	Hromadění kapaliny nebo pevné látky na povrchu pomocí mezipovrchových přitažlivých sil
Mikrobiální degradace	Rozklad polymerů působením biologických činitelů
Filtrace	Oddělení pevné látky od kapaliny
Vypařování	Schopnost látky se vypařit

Fotolýza	Fotochemický proces – štěpení vazeb v molekulách chemických sloučenin v důsledku absorpce světla
Přijem rostlin/fytoremediace	Odstraňování polutantů rostlinami

Procesy čištění v nádržích ovlivňuje i mnoho dalších faktorů. Příkladem mohou být teplotní poměry v nádrži, proudění vody a doba jejího zdržení, poloha nádrže včetně nadmořské výšky, ve které je umístěna, dále proces ovlivňuje i odtok a přítok do nádrže (Číháková, 2009).

Sedimentace

Jedná se o pochody, které jsou velmi důležité v malých vodních nádržích. Zjednodušeně jde o proces, kdy se postupně usazují vlivem gravitační těžší nerozpustné látky na dně nádrže. Celý průběh sedimentace pak závisí na usazovací rychlosti, obsahu, tvaru a měrné hmotnosti suspendovaných látek ve vodě, fyzikálních vlastnostech vody a na rychlosti jejího proudění v nádrži. Proces sedimentace je pak dále narušován větrem či turbulentními vlivy (Číháková, 2009).

4.8 Jakost vody pro závlahu

V rámci porovnání účinnosti čištění jednotlivých HDV zařízení se v této bakalářské práci pracuje především s normou ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu (dále jen norma). Tato norma slouží pro vyhodnocení kvality vody z hlediska dalšího využití k doplňkové závlaze.

Norma uvádí, že k závlaze se smí používat jen voda, která nijak negativně neovlivní zdravotní stav lidí a zvířat, výši výnosu a kvalitu plodin, půdní vlastnosti, jakost povrchových vod a podzemních vod a jiných složek životního prostředí. Norma dále klade rozdílné požadavky na jakost vody pro závlahu zejména v závislosti na půdních a klimatických podmínkách, způsobu závlahy a druhu pěstovaných plodin.

Dle této normy dělíme vody z hlediska doplňkových závlah na 3 třídy:

- I. třída – vody vhodné k závlaze
- II, třída – vody podmíněně vhodné k závlaze
- III. třída – vody nevhodné k závlaze

Podmínky využití pro jednotlivé třídy se liší. Vodu I. třídy lze dle závlahové normy použít ve všech zemědělských a lesních kulturách bez jakéhokoliv omezení.

Vody II. třídy lze využít k závlaze jen za předpokladu, že budou pro každou lokalitu stanovena kritéria pro využití vody podle stupně a charakteru znečištění vody, místních podmínek, způsobu závlahy a podobných zvláštních opatření. Norma zde také uvádí, že je třeba evidovat zejména závlahové množství a složení závlahové vody pro bilanci vstupu cizorodých látek do půdy.

Poslední III. třídu vody nevhodné k závlaze popisuje norma jako: „Voda III. třídy je použitelná k závlaze buď jen po takové úpravě, kterou získá kvalitu vody vhodné nebo podmíněně vhodné nebo je použitelná k závlaze podle podmínek pro závlahu odpadními vodami.“

Pro klasifikaci vod podle její jakosti uvádí dokument 4 základní ukazatele:

- A – fyzikální ukazatele
- B – chemické ukazatele
- C – biologické ukazatele
- D – ukazatele radioaktivity

Nejvýše přípustné hodnoty (dále jen NPH) ukazatelů jmenovaných skupin A, B, C, D jsou uvedeny v následující tabulce 2:

Tabulka 2: Nejvýše přípustné hodnoty (NPH) ukazatelů jakosti pro jednotlivé třídy dle ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu, modifikováno (upraveno autorem)

Ukazatel	Jednotka	Třída		
		I	II	III
		Voda vhodná	Voda podmíněně vhodná	Voda nevhodná
A. Fyzikální ukazatele				
1. Teplota vody (t)	°C	35	40	>40
B. Chemické ukazatele				
2. Reakce vody (pH)	–	5 - 8,5	4,5 - 9	<4,5 a >9
3. Rozpuštěné látky	mg/l	800	1200	>1200
4. Chloridy	mg/l	300	400	>400
5. Sírany	mg/l	250	300	>300

6. Hliník	mg/l	10	20	>20
7. Arsen	mg/l	0,05	0,1	>0,1
8. Bor	mg/l	0,5	1	>1
9. Kadmium	mg/l	0,01	0,02	>0,02
10. Kobalt	mg/l	0,5	1	>1
11. Chrom (veškerý)	mg/l	0,2	0,5	>0,5
12. Měď	mg/l	0,5	2	>2
13. Mangan	mg/l	3	5	>5
14. Molybden	mg/l	0,2	0,4	>0,4
15. Nikl	mg/l	0,1	0,2	>0,2
16. Olovo	mg/l	0,05	0,1	>0,1
17. Rtuť	mg/l	0,005	0,01	>0,01
18. Selen	mg/l	0,02	0,05	>0,05
19. Vanad	mg/l	0,1	0,5	>0,5
20. Zinek	mg/l	1	2	>2
21. Železo	mg/l	10	100	>100
22. Kyanidy	mg/l	0,4	0,5	>0,5
23. Tenzidy aniontové	mg/l	2	4	>4
24. Fenoly s těkající vodní párou	mg/l	0,2	0,5	>0,5
25. Nepolární extrahovatelné látky (NEL)	mg/l	0,1	0,3	>0,3
26. Polychlorované bifenyly	ng/l	50	100	>100
C. Biologické ukazatele				
27. Koliformní bakterie	KTJ/ml*	100	1000	>1000
28. Fekální koliformní bakterie	KTJ/ml*	10	100	>99
29. Enterokoky	KTJ/ml*	10	100	>100

30. Patogenní mikroorganismy, salmonelly		neprokazatelné v 0,5l	neprokazatelné v 0,2 l	prokazatelné v 0,1 l
31. Infekční stadia parazitů člověka a domácích zvířat		neprokazatelné v 1 l	neprokazatelné v 1 l	Prokazatelné v 1 l
32. Kolifágy	PFU/l**	10(2)	10(4)	>10 (4)
33. Testy klíčivosti na semenech rostlin	h/k***	1	1	>1
D. Ukazatele radioaktivity				
34. Celková objemová aktivita beta mimo tritia	mBq/l	1500	–	>1500
35. Radium 226	mBq/l	200	–	>200
36. Uran	μg/l	50	–	>50

*KTJ = kolonie tvořící jednotka

**PFU = plakotvorná jednotka

***h = délka hypokotylu v mm, k = délka kořene v mm

5 Praktická část

5.1 Kvalita a chemické složení smyvů v ČR

Pro vyhodnocení chemického složení smyvů v ČR byly pro tuto práci využity výsledky mojí vedoucí práce, paní Ing. Terezy Hnátkové, Ph.D., z měření obsahu těžkých kovů a dalších rizikových prvků ve splachových vodách (tabulka č. 3). Měření se zaměřilo na dopravně frekventované zpevněné plochy v ČR, především na komunikace u obchodních domů nebo na lokality na velkokapacitních silnicích – na dálnici D3 nebo na Pražském okruhu.

Získaná data o koncentracích sledovaných polutantů byla následně hodnocena porovnáním s účinnostmi konkrétních HDV dle dat z projektu Mezinárodní databáze

BMP. Jedná se o projekt, který byl spuštěn v roce 1996 na základě dohody o spolupráci mezi Americkou společností stavebních inženýrů (ASCE) a Agenturou pro ochranu životního prostředí Spojených států amerických (US EPA). Účelem tohoto projektu je poskytnout veřejnosti vědecky podložené informace a měření, která mají potenciál pomoci lépe posoudit a zlepšit budoucí návrhy, výkonnost a výběr konkrétních BMP (HDV) pro urbanizované části světa. Tato databáze se pravidelně aktualizuje s cílem odhalit všechny faktory ovlivňující funkčnost, výkonnost a implementaci BMP. Jednotlivá data byla využita pro vyhodnocení kvality vody dle výše zmiňované závlahové normy ČSN 75 7143 bez předchozí znalosti konkrétních použitých analytických metod.

Tabulka 3: Koncentrace těžkých kovů a rizikových prvků (v µg/l) ve splachových vodách z ulic, silnic a dálnic

Lokalita	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Cl- (mg/l)	NEL (µg/l)	org. látky	BSK
Globus-Stodůlky	ND	ND-10,5	16-55,7	-	-	ND-5,8	ND-10	36-1310	-	-	19,9-1920	ND-839	29,1-147/8,5-73,7	2,3-11,9
Globus-ČB	ND	ND	ND-2,2	-	-	ND	ND	ND-57,3	-	-	15,6-48,9	ND	12,8-13,6/11,6-21,9	1,1-4,3
Horoměřice	ND	ND	2,6	-	-	ND	ND	18	-	-	ND	ND	ND/5,2	ND
Pražský okruh (6 lokalit)	ND	ND-4,7	ND-10,8	-	-	ND-6,7	ND-7,6	ND-35	-	-	ND-169	ND-164	ND-46/3,17-10,7	ND-3,9
D3 (5 lokalit)	ND	ND-17	ND-40	-	-	ND-6,9	ND-8,2	ND-6,7	-	-	ND-160	ND-368	40,4-69,5/4-32,4	1,95-17,8
Souhrn ČR	ND	ND-17	ND-55,7	-	-	ND-6,9	ND-10	ND1310	-	-	ND-1920	ND-839	ND-147 (3,17-73,7)	ND-17,8

Poznámky: ND – pod detekčním limitem, - neměřeno

Všechny uvedené lokality se vyznačují nadměrným provozem motorových vozidel, které produkují celou řadu znečišťujících látek. S ohledem na negativní vliv na životní prostředí jsou dlouhodobě sledovány zejména koncentrace toxických kovů – mědi (Cu), zinku (Zn), chromu (Cr), olova (Pb), niklu (Ni) a kadmia (Cd) a NEL (nepolární extrahovatelné látky). Významnými znečišťujícími látkami jsou také chloridy a organické látky. Pro posouzení rozsahu znečištění je též sledována biologická spotřeba kyslíku (BSK).

Měď

Měď se ve smyvech na nebezpečných plochách objevuje v důsledku antropogenní činnosti, např. z komunálního odpadu, chemického průmyslu a ze zemědělství, kde se přidává do fungicidních přípravků. Měď se využívá i při výrobě elektrotechnických materiálů, slitin (bronzy a mosaz) či měděných drátů a plechů. Při zasažení organismu se měď hromadí v játrech a v kostní dřeni. Zde škodí hlavně rozpuštěné měďné soli a způsobují anemii (chudokrevnost), poškození ledvin a jater. Zasažený organismus může pociťovat bolestné zažívací problémy a s ním spojené krvácení do zažívacího ústrojí. Měď je toxická hlavně pro rostliny a řasy a nižší organismy jako jsou houby a plísně často poškozující zemědělské plodiny. Se směsí s modrou skalicí či vápnem se připravuje účinný a hojně využívaný fungicidní přípravek. Toxicita pro zvěř je u mědi mnohonásobně nižší (Kafka et Punčochářová, 2002).

Zinek

Zinek se ve smyvech může vyskytovat především jako důsledek antropogenní činnosti. Vyšší obsah zinku v ovzduší se vyskytuje zejména v oblastech, kde dochází ke zpracování železných rud či z galvanického průmyslu (výroby baterií). Stopové množství zinku uniká z pozinkovaných dešťových trubek či z pozinkovaných automobilových mantinelů z okolí silnic. Dalším zdrojem jsou otěry z pneumatik na silnicích a odpadní voda z neadekvátně zabezpečených skládek chemického odpadu (Lenntech, ©2022).

Chrom

Antropogenním zdrojem chromu ve smyvech jsou odpadní vody z průmyslu zaměřující se na povrchové úpravy vody, odpadní vody z barevné metalurgie, vody z kožedělného či textilního průmyslu, kde se voda znečišťuje v některých fázích

barvicího procesu. Významnější koncentrace chromu můžeme najít v odpadních vodách z hydraulické dopravy popílku. Většina chromu vyskytující se v přírodních vodách se zde váže na sedimenty a nerozpuštěné látky. Toxicita chromu závisí na oxidačním stupni (Pitter, 1999).

Olovo

Do vod se dostává z průmyslových podniků, kde se olovo zpracovává. Jde o úpravny rud, hutě, rafinerie a další chemický průmysl. Významným zdrojem jsou i hnojiva a insekticidy používané v zemědělství, používání olovnatého benzínu v automobilovém průmyslu či antropogenní spalování fosilních paliv. Olovo je pro živé organismy velmi toxické, a to zejména protože se chová jako antagonist vápníku a kumuluje se v kostech (až 90 % tělem přijatého olova), kde negativně ovlivňuje tvorbu krve, neboť zde narušuje syntézu krevního barviva hemoglobinu. Dále může olovo vstupovat do krevního běhu a poškozovat játra a ostatní vnitřní orgány. U dětí může docházet k napadení nervového systému (i přes placentu matky) a při vyšší toxické dávce této látky se u malých dětí může projevit až mentální retardace (Kafka et Punčochářová, 2002).

Nikl

Nikl je významný kontaminant v hydrosféře, pedosféře i atmosféře. Do životního prostředí se dostává z metalurgických provozů, spaloven komunálních odpadů (baterie, kosmetické přípravky – laky, šampony), rafinerií a úpraven rud. Ve vodních ekosystémech velmi často dochází ke kumulaci niklu ve vodních řasách a bezobratlých. Na člověka má nikl výrazně toxické účinky. Při dlouhodobém vdechování způsobuje až rakovinu plic či sliznice nosu – k významnému nežádanému vniku niklu do těla přispívá i kouření. Zdrojem niklu v lidském organismu jsou i poniklované hlavice umělých kloubů (Kafka et Punčochářová, 2002).

Kadmium

Kadmium se může ve smyvech a odpadních vodách objevovat stejně jako zinek (je mu chemicky velmi podobné), kadmium ho doprovází ve svých rudách. Při zpracovávání těchto rud se kadmium dostává do odpadních vod i do atmosféry. Dalším významným antropogenním zdrojem kadmia jsou často fosforečná hnojiva využívaná v zemědělství a aplikace čistírenských kalů na zemědělskou půdu. Dalším zdrojem jsou odpadní vody z výroby Ni-Cd baterií a z průmyslového galvanického

pokovování. Do atmosféry se může kadmium dostat při spalování plastového odpadu, neboť slouží jako stabilizátor některých termoplastů (např. PVC). Další zdroje znečištění atmosféry kadmiem je pak spalování fosilních paliv, nafty a topných olejů. Kadmium patří mezi velmi nebezpečné jedy. Negativní vlastností této látky je jeho kumulace v biomase a setrvávání v těle po velmi dlouho. Při inhalaci se předpokládají karcinogenní účinky. Pro vodní organismy je kadmium značně toxické. Škodlivě působí zejména na zooplankton a ryby, které jej konzumují. Nejcitlivěji reagují lososovité ryby (Pitter, 1999).

Chloridy

Jedná se o nejrozšířenější formu výskytu chloru v odpadních vodách. V povrchových i podzemních vodách bývá koncentrace chloridů běžně v rozmezích jednotek až desítek mg/l. Jiné je to v minerálních vodách, kde může koncentrace těchto látek převyšovat i několik tisíc mg/l. Chloridy jsou jako látky chemicky nezávadné, jejich vyšší přítomnost se lehce rozezná podle chuti vody, která se při vyšší koncentraci chloridů ve vodě zásadně mění. Pro hygienické zabezpečení vod či při čištění některých odpadních vod se využívá metoda chlorování. Chlor má dva zásadní účinky projevující se ve vodě: oxidační (kyselina chlorná a chlornany) a chlorační (elementární chlor). Mezi významné zdroje chloridů patří odpadní vody z organického průmyslu. Ve smyvcích na zpevněných plochách je zdrojem chloridů převážně posyp vozovek v zimním období. S chloridy se lze setkat běžně i v odpadní vodě, neboť každý člověk denně v moči vylučuje asi 9 g chloridů, které se pak dostávají do splaškových vod (Pitter, 1999).

Organické látky

V odpadních vodách mohou mít organické látky buď přírodní nebo antropogenní původ. Přírodní organické znečištění mohou pocházet z výluhů půd a sedimentů rostlinných či živočišných organismů a bakterií. Jedná se především o tzv. huminové látky. Některé z těchto přírodních látek mají komplexační a povrchově aktivní vlastnosti. Znáмым příkladem pachotvorné a toxické činnosti je tvorba vodního květu životní činností sinic. Antropogenní znečištění organickými látkami pochází z odpadních vod splaškových a průmyslových a dále z odpadu ze skládek či ze zemědělství. Chemické i biologické vlastnosti odpadních vod mohou být organickými látkami významně ovlivněny. Negativně se může změna kvality vod projevit karcinogenními, mutagenními, alergenními i teratogenními vlastnostmi, může ovlivnit

barvu vody, pěnitosť vody nebo tvořit povrchový film na vodní hladině – oleje, ropa (Pitter, 1999).

Pro znečištění odpadních a přírodních vod je v případě uhlovodíků ropného i přírodního (vznikají biologickými pochody) původu využíváno označení nepolární extrahované látky NEL (uhlovodíky s počtem atomů uhlíku v rozmezí C10 až C40). Nejčastější výskyt znečištění způsobený těmito látkami je identifikován v okolí nalezišť ropy a v oblastech jejího zpracování (petrochemický průmysl). Obsah NEL v areálových smyvech je v mnoha případech zapříčiněn úkapy ze zemědělské techniky a manipulací s mazacími oleji či jinými ropnými produkty na areálových plochách. Ve vodách použitelných pro závlahu je přípustná hodnota koncentrace NEL podle normy ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu nejvýše 0,1 mg/l (Pitter, 1999).

Mezi organické látky se zvláštním hygienickým významem ve vodách lze zařadit huminové látky, aromatické uhlovodíky, fenoly, chlorované organické látky, pesticidy a tenzidy (Pitter, 1999).

Biologická spotřeba kyslíku BSK

Biologickou spotřebu kyslíku lze definovat jako hmotnostní koncentraci rozpuštěného kyslíku, který je spotřebován za stanovených podmínek. V toxickém prostředí zaniká kyslík biochemickou oxidací organických (i anorganických) látek ve vodě. Pomocí BSK lze vyjádřit míru koncentrace biologicky rozložitelných látek ve vodě. BSK udává jeden z elementárních parametrů při posuzování účinnosti zejména biologického čištění odpadních vod a využívá se i pro hodnocení biologické rozložitelnosti organických látek ve vodě. Aby mohla být hodnota BSK správně stanovena, je nutné mít ve vodě dostatečné množství mikroorganismů nezbytné pro biochemickou oxidaci organických látek. Průmyslové vody často nemají ve svých odpadních vodách žádné vlastní bakterie, je proto nutné je pro stanovení hodnoty BSK do vody přidat. Tomuto procesu se říká dodatečná inokulace. BSK se za n dní označuje BSK_n . Pro analýzu pitných, užitkových a podzemních vod se BSK nestanovuje, neboť jde většinou o zanedbatelně nízké hodnoty. Vyšší koncentrace BSK se mohou nacházet v některých průmyslových odpadních vodách, příkladem mohou být odpadní vody z potravinářského průmyslu, kde se koncentrace pohybují i v několika tisících mg/l. V povrchových vodách bývá koncentrace BSK v jednotkách mg/l. Norma ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu hodnotu BSK nesleduje (Pitter, 1999).

5.2 Účinnost jednotlivých HDV pro eliminaci polutantů v ČR

Pro zjištění účinnosti jednotlivých systémů HDV byla pro tuto bakalářskou práci využita publikace sumarizace dat z Mezinárodní databáze BMPs za rok 2020 (Clary, 2020). Na základě analýz dostupných studií zaměřujících se na kvalitu a koncentraci látek v přítokové a odtokové vodě v průběhu jednotlivých událostí – dešťových epizod – shrnuje publikace tato data v přehledných grafech a tabulkách. V technické databázi se spíše než na srovnávání výsledků využitých studií klade důraz na srovnávání hodnot koncentrací polutantů v přítoku a odtoku v jednotlivých sledovaných událostí. Každý výsledek měření koncentrací konkrétních látek v BMP v publikaci obsahuje údaje nejméně ze 3 událostí. Hodnoty koncentrací látek v tabulkách jsou mediány 95% konfidenčního intervalu získaných dat z dostupných studií (Clary, 2020).

5.2.1 Účinnosti jednotlivých systémů HDV dle toxických kovů

Na základě dat z této publikace (rozdíl koncentrací sledovaných polutantů na přítoku a odtoku) byla vypočítána účinnost každého systému pro všechny sledované toxické kovy. Prvky byly vybrány na základě předchozí práce mojí vedoucí práce, paní inženýrky Hnátkové (tabulka č.3). Sledována byla tato HDV zařízení: zadržovací nádrže, retenční rybníky, mokřadní povodí a mokřadní kanály (rozdíl je v rozměrech těchto systémů), infiltrační plochy, bioretenční systémy a porézní chodníky.

Měď

Tabulka 4: Účinnost systémů HDV při odstraňování mědi ($\mu\text{g/l}$)

Cu ($\mu\text{g/l}$)	In	Out	Δc ($\mu\text{g/l}$)	Účinnost v %
Zadržovací nádrž	8,750	4,580	-4,170	47,66
Retenční rybník	9,590	4,900	-4,690	48,91
Mokřadní povodí	7,400	3,320	-4,080	55,14
Mokřadní kanál	10,000	10,000	0,000	0,00
Infiltrační plochy	12,100	6,900	-5,200	42,98

Bioretenční systémy	13,100	7,130	-5,970	45,57
Porézní chodníky	12,900	8,300	-4,600	35,66

Systémy HDV jsou v případě odstraňování mědi ze smyvu účinné. Vysoké účinnosti byly zaznamenány především u mokřadního povodí, retenčních rybníků a zadržovacích nádrží, kde se účinnost pohybuje okolo 50 %. Nižší schopnost odstraňovat z vody tento toxický kov prokázaly bioretenční systémy, infiltrační plochy a porézní chodníky. Naopak vliv na odstranění mědi neprokázaly mokřadní kanály, u kterých nebyly v přítoku a odtoku naznačeny žádné změny rozdílů v koncentracích.

Zinek

Tabulka 5: Účinnost systémů HDV při odstraňování zinku ($\mu\text{g/l}$)

Zn($\mu\text{g/l}$)	In	Out	Δc ($\mu\text{g/l}$)	Účinnost v %
Zadržovací nádrž	51,700	17,300	-34,400	66,54
Retenční rybník	50,000	21,200	-28,800	57,60
Mokřadní povodí	52,500	20,100	-32,400	61,71
Mokřadní kanál	27,000	20,000	-7,000	25,93
Infiltrační plochy	45,600	25,800	-19,800	43,42
Bioretenční systémy	62,000	12,800	-49,200	79,35
Porézní chodníky	60,000	20,000	-40,000	66,67

Výsledky měření prokázaly, že všechny použité systémy HDV jsou při odstraňování zinku účinné. Nejúčinnějšími jsou podle databáze bioretenční systémy s účinností 79,35 %, dále zadržovací nádrže a porézní chodníky s účinností přes 66 % a nezanedbatelné v jsou i retenční rybníky s účinností 57,6 %. Nejnížší efektivitu při čištění zinku vykazují mokřadní kanály s účinností 25,93 %. Kromě hlavního účelu

HDV, kterým je zadržení vody v krajině a její znovuvyužití, tak mají všechny uvedené systémy benefit v podobě schopnosti snížení obsahu zinku.

Chrom

Tabulka 6: Účinnost systémů HDV při odstraňování chromu ($\mu\text{g/l}$)

Cr ($\mu\text{g/l}$)	In	Out	Δc ($\mu\text{g/l}$)	Účinnost v %
Zadržovací nádrž	4,120	3,100	-1,020	24,76
Retenční rybník	4,000	2,000	-2,000	50,00
Mokřadní povodí	N	N	N	N
Mokřadní kanál	4,000	4,970	0,970	N
Infiltrační plochy	2,500	1,800	-0,700	28,00
Bioretenční systémy	4,000	0,738	-3,262	81,55
Porézní chodníky	3,750	4,000	0,250	N

Na základě vyhodnocení dat z mezinárodní databáze lze konstatovat, že systémy mokřadních kanálů a porézních chodníků jsou zcela neúčinné pro odstranění chromu ze splachových vod a mohou přispět k navýšení tohoto polutantu v odtoku. Jako méně účinné systémy lze označit zadržovací nádrže a infiltrační plochy, které umožňují snížení obsahu chromu ve smyvech o 24,76 %, resp. 28 %. Nejvíce účinnými systémy se k eliminaci chromu ze smyvů jeví bioretenční systémy se svou účinností 81,55 %, případně retenční rybníky. Pro výpočet účinnosti čištění chromu pro systém mokřadního povodí v databázi chybí data.

Olovo

Tabulka 7: Účinnost systémů HDV při odstraňování olova ($\mu\text{g/l}$)

Pb ($\mu\text{g/l}$)	In	Out	Δc ($\mu\text{g/l}$)	Účinnost v %
Zadržovací nádrž	8,000	3,890	-4,110	51,38

Retenční rybník	9,000	3,000	-6,000	66,67
Mokřadní povodí	3,480	1,680	-1,800	51,72
Mokřadní kanál	5,650	5,000	-0,650	11,50
Infiltrační plochy	3,800	1,900	-1,900	50,00
Bioretenční systémy	5,700	0,932	-4,768	83,65
Porézní chodníky	4,300	1,380	-2,920	67,91

Účinnost je pro olovo značně odlišná v závislosti na použitém systému HDV, nicméně výsledky měření tohoto polutantu ve smyvech naznačují, že všechny systémy mají schopnost přispět ke snížení obsahu. Nejhuře se prosazují mokřadní kanály se schopností snížení koncentrace olova o pouhých 11,5 %. Nejlépe se potom jeví bioretenční systémy (83,65 %) a porézní chodníky (67,91 %).

Nikl

Tabulka 8: Účinnost systémů HDV při odstraňování niklu ($\mu\text{g/l}$)

Ni ($\mu\text{g/l}$)	In	Out	Δc ($\mu\text{g/l}$)	Účinnost v %
Zadržovací nádrž	5,000	3,000	-2,000	40,00
Retenční rybník	3,370	2,500	-0,870	25,82
Mokřadní povodí	N	N	N	N
Mokřadní kanál	5,000	6,210	1,210	N
Infiltrační plochy	2,900	2,000	-0,900	31,03
Bioretenční systémy	4,200	2,800	-1,400	33,33
Porézní chodníky	3,650	2,300	-1,350	36,99

Mokřadní kanály se pro čištění niklu ukazují jako velmi nevýhodné. Koncentrace této látky se při procesu přečištění v kanálech zvýšila, takže jako čisticí systém jsou pro tento prvek nevhodné. Pro velmi podobný systém mokřadního povodí nejsou v databázi data pro stanovení účinnosti čištění tohoto kovu. Ostatní systémy vykazují účinnost, i když ne příliš vysokou. Nejvyšší účinnost se projevuje u zadržovacích nádrží, kde se obsah chromu snižuje o 40 %. Nejméně účinné jsou retenční rybníky s účinností 25,82 %.

Kadmium

Tabulka 9: Účinnost systémů HDV při odstraňování kadmia ($\mu\text{g/l}$)

Cd ($\mu\text{g/l}$)	In	Out	Δc ($\mu\text{g/l}$)	Účinnost v %
Zadržovací nádrž	0,3670	0,2800	-0,0870	23,71
Retenční rybník	0,4000	0,2000	-0,2000	50,00
Mokřadní povodí	0,2710	0,1700	-0,1010	37,27
Mokřadní kanál	0,5000	0,5000	0,0000	0,00
Infiltrační plochy	0,3550	0,2000	-0,1550	43,66
Bioretenční systémy	0,1300	0,0825	-0,0475	36,54
Porézní chodníky	0,2770	0,1580	-0,1190	42,96

Účinnost pro odstranění kadmia ze smyvů vykazovala všechna sledovaná HDV, s výjimkou mokřadních kanálů, které tento kov nedokážou ze smyvů odstranit. Nicméně bylo prokázáno, že jeho koncentrace se po přečištění mokřadními kanály ve smyvech ani nezvyšují. Jako méně účinné se prokázaly zadržovací nádrže s účinností 23,71 %. Infiltrační plochy, bioretenční systémy a porézní chodníky mají zhruba 40% účinnosti. Nejúčinnější čištění vykazují retenční rybníky s 50 % účinností.

5.2.2 Účinnosti jednotlivých systémů pro sledované polutanty

Pro přehlednější výstup dat byla data seřazena do přehledného grafu (graf 1). Z grafu je patrné, že nejvíce účinnými systémy HDV pro čištění smyvů ze zpevněných ploch

jsou bioretenční systémy. Žádný ze systémů HDV však neprokázal účinnost pro odstranění chloridů (v databázi byly chloridy zahrnuty pod celkovými rozpuštěnými látkami TDS). Kvůli absenci dat i studií není možné prokázat účinnost při čištění nepolárních extrahovatelných látek NEL. Dostupné údaje neumožňují vyhodnotit znečištění na základě BSK ani dle obsahu organických látek ve smyvech.

Dle tabulky 10 a grafu 1, je zřejmé, že bioretenční systémy jsou velmi účinné pro odstranění chromu (81,55 %), olova (83,65 %) a zinku (79,35 %). Menší účinnost vykazují při čištění niklu, kadmia a mědi. Ani v tomto případě ale nejsou výsledky účinnosti zanedbatelné, neboť tyto polutanty jsou odstraněny s účinností nejméně 33 %.

Velmi dobře využitelné k čištění polutantů jsou retenční rybníky, které se hodí k čištění většiny toxických kovů, zejména pak olova (66,67 %), zinku (57,6 %), chromu (50 %) a kadmia (50 %). Pro odstranění sledovaných toxických kovů ze smyvů se jako vhodné ukázaly i systémy infiltračních ploch a zadržovací nádrže.

Zbylé systémy HDV nezajistily odstranění všech sledovaných kovů ze smyvů. U technologie porézních chodníků a mokřadních kanálů se dokonce naopak koncentrace některých kovů po průtoku vody systémy HDV navýšila. U porézních chodníků se koncentrace chromu ve vodě navýšila o 0,25 µg/l (dle tabulky 6). Tomuto navýšení mohlo předcházet hydraulické navýšení popílku v odvodněných vodách na sledované zpevněné komunikaci.

Nejméně účinnými systémy jsou podle dat mokřadní kanály a povodí. Mokřadní kanály nevykázaly žádné schopnosti vyčistit kadmium (tabulka 9) a měď (tabulka 4) a koncentraci niklu a chromu naopak ve vodách navýšily (tabulka 10) – nikl o 1,210 µg/l a chrom o 0,970 µg/l. Důvodem obsahu niklu a chromu může být v mokřadech akumulace těchto toxikantů v sedimentech, kde jsou vázány na struktury minerálních látek. Do vody se tak uvolňují postupně po velmi dlouhou dobu a v konečném důsledku tak mohou odpadní vodu znečišťovat (Borovec, 1994).

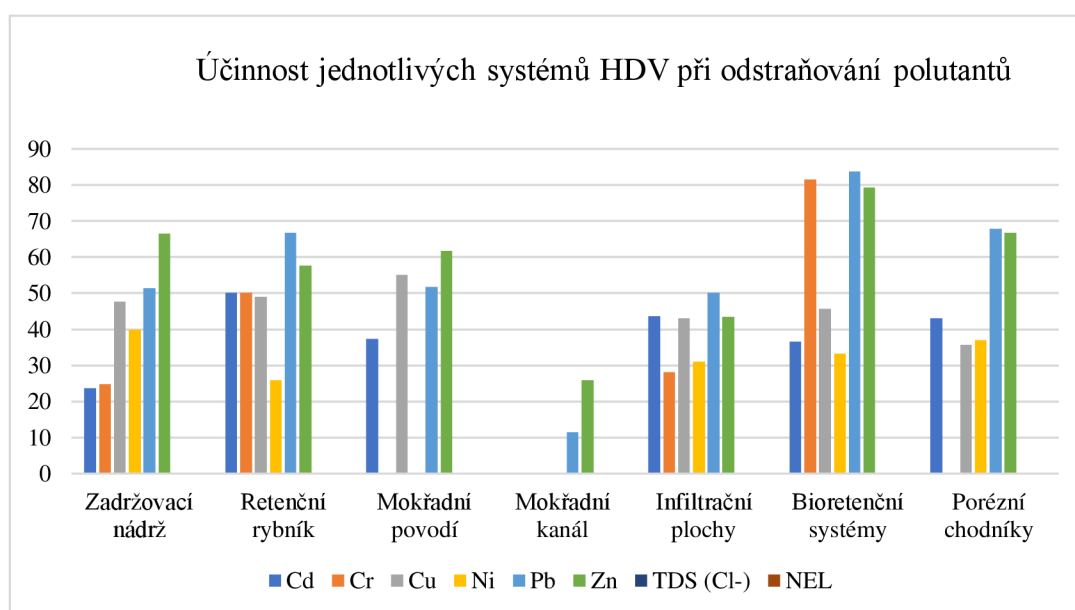
Neboť ani jeden ze sledovaných systémů nedokázal odstranit chloridy a jiné TDS a NEL, nabízí se možnost k funkčnímu zařízení HDV účinnému na odstranění toxických kovů přiřadit další zařízení schopné tyto polutanty odstranit a navrhnout tak více fázový způsob čištění smyvů. Nevýhodou bude zvýšení pořizovací ceny čistícího

systému a provozních nákladů. Z pohledu ekonomiky se využívání víceúrovňového čištění za účelem získání vody využitelné pro závlahu jeví jako neefektivní.

Tabulka 10: Účinnost jednotlivých systémů HDV při odstraňování polutantů v %

Polutant	Toxické kovy						TDS (Cl-)	NEL
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn		
Zadržovací nádrž	23,71	24,76	47,66	40	51,38	66,54	N	N
Retenční rybník	50	50	48,91	25,82	66,67	57,6	N	N
Mokřadní povodí	37,27	N	55,14	N	51,72	61,71	N	N
Mokřadní kanál	0	N -	0	N -	11,5	25,93	N	N
Infiltrační plochy	43,66	28	42,98	31,03	50	43,42	N	N
Bioretenční systémy	36,54	81,55	45,57	33,33	83,65	79,35	N	N
Porézní chodníky	42,96	N -	35,66	36,99	67,91	66,67	N	N

Graf 1: Účinnost jednotlivých systémů HDV při odstraňování polutantů



5.3 Porovnání se závlahovou normou

Na základě získaných dat o koncentracích toxických kovů (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), látek TDS a NEL ve vodě z odvodnění a vypočítaných účinností konkrétních systémů HDV lze odhadnout, které z uvažovaných systémů HDV by mohly být účinné pro odstranění sledovaných polutantů z vody. V kapitole 8.1.2 bylo zjištěno, že toxické kovy jsou ze smyvů účinně odstraňovány nejlépe bioretenčními systémy a retenčními rybníky. Na základě porovnání hodnot koncentrací sledovaných polutantů ve smyvech (tabulka 3) se závlahovou normou ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu bylo zjištěno, že

koncentrace kovů Cd, Cr, Cu, Ni a Pb ve smyvech splňují I. třídu závlahové normy a jsou použitelné k závlaze v zemědělských a lesních kulturách bez jakéhokoliv omezení i bez předchozího přečištění.

Na jedné ze sledovaných lokalit (Globus – Stodůlky – tabulka 3) byla zjištěna zvýšená koncentrace Zn ve smyvu. Na této lokalitě by podle závlahové normy muselo být užito zařazení do II. třídy. Tato voda by byla i v případě zvýšeného množství zjištěné látky Zn využitelná k závlaze, ale pouze za předpokladu, že pro každou lokalitu budou stanoveny zvláštní podmínky podle stupně a charakteru znečištění, způsobu závlahy a místních podmínek (ČSN 75 7143). Na ostatních lokalitách splňují koncentrace Zn ve smyvech I. třídu doplňkových závlah a se smyvy lze nakládat jako s vodou splňující tuto nejvyšší kategorii.

Sledované chloridy (tabulka 3) také, až na lokalitu Globus-Stodůlky, splňují I. třídu závlahové normy. Naopak v lokalitě Globus-Stodůlky je koncentrace chloridů tak vysoká, že by byla dle závlahové normy zařazena do III. Třídy – vody nevhodné k závlaze.

Pro fyzikální přeměnu sněhu a ledu a jejich následné tání se využívají chemické rozmrazovací látky a materiály. Tento způsob předchází vzniku náledí na zpevněných plochách. Často využívané látky jsou chlorid sodný, chlorid vápenatý či směs těchto chloridů. Využívají se v několika formách – postříkem, posypem, nebo jako zvlhčovaná (zkrápěná) sůl (TP 116, 2015). Příčinou vysoké koncentrace chloridu ve smyvech z této komunikace by mohlo být nadměrné solení v zimním období na lokalitě. Soli pak procházejí čisticím procesem a v případě, že by nebyly odvedeny do recipientu, zasakují do půdy. To je problém zejména v případech, kdy na lokalitě převažují nerozpustné (např. jílové) zeminy a soli se pak hromadí na jednom místě (Hnátková, 2020).

Ve smyvech byly přítomné ve vysokých koncentracích i NEL. Pro některé sledované lokality nebyla data zjištěna, avšak někde se podařilo jejich koncentraci změřit a byla zaznamenána jejich vyšší koncentrace. Na 6 lokalitách Pražského okruhu byly dle tabulky 3 změřeny koncentrace této látky v hodnotách splňujících II. třídu závlahové normy.

Na 5 lokalitách na dálnici D3 a na lokalitě Globus-Stodůlky bylo zastoupení NEL ve smyvech velmi vysoké a na všech vyjmenovaných lokalitách byly smyvy zařazeny dle

závlahové normy do III. kategorie vod nevhodných k závlaze. Látky NEL se mohou ve vodách z odvodnění vyskytovat jako zbytkové ropné látky z automobilového provozu či průmyslu (Tlach et Neudertová, 2010).

Organické látky a hodnoty BSK na lokalitách nejsou v závlahové normě ČSN 75 7143 sledovány, proto je nebylo možné se závlahovou normou porovnat.

5.4 Efektivita a použitelnost sledovaných systémů HDV

Na základě posouzení účinnosti jednotlivých sledovaných systémů HDV bylo zjištěno, že tyto systémy jsou účinné při odstraňování většiny toxických kovů, které jsou ve smyvech ze zpevněných ploch běžně zastoupeny.

Tato práce se dále zaměřuje na možnost využití vod ze zpevněných ploch zemědělských a průmyslových podniků. Z důvodu absence potřebných údajů o množství polutantů ve smyvech z předmětných areálových ploch vychází tato práce s ohledem na jejich charakter a využívání z předpokladu, že obsah polutantů ve smyvech z frekventovaných komunikací a parkovišť bude obdobný jako ze smyvů zemědělských a průmyslových podniků. V rámci kapitoly 8.2 Porovnání se závlahovou normou byly proto porovnány hodnoty koncentrací sledovaných polutantů ve vodách z vysoce frekventovaných pozemních komunikací a vysoce frekventovaných parkovišť s limitními hodnotami v normě TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. Na základě vzájemného porovnání hodnot lze očekávat, že smyvy ze zemědělských a průmyslových podniků náleží do kategorie vysoce znečištěných srážkových vod spolu s komunikacemi zemědělských areálů, parkovišti nákladních aut, plochami u skladišť a manipulačními plochami viz tabulka 11.

Tabulka 11: Klasifikace znečištění srážkových vod z hlediska nerozpuštěnými látkami, těžkých kovů a uhlovodíků (TNV 75 9011)

Typ plochy	Míra znečištění srážkových vod
<ul style="list-style-type: none"> - Vegetační střechy - Střechy z inertních materiálů - Střechy s plochou neošetřených kovových částí do 50 m² - Komunikace pro chodce a cyklisty - Málo frekventovaná parkoviště osobních aut - Málo frekventované pozemní komunikace^a (přijezdy k domům) 	nízká
<ul style="list-style-type: none"> - Střechy s plochou neošetřených kovových částí 50 m² až 500 m² - Středně frekventované pozemní komunikace^b - (Vysoce) frekventovaná parkoviště (osobní auta a autobusy) 	střední
<ul style="list-style-type: none"> - Střechy s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m² - Vysoce frekventované pozemní komunikace^c - Plochy u skladišť, manipulační plochy - Komunikace zemědělských areálů - Parkoviště nákladních aut^d 	vysoká

Systémy HDV na základě výsledků analýz smyvů vycházejících z databáze BMPDB neprokázaly schopnost snížit koncentrace NEL a chloridů z vody pocházející z odvodnění. Jako řešení k eliminaci těchto znečišťujících látek se nabízí využití vícestupňového čištění těchto vod, tzn. že poté, co se voda přečistí přes prvek HDV, přejde do další fáze čištění a teprve pak přechází do retenčního objektu, kde ji lze akumulovat a odkud ji lze k závlaze využívat.

Jak již bylo uvedeno výše (kapitola 8.2), chloridy se ve smyvech vyskytují především v zimním období z důvodu využívání posypové soli na komunikacích.

Odstranění chloridů z vody je technologicky i ekonomicky náročný proces, který má své opodstatnění v chemickém, farmaceutickém či potravinářském průmyslu. Využívají se systémy na bázi reverzní osmózy. Výsledkem čištění je dokonale čistá voda bez obsahu nežádoucích reziduí. Osmóza funguje na principu průtoku čištěné vody skrz semipermeabilní membránu z koncentrovanějšího do zředěnějšího prostředí (EuroClean s.r.o., 2019).

Membrána účinně zachycuje nízkomolekulární soli. Jedná se však o velmi nákladná a složitá zařízení. Membrány jsou navíc náchylné k ucpávání volným chlórem. Je proto nutné instalovat i další zařízení jako mechanický předfiltr, změkčení a zařízení pro dechloraci (EuroClean s.r.o., 2022).

Namísto pozdějšího využívání metody reverzní osmózy pro odstranění obsahu soli ve smyvech se jako vhodnější jeví využívání jiného posypového materiálu na vozovkách

a parkovištích. Dle TP 116 by mohly být využity zdrsňovací posypové materiály. Jedná se o látky mechanickým způsobem zabraňující smyku zvýšením součinitelem tření zledovatělé nebo sněhové vrstvy na vozovce. Materiály vhodné k tomuto alternativnímu způsobu posypu komunikace jsou přírodní kameniva (štěrkopísek, drť), umělé kamenivo (vyrobena ze strusky) a odpadní materiály (škvára z fosilních paliv).

Pro odstranění NEL ze znečištěných vod z odvodnění je též zapotřebí přidat k HDV systému další vícestupňové zařízení čištění. V praxi se často využívají odlučovače ropných látek, které nacházejí využití zejména pro čištění vod z ploch, kde lze předpokládat občasný únik ropných produktů (výdejní stanice pohonných hmot, vrakoviště, autodílnské provozy atp. Odlučovače mívají dvě či více oddělených nádrží. V první části nádrže vtéká znečištěná voda do zařízení a dochází zde k usazování hrubých nečistot jako je písek a štěrk na dně nádrže. Poté zbylá voda prochází speciálním sorpčním filtrem, který může být obohacen o aktivní uhlí, a dochází k dočištění vody (Akvatik, 2022).

Jiným způsobem čištění je využití sorpční vpusti. Jedná se o efektivní a prostorově méně náročnou alternativu odlučovačů ropných látek, také hojně využívanou u menších mycích linek, čerpacích stanic, parkovišť a autodílen (Pureco, 2022).

5.5 Posouzení ekonomického hlediska

5.5.1 Operační program životního prostředí výzvy č. 119 pro veřejný sektor

Z důvodu nevhodného hospodaření se zemědělskou půdou, nevyhovujících úprav vodních toků a velkého nárůstu zemědělských ploch v urbanizovaných oblastech byl v operačního programu OPŽP 2014-2020 vyhlášen dotační program 1.3.2 „Hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu a jejich další využití namísto jejich urychleného odvádění kanalizací do toků“ v rámci výzvy číslo 119. Všechna opatření, která byla podpořena v rámci jednotlivých výzev, si kladla za cíl zadržet co největší množství srážkové vody na místě jejího dopadu a odpojit maximální množství zpevněných ploch od jednotné kanalizace (OPŽP, 2015).

Tato výzva umožňovala podat žádost elektronicky nebo v tištěné podobě na krajské pracoviště Státního fondu životního prostředí (SFŽP) ČR od 4. února 2019 do 13. ledna 2020. Výzva se vztahovala na individuální projekty do 50 milionů EUR včetně DPH, kdy minimální výše způsobilých realizačních výdajů činila 200 tisíc Kč bez DPH, a byla průběžná – tzn. nesoutěžní. Oprávněnými žadateli byl pouze veřejný

sektor – kraje, obce, dobrovolné svazky obcí, organizační složky státu, státní podniky, státní organizace, veřejné výzkumné instituce a výzkumné organizace, městské části hl. města Prahy, vysoké školy a školská zařízení, příspěvkové organizace, církve a náboženské společnosti a jejich svazky a nestátní neziskové organizace (OPŽP, 2019).

Mezi podporované projekty patřila povrchová vsakovací a retenční zařízení s doplněnou zelení (plošný vsak, vsakovací nádrže a průlehy), podzemní vsakovací zařízení s retenčním prostorem, povrchové a podzemní retenční prostory s regulovaným odtokem do povrchových vod nebo kanalizace (suché retenční nádrže, umělé mokřady a podzemní retenční nádrže), nádrže podzemní akumulací na zachytávání dešťových vod a jejich opětovné využití (závlaha, splachování WC), výměna zpevněných povrchů nepropustných za povrchy propustné se součinitelem odtoku každého z nových povrchů do 0,5 včetně, dotace přestaveb různých konstrukcí střech s okamžitým odtokem srážkové vody a to na povrchy se vsakovací schopností se součinitelem odtoku do 0,7 včetně (Matějka, 2019).

Výše dotace dosahovala až 85 % celkových způsobilých výdajů u všech podporovaných aktivit, s výjimkou realizací propustných zpevněných povrchů, kde byla podpora maximálně 30 % ze všech způsobilých výdajů. Pro odstranění sedimentů byla vypsána podpora maximální výše 40 % z celkových způsobilých výdajů (OPŽP, ©2019).

5.5.2 Příklady konkrétních realizací operačního programu 1.3.2

V rámci výzvy číslo 119 z operačního programu 1.3.2, kde jedním z podporovaných projektů a aktivit i hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu a jejich další využití namísto odvádění kanalizací do toků, bylo dle aktuálního přehledu probíhajících a uzavřených výzev v OPŽP 2014-2020 ke dni 8.2.2022 za období od 4. února 2019 do 13. ledna 2020 přijato 114 žádostí o dotaci v této výzvě. Dohromady bylo z celkové částky finanční alokace výzvy (objem finančních prostředků určených pro danou oblast podpory operačního programu) možné čerpat 1 mld. Kč. Celková výše vyplacené podpory činila 513 908 122 ml. Kč. Mezi proběhlými realizacemi se nejčastěji objevovaly tyto systémy a opatření HDV: dešťové akumulací nádrže pro využití pro závlahu, výměna nepropustného povrchu za propustný na zpevněných polohách a parkovištích, retenční mokřadní tůň, umělé mokřady a zelené střechy (OPŽP, ©2022).

Příkladem realizace retenční mokřadní tůně v rámci výzvy č. 119 může být dotovaný projekt „Novostavba retenční mokřadní tůně Chorušice“ s cílem zadržení vody v krajině o objemu 5 040 m³. Tento projekt byl dokončen 30.9.2021 a celkové způsobilé výdaje přišly na 3 144 396 Kč. Dotace EU dosahovala v tomto případě 85 % celkové částky ve výši 2 672 737 Kč, zbylou sumu 471 659 Kč přispěla obec Chorušice jakožto příjemce dané podpory (Chorušice, ©2022)

Obrázek 8: Projekt novostavby retenční mokřadní tůně v Chorušicích podpořený operačním programem 1.3.2 (Priorita, 2021)



Projekt „Výměna nepropustného povrchu parkoviště v ulici U Knihovny 1173, Jindřichův Hradec za propustný“ je dalším příkladem vhodného využití dotací poskytnutých v rámci výzvy č. 119. Záměrem tohoto projektu byla rekonstrukce parkoviště s nepropustným asfaltem u Městské knihovny v Jindřichově Hradci za propustnou dlažbu se schopností čistit znečišťující látky ve vodách z odvodnění a následné zadržení této vody v místě jejího vzniku, a to jejím zasáknutím do povrchu. Voda je tak tímto způsobem navrácena do přirozeného koloběhu vody. Projekt vyšel na 1 136 206,34 Kč včetně DPH a z těchto výdajů mu byla poskytnuta 85% dotace ve výši 874 505, 42 Kč. Realizace projektu proběhla v období 1.10.2020 – 30.11.2020. Výsledkem projektu je schopnost zadržet až 5,96 m³ vody díky novému propustnému povrchu (Jindřichův Hradec, ©2022).

Další podpořený projekt „Objekty OÚ Tmaň, hospodaření s dešťovou vodou“ měl za cíl vystavět na obecních budovách retenční nádrže za účelem zachytávání dešťové vody. Zachycená voda je následně využívána k závlaze okolních ploch obecního úřadu a k závlaze fotbalového hřiště. Vzniklé retenční nádrže mají za schopnost zadržet vodu o objemu 62,6 m³. Zahájení a ukončení projektu bylo stanoveno na rozmezí 14.12.2020 – 30.9.2021. Celkové způsobilé výdaje projektu se vyšplhaly na 1 861 770 Kč, z toho byla čerpána dotace od EU ve výši 1 582 504 Kč (85 %). Zbylou částku 279 266 Kč (15 %) přispívala obec jakožto příjemce podpory.

5.5.3 Program rozvoje venkova v operaci 4.1.1

Za účelem modernizace a zlepšení jakosti produktů ze zemědělské prvovýroby, snížení vstupních a výrobní nákladů a zvyšování účinnosti výroby vznikla v rámci Programu rozvoje venkova na období 2014–2020 vypsáném MZe operace 4.1.1 Investice do zemědělských podniků. Dotace pojící se k tomuto programu podporují, mimo jiné, i investice spojené s efektivním využíváním vody pro zemědělské podnikatele. Výše dotace je stanovena na 50 %. Její základ ale může být navýšen až na 60 %. Mladý začínající zemědělec může jakožto žadatel o dotaci dostat navýšení podpory o 5 % a dalších 5 % může dosáhnout jakýkoliv žadatel podnikající v ekologickém zemědělství. Nesmí ale souběžně hospodařit na zemědělské půdě v režimu konvenční produkce. Podporu v celkové nejvyšší míře 60 % může dostat jakýkoliv začínající, mladý a ekologický podnikatel (MZE, ©2021).

Pokud příjemce dotace žádá o výstavbu retenční nádrže, její rekonstrukci, obnovu její funkce nebo jen o nákup jednoduché nádrže pro zachytávání srážkové vody, bude záměr tohoto projektu zařazen podle převažujícího využití, za jehož účelem je projekt pořizován. Výše částky způsobilých výdajů se pro konkrétní záměry liší a pohybuje se od 2 do 50 milionů Kč. Nádrže na zadržení dešťové vody musí splňovat podmínku minimální kapacity 6 000 l a to včetně okapových zařízení na svod srážkové vody ze střech do podporované nádrže. Do 2. 3. 2022 bylo v této operaci Programu rozvoje venkova doposud vyplaceno 16 projektů v celkové výši cca 4,4 mil. Kč (MZE, ©2021).

6 Výsledné zhodnocení

Výsledkem této bakalářské práce je shrnutí možností využití přírodních systémů HDV v běžném provozu a nalezení takových zařízení HDV, která jsou schopna vyčistit znečištěnou vodu z odvodnění do takové kvality, aby přečištěná voda splňovala ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu, a bylo možné využít ji v průmyslových areálech a zemědělských podnicích.

Nejúčinnějšími systémy se prokazují být systémy bioretenční a retenční rybníky. Dále bylo zjištěno, že systémy HDV zadržovací nádrže, retenční rybníky, infiltrační plochy a bioretenční systémy dokážou účinně odstranit toxické kovy ze smyvů, ale nejsou schopny odstranit NEL a chloridy a splnit tak jakost závlahové normy ČSN 75 7143. Vodu z odvodnění tak není ani po přečištění přes systémy HDV možné využít pro závlahu. U zařízení mokřadních kanálů a porézních chodníků bylo prokázáno navýšení Cr a Ni a u porézních chodníků bylo zjištěno zvýšení obsahu Cr.

Z ekonomického hlediska je finančně zajímavé využití zařízení HDV, která jsou součástí dotačních programů. Např. Operační program životního prostředí (OPŽP) v minulosti nabízel dotaci v rámci aktivity 1.3.2 Hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu pod výzvou č. 119 v letech 2014-2020. Podporu této dotace mohly nicméně dosáhnout pouze nestátní neziskové organizace veřejného sektoru, a to ve výši 85 %.

Podnikatelé zemědělského odvětví mohou využít dotaci v maximální výši 60 % na rekonstrukci či pořízení nádrže na zachytávání srážkové vody o minimální kapacitě 6 000 l včetně okapových systémů na svod dešťové vody ze střech do nádrže. Dotace podporuje i výstavbu či rekonstrukci retenčních nádrží pro zemědělce.

7 Diskuse

Česká republika je v rámci své geografické polohy pomyslnou střechou Evropy. Přítok vody na území ČR je téměř zanedbatelný, neboť se tak děje jen s pomocí několika málo řek, které k nám vodu přivádí z okolích států (např.: Ohře z území Německa nebo rakouská Dyje). Veškerá ostatní voda vyskytující se u nás se zde vyskytuje jen vlivem srážek. Naše řeky naopak zásobují okolní státy vodou. My jsme proto jako spotřebitelé odkázáni převážně jen na vodu, která k nám na území spadne v podobě deště (AVex, 2019).

Se změnou klimatu na našem území přibývá velmi suchých dní a čím dál častěji zde nastává tzv. klimatické sucho (srážkový deficit při porovnání s dlouhodobým průměrem). V zemědělství dochází při suchu k poruše vodního režimu vlivem nedostatku vody v kořenové vrstvě v půdním profilu. Negativní vliv sucha nadále velmi intenzivně ovlivňuje celkové výnosy v zemědělství, a to se promítá i do ceny potravin pro spotřebitele. Na zpevněných plochách ve městech či průmyslových areálech se srážková voda často není schopna infiltrovat do místního povrchu a odtéká z území pryč řekami či kanalizací. To negativně ovlivňuje mikroklima v těchto oblastech, narušuje přirozený cyklus vody a zvyšuje teplotu ve městech (Cenia, 2019).

Systémy HDV nabízejí řešení, jak udržet vodu v krajině v nádržích, přefiltrovat ji od nežádoucích polutantů a po splnění jakosti závlahové normy ČSN 75 7143 použít zachycenou vodu k závlaze plodin a zelených ploch i v období sucha. Jedná se o systémy a zařízení přírodě blízká, která nenarušují estetický vzhled krajiny ani intravilánu. V této bakalářské práci jsem se zaměřila především na tyto systémy HDV: zadržovací nádrže, retenční rybníky, mokřady (mokřadní povodí a kanály), infiltrační plochy, bioretenční systémy a porézní chodníky.

Dle výše uvedených tabulek s účinnostmi systému (viz. tabulka 10) jsem zjistila, že sledované systémy HDV jsou účinné při odstraňování toxických kovů z vod z odvodnění. Pro vyhodnocení účinnosti jednotlivých zařízení HDV jsem využila volně dostupná data z BMPDB, posléze jsem vypočítala jejich účinnost porovnáním vstupních a výstupních koncentrací sledovaných látek z konkrétních systémů HDV. Dle mého postupu jsou nejúčinnějšími systémy HDV bioretenční systémy a retenční rybníky, neboť jsou účinné pro čištění všech sledovaných toxických kovů (Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn).

Porézní chodníky, mokřadní kanály a mokřadní povodí nejsou účinné pro čištění všech toxických kovů. Mokřadní kanály a porézní chodníky dokonce vykázaly navýšení polutantů ve vodách po přečištění. V mokřadních kanálech se zvýšila koncentrace chromu a niklu. Dle Borovce (1994) se může nikl a chrom v mokřadech akumulovat v sedimentech bahna, neboť jsou zde oba toxické kovy vázány na strukturu minerálních látek. Uvolňování kovů do vody pak probíhá postupně po velmi dlouhou dobu a tento proces může vodu sekundárně obohacovat o tyto toxikanty.

U porézních chodníků došlo k navýšení niklu. Předpokládám, že důvodem navýšení by mohl být vyšší výskyt poniklovaných zařízení v okolí porézních chodníků

a parkovišť, která mohou nikl po stykem s vodou uvolňovat (Biela et al. 2013). Svoji roli by zde mohla hrát i suchá složka atmosférické depozice. Jedná se o depozici látek objevující se v blízkosti významných emisních zdrojů v průmyslových aglomeracích, v okolí frekventovaných komunikací a ve městech. Tyto látky jsou pak splachovány ze zpevněných ploch a mohou se koncentrovat na jednom místě. (TP 1.20.1, 2019). Těmito místy mohou být právě porézní chodníky, které se často nacházejí v blízkosti vyjmenovaných zdrojů.

Ačkoliv se většina zařízení a systémů HDV prokázala jako účinná při čištění toxických kovů, neprokázala žádnou účinnost při odstraňování chloridů a NEL z vod z odvodnění. Ze zjištěných koncentrací látek naměřených na různých zpevněných plochách v ČR z vod z odvodnění (tabulka 3) a jejich následným porovnáním se závlahovou normou ČSN 75 7143 byla zjištěna u toxických kovů vyšší koncentrace Zn, než vyžaduje norma, na lokalitě Globus-Stodůlky. I tato nejvyšší možná hodnota však stále splňovala alespoň II. střídu závlahové normy (vody podmíněně vhodné k závlaze). S vyšší koncentrací Zn ve smyvech by si poradily všechny sledované systémy HDV.

Smyvy ze znečištěných ploch z frekventovaných komunikací, zemědělských a průmyslových podniků a parkovišť a skladišť s nákladními plochami ale nesplňují ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu, a to především kvůli vysokým koncentracím znečištění chloridů a NEL. Chloridy nejsou systémy HDV schopné z vod odstranit a k odstranění znečištění NEL pomocí systémů HDV zatím neexistují žádné úspěšné experimenty.

NEL se ve smyvech vyskytují převážně jako odpadní látky z dopravy či průmyslu (Tlach et Neudertová, 2010). Jako řešení k jejich odstranění se nabízí k instalaci zařízení HDV připojit další stupeň čištění. To by znamenalo k účinným HDV přidat další zařízení účinné pro odstranění NEL z vod z odvodnění. Dle společnosti Akvatik (2022) se v praxi pro odstranění NEL ze znečištěných vod využívají odlučovače ropných látek. S těmi se můžeme setkat zejména u stanic pohonných hmot, autodílen, parkovišť a u mycích linek. Uvnitř tohoto zařízení se nachází sorpční filtr, který po sedimentaci hrubých nečistot ve vstupní nádrži zařízení dočistí vodu s využitím aktivního uhlí. Další možností pro čištění NEL je využít sorpční vpust. Toto zařízení bývá menší, ale jde o efektivní alternativu zejména pro menší objekty mycích linek, čerpacích stanic a autodílen (Pureco, 2022).

Chloridy se ve smyvech objevují ve formě odpadních látek vzniklých při aplikaci nevhodných posypů na komunikace a zpevněné plochy během zimního období, která mají zamezit vzniku náledí a nebezpečí skluzu na těchto lokalitách. Běžně se pro posyp využívá chlorid sodný, chlorid vápenatý anebo jejich směsi (TP 116, 2015). Vyšší koncentrace chloridů ve smyvech je problematická i v případě, kdy není znečištěná voda odvedena recipientem, ale na místě zůstává a zasakuje se do okolí. V místech, kde převažují jílovité nebo jiné nerozpustné zeminy se soli koncentrují na jednom místě a snižují kvalitu tamní půdy (Hnátková, 2020).

Abychom se vyhnuly problému s vysokým znečištěním smyvů chloridy, navrhuji využití jiných alternativních materiálů a látek vhodných pro posyp zpevněných ploch a komunikací. TP 116 jako další možnost uvádí využití zdrsňovacích posypových materiálů a navrhuje aplikaci přírodního kameniva (např. kamenná drť, štěrkopísek), umělého kamenivo (strusky) či využití odpadních materiálů jako je škvára z fosilních paliv.

Využití odpadních materiálů či zbytků z fosilních paliv a škváry s sebou nese riziko nežádoucího navýšení dalších znečišťujících látek ve smyvech z těchto komunikací a zpevněných ploch. Pokud nevyužijeme anebo nemáme k dispozici kamennou drť či štěrkopísek, nezbyvá než soli na posyp využít. Velmi zajímavou možností, jak situaci s chloridy z posypových solí vyřešit, popsál tým Dr. Anny de Santiago Martín ve studii z roku 2016. Skupina vědců směřovala tok znečištěné vody ze smyvů do speciálního zařízení s filtrační loží. V loži zkoušela využívat různá média, která by mohla Cl^- z vod z odvodnění zachytávat. Jako účinné médium se zde prokázal antracit, který prokázal účinnost 48 %, a dolomit s účinností 59 % (De Santiago-Martín et al. 2016).

Pro posouzení ekonomického hlediska jsem v této práci využila informace o dotacích, které by zemědělské a průmyslové podniky mohly k financování výstavby HDV využít. Za tímto účelem jsem kontaktovala SFŽP, a to konkrétně tamního ředitele odboru ochrany přírody. Bylo mi sděleno, že dotace pro mnou sledované systémy probíhala, a to v rámci programu OPŽP 2014-2020, kde byl vyhlášen program 1.3.2 „Hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu a jejich další využití namísto jejich urychleného odvádění kanalizací do toků“. Dotace dosahovala až 85 % celkových způsobilých výdajů u všech podporovaných aktivit s výjimkou realizací propustných zpevněných povrchů, kde byla podpora maximálně 30 % ze všech

způsobilých výdajů. Podpora byla vypsána i pro odstranění znečištěných sedimentů v maximální výši 40 % (OPŽP, ©2019).

Tato dotace byla určena výhradně veřejnému a neziskovému sektoru (státní vzdělávací zařízení, neziskové organizace, obce atd.), pro soukromé subjekty a komerční zemědělské a průmyslové provozy se nemohla využít. Za účelem získání většího přehledu o poskytovaných dotacích nadále mi bylo doporučeno kontaktovat Ministerstvo zemědělství (MZe) a Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO).

Dále jsem kontaktovala MPO. Z informací, které mi byly poskytnuty, lze vydedukovat, že v předchozích dotačních obdobích nebyly dotace na podporu úspory vody v rámci MPO podporovány. Nicméně v nejbližší době se na základě poskytnutých informací očekává vyhlášení výzvy zaměřené na tento sektor v rámci Národního plánu obnovy.

Předpokládá se, že míra podpory bude vyčíslena podle velikosti podniku, který se jí dožaduje. Velikosti podniků lze posuzovat pomocí metodiky velikosti malých a středních podniků dle aplikačního výkladu MPO (2015). Dotace jsou uvažovány v celkové výši 1-150 mil. Kč. Definice způsobilých výdajů je v tomto případě jakýkoliv výdaj, který je přímo spojen s úsporou vody (nádrže, rozvody a technologie, které nahradí současné méně úsporné technologie se zbytečně vyšší neúsporou vody). Úspora vody bude dle poskytnutých informací prokazována vodním auditem podniku.

Dle poskytnutých informací z MPO se s další možností podpory těchto systémů počítá v rámci Operačního programu Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost OP TAK. Výše připravované podpory ale bude do budoucna záležet na nové podobě blokované výjimky, která by měla být aktualizována v červnu 2022 tohoto roku.

Finančně zajímavou podporu pro podnikatele v zemědělství poskytuje i MZe v rámci Programu rozvoje venkova v operaci 4.1.1 „Investice do zemědělských podniků“. Dotací v úrovni až 60 % z celkových výdajů mohou využít mladí začínající ekologičtí zemědělci na pořízení či rekonstrukci retenční nádrže či srážkové nádrže. Ostatní zemědělci nesplňující podmínky mladého začínajícího či ekologického zemědělce mají nárok na 50% podporu na pořízení či rekonstrukci těchto objektů.

Komplexní plošné finanční zhodnocení není možné z důvodu rozdílných klimatických, terénních a hydrologických podmínek pro každou realizaci. Rozdílné jsou i účinnosti jednotlivých zařízení HDV vlivem odlišných podmínek každého

projektu (Lei Wu et al. 2022). Pro objektivní posouzení ekonomické stránky dále chybějí informace o cenách za dodávku jednotlivých systémů HDV a jejich provoz a dále informace o cenách vodného a stočného v dané oblasti.

8 Závěr a přínos práce

Tato bakalářská práce posoudila účinnosti systémů HDV při čištění toxických kovů, NEL a chloridů a na základě tohoto posouzení přinesla několik zjištění. Systémy HDV jsou účinné pro čištění většiny toxických kovů z vod z odvodnění. Nejúčinnější jsou bioretenční systémy a retenční rybníky. Porézní chodníky, mokřadní kanály a mokřadní povodí nejsou účinné pro čištění všech toxických kovů. Smyvy ze znečištěných ploch z frekventovaných komunikací, zemědělských a průmyslových podniků a parkovišť dle ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu tuto normu nesplňují, což je způsobeno především vysokými koncentracemi znečištění sledovaných vod chloridy a NEL, které sledované systémy a zařízení HDV nedokážou ze smyvů odstranit.

Jako řešení se nabízí k systému HDV přidat další dočišťovací zařízení typu odlučovače ropných látek či sorpčního filtru pro vyčištění NEL a zabránit znečišťování vod z odvodnění chloridy využíváním jiného vhodnějšího inertního materiálu pro posyp komunikací a zpevněných ploch (př.: šterkopísek).

OPŽP systémy HDV a nahrazování starých technologií za nové podporuje, ale pouze pokud je žadatel z veřejného sektoru. Průmyslové a zemědělské podniky tyto dotace využít nemohou. Do budoucna se očekávají dvě nové výzvy, a to v rámci Národního plánu obnovy a OP TAK od MPO. Bližší informace poskytne veřejnosti MPO v následujících měsících.

Pro zemědělské podniky může být zajímavá podpora MZe na výstavbu či rekonstrukci retenčních či srážkových nádrží. Mladí začínající zemědělci mohou dosáhnout podpory až do výše 60 %, ostatní zemědělci mají nárok na dotaci 50 % způsobilých výdajů.

Ačkoliv nejsou systémy HDV účinné pro všechny polutanty, které je potřeba z vody odstranit, aby bylo možné ji pro závlahu využít, jedná se o zařízení, která má smysl do krajiny umístit. Účinnosti jejich čištění nejsou zanedbatelné a systémy svou vizáží nijak nenarušují estetické hodnoty naší krajiny, naopak se jeví jako velmi dobré řešení

pro problematiku čištění těchto vod. Pokud budou očekávané dotace pro zemědělské a průmyslové podniky vypsány, myslím si, že jde o velmi zajímavou a do budoucna i dostupnou možnost zvyšovat ochranu životního prostředí pro každého zodpovědného podnikatele. A to ať už bude podnik vodu sbírat, přečišťovat přes zařízení HDV a odlučovače ropných látek a poté využívat pro závlahu pěstovaných plodin či okrasné zeleně v jejich areálu, nebo přečištěnou vodu po splnění normy vypustí do svého okolí.

9 SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

9.1 Odborné publikace

Ashley Smyth, Lei Wu, Rafael Muñoz-Carpena, Yuncong L., 2018: Vegetative filter strips – A Best Management Practice for controlling nonpoint source pollution. Publication No. SL432, Miami, 5 s.

Borovec Z., 1994: Mobilita toxických prvků v říčních sedimentech. Časopis Vesmír. 73 (10). Praha, S. 561–563.

Cenia, 2019: Čtvrtstoletí životního prostředí samostatné České republiky – data, vývoj, souvislosti. Praha. 100 s. ISBN 978-80-87770-71-9

Clary J., Jones J., Leisenring M., Hobson P., Strecker E., 2020: International Stormwater BMP Database: 2020 Summary Statistics. The Water Research Foundation, project No. 4968, Denver, 102 s., ISBN 978-1-60573-508-5

Čiháková I., 2009: Provozování vodojemů. Bulletin (České Budějovice) – jednorázový výtisk. S. 3

De Santiago-Martín A., Michaux A., Guesdon G., Constantin B., Despréaux M., Galvez-Clautier R., 2016: Potential of anthracite, dolomite, limestone, and pozzolan as reactive media for de-icing salt removal from road runoff. International Journal of Environmental Science and Technology, 13(10), S. 2313-2324.

Government of South Australia ©2010: Water Sensitive Urban Design Technical Manual. Department of Planning and Local Government, Adelaide, ISBN 978-1-876702-99-1

Hnátková T., Kuk R., Dvořák D., 2020: Využití prvků hospodaření s dešťovými vodami při výstavbě dálnic. Silniční obzor. 81 (10). S. 251-255.

Kafka Z., Punčochářová J., 2002: Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. Chemické listy 96, S. 611–617.

Kochánek K., 2001: Hydromeliorační stavby 20. Závlahové stavby. České vysoké učení technické, Praha, 166 s.

Kotovicová J., Veverková M., 2012: Výzkum možností využití kalů z čistíren odpadních vod na plantážích rychle rostoucích dřevin. Acta Environmentalica Comeniana: 20/1. S. 29-37.

Králová H., 2005: Vodní hospodářství krajiny I. Vysoké učení technické v Brně – fakulta stavební, Brno, 120 s.

Kumar S., Dutta V., 2019: Constructed wetlands microcosms as sustainable technology for domestic wastewater treatment: an overview. Environmental Science and Pollution Research Vol. 26. S. 11662-11673.

Lei Wu, Xia Liu, Junlai Chen, Jinfeng Li, Yang Yu, Xiaoyi Ma, 2022: Efficiency assessment of best management practices in sediment reduction by investigating cost-effective tradeoffs. *Agricultural Water Management* Vol. 265. 107546.

Liu Y., Ahiablame L. A., Bralts V. F., Engel B. A., 2015: Enhancing a rainfall-runoff model to assess the impacts of BMPs and LID practices on storm runoff. *Journal of Environmental Management* 147. S. 12-23.

Megersa G., Abdulahi J., 2015: Irrigation system in Israel: A review. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering* Vol. 7(3). S. 29-37.

Pitter P., 1999: *Hydrochemie*, vydavatelství VŠCHT. Praha, 568 s. ISBN 80-7080-340-1

Sholz M., Grabowiecki P., 2007: Review of permeable pavement systems. *Building and Environment* Vol. 43. S. 3830-3836.

Soda S., Hamada T., Yamaoka Y., Ike M., Nakazato H., Saeki Y., Kasamatsu T., Sakurai Y., 2012: Constructed wetlands for advanced treatment of wastewater with a complex matrix from a metal-processing plant: Bioconcentration and translocation factors of various metals in *Acorus gramineus* and *Cyperus alternifolius*. *Ecological Engineering* Vol. 39. S. 63-70, ISSN 0925-8574

State of New Jersey © 2009: Bioretention systems. *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual*. New Jersey Department of Environmental Protection. Division of Watershed Management. Vol 9.1. S.1-10.

Šálek J., Tlapák V., 2006: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Informační centrum ČKAIT, Praha. 283 s. ISBN 80-86769-74-7

Vítek J., Stránský D., Kabelková I., Bareš V., Vítek R., 2015: *Hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, ISBN 978-80-260-7815-9

Vymazal J., 2004: *Kořenové čistírny odpadních vod*. Litografie Lokša PrePress, Rakovník, 13 s.

Weger J., Vlasák P., Zánová I., Havlíčková K., 2006: Výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin pro produkci biomasy. *Život* 40/3. S. 137-142.

9.2 Internetové zdroje

Akvatik, ©2022: Odlučovače ropných látek SOL(C) 1 až SOL(O) 30 (online) [cit.2022.02.01], dostupné z: <<http://www.akvatik.cz/odlucovace.html>>.

Biela R., Kučera T., Pěkný M., 2013: Účinnost sorpčních materiálů na odstranění niklu i jiných kovů z vody (online) [cit.2022.02.17], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/10071-ucinnost-sorpcnich-materialu-na-odstraneni-niklu-i-jinych-kovu-z-vody>>.

EEA, ©2018: Water scarcity (online) [cit.2021.06.17], dostupné z <<https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/featured-articles/water-scarcity>>.

EuroClean s.r.o., ©2019: Problém chloridů ve vodě a jejich odstranění (online) [cit.2022.02.01], dostupné z: <<https://voda.tzb-info.cz/124548-problem-chloridu-ve-vode-a-jejich-odstraneni>>.

EuroClean s.r.o., ©2022: Domácí reverzní osmózy (online) [cit.2022.02.01], dostupné z: <<https://euroclean.cz/reverzni-osmozy/ro-domacnosti/>>.

Chorušice, ©2022: Novostavba retenční mokřadní tůň Chorušice (online) [cit.2022.02.11], dostupné z:< <https://www.chorusice.cz/m/realizace-projektu-v-obci/novostavba-retencni-mokradni-tune-chorusice/>>.

Jinřichův Hradec, ©2022: Projekty realizované za podpory EU (online) [cit. 2022.02.11], dostupné z: <<https://www.jh.cz/cs/mesto/projekty-mesta/projekty-realizovane-za-podpory-eu.html>>.

Leber, B., ©2015: Stormwater Basins: How Detention and Retention Ponds Work (online) [cit.2021.11.02], dostupné z <<https://info.wesslerengineering.com/blog/stormwater-basins-detention-retention-ponds>>.

Lenntech, ©2022: Zinc and water: reaction mechanism, environmental impact and health effects (online) [cit.2022.03.17], dostupné z:<<https://www.lenntech.com/periodic/water/zinc/zinc-and-water.htm>>.

Matějka J, 2019: Dotace z OPŽP na povodňovou ochranu, hospodaření se srážkovou vodou a preventivní protipovodňová opatření. Operační program životního prostředí (online) [cit. 2022. 02.11], dostupné z: <<https://www.sfzp.cz/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-27-Dotace-z-OPŽP-na-PPO-a-hospodařen%C3%AD-se-srážkovou-vodou.pdf>>.

OPŽP, ©2022: Přehled probíhajících a uzavřených výzev v OPŽP 2014-2020 (k 8.02.2022). Operační program životního prostředí (online) [cit.2022.02.11], dostupné z: <<https://www.opzp.cz/dokumenty/detail/?id=802>>.

Priorita, 2021: Chorušice obnovily malebný přírodní kout s vodní plochou. Informační zpravodaj Státního fondu životního prostředí ČR (online) [cit.2022.02.11], dostupné z: <<https://www.priorita.cz/uspesne-projekty/chorusice-obnovily-malebny-prirodni-kout-s-vodni-plochou/>>.

Rozkošný M., Kriška M., Hudcová T., Novotný R., Beránková D., ©2014: Vývoj a změny charakteristik vsakovacích a retenčních objektů pro čištění smyvů z dopravní infrastruktury a zpevněných ploch (online) [cit.2021.12.05], dostupné z:<<https://dzzp.cdv.cz/file/milos-rozkosny-vyvoj-a-zmeny-charakteristik-vsakovacich-a-retencnich-objektu-pro-cisteni-smyvu-z-dopravni-infrastruktury-a-zpevnnych-ploch/>>.

Scholes L., Revitt D. M., Ellis J. B., ©2005: The fate of stormwater priority pollutants in BMPs. DayWater Deliverable 5.3 (online) [cit.2022.11.02], dostupné z: <<https://www.leesu.fr/daywater/REPORT/D5-3-BMP-Benchmark-2005-04-07.pdf>>.

Tlach M., Neudertová E., ©2010: Odvodnění průmyslových hal areálu Zdiby moderním a ekonomickým způsobem (online) [cit.2022.01.28], dostupné z: <<https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/6782-odvodneni-prumyslovych-hal-arealu-zdiby-modernim-a-ekonomicky-zpusobem>>.

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., ©2021: Infiltrační plochy (online) [cit.2021.08.14], dostupné z <<http://www.opatreni-adaptace.cz/projects/infiltracni-plochy/>>.

9.3 Legislativní zdroje

ČSN 75 6101: Stokové sítě a kanalizační přípojky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012. 44 s.

ČSN 75 7143: Jakost vody pro závlahu. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009. 24 s.

Nářízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Nářízení vlády č. 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.

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

TNV 75 9011: Hospodaření se srážkovými vodami. Sweco Hydroprojekt, a.s., Praha, 2013, 65 s.

TP 116: Chemické rozmrazovací a posypové materiály, nakládání s biologickým odpadem ze silničních pozemků. Ministerstvo dopravy, Praha, 2015. 28 s.

TP 1.20.1: Srážkové vody a urbanizace krajiny. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě ČKAIT, Praha, 2019. 71 s.

TP 83: Odvodnění pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy – Odbor pozemních komunikací, Praha, 2014. 60 s.

9.4 Ostatní zdroje

AVeX, 2019: Současný problem sucha v ČR. Akademie věd České Republiky, Praha, 03/19. S.1-3 (expertní stanovisko AV ČR).

Fojtová Z., 2020: Vliv zavlažování přečištěnou odpadní vodou na vývoj hydrofobity půdy. Univerzita Karlova – Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, Praha, 34 s. (bakalářská práce).

Langhammerová, P., 2017: Průmyslové odpadní vody s obsahem kyanidů. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Ostrava, 42 s. (bakalářská práce).

MMR, 2019: Vsakování srážkových vod – metodická pomůcka ministerstva pro místní rozvoj. Odbor stavebního řádu. Praha, 35 s.

MPO, 2015: Aplikační výklad pro vymezení pojmů drobný, malý a střední podnikatel a postupů pro zařazování podnikatelů do jednotlivých kategorií. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha, 14 s.

MZE, ©2021: Specifické podmínky pro poskytování dotace na základě Programu rozvoje venkova platné pro 12. kolo příjmu žádostí. Ministerstvo zemědělství, Praha, 69 s.

MŽP, 2021: Pravidla programu odpovědného hospodářství. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 7 s.

OPŽP, 2015: Přírodě blízké hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaném území. Ministerstvo životního prostředí a Státní fond životního prostředí České republiky, Praha, 4 s.

OPŽP, ©2019: 119. Výzva Ministerstva životního prostředí k podání žádosti o poskytnutí podpory v rámci „Operačního programu životního prostředí 2014-2020“ podporovaných z fondu soudržnosti. Operační program životního prostředí. Praha, 5 s.

Schwarzová P., 2011: Hydromeliorační stavby – Závlahové stavby. ČVUT Praha, Fakulta stavební, Praha, 61 s.

9.5 Seznam obrázků

Obrázek 1: Bioretenční systém s odvodním kanálem a bez něj (State of New Jersey © 2009).

Obrázek 2: Schéma vsakovacího průlehu s regulátorem odtoku (Rozkošný et al. 2014).

Obrázek 3: Infiltrační pás v zemědělské krajině (A) a v urbanizované oblasti (B) (Ashley Smyth et al. 2018).

Obrázek 4: Umělý mokřad osázený emerzními makrofyty (Kumar et al. 2019).

Obrázek 5: Kořenové čistírny odpadních vod (Vymazal, 2004).

Obrázek 6: Kořenová čistička odpadních vod – Dvorce 2014 (online)

[cit. 2022.03.01], dostupné z <<https://www.korenova-cisticka.cz/fotogalerie/korenova-cisticka-odpadnich-vod-dvorce-2014>>.

Obrázek 7: Typické schématické uspořádání propustného chodníkového systému (Scholz et Grabowiecki, 2007).

Obrázek 8: Projekt novostavby retenční mokřadní tůň v Chorušicích podpořený operačním programem 1.3.2 (Priorita, 2021)

9.6 Seznam tabulek

Tabulka 1: Primární procesy používané při čištění HDV (Scholes et al. 2005)

Tabulka 2: Nejvýše přípustné hodnoty (NPH) ukazatelů jakosti pro jednotlivé třídy dle ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu, modifikováno (upraveno autorem)

Tabulka 3: Koncentrace těžkých kovů a rizikových prvků (v $\mu\text{g/l}$) ve splachových vodách z ulic, silnic a dálnic

Tabulka 4: Účinnost systémů HDV při odstraňování mědi ($\mu\text{g/l}$)

Tabulka 5: Účinnost systémů HDV při odstraňování zinku ($\mu\text{g/l}$)

Tabulka 6: Účinnost systémů HDV při odstraňování chromu ($\mu\text{g/l}$)

Tabulka 7: Účinnost systémů HDV při odstraňování olova ($\mu\text{g/l}$)

Tabulka 8: Účinnost systémů HDV při odstraňování niklu ($\mu\text{g/l}$)

Tabulka 9: Účinnost systémů HDV při odstraňování kadmia ($\mu\text{g/l}$)

Tabulka 10: Účinnost jednotlivých systémů HDV při odstraňování polutantů v %

Tabulka 11: Klasifikace znečištění srážkových vod z hlediska nerozpuštěnými látkami, těžkých kovů a uhlovodíků (TNV 75 9011)