

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Bakalářská práce

METODY ZASAKOVÁNÍ SRAŽKOVÝCH VOD

Vedoucí práce:

Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.

Zpracovatel:

Petr Jedlička

Obor: DUTSS Praha, kombinované studium, 3. ročník 2020/2021

Datum zpracování: Listopad 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci **Metody zasakování srážkových vod** vypracoval samostatně a citoval jsem všechny zdroje, které jsem v práci použil a uvedl seznam použitých informačních zdrojů na konci své práce.

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

Jsem si vědom, 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 bez ohledu na výsledek její obhajoby.

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

V Praze dne

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu **Ing. Martinu Heřmanovskému, Ph.D.** za poskytování důležitých rad a konzultací během celé práce a trpělivost. Dále děkuji svým nejbližším podporu a shovívavost po dobu celého studia.

Zadání práce



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:

Studijní program:

Krajinářství

Obor:

Územní technická a správní služba

Vedoucí práce:

Garantující pracoviště: Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Jazyk práce:

Čeština

Název práce:

Metody zasakování srážkových vod

Název anglicky:

Methods of rainwater infiltration

Cíle práce:

Cílem práce bude vypracovat literární rešerši na téma zasakování srážkových vod. Dále bude provedeno vyhodnocení a představení využitelnosti různých způsobů zasakování a použití materiálů jako náplň do vsakovacích objektů.

Metodika:

Literární rešerše bude zpracována na základě odborných publikací a článků a bude obsahovat:
- srážkové vody (přirozené chemické složení,

- antropogenní znečištění srážkových vod),
- metody zasakování srážkových vod obecně,
- vliv náplně zasakovacích objektů na chemické složení
zasakovaných vod,
- vliv zasakování srážkových vod na kvalitu a kvantitu
podzemních vod.

Práce bude zakončena kritickou diskuzí získaných poznatků.

Doporučený rozsah 30 - 50 stran

práce:

Klíčová slova: chemismus srážek, zasakovací objekt, filtrační náplň,

Doporučené zdroje informací:

1. ADAMS, BARRY J. a PAPA Fabian, Urban stormwater management planning with analytical probabilistic models. New York: Wiley, 2000 ISBN 0-471-33217-8
2. BUTLER, D. -- DAVIES, J W. *Urban drainage*. London ; New York: Spon Press, 2004. ISBN 041530606.
3. HOLÝ, M. *Odvodňovací stavby : celost. vysokošk. učebnice pro stavební fakulty*. Praha: Alfa, 1984.
4. KREJČÍ, V. -- GUJER, W. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. Brno: NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-39-8.

Předběžný termín 2020/21 LS - FŽP

obhajoby:

Elektronicky schváleno: 31. 3.

2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 31. 3.

2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček,

CSc.

Děkan

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá srážkovými vodami a metodami vsakování srážkových vod. V práci jsou pomocí zahraniční a české literatury a odborných článků popsány srážkové vody, jejich složení a znečištění, metody vsakování srážkových vod a popsány zasakovací metody. V další části práce je popsán vliv zasakování srážkových vod na kvalitu a kvantitu podzemních vod. Další část práce se zabývá druhy zasakování srážkových vod, jejich výhodami a nevýhodami a nutností hospodaření se srážkovými vodami. Také jsem se zaměřil na různé typy zachycování srážkových vod a jejich využití. V závěru práce jsou shrnuty získané poznatky.

Klíčová slova: filtrační náplň, chemismus srážek, spodní vody, srážková voda, zasakovací objekt

Abstract

The bachelor's thesis deals with rainwater and rainwater infiltration methods. With the help of foreign and Czech literature and professional articles, rainwater, their composition and pollution, rainwater infiltration methods and infiltration methods are described. The next part of the work describes the influence of rainwater infiltration on the quality and quantity of groundwater. Next part of the work deals with the types of research of rainwater infiltration, their advantages and disadvantages and the need for rainwater management. The work incorporates the knowledge gained from the literature and their critical evaluation is performed. I also focused on different types of rainwater capture and use. At the end of the work I summarized the findings.

Keywords: filter cartridge, precipitation chemistry, groundwater, precipitation water, seepage object

Obsah

1. Úvod	9
1.1 Cíl práce a metodika	10
2. Srážkové vody	11
2.1 Chemické složení srážkových vod	12
2.2 Antropogenní znečištění srážkových vod	14
2.3 Využití srážkové vody	17
3. Metody vsakování srážkových vod	18
3.1 Definice spojené se zasakováním srážkových vod	19
3.2 Vsakování srážkových vod	21
3.3 Metody vsakování srážkových vod	23
4. Typy zasakovacích objektů	28
5. Vliv zasakování srážkových vod na kvalitu a kvantitu podzemních vod	34
6. Diskuze k získaným poznatkům	38
Závěr	40
Seznam použité literatury	41
Použité zkratky	45
Seznam obrázků	46
Příloha 1	47
Odtokové součinitele podle druhu plochy	47
Příloha 2	48

1. Úvod

Vodu lze bez velké nadsázky považovat za synonymum života na Zemi. Živé organismy, ať rostliny nebo živočichové vodu bez výjimky potřebují ke svému životu, všechny mají vodu obsaženu ve svém těle a pro značnou část z nich představuje voda základní životní prostředí. Výjimkou není ani člověk. Základní podmínkou jeho přežití je proto nepřetržité obstarávání zásob vody, a to jak v dostatečném množství, tak v kvalitě, umožňující její využívání. Podobně jako ve všech vyspělých zemích se však i v České republice s rozvojem civilizace, a především jejich doprovodných efektů, stává čím dál větším problémem otázka její použitelnosti (Langhammer, 2002).

Variabilita podnebí nejen v České republice způsobuje, že proměnlivé jsou i úhrny srážek a jejich výskyt, takže se stále častěji lze setkat s výkyvy počasí, kdy je delší období sucha, pak přijdou silné a prudké deště, které způsobí lokální povodně, a opět nastane sucho. V posledních 20 letech byl v ČR zaznamenán zvýšený počet povodní, ale na druhé straně také výskyt sucha. Mimořádně vysoké úhrny srážek byly v roce 1997, 2002, 2010 a naopak rozsáhlá sucha v letech 2000, 2003, 2012 a 2015. Srážky jsou na území ČR jediným zdrojem vody. S ohledem na zvyšování teploty vzduchu a následně vyšší evapotranspiraci se častěji vyskytuje deficit vláhové bilance. Česká krajina není zcela připravena na stávající i budoucí výkyvy srážkové činnosti, změny sezonního chodu povodní a stále častější projevy sucha. Způsob hospodaření v zemědělství a lesnictví v souladu se státní regulací způsobuje snížení vsakování vody, a naopak její rychlejší odtok. Významným zdrojem pro obyvatelstvo i průmysl je podzemní voda, výše její hladiny je však výsledkem celého oběhu vody v celé české krajině. S využitím údajů monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu jsou stanoveny výskyty extrémně nízkých hladin, jejich sezónní a víceletá periodicitu a trendy, výskyt minimálních hladin a jejich dopady na složky životního prostředí, antropogenní zásah, možnosti prognóz minimálních hladin jako podkladu pro přípravu rozhodnutí vodoprávních úřadů při řešení sucha jako mimořádné situace (Rožnovský, 2014).

1.1 Cíl práce a metodika

Cílem práce je vypracování literární rešerše na téma zasakování srážkových vod. Dále je provedeno vyhodnocení a představení využitelnosti různých způsobů zasakování a použití materiálů jako náplň do vsakovacích objektů.

Literární rešerše je zpracována na základě odborných publikací a článků a je zaměřena na :

- srážkové vody (přírozené chemické složení, antropogenní znečištění srážkových vod),
- metody zasakování srážkových vod obecně,
- vliv náplně zasakovacích objektů na chemické složení zasakovaných vod,
- vliv zasakování srážkových vod na kvalitu a kvantitu podzemních vod.

Práce je zakončena kritickou diskusí získaných poznatků.

2. Srážkové vody

Zdrojem vody v oblasti střední Evropy jsou pouze srážky. Na území České republiky se nachází hranice tři úmoří, veškerá srážková voda v závislosti na oblasti, nad kterou srážka proběhne, rychleji nebo pomaleji z území České republiky odeče. Rychlost odtoku srážkové vody z krajiny je dána jednak přírodními poměry lokality, především charakterem horninového prostředí a morfologií terénu a dále pak antropogenně podmíněnými poměry, především způsobem nakládání s půdou (orná, louky, lesy), podílem zastavění území, existencí zpevněných ploch, melioracemi. Na oběhu vody se podílí ta část srážkové vody, která se nevypaří. Podíl srážek, které tvoří odtok, je tedy významně rozdílný v teplém, vegetačním období roku a studeném, mimo vegetačním období roku. Doba, po kterou se daná srážka podílí na koloběhu vody na daném území, závisí na tom, zda se srážka transformuje na povrchovou vodu nebo na vodu podzemní. U povrchové vody jde o dny až týdny, u podzemní vody o měsíce až desítky let (Novotná et al., 2015).

Při proudění vzduchu v atmosféře nastává změna teploty a tlaku vzduchu. Tento jev má za následek, že vzduch je nasycen vodními parami. Po nasycení vzduchu začnou vodní páry kondenzovat kolem kondenzačních jader. Nejčastějšími částicemi kondenzačních jader jsou krystaly mořské soli nebo částice jílových minerálů. Takto vzniklé kapičky o průměru setiny milimetru se v ovzduší jeví jako oblaka (Šilar, 1996).

Oblaky vznášející se na obloze obsahují vodní páru a oblačné kapičky. Tyto kapičky jsou příliš malé na to, aby mohly spadnout jako srážky, ale jsou dost velké na to, aby vytvářely viditelné oblaky. Voda se neustále vypařuje a kondenzuje v atmosféře. Většina z kondenzované vody nepadne jako srážky z důvodu výstupných proudů, které pomáhají vytvářet oblaky. Aby mohlo dojít k vypadávání srážek, nejprve se musí malé oblačné kapičky spojit a vytvořit velké a těžké kapky, které již mohou svojí váhou vypadávat z oblaku jako srážky. Jedna dešťová kapka může obsahovat až milióny oblačných kapiček, ze kterých byla původně vytvořena. Pokud je vzduch v oblaku pod bodem mrazu (32 ° F nebo 0 ° C), tvoří se ledové krystaly; pokud je vzduch směrem dolů studený, padá sníh. Pokud se však vrstvy atmosféry v oblaku a mezi oblakem a zemí střídají mezi teplejšími než mrznoucími a chladnějšími než mrznoucími, vznikají různé druhy srážek. Například když mraky nimbostratu zpočátku složené z malých oblaků s malými kapičkami vody, narazí navzájem do sebe a vytvoří větší oblak s většími kapičkami. Dešťové kapky padají rychlostí 3 až 8 metrů za sekundu (7 až 18 mil za hodinu) v

závislosti na jejich velikosti. Kapičky vody nekondenzují jen samy, obklopují je před dopadem na zem drobnými prachovými částicemi (Robbins, 2018).

Mraky se tak stávají klíčovým prvkem koloběhu vody, protože fungují jako transportér vody z jednoho místa na Zemi na druhé. Jsou velmi důležité pro určování toho, kolik sluneční energie je absorbováno a zachyceno v atmosféře, jsou tedy velmi důležité při změně teploty vzduchu a zemského povrchu. Čím je vzduch teplejší, tím více vody pojme, čím jsou oceány teplejší, tím rychleji se z nich odpařuje voda. Odpařování také urychluje vítr. A čím více vody ve vzduchu, tím více energie slunce je zachyceno, takže je stále teplejší (Carmichale, 2021).

V momentě, kdy se srážková voda dotkne povrchu, stává se vodou povrchovou. Pokud se změní její jakost znečištěním z povrchu, stává se podle výkladu k zákonu o vodách vodou odpadní. Srážková voda po dopadu na povrch mění jakost, pokud se jedná o urbanizovaný celek zpravidla v úvodu deště. V průběhu deště se jakost stabilizuje na hodnotách stejných jako má srážková voda před dopadem. V neurbanizovaných územích má povrchová voda vzniklá ze srážkových vod jakost odpovídající možnostem znečištění daných povrchem místa dopadu. Je-li tím povrchem zemědělsky obdělávaná půda, může se trvání znečištění blížit době trvání deště. Při takovém znečištění se jedná, ve vazbě na předchozí, o odpadní vodu, které lze říkat přírodní odpadní voda (Nosek, 2020).

Právní předpisy se doposud problematikou srážkových vod a jejich zachycování nezabývaly, tudíž nemohou přesně specifikovat požadavky na jakost takových vod. Je proto velmi obtížné vymezit bez vyhodnocení místa dopadu a případných rozborů vody jakost povrchové vody vzniklé z vod srážkových.

2.1 Chemické složení srážkových vod

Děšť je nejčastějším typem padajících srážek. Obecně jde o kapky o průměru větším než 0,5 mm (nebo i menším, pokud jsou velmi rozptýlené), které vypadávají z oblaků. Dalo by se očekávat, že dešťová voda se svým složením bude blížit vodě destilované, tedy dokonale čisté, nicméně takový předpoklad není úplně správný, a to z několika důvodů. Za prvé je nutné uvážit proces kondenzace, ke kterému dochází na tzv. kondenzačních jádrech. Ta mohou být různé povahy, převážně jsou to vodou smáčitelné, někdy i ve vodě částečně rozpustné pevné částice. Často jde o krystalky solí (zejména nad oceány a v pobřežních oblastech), ale můžou to být i prachové částice nebo třeba spory plísní či pylová zrna. Už v této fázi tedy může dojít k určitému ovlivnění složení dešťových kapek. Během své pouti atmosférou se pak ve vodní

kapce rozpouští plynné složky atmosféry, zejména oxid uhličitý. Díky tomu pak voda získává mírně kyselý charakter s obvyklou hodnotou pH 5,6 až 6,0. (Žák, 2017).

Srážková voda je směsný elektrolyt, který obsahuje různá množství hlavních a vedlejších iontů. Ionty sodíku, draslíku, hořčíků, vápníku, hydrogenuhličitanové a síranové ionty jsou hlavními složkami společně s amoniakem, dusičnanem, dusitany, dusíkem a dalšími dusíkatými sloučeninami (Hutchinson, 1957). Méně zastoupeny jsou jód, brom, bór, železo, oxid hlinitý a oxid křemičitý. Zdrojem těchto látek jsou oceány, sladká voda a slaná jezera, pevniny, vegetace, průmyslová odvětví vytvořená člověkem a vulkanické emanace (Carroll, 1962).

Znalost chemického složení srážek je důležitá při studiu procesů samočištění ovzduší, antropogenního nebo přirozeného znečišťování ovzduší a znečištění jiných složek prostředí (hydrosféra, pedosféra, biosféra), pro které představují atmosférické srážky významný vstup znečišťujících látek. Z tohoto důvodu se toto složení měří pomocí speciálních měřících zařízení, které umožňují mapovat celkové zatížení daného místa tzv. mokrou depozicí (tedy obsah znečišťujících látek přinášený srážkami) (Žák, 2017).

Srážková voda obsahuje především ionty sodíku, draslíku, vápníku, hořčíku nebo chloridy. Průměrné složení srážkové vody ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1 – Průměrné složení srážkové vody v ČR (voda-tzb.info.cz)

Látka	Jednotka	Průměr
Na ⁺	ug/l	236
K ⁺	ug/l	570
NH ₄ ⁺	ug/l	492
Mg ²⁺	ug/l	93
Ca ²⁺	ug/l	384
Mn ²⁺	ug/l	20.61
Zn ²⁺	ug/l	48.75
Pb ²⁺	ug/l	1.43
Cd ²⁺	ug/l	0.07
Ni ²⁺	ug/l	0.66
Fe ²⁺	ug/l	27
Al ³⁺	ug/l	23
F ⁻	ug/l	15
Cl ⁻	ug/l	575
NO ₃ ⁻	ug/l	1968
SO ₄ ²⁻	ug/l	1915

Obsah chloridů ve srážkové vodě vykazuje výrazný sezónní trend; vnitrozemský déšť obecně obsahuje méně chloridů než pobřežní déšť. Hutton a Leslie (1958, s. 504) zdůrazňují skutečnost, že např. povrch suché půdy, která může obsahovat určité množství chloridu sodného, představuje až polovinu celkového množství rozpustných solí ve srážkové vodě (Carroll, 1962).

2.2 Antropogenní znečištění srážkových vod

Největšími znečišťovateli ovzduší a tím i srážkových vod jsou průmyslové oblasti a zemědělské oblasti z důvodů používání pesticidů a jiných chemických přípravků, které znečišťují vodu. Chemické složení dešťové vody umožňuje poznat zdroje různých látek znečišťujících ovzduší a jejich místní a regionální rozptyl. Vysoká hustota obyvatelstva,

industrializace a urbanizace vedou k více antropogenním emisím znečišťujících látek (Leitmanová et al., 2007).

Koncentrace znečišťujících látek v atmosféře kolísá v širokém rozmezí hodnot v závislosti na rozložení zdroje znečištění, výšce průmyslových komínů, emisích, topografických podmínkách a zejména na velmi proměnlivých povětrnostních podmínkách (Leitmanová et al. 2007). Významnými látkami znečišťujícími ovzduší jsou teplárny a tepelné elektrárny, spalovny odpadu, chemický průmysl, doprava, povrchová těžba a jaderná energie.

Znečištěné ovzduší se dostává většinou do prvků srážkové vody ve vrstvě pod mraky. Srážky jsou v tomto ohledu důležitým prvkem samočisticího procesu ve vzduchu. Pozorování ukázala, že vzduch bezprostředně po dešti nebo dokonce v době deště obsahuje podstatně méně znečišťujících nečistot než před deštěm (Braniš a Hůnová 2009).

I když je v počátcích srážková voda produktem přírodního koloběhu, spočívá nejprve tvorba srážkové vody v nukleaci na aerosolových částicích. Když je voda z kondenzovaná, interaguje s různými látkami rozpuštěnými ve vzduchu. Jak srážková voda klesá, nabaluje na sebe více a více nečistot. Ve skutečnosti může být srážková voda hodně znečištěná, ale stav se zlepšuje tím, jak padá k zemskému povrchu. Celý proces také očišťuje vzduch. Cestou na zemský povrch se snižuje množství aerosolů (ion amonný, dusičnan a síran) o 30 % až na hodnotu 65 %, zatímco koncentrace plynných látek (amoniak, dusík, oxid uhličitý, oxid siřičitý a chlor) se snižují o 25 až 60 %. Schopnost dešťové vody zachytit ve vzduchu znečišťující látky z ní činí médium pro studium rozsahu znečištění v lokalitě. Taková studie byla provedena v Singapuru v letech 1997-1998, která mimo jiné ukázala, že jak kyselina mravenčí, tak kyselina octová byly hlavními organickými látkami, které přispěly ke kyselosti dešťové vody ve studované oblasti (Sanmi, 2018).

Jak zjišťovali vědci v různých částech světa, znečištěné ovzduší výrazně snižuje četnost srážek. Stejný účinek pravděpodobně způsobuje nedostatek vody v mnoha dalších vysoce znečištěných oblastech, kde četnost srážek závisí na okolních kopcích. V horských oblastech bývá více deštivo, neboť když vzduch stoupá nad kopec, ochlazuje se a kondenzuje a na návětrné straně se vytváří deštivé klima (Schiermeier, 2007).

Meteorologové se již delší dobu domnívali, že znečištění ovzduší může dešťové srážky potlačit nebo oddálit. Je známo, že malé částice známé jako aerosoly mění velikost a vlastnosti vodních kapiček, které se tvoří v oblacích, a mohou ovlivnit počasí několika způsoby. V některých pohořích na západě USA se srážky za posledních 50 let snížily o 10–25 %.

Předpokládalo se, že hlavní příčinou jsou drobné částice ve znečištěném ovzduší, ale nedostatek údajů zabránil tuto domněnku podpořit. Vědci po nějaké době nashromáždili dostatek dat k vyjasnění těchto předpokladů. Daniel Rosenfeld, meteorolog z Hebrejské univerzity v Jeruzalémě v Izraeli, a jeho tým použili 50letý záznam kontinuálních měření provedených na vrcholu hory Mt. Hua Shan, ve střední Číně, aby dokázal, že orografické srážky poklesly o 30-50 %. Toto by mohlo být důkazem k tomu, že znečištění ovzduší může způsobovat snížení četnosti srážek (Schiermeier, 2007).

Znečištění ovzduší ovlivňuje klima mnoha způsoby, někdy i daleko od hlavního zdroje znečištění. Různé typy znečišťujících látek mají různé účinky, např. jemné částice z dieselových motorů, spalování biomasy a hnojiv používaných v zemědělství, mají jiné vlastnosti než velké částice minerálního prachu nebo mořské soli (Schiermeier, 2007).

Některé kvalitativní ukazatele srážkových vod může ovlivňovat bouřková činnost, zejména blesky. Vlivem blesků vznikají kyslíkové, vodíkové a dusíkaté ionty. Tím je způsobena chemická reakce, při níž se tvoří více oxidu siřičitého a oxidů dusíku. Oxidy uvedených prvků, které jsou uvolněné ve srážkové vodě při bouřce, vytváří kyselinu sírovou a kyselinu dusičnou (Treutwein, 2000).

Výraz kyselý déšť poprvé použil anglický chemik R. A. Smith, když ve 2. polovině 19. století popisoval znečištění ovzduší v Manchesteru, přitom konstatoval, že kyselý déšť může ničit přírodu. Evropa má bohatou zkušenost s kyselými dešti zejména ve 20. století z oblastí, kde se výrazně spalovala fosilní paliva – tedy hlavně v okolí tepelných elektráren a tepláren (Obrázek 9, Příloha 2). V extrémních případech dosahovaly hodnoty pH kyselého deště méně než 3. Také na návětrí hor v blízkosti zdrojů znečištění docházelo k častějšímu vypadávání kyselých dešťů s velmi negativními důsledky pro tamní ekosystémy, např. poničené lesy v Krušných a Jizerských horách. Díky masivnímu odsíření na začátku devadesátých let minulého století se ale úroveň kyselosti dešťů výrazně zlepšila a díky tomu i stav horských lesů (Obrázek 10, Příloha 2) (Žák, 2017).

Vysoké koncentrace alkalických iontů (hlavně Ca^{2+} , NH_4^+) v atmosféře města Čcheng-tu hrály důležitou roli při neutralizaci kyselosti dešťové vody a hodnota pH se v této oblasti od roku 1989 zvýšila o 0,7. Stojí za zmínku, že emise NO_x z výfukových plynů se neustále zvyšují a stávají se tak v současné době důležitým prekurzorem kyselých dešťů (Momin, 2005).

2.3 Využití srážkové vody

Existuje několik možností, jak se srážkovou vodou naložit. Je to především odpařování, přirozené vsakování, nebo odvedení do povrchových vod například pomocí kanalizace.

Srážková voda je klasifikována jako voda odpadní, a tudíž je to voda znečištěná. Síla znečištění je různá zejména podle povrchů, ze kterých dešťová voda stéká. V případě více znečištěné vody je nutné zvážit opatření pro snížení znečištění, příp. zda vůbec je voda pro vsakování vhodná, aby nedošlo k ohrožení podzemních nebo povrchových vod (Ministerstvo zemědělství, 2013).

TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami řeší nakládání se srážkovými vodami zejména na pozemku stavby (decentrální způsob odvodnění), ale jsou uvedena i centrální opatření, která jsou řazena za opatření decentrální (řetězení do série) tak, aby byl vytvořen funkční systém přírodě blízkého odvodnění. V této normě jsou uvedena také opatření pro snížení (případně prevenci vzniku) srážkového odtoku (Novotná et al., 2015).

Tato norma obsahuje návod ke správné volbě příjemce srážkových vod a ke správnému technickému řešení. Norma zahrnuje problematiku znečištění srážkových vod, kdy je nezbytné důsledně oddělovat nakládání s mírně znečištěnými a silně znečištěnými srážkovými vodami. Norma dává do souvislosti typické druhy znečištění s typem plochy, která je odvodňována, a s typem zařízení či opatření, které je vhodné pro odstranění specifického druhu znečištění. Dále norma popisuje decentrální objekty používané k hospodaření se srážkovými vodami, stanovuje výpočetní postupy pro jejich dimenzování a předkládá základní informace k jejich údržbě a provozu (Ministerstvo zemědělství, 2013).

Voda, která je vhodně sesbírána a skladována, může nabídnout udržitelný zdroj vody, který je ideální pro použití uvnitř i vně lidských domovů. Na rozdíl od říční vody, která vyžaduje rozsáhlý proces čištění, aby byla zajištěna kvalita vhodná pro lidské použití, vyžaduje sběr dešťové vody jednoduché, ale účinné procesy a zařízení, aby se zabránilo kontaminaci a zachovala se kvalita vody (Rainharvesting, 2020).

V městských oblastech lze ke snížení závislosti na vodovodní síti použít vhodně navržený systém sběru dešťové vody s filtry, clonami, přepínacími zařízeními a dalším zařízením (nebo jej zcela vyměnit, v závislosti na místních předpisech). Ve venkovských nebo jiných oblastech, které nejsou zásobovány vodou z vodovodu, může vhodně navržený systém sběru dešťové vody dodávat vodu pro zalévání zahrad, splachování toalet nebo praní či mytí nádobí, popř. pro osobní hygienu (Rainharvesting, 2020).

3. Metody vsakování srážkových vod

Primárně řeší nakládání s vodami vodní zákon (Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů). Požadavky na vsakování vod v rámci realizace staveb, nebo jejich změn, případně úpravy pozemků jsou v rámci povolovacích procesů těchto staveb regulovány stavebním zákonem (Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu) a jeho prováděcími předpisy (Zejména vyhláška 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území a vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby). Stavební zákon v § 80 požaduje, aby “Rozhodnutí o změně využití území” určilo nový způsob užívání pozemku a podmínky jeho využití, v případě úpravy pozemků, které mají vliv na schopnost vsakování vody, provedené na pozemku rodinného domu nebo na pozemku stavby pro rodinnou rekreaci, které souvisí nebo podmiňují bydlení nebo rodinnou rekreaci, neslouží ke skladování hořlavých látek nebo výbušnin, není v rozporu s územně plánovací dokumentací, a plocha části pozemku schopného vsakovat dešťové vody po jejich provedení bude nejméně 50 % z celkové plochy pozemku rodinného domu nebo stavby pro rodinnou rekreaci. Vyhláška č. 501/2006 Sb. v § 20 vymezuje stavební pozemky staveb pro bydlení a pro rodinnou rekreaci tak, aby na nich bylo vyřešeno kromě jiného nakládání s odpady a odpadními vodami podle zvláštních předpisů (Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů), které na pozemku vznikají jeho užíváním nebo užíváním staveb na něm umístěných, vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití; přitom musí být řešeno (MMR, 2019):

1. přednostně jejich vsakování, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, není-li možné vsakování,
2. jejich zadržování a regulované odvádění oddílnou kanalizací k odvádění srážkových vod do vod povrchových, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení
3. není-li možné oddělené odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace. V § 22 je upřesněn požadavek na pozemky staveb pro bydlení a pro rodinnou rekreaci tak, že vsakování dešťových vod na pozemcích staveb pro bydlení dle § 20 odst. 5 písm. c) je splněno, jestliže poměr výměry části pozemku schopné vsakování dešťové vody k celkové výměře pozemku činí v případě a) samostatně stojícího rodinného domu

a stavby pro rodinnou rekreaci nejméně 0,4, b) řadového rodinného domu a bytového domu 0,3. (MMR, 2019).

3.1 Definice spojené se zasakováním srážkových vod

Stavby jsou veškerá stavební díla, která vznikají stavební nebo montážní technologií, bez zřetele na jejich stavebně technické provedení, použité stavební výrobky, materiály a konstrukce, na účel využití a dobu trvání. Dočasná stavba je stavba, u které stavební úřad předem omezí dobu jejího trvání. Za stavbu se považuje také výrobek plnící funkci stavby (MMR, 2019).

Srážkové vody jsou vody z atmosférických srážek, které jsou odváděny z povrchu terénu nebo stavby, tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních.

Srážková povrchová voda přípustná je srážková voda, jejíž jakost nepředstavuje riziko z hlediska znečištění půd a ohrožení jakosti podzemních vod (MMER, 2019).

Srážková povrchová voda podmíněně přípustná je srážková voda, jejíž jakost může být zhoršena obsahem specifického znečištění, riziko znečištění podzemních nebo povrchových vod je však možné snížit až eliminovat příslušnými opatřeními, např. předčištěním srážkových vod, odváděných z povrchu terénu nebo staveb.

Vsakovací zařízení (zasakovací) je zařízení určené ke vsakování srážkových povrchových vod do horninového prostředí (MMR, 2019).

Podzemní vsakovací zařízení je vsakovací zařízení umístěné pod úrovní terénu, které je určeno ke vsakování srážkových povrchových vod do horninového prostředí.

Povrchové vsakovací zařízení je vsakovací zařízení umístěné na povrchu terénu, které je určeno ke vsakování srážkových povrchových vod do horninového prostředí povrchem terénu.

Retenční objem vsakovacího zařízení je velikost prostoru ve vsakovacím zařízení, určeného k zadržení srážkové povrchové vody před jejím vsakem (MMER, 2019).

Průleh je mělce tvarovaná prohlubeň v terénu (povrchové vsakovací zařízení) určená k vsakování srážkové povrchové vody s krátkodobou povrchovou retencí.

Bezpečnostní přeliv je součástí vsakovacího zařízení nebo retenčního objektu, která umožňuje bezpečně převést vodu při větší než návrhové srážce nebo při poruše vsakovacího objektu.

Centrální způsob odvodnění je způsob odvodnění, který se zabývá nakládáním se srážkovými vodami společně pro více staveb (MMR, 2019).

Decentrální způsob odvodnění je způsob odvodnění, který se zabývá nakládáním se srážkovými vodami v místě jejich vzniku (tj. zpravidla přímo na pozemku stavby, z níž jsou srážkové vody odváděny, či v těsném sousedství pozemní komunikace, z níž jsou srážkové vody odváděny) a vrací srážkové vody do přirozeného koloběhu vody. V nejužším slova smyslu jde o opatření, zařízení a objekty, které podporují výpar, vsakování a pomalý odtok do lokálního koloběhu vody (MMR, 2019).

Dešťová kanalizace je podzemní trubní vedení sloužící k odvádění srážkových vod do příslušného vodního recipientu.

Hospodaření s dešťovými vodami (HDV) je způsob nakládání se srážkovými vodami (převážně dešťovými), který klade důraz na zachování přirozené bilance vody v území po jeho urbanizaci; základním přístupem HDV je decentrální způsob odvodnění.

Předčištění srážkových vod je opatření pro ochranu objektu a/nebo příjemce srážkových vod s důrazem na zadržení hrubých nečistot (splavenin) a nerozpuštěných látek, snížení koncentrace těžkých kovů, zadržení ropných látek, rozklad organických látek spotřebovávajících kyslík, snížení koncentrace živin a snížení koncentrace patogenních organismů; může probíhat v přírodě blízkých nebo technických zařízeních (MMR, 2019).

Zatravněná humusová vrstva je půdní prostředí se zvýšeným obsahem humusu, s udržovaným travním pokryvem a se specifickými vlastnostmi.

A_{red} je připojená redukováná odvodňovaná plocha.

Koeficient vsaku k_v^5 je charakterizuje rychlost vsakování srážkové vody do horninového prostředí ve vsakovacím zařízení za atmosférického tlaku při hydraulickém sklonu $I=1$.

A_{vsak} je vsakovací plocha vsakovacího zařízení.

Mezerovitost se určuje jako objemový poměr mezer ve směsi kameniva k jednotce objemu směsi. Pro účely vsakování se užívá sypná hmotnost setřeseného kameniva. Vyjadřuje se v [%].

3.2 Vsakování srážkových vod

V poslední době se hodně mluví o nutnosti zadržování povrchových vod. S rostoucí populací ubývá volného prostoru, zeleně, a naopak roste prostor pro zástavbu, průmysl, dopravu nebo sport, čímž tímto zastavěným prostorem vzniká nedostatečný prostor pro zasakování srážkových vod. Voda tak zbytečně steče po komunikacích do kanalizace a narušuje se tak přirozený vodní cyklus. Srážková voda, která dopadne na volný terén, se po vsaku stane podzemní vodou. Voda, která dopadne na zpevněný terén (komunikace, stavby), steče po povrchu do kanalizací. Je proto nesmírně důležité začít budovat a rozvíjet nejen městské stavby, ale také umělou regulaci cirkulace vody v přírodě, které přispívají k udržení ekologické stability zvoleného místa (Markovič, 2014).

Srážková voda po dopadu na zemský povrch prochází zónou nenasycení (zóna aerace) a po určité době dosáhne hladiny podzemní vody, pod níž se nachází zóna nasycení (zóna saturace). Dojde ke smísení prosakující srážkové vody a proudící podzemní vody a původní vertikální průsak srážkové vody se mění na víceméně horizontální proudění. To je ve srovnání s vertikálním průsakem o několik řádů pomalejší (Markovič, 2014).

Systém vsakování dešťové vody přináší zejména ekonomické výhody, zvláště když ceny vodného a stočného neustále rostou. Důvodem pro zvýšení těchto cen je růst nákladů na čištění pitné vody a čištění odpadních vod. Dalšími důvody jsou nedostatečné zásoby podzemních vod z důvodů malého počtu srážek a úbytek zdrojů pitné vody. Do budoucna se počítá s tím, že se situace s nedostatkem podzemních vod bude zhoršovat (Markovič, 2014).

Faktory, které ovlivňují vsakování srážkové vody (Krejsová, 2012):

- **srážky** – největším faktorem ovlivňujícím vsakování je množství a vlastnosti (intenzita, doba trvání atd.) srážek, které padají jako déšť nebo sníh. Srážky, které pronikají do země, často se po delší dobu dostávají do koryt toků. Potoky tak mohou z důvodu delší absence srážek vysychat.
- **Vlastnosti půdy** - písčité složka půdy zajišťuje funkci drenáže vody a odráží se ve špatné schopnosti až neschopnosti zadržovat vodu. Jedná se velmi lehké půdy. Půdy hlinité jsou jemnější než půdy písčité. Mají velmi pozitivní vlastnosti vzhledem k velikosti pórů a rovnovážné vyvážení obsahu vody a vzduchu v půdě. Vykazují i dobrou vsakovací a zadržovací schopnost podzemní vody. Jedná se o půdy středně těžké. Půdy jílovité představují velmi jemné, hutné půdy, protože obsahují vysoké procento jílových částic. Pro vodu jsou velmi

málo propustné a náleží mezi těžké půdy. Krejsová (2020) uvádí, že vhodné půdy pro zasakování vody jsou hlinitopísčité půdy, písčitolhinité půdy, hlinitojílovité, písčitojílovité, jílovitolhinité. Méně vhodné jsou podle Krejsové (2020) jílovitopísčité nebo hlinitopísčité půdy.

- **Nasycení půdy** - stejně jako mokrá houba nemůže půda již nasycená z předchozích srážek absorbovat více vody a tak zůstává přemokřená a srážky se dostávají více pod povrch nebo odtečou a mohou vznikat lokální záplavy.
- **Povrch krajiny** - některé krajinnotvorné prvky mají velký dopad na vsakování a odtok srážek. Vegetace může zpomalit odtok a poskytnout více času na jeho zasakování do země. Naopak nepropustné povrchy, jako jsou parkoviště, silnice a zástavba způsobují odtok srážek do potoků nebo kanalizací. Zemědělská půda také působí na zasakování srážek, pokud jsou to velké lány bez remízky a ochranných prvků, může voda stéct do potoků, pokud jsou lány rozděleny na menší plochy s různými plodinami a s remízky, voda zůstává v krajině a zasakuje se do půdy.
- **Sklon terénu** - voda padající na strmě svažitou zemi odtéká rychleji a infiltruje se méně než voda padající na rovnou plochu.

3.3 Metody vsakování srážkových vod

Odvádění srážkových vod ze střech okapy, zpevněných ploch nebo přepadů z nádrží se řeší pomocí zasakovacích průlehů, rýh, poldrů nebo šachet, retenčních objektů nebo rybníčků a mokřadů, v nejzazším případě odvodem do dešťové kanalizace. Použití a výběr objektu závisí na podmínkách v dané lokalitě, jako je infiltrační schopnost půdy, poloha hladiny podzemní vody, znečištění dešťové vody či půdního horizontu, prostorové podmínky atd. K dispozici jsou však moderní retenční objekty, které si s těmito nástrahami poradí (Kol. autorů, 2020):

Objekty a zařízení pro vsakování srážkové vody lze rozčlenit na (MMR, 2020):

- Vsakování z povrchu terénu:
 - plošné vsakování přes půdní profil – humusovou vrstvu,
 - retenční a zasakovací objekty,
 - vsakovací průleh (viz obrázek 1),
 - vsakovací nádrž (jezíčko).
- Opatření pro podzemní vsakování:
 - vsakovací rýha vyplněná štěrkem,
 - vsakovací rýha vyplněná vsakovacími bloky,
 - vsakovací šachty.
 - Vsakovací jímka (Obrázek 11, Příloha 2)
- Opatření kombinující povrchové a podzemní vsakování:
 - vsakovací průleh – rýha.
- Opatření kombinovaná s retenčním účinkem a výparem:
 - retenční nádrže,
 - umělé mokřady.

Obrázek 1 – Vsakovací průleh v Bruntále (Rödling, 2019)



Retenční a zasakovací objekty

Zasakovací systémy a zpomalovací retenční prostory přichází na řadu tam, kde je potřeba efektivně odvést a zasáknout srážkové vody (viz obrázek 2). Technické řešení vsakování srážkových vod se musí umět vyrovnat s velkými objemy vod z přívalových dešťů (podle německé normy se v případě přívalového deště počítá na 1 m² plochy, z níž bude voda odváděna, s cca 13,2 l vody). Možností, jak mohou takové prostory vypadat, je několik. Tradičně se používalo zasakování v otevřeném polderu nebo se využívaly podzemní prostory vysypané štěrkem. K modernějším a efektivnějším způsobům patří využití prefabrikovaných plastových tunelů nebo bloků – jejich výhodou je vysoká akumulární schopnost (dle typu může být 95 - 100 % objemu využito k nahromadění vody), úspora výkopových prací a jednoduchá instalace (díky nízké hmotnosti jednotlivých prvků). Jednotlivé systémy fungují jako „stavebnice“ – bloky se skládají vedle sebe nebo nad sebe tak, aby vytvořily objekt o požadovaném objemu. Tunely se skládají za sebe nebo paralelně vedle sebe, přičemž konce se uzavírají tzv. čely (MMR 2019).

Obrázek 2 – Retenční nádrž Hajany (Státní pozemkový úřad)



Tunelové systémy

Tunely nemají dno a jejich stěny jsou pokryty otvory – to zaručuje, že nashromážděná voda bude povolna prosakovat do okolní zeminy (viz obrázek 3). Obě čela (počáteční i koncové) jsou opatřena otvorem pro připojení potrubí, tedy jak přítokového, tak i potrubí pro regulovaný odtok, které následně může část vody odvést mimo pozemek. Velkou výhodou tunelů je to, že jejich zásobní kapacita se blíží 100 %. V porovnání s prostorem zasypaným štěrkem proto představuje úsporu až 2/3 objemu nutných výkopů. Systém je také velmi lehký a skladný (tunely se skládají a zapadají na sebe), což snižuje přepravní náklady (MMR, 2019).

Obrázek 3 – Tunelový zasakovací objekt (Vacek, 2018)



Systémy skládané z bloků

Jedná se o kvádry z polypropylenu, které se skládají křížně na sebe tak, aby vyplnily požadovaný objem, a to v pěti až šesti vrstvách (může se lišit dle výrobce). V případě použití v kombinaci s nepropustnými foliemi lze pomocí nich vytvořit retenční nádrž s řízeným odtokem. Dle výrobce se bloky mohou lišit – některé jsou vybaveny zalisovanou filtrační membránou, která je přímo součástí daného kusu, jiné jsou celoplastové, tuto membránu nemají a proti vnikání nečistot je třeba je zajistit jiným způsobem. Některé bloky (např. voštinové) je třeba osazovat do šterkové vrstvy, jinde toto nemusí být vyžadováno. Stejně tak se různé systémy liší tím, zda je nutné při jejich instalaci použít spojovací materiál – existují totiž i systémy, které nevyžadují žádné upevňovací příslušenství (MMR, 2019).

Mezi další metody zasakování srážkových vod patří betonové jímky, plastové systémy nebo podzemní prostor zasypaný, které jsou spolu s jejich základními charakteristikami prezentovány na obrázku 4.

Obrázek 4 - Metody zasakování srážkových vod (MMR, 2020)

Klasická řešení	Betonové jímky	Moderní řešení	Plastové systémy
	<ul style="list-style-type: none"> - kvůli drahému zastropení se potřebný objem realizuje do úzkých a hlubokých jímek 		<ul style="list-style-type: none"> - snadné vytvoření podzemních, mělkých, půdorysně rozlehlých objektů - prostorová kapacita: 95 % objemu (4x více než v případě štěrku) - nízká hmotnost: 40 – 50 kg/m³ (až 50x nižší než u štěrkem vysypaných prostor)
	Podzemní prostor zasypaný štěrkem		
	<ul style="list-style-type: none"> - volný prostor pro vodu (tzv. prostorová kapacita): pouze 20 – 25 % objemu - vysoká hmotnost: 2000 kg/m³ 		

4. Typy zasakovacích objektů

Technické řešení vsakování srážkových vod závisí na typu plochy s ohledem na její znečištění, na vsakovací schopnosti půdního a horninového prostředí a na prostorových možnostech, které mohou určovat velikost vsakovací plochy vsakovacího zařízení a velikost retenčního objemu (MMR, 2019).

Přednostním způsobem vsakování je povrchové vsakování přes souvislou zatravněnou humusovou vrstvu, a to nízko zatěžované plošné ($A_{\text{red}}/A_{\text{vsak}} \leq 5$), kdy odtok ze zpevněných ploch je zaústěn na zelené plochy s dobrou vsakovací schopností a není zapotřebí retenční prostor, nebo vsakování v průlehu či v průlehu doplněném rýhou ($5 < A_{\text{red}}/A_{\text{vsak}} \leq 15$), jejichž retenční objem slouží pro dočasné zadržení srážkové vody před tím, než se vsákne do podloží. Tento způsob je vhodný pro odstraňování všech typických druhů znečištění obsažených v přípustných a podmíněčně přípustných srážkových vodách (MMR, 2019).

Vsakování v centrální vsakovací nádrži nebo v systému průlehu a rýh má v důsledku vyššího hydraulického zatížení ($A_{\text{red}}/A_{\text{vsak}} > 15$) nižší účinnost čištění. Pro vysoce znečištěné vody je nutno doplnit předčištění, zejména zachycení nerozpuštěných látek (MMR, 2019).

Povrchové vsakování je preferováno nejen kvůli bezpečnějšímu odstranění znečištění ve srážkovém odtoku, ale také kvůli podpoře výparu, který je ve městech velmi žádoucí. Dalšího zvyšování výparu se docílí osázením vsakovacích zařízení vegetací nebo jejich kombinací s mokřadem (MMR, 2019).

ČSN 75 9010 jasně definuje, kdy a za jakých podmínek smí být odváděny srážkové vody do vsakovacích zařízení, a to na základě míry rizika jejich potenciálního znečištění v závislosti na typu plochy, na kterou voda dopadá a ze které je následně do vsakovacího zařízení svedena (MMR, 2019).

Ve vztahu k hydrogeologii se principiálně jedná o to, že existuje určité množství vody, které je třeba zasáknout do horninového prostředí nad hladinou podzemní vody, tedy do nenasycené zóny, a predikovat, kdy a kde se tato voda dostane do vod podzemních a jak se dále bude chovat průsakem zónou nasycení. Tento proces popisuje tzv. konceptuální model vsakování, který je jakousi prognózou vzájemných souvislostí mezi vsakovanou srážkovou nebo odpadní vodou a okolním horninovým prostředím (Šeda, 2016).

Meritum vsakování srážkových vod do podzemních vod prostřednictvím půdní vrstvy, tj. zlepšení zásob podzemní vody v městských oblastech, snižování objemu vody v období průtokových špiček na tocích a snížení zátěže pro kanalizační systém, vystihuje aktuální znění § 5 Vodního zákona odstavec 3. Z podzákoných předpisů se problematice vsakování srážkových vod věnuje § 20 odstavec 5 vyhlášky č. 501/2006 Sb. ve znění pozdějších předpisů, ve kterém se říká: „*Stavební pozemek se vždy vymezuje tak, aby na něm bylo vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití; přitom musí být řešeno (Šeda, 2016):*

1. přednostně jejich vsakování, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, není-li možné vsakování;

2. jejich zadržování a regulované odvádění oddílnou kanalizací k odvádění srážkových vod do vod povrchových, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení nebo,

3. není-li možné odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace.

Vsakování přes půdní profil je nejjednodušší a nejpřirozenější způsob zasakování, který se přirozeně uplatňuje v urbanizovaných územích jak v místě dopadu srážky, tak v místech, kam je voda sváděna z nepropustných ploch. Tento způsob uplatňuje plošné vsakování bez i s vytvořením omezeného retenčního prostoru povrchová nádrž, průleh, vsakovací příkop (Obrázek 10, Příloha 2). Alternativou může být i vsakování z povrchu terénu. Vhodné a efektivní řešení je, pokud se přítok srážkové vody rozprostře do plochy v co možná nejmenší vrstvě (např. dostatečně dlouhou přelivnou hranou). Povrchové vsakování přes půdní profil může také sloužit jako předřazený prvek před dalšími objekty centrálního systému hospodaření se srážkovou vodou, který sníží přítékající množství vody a napomůže předčištění přítékající srážkové vody. Pro zvýšení účinnosti vsakování a v závislosti na podložním horninovém prostředí lze zvýšit účinnost opatření například přimícháním písku do horní humusové vrstvy nebo vytvořením podkladního dobře propustného polštáře pod půdní profil (např. hlinitého písku, písku nebo šterkopísku) (MMR, 2019).

Výhodou tohoto typu opatření je jeho jednoduchost, nízké investiční náklady, nenáročnost na údržbu, jednoduché začlenění do městského prostředí a sídelní zeleně.

Nevýhodou je nižší jednorázový objem vody, který je možné přes toto opatření zasáknout a zadržet (není vytvořen akumulací prostor). Pro správnou funkčnost je nutné, aby půdní profil i podloží bylo dostatečně propustné (MMR, 2019).

Vsakovací prostor vyplněný štěrkem je tradiční jednoduchý způsob vsakování srážkové vody do podloží, který je běžně využíván zejména u menších staveb, jako jsou rodinné domy a chaty. Jeho využití je vhodné v případech, kdy není k dispozici dostatečně velká plocha pro povrchové zasakování vody, nebo při malé propustnosti horninového podloží, kdy je třeba počítat s delší dobou zdržení vody a větším akumulací objemem. Akumulací (retenční) prostor pro zachycení vody ze srážky je vytvořen pórovitostí výplňového materiálu (zpravidla se jedná o štěrk), odkud se dále vsakuje do podloží. Voda se do akumulacího prostoru přivádí potrubím přes usazovací a rozdělovací šachtu. Předčištění a zadržetí splavenin před vtokem do retenčního prostoru je u tohoto opatření naprosto nezbytné. Boční stěny a horní úroveň obsypu se doporučuje chránit geotextilií. Opatřuje se revizními šachtami pro kontrolu funkce (viz obrázek 5) (MMR, 2019).

Obrázek 5 – Vsakovací prostor vyplněný pískem (Vacek, 2018)



Výhodou tohoto typu opatření je menší náročnost na plošný zábor oproti prvkům povrchového vsakování, přijatelné pořizovací náklady a malá náročnost výstavby. Opatření

není na povrchu prakticky viditelné a lze ho umístit i pod zpevněné plochy (komunikace, parkoviště, chodníky) (MMR, 2019).

Nevýhodou tohoto opatření je náchylnost na zanášení a kolmataci (snížení a/nebo zmenšení propustnosti) pórovitého materiálu, čímž se snižuje zadržený objem vody a zpravidla výrazně klesne i rychlost infiltrace do podloží. Prakticky nemožné je v tomto případě vyčištění a údržba, vyjma rozvodných potrubí. Po realizaci prvku hrozí riziko vysoušení nadloží okolního území (voda je přes vsakovací zařízení přivedena přímo do spodnějších vrstev horninového profilu) (MMR, 2019).

Podzemní prostor vyplněný vsakovacími bloky je alternativní způsob vsakování srážkové vody k tradiční rýze vyplněné štěrkem. Retenční prostor pro zachycení vody ze srážky je v tomto případě vytvořen plastovými bloky s perforovanými stěnami. Využití je vhodné zejména tam, kde není k dispozici dostatečně velká plocha pro povrchové zasakování vody, nebo při nižší propustnosti horninového podloží, kdy je třeba počítat s delší dobou zdržení vody a větším akumulacním objemem. Voda je do akumulacního prostoru přiváděna podpovrchově potrubím, přes usazovací a rozdělovací šachtu (MMR, 2019).

Výhodou je malá náročnost na plošný zábor oproti prvkům povrchového vsakování, malá náročnost a rychlost výstavby (jedná se o stavebnice skládané na sucho do větších bloků). Opatření není na povrchu prakticky viditelné a lze ho umístit i pod zpevněné plochy (komunikace, parkoviště, chodníky). Na rozdíl od klasické technologie štěrkových drenáží s absorpční schopností asi 35 % dosahují vsakovací bloky absorpční schopnost až 3x větší (cca 95 %) (MMR, 2019).

Nevýhodou je hrozící zanášení akumulacního prostoru a kolmatace okolního prostředí, což může vést ke snížení zadrženého objemu vody nebo rychlosti infiltrace vody do podloží. Moderní vsakovací systémy však s tímto rizikem počítají a je možné je vybavit zařízením pro revizi a čištění retenčního prostoru. Další nevýhodou může být vyšší pořizovací cena a dále riziko vysoušení nadloží v okolí zasakovacího objektu (MMR, 2019).

Vsakovací šachta slouží k zachycení vody a vsakování vody do podloží, patří mezi tradiční metody. Retenční prostor je tvořen vnitřním prostorem mezi skružemi šachty a jeho objem je závislý na vnitřním průměru skruží a hloubce šachty. Zasakování do horninového prostředí může probíhat ve dvou směrech, vertikálně přes perforovanou stěnou skruže a netěsné spáry mezi skružemi a/ nebo horizontálně přes propustné dno. Aby se zamezilo zanášení šachty nečistotami, je nutné před šachtu umístit prvky pro předčištění a zachycení splavenin. Dále se

provádějí opatření před zanášením zasakovacích otvorů i v samotné šachtě (viz obrázek 6) (MMR, 2019).

Obrázek 6 – Plastová vsakovací šachta (Vacek, 2018)



Výhodou je malá náročnost na zábor pozemku, který tento prvek vyžaduje, a to vzhledem k tomu, že pro vsakování a akumulaci se uplatňuje zejména výškový rozměr prvku. Výhodou je také poměrně snadná čistitelnost a údržba akumulčního prostoru v případě jeho zanesení (MMR, 2019).

Nevýhodou je vyšší pracnost při realizaci opatření (práce v hloubkách, náročné výkopové práce) a poměrně vysoká cena betonových prvků. Nutnou podmínkou je, že v území musí být hladina podzemní vody zaklesnuta až pode dnem vsakovací šachty, což není v mnoha případech splnitelné a výrazně to ovlivňuje dosažitelný akumulční objem (objem je taktéž limitován vyráběným průměrem studničních skruží, který je zpravidla do 1–1,5 m). Šachta taktéž může zájmové území částečně vysoušet (MMR, 2019).

Povrchová a podzemní vsakovací zařízení vyžadují pravidelnou kontrolu a údržbu v intervalech:

- povrchová vsakovací zařízení - kosení a odstraňování pokosené trávy dvakrát za léto, odstranění listí a případných nánosů na podzim,
- vsakovací šachta - kontrola šachty dvakrát do roka, dle potřeby výměna štěrkopísku,
- podzemní prostor vyplněný bloky nebo tunelový systém - 2x ročně kontrola stavu vsakovacího prostoru, dvakrát ročně čištění vsakovacího prostoru, dle potřeby odstraňování usazenin ze dna.

U kombinovaných vsakovacích zařízení se způsob a intervaly kontrol a údržby stanoví individuálně, interval kontrol a údržby však nemá být delší než 6 měsíců (MMR, 2019).

5. Vliv zasakování srážkových vod na kvalitu a kvantitu podzemních vod

Podzemní voda v podmínkách ČR vzniká až na zcela zanedbatelné výjimky přímým nebo zprostředkovaným vsakem atmosférických srážek do půdní vrstvy.

Podíl objemu srážkových vod vsáklých do podzemních vod prostřednictvím půdní vrstvy činí ve volné krajině cca 10–20 %, zbytek připadá na spotřebu rostlinstvem a výpar (tzv. evapotranspirace) a povrchový odtok. V zastavěných oblastech se podíl vsáklé srážkové vody z celkového objemu srážek pohybuje od nuly do několika procent (Šeda, 2016).

Schopnost půdního (horninového) souboru nad hladinou podzemní vody pojímat srážkovou nebo odpadní vodu je odvislá od jeho zrnitosti a ulehlosti nebo puklinatosti, v případě půd i od jejich struktury. Míra schopnosti půdního (horninového) souboru pojímat vodu je vyjádřena koeficientem vsaku k_v . Ten má rozměr [m/s] a je dán poměrem množství vsáklé vody Q a vsakovací plochy A ($k_v = Q/A$) (Šeda, 2016).

V Austrálii poblíž Perthu vědci zkoumali infiltraci dešťové vody a dopady odtoku na kvalitu podzemní vody z oblastí lehkého průmyslu, obytných částí a hlavní silnice. Přitom zkoumali hydrologickou odezvu svrchní vrstvy půdy. Automatické a manuální monitorování hladiny vody v období od dubna do listopadu 1990 ukázalo, že hladiny podzemní vody reagovaly během několika minut na doplnění zásob vody z infiltračních nádrží. Nejvyšší hladiny vody až do 2,5 m se vyskytly 6 – 24 hodin po začátku zaplavování infiltračních nádrží. Došlo k výraznému snížení slanosti vody a ke zvýšení koncentrací rozpuštěného kyslíku v horní části infiltračních nádrží. Koncentrace toxických kovů, živin, pesticidů, a fenolové sloučeniny v podzemních vodách poblíž infiltračních nádrží byly nízké a obecně v normě dle australských norem pro pitnou vodu. Avšak sediment v základně infiltrační nádrže s ústím u hlavní silnice, obsahoval více než 3 500 ppm olova. Ftaláty, které jsou prioritními znečišťujícími látkami např. v USA, byly detekovány ve všech otvorech kromě jednoho. Jejich detekce může být způsobena vlivem plastového odpadu, který se hromadil v infiltračních nádržích. Koncentrace železa v podzemních vodách poblíž infiltračních nádrží se zdála být řízena koncentracemi rozpuštěného kyslíku, přičemž vysoké koncentrace železa se vyskytovali tam, kde byly koncentrace kyslíku nízké (Appleyard, 1993).

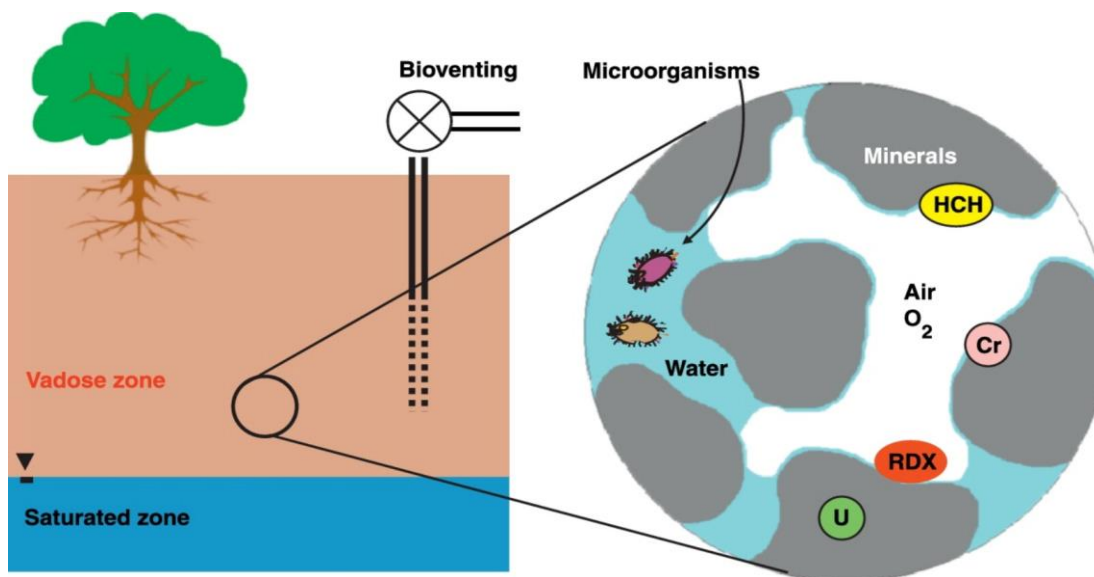
Charakter půdy ve městech, zejména pak fyzikální vlastnosti půdy, podléhají dramatickým změnám v důsledku intenzivní lidské činnosti, což může v období dešťů způsobit

častější povodně. Cílem studie Yanga (2011) bylo prozkoumat charakteristiky infiltrace vody z půdy ve městech s různým stupněm zrnitosti a různých druhů a určit účinky infiltrace na problémy životního prostředí v městských oblastech. Výsledky studie ukazují, že konečná míra infiltrace srážkové vody do půdy ve městech byla velmi variabilní (od velmi pomalé až po velmi rychlou). Nízká míra infiltrace do půdy souvisela s mnoha faktory, jako např. druhem půdy. Míra infiltrace se snižovala se zvýšením zrnitosti a se snížením pórovitosti naplněné vzduchem. Velké množství makropórů zvyšovalo rychlost infiltrace a snižovalo povrchový odtok. Odtokové koeficienty půd s nízkou mírou infiltrace byly vysoké, zejména u extrémně hutných půd (jílovité). Výsledkem bylo, že prevalence povodní je vysoká v hutnějších půdách, zejména pak jílovitých, a tím se snižuje kvalita povrchových odtokových vod. Koncentrace $\text{NO}_3\text{-N}$, celkového dusíku, reaktivního fosforu s molybdenanem, celkové fosfory a suspendovaný materiál v odtoku městského povrchu byly významně vyšší než hodnoty pozorované v lesních nebo zemědělských povodích (Yang, 2011).

V městských oblastech má nízká míra infiltrace způsobená těžkými půdami negativní dopad na ekologické prostředí města a vede ke zvýšenému okamžitému zaplavení a špatné kvalitě povrchové vody. Aby se zlepšilo ekologické prostředí městských oblastí, musí se zvýšit zelené plochy a zvýšit propustnost půdy (Yang, 2011).

Kontaminace nepropustné (vadózní) zóny různými znečišťujícími látkami je celosvětovým problémem a často technická nebo ekonomická omezení vyžadují sanaci bez hloubení. Bioremediace *in situ* v nenasycené zóně pomocí bioventingu se stala standardní technologií sanací. Bioremediace nenasycené zóny *in situ* se zaměřuje na různé anorganické a organické znečišťující látky. Při bioremediaci se vědci zaměřili především na nový *in situ* bioremediační strategii v nepropustné zóně zaměřené na celou řadu dalších znečišťujících látek, jako jsou chloristany, dusičnany, uran, chrom, halogenovaná rozpouštědla a pesticidy (viz obrázek 8) (Höhener, 2014).

Obrázek 7 – Bioremediace in situ ve vadózní zóně pomocí bioventingu (Höhener, 2014)



Bioremediace je proces dekontaminace znečištěných míst pomocí endogenních nebo externích mikroorganismů. In situ je termín používaný v různých oblastech, který znamená „na místě“ a odkazuje na místo konání události. V kontextu bioremediace in situ naznačuje, že k umístění bioremediace došlo v místě kontaminace bez translokace znečištěných materiálů. Bioremediace se používá k neutralizaci znečišťujících látek včetně uhlovodíků, chlorovaných sloučenin, dusičnanů, toxických kovů a dalších znečišťujících látek pomocí různých chemických mechanismů. Mikroorganismy používané v procesu bioremediace lze buď implantovat, nebo kultivovat v místě aplikace hnojiv a dalších živin. Běžně znečištěná místa, na která se zaměřuje bioremediace, jsou podzemní vody (zvodněné vrstvy) a znečištěné půdy. In situ bioremediaci lze dále kategorizovat podle probíhajícího metabolismu, aerobního a anaerobního (Rittmann, 1994).

Pro úspěšný bioventing je potřeba splnit dvě základní kritéria. Za prvé musí být vzduch schopen procházet půdou v dostatečném množství, aby se udržely v půdě správné aerobní podmínky. Za druhé, přírodní mikroorganismy, degradující uhlovodíky, musí být přítomny v koncentracích dostatečně velkých, aby dosáhly rozumné rychlosti biologického rozkladu. Propustnost půdních plynů je významně ovlivněna velikostí zrna půdy a vlhkostí půdy. Bioventing je neproveditelný, pokud mají lokality vysokou hladinu podzemní vody, zvýšenou vlhkost půdy nebo písčitou půdu. Vlastnosti půdy, jako je pH, vlhkost a základní živiny,

ovlivňují mikrobiální aktivitu. Pro mikrobiální aktivitu je optimální rozmezí pH 6 až 8. Vyšší teplota zvýhodňuje mikrobiální aktivitu (Hinchee, 1991).

6. Diskuze k získaným poznatkům

Hospodaření s dešťovou vodou je v současnosti v České republice hodně aktuální téma. Lidé se při stavbě svých rodinných domů pravidelně setkávají s požadavkem stavebního úřadu na likvidaci srážkové vody na pozemku stavby. Na splnění této podmínky tedy závisí získání stavebního povolení. Hospodaření se srážkovou vodou má oporu v české legislativě, ale veřejnost si na to ještě příliš nezvykla, a proto vznikají kolem tohoto tématu vášnivé debaty. Napomáhají tomu i časté nepříliš pružné požadavky příslušných úředníků, kteří s možnostmi hospodaření s dešťovou vodou mají prozatím málo zkušeností.

Důvodů podpory řešení vedoucí k zadržování vody a její zasakování, je několik. Dříve byly srážkové vody odváděny do kanalizace, kterou v případě silných dešťů značně přetěžovaly. V kanalizaci se navíc srážková voda smísí se splašky a v čistírnách odpadních vod tak musí být následně čištěna za zbytečně vysokých nákladů. Dalším problémem je velké množství dlážděných, vybetonovaných a jinak zpevněných ploch, které nedovolují zasakování srážkových vod, ale urychlují jejich odtok ze zastavěného území, čímž se zvyšuje riziko lokálních záplav. Z celkového pohledu tak často dochází k poklesu hladin podzemních vod a navýšení průtoku v povrchových vodotečích. To jsou nejdůležitější důvody, proč je v současné době podporováno a vyžadováno řešení umožňující zasakování nebo jiné využití srážkové vody přímo na pozemku, kam voda dopadne.

O tom jak důležité je srážkovou vodu udržet na místě a neodvádět ji pryč jsou přesvědčeni nejen odborníci zabývající se oborem hydrologie ale i stát. Ten se snaží motivovat obyvatele k tomu, aby formou dotačních programů např. Dešťovka spolupracovali na téma zasakování a zadržování srážkových vod.

Podle výše uvedených poznatků získaných z odborné literatury, odborných článků jsou hlavní důvody proč zasakovat a zadržovat srážkové vody pokles hladin podzemních vod, větší riziko lokálních záplav a teplejší klima v urbanizovaném prostředí.

Metody zasakování srážkových vod, které jsou uvedeny v této práci jsou nejčastěji používané. Podle definovaných vlastností všech těchto metod zasakování srážkových vod vyhodnotit, která metoda je ta nejlepší, nelze. Každá metoda zasakování srážkových vod má svou danou úlohu.

Přednostní metodou vsakování je povrchové vsakování souvislou zatravněnou vrstvou s dobrou vsakovací schopností nebo vsakování v průlehu či v průlehu doplněném rýhou, jejíž retenční prostor slouží k dočasnému zadržení srážkové vody, než se vsákne do podloží. Povrchové vsakování je hlavně preferováno kvůli podpoře výparu, ale také kvůli bezpečnějšímu odstranění znečištění ve srážkovém odtoku.

U podzemních vsakovacích zařízení se dává přednost liniovému (vsakovací rýhy) a plošnému (podzemní prostory nebo bloky vyplněné štěrkem) vsakování před bodovým (vsakovací šachty). Pouze výjimečně se používají podzemní vsakovací zařízení s přímým vsakováním. Všechna tato zařízení musí být chráněna předčisticím zařízením pro zachycení nerozpuštěných látek i jiných druhů znečištění.

Dalším zajímavým systémem je decentralní systém odvodnění, přírodě nejbližší způsob odvodnění. Jedná se o kompletní systém s možností výparu, vsakování a pomalého odtoku do lokálního koloběhu vody.

Dále je nutné dbát na kvalitu zasakované vody, která je zasakována do podzemního prostředí. Není přípustné nechat zasakovat do horninového prostředí znečištěnou vodu, které představují ekologická rizika nebo mohou omezit funkčnost vsakovacího zařízení.

Při kontaminaci půdy bylo tradičním řešením dekontaminace a ještě někde stále je vytěžení zeminy a odvoz na skládku. Tato metoda pouze stěhuje kontaminaci, ale neodstraňuje ji. Bioremediace je nová metoda řešení dekontaminace. Spočívá v přeměně toxických látek prostřednictvím biologického procesu na látky méně toxické.

Zachycování srážkové vody by nemělo být povinné jen u nově stavěných rodinných domů, ale i u velkých objektů a sídlišť, které vznikají na místech brownfieldů, nevyužitých ploch nebo zemědělských půd. Vzniká tak nepropustná, souvislá vrstva betonu a asfaltu, odkud stéká srážková voda do kanalizace.

Zachycování srážkové vody a její využívání byl také nápad, jak uzákonit povinnost zachycovat srážkovou vodu pro potřeby zalévání. Ne všichni však srážkovou vodu využívají k zalévání zahrad, mytí nebo splachování. Každoročně můžeme slyšet z médií o obcích, které zakazují zalévání zahrad ze zdrojů pitné vody, popř. podzemní vody (studně). Obyvatelé těchto obcí se však snaží zákazy obejít a zalévají večer či v noci.

Závěr

Cílem práce bylo vypracovat literární rešerši na téma zasakování srážkových vod a provést vyhodnocení a představení využitelnosti různých způsobů zasakování a použití materiálů jako náplň do vsakovacích objektů.

Úvod práce byl věnován složení srážkových vod, popisoval vznik srážkových vod a popsal antropogenní znečištění srážkových vod a také jejich možné využití.

Druhá kapitola se věnovala metodám zasakování srážkových vod. Existuje mnoho možností, jak zasakovat srážkovou vodu pomocí povrchového nebo podpovrchového vsakování. Tato kapitola představila nejčastější možnosti vsakovacích objektů, popsala jejich výhody a nevýhody.

Další kapitola se věnovala kvalitě zasakovaných vod a jejich vliv na kvalitu a kvantitu podzemních vod. Součástí této kapitoly byla taky popsána metoda bioremediace, která bývá definována jako proces, v němž jsou působením určitých živých mikroorganismů nebo enzymů přeměňovány toxické nebo rizikové látky na netoxické a bezpečné. Jde o rozklad organických polutantů prostřednictvím specifických mikroorganismů anebo pouze o optimalizaci podmínek prostředí pro působení již přítomné mikroflóry. Optimalizace podmínek spočívá v aeraci, přidávání živin, přidáváním látek stimulujících mikroorganismy k rozkladu znečištění apod., např. rozklad složitých aromatických uhlovodíků je možné urychlit přidavkem jednoduchých aromatických uhlovodíků.

V kapitole diskuze k získaným poznatkům jsou zhodnoceny důvody k zadržování srážkové vody a jejich přínos. Byly také vyhodnoceny různé typy a možnosti zasakovacích nádrží vyhodnocení nejvhodnějších nádrží.

Zadržování dešťových vod a podpora jejich vsakování v rámci přírodě blízkého HDV vede ke snížení objemu a maxim povrchového odtoku v urbanizovaných územích a má několik přínosů, např. snížení nákladů na protipovodňová opatření, zvýšení obnovy zásob podzemních vod a zásobování vodních toků v době sucha, zvýšení výparu a zlepšení mikroklimatu v urbanizovaných oblastech, zkvalitnění městského prostředí, zlepšení jeho estetického vzhledu a biodiverzity.

Seznam použité literatury

ALLEY, William, M. et al. *Sustainability of ground-water resources*. The Components of Water Cycle. USGC, Water Resources, 1999; CIR; 1186. Dostupné z: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/infiltration-and-water-cycle?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

APPLEYARD, S.J. *Impact of rainwater infiltration basins on groundwater quality, Perth Metropolitan Region, Western Australia*. International Journal of Geosciences 21, 227–236, 1993. <https://doi.org/10.1007/BF00775912>

BRANDT, Malcolm J. et al. *Twort's Water Supply. Chapter 8: Storage, clarification and chemical treatment*. Elsevier Inc., 2017, 932 s. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06331-4>. ISBN 978-0-08-100025-0.

BRANIŠ, Martin, HŮNOVÁ, Iva. *Atmosféra a klima aktuální otázky ochrany ovzduší*. Praha: Karolinum, 2009, 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.

CARMICHAEL, J. What make it rain? 2021 [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://scijinks.gov/rain/>

CARROLL, Dorothy. *Rainwater as a Chemical Agent of Geologic Processes A Review*. United States Department of the Interior. Geological Survey. 1962, 23 s. Dostupné z: <https://pubs.usgs.gov/wsp/1535g/report.pdf>

Dekontaminační technologie. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchop/CDmartin/4-dekontaminovana/2-2.html>

HINCHEE, Robert, E. Bioventing soils contaminated with petroleum hydrocarbons. 1991. Journal of Industrial Microbiology, Volume 8, Issue 3, 1 October 1991, Pages 141–146, <https://doi.org/10.1007/BF01575846>.

HÖHENER, Patrick, Violaine PONSIN. Bioremediation in vadose zone in situ. Elsevier, Ltd., Energetic biotechnology and Environmental biotechnology 27/2014, s. 1-7. ISSN: 0958-1669

HOLÝ, Miloš a kol. *Odvodňovací stavby*. 1.vydání Praha, SNTL/Alfa, 1987, 469 s. ISBN

CHALOUPKA, Vladimír. *Srážkové vody a zákon o vodovodech a kanalizacích*. 2006. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-voda-kanalizace/3757-srazkove-vody-a-zakon-o-vodovodech-a-kanalizacich>

Kolektiv autorů. *Hospodaření se srážkovými vodami*. Odvětvová technická norma vodního hospodářství. Ministerstvo zemědělství, 2013, 65 s. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011__brezen_2013.pdf

Kolektiv autorů. *Vsakování srážkových vod. Metodická pomůcka Ministerstva pro místní rozvoj*. MMR ČR, 2019, Odbor stavebního řádu, 35 s. Dostupné z: https://www.mmr.cz/getattachment/e16069fa-3bf8-4a1d-82af-28a17df865c5/Metodika-vsakovani_srpen2019.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf

Kolektiv autorů. *Zasakování dešťových vod moderními způsoby*. 2020. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://www.vodavdome.cz/zasakovani-destovych-vod-modernimi-zpusoby/>

Kolektiv autorů. *Znečišťování vod*. 2020. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://www.koordinacebozp.cz/aktuality/zneisteneni-ze-stavebnictvi/>

KREJSOVÁ, Jana. *Vsakování srážkové vody do půdního profilu je potřebné*. Tzbinfo, 2012. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/8662-vsakovani-srazkove-vody-do-pudniho-profilu-je-potrebne>

LANGHAMMER, Jakub. *Kvalita povrchových vod a jejich ochrana*. Praha: Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecká fakulta Univerzita Karlova, 2002, 225 s. Dostupné z: http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/skripta/skriptaWQ_2009_web.pdf

MARKOVIČ, Gabriel et al. *Rainwater Infiltration in the Urban Areas*. Conference: ENVIRONMENTAL IMPACT 2014, Vol. 181., 10 s.. DOI: 10.2495/EID140271.

MOMIN, G.A. et al. *Study of chemical composition of rainwater at an urban (Pune) and a rural (Sinhagad) location in India*. Journal of Geophysical Research Atmosphere, Vol. 110, Iss. D8, April 2005. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004JD004789>.

Nařízení vlády č. 61/2003 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

NOSEK, Roman. *Srážkové vody*, 2020. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://mevakdknl.cz/srazkove-vody>

NOVOTNÁ, Jitka et al. *Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR*. Ministerstvo životního prostředí, 2015, 93 s. Dostupné z: http://www.povis.cz/mzp/132/vsak_destovych_vod.pdf

RAHMAN, Muhammad Muhitur, et. al. *Sustainable construction technologies. Chapter 8: Sustainable water use in construction*. Elsevier Inc., 2019, s. 490. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01288-3>. ISBN 978-0-12-811749-1.

Rainharvesting. *Uses of Rainwater*. 2020. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://rainharvesting.com.au/why-harvest-rainwater/uses-for-rainwater/>

RITTMANN, Bruce E. (1994). *In situ bioremediace*. Taylor & Francis. ISBN 978-08-1551-348-3.

ROBBINS, Carolyn. *How Is Rain Formed?* 2018. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://sciencing.com/how-rain-formed-4587413.html>

RÖDLING, Jan. *Hospodaření s vodou přinese obcím lepší klima a úsporu*. Informační zpravodaj Státního fondu životního prostředí ČR, č. 3/2019. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://www.czwa.cz/aktuality/2019/Priorita%2003-2019.pdf>

ROŽNOVSKÝ, Jaroslav. *Změny podnebí*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2014, 115 s. ISBN 978-80-7414-884-2.

Fakulta životního prostředí

SANMI, Awopetu Michael. *Effect of Air Pollution on Rain Water: A Case Study of Ado-Ekiti, Nigeria*. International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS). Vol-5, Issue-8, Aug- 2018, p.19-24. ISSN ISSN: 2456-1908.

ŠÁLEK, Jan a kolektiv. *Voda v domě a na chatě: Využití srážkových a odpadních vod*. Praha: Grada Publishing a.s., 2012, 144 s. ISBN 80-2477-204-3.

ŠEDA, Svatopluk. *Hydrogeologické minimum pro projekci a povolování zasakování srážkových nebo odpadních vod do vod podzemních prostřednictvím půdních vrstev*. 2016. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/legislativa/hydrogeologicke-minimum-pro-projekci-a-povolovani-zasakovani-srazkovych-nebo-odpadnich-vod-do-vod-podzemnich-prostrednictvim-pudnich-vrstev_43689.html

ŠILAR, Jan. *Hydrologie v životním prostředí*, VŠ Báňská, Ostrava, 1996

THOMAS, P.R., G.R. GREEN. *Rainwater Quality from Different Roof Catchments*. Water Science and Technology, 1993. 28 (3-5): 291–299. ISSN 0273-1223.

TREUTWEIN, Norbert, 2000. *Mir geht's gut bei jedem Wetter*. Mosaik Verlag in der Verlagsgruppe Bertelsmann GmbH, Munchen

VACEK, Jan. Jak vypadá vsakovací zařízení srážkových vod. 2018. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/16968-hospodareni-se-srazkovymi-vodami>

VÍTEK, Jiří et al. *Hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015, 129 s. ISBN 978-80-260-7815-9.

VÍTEK, Jiří a kol. *Hospodaření se srážkovými vodami - cesta k modrozelené infrastruktuře*. Brno: JV Projekt VH, s.r.o., 2018, 201 s. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: https://www.olomouc.eu/administrace/repository/gallery/articles/23_/23422/hdv_cesta_k_mzi.cs.pdf

WANG, Hua et al. *Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in Chengdu, southwest China*. Atmospheric research, Volume 99, Iss. 2, Feb. 2010, s. 190-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.004>

YANG, Jin-Ling, Gan-Lin ZHANG. *Infiltration of water into urban soils and its effect on the quantity and quality of runoff*. Jurnal of Soils and Sediments, 11, 751–761, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0356-1>

ZUMDAHL, Steven S. *Water*. Encyclopedia Britannica, 2 Feb. 2021. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: [//www.britannica.com/science/water](https://www.britannica.com/science/water).

Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

ŽÁK, Michal. *Jaké je složení dešťových kapek*. 2017. [online] [cit 2020_10_19]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/dest-27.4.2017/>

Použité zkratky

ČR	Česká republika
HDV	Hospodaření s dešťovou vodou
MZI	Modrozelená infrastruktura
WHO	Světová zdravotnická organizace

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vsakovací průleh v Bruntále (Rödling, 2019)	24
Obrázek 2 – Retenční nádrž Hajany (Státní pozemkový úřad)	25
Obrázek 3 – Tunelový zasakovací objekt (Vacek, 2018).....	26
Obrázek 4 - Metody zasakování srážkových vod (MMR, 2020)	27
Obrázek 5 – Vsakovací prostor vyplněný pískem (Vacek, 2018)	30
Obrázek 6 – Plastová vsakovací šachta (Vacek, 2018)	32
Obrázek 7 – Bioremediace in situ ve vadózní zóně pomocí bioventingu (Höhener, 2014).....	36
Obrázek 8 - Oxidy síry vznikající činností tepelných elektráren mohou vést ke vzniku kyselých dešťů (Žák, 2017).....	48
Obrázek 9 - Jizerské hory – les zasažený kyselým deštěm (Žák, 2017)	49
Obrázek 10 - Povrchový vsakovací příkop (voda.tzb-info.cz).....	50
Obrázek 11 - Vsakovací jímka (zahrada-stroje.cz)	51

Příloha 1

Vzorec pro výpočet množství srážkových vod odváděných do kanalizace (dle přílohy č. 16 k vyhlášce č. 428/2001 Sb.) včetně vzorového výpočtu

Druh plochy	plocha m ²	odtokový součinitel	redukovaná plocha m ² (plocha krát odtokový součinitel)
A	1200	0,9	1080
B	500	0,4	200
C	250	0,05	12,5
Součet redukovaných ploch:			1292,5
Dlouhodobý srážkový normál (oblast Litomyšl) 686 mm/rok, tj. 0,686 m/rok			
Roční množství odváděných srážkových vod v m ³ = součet redukovaných ploch v m ² krát dlouhodobý srážkový normál v m/rok /matematicky zaokrouhлено na celé číslo/			887

Odtokové součinitele podle druhu plochy

a) Plocha A - těžce propustné zpevněné plochy, zastavěné plochy např. střechy s nepropustnou horní vrstvou, asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár, zámkové dlažby:

v případě možnosti odtoku do kanalizaceodtokový součinitel: 0,9.

b) Plocha B - propustné zpevněné plochy, např. upravené zpevněné šterkové plochy, dlažby se širšími spárami vyplněnými materiálem umožňujícím zasakování:

v případě možnosti odtoku do kanalizace..... odtokový součinitel: 0,4.

c) Plocha C - plochy kryté vegetací, zatravněné plochy, např. sady, hřiště, zahrady, komunikace ze zatravněvaných a vsakovacích tvárnic:

v případě možnosti odtoku do kanalizace.....odtokový součinitel: 0,05.

Dlouhodobý srážkový normál je průměrem určité hodnoty (např. roční srážky) v daném místě nebo oblasti za 30ti letí, v současné době za 30ti letí – 1961 až 1990. Tato hodnota se pak používá 30 let, tedy do roku 2020. Jedná se o normu Světové meteorologické organizace.

Příloha 2

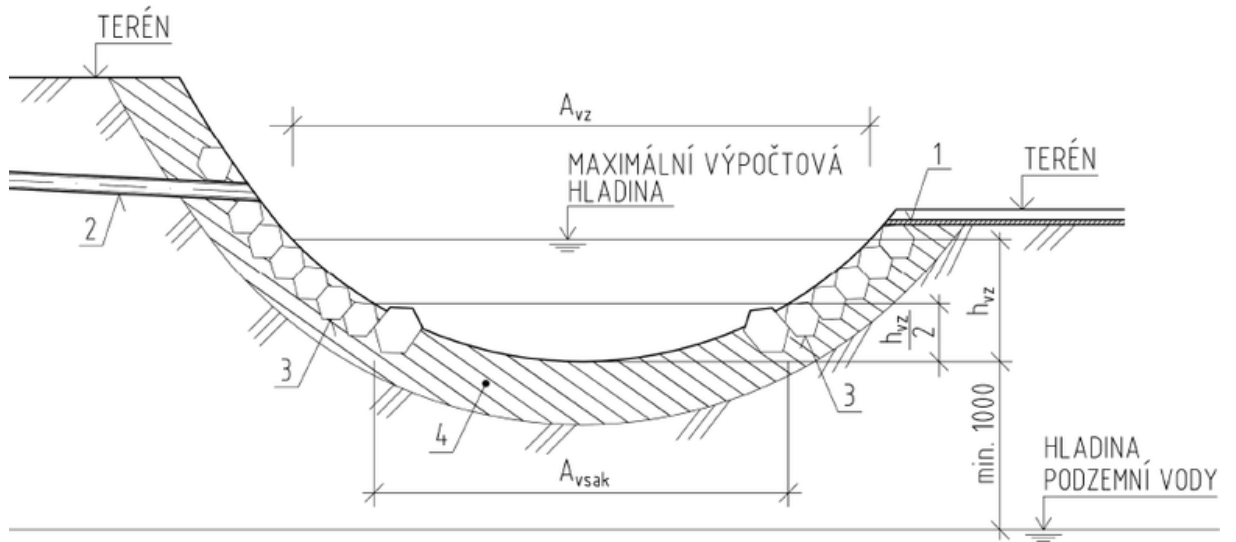
Obrázek 8 - Oxidy síry vznikající činností tepelných elektráren mohou vést ke vzniku kyselých dešťů (Žák, 2017)



Obrázek 9 - Jizerské hory – les zasažený kyselým deštěm (Žák, 2017)



Obrázek 10 - Povrchový vsakovací příkop (voda.tzb-info.cz)



Obrázek 11 - Vsakovací jímka (zahrada-stroje.cz)

