

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU
V URBANIZOVANÉM PROSTŘEDÍ**

Vedoucí práce: Ing. Petra Sychová, Ph. D.

Bakalant: Jakub Bredler

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Bredler

Vodní hospodářství

Název práce

Hospodaření s dešťovou vodou v urbanizovaném území

Název anglicky

Rainwater harvesting system in cities

Cíle práce

Předmětem práce je charakteristika aktuální problematiky využívání dešťových vod ve formě rešerše literatury. Cílem je popis hospodaření s dešťovými vodami jednak v obecné rovině, dále legislativní rámec řešené problematiky a v neposlední řadě i zohlednění kvality takto získávané vody a možné způsoby jejího využití.

Díličím cílem je posouzení možnosti využívání dešťových vod v objektu městského úřadu v Benešově na základě bilance dostupného množství vody (ve formě srážek) a potřebného množství vody (v závislosti na účelu, ke kterému by měla být voda využita).

Metodika

- literární rešerše studované problematiky,
- přehled platné legislativy,
- návrh hospodaření s dešťovými vodami,
- zhodnocení zjištěných informací.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

voda dešťová, spotřeba vody, úspora vody, hospodaření s vodou

Doporučené zdroje informací

BÖSE, K. – HERLE, J. *Voda pro dům a zahradu*. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00322-9.

ČSN 75 6780: Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, v návrhu. 39s.

HLAVÍNEK, P. – KUBÍK, J. – PRAX, P. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Brno: ARDEC, 2007. ISBN 978-80-86020-55-6.

KREJČÍ, V. – GUJER, W. *Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup*. Brno: NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-39-8.

TNV 75 9011: Hospodaření se srážkovými vodami. Sweco Hydroprojekt, Praha. 2013. 69s.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petra Sychová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 4. 4. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 4. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petry Sychové, Ph. D. Další informace mi poskytli pan Ing. Ondřej Samek a pan Miroslav Jelínek. A že jsem uvedl všechny literární zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 7. 4. 2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Petře Sychové, Ph. D. za její odborné vedení, cenné rady a připomínky při psaní bakalářské práce. Za poskytnutí odborných rad a informací také děkuji panu Ing. Ondřejovi Samkovi a panu Miroslavu Jelínkovi. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu po celou dobu studia.

V Praze dne 7. 4. 2017

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o problematice hospodaření s dešťovými vodami a o jejich využívání. V bakalářské práci je zahrnuto vysvětlení dané problematiky a také je uveden návod, jak hospodaření s těmito vodami zlepšit. Práce vychází ze zaručených a důvěryhodných zdrojů, jako jsou knihy a vědecké časopisy, které se stejné problematice věnují. V této oblasti také důležitou roli hrají nově tvořené zákony a normy.

Mimo obecného popisu se tato práce věnuje i návrhu na hospodaření s dešťovou vodou v konkrétní budově. Návrh jednak posuzuje využitelnost dešťové vody jako vody provozní, jednak posuzuje množství dešťové vody získané ze zastavěného území proti potřebě provozní vody administrativní budovy. Důležitou součástí práce je ekonomické zhodnocení efektivnosti při zavádění systémů hospodaření s dešťovými vodami.

Klíčová slova: voda dešťová, spotřeba vody, úspora vody, hospodaření s vodou

Abstract

This bachelor thesis deals with the problematics of rainwater harvesting and its their use. In bachelor thesis is included explanation of this issue and tools, how could be rainwater management improved. This work is based on guaranteed and reliable sources, as scientific books and papers, which are focused on the same field of study. In that area play an important role newly formed laws and legislative norms.

Except general description, this thesis is focused on the proposal of rainwater harvesting in particular building. The proposal generally assesses usability of rainwater as a proces water in administrative building. Evaluation the probability of rainwater harvesting is based on volume of rainwater gained from urban area on one hand, and volume of process water demand on the other hand. Finally, the assessment of feasibility of the rainwater harvesting project is discussed.

Key words: rainwater, water consumption, saving water, water harvesting

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíle práce	12
3	Literární rešerše	13
3.1	Voda ve světě	13
3.2	Dešťové vody	15
3.3	Legislativa	19
3.4	Jakost a úprava dešťových vod	25
3.5	Hospodaření s dešťovými vodami	33
3.6	Využití dešťové vody	44
4	Metodika	47
4.1	Popis sledované lokality	47
4.2	Výpočet množství srážkové vody	47
4.3	Výpočet potřeby vody	49
4.4	Posouzení využitelnosti dešťové vody pro provozní účely	51
5	Výsledky	52
5.1	Městský úřad	52
5.2	Množství dešťové vody	52
5.3	Potřeba vody	53
5.4	Posouzení využitelnosti dešťové vody	55
6	Diskuse	56
7	Závěr	58
8	Přehled literatury a použitých zdrojů	60

Seznam tabulek

Tabulka 1: Dlouhodobý srážkový normál v ČR 1961 - 1990.....	18
Tabulka 2: Typické znečišťující látky na jednotlivých typech ploch a očekávané znečištění srážkových vod	26
Tabulka 3: Orientační klasifikace znečištění srážkových vod.....	27
Tabulka 4: Součinitele odtoku srážkových vod ψ	48
Tabulka 5: Splachovací objemy pro záchodové a pisoárové mísy	50
Tabulka 6: Počty použití záchodových a pisoárových mís během dne jednou osobou	51
Tabulka 7: Plochy odvodňovaného území.....	52
Tabulka 8: Výpočet redukované plochy	53
Tabulka 9: Množství srážkové vody pro jednotlivé měsíce.....	53
Tabulka 10: Potřeba vody pro splachování záchodových mís.....	54
Tabulka 11: Potřeba vody pro splachování pisoárových mís	54
Tabulka 12: Denní potřeba vody.....	54
Tabulka 13: Měsíční potřeba vody	55
Tabulka 14: Porovnání objemů získané dešťové vody a potřeby vody	55

Seznam obrázků

Obrázek 1: Hydrologický cyklus	17
Obrázek 2: Srážkové poměry v ČR	18
Obrázek 3: Porovnání infiltrace	34
Obrázek 4: Odtok z povodí	35

Obrázek 5: Plošné vsakování přes půdní profil	39
Obrázek 6: Zasadovací tvárnice.....	39
Obrázek 7: Vsakovací průleh.....	40
Obrázek 8: Vsakovací nádrž	40
Obrázek 9: Vsakovací rýha vyplněná štěrkem s předřazenou usazovací jámkou	41
Obrázek 10: Pokládka vsakovacích bloků a geotextilie	42
Obrázek 11: Vsakovací šachta	42
Obrázek 12: Vsakovací průleh - rýha	43
Obrázek 13: Umělý mokřad.....	44
Obrázek 14: Možnost náhrady pitné vody	45
Obrázek 15: Využití dešťové vody v domácnosti.....	45
Obrázek 16: Podzemní plastová nádrž s připojeným čerpadlem	46
Obrázek 17: Rozdělení zastavěného území	52

1 Úvod

Voda je nejdůležitější a nezákladnější tekutinou na světě. Člověk ji dennodenně využívá a nepřemýšlí nad tím, kde se vzala, jednoduše otevře kohoutek. Možná by byla situace jiná, pokud by tak lehký přístup k této životadárné tekutině neměl. Bohužel spousta lidí se v této těžké situaci nachází. Týká se to především rozvojových zemí, kde lidé musí s vodou hospodařit, aby přežili. Jedna miliarda lidí na světě stále nemá přístup k nezávadné pitné vodě. Podle Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) trpí 840 miliónů lidí podvýživou, což jsou spojené nádoby s nedostatkem vody. Vodu ostatně potřebují všechny organismy, rostliny a živočichové, kteří mezi sebou o vodu bojují a přežijí jen ti jedinci, kteří jsou nejsilnější, nejschopnější a nejodolnější.

Od počátku lidstvo vyvíjelo mnoho inovativních technik pro akumulaci, dopravu a následné využívání na zem spadlé vody. Příklady z historie mohou být římské akvadukty, které přiváděly vodu z pramenů do měst nebo skalní masiv Masada ležící v poušti u Mrtvého moře. Zde bylo vybudováno v pevnosti a v paláci několik cisteren pro zachycování dešťů. Cisterny dosahovali objemů až 1000 m³. Nejjednodušším způsobem akumulace vody, který přetrval až do dnešní doby, je například svod vody ze střech objektů do sudů pro účely zalévání.

Hospodaření s dešťovou vodou nás provází odedávna. Avšak až v dnešní době se dostává tato problematika do širšího povědomí celé společnosti. Hospodaření s dešťovou vodou se dostává do médií, je součástí novel zákonů a vyhlášek, jsou nově vytvářeny normy. Stát začíná s programy dotací na využívání dešťové vody a i běžní občané se zajímají o nové techniky v oboru. Pouze pár let je v zájmu dotčených orgánů tzv. decentralizovaný systém odvádění srážkových vod, který dal vzniknout novému přístupu k těmto vodám. Dnes není žádoucí, hlavně v urbanizovaném prostředí, rychle srážkovou vodu odvádět kanalizací, ale je zapotřebí s ní rozumně hospodařit. Snahou tedy je vodu akumulovat, zasakovat nebo alespoň zdržet její rychlý povrchový odtok. Tento odtok může způsobovat povodně a s nimi spojené škody na majetku. Srážková voda se může použít i místo pitné vody tam, kde není kladen takový důraz na kvalitu vody (např. splachování toalet, mytí aut, zalévání zahrad a městské zeleně). V těchto případech můžeme hovořit o vodě srážkové jako o vodě užitkové.

2 Cíle práce

Cílem práce je charakteristika a všeobecné pochopení aktuální problematiky využívání dešťových vod. Problematika je probírána v obecné rovině, s širším pohledem na legislativu a na základní principy systému využívání vod. Práce také posuzuje faktické způsoby hospodaření s dešťovou vodou v určitých částech světa. Hospodaření s dešťovou vodou se v různých částech světa liší, což je dáno především rozdílným charakterem klimatických podmínek, reakcí na změny rozložení srážek, využívání trendů udržitelného rozvoje apod.

Dílčím cílem je posouzení možnosti využívání dešťových vod v objektu Městského úřadu v Benešově. Cílem je výpočet bilance objemu vody, který je založen na objemu srážkové vody a objemu vody potřebné k danému záměru. Pro účely této práce se jedná o využití srážkové vody pro splachování toalet.

3 Literární řešerše

3.1 Voda ve světě

Hlavním problémem mnoha rozvojových zemí je nedostatek vody, na což samozřejmě navazují i problémy s potravinami v těchto regionech. Potencionálním zdrojem pitné vody mohou být dešťové vody. Správný přístup k hospodaření s dešťovými vodami, by mohl mít za následek snížení krize nedostatku vody. Hospodaření s dešťovými vodami je technologie, která efektivně shromažďuje či zadržuje povrchový odtok během dešťové události. Systém hospodaření s dešťovou vodou by měl být založen na místních možnostech, materiálech a vybavení. To vše s ohledem na minimalizaci nákladů (Helmreich a Horn, 2009).

Většina rozvojových zemí je klasifikována jako země s nedostatkem vody. Tyto země se vyznačují vysokou variabilitou srážek, což má za následek velké riziko sucha a s tím související časté nedostatečné zajištění potravin (Ngigi, 2003).

Hospodařením s dešťovou vodou se v posledních letech zabývají i státy, které nemají doposud s dodávkou pitné vody problémy. *Jones a Hunt* (2010) uvádí ve svém článku studii o monitorování sběru dešťové vody v Severní Karolíně. V reakci na období sucha a s tím spojené obavy týkající se nedostatku vodních zdrojů, mnoho majitelů domů v této lokalitě mělo zájem o instalaci barelů pro zachycování dešťového odtoku ze střech. Následovala řada počítačových simulací pro stanovení schopností těchto systémů. Jednalo se o kvalitu vody, zásobování vodou, zhodnocení nákladů. I toto poukazuje na celosvětové rozšiřování problematiky hospodaření s dešťovou vodou.

Důležitým pojmem pro toto téma je také tzv. virtuální voda. Poprvé tento výraz pro obchodování s vodou použil v roce 1998 Tony Allan (Hrkal, 2014).

Virtuální voda je voda obsažená ve výrobku, nikoli v reálném smyslu, ale ve smyslu množství vody „vložené“ do výroby, resp. vody exogenní. Tato virtuální voda poukazuje na množství vody, které je nezbytné k výrobě daného produktu. Existují dva různé přístupy v pojetí virtuální vody. V prvním je objem definován jako objem vody, který je ve skutečnosti na výrobu produktu použit. V tomto pojetí jsou myšleny

výrobní podmínky, včetně místa, doby výroby a účinnost vody. Jako příklad může sloužit pěstování obilí. Vypěstovat jeden kilogram obilí v aridní oblasti může vyžadovat dvakrát až třikrát více vody, než vypěstovat stejné množství obilí v humidních oblastech. Ve druhém přístupu je brán v potaz pohled uživatele. Virtuální voda je definována jako množství vody, které by bylo potřebné k výrobě produktu na konkrétním místě. Tato definice je zejména relevantní pro případy, kdy je cílem vyčíslit, kolik vody bude ušetřeno, když bude produkt importován, namísto toho, aby byl na daném místě vyprodukován (Hoekstra, 2003).

Příkladem efektivního hospodaření s vodou je Izrael. I přes nepříznivé přírodní podmínky, nedostatek vodních zdrojů a neustále se navyšující počet obyvatel, je Izrael v ekonomickém rozmachu. Toto není dáno jen silnou ekonomikou, ale především skvělou organizací práce a efektivním nakládáním s vodou.

Prvním příkladem efektivity v nakládání s vodou je izraelské zemědělství. Rozvojové země využívají až 90 % své spotřeby vody na zavlažování (Hrkal, 2014), přičemž zejména při závlaze postřikem dochází k obrovským ztrátám. K zavlažované rostlině se dostane jen malé množství vody, většina vody se vypaří buď již ve vzduchu, nebo přímo z vegetace. Izraelský vodohospodář Simcha Blass na konci padesátých let vyvinul nový systém závlahy, dnes nazývaný kapková závlaha. Jde o jednoduchý, ale zároveň velice efektivní způsob rozvodu vody přímo ke kořenům rostlin. Kapková závlaha dokáže snížit spotřebu vody na minimum v porovnání s klasickým postřikem. Tato technologie se stala celosvětovou záležitostí.

Další ukázkou hospodaření s vodou v Izraeli, je její recyklace. Telavivská aglomerace má přibližně dva milióny obyvatel, kteří vyprodukují 127 000 000 m³ odpadních vod za rok. Stejně jako ve většině takovýchto měst je odpadní voda odváděna na čistírnu odpadních vod. Ovšem dále se systém nakládání s odpadní vodou liší, např. Ústřední čistírna odpadních vod v Praze vyčištěnou vodu vypouští do Vltavy. Izrael nenechává vyčištěnou vodu jen tak odtéci z území, ale nechává ji zasakovat do podzemí a znovu ji využívá. Tato umělá infiltrace plní tři úkoly (Hrkal, 2014):

1. Dokonalé vyčištění průchodem vody horninovým prostředím, a to až na normu pitné vody,

2. zvýšení hladiny podzemní vody procesem infiltrace,
3. zvýšení efektivity hospodaření s vodou, v létě je voda z podzemí čerpána a opět využívána.

Každý rok v Izraeli vyčistí a znovu využijí pro zemědělství až 70 % odpadních vod a většina zbylé odpadní vody má své další využití. To dělá z Izraele světovou kapacitu v oblasti nakládání s odpadní vodou. V Evropě jsou na tom nejlépe ve Španělsku, kde je znovu využíváno přibližně 12 % odpadních vod (Hrkal, 2014).

V České republice, v současné době, takový způsob efektivního využívání odpadních vod není možný. Zasakování odpadních vod česká legislativa zakazuje, resp. povoluje pouze ve zcela výjimečných případech (zákon č. 254/2001 Sb.).

3.2 Dešťové vody

Atmosférické srážky

Atmosférické srážky jsou vodní kapičky nebo ledové částičky, které vznikají v důsledku desublimace nebo kondenzace vodní páry v ovzduší. Jedná se o veškerou atmosférickou vodu v kapalném nebo tuhém skupenství, která vypadává z různých typů oblaků nebo se usazuje na zemském povrchu či na předmětech v atmosféře např. plochy letadel (Kobzová, 1998).

Vznik srážek

Základním procesem vzniku oblaků a srážek je kondenzace vodní páry (Soukupová, 2009). Proto, aby z oblaků (tj. viditelných shluků drobných vodních kapiček nebo ledových krystalků) mohly tyto kapičky nebo krystalky v podobě srážek vypadávat, musí být rychlost jejich pádu větší než rychlost vzestupných pohybů vzduchu. Kapičky nebo krystalky tedy musí být dostatečně velké a hmotné (Kobzová, 1998).

Dále základní princip vzniku padajících dešťových nebo sněhových srážek tkví v tom, že určitý počet vodních kapiček nebo ledových krystalků se začne zvětšovat na

úkor ostatních. Teorie, které popisují mechanismus vzniku srážek, jsou v současné době dvě (Soukupová, 2009):

1. Vývoj srážek ve smíšených oblacích,
2. Vývoj srážek ve vodních oblacích – koalescence.

Třídění srážek

Atmosférické srážky se klasifikují podle následujících hledisek (Kobzová, 1998):

- a) podle skupenství rozlišujeme srážky na kapalné, tuhé a smíšené,
- b) podle původu (způsobu vzniku) jsou to srážky padající (např. déšť, mrholení, sníh, kroupy) a usazené (např. rosa, jíní, jinovatka, ledovka),
- c) podle délky výskytu hovoříme o srážkách trvalých, občasných a přeháňkách,
- d) podle příčin vzniku rozeznáváme srážky konvekční, cyklonální a orografické.

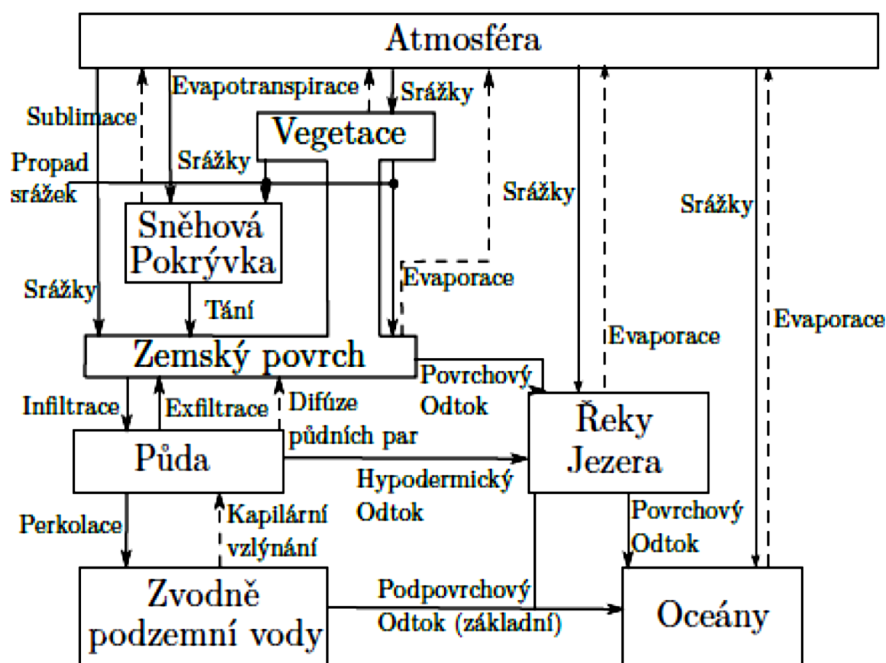
Vznik dešťové vody

Pro pochopení procesu vzniku dešťové vody je nutná znalost hydrologického cyklu (*obr. 1*). Hydrologický cyklus udává veškerý pohyb vody na Zemi a to na povrchu i pod ním. V každém okamžiku je voda v cyklickém pohybu (Šálek a Tlapák, 2006).

Voda, která může být ve skupenství pevném, plynném a kapalném je na Zemi v neustálém oběhu. Tento oběh je vyvolán sluneční energií a tím vzniká hydrologický cyklus. Lze rozlišit velký a malý hydrologický cyklus.

Velký hydrologický cyklus probíhá mezi pevninou a světovým oceánem. Při tomto cyklu dochází k výparu vody ze světového oceánu, vodní pára je poté přenesena vzdušnými proudy nad pevninu, kde následně desublimuje či kondenzuje. Zpět do světového oceánu se dostává povrchovým odtokem. Současně probíhá výpar vody z pevniny a vodní pára je opět vzdušnými proudy přenášena nad světový oceán, kde se v podobě srážek vrací do světového oceánu.

Malý hydrologický cyklus probíhá pouze nad oceány, popřípadě nad bezodtokovými oblastmi pevniny. Vypařená voda ze světového oceánu se do něj vrací v podobě srážek. Tento cyklus nezahrnuje povrchový odtok. Obdobně je tomu u bezodtokových oblastí (Soukupová, 2009).



Obrázek 1: Hydrologický cyklus (zdroj: Eagleson, 2003).

Srážky v České republice

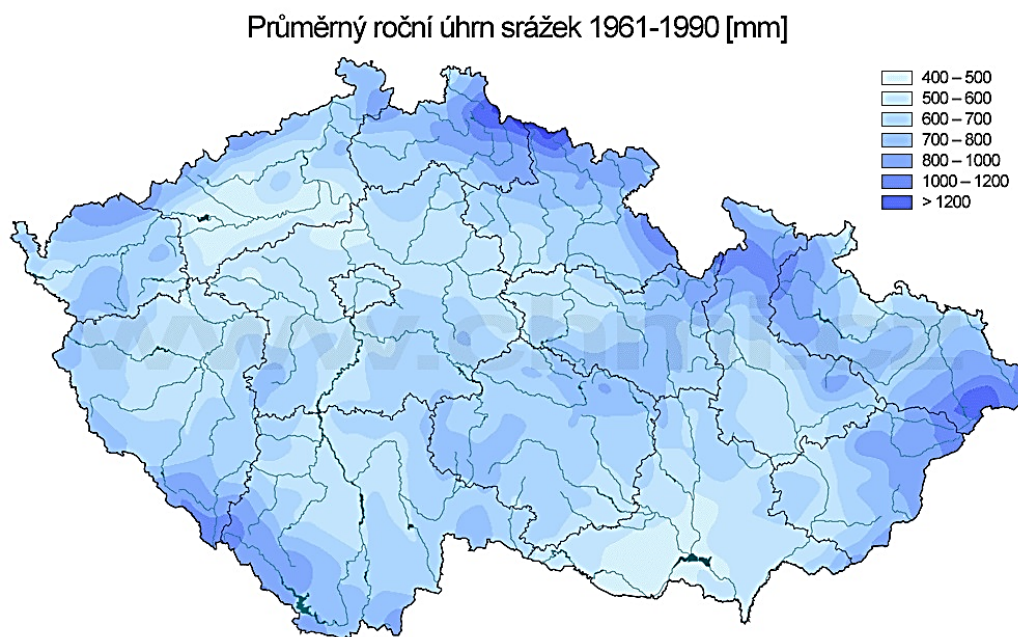
Srážky v České republice mají vysokou variabilitu (Hanel a Máca, 2014). Zčásti jsou ovlivňovány orografií, zčásti jsou utvářeny klimatem, který je ovlivněn Atlantickým oceánem, Středozezemním mořem a východním euroasijským kontinentem. Západní proudění, formované Atlantickým oceánem, převážně tvoří srážky v zimním období. Středozezemní moře výrazně ovlivňuje jižní část České republiky jak v zimě, tak i v letním období.

V České republice je průměrný roční srážkový úhrn mezi lety 1961 – 1990 674 mm (ČHMÚ, 2017). Srážky jsou rozděleny tak, že nejméně (cca 400 mm) připadá západní části okolo Žatce a nejvíce (cca 1400 mm) se vyskytuje v horách na severu republiky (Hanel a Máca, 2014). Pro jednotlivé kraje je dlouhodobý srážkový normál podrobněji uveden v *tab. 1*.

Tabulka 1: Dlouhodobý srážkový normál v ČR 1961 - 1990 (zdroj: ČHMÚ).

Kraj	Dlouhodobý srážkový normál 1961 - 1990 [mm]
Česká republika	674
Praha a Středočeský	590
Jihočeský	659
Plzeňský	656
Karlovarský	673
Ústecký	612
Liberecký	860
Královehradecký	774
Pardubický	711
Vysočina	644
Jihomoravský	543
Olomoucký	732
Zlínský	786
Moravskoslezský	816

V České republice je roční chod srážkového úhrnu (*obr. 2*) kolísavý a je rozložen následovně: 40% srážek připadá na léto, 25% na jaro, 20% na podzim a 15% srážek spadne v zimě. Měsícem, kdy spadne nejvíce srážek, je červenec, na druhé straně se nejméně srážek vyskytuje v únoru. Dále je nutné zmínit, že v letním období jde o výskyt intenzivních srážek s krátkodobou frekvencí a v zimním období jde spíše o nízkou, ale dlouhodobou intenzitu (Krejčí a kol., 2002).



Obrázek 2: Srážkové poměry v ČR (zdroj: ČHMÚ).

3.3 Legislativa

Základním dokumentem vymezující rámec pro činnost v oblasti vodní politiky Evropského společenství je směrnice 2006/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000. Česká legislativa vychází z tohoto dokumentu (Vítek, 2008).

Avšak Česká republika patří k evropským státům, které zatím nemají hospodaření s dešťovou vodou (HDV) rozšířené a základní principy nemají rozvinuty. Proti tomu státy jako jsou Německo a Švýcarsko mají nejlépe propracovanou legislativu a hospodaření s dešťovou vodou je velice rozšířené. Důvody, proč je hospodaření s dešťovou vodou v České republice zanedbáváno, jsou možná i nízká cena pitné vody a nedostatečná veřejná osvěta problematiky hospodaření s dešťovými vodami.

Dalším pravděpodobným důvodem může být nedostatečná ekonomická motivace. V zahraničí lze snížit, nebo dokonce odstranit náklady na provoz dešťové kanalizace tím, že se dešťová voda využívá nebo zasakuje (Hlavínek a kol., 2007).

Legislativa v oblasti hospodaření s dešťovou vodou pro ČR

Plán hlavních povodí ČR

V České republice je aktuálně hlavním strategickým dokumentem pro plánování v oblasti vod Plán hlavních povodí. Plán hlavních povodí lze uchopit jako dokument, který otevírá novou kapitolu způsobu nakládání se srážkovými vodami. Plán hlavních povodí uvádí, že za nynějšího stavu je špatná úroveň řešení odtoku srážkových vod z intravilánu obcí (Stránský a kol., 2008a).

Kapitola Cíle a opatření v ochraně před povodněmi a dalšími škodlivými účinky vod, mimo jiné uvádí požadavek uplatňovat v odvodnění urbanizovaných území koncepci nakládání s dešťovými vodami. Koncepce umožňuje jejich přímé využití, zadržování a vsakování. Zejména pro dešťové vody jsou nejdůležitější dva body, které jsou uvedeny v Programech opatření vedoucí k dosažení rámcových cílů (Stránský a kol., 2008b):

- snižovat množství srážkových vod odváděných kanalizací a zlepšit podmínky pro jejich přímé vsakování do půdního prostředí,
- snížit znečištění vodních toků při přímém vypouštění srážkových vod z městských a průmyslových kanalizací zavedením povinnosti oddělené likvidace srážkových odpadních vod.

Stránský a kol. (2007) v Podkladu pro nakládání s dešťovými vodami v urbanizovaných územích, v souladu se Směrnicí 2000/60/ES a Plánem hlavních povodí ČR, podporuje filosofii:

- a) pro nově urbanizované plochy přenést závazek hospodařit s dešťovou vodou na původce problému, tj. na vlastníka, z jehož pozemku dochází k dešťovému odtoku z nepropustných ploch,
- b) pro stávající zástavbu vytvořit podmínky a motivaci k hospodaření s dešťovou vodou tím, že kdo chce stávající stav zlepšit (investovat), musí se mu to vyplatit, např. úleva na stočném.

Problémem české legislativy je její nejednoznačná terminologie v oblasti dešťových vod. Zatímco vodní zákon dešťovou vodu bere jako vodu povrchovou, tak naproti tomu zákon o vodovodech a kanalizacích ji zahrnuje do vod srážkových. Stavební zákon používá termín vody dešťové (Stránský a kol., 2008a).

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

Účelem tohoto zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství (§1, odst. (1) zákona č. 254/2001 Sb.).

Hospodaření se srážkovými vodami řeší až novelizovaný zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon) z roku 2010. Ten vstoupil v platnost 1. 8. 2010. Podstata této novely je, že jsou definovány srážkové vody a částečně jsou stanoveny podmínky obecného nakládání se srážkovými vodami (Plotěný a Bartoník, 2015).

Zákon č. 254/2001 Sb., §5, odst. (3)

Při provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání jsou stavebníci povinni podle charakteru a účelu užívání těchto staveb je zabezpečit zásobováním vodou a odváděním, čištěním, popřípadě jiným zneškodňováním odpadních vod z nich v souladu s tímto zákonem a zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (srážkové vody) v souladu se stavebním zákonem. Bez splnění těchto podmínek nesmí být povolena stavba, změna stavby před jejím dokončením, užívání stavby ani vydáno rozhodnutí o dodatečném povolení stavby nebo rozhodnutí o změně v užívání stavby.

Zákon o vodách striktně vyžaduje buď vsakování, nebo zadržení srážkových vod, před tím než budou svedeny do recipientu či kanalizace. Tento bod zákona se vztahuje na stavby nové, změny staveb a změny jejich užívání a to v souladu se stavebním zákonem (Plotěný a Bartoník, 2015).

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), v platném znění

Tento zákon upravuje ve věcech územního plánování zejména cíle a úkoly územního plánování, vyhodnocování vlivů na udržitelný rozvoj území, možnosti sloučení postupů podle tohoto zákona s postupy posuzování vlivů záměrů na životní prostředí (§1, odst. (1) zákona č. 183/2006 Sb.).

Požadavky na vsakování a zadržování dešťových vod jsou zakotveny i ve stavebním zákoně. Tyto požadavky řeší problematiku srážkových vod, které byly stanoveny vyhláškou č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, která byla v roce 2009 novelizována vyhláškou č. 269/2009 Sb. (Plotěný a Bartoník, 2015).

Vyhláška č. 501/2006 Sb., §20. odst. (5), písmeno c)

Stavební pozemek se vždy vymezuje tak, aby na něm bylo vyřešeno:

c) vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití; přitom musí být řešeno:

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 oddělené odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace.*

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

Tento zákon se nevztahuje na

b) oddílné kanalizace sloužící k odvádění povrchových vod vzniklých odtokem srážkových vod (§1, odst. (4) zákona č. 274/2001 Sb.).

Kanalizace je provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních vod a srážkových vod společně nebo odpadních vod samostatně a srážkových vod samostatně... Odvádí – li se odpadní voda a srážková voda společně, jedná se o jednotnou kanalizaci a srážkové vody se vtokem do této kanalizace přímo, nebo přípojkou stávají odpadními vodami (§2, odst. (2) zákona č. 274/2001 Sb.).

Tento zákon sice vnímá rozdíl mezi odpadní a srážkovou vodou, avšak systém placení za odvod odpadních vod se vztahuje jen na vypouštění srážkových vod do jednotné sítě (Vítek, 2012).

Technická opatření

Technické normy chyběly až do roku 2012, resp. 2013 a proto se do té doby většinou využívaly německé DWA – A 138 a DWA – A 117. V únoru 2013 byla vydána ČSN 75 9010 *Vsakovací zařízení srážkových vod* a v dubnu 2013 TNV 75 9011 *Hospodaření se srážkovými vodami* (Novotná a kol., 2015).

ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod

Norma se soustřeďuje jen na vsakování srážkových vod z dílčích staveb bez dalších souvislostí s celým odvodňovacím systémem daného území. Není tedy možné podle této normy systémy hospodaření s dešťovou vodou navrhovat, schvalovat, povolovat, stavět ani s nimi jinak pracovat (Vítek, 2012).

Přehled, kterým *Vítek* (2012) charakterizuje ČSN 75 9010:

- Norma se zabývá jen technikou odvedením srážkové vody do podzemí, řeší pouze vsakování.
- Odvodnění stavby neřeší v případě, když není možné vsakovat vodu do podzemí, nebo jen částečně. Tím omezuje využití pro většinu staveb v ČR.
- V normě nejsou zahrnuta systémová opatření.
- Maximální doba k prázdnění vsakovacích zařízení jsou 3 dny, což může být riskantní vzhledem k možným výskytům přívalových dešťů, zvláště když je podzemí jediným recipientem.
- Chybí kategorie nepřipustné srážkové vody v charakteristice jakosti. Silně znečištěné srážkové vody nelze v objektech HDV bezpečně čistit. Pokud by toto bylo v normě opatřeno, práci by to usnadnilo hlavně státní správě.
- Norma doporučuje řešení blízka přírodě, pomocí travnatých ploch.

V normě je zakotveno rozmezí a metody, kterými lze provádět geologický průzkum pro vsakování srážkových povrchových vod. Tyto srážkové vody mají samozřejmě své limity, kdy je možné jejich vsakování. Součástí normy je také ucelený přehled využívaných vsakovacích zařízení pro povrchové i podzemní vsakování. Nedílnou částí jsou ukázkové příklady a jejich metodika pro výpočet retenčních prostorů vsakovacích zařízení. Důležitým bodem je bezpečnost při přeplnění těchto zařízení a případný únik srážkových vod na povrch. Do normy jsou přiloženy aktualizované tabulky návrhových úhrnů srážek v České republice (ČSN 75 9010).

TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami

Norma reaguje na aktuální vývoj a předpisy v oblasti vodního a stavebního práva, jejím předmětem je nakládání se srážkovými vodami v urbanizovaném území.

Smyslem je zajištění trvale udržitelného rozvoje a provoz odvodnění urbanizovaného území, které je přírodě blízké. Dále tato norma řeší převážně nakládání se srážkovými vodami na pozemku stavby, tzn. decentrální způsob odvodnění, ale také se zabývá centrálními opatřeními, která následují za decentrálními. Toto řetězení do série má vytvořit funkční systém přírodě blízkého odvodnění. V normě jsou také zaneseny opatření pro snížení srážkového odtoku (TNV 75 9011; Plotěný a Bartoník, 2015).

Tato norma obsahuje návod ke správné volbě příjemce srážkových vod a ke správnému technickému řešení. Důležitá je také problematika znečištění srážkových vod, je totiž nutnost separace mírného a silného znečištění srážkových vod. Je snahou, aby byly co nejpřesněji popsány typické druhy znečištění a tomu příslušné plochy, které jsou odvodňovány. Stejně je tomu tak u typu opatření v souvislosti s odstraněním daného druhu znečištění (TNV 75 9011).

Stránský a kol. (2007), kteří zpracovali Podklad pro koncepci nakládání s dešťovými vodami v urbanizovaných územích, uvádějí, že je třeba těchto změn:

1. Definovat srážkové vody, rozlišit znečištěné a neznečištěné srážkové vody.
2. Nařídít zachovat přirozený režim odtoku.
3. Upravit vsakování, tj. kde je zakázáno, kdy není možné, čím je potřeba ho doložit
4. Zavést povinnost oddělit zpoplatnění splaškových a srážkových vod, minimalizovat výjimky, motivovat úlevami a dotacemi aplikaci HVD, pro novou zástavbu předepsat funkční kritéria.
5. Vyjasnit a kodifikovat majetkoprávní vztahy mezi obcí, vlastníkem a provozovatelem kanalizace a vlastníkem pozemku/nemovitosti.
6. Vyjasnit údržbu HDV systémů.
7. Vytvořit technickou směrnici pro návrh, schválení, budování a provozování HDV, legislativně zakotvit dešťovou kanalizaci.
8. Provázat principy HDV do ostatních technických norem a předpisů.
9. Informovat, propagovat, podporovat vědu a výzkum.
10. Zpracovat Koncepci nakládání s dešťovými vodami v urbanizovaných územích.

ČSN 75 6780 Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích

Tato norma není prozatím platná, je ve stavu návrhu.

Norma se zabývá navrhováním (projektováním), montáží, provozem a údržbou zařízení pro využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Je také řešena kvalita provozních vod, které vzniknou úpravou nebo čištěním šedých či dešťových vod. Dále jsou v ní zahrnuty kapitoly o vyčíslování potřeb provozní vody, způsobech čištění vod a využití tepla z šedých vod (ČSN 75 6780).

3.4 Jakost a úprava dešťových vod

Dešťová mračna vznikají odpařováním, a proto můžeme o dešťové vodě mluvit jako o vodě destilované, tedy o takové, která je čistá a nejsou v ní obsaženy rozpuštěné látky. Ve vzduchu je obsažen CO_2 , který se v čisté dešťové vodě rozpouští a voda tak přirozeně vykazuje hodnotu přibližně 5,6 pH. Kvalita dešťové vody je zřetelně ovlivněna znečištěním vzduchu a také přirozeně se vyskytujícími sloučeninami, které ovlivňují chemismus srážkových vod. Při spalování topných olejů, plynu a uhlí se dostávají do ovzduší sloučeniny dusíku a síry (dále např. uhlovodíky z automobilových a průmyslových zplodin). Vodní páry a kapénky tyto sloučeniny pohlcují, hodnota pH pak může klesnout pod hranici 4,0. Takto nízké hodnoty pH pak srážky definují jako tzv. kyselý déšť. Charakter znečištění dešťové vody neumožňuje její užívání k pitným účelům, avšak postačuje na zalévání zahrady a lze ji požit jako užitkovou vodu např. splachování a mytí aut (Böse, 1999).

Jak uvádí *Hlavínek a kol.* (2007) znečištění již zachycené dešťové vody má tři původce:

- a) rozpuštěné a nerozpuštěné látky v atmosférických srážkách,
- b) znečištění, které se během bezdeštného období nahromadí na povrchu území a během dešťové události je odváděno s dešťovou vodou,
- c) znečištění vznikající při kontaktu dešťové vody s materiály na povrchu území.

Pro stanovení míry znečištění dešťového odtoku hraje hlavní roli délka doby bez deště, intenzita atmosférických srážek a objem dešťového odtoku. Na začátcích odtoku dosahuje látkové znečištění vyšší koncentrace než v následném průběhu. Děje se tak proto, že na začátku deště jsou vyplavována atmosférická znečištění (Hlavínek a kol, 2007).

Tabulka 2: Typické znečišťující látky na jednotlivých typech ploch a očekávané znečištění srážkových vod (zdroj: TNV 75 9011).

Typ plochy		Hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné částice	Těžké kovy	Uhlovodíky	Organické znečiš-tění, BSK ₅	Živiny N, P	Patogenní mikroorganismy	Chloridy
Střechy	vegetační extenzivní	○	○	○	○	○	○	○	○
	vegetační intenzivní	○	○	○	○	●	●	○	○
	inertní	●	●	○/●	○/●	○/●	○/●	○/●	○
	s plochou neošetřených kovových částí do 50 m ²	●	●	●	○/●	○/●	○/●	○/●	○
	s plochou neošetřených kovových částí 50 m ² až 500 m ²	●	●	●●	○/●	○/●	○/●	○/●	○
	s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m ²	●	●	●●●	○/●	○/●	○/●	○/●	○
Zatrávněné plochy		●/●●●	●/●●●	○	○	●	●	○/●	○
Komunikace pro chodce a cyklisty		●●	●	○/●	○/●	●	●	●	○/●
Parkoviště	málo frekventovaná (osobní auta)	●●	●	●	●	●	●	●	●
	(vysoce) frekventovaná (os. auta a busy)	●●	●●	●●	●●	●	●	●	●●
	nákladní auta ^d	●●●	●●●	●●●	●●●	●	●	●	●●
Pozemní komunikace	málo frekventované ^a (příjezdy k domům)	●●	●	●	●	●	●	●	●
	středně frekventované ^b	●●	●●	●●	●●	●	●	●	●●
	vysoce frekventované ^c	●●	●●●	●●●	●●●	●	●	●	●●●
Plochy u skladišť, manipulační plochy		●/●●●	●/●●●	●/●●●	●/●●●	●	●	●	●/●●
Komunikace zemědělských areálů		●●●	●●●	●●	●●	●●●	●●●	●●●	○/●
○ neznečištěná srážková voda ● mírně znečištěná srážková voda ●● středně znečištěná srážková voda ●●● vysoce znečištěná srážková voda / až ^a < 300 automobilů za 24 h, např. příjezdy k domům a místní komunikace v obytné zástavbě ^b 300 automobilů až 15 000 automobilů za 24 h ^c nad 15 000 automobilů za 24 h, obvykle dálnice a rychlostní silnice ^d parkoviště, která nejsou součástí veřejných komunikací									

V atmosférických srážkách v urbanizovaném území mají největší zastoupení dusičnany, sírany, chloridy, uhličitany, vápník, hořčík, amonné ionty. Vedlejšími znečišťujícími látkami mohou být hlavně křemík, fosfáty, železo, mangan, draslík, hliník, zinek a další kovy, stejně jako celé spektrum organických látek (Krejčí a kol., 2002). Typické znečišťující látky uvádí *tab. 2*.

Z materiálů, které se vyskytují na površích urbanizovaného území, typicky pronikají do dešťového odtoku vápník, hliník a křemík z betonových ploch, zinek, měď a kadmium z různých kovových povrchů, organické látky z umělých hmot apod. (Golver, 1988).

Podle normy *TNV 75 9011* lze obecně míru znečištění srážkových vod klasifikovat jako nízkou, střední a vysokou. Jedná se o znečištění zejména nerozpuštěnými látkami, těžkými kovy a uhlovodíky (*tab. 3*).

Tabulka 3: Orientační klasifikace znečištění srážkových vod (zdroj: 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 (příjezdy 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
<p>a, b, c viz tabulka 2</p> <p>d parkoviště, která nejsou součástí veřejných komunikací</p>	

Látkové znečištění urbanizovaných ploch

Občanská vybavenost, doprava, urbanistické řešení a průmysl určitým způsobem působí na látkové znečištění urbanizovaného území. Znečištění atmosféry dohromady právě se znečištěním zastavěného území se následně podílí na znečištění dešťového odtoku.

Při bezdeštném období se na zastavěných plochách hromadí nečistoty (prach a špína), které jsou prvním deštěm smývány a odváděny dešťovou vodou. Déšť je prakticky jediným způsobem, jak jsou omývány střechy, městská zeleň a uliční mobiliář (lampy, hydranty atd.). Naopak pravidelná očista se dostává silnicím, chodníkům a parkovištím. Zbytkové znečištění zůstávající po posledním dešti nebo čištění ulic na zpevněných plochách je výchozím stavem pro další akumulaci znečištění (Krejčí a kol., 2002).

Krejčí a kol. (2002) uvádí tyto původce znečištění urbanizovaných ploch:

- automobilová doprava: pevné částičky, sloučeniny olova, uhlovodíky z olejů, a mazadel, zinek, železo, chrom, měď, dehet, emulgáty,
- eroze dopravních ploch: dopravní plochy uvolňují částice různého složení,
- průmysl: chemikálie, pesticidy, zpracování surovin,
- odpadky: nekázeň obyvatelstva,
- zvířata: bakteriologické znečištění, organické látky a amonné ionty,
- vegetace: mechanické problémy (ucpání uličních vpustí),
- uvolněné látky z povrchu budov a jiných objektů: částičky cihel, betonu, barev apod., toxické látky uvolněné korozí.

Látkové znečištění v atmosférických srážkách

Jednou z nejzásadnějších příčin znečištění dešťového odtoku jsou znečišťující látky, které jsou obsaženy v atmosféře. Znečištění ovzduší závisí prvotně na typu a množství emisních zdrojů, na reliéfu a na meteorologických podmínkách lokality. Zimní vytápění vykazuje roční kolísání. V lokálním měřítku jsou to zejména velká města a průmyslové oblasti. V bezdeštném období se na povrch planety usazuje prach, který má za následek znečišťování území. Během dešťové události je prach odplavován. Látkové znečištění ve vzduchu je deštěm vymýváno a současně dochází k vyčištění atmosféry (Krejčí a kol., 2002; TNV 75 9011).

V dešťové vodě se odráží jednak přirozené vlastnosti zemského povrchu (eroze půdy, atd.), ale také znečištění vyvolané lidskou činností. Mezi hlavní původce znečištění patří kouřové plyny a doprava. Znečištěné látky, které jsou obsaženy v atmosféře, mohou být přeneseny na dosti velké vzdálenosti. V dešťové vodě se tedy

může projevit znečištění, které vznikne na místě (lokální), ale i vlivy vzdálenějších oblastí (Krejčí a kol., 2002).

Problém tzv. „kyselých dešťů“ vzniká, pokud jsou v atmosférických srážkách ve velké převaze minerální kyseliny (Pitter, 1990). Tento problém se nejdříve projevil v šedesátých letech ve Skandinávských zemích poškozením místní flóry a fauny. Kyselé deště v České republice nejvíce postihují severní Čechy a oblasti velkoměst.

Znečištění dešťového odtoku ze střech

Znečištění dešťového odtoku ze střech je významným faktorem znečištění, jelikož střechy mají v městských aglomeracích velké procentuální zastoupení. Srážková voda odtékající ze střech je nejsnadněji zadržována, což je první předpoklad k případnému následnému využití i vzhledem k jeho menšímu znečištění, např. oproti dopravním komunikacím.

Hlavní procesy, které probíhají v urbanizovaném území, při znečištění dešťového odtoku jsou dva (Krejčí a kol., 2002):

1. odplavení znečištění, usazeného během bezdeštného období na zastavěných plochách,
2. chemické a mechanické reakce mezi dešťovou vodou a omývaným materiálem, které mají souvislost s odnosem látek.

Obdobnou studii k pochopení procesů znečišťování dešťového odtoku uvádí *Helmreich a Horn* (2009) a potvrzují, že ve venkovských oblastech, dále od průmyslového znečištění, je dešťová voda poměrně čistá. Naopak městské oblasti jsou charakterizovány vysokým provozem a dopadem průmyslu, tudíž jsou znečištěny, např. částicemi těžkých kovů nebo organických látek. Matematický popis, který by vyjadřoval tyto procesy, je velice obtížný, protože zahrnuje velké množství proměnných parametrů. Těmito parametry jsou jednak rozdílné vlastnosti deponovaných látek a místní podmínky v povodí, dále i také charakter dešťových srážek a délka předcházejícího období bez deště.

Střechy zabírají vysoké procento urbanizovaných ploch, přičemž platí, že dešťový odtok z nich není tak znečištěn jako odtok z městských dopravních ploch.

Znalost látkového složení dešťového odtoku ze střech je aktuální téma, hlavně vzhledem k vsakování a užívání dešťových vod. Podle nejrůznějších studií můžeme dešťový odtok posuzovat jako málo znečištěný, velmi znečištěný a různě znečištěný podle místních podmínek (Krejčí a kol., 2002).

Kvalita dešťových vod je předmětem mnoha vědeckých studií. Přehled vědeckých prací, zabývajících se chemickým složením dešťového odtoku uvádí ve své publikaci například *Mottier a Boller* (1996). Studie zabývající se vlivem atmosférické depozice na chemismus dešťové vody v městském prostředí (*Huston a kol.*, 2009) potvrzuje vzestup látkových toků znečišťujících látek v automobilově zatížených, rušných a průmyslových oblastech v porovnání s okrajovými lokalitami urbanizovaného prostředí, což dokazuje významný vliv automobilové dopravy, průmyslu apod. na kvalitu vody. Dále výzkum poukazuje na jiné možné zdroje znečištění, jako např. materiál střech apod. Charakterem tohoto znečištění se zabývá rovněž *Simmons a kol.* (2001). Studie řeší otázku významu kontaminace vody odtékající ze střech jakožto možného faktoru ohrožujícího zdraví ve venkovských oblastech Aucklandu. Sledovanými znečišťujícími látkami jsou zde jak kovy (As, Cu, Pb, Zn), tak i mikrobiální patogeny. Na důležitost možné kontaminace v kterékoli části systému hospodaření s dešťovou vodou poukazuje také *Morrow a kol.* (2010). Tato studie potvrzuje, že původ znečišťujících látek může být různý, část kontaminantů pochází z atmosférické depozice, ale významnou úlohu hrají i další faktory, jako například loužení odpadu, či kontakt s materiály střech, potrubí atp.

Čištění dešťových vod

Pro dešťové vody se zpravidla používají pouze jednoduché mechanické způsoby předčištění. V některých případech je možné tento způsob doplnit o hygienické zabezpečení. Předčištění dešťové vody lze rozdělit podle umístění mechanického filtru (ČSN 75 6780):

- a) svodové a podokapní filtry,
- b) interní filtrační vložky,
- c) externí filtrační šachty.

Dešťové vody se musí akumulovat tak, aby se znemožnila pravděpodobnost růstu mikroorganismů a trofizace (řasy apod.). Nejvhodnějšími místy pro osazení akumulčních nádrží pak jsou místa v zemi nebo suterény budov, mimo jiné i proto, že je potřeba akumulovanou vodu chránit před účinky denního světla (ČSN 75 6780).

Předčištění srážkových vod při vsakování

Čistící procesy, které se využívají v zařízeních pro předčištění srážkových vod při vsakování, mohou mít jeden nebo více stupňů čištění (TNV 75 9011).

Zachycení hrubých nečistot

Vtokové mřížky, česle, lapače listí a síta jsou nejpoužívanější zařízení pro zachycení hrubých nečistot. Tento stupeň ochrany je nutný pro následné čistící procesy nebo pro podzemní vsakovací zařízení. Způsob zachycení pracuje buď jako jednotný celek spolu se sběrným zařízením pro odvod vody, nebo jako samostatný proces čištění. Použité vsakovací zařízení nebo další stupeň úpravy udává šířku průlin.

Vsakování přes zatravněnou humusovou vrstvu

Tento způsob čištění dešťových vod je využíván při povrchovém plošném vsakování, při vsakování v průlezích, systémech průleh – rýha a také ve vsakovacích nádržích. Vsakování přes zatravněnou humusovou vrstvu se uplatní jako hlavní opatření, nebo se může využít pro dočištění srážkových vod.

Principem tohoto typu čištění je filtrace nerozpuštěných látek, iontová výměna a adsorpce těžkých kovů, uhlovodíků a biologický rozklad rozložitelného znečištění. Účinnost filtrace je odvislá od zrnitostního složení materiálu, z toho důvodu je vhodný jemnozrný materiál, avšak vysoký obsah jílu může vyvolat zkratové proudění. Efektivita sorpce závisí na obsahu humusu a jílu a oxidů železa, hliníku a manganu.

Svrchní vrstva půdy není vystavená žádné zvláštní ochraně. Nicméně je nutné pozorovat kontaminaci, její postup do hloubky a v případě nutnosti půdu vyměnit. Pokud jsou nároky na ochranu půdy a podzemní vody vysoké, musí se do postupu předřadit adsorpční zařízení.

Gravitační separace látek

Zařízení pro sedimentaci (kalové jímky, usazovací nádrže) zadržují látky, které se usazují, tj. kal, hlína, písek nebo posypový materiál. Tím je dosažen pokles možnosti naplavování nebo ucpání vsakovacího objektu. Sedimentace zároveň zmenšuje obsah organických sloučenin a těžkých kovů. Norné stěny se zavádějí pro zachycování plovoucích znečištění (listí, větve atd.).

Pokud mají nerozpuštěné látky velké zatížení na povrchové vsakovací zařízení, musí se sedimentační zařízení použít jako předstupeň. U podzemních vsakovacích zařízení se sedimentace využívá bez ohledu na zatížení. Na zařízeních je potřeba provádět pravidelnou údržbu, jinak může docházet k rozvíření usazeného kalu nebo k rozkladu organických látek.

Odlučovače lehkých kapalin fungují také na principu gravitačního odloučení látek a na základě různé objemové hmotnosti. Lehké kapaliny jsou látky, které mají hustotu do 950 kg/m^3 a jsou nerozpustné ve vodě (pohonné hmoty, maziva apod.). Odlučovače mají zpravidla tři prostory: kalový (usazení tuhých materiálů), odlučovací (gravitací dochází k rozdělení lehké kapaliny a srážkové vody), adsorpční (filtrem zachycené rozpuštěné kapky lehkých kapalin). Tyto odlučovače se umísťují u pozemních komunikacích či průmyslových ploch, kde slouží k předčištění srážkových vod.

Mechanická filtrace

Filtrační mechanismus má za úkol zachytávat hrubé a jemné částice tj. nerozpuštěné látky mechanickou filtrací (pískové a šterkové filtry, geotextilie). Dále pomocí adsorpce a biologických procesů (zemní filtry, porostlé filtry) může odstraňovat rozpuštěné látky. Jako ochranný předstupeň tohoto zařízení je nutné zařadit sedimentační zařízení, které odstraní usaditelné a plovoucí látky.

Biologické čištění (odstranění živin a organického materiálu) zajišťují filtry, které jsou porostlé vegetací. Tyto filtry jsou výhodné i proto, že na rozdíl od neporostlých filtrů není potřebná obvyklá údržba.

Další mechanickou ochranou jsou geotextilie z různých materiálů (polyester, polypropylen). Dovoleno je používat pouze textilie zpevněné, nesmějí se tedy používat tkané nebo tepelně zpevněné. Maximální propustnost je dána hodnotou 10^{-3} m/s.

Filtrace přes adsorpční materiál

Touto filtrací je možné velice kvalitně odstraňovat znečišťující látky, účinnost se odvíjí od aplikovaného adsorpčního materiálu, mohou jím být:

- aktivní uhlí: absorbuje těžké kovy, uhlovodíky, rozložitelné organické látky, napomáhá k rozkladu znečišťujících látek,
- zeolity: mají vysokou účinnost při adsorpci uhlovodíků a těžkých kovů,
- granulované hydroxidy železa a hliníku: jako směs s vápnitým pískem jsou efektivní k adsorpci těžkých kovů,
- adsorbenty olejů: textilie, gumový granulát, vata, plast.

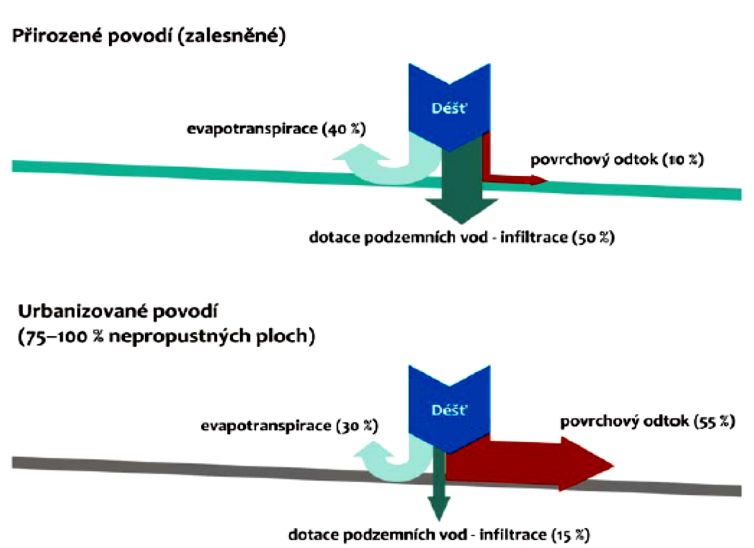
Jako ochrana adsorpčního materiálu se musí používat sedimentace, filtry či geotextilie. Konstrukce těchto materiálů má velké možnosti využití v různém provedení. Lze je použít ve větších vsakovacích objektech, ve vsakovacích šachtách nebo v různých podobách liniových vsakovacích objektů.

Popsaný způsob je určen prvotně jako dočištění srážkových vod, nejprve ale musí být provedeno mechanické čištění. Jsou - li nároky na ochranu půdy a podzemní vody vysoké, je možné použít adsorpční zařízení před povrchovým plošným vsakem.

3.5 Hospodaření s dešťovými vodami

Centra městských aglomerací disponují značným procentem nepropustných ploch (střechy budov, komunikace apod.), hranice se pohybuje kolem 70 %, někdy i více. Voda, která dopadá na takto urbanizované území za dešťové události, nemá přirozenou možnost infiltrovat se do kolektoru podzemních vod. Taktéž se snižuje schopnost výparu (evapotranspirace) oproti tomu, jak by se dělo v přirozených podmínkách. Většinový objem dešťové vody je odveden po zpevněných površích přes dešťové vpusti do stokové sítě a následně je zaústěn do recipientu. Dalším podstatným

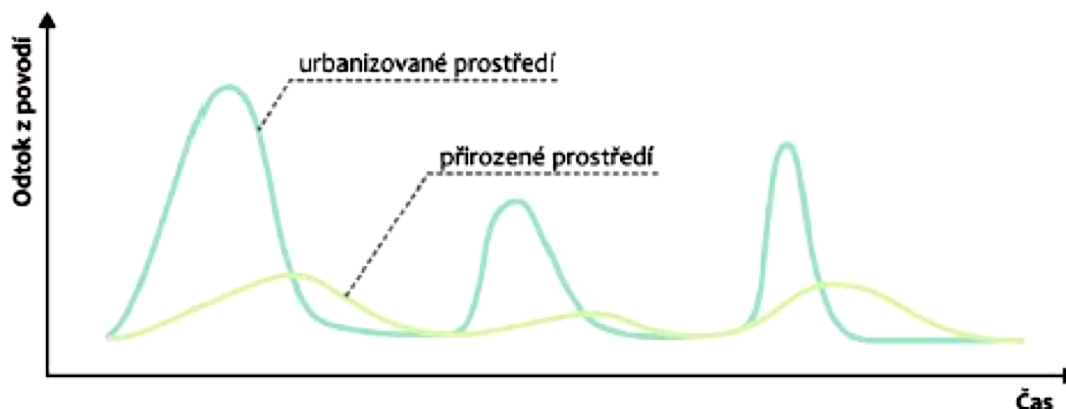
faktorem je rychlost povrchového odtoku, která má za důsledek snížení schopnosti transformace kulminačního průtoku. Navýšený povrchový odtok je hlavním důvodem místních záplav v urbanizovaném území (Bareš a Stránský, 2007).



Obrázek 3: Porovnání infiltrace (zdroj: Bareš a Stránský, 2007).

Hydrologický cyklus je výrazně ovlivňován nepropustností povrchu povodí (*obr. 3.*). V povodích, kde se vyskytuje přirozený vegetační pokryv, může dosahovat infiltrace až 50 % objemu dešťové vody, která spadne na povrch území. Téměř polovina tohoto objemu se dostane do kolektorů podzemních vod. Další významný činitel je evapotranspirace (40 %) a jen zhruba 10 % objemu vody odtéká povrchovým odtokem. Naopak je tomu u centrálních městských aglomerací, kde povrchový odtok představuje až 55 % objemu dopadající vody (Paul a Meyer, 2001).

Na *obr. 4.* je znázorněn rozdíl mezi kulminačním dešťovým odtokem z urbanizovaného povodí a odtokem z přirozeného povodí v závislosti na objemu a čase. Velké procento nepropustných ploch, tedy urbanizované povodí (území), zvyšuje objem a rychlost povrchového odtoku a tím může docházet k záplavám a následným povodňovým škodám (Bareš a Stránský, 2007).



Obrázek 4: Odtok z povodí (zdroj: Bareš a Stránský, 2007).

Přírodě blízké hospodaření s dešťovými vodami

Podstatou koncepce přírodě blízkého hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném povodí je co nejvíce se přiblížit přirozeným odtokovým vlastnostem území před jeho urbanizací. Základem hospodaření s dešťovou vodou je decentralizovaný způsob odvodnění. Základem tohoto způsobu odvodnění je řešení srážkového odtoku přímo v bodě jeho vzniku a následným opatřením ho navracet do přirozeného oběhu vody. Přírodě blízké opatření hospodaření s dešťovými vodami je takové opatření, které přispívá k vsakování, evapotranspiraci a pomalému odtoku do místního oběhu vody. Toto opatření je rozšířeno o procesy, které nějakým způsobem podporují přirozený koloběh vody a ochranu vodních zdrojů. Mezi tento typ procesů lze řadit akumulaci a využívání dešťové vody, retenci nebo regulací zpomalený odtok do stokové sítě (Stránský a Kabelková, 2011).

Při hospodaření s dešťovou vodou je nezbytné separovat mírné znečištění a silné znečištění srážkových vod, a to především z nutnosti chránit povrchovou i podzemní vodu, včetně půdních horizontů. Silně znečištěné srážkové vody je nutné čistit. V případě jednotné stokové sítě se tak děje jejich svedením na čistírnu odpadních vod, u oddílné stokové sítě se čištění provádí zařízením na předčištění srážkových vod (Stránský a kol., 2007; Stránský a Kabelková, 2011).

Volba způsobu odvodnění

Podle lokálních specifických podmínek (např. hydrogeologické podmínky, objem povrchového odtoku) daného povodí jsou principy hospodaření s dešťovou

vodou využitelné ve většině situací. Prvotní pojetí by mělo vycházet z decentralizace odvodnění povodí, tedy ideálně řešit odvodnění jednotlivých pozemků nebo nemovitostí. Dále v úvahu připadá uplatnění centralizovaného systému, které řeší odvádění vody pro více společných pozemků. Rozhodnutí, jakým uvedeným způsobem se bude odvodnění uskutečňovat, závisí na informacích o podloží (hydrogeologický průzkum), dispozičních předpokladech (nová či stará zástavba) a ekonomických podmínkách (návrstnost investice). Momentálně není ekonomický efekt výrazný ani motivující, mluvíme spíše o investici do budoucna pro příští generace. Jako odměna bude určitá úspora za nižší odběr pitné vody a menší množství dešťových vod, které skončí v kanalizaci (Krejčí a kol., 2002; Stránský a kol., 2007).

V první řadě je vždy požadováno vsakování, pokud se území vyskytuje v nevhodných hydrogeologických podmínkách, přichází na řadu odvod vody do recipientu, ale vždy je objem vody regulován. Je tedy proveden přes vhodné retenční zařízení. Až poslední variantou je provedení dešťové vody jednotnou stokovou sítí k čistírně odpadních vod, ale to až v případě, kdy není možnost ani jedné z předešlých variant (Stránský a kol., 2007).

Okrajové podmínky

Pro volbu způsobu odvodnění určité nemovitosti (stavba, zastavěná plocha) jsou zavazující dvě výchozí okrajové podmínky (Stránský a Kabelková, 2011):

- a) dosažitelnost recipientu pro odvádění srážkových vod, a to buď vsakováním do podzemních vod, nebo povrchové vody (možno dešťovou kanalizací), nebo jednotná stoková síť,
- b) míra znečištění srážkového odtoku – využití hlavního recipientu, podzemí, je omezeno hydrogeologií daného území, tj.:
 - dostatečná propustnost podloží,
 - postačující nenasycená zóna, kam lze vsakovat,
 - hladina podzemní vody min. 1 metr pod vsakovacími objekty,
 - území bez ekologické zátěže,
 - vsakování ve směru proudění podzemní vody neohrožující jiné lokality.

Infiltrace dešťové vody

Vsakování se řadí mezi nejjednodušší, ale zároveň také mezi velmi účinné opatření decentralizovaného způsobu nakládání se srážkovými vodami. Vsakování však nelze využít vždy, především tam, kde lokalita nespĺňuje podmínky (zejména hydrogeologické).

Infiltrace má však široké uplatnění, je možné ji využít u rozsáhlých objektů a zpevněných ploch, ale i na jednotlivých pozemcích a stavbách. Další možností je kombinace s dalšími složkami v integrovaném systému hospodaření se srážkovou vodou, nebo se může využít jako jednotlivá součást víceúčelových prvků hospodaření se srážkovou vodou, jako jsou retenční nádrže či vybudované mokřady. Samozřejmostí je, že tvoří samostatný hlavní prvek. Ideální vyřešení dané situace se určuje podle místních podmínek a dalších podstatných faktorech, včetně ekonomického hlediska (Novotná a kol., 2015).

Základní rozdělení, podle kterého lze vsakování rozčlenit, je podle vzájemného vztahu s povrchem terénu. Podle tohoto aspektu se rozlišuje vsakování na vsakování plošné a podzemní. Tyto dva typy vsakování lze kombinovat tak, že se nad podzemní objekt vsakování usadí prvek povrchový. Další možnosti rozdělení vsakovacích objektů a zařízení jsou na přírodě blízká (např. vsakování přes půdní profil) a technická (např. vsakovací rýha). Rozdělení podle způsobu vsakování (Novotná a kol., 2015):

Vsakování z povrchu terénu:

- plošné vsakování přes půdní profil – humusovou vrstvu,
- plošné vsakování přes technické prvky,
- vsakovací průleh,
- vsakovací nádrž.

Podzemní vsakování:

- vsakovací rýha vyplněná šterkem, nebo vsakovacími bloky,
- vsakovací šachty.

Kombinované povrchové a podzemní vsakování:

- vsakovací průleh – rýha.

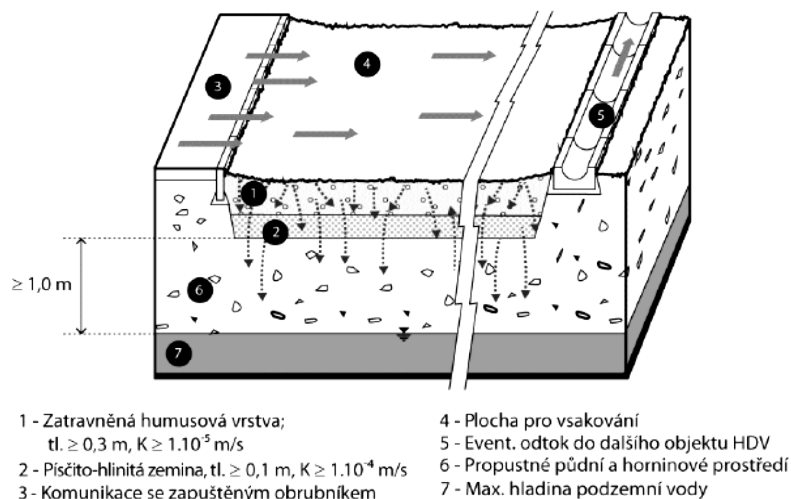
Kombinace s retenčním účinkem a výparem:

- retenční nádrže,
- umělé mokřady.

Povrchové vsakování

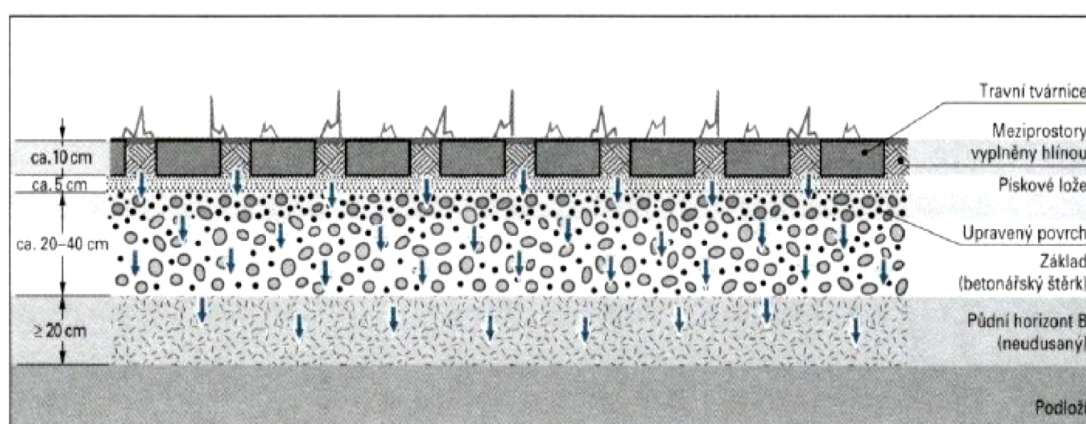
Povrchové vsakování se nejvíce podobá přírodnímu vsakování srážkových vod. Na zatravněných plochách je srážková voda vsakována vegetačním pokryvem půdy. Vegetační pokryv nesmí být ohrožen erozí, kterou by mohl vyvolat přítok vody do povrchového vsakovacího zařízení. Mezi výhody tohoto typu vsakování patří jednoduchá regenerace filtrační vrstvy a snadné odbourání splavenin. Vsakovací objekt zachytí a popřípadě odstraní část znečištění ve svrchní vrstvě půdního horizontu (ČSN 75 9010).

Plošné vsakování přes půdní profil – humusovou vrstvu (obr. 5) je nejsnadnější a nejpřirozenější metoda vsakování, využívá se v urbanizovaném území, a to pro decentralizovaný i centralizovaný způsob odvádění srážkových vod. V takovémto typu vsakování není vytvořen retenční prostor, tudíž je potřeba navrhnout větší zasakovací plochu. Zároveň je efektivnější, pokud přítok srážkové vody pokryje plochu v co nejslabší vrstvě. Pro zajištění funkčnosti, musí být půdní profil i podloží dostatečně propustné. Toto opatření je výhodné z hlediska své jednoduchosti, malých nákladů na výstavbu, snadné údržby a možnosti jednoduchého zakomponování do urbanizovaného prostředí. Naopak nevýhodou je malý objem vody, který lze vsáknout a to z důvodu, že toto opatření nemá vytvořen akumulací prostor (Novotná a kol., 2015).



Obrázek 5: Plošné vsakování přes půdní profil (zdroj: TNV 75 9011).

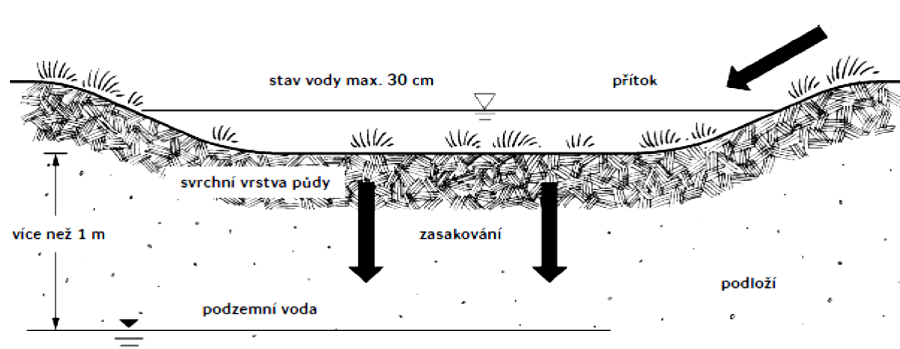
Plošné vsakování přes technické prvky (obr. 6) se uplatní v případech, kdy je třeba vyšší únosnost a mechanická odolnost povrchu nebo lepší estetika. Jednoduše řečeno jsou to zpevněné plochy s dílčí možností vsakování. Technické prvky mohou být sypké materiály (např. písek, štěrk), jsou použity při menších požadavcích na stabilitu. Při vyšším zabezpečení stability povrchu se využívají technické prefabrikované stavebnicové systémy (zatravněné tvárnice z betonu či plastu). Prvky jsou utvořeny ze dvou částí – roštem a mezerami, umožňujícími vsak vody. Toto opatření se používá při vsakování vody v místě, kde spadla, na příklad na parkovištích, stezkách atd. (Novotná a kol., 2015).



Obrázek 6: Zasadovací tvárnice (zdroj: Krejčí a kol., 2002).

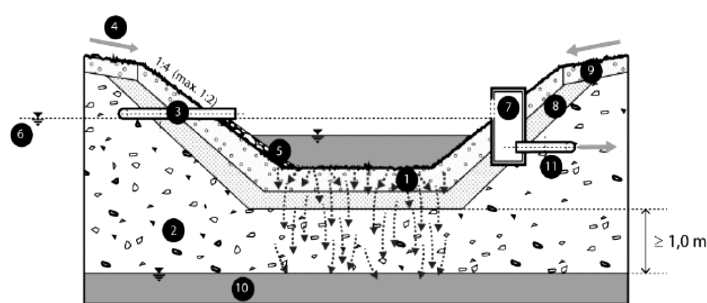
Vsakovací průleh (obr. 7) je mělký a široký zatravněný objekt, kam je voda sváděna ze zpevněných ploch potrubím nebo žlaby. Objekt se využívá tam, kde není

dostatečně propustné území k plošnému vsakování, je tedy ideální pro decentrální způsob odvodňování. Hloubka vody v průlehu může dosahovat max. 300 mm a sklony svahů by neměly být velké, aby nebyla poškozena stabilita. Průleh se dimenzuje tak, aby se i po vydatných deštích voda vsákla do 15 hodin, při slabém dešti se voda v průlehu nezdrží. Pokud je průleh jedním z prvků systému hospodaření s dešťovou vodou, je doporučeno vybavit jej bezpečnostním přelivem, který by v případě nutnosti odvedl vodu mimo zastavěné území. Výhoda spočívá v tom, že není odvodňováno blízké okolí, ale voda je zadržována v horních vrstvách půdního profilu (Kabelková a kol., 2009; Novotná a kol., 2015; Plotěný a Bartoník, 2015).



Obrázek 7: Vsakovací průleh (zdroj: Kabelková a kol., 2009).

Vsakovací nádrž neboli poldr (*obr. 8*) je opatření obvykle využívané pro odvodnění větších ploch nebo pro centralizované odvodnění z více pozemků, kde jsou zařazena další opatření na jednotlivých parcelách. Ze zpevněné plochy je voda vedena přes potrubí nebo žlaby přímo do nádrže, aby se předešlo soustředěnému toku, který by měl za následek erozi svahů (ČSN 75 9010; TNV 75 9011).



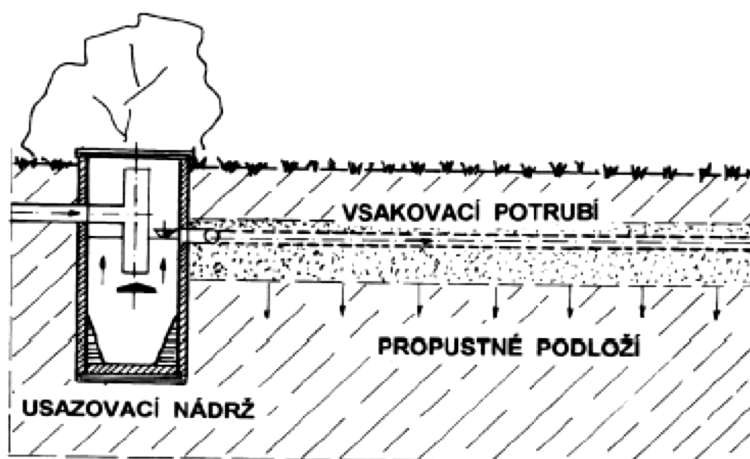
- | | |
|---|--|
| 1 - Zatravněná humusová vrstva vsakovací nádrže; tl. $\geq 0,3$ m, $K \geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/s | 6 - Max. retenční hladina; h = 0,3 - 2,0 m |
| 2 - Propustné půdní a horninové prostředí | 7 - Bezpečnostní přeliv (příp. v kombinaci s reg. odtokem) |
| 3 - Soustředěný podpovrchový přítok, event. od předřazeného předčistění | 8 - Písčito-hlinitá zemina, $K \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s |
| 4 - Plošný povrchový přítok | 9 - Ohumusování, osetí, tl. $\approx 0,1$ m |
| 5 - Kamenný zához, ev. dlažba | 10 - Max. hladina podzemní vody |
| | 11 - Odtok |

Obrázek 8: Vsakovací nádrž (zdroj: TNV 75 9011).

Podzemní vsakování

Při podzemní infiltraci se nevyužívá svrchní vrstva půdního profilu a srážková voda je vedena přímo do spodních horizontů půdy. Tyto vrstvy mají minimální schopnost zadržení látkového znečištění, zvláště pokud jsou půdy dobře propustné. Proto u podzemních vsakovacích zařízení je nutné zařadit předčištění srážkových vod. Podzemní infiltrační objekty se uměle budují pod vsakovací plochou a vždy mají retenční prostor. Preferuje se liniové (vsakovací rýha) nebo plošné (prostor vyplněný štěrkem nebo bloky) odvodnění před bodovým (šachta). Je nutné, aby tato opatření byla zabezpečená o odvětrávání (ČSN 75 9010; Krejčí a kol., 2002; Novotná a kol., 2015).

Vsakovací rýha vyplněná štěrkem (obr. 9) nebo vsakovacími bloky (obr. 10) jsou hloubená zařízení s přívodem srážkového odtoku přes usazovací a rozdělovací šachtu. Oba vsakovací objekty mají svou retenční schopnost a voda se vsakuje do podloží. Využívá se, pokud není dostatečně velká plocha pro plošné vsakování vody nebo při nízké propustnosti zeminy. Toto opatření není náročné na výstavbu, je možné ho vybudovat i pod zpevněnými plochami (parkoviště), protože na povrchu nijak nepřekáží. Vsakovací bloky mají asi 3x větší absorpční schopnost (cca 95 %) než štěrkové těleso (30 – 35 %). Pórovitý materiál se snadno zanáší a hrozí kolmatace, což jsou největší nevýhody zařízení (Novotná a kol., 2015; Plotěný a Bartoník, 2015).

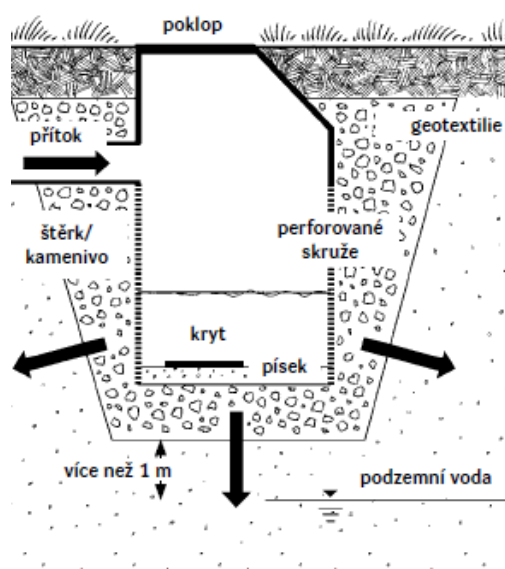


Obrázek 9: Vsakovací rýha vyplněná štěrkem s předřazenou usazovací jímkou (zdroj: Šálek a Tlapák, 2006).



Obrázek 10: Pokládka vsakovacích bloků a geotextilie (zdroj: Kabelková a kol., 2015).

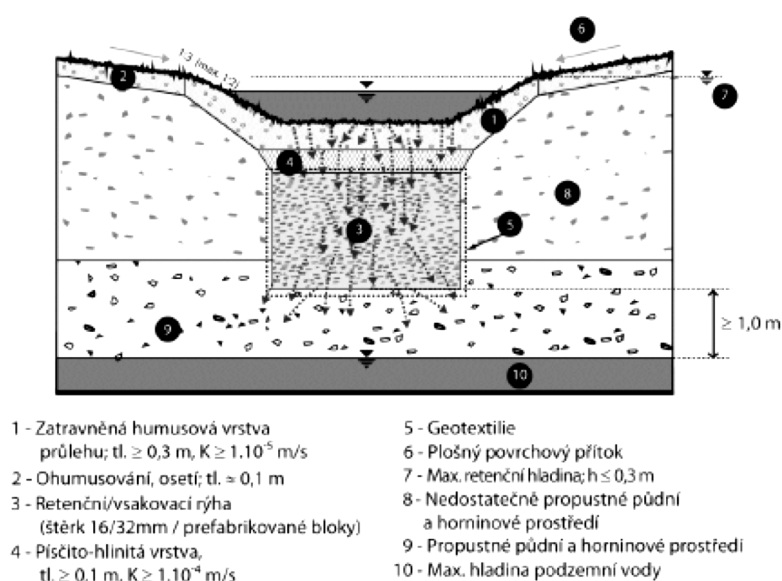
Vsakovací šachta (*obr. 11*) je tradiční podzemní zařízení sloužící k bodovému zasakování. Objekt je vystavěn ze skruží, mezi kterými je retenční prostor. Šachta je chráněna prvky předčištění a zachycení splavenin. Voda v šachtě infiltruje do podloží buď stěnami skruží, nebo propustným dnem šachty. Výškový poměr převažuje nad šířkovým, proto lze budovat na malých pozemcích, objekt se snadno udržuje a čistí. Nevýhodami je náročnost výstavby, cena betonových skruží i zemních prací. Hladina podzemní vody musí být alespoň 1 metr pode dnem šachty, což však často nelze zajistit (Novotná a kol., 2015; TNV 75 9011).



Obrázek 11: Vsakovací šachta (zdroj: Kabelková a kol., 2009).

Kombinované povrchové a podzemní vsakování

Systém vsakování průleh – rýha (obr. 12) může být použit u decentrálního odvodnění i jako prvek centrálního odvodnění zpevněných ploch. Jedná se o typ vhodný pro pozemky s dostatečným prostorem na umístění (např. parky). Srážková voda se zadržuje v průlehu a následně infiltruje půdním profilem do podzemního prostoru, který je vyplněn štěrkem nebo vsakovacími bloky. Zároveň je zaručeno řádné předčištění vody před tím, než se vsákne do půdního profilu. Podzemní i povrchová část zvyšuje retenční objem, avšak je možnost, že bude okolí objektu vysušováno (Novotná a kol., 2015).



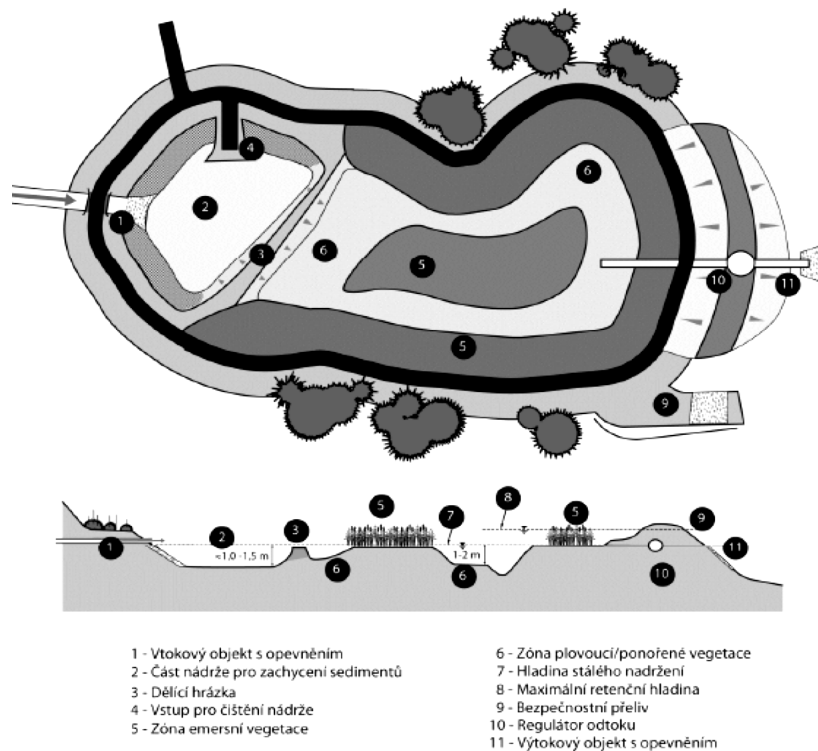
Obrázek 12: Vsakovací průleh - rýha (zdroj: TNV 75 9011).

Kombinace s retenčním účinkem a výparem

Kombinace vsakovacích zařízení je víceúčelové opatření při hospodaření s dešťovými vodami. Často se využívá kombinace vsakování a retence, druhotnými účely jsou výpar a estetický vzhled (ČSN 75 9010).

Retenční nádrže a umělé mokřady (obr. 13) nejsou většinou budovány jen za účelem vsakování, ale hlavním smyslem je zadržení povodňové vlny vyvolané srážkovou událostí a bezpečné převedení objemu vody do toku či kanalizace. Dalšími možnostmi využití je vsakování, to v případě suchých nádrží, nebo podpora ekologických funkcí (biotop pro obojživelníky) v případě mokřadů. Tato opatření se

uplatňují v zastavěném území, především jako element centrálního odvodnění. Využití najdou na příklad na okrajích měst, u nákupních center apod. Důvodem je velká náročnost na rozlohu plochy (Novotná a kol., 2015).



Obrázek 13: Umělý mokřad (zdroj: TNV 75 9011).

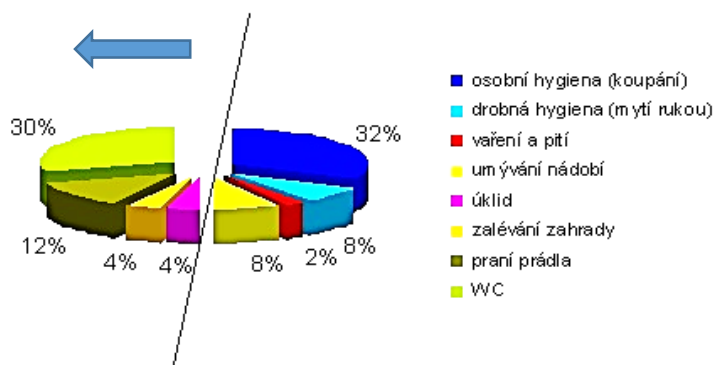
3.6 Využití dešťové vody

V dnešní době a s dnešními technologiemi přichází v úvahu více možností užívání málo znečištěné dešťové vody. Samozřejmě v případě, že není kladen důraz na vysokou kvalitu, která je zajištěna pouze v úpravnách vody. Možnosti, kde je možné využít dešťovou vodu, přináší *Krejčí a kol. (2002)*:

- použití v domácnosti (splachování WC, praní),
- zavlažování zelených ploch na zahradách, sídlištích, sportovních areálech,
- mytí aut, stavebních strojů, průmyslových ploch,
- použití v živnostenských provozech, v průmyslu.

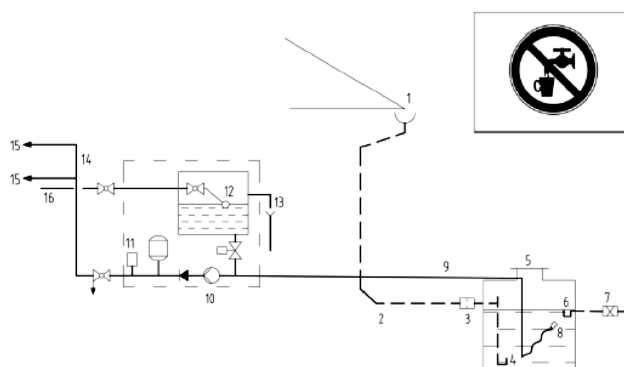
Využití dešťové vody v domácnosti

Na jednoho obyvatele v ČR připadá průměrná denní spotřeba přes 100 litrů vody. Dešťová (v tomto případě užitková) voda může nahradit asi 50 % této spotřeby (obr. 14) tam, kde není nutné používat kvalitní pitnou vodu (Hlavínek a kol., 2007).



Obrázek 14: Možnost náhrady pitné vody (zdroj: Hlavínek a kol., 2007).

Náhrada pitné vody není možná zejména v případech, kdy dochází k jejímu vnitřnímu užívání/kdy jí člověk konzumuje nebo s ní přichází do tělesného kontaktu (vaření, pití, tělesná hygiena). V situacích jako je praní, zalévání či splachování lze dešťovou vodu bez problémů využívat. Spotřeba se odvíjí od počtu osob, které vodu využívají a kde bude voda používána (Hlavínek a kol., 2007). Zachycování a využívání srážkové vody s doplňováním pitné vody je uvedeno na obr. 15.



1 - střešní žlab, 2 - potrubí dešťové kanalizace, 3 - filtr, 4 - uklidněný přítok do nádrže (dvě kolena u dna), 5 - nádrž na dešťovou (nepitnou) vodu, 6 - přepad se zápachovou uzávěrkou (pokud je napojen přímo na kanalizaci), 7 - zpětná armatura, je nutná při přímém napojení na kanalizaci, 8 - sací koš s plovákem a zpětnou armaturou, 9 - sací potrubí dešťové (nepitné) vody, 10 - automatická tlaková čerpací stanice, 11 - tlakový spínač nebo jiné ovládací čerpadla, 12 - nádržka pro doplňování pitné vody s plovákovým ventilem a elektromagnetickým ventilem na sacím potrubí (doplňování pitné vody přes volný výtok), 13 - přepad s přerušením (volný výtok), 14 - rozvod provozní vody, 15 - výtokové armatury provozní vody, 16 - přívod pitné vody.

Obrázek 15: Využití dešťové vody v domácnosti (zdroj: Vrána a Ošlejšková, 2011).

Skladování zachycené dešťové vody

Dešťový odtok je zaústěn do nádrže. Dešťová akumulovaná voda by měla být uskladňována na chladném a tmavém místě, což přispívá k hygienickému zabezpečení. Nádrž musí být osazena uzavíratelným vstupním otvorem, přívodním potrubím dešťové vody, bezpečnostním přelivem a vypouštěcím potrubím s uzavírací armaturou. Vše je napojeno přímo na dešťovou vnitřní kanalizaci. Dále je nádrž osazena sacím potrubím, které vede do automatické tlakové čerpací stanice. Alternativou k čerpací stanici je ponorné čerpadlo. Dalším příslušenstvím nádrže je větrací potrubí, popř. čidlo sledování hladiny (Hlavínek a kol., 2007; ČSN 75 6780). Nádrže rozlišujeme podzemní a nadzemní a podle materiálu (plastové, betonové).



Obrázek 16: Podzemní plastová nádrž s připojeným čerpadlem (zdroj: Hlavínek a kol., 2007).

4 Metodika

4.1 Popis sledované lokality

Předmětem posouzení možnosti hospodaření s dešťovou vodou v této práci je budova Městského úřadu v Benešově u Prahy. Benešov leží ve Středočeském kraji, přibližně 45 km jihovýchodně od Prahy. Městský úřad se nachází v centru města, podle zdrojů úřadu žije ve městě přibližně 16 500 obyvatel.

Měsíčním zhodnocením využitelnosti srážkové vody je nastolena prvotní úvaha případného projektování systému hospodaření s dešťovou vodou. Zda se ze zastavěné plochy naakumuluje dostatečné množství pro následné využití.

Studie využitelnosti dešťových vod se provádí na základě bilance vstupů srážkové vody a výstupů naakumulované vody pro účely splachování záchodů ve vybraném objektu.

4.2 Výpočet množství srážkové vody

Hodnoty množství srážek jsou převzaty z internetových stránek Českého hydrometeorologického ústavu, kde je použit dlouhodobý srážkový normál pro Středočeský kraj.

Pro stanovení celkového zisku dešťové vody je důležité vymezit odvodňovanou plochu, tedy plochu, ze které bude dešťová voda akumulována. Toto je možné provést dle výpočtů uvedených v normě ČSN 75 9010 (Vsakovací zařízení srážkových vod). Srážkový úhrn je tedy následně nutno přepočítat dle charakteru, druhu a sklonu odvodňované plochy (*tab. 4*).

Tabulka 4: Součinitele odtoku srážkových vod ψ (zdroj: ČSN 75 9010, upraveno podle autora).

Druh odvodňované plochy; druh úpravy povrchu	Sklon povrchu		
	do 1 %	1 % až 5 %	nad 5 %
	Součinitele odtoku srážkových povrchových vod ψ		
Střechy s propustnou horní vrstvou (vegetační střechy)	0,4 až 0,7 ¹⁾	0,4 až 0,7 ¹⁾	0,5 až 0,7 ¹⁾
Střechy s vrstvou kačírku na nepropustné vrstvě	0,7 až 0,9 ¹⁾	0,7 až 0,9 ¹⁾	0,8 až 0,9 ¹⁾
Střechy s nepropustnou horní vrstvou	1,0	1,0	1,0
Střechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše větší než 10 000 m ²	0,9	0,9	0,9
Asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár	0,7	0,8	0,9
Dlažby s pískovými spárami	0,5	0,6	0,7
Upravené štěrkové plochy	0,3	0,4	0,5
Neupravené a nezastavěné plochy	0,2	0,25	0,3
Komunikace ze zatravnovacích tvámic	0,2	0,3	0,4
Komunikace ze vsakovacích tvámic	0,2	0,3	0,4
Sady, hřiště	0,1	0,15	0,2
Zatravněné plochy	0,05	0,1	0,15

¹⁾ Podle tloušťky propustné horní vrstvy (s rostoucí tloušťkou propustné horní vrstvy se součinitel odtoku srážkových povrchových vod snižuje až na uvedenou dolní mezní hodnotu).

Opravený půdorysný průmět odvodňované plochy A_{red} [m²] se určí pomocí základního vzorce:

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \psi_i$$

kde je:

A_i ... půdorysný průmět odvodňované plochy určitého druhu, [m²],

ψ_i ... součinitel odtoku srážkových povrchových vod pro odvodňovanou plochu určitého druhu,

n ... počet odvodňovaných ploch.

Hodnota objemu srážkové vody je stanovena jednotlivě pro každý měsíc. Pro účel posouzení možnosti využití dešťových vod postačí dlouhodobý srážkový normál pro Středočeský kraj z období 1961 – 1990. Avšak pro plnohodnotný projekt, který by obsahoval konkrétní návrh systému hospodaření s dešťovou vodou, by měly být pro výpočet použity úhrny srážek z dané zájmové lokality.

Množství srážkové vody pro jednotlivé měsíce (*tab. 9*) se spočítá vynásobením celkové redukované plochy s hodnotami měsíčních srážkových úhrnů. Použitý vzorec je upraven podle zmiňované normy (ČSN 75 6780), který vyhodnocuje roční stanovení zisku srážkové vody.

$$V_m = A_{\text{red}} \cdot S_m$$

kde je:

V_m ... získaný měsíční objem srážkové vody [l/měsíc],

A_{red} ... redukováná plocha [m^2],

S_m ... měsíční úhrn srážek [mm].

4.3 Výpočet potřeby vody

Všechny použité vzorce pro výpočty potřeby provozní vody jsou převzaty z České státní normy, která je zatím ve stavu projednávaného návrhu. Označení normy je ČSN 75 6780 a její název je *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích*. Z této normy jsou také vyňaty *tabulky 5 a 6*. Norma ČSN 75 6780 uvádí způsob, jakým je možné stanovit denní, resp. roční potřebu provozní vody podle účelu, ke kterému má být voda použita, zohledňuje tedy potřebu vody pro splachování záchodových mís, pro praní či úklid, pro zalévání apod.

Podrobněji je uveden pouze způsob stanovení denní potřeby množství provozní vody potřebné ke splachování toalet. Výpočet vychází z údajů o počtu osob, či v konkrétním případě městského úřadu z počtu zaměstnanců, kteří v budově pracují a počtu možných návštěvníků. Dále je nezbytné znát splachovací objemy zařízení a počty použití toalet jednou osobou během dne (*tab. 10 a 11*).

Denní potřeba provozní vody (Q_{24}) v l/den pro splachování toalet se určí ze vztahu:

$$Q_{24} = q_{\text{wc}} \cdot n + q_{\text{pis}} \cdot n$$

kde je:

q_{wc} ... potřeba vody pro splachování záchodových mís [l/(osoba . den)],

q_{pis} ... potřeba vody pro splachování pisoárů [l/(osoba . den)],

n... počet měrných jednotek (počet osob, obyvatel, lůžek).

Potřeba vody pro splachování záchodových mís (q_{wc}) se určí jako:

$$Q_{wc} = q_o \cdot p$$

kde je:

q_o ... splachovací objem [l], orientačně podle *tab. 5*,

p... počet použití záchodové mísy jednou osobu během dne, orientačně podle *tab. 6*.

Potřeba vody pro splachování pisoárů (q_{pis}) se určí jako:

$$Q_{pis} = q_o \cdot p$$

kde je:

q_o ... splachovací objem [l], orientačně podle *tab. 5*,

p... počet použití pisoárové mísy jednou osobu během dne, orientačně podle *tab. 6*.

Tabulka 5: Splachovací objemy pro záchodové a pisoárové mísy (zdroj: ČSN 75 6780, upraveno podle autora).

Zařizovací předmět	Splachovací objem ¹⁾	
	q_o (l)	
	Velké spláchnutí	Malé spláchnutí
Záchodová mísa	4	2
	4,5	3
	6 ²⁾	3 ²⁾
	8	—
	9 ¹⁾	3 ¹⁾
	10 ¹⁾	3 ¹⁾
Pisoárová mísa bez odsávání	0,75 až 1,5 ³⁾	—
Pisoárová mísa s odsáváním	2 až 4	—

1) Splachovací objem se uvažuje přednostně podle konkrétního typu navrženého splachovače.
2) Nejčastěji používané splachovací objemy.
3) Podle ČSN 75 6760 nejméně 1,5 l.

Tabulka 6: Počty použití záchodových a pisoárových mís během dne jednou osobou (zdroj: ČSN 75 6780, upraveno podle autora).

Druh mísy a pohlaví uživatelů	Počet použití jednou osobou během dne podle druhu budovy					
	Bytové nebo rodinné domy	Studentské koleje	Školy	Administrativní budovy	Maloobchodní prodejny	
					Zaměstnanci	Návštěvníci
Záchodové mísy pro muže, pokud jsou instalovány také pisoáry	–	–	0,7	1	3	0,17
Záchodové mísy pro muže, pokud nejsou instalovány pisoáry	6	4,42	1,5	4	4	1
Záchodové mísy pro ženy	6	4,42	1,5	4	4	1
Pisoárové mísy pro muže	–	–	1	3	1	0,83

4.4 Posouzení využitelnosti dešťové vody pro provozní účely

Posouzení využitelnosti dešťové vody pro provozní účely je optimální, pokud platí vztah $V_r \geq Q_r$

kde je:

V_r ... roční zisk dešťové provozní vody [l/rok],

Q_r ... roční potřeba dešťové (provozní) vody [l/rok].

Obecné doporučení je, že pokud je roční zisk dešťové vody menší než potřeba provozní vody, upouští se od některých způsobů využití např. praní, aby byla nerovnost splněna.

Pro přesnější posouzení je lepší vycházet z měsíčních porovnání přebytku/nedostatku provozní vody. Protože čím je pozorované období kratší, tím je posouzení přesnější.

5 Výsledky

5.1 Městský úřad

Celková plocha odvodňovaného území (*tab. 7.*) je 1628,86 m², z toho 1048,86 m² činí střecha s nepropustnou horní vrstvou, 460 m² tvoří dlažba s pískovými spárami a 120 m² zaujímá zatravněná plocha. Rozdělení ploch je znázorněno na *obr. 17.*

Tabulka 7: Plochy odvodňovaného území (zdroj: autor).

střecha s nepropustnou horní vrstvou	1048,86 m ²
dlažba s pískovými spárami	460 m ²
zatravněná plocha	120 m ²
celková plocha	1628,86 m²



Obrázek 17: Rozdělení zastavěného území (zdroj: mapy.cz, upraveno podle autora).

5.2 Množství dešťové vody

V *tab. 8* je proveden výpočet redukované plochy. Střecha je ve sklonu 5 %, sklon dlažby i zatravněné plochy je v rozmezí 1 – 5 %.

Tabulka 8: Výpočet redukované plochy (zdroj: autor).

typ plochy	A[m ²]	ψ[-]	A _{red} [m ²]
střecha s nepropustnou horní vrstvou	1048,86	1	1048,86
dlažba s pískovými spárami	460	0,6	276
zatravněná plocha	120	0,1	12
Celková redukováná plocha			1336,86

Vynásobením celkové redukované plochy úhrnem srážek v jednotlivých měsících (S_m) se stanoví množství srážkové vody (tab. 9), které se naakumuluje z odvodňovaných ploch. Hodnoty úhrnu srážek v jednotlivých měsících vychází z hodnot dlouhodobého srážkového normálu 1961 – 1990 (ČHMÚ) daných pro Středočeský kraj.

Tabulka 9: Množství srážkové vody pro jednotlivé měsíce (zdroj: autor).

měsíc	A _{red} [m ²]	S _m [mm]	V _m [m ³]
leden	1336,86	32	42,78
únor	1336,86	30	40,11
březen	1336,86	36	48,13
duben	1336,86	43	57,48
květen	1336,86	70	93,58
červen	1336,86	75	100,26
červenec	1336,86	72	96,25
srpen	1336,86	73	97,59
září	1336,86	46	61,50
říjen	1336,86	36	48,13
listopad	1336,86	40	53,47
prosinec	1336,86	35	46,79
Celkem			786,07

5.3 Potřeba vody

Předpokladem tohoto posouzení je, že akumulovaná srážková voda by byla využívána pro splachování toalet, kde není nutné používat pitnou vodu. Případná přebytečná srážková voda by byla zadržována v retenční části nádrže a následně zasakována přímo do půdního profilu, což však není předmětem této práce.

V budově pracuje 124 zaměstnanců, z toho 99 žen a 25 mužů, u kterých bude výpočet rozšířen o používání pisoárů. Informace o počtu zaměstnanců vychází přímo z městského úřadu z personálního oddělení a to k únoru 2017. V budově se nachází oddělení (např. sekretariát, recepce, IT oddělení, personální oddělení), která s veřejností nepřijdou do styku buď vůbec, nebo velmi zřídka. Odbor správních agend (občanské nebo řidičské průkazy), kde bývá obvyklé dlouhé čekání, je umístěn v jiné budově. Z tohoto důvodu nejsou uvažovány pro výpočet žádné návštěvy.

V následujících tabulkách jsou vypočítány denní potřeby splachování záchodových mís pro muže a ženy (*tab. 10*) a denní potřeby pro splachování pisoárů (*tab. 11*).

Tabulka 10: Potřeba vody pro splachování záchodových mís (zdroj: autor).

	q_o [l]	p	q_{wc} [l/(osoba . den)]
MUŽI	6	1	6
ŽENY	6	4	24

Tabulka 11: Potřeba vody pro splachování pisoárových mís (zdroj: autor).

q_o [l]	p	q_{pis} [l/(osoba . den)]
2	3	6

Stanovení celkové denní potřeby vody je uvedena v *tab. 12*. Tato potřeba je pak vynásobena počtem pracovních dní pro rok 2017 v jednotlivých měsících, čímž je vypočtena měsíční potřeba vody (*tab. 13*).

Tabulka 12: Denní potřeba vody (zdroj: autor).

q_{wczeny}	počet žen	$q_{wcmuži}$	q_{pis}	počet mužů	Q_{24} [l/den]
24	99	6	6	25	2676

Tabulka 13: Měsíční potřeba vody (zdroj: autor).

měsíc	počet dní	Q_{24} [l/den]	Q_m [m ³]
leden	22	2676	58,87
únor	20	2676	53,52
březen	23	2676	61,55
duben	18	2676	48,17
květen	21	2676	56,20
červen	22	2676	58,87
červenec	19	2676	50,84
srpen	23	2676	61,55
září	20	2676	53,52
říjen	22	2676	58,87
listopad	21	2676	56,20
prosinec	19	2676	50,84
Celkem			669,00

5.4 Posouzení využitelnosti dešťové vody

Z výsledků (tab. 14) je možné na první pohled usoudit, že množství nashromážděné dešťové vody na určené zastavěné ploše za celý rok převyšuje potřebu vody pro splachování toalet zaměstnanců. Avšak pro přesnější zhodnocení výsledků je vhodnější posouzení v rámci měsíčních bilancí přebytku/nedostatku vody.

Tabulka 14: Porovnání objemů získané dešťové vody a potřeby vody (zdroj: autor).

měsíc	Q_m [m ³]	V_m [m ³]	přebytek V_m [m ³]	nedostatek V_m [m ³]
leden	58,87	42,78		-16,09
únor	53,52	40,11		-13,41
březen	61,55	48,13		-13,42
duben	48,17	57,48	9,32	
květen	56,20	93,58	37,38	
červen	58,87	100,26	41,39	
červenec	50,84	96,25	45,41	
srpen	61,55	97,59	36,04	
září	53,52	61,50	7,98	
říjen	58,87	48,13		-10,75
listopad	56,20	53,47		-2,72
prosinec	50,84	46,79		-4,05
celkem	669,00	786,07	177,52	60,45

6 Diskuse

Ačkoliv je splněna základní podmínka ročního přebytku získané dešťové vody nad roční potřebou (ČSN 75 6780), pravděpodobně není výhodné pokračovat v dalším projektování pro tuto administrativní budovu. Vlivem nerovnoměrného rozložení srážek v České republice (Krejčí a kol., 2002), je pokryta pouze polovina roku dotacemi ze srážkových vod pro účely splachování. Tedy v jarních a letních měsících by naakumulované vody sice byl nadbytek, ale v průběhu druhé poloviny roku by nebyl zajištěn dostatečný objem vody pro splachování a voda by pak musela být doplňována pitnou vodou z vodovodu. V období nadbytku (jarní a letní období) by bylo nutné nějakým způsobem řešit nespoteřebované množství dešťové vody zasakováním do půdního profilu.

Obecným problémem zachycování dešťové vody v urbanizovaném území je dosti velká náročnost na plochu. Tento problém se týká i navrhované budovy úřadu. Městský úřad by pro účely splachování toalet v podzimním a zimním období potřeboval více dešťové vody, kterou by bylo možno získat na příklad větší zachytnou plochou pro její sběr. Tomu odpovídají prvky plošného vsakování. Ovšem, jak uvádí *Novotná a kol. (2015)*, prvky plošného vsakování se příliš do centra měst nehodí právě především pro svou náročnost na plochu.

Naopak výhodou systému by mohla být jednoduchá úprava dešťových vod. Čištění by mohlo být vyřešeno přes zatravněnou humusovou vrstvu, která je nyní umístěna mezi parkovacím stáním. Podle normy ČSN 75 6780 by byla možnost využít vsakování přes zatravněnou humusovou vrstvu (např. v průlehu) ve smyslu hlavního čistícího opatření. Dalším kladem tohoto návrhu může být snížení objemu srážkových vod, které v současné době zatěžují stokovou síť.

Samozřejmě by neměla být opominuta ani finanční stránka projektu. V řešeném případě, pro tuto zastavěnou plochu a pro tolik zaměstnanců, patrně nemá smysl budovat systém hospodaření s dešťovou vodou tímto způsobem. Předběžná studie ukazuje, že městský úřad by sice ušetřil na vodném, ale k ekonomické návratnosti realizaci by patrně došlo za delší dobu. Snížení množství odváděných dešťových vod, těmito mechanismy, je sice žádané, avšak musí být brány v potaz náklady, efektivnost

realizace, technická proveditelnost a další aspekty, které jsou často v rozporu s hospodařením s dešťovou vodou.

Možné řešení návrhu by existovalo, pokud by se změnil účel hospodaření s dešťovou vodou. Místo využívání dešťové vody by bylo vhodné posoudit možnost realizace vsakování do podzemí. Prvotní náklady na výstavbu, stejně tak provozní náklady jsou v případě využití vody ke vsakování minimální ve srovnání s komplikovaným systémem využívání dešťové vody v budově (dvojí rozvody, dešťová kanalizace apod.). Tyto systémy jsou snáze realizovatelné spíše u novostaveb. Řešení nakládání s dešťovou vodou vsakováním by pro město Benešov bylo výhodné, protože současná legislativa vsakování preferuje a město by drželo trend v udržitelném rozvoji. Je však nutno připomenout nutnost hydrogeologického průzkumu, pro zjištění proveditelnosti projektu.

Každopádně, je zřejmé, že návrh způsobu hospodaření s dešťovými vodami je velice složitý a vždy je nutné jej vyhodnotit individuálně, podle konkrétních podmínek. Je tedy na každém (státní zřízení, právnická či fyzická osoba), jestli dá přednost ekonomickému, nebo ekologickému myšlení. Tyto dva aspekty se, prozatím, v systémech hospodaření s dešťovou vodou moc neslučují.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo charakterizovat a podrobněji popsat problematiku hospodaření s dešťovými vodami. Práce popisuje využívání vod ve světovém měřítku, jsou charakterizovány jak vyspělé země, tak i konkrétní systém hospodaření a recyklace vody v Izraeli. Poznatky získané o izraelském hospodaření s vodou mohou jít příkladem nejen většině rozvojových, ale dnes už i vyspělým státům. Dále jsou vysvětleny základní pojmy z oblasti meteorologie, které vysvětlují, jak a kde srážky vznikají, popřípadě, jak se dělí.

Další kapitola v literární rešerši se věnuje české legislativě v oblasti hospodaření a nakládání s dešťovými vodami. Česká legislativa vychází z evropské směrnice a dalších dokumentů evropských zemích, které mají legislativu na vysoké úrovni a pojmy v ní zakotvené jsou jednoznačně vymezeny. Česká republika této úrovni v současnosti nedosahuje, ale důležité je, že se o tématu mluví. Legislativa se upravuje, vstupují v platnost nové normy a jedná se o novelách zákonů. Přesto se ČR může od států, jako jsou Německo nebo Švýcarsko, hodně učit.

Vzhledem k tomu, že pro jakékoli další nakládání s dešťovou vodou je nutné znát i její kvalitu, je v literární rešerši rovněž vysvětlen charakter látkového znečištění. Na základě kvality vody musí být zajištěn odpovídající způsob čištění vody, bez kterého by nebyl možný, resp. by mohl být zkomplikován, další způsob jejího využití.

Dále je v literární rešerši splněn cíl, který se věnuje nejdůležitějším úkolům hospodaření s dešťovou vodou, tj. charakteristika infiltrace, retence a akumulace. Každý z těchto systémů má své prvky, kterými je docíleno správného hospodaření. Jsou uvedeny základní znaky, využití a specifika míst, kde se prvky používají.

Dílčím cílem bylo vyhodnocení možnosti využívání dešťových vod v objektu Městského úřadu v Benešově. Vzhledem k potřebě vody a objemu naakumulované dešťové vody je možné využívat získanou vodu pouze pro polovinu roku, kdy je srážkový úhrn větší. Zavedení systému by však muselo projít širší úvahou vzhledem k ekonomické návratnosti, efektivnosti, technické a stavební proveditelnosti. V tomto

případě tedy není závěr jednoznačný. Objektivnější posouzení, ve smyslu podrobné rozvahy variantního řešení je tedy výzvou k další práci.

Bakalářské práce může být prospěšná jako podklad pro ty, kteří chtějí získat základní informace o hospodaření s dešťovou vodou nebo pro ty, kteří uvažují o zavedení systému využívání vod a chtějí si udělat prvotní návrh.

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

Knihy a články:

Bareš V., Stránský D., 2007: Odvodnění urbanizovaných území, kanalizace a povodně. In: Slavíková L. (ed.): Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. IREAS, Institut pro strukturální politiku, Praha: 51 – 62.

Böse K. H., 1999: Dešťová voda pro dům a zahradu. HEL, Ostrava – Plesná.

Eagleson P. S., 2003: Dynamic Hydrology. European Geosciences Union, reprint series 2.

Golver A., 1988: Erfahrungen mit der Versickerung von Regenwasser von befestigten Flächen. Berichte der ATV 38, 381 – 394.

Helmreich B., Horn H., 2009: Opportunities in rainwater harvesting. Desalination 248. 118 – 124.

Hlavínek P., Prax P., Sklenářová T., Dvořáková D., Polášková K., Kubík J., Hlušík P., Beránek J., 2007: Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. Ardec s.r.o., Brno.

Hoekstra A. Y., 2003: Virtual water: An introduction. In: Hoekstra A. Y. (ed.): Virtual water trade. International expert meeting on virtual water trade, Netherlands: 13 – 24.

Hrkal Z., 2014: O lidech a vodě. Česká geologická služba, Praha.

Huston R., Chan Y. C., Gardner T., Shaw G., Chapman H., 2009: Charakterisation of atmospheric deposition as a source of contaminants in urban rainwater tanks. Water Research 43. 1630 – 1640.

Jones M. P., Hunt W. F., 2010: Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. Resources, conservation and recycling 54. 623 – 629.

Kobzová E., 1998: Počasí: knížka pro každého. Rubico, Olomouc.

Krejčí V., Hlavínek P., Zeman E., 2002: Odvodnění urbanizovaných území: koncepční přístup. NOEL 2000 s. r. o., Brno.

Morrow A. C., Dunstan R. H., Coombes P. J., 2010: Elemental composition at different points of rainwater harvesting system. *Science of Total Environmental* 408. 4542 – 4548.

Mottier V., Boller M., 1996: Quantitative und qualitative Aspekte des Dachwassers, Zürich.

Ngigi S. N., 2003: What is the limit of up – scaling rainwater harvesting in a river basin? *Physics and chemistry of the Earth* 28. 973 – 956.

Novotná J., Lubas M., Kabelková I., 2015: Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.

Paul M. J., Meyer J. L., 2001: Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32. 333 – 365.

Pitter P., 1990: Hydrochemie. Nakladatelství technické literatury. Praha.

Simmons G., Hope V., Lewis G., Whitmore J., Gao W., 2001: Contamination of potable roof collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research* 35. 1518 – 1524.

Soukupová J, 2009: Atmosférické procesy (Základy meteorologie a klimatologie). Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Stránský D., Kabelková I., Vitek J., Suchánek M. 2007: Podklad pro nakládání s dešťovými vodami v urbanizovaném území, Praha.

Stránský D., Kabelková I., 2011. Hospodaření se srážkovými vodami na stavebním pozemku a jeho důsledky pro územní plánování. *Člověk, stavba a územní plánování* V. 249 – 261.

Šálek J., Tlapák V., 2006: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. ČKAIT, Praha.

Vítek J., 2008: Odvodňování urbanizovaných území podle principů udržitelného rozvoje. Urbanismus a územní rozvoj 4. 1 – 12.

Vítek J., 2012: Nepodceňujme omyly, kterých se dopouštíme při zavádění HDV. Vodní hospodářství 9. 280 – 284.

Vrána J., Ošlejšková M., 2011: Britská norma BS 8525 – 1 a zásady navrhování zdravotně technických instalací při recyklaci vody v budovách. Sborník semináře Energie z odpadních vod, Brno. 5 – 10.

Internetové zdroje:

Český hydrometeorologický ústav, online: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu#>, cit. 23. 02. 2017.

Český hydrometeorologický ústav, online: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>, cit. 26. 02. 2017.

Hanel M., Máca P., 2014: Spatial variability and interdependence of rain event. Characteristics in Czech Republic. Hydrological Processes , online: http://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/eroznismyv/dokumenty/soubory/Hanel_Maca_2014.pdf, cit. 23. 02. 2017.

Plotěný K., Bartoník A., 2015: Rešerše – hospodaření s vodou, Brno, online: <http://www.sanceprobudovy.cz/assets/files/Reserse%20-%20hospodareni%20s%20vodou.pdf>, cit. 23. 02. 2017.

Stránský D., Kabelková I., Vítek J., Suchánek M., 2008: Koncepce hospodaření s dešťovou vodou – současný stav, Brno, online: http://www.jvprojektvh.cz/photo/sekce/file/12008-03-11_JVPVH_2.pdf, cit. 21. 02. 2017.

Stránský D., Kabelková I., Vítek J., Suchánek M., 2008: Cesta od likvidace k hospodaření se srážkovými vodami ve městech a obcích, Brno, online: http://www.jvprojektvh.cz/photo/sekce/file/12008-10-02_JVPVH.pdf, cit. 21. 02. 2017.

<https://mapy.cz/letecka?x=14.6900913&y=49.7837784&z=19&source=muni&id=3469&q=bene%C5%A1ov>, cit. 19. 03. 2017.

Zákony a vyhlášky:

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

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), v platném znění.

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

Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území.

Technické normy:

ČSN 75 6780, v návrhu: Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.

ČSN 75 9010, 2012: Vsakovací zařízení srážkových vod. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.

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