ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Řešení odvádění srážkových vod z průmyslových areálů

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Bakalant: Helena Rotterová

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Helena Rotterová

Územní technická a správní služba

Název práce

Řešení odvádění srážkový vod z průmyslových areálů

Název anglicky

Solution draining rain water from industrial sites

Cíle práce

Porovnání převažujících způsobů řešení odvádění srážkových vod do kanalizace s likvidací srážkových vod vsakováním, s přihlédnutím k lokalizaci subjektu (subjekt v blízkosti zástavby a subjekt na volném prostranství) a místním geologickým podmínkám.

Metodika

Zásady pro vypracování:

1. Úvod

2. Cíle práce

3. Literární rešerše (Vymezení pojmů. Hospodaření se srážkovými vodami, poplatky za odvod srážkových vod, likvidace srážkových vod vsakováním.)

4. Metodika

5. Volba technického řešení odvodnění vsakováním. Proveditelnost a přípustnost řešení.

6. Vyčíslení ekonomické náročnosti řešení odvodnění vsakováním, ve vztahu k lokalizaci subjektu a místním geologickým podmínkám.

7. Zhodnocení ekonomického přínosu navrhovaného řešení a posouzení návratnosti jednotlivých variant dle lokalizace subjektu a místních geologických podmínek.

8. Diskuze

9. Závěr

10. Použité zdroje

11. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40 stran textu a přílohy

Klíčová slova

dešťové vody, hospodaření, vsakování, průmyslové areály

Doporučené zdroje informací

ČSN 75 9010 – Vsakovací zařízení srážkových vod

HLAVÍNEK, P. & kol. (2007): Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. ARDEC s.r.o., Brno, 164 s.

KÖNIG, K. W. (2002): Regenwassernutzung von A-Z: Ein Anwenderhandbuch für Planer, Handwerker und Bauherren. Teil 2: Planung einer modernen Regenwassernutzungsanlage. Mallbeton GmbH, DS-Pfohren

STRÁNSKÝ, D., KABELKOVÁ, I., VÍTEK, J., SUCHÁNEK, M. (2008): Koncepce hospodaření s dešťovými vodami v ČR současný stav.

ŠÁLEK, J., KRIŠKA, M., PÍREK, O., PLOTĚNÝ, K., ROZKOŠNÝ, M., ŽÁKOVÁ, Z. (2012): Voda v domě a na chatě, Využití srážkových a odpadních vod. Grada Publising, a.s., Praha, 145 s. JV PROJEKT VH s.r.o.

ŠÁLEK, J., ŽÁKOVÁ, Z., HRNČÍŘ, P. (2008): Přírodní čištění a využívání vody. ERA group spol. s r.o., Brno, 115 s.

TNV 75 9011 – Hospodaření se srážkovými vodami

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2015

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Marcely Synáčkové, CSc. a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Krupce 3. 4. 2015……

Poděkování

Děkuji vedoucí semestrální práce Ing. Marcele Synáčkové, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

ŘEŠENÍ ODVÁDĚNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD Z PRŮMYSLOVÝCH AREÁLŮ

SOLUTION DRAINING RAIN WATER FROM INDUSTRIAL SITES

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou likvidace srážkových vod v průmyslových areálech. První, teoretická část je věnována popisu současného stavu problematiky z pohledu legislativního a technického. Je stručně shrnuta platná legislativa týkající se nakládání se srážkovými vodami a stručně jsou také popsána technická zařízení pro likvidaci srážkových vod vsakováním. V druhé, spíše praktické části práce, jsou nastíněny varianty vsakovacích zařízení při řešení odvodnění zvolených lokalit průmyslových areálů. Konkrétní případy jsou následně porovnány z hlediska funkčního a ekonomického.

Klíčová slova

srážková voda, průmyslový areál, vsakování, návratnost

Abstract

The work deals with the disposal of rain water in industrial areas. The theoretical part is devoted to describing the current state of the problem from the perspective of legislative and technical. A brief summary of existing legislation relating to the management of storm water and are also briefly describes the technical equipment for the disposal of rainwater infiltration. In the second, more practical part of the work outlined in the equipment variants infiltration drainage solutions selected locations of industrial sites. Specific cases are then compared in terms of functional and economic.

Keywords

rain water, industrial area, soakage, recoverability

Obsah

1 ÚVOD 9
2 CÍLE PRÁCE 9
3 METODIKA 10
4 OBECNĚ O HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU 12
4.1 Hospodaření s dešťovou vodou v historii a současnosti 12
4.2 Problematika znečištění srážkových vod 15
4.2.1 Typy znečištění srážkových vod 16
4.2.2 Znečištění srážek v atmosféře 16
4.2.3 Znečištění dešťového odtoku ze střech 17
4.2.4 Znečištění dešťového odtoku z ulic a silnic 18
4.3 Právní legislativa ve spojitosti se srážkovými vodami 19
4.4 Systémy a zařízení pro hospodaření s dešťovou vodou 21
4.4.1 Vsakovací zařízení dle norem ČSN 75 9010 a TNV 75 9011 21
4.5 Možná zlepšení hospodaření s dešťovou vodou 24
4.6 Vymezení pojmů 27
4.7 Poplatky za odvod srážkových vod 28
5 Volba technického řešení odvodnění vsakováním. Proveditelnost a přípustnost řešení 30
5.1 Výběr mezi vsakováním a retencí 30
5.2 Vsakování dešťové vody 32
5.3 Možnosti likvidace srážkových vod vzhledem k typu zástavby 33
5.4 Podklady pro zahájení projektu 34
5.5 Určení množství zachycené srážkové vody 35
5.6 Požadavky na ochranu podzemní vody a půdy 36
5.7 Projekční zásady při projektování vsakovacích zařízení 37
5.8 Hydrogeologický průzkum 40
5.8.1 Odstup od budov a nemovitostí 42
6 Návrh a vyčíslení ekonomické náročnosti řešení vsakování srážkových vod, ve vztahu k lokalizaci subjektu a místním geologickým podmínkám. 43
6.1 Lokalita A - Teplice 43
6.1.1 Vymezení území 43
6.1.2 Přírodní charakteristika 44
6.1.3 Klima 45
6.1.4 Posouzení vhodnosti likvidace srážek vsakováním 46
6.1.5 Návrh reálné alternativy nakládání se srážkovými vodami 47

6.1.6 Základní výpočty pro návrh zařízení pro výrobní halu č. 1 49
6.1.7 Základní výpočty pro návrh zařízení pro výrobní halu č. 2 51
6.1.8 Návrh řešení likvidace srážkových vod pro lokalitu A - Teplice ... 54
6.1.9 Ekonomická rozvaha 55
6.2 Lokalita B - Lovosice 56
6.2.1 Vymezení území 56
6.2.2 Přírodní charakteristika 57
6.2.3 Klima 58
6.2.4 Posouzení vhodnosti likvidace srážek vsakováním 60
6.2.5 Základní výpočty pro návrh vsakovacího zařízení 61
6.2.6 Návrh řešení likvidace srážkových vod pro lokalitu B - Lovosice 63
6.2.7 Ekonomická rozvaha 65
7 Zhodnocení ekonomického přínosu navrhovaných řešení včetně posouzení návratnosti jednotlivých variant. 66
7.1.1 Posouzení návratnosti pro lokalitu A – Teplice 66
7.1.2 Posouzení návratnosti pro lokalitu B – Lovosice 67
8 DISKUZE 69
9 ZÁVĚR 71
10 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ 73
10.1 Internetové zdroje 73
10.2 Právní předpisy 74
10.3 Časopisy, sborníky 75
10.4 Knihy 76
10.5 Seznam obrázků a tabulek 77

1 ÚVOD

Moderní společnosti usilují o trvale udržitelný rozvoj, při zachování životních podmínek na Zemi a tato snaha má odraz v různých sférách lidského konání. Základním moderním principem řešení odvádění srážkových vod je koncepce přírodě blízkého nakládání s dešťovými vodami a kde je to možné, přiblížit se přirozeným odtokovým charakteristikám dané lokality.

Výstavba průmyslových areálů a městských aglomerací pozměnila předchozí vodní režim v uváděných lokalitách a je zde značná část povrchu tvořena zpevněnými a zastavěnými plochami, které neumožňují přirozené vsakování vody zpět do půdy a tím dochází mimo jiné k ovlivnění zásob podzemní vody. V protikladu s tím se navyšuje se povrchový odtok. Navýšení objemu povrchového odtoku je jednou z příčin větší kulminace vodních toků a případné eroze, přičemž roste riziko lokálních záplav a na druhé straně, při delších obdobích beze srážek, dochází téměř k vyschnutí některých vodních toků. Případný nižší stav podzemní vody a snížená vlhkost způsobená absencí zelené vegetace a snížená půdní vlhkost, pak mají vliv na dotčené ekosystémy.

Bylo-li navíc použito řešení odvádění srážkových vod do systému jednotné kanalizace, tak odtok srážkových vod výrazně zatěžuje čistírny odpadních vod. Zvětšování stok spojené s jejich rekonstrukcí je technicky a finančně náročnou variantou a tak se postupně zvyšuje zájem o řešení omezující odtok srážkových vod z území s využitím metod zabývajících se nakládáním se srážkovými vodami v místě, v dané lokalitě, a vracejícího ho do přirozeného koloběhu vody. Jsou to hlavně řešení výrazně zpomalující odtok, zvyšující odpařování a realizující akumulaci a vsakování. Potenciál přínosů těchto principů zasahuje mnoho oblastí, zejména: ochranu povrchových vod, protipovodňovou ochranu, nepřetěžování stok a částečnou nápravu hydrologických poměrů v krajině.

V následné práci se nadále budu zabývat pouze likvidací srážkových vod z průmyslových areálů vsakováním, s přihlédnutím k lokalizaci subjektu a místním geologickým podmínkám.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je porovnat současný převažující stav, tedy přímé odvádění srážkových vod do kanalizace, o proti likvidaci srážkových vod vsakováním, u průmyslových areálů. Při řešení technických aspektů nakládání se srážkovými

vodami se prolínají prvky mnoha technických oborů, například: hydrologie povodí, stokování, hydraulika, s podporou technických norem a předpisů. Při posuzování bylo přihlédnuto k lokalizaci subjektů, tedy zda je subjekt v blízkosti zástavby, nebo či se jedná o subjekt na volném prostranství. Důležitým kritériem jsou místní geologické podmínky, které v podstatě řešení významně limitují. Výsledkem je posouzení, kdy je ekonomické navržený způsob likvidace srážkových vod použít a za jakých podmínek. Nezbytná součást posuzování možností realizace těchto alternativních způsobů likvidace srážkových vod je samozřejmě otázka ekonomické rentability. S ohledem na to, že se jedná o některé nové principy nakládání se srážkovou vodou, které jsou ČR teprve zaváděny, je žádoucí v rámci bakalářské práce zpracovat posouzení, které umožní vyčíslit a poté porovnat investiční náklady na zřízení jednotlivých odvodňovacích systémů, s přihlédnutím na náklady na provozování. Porovnání a následná diskuze k ekonomickým nákladům na výstavbu a provozování prezentovaných systémů je jedním z cílů bakalářské práce.

3 METODIKA

Nejdříve jsem se seznámila s problematikou stávající legislativy v oboru a se základními zásadami návrhu vsakování. Dále jsem studovala doporučenou, a také jsem vyhledala některou další potřebnou literaturu. Dalším krokem bylo shromáždění rešeršních podkladů a po prostudování daných publikací a internetových zdrojů jsem vypracovala několik prvních kapitol:

4.1 Hospodaření s dešťovou vodou v historii a současnosti
4.2 Problematika znečištění srážkových vod
4.4 Systémy a zařízení pro hospodaření s dešťovou vodou
4.4.1 Vsakovací zařízení dle norem ČSN 75 9010 a TNV 75 9011
4.5 Možná zlepšení hospodaření s dešťovou vodou

Po seznámení se současným stavem a ověření platnosti některých zákonů, vyhlášek a norem byla zpracována následná kapitola:

4.3 Právní legislativa ve spojitosti se srážkovými vodami

Následně jsem formou rešerše zpracovala témata popisující základní technické principy a postupy pro hospodaření s dešťovou vodou, v kapitolách:

4.4 Systémy a zařízení pro hospodaření s dešťovou vodou
4.5 Možná zlepšení hospodaření s dešťovou vodou

5.1 Výběr mezi vsakováním a retencí

5.2 Vsakování dešťové vody

Stručný popis technických zásad a omezení spolu se postupy dimenzování jsem popsala v několika dalších kapitolách:

5.3 Možnosti likvidace srážkových vod vzhledem k typu zástavby

5.4 Podklady pro zahájení projektu

5.5 Určení množství zachycené srážkové vody

5.6 Požadavky na ochranu podzemní vody a půdy

5.7 Projekční zásady při projektování vsakovacích zařízení

5.8 Hydrogeologický průzkum

Následující kapitoly jsou již věnovány praktické části práce, tedy popisům lokalit, přírodním charakteristikám a návrhům a výpočtům:

6.1 Lokalita A - Teplice

6.2 Lokalita B - Lovosice

7.1.1 Posouzení návratnosti pro lokalitu A - Teplice

7.1.2 Posouzení návratnosti pro lokalitu B - Lovosice

V posledních kapitolách se věnuji polemice, diskuzi a závěru. Jako podklady jsem použila internetové zdroje, zákony, vyhlášky a také státní a oborové normy. Také jsem využila informace z článků, knih, přednášek a prospektů komerčních firem. Zúčastnila jsem se i konference 'Počítáme s vodou 2015' konající se v Praze, kde jsem vyslechla názory na danou problematiku 'na živo' v podání domácích i zahraničních přispívatelů. Snažila jsem se shrnout možnosti pro návrh nakládání s dešťovou vodou a seznámit se s postupy a principy návrhu. Tedy lze říci, že zajištění materiálů pro část praktickou, předcházelo sestavení části teoretické. Podklady pro praktickou část tvoří mapa pozemků, které jsou definovány jako zájmové, průměr úhrnu srážek v dané lokalitě, definování výměr jednotlivých ploch a hydrogeologické posouzení pro zájmovou lokalitu. Zhodnocení ekonomického přínosu navrhovaného řešení likvidace srážkových vod a posouzení návratnosti jednotlivých variant dle lokalizace subjektu a místních geologických podmínek bylo provedeno na základě výpočtů a kalkulací. Při výpočtech jsem postupovala dle platných norem. Výpočty zahrnují objemy srážek spadlých na jednotlivé plochy areálů, které se později použijí při některých následujících výpočtech.

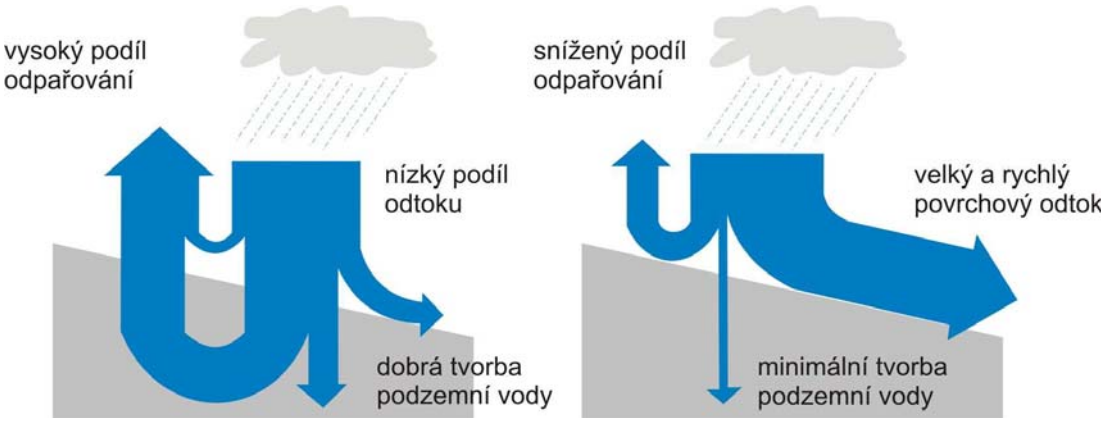
4 OBECNĚ O HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU

4.1 Hospodaření s dešťovou vodou v historii a současnosti

Na zemském povrchu se vyskytují srážky ve skupenství kapalném a pevném. Podle toho kde vznikají, je dělíme na srážky atmosférické (mlha, mrholení, déšť a zmrzlý déšť, dále pak kroupy či krupky a sníh) a horizontální (rosa, jinovatka, námraza). V této práci budeme hovořit jen o srážkách atmosférických, převážně pak o deštích (Sobota, 2007).

Prosté, okamžité vypouštění srážkových vod do recipientů může způsobit celou škálu problémů, jako jsou: bleskové lokální záplavy, znečištění toků, hydrogeologické změny a degradace ekosystémů, včetně narušení žádoucího koloběhu vody. Některá systémová opatření při nakládání se srážkovými vodami, jsou motivována hlavně snahou odstranit, nebo alespoň zmírnit tyto následky (Mikkelsen, 2004).

Nakládání s dešťovou vodou je historicky logicky spojeno s urbanizací krajiny. Při zvětšující se koncentraci osídlení a přechodem na zemědělský a následně pak průmyslový charakter způsobu života, samozřejmě roste potřeba zdrojů pitné a užitkové vody. Ale i potřeba ochrany před nebezpečím z 'přebytku' vody, tedy nutnost ochrany obyvatel a staveb před náhlými záplavami od přívalových dešťů nebo ochrany před povodněmi způsobenými táním pevných srážek, popřípadě od zvýšeného povrchového odtoku déle působících kapalných srážek.



Obrázek č. 1: Vodní režim na území s nezpevněnými a zpevněnými plochami
Zdroj: (Juniorstav, 2008)

Lidské společnosti se po velmi dlouhou dobu nedaří vhodně skloubit v podstatě protichůdné požadavky, tedy zajistit dostatek zdrojů pitné a užitkové vody a zabezpečit ochranu obyvatel a staveb před náhlými záplavami nebo před povodněmi. Navrhovaná řešení vždy vyžadovala a vyžaduji značný ekonomický potenciál. Cestou k dlouhodobému řešení, je přijetí nových myšlenek a postojů, které výrazně pozmění stávající koncepce odvodnění.

Budoucí hlavní myšlenka odvádění srážkových vod je založena na koncepci decentralizovaného nakládání s vodami odpadními a srážkovými. Tento trend je postupně zaváděn do střední Evropy především z hospodářsky rozvinutých skandinávských států. Dánsko, Finsko a Švédsko byly a jsou průkopníky nové strategie nakládání se srážkovými vodami. Propracovanou strategií se může pochlubit i Holandsko, kde navíc řeší i problémy s deltami vodních toků a zaústěním do moře. Mnoho zkušeností také pochází z oblastí, kde je ochrana vodních zdrojů motivována klimatickými, hydrogeologickými a hydrologickými podmínkami. Jsou to například oblasti s déle trvajícím nedostatkem vodních zdrojů. Tedy oblasti kolem Středozemního moře a na Blízkém Východě. Obecně je ve vyspělých, hospodářsky více rozvinutých státech silnější ekologické povědomí ve společnosti, většinou podpořené poněkud jiným životním stylem.

V souladu se zadáním bakalářské práce budou rozebírány některé požadavky a podmínky pro zřizování a následné provozování a údržbu zařízení pro nakládání se srážkovými vodami. Zprvu je nutné definovat rozdíly mezi obvyklou a moderní (cílovou) koncepcí odvodnění urbanizovaného území.

Komplexní posuzování vlivů urbanizace na povrchové či podzemní vody a některé aspekty životního prostředí je základním rozdílem mezi moderními koncepcemi odvádění srážkových vod a koncepcí klasickou (Hlavínek, 2000).

Cílem dnes již překonané klasické koncepce odvodnění je úplné napojení a co nejrazantnější odvedení téměř všech odpadních vod z městského povodí. Jako odpadní vody byly definovány všechny vody, které musí být odvedeny ze zájmového území. Patří sem splaškové vody z domácností, průmyslové odpadní vody, tající sníh a dešťový odtok, drenážní vody, ale třeba i přepady z vodojemů a to vše je zavedeno do kanalizace a dále pak do napojené povrchové či podzemní vody. U této klasické koncepce jsou starší dominující návrhy založené na určení jmenovité světlosti potrubních svodů stokové (kanalizační) sítě, s využitím relativně jednoduchých výpočtových metod, neumožňujících popsat nerovnoměrnost a

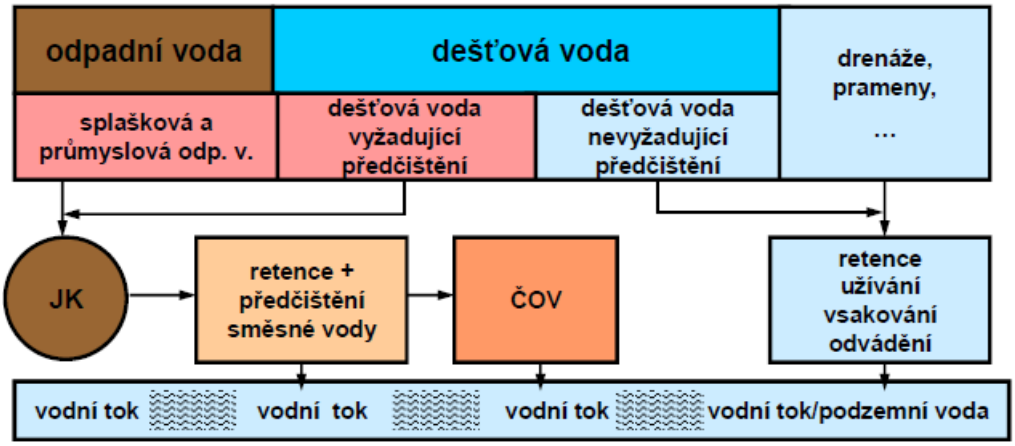
dynamiku přechodných jevů ve stokové síti. Touto zjednodušenou formou jsou mimo jiné řešeny objemové úlohy a nejsou nijak zohledněny ekologické dopady tohoto systému na životní prostředí.

Moderní koncepce odvodnění chápe městský systém odvodnění jako integrovaný systém, který zohledňuje vliv kanalizace na hydraulické a chemicko-biologické procesy v recipientu. Integrovaný kanalizační systém zahrnuje stokovou síť, ČOV a recipient.

Klasická koncepce odvodnění tyto prvky navrhuje a provozuje odděleně. Stokové síti a čistírně odpadních vod je zpravidla věnována větší pozornost než recipientu. Myšlenka moderního integrovaného systému zohledňuje návrh a následný provoz jednotlivých částí systému a také hodnotí vzájemné vazby a ovlivňování jednotlivých prvků systému (Hlavínek, 2000).

Přírodě blízké hospodaření se srážkovými vodami principiálně spočívá v maximálně možném napodobení přirozené odtokové charakteristiky dané lokality před urbanizací. Způsob odvodnění, jenž se v podstatě zabývá srážkovým odtokem vždy v místě jeho vzniku a v rámci možností jej vrací do přirozeného koloběhu vody je definován jako decentralizovaný. Opatření a zařízení, která podporují vypařování, vsakování nebo také pomalý odtok do místního koloběhu vody, jsou považována za opatření a zařízení přírodě blízká. V širším pojetí sem patří i zařízení, která alespoň nějakým způsobem podporují přirozený koloběh vody či částečně chrání vodní toky, třeba tím, že srážkové vody akumulují a dále využívají nebo zajistí retenci a regulovaný (opožděný) odtok do stokové sítě (Asociace, 2007).

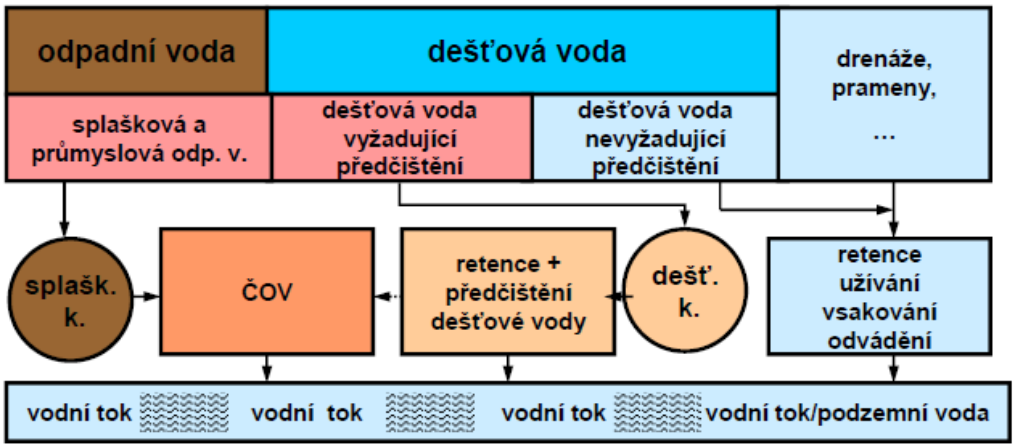
K modernímu nakládání s dešťovou vodou patří důsledné oddělování mírně a silně znečištěné srážkové vody. Je zřejmé, že srážkové vody, které jsou silně znečištěné je nutno čistit, například jejich odvedením na ČOV, pokud se jedná o modifikovanou jednotnou kanalizaci.



Obrázek č. 2: Modifikovaná jednotná kanalizace

Zdroj: (Ministerstvo životního prostředí, 2014)

U modifikované oddílné kanalizace je nutné srážkové vody, které jsou silně znečištěné čistit ve speciálních zařízeních na předčištění znečištěné srážkové vody.



Obrázek č. 3: Modifikovaná oddílná kanalizace

Zdroj: (Ministerstvo životního prostředí, 2014)

Odtok ze střech a parkovišť popřípadě málo frekventovaných komunikací je zpravidla považován za tolerovatelně znečištěný nebo neškodný srážkový odtok.

4.2 Problematika znečištění srážkových vod

Myšlenka, že většina srážkových vod vzniká odpařováním, navozuje předpoklad, že srážková voda bude prostá rozpuštěných látek. Není tomu tak, dešťová voda přichází v atmosféře do kontaktu s různými chemickými látkami a je tedy zřejmé, že míra znečištění dešťové vody je ovlivněna mírou znečištění ovzduší. Dešťová voda se také váže na vzdušný CO_2 a je tedy 'kyselá' s hodnotou pH přibližně 5,6 (Hlavínek & kol., 2007).

4.2.1 Typy znečištění srážkových vod

Zachycená dešťová voda vykazuje tři základní typy znečištění. Prvním typem je již shora uvedený obsah rozpuštěných a pevných látek v dešťové vodě. Tento typ znečištění převažuje ve velkých městech a průmyslových aglomeracích. Srážkovou činností je ale redukováno látkové znečištění v ovzduší, to je tím vlastně čištěno. Dešťová voda je logicky ovlivněna také antropogenní činností (kouřovými plyny a dopravou). Znečišťující látky se v atmosféře mohou šířit na značné vzdálenosti a dešťovou vodu tedy neovlivňuje pouze lokální znečištění. Dalším typem znečištění dešťové vody po zachycení jsou znečišťující látky, které se nahromadí v období beze srážek na povrchu v daném území. Následně jsou pak za deště znečišťující látky smývány a následně odváděny spolu s dešťovou vodou. Třetím typem znečištění je kontaminace dešťových vod, která vzniká při přímém kontaktu srážkové vody s některými materiály na povrchu území (Krejčí & kol., 2002).

Intenzita znečištění je dána charakterem území ale také občanskou vybaveností, podílem průmyslu, intenzitou srážek a mnoha dalšími faktory. Ale hodnota znečištění v povrchovém odtoku je významně ovlivněna délkou období beze srážek, poté intenzitou následných atmosférických srážek a konečně objemem dešťového odtoku. Látkové znečištění v dešťovém odtoku, je zpočátku větší, než v dalším průběhu, a tento jev je nazýván efektem prvního splachu. Tento efekt je způsoben počátečním smísením znečištění z atmosférických srážek s nečistotami smývanými z povrchu území. Pokud se oddělí voda prvního splachu (přibližně 1 až 3 mm deště), dojde ke snížení znečištění v zachycené dešťové vodě (Hlavínek & kol. 2007). Znečištění v urbanizovaném území je především způsobeno oleji a jinými chemickými látkami, těžkými kovy z provozu motorových vozidel, pesticidy, sedimenty, ale také třeba bakteriemi. Je třeba zabezpečit, aby se zmíněné nečistoty nedostaly do kontaktu s vodami v řekách a nádržích nebo dokonce s pitnou vodou.

4.2.2 Znečištění srážek v atmosféře

Znečišťující látky rozptýlené v atmosféře jsou příčinou znečištění dešťového odtoku, především v průmyslových aglomeracích a velkých městech (Krejčí & kol., 2002).

Antropogenní činností vznikají některé kyseliny a kyselinotvorné látky (např. kyseliny sírová či dusičná). Tyto 'kyselé' látky jsou v převaze, o proti zásaditým látkám, pocházejícími z přirozeného prostředí. Kyselinotvornými látkami jsou sloučeniny síry a sloučeniny dusíku vznikající spalováním fosilních paliv, rozkladem

výfukových plynů vozidel a také v půdě či vodě probíhající mikrobiální denitrifikací. Spalováním umělých hmot, s obsahem PVC, například v průmyslových spalovnách, vznikají nebezpečné sloučeniny chlóru. Zásadité látky jsou generovány jednak zemědělstvím (hnojiva) a také přirozeným prostředím (uhličitany). Ostatními znečišťujícími látkami jsou například těžké kovy emitované hlavně průmyslem a spalovnami, organické látky, což jsou hlavně uhlovodíky z výfukových zplodin motorových vozidel ale také třeba živiny rostlin jako je fosfor a amonné ionty (Hlavínek & kol., 2007).

	Ca	Mg	Na	K	NH_4^+	SO_4^{2-}	NO_3	Cl-	Fe	Mn	Pb	Zn	F
$mg.l^{-1}$	0,37	0,06	0,25	0,19	0,9	1,7	0,31	2,4	0,017	0,007	0,002	0,007	0,012

Tabulka 1 - Chemické složení srážek v ČR – průměrné hodnoty koncentrací

Zdroj: (ČHMÚ, Košetice, 2014)

Složka	Koncentrace	Depozice	Složka	Koncentrace	Depozice
	$\mu g.l^{-1}$	$t.km^{-2}.r^{-1}$		$\mu g.l^{-1}$	$t.km^{-2}.r^{-1}$
Sírany	4,39	3,14	Měď	5,2	3,97
Chloridy	2,63	1,86	Zinek	56,78	43,69
Fosforečnany	0,27	0,15	Chrom	1,59	1,11
Dusitany	0,02	0,02	Kadmium	0,7	0,38
Dusičnany	3,63	3,25	Železo	77,28	53,06
Vápník	1,77	1,23	Mangan	12	7,89
Hořčík	0,7	0,54	Olovo	7,62	6,11
Sodík	0,38	0,33	Arzen	2,23	1,57
Draslík	0,35	0,23	Berylium	0,03	0,02
Amoniak	1,81	1,2	Nikl	3,7	3,01

Tabulka 2 - Průměrné složení atmosférické depozice v Čechách (1994)

Zdroj: (Šálek, Tlapák, 2006)

4.2.3 Znečištění dešťového odtoku ze střech

Látkové složení dešťového odtoku z povrchu střech je důležité, protože pro další využití dešťové vody padá do úvahy hlavně dešťový odtok ze střech. Odtok ze střech bývá logicky méně znečištěn než odtok z dopravních či průmyslových ploch, především v městských aglomeracích (Hlavínek & kol., 2007).

Střechy se přirozeně čistí pouze dešťovými srážkami. Obecně, voda odtékající ze střech má převažující podíl rozpuštěných kysličníků a také podíl látek organických (pyly, prachové částice, listy a semena, trus ptáků). Jedná o znečištění nahromaděné během bezdeštného období na střechách (Hlavínek & kol., 2007).

Kvalita odtoku dešťové vody ze střech závisí samozřejmě na povrchu, po kterém dešťová voda stéká, znečištění vzniká kontaktem dešťové vody s materiály povrchu střech a svodů. Budovy se také opotřebovávají a tím se uvolňují částečky stavebních částí (střešní krytiny, betonu či cihel a omítek, kovů, barev či asfaltu) a ty pak tvoří část znečištění dešťového odtoku. Ze střech a okapů se uvolňují částice nátěrových hmot, závislé na stavu a stáří nátěru, použité nátěrové hmotě a provedení nátěrů. Navíc kovové součásti střech a svodů postupně korodují a následně uvolňují toxické látky jako měď, zinek či chrom (Wallinder & kol., 2009).

4.2.4 Znečištění dešťového odtoku z ulic a silnic

Největším a nejčastějším zdrojem znečištění ulic a silnic je automobilová doprava, která zásadně ovlivňuje znečištění dešťového odtoku a i znečištění půdy v těsném okolí vozovek. Dopravní prostředky generují velké množství škodlivých látek, jako jsou polyaromatické uhlovodíky z nespálených paliv, sloučeniny olova a uhlovodíky uvolněné z olejů a mazadel. Pneumatiky se opotřebovávají otěrem a tím se mimo mechanických nečistot uvolňuje také zinek a uhlovodíky. Vozidla postupně korodují a tím se uvolňuje železo, měď, chrom, olovo, nikl a zinek. Samotný povrch vozovek se opotřebovává a tím se uvolňují částice dehtu, emulgáty, uhličitany a kovy (Hlavínek & kol., 2007).

Během zimní údržby se na vozovky aplikuje sůl či jiný posypový materiál. Posypová sůl pak způsobuje výrazné zvýšení chloridů v odtokových dešťových vodách. Posypovou látkou je nejčastěji chlorid sodný, který je účinný až do -8 °C. Po aplikaci se 15 % posypové soli zachytí na krajnici a zbytek se rozpustí na vlastní komunikaci. Menší část pak při tání odteče odvodňovacím systémem komunikace (Cyhelská, 2009). Ani inertní posypové materiály: štěrk, písek či škvára, zcela nezabrání znečištění. Kromě prostého mechanického znečištění silnic a cest, dochází vlivem dešťů k vyluhování škodlivých chemických látek, především u škváry, do odtokové dešťové vody (Hlavínek & kol. 2007). Obdobně nastává znečištění i v důsledku postupné eroze různých zpevněných ploch, kdy jejich stárnutím dochází k uvolnění částic různého materiálu a složení.

Průmysl je velkým zdrojem znečištění, vznikajícím při manipulaci a zpracování surovin a při manipulaci a aplikaci různých průmyslových chemikálií v průmyslových areálech či ve stavebnictví, v opravárenství nebo třeba v dopravě (Hlavínek & kol. 2007).

V neposlední řadě dochází v urbanizovaném území ke znečištění povrchového odtoku vody také vlivem odhazování nejrůznějších odpadků. Struktura tohoto materiálu (odpadu) je velmi různorodá a kromě mechanických nečistot, jsou zastoupeny i chemické a biologické znečišťující látky. Toto znečištění je zcela jasně tvořeno výhradně lidskou činností (Hlavínek & kol., 2007). V této souvislosti je nutné zmínit i znečištění pocházející od 'domácích mazlíčků'. Zvířecí moč či výkaly na ulicích, nebo chodnících a také různá uhynulá zvířata mohou být zdrojem infekcí a nemocí. Urbanizované plochy jsou také někdy znečištěny odumřelou vegetací z parkových úprav či jiných zelených ploch anebo zbytky z jejího ošetřování. Tento materiál také může způsobit ucpávání uličních kanalizačních vpustí (Hlavínek & kol., 2007).

4.3 Právní legislativa ve spojitosti se srážkovými vodami

Hospodaření s vodou je zakotveno zákonem č. 254/2001 Sb., o vodách (tzv. vodní zákon). Zákon č. 254/2001 Sb. chrání především povrchové a podzemní vody, dále stanovuje podmínky k hospodárnému využívání vodních zdrojů a obecně se zabývá nakládáním s vodami. Jiným neméně důležitým právním předpisem je zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu (tzv. zákon o vodovodech a kanalizacích).

Hospodaření s dešťovou vodou nemělo ještě před několika málo lety v České republice žádný noremní podklad, na rozdíl například od Německa, kde příslušné normy zpracovány byly a kde se problematikou hospodařením s dešťovou vodou zabývají již delší dobu. Ale i u nás došlo k novelizaci legislativy, jejímž výsledkem je vznik norem týkajících se hospodaření s dešťovou vodou. Jedná se normy TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami a ČSN 75 9010 Návrh, výstavba a provoz vsakovacích zařízení srážkových vod.

První norma, ČSN 75 9010 je soustředěna na odvádění srážkových vod vsakováním. Definuje srážkové povrchové vody jako vody z atmosférických srážek, které jsou odváděny z povrchu terénu nebo budov. Také rozlišuje srážkové povrchové vody dle kvality, a to na přípustné, podmínečně přípustné a nepřípustné. Norma vstoupila v platnost v únoru roku 2012.

Druhá norma, TNV 75 9011 zakotvuje hospodaření se srážkovými vodami jako způsob nakládání se srážkovými (dešťovými) vodami. Tento způsob nakládání se srážkovými (dešťovými) vodami, klade důraz na zachování přirozené bilance vody v

území po jeho urbanizaci. Základním nástrojem hospodaření se srážkovými vodami je uvažován decentralizovaný způsob odvodnění. Decentralizovaný způsob odvodnění řeší srážkový odtok v místě jeho vzniku a vrací jej do přirozeného koloběhu vody. Tato norma vstoupila v platnost v březnu roku 2013.

Protože v České republice v té době chyběl technický předpis pro vsakovací zařízení, byla v roce 2010 komorou ČKAIT vydána technická pomůcka TP 1.20 Hospodaření se srážkovou vodou v nemovitostech. Po vydání normy ČSN 75 9010 byla technická pomůcka novelizována, aby byla s touto normou v souladu. Zmíněná technická pomůcka zahrnuje přehled opatření pro hospodaření se srážkovou vodou a potřebné výpočty a některá technická řešení. Je kladen důraz na vsakování srážkových vod a jejich retenci a vliv návrhu hospodaření se srážkovou vodou na stavby a sousední nemovitosti.

Evropská vodní charta, která byla vyhlášena ve Štrasburku 6. května 1968, je důkazem toho, že Evropská legislativa přikládá velký význam vodnímu hospodářství. Také byla vydána Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a rady ze dne 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (tzv. rámcová směrnice o vodách). Dalšími souvisejícími právními předpisy pak jsou:

- zákon č. 416/2010 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech k vypouštění odpadních vod do vod podzemních;
- zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (tzv. stavební zákon);
- zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech;
- zákon č. 93/2004 Sb., kterým se mění zákon č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí;
- vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území;
- vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby;
- 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;

- ČSN 75 6261 Dešťové nádrže;
- ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace;
- ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budov.

4.4 Systémy a zařízení pro hospodaření s dešťovou vodou

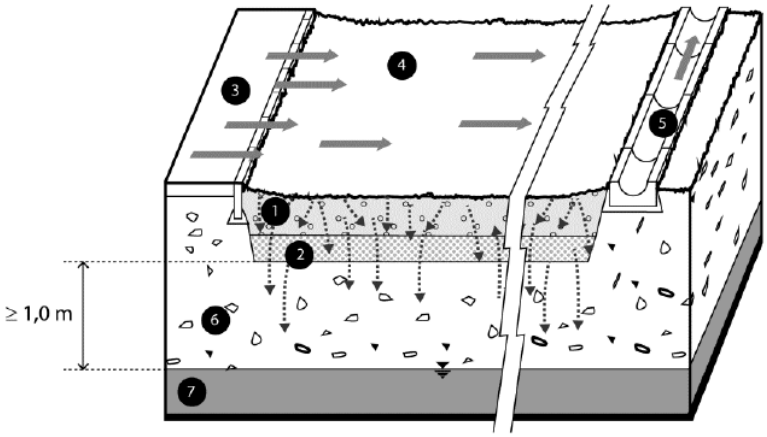
V rámci přehledu a členění zařízení, které je možno v případě hospodaření s dešťovou vodou využívat na území České republiky, je nutné respektovat základní legislativní rámec, který je tvořen platností zákona 254/2001 Sb. (Zákon o vodách) společně s platností zákona 183/2006 Sb. (O územním plánování a stavebním řádu) a souvisejícími právními předpisy.

Bakalářská práce dále stručně nastiňuje základní členění zařízení pro hospodaření se srážkovými vodami, včetně základního technického popisu. Kromě klasických zařízení, jejichž typy jsou v další pasáži uvedeny, je možné využít plochy, kde také dochází k umělému zadržování odtoku, vsakování či k rychlejšímu odpařování, tedy zejména: rozmanité travnaté plochy, zatravněné štěrkové plochy, zatravňovací tvárnice, vsakovací průlehy, propustné asfalty a dlažby, vsakovací rýhy a také 'zelené' střechy či terasy.

4.4.1 Vsakovací zařízení dle norem ČSN 75 9010 a TNV 75 9011

Vsakovací zařízení je širší pojem obsahující od povrchového vsakování v průlezích až po podzemní vsakovací nádrže. Vždy je nutné posoudit vlastnosti zeminy a bezpečnost vsakování.

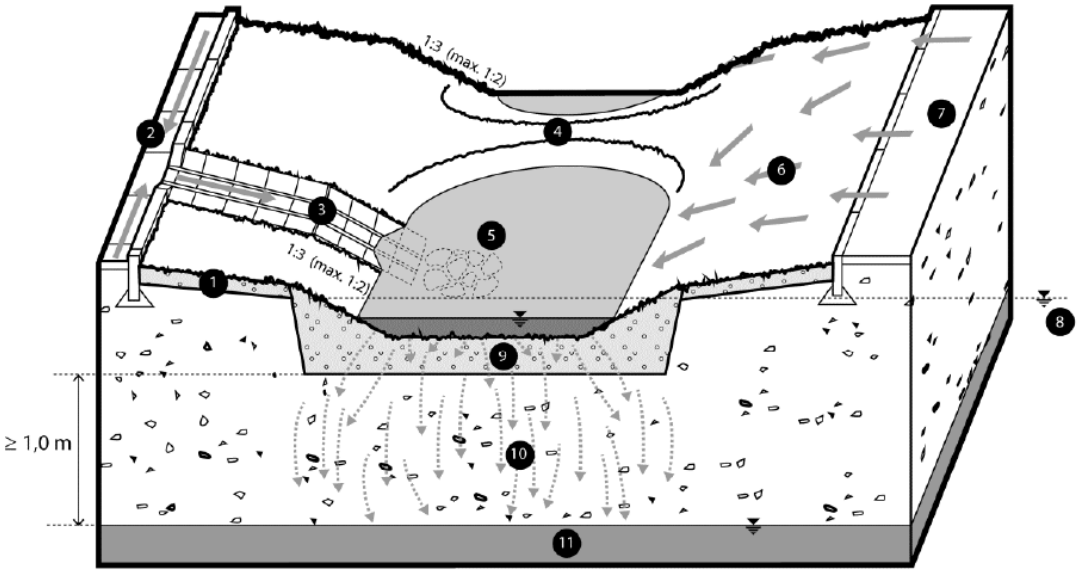
- **Vsakovací zařízení povrchová.** Jsou určená pro vsakování srážkových povrchových vod a to buď přípustných, nebo podmínečně přípustných. Povrchové vsakování se přibližuje přirozenému vsakování asi nejblíže. Probíhá na travnatých plochách přes vegetační pokryv půdy. Srážkové vody musí být přivedeny do vsakovacího zařízení tak, že nesmí způsobit erozi vegetačního pokryvu. Výhodou těchto zařízení je nízká pořizovací cena, jednoduchá obnova filtrační vrstvy a také odstraňování splavenin.



Obrázek č. 4: Objekt plošného vsakování

Zdroj: (TNV 75 9011)

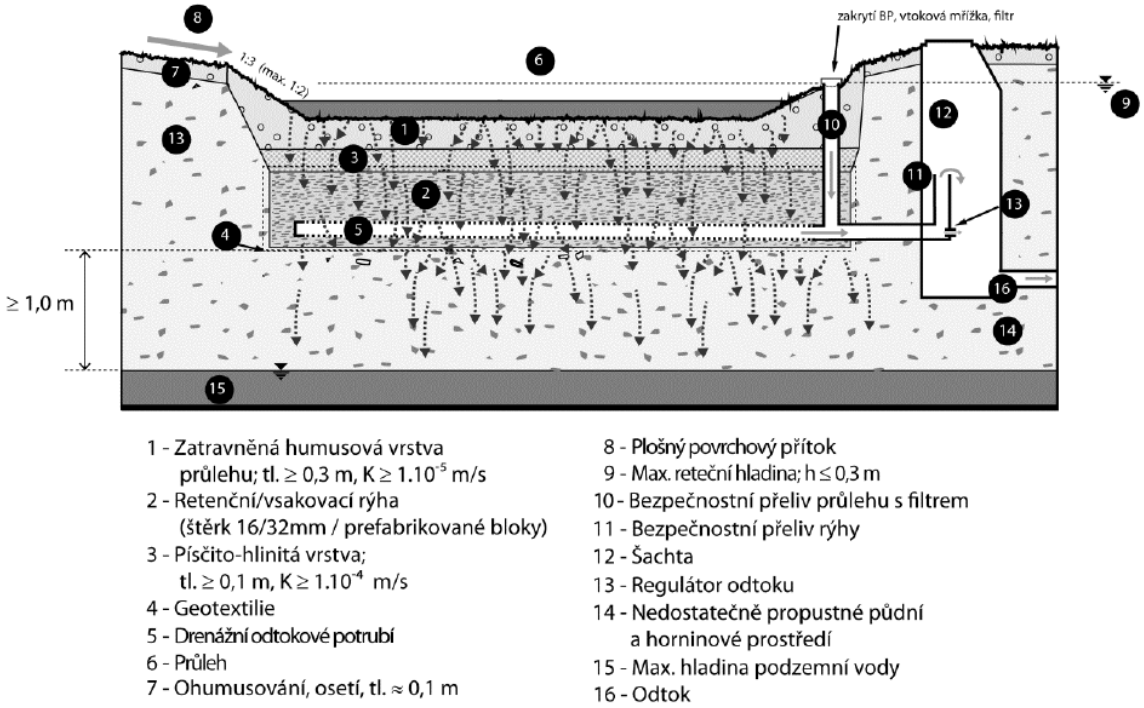
Mezi vsakovací zařízení povrchová lze zařadit následující objekty plošného vsakování: vsakovací průlehy, vsakovací průlehy - rýhy, nebo vsakovací nádrže.



Obrázek č. 5: Vsakovací průleh s povrchovým přívodem vody

Zdroj: (TNV 75 9011)

- **Vsakovací zařízení podzemní.** Jsou určená pro vsakování srážkových povrchových vod a to buď přípustných, nebo podmínečně přípustných, u kterých vsakování musí předcházet jejich předčištění. Podzemní vsakovací zařízení jsou v principu, uměle vytvořený prostor pod terénem, vybudovaný nad vsakovací plochou a jsou kombinovaná s retencí srážkové vody. Mezi vsakovací zařízení podzemní lze zařadit následující objekty: podzemní prostory vyplněné štěrkem, podzemní prostory vyplněné bloky, dále pak tunelové systémy, vsakovací šachty a vsakovací průlehy - rýhy s regulovaným odtokem a konečně vsakovací nádrže s regulovaným odtokem.

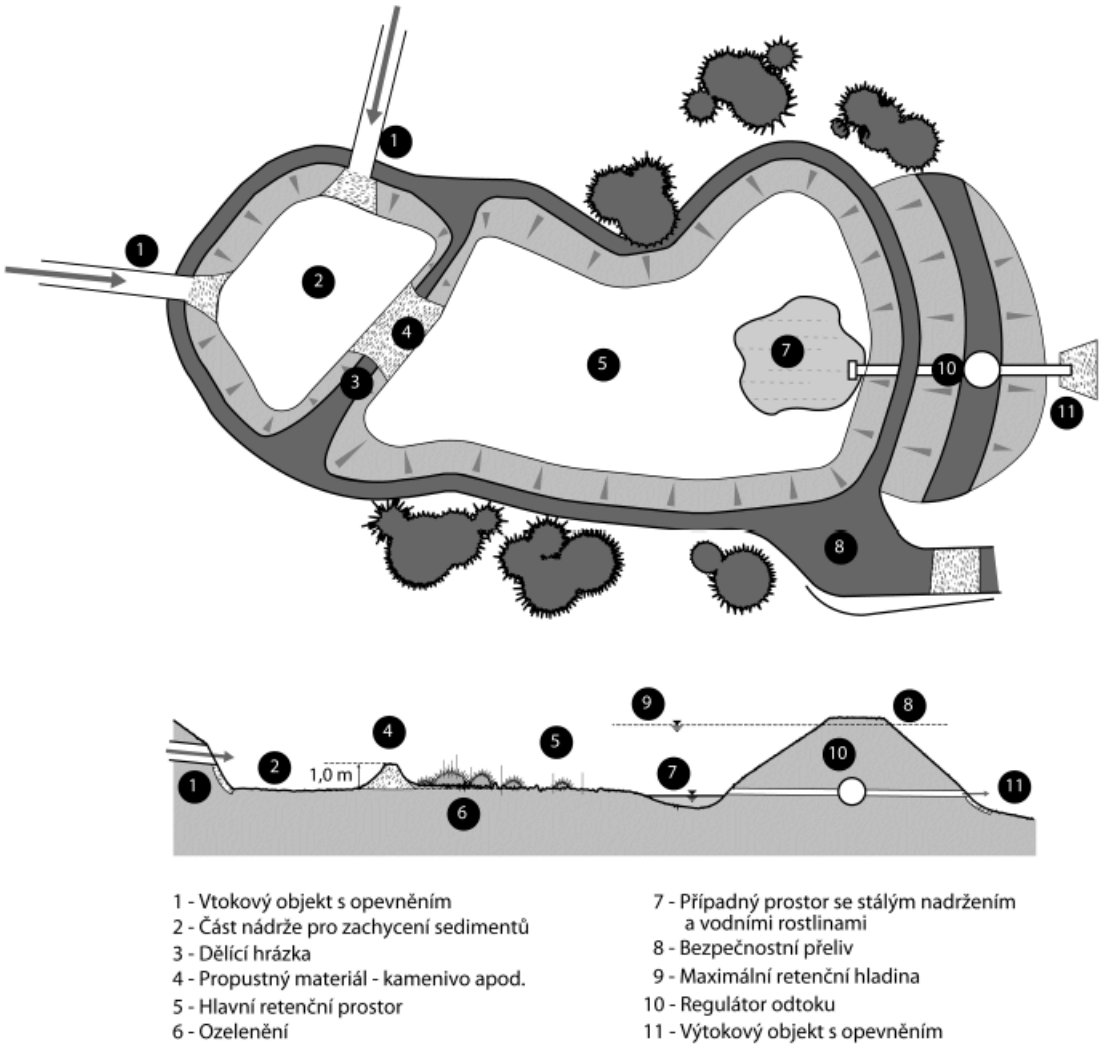


1 - Zatravněná humusová vrstva průlehu; tl. ≥ 0,3 m, K ≥ 1.10^{-5} m/s
2 - Retenční/vsakovací rýha (štěrk 16/32mm / prefabrikované bloky)
3 - Písčito-hlinitá vrstva; tl. ≥ 0,1 m, K ≥ 1.10^{-4} m/s
4 - Geotextilie
5 - Drenážní odtokové potrubí
6 - Průleh
7 - Ohumusování, osetí, tl. ≈ 0,1 m
8 - Plošný povrchový přítok
9 - Max. reteční hladina; h ≤ 0,3 m
10 - Bezpečnostní přeliv průlehu s filtrem
11 - Bezpečnostní přeliv rýhy
12 - Šachta
13 - Regulátor odtoku
14 - Nedostatečně propustné půdní a horninové prostředí
15 - Max. hladina podzemní vody
16 - Odtok

Obrázek č. 6: Vsakovací průleh - rýha s regulovaným odtokem

Zdroj: (TNV 75 9011)

- **Zpožďovací a retenční zařízení a objekty.** Při odvádění srážkových vod je zpravidla nutné zdržení odtoku prostřednictvím retenčního objektu. Každý takový retenční objekt by měl být vybaven regulátorem odtoku, který reguluje odtok z objektu na hodnotu, která musí být nižší než předepsaný přípustný odtok. Retenční objekty musí také být vybaveny bezpečnostním přelivem, navrženým tak, že bezpečně převede průtok způsobený vyšší než návrhovou srážkou. Mezi zpožďovací a retenční objekty bychom mohli zařadit: retenční dešťové nádrže suché - poldry, retenční nádrže podzemní, retenční dešťové nádrže se zásobními prostory a umělé mokřady.

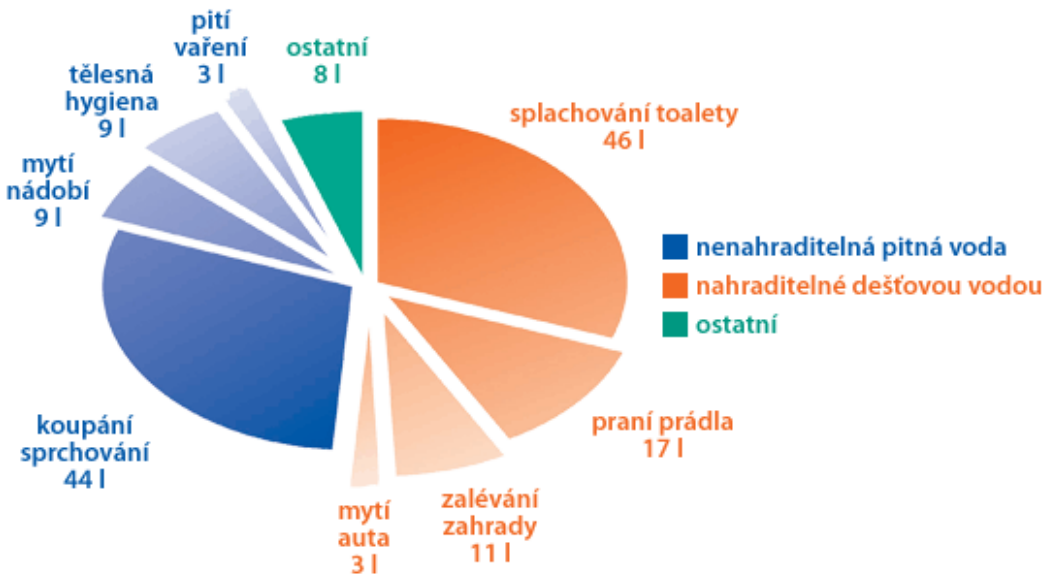


Obrázek č. 7: Suchá retenční dešťová nádrž

Zdroj: (TNV 75 9011)

4.5 Možná zlepšení hospodaření s dešťovou vodou

Možnosti a způsoby využití dešťových vod jsou závislé na jejich množství a jakosti. Dále také na způsobu jejich úpravy a místních podmínkách. Mnoho komerčních firem na trhu dnes nabízí různé druhy systémů a zařízení pro využití zachycených dešťových vod. Individuální stavebníci tedy mohou využívat dešťovou vodu v domácnosti (zavlažování, užitková nepitná voda) a dešťové vody zachycené v retenční nádrž lze využít například i pro rekreaci (Dreiseitl, 2009).



Obrázek č. 8: Spektrum využití vody v domácnosti

Zdroj: (GLYNWED, 2014)

V oblasti komunální, lze zachycenou dešťovou vodu využít v administrativních budovách, na úřadech, ve školách a v zařízeních pro sportovní aktivity, v jízdárnách, v pěstírnách či zahradnictvích a v lesních školkách, parcích, atd. (Bursík, 2010).

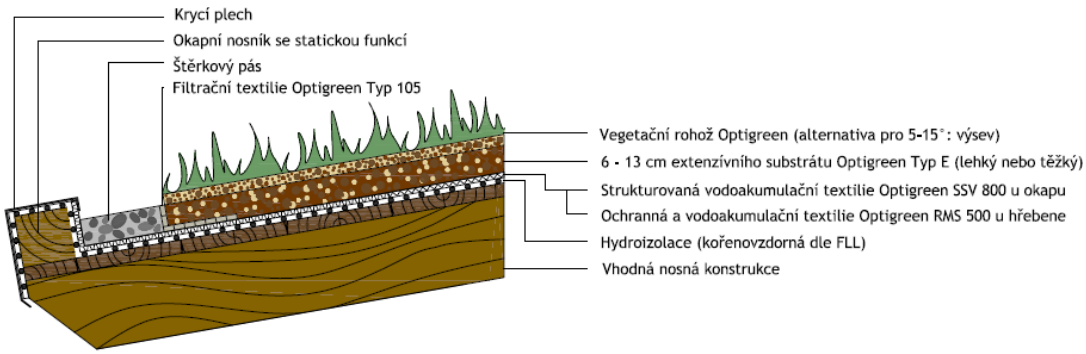
V oblasti průmyslu lze srážkovou vodu využít na chlazení v uzavřeném okruhu, mytí motorových vozidel, vysokotlaké čištění, mytí a broušení skla a také na zavlažování zelených ploch v areálech, čištění stok a odmořování (Bursík, 2010).

Dalším specifickým prvkem v oblasti hospodaření se srážkovými vodami jsou 'zelené' střechy. Jsou realizovatelné na plochých či mírně skloněných střechách. Hlavním přínosem je začlenění stavby přímo do životního prostředí. Zelené střechy jsou pak přírodě blízkým prvkem plnícím řadu důležitých funkcí (Šálek & kol., 2008). Důležitými funkcemi zelených střech jsou: poutání značné části dešťových srážek, filtrace srážkové vody, zpomalení odtoku dešťové vody, zachycení nečistot a umožňují i další využívání jako je například účel rekreační a estetický u velkých ploch střech na obchodně komerčních budovách (Šálek & kol., 2008).

Obrázek č. 9: Příklad zelené střechy pro osvětové a vzdělávací účely

Zdroj: (Safeharbor, 2014)

Zelené střechy jsou tvořeny vegetační (krycí) vrstvou s rostlinami na půdním substrátu, dále pak vrstvou drenáže z vhodného filtračního materiálu, který je nad speciálně vytvarovanou fólii s plastu, která má vylisované komůrky sloužící k zachycení vody. Vegetační vrstva je separační vrstvou oddělena od hydroizolace a tepelné izolace a také od nosné konstrukce (Šálek & kol., 2008).



Obrázek č. 10: Systémové řešení zelené střechy se sklonem 15°

Zdroj: (Optigrün, 2008)

4.6 Vymezení pojmů

srážkové vody, odtok, vsakování, koeficient vsaku, bezpečnostní přeliv, znečištění vody.

Dodnes není v platných zákonech a nařízeních mezi těmito pojmy přesně vytýčená hranice. Proto někdy nejsou přesně a jasně pochopeny. Například v zákonu o územním plánování č. 183/2006 Sb. v § 103 odst. 1 písm. b) je použit obrat "dešťové vody". Ale z kontextu je patrné, že myšleny jsou srážkové vody a protože se jedná o jejich odvádění, tak zřejmě o vody povrchové, vzniklé ze srážkových vod.

Srážková voda - žádným právním předpisem definovaný, ale běžně používaný technický termín. Lze ji definovat jako vodu ve všech skupenstvích, dokud není ve styku žádnou částí svého momentálního objemu s povrchem staveb ani se zemským povrchem. V normě ČSN EN 1085 je uvedeno, že "srážkové vody" jsou vody z atmosférických srážek, které dosud neobsahují látky z povrchu. A zákon o vodách č. 254/2001 Sb. v § 2 odst. 1 vymezuje povrchové vody takto: "Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu; tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních". Vyplývá z toho, že srážková voda dopadem na zemský povrch, nebo na povrch staveb, se stává vodou povrchovou. Pokud následně zasákne pod zemský povrch, stane se pak vodou podzemní.

Dešťová voda - též zcela běžně používaný, avšak ne přesně definovaný termín. Dešťová voda je chápána jako ta část srážkových vod, které jsou pouze v jejím kapalném skupenství.

Odtok - odtékání vody po i pod povrchem terénu během procesu oběhu vody v přírodě. Přičemž přirozený odtok je odtok neovlivněný umělým zásahem a naopak ovlivněný odtok je odtok ovlivněný umělým zásahem (ČSN 75 0110, 2010).

Vsakování - proces pronikání a pohyb části spadlých srážek povrchovým porézním prostředím půdního profilu. Srážkové vody jsou v ploše zasáknuty v půdním profilu, neuvažujeme žádnou retenci.

Koeficient vsaku - je koeficient charakterizující rychlost vsakování vody do horninového prostředí ve vsakovacím zařízení za atmosférického tlaku při

hydraulickém sklonu I = 1. Koeficient vsaku se stanoví způsobem, popsaným v ČSN 75 9010, a nelze ho nahradit koeficientem hydraulické vodivosti ani součinitelem infiltrace (TNV 75 9011, 2013).

Bezpečnostní přeliv - je v normě TNV 75 9011 uveden jako: Součást vodohospodářských zařízení a objektů, která umožňuje bezpečné převést vodu při větší než návrhové srážce, nebo při poruše objektu.

Znečištění vody - lze definovat takto: voda je znečištěna, je-li složení vody změněno v důsledku přímé nebo nepřímé činnosti člověka tak, že je méně vhodná pro některé nebo všechny účely, pro které je vhodná voda v přirozeném stavu.

4.7 Poplatky za odvod srážkových vod

Relevantním zákonem pro tuto oblast je zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích. Tento zákon definuje, § 12, odst. 1 že: *Kanalizace musí být navrženy tak, aby negativně neovlivňovaly životní prostředí…* a dále*… Současně musí být zajištěno, aby bylo omezováno znečišťování recipientů způsobované dešťovými přívaly.* Zde je nutné podotknout, že tento zákon se nevztahuje na oddílné kanalizace sloužící k odvádění povrchových vod vzniklých odtokem srážkových vod.

Dále jsou v zákoně zakotveny informace týkající se zpoplatnění odvádění srážkových vod. V textu zákona o vodovodech a kanalizacích se rozlišuje odpadní a srážková voda, ale systém placení za odvádění odpadních vod je stanoven pouze pro vypouštění srážkových vod do jednotné kanalizační sítě.

V systému zpoplatnění jsou dle § 20, odst. 6 osvobozeny od povinnosti platit za odvádění srážkových vod do kanalizace: *…plochy silnic, dálnic, místních komunikací a účelových komunikací veřejně přístupných, plochy drah celostátních a regionálních…* a dále*… zoologické zahrady a plochy nemovitostí určených k trvalému bydlení a domácnosti.* Je zřejmé, že na velké většině pozemků není žádná motivace pro aplikace hospodaření se srážkovými vodami.

Vyhláška 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích je stanovuje způsob výpočtu platby pro pozemky nespadající do této výjimky. Povinnost platit mají všichni majitelé nemovitostí, ve kterých je prováděna podnikatelská činnost.

Výpočet výše platby je součinem plochy nemovitosti, koeficientu odtoku, hodnoty dlouhodobého úhrnu srážek v lokalitě a ceny stočného. Není-li množství

srážkových vod, odváděných do jednotné kanalizace přímo přípojkou nebo přes uliční vpusť měřeno, vypočte se toto množství způsobem, který stanoví prováděcí předpis. Pokud odběratel vodu dodanou vodovodem zčásti spotřebuje (např. pro výrobu) bez vypuštění do kanalizace a toto množství je prokazatelně větší než 30 m^3 za rok, zjistí se množství vypouštěné odpadní vody do kanalizace buď měřením, nebo odborným výpočtem podle technických propočtů předložených odběratelem a ověřených provozovatelem. Za předpokladu, že se provozovatel s odběratelem předem nedohodli jinak. Veškeré další podrobnosti k povinnosti platby jsou uvedeny v již zmíněné vyhlášce č. 428/2001 Sb. Ministerstva zemědělství, která je prováděcím předpisem k Zákonu č. 274/2001 Sb. (Hlavínek & kol. 2007).

Pro srovnání v sousedním Německu se zpoplatnění dešťových vod užívaných v domácnosti, z níž se stávají vody odpadní, značně liší:

- stočné za dešťové vody je zcela odpuštěno (např. Freiburg, Diethölztal);
- za znečištěnou dešťovou vodu se platí tentýž poplatek jako za povrchovou dešťovou vodu (např. Bamberg, Oberhausen);
- množství použité dešťové vody se stanoví z rozdílu měření vodoměru instalovaného za čerpadlem užitkové vody a měření vodoměru na potrubí pitné vody, kterým se doplňuje akumulační nádrž dešťových vod za sucha (v domácnosti jsou tedy celkem 3 vodoměry);
- stočné se zvýší paušálně na osobu, zpravidla o cca 8–12 m^3/(osoba.rok) (např. Bad Laer) nebo například o 30 m^3/100 m^2 zpevněných ploch, z nichž je voda akumulována (Hildesheim);
- stočné se zvýší procentuálně na základě vodného o cca 20 % (např. Überlingen, ErdingerMoos, Dresden);

Rozdělením poplatků za znečištěnou (splaškovou) a srážkovou vodu s případným odpuštěním poplatků za dešťovou vodu mají obce možnost finančně podporovat decentralizované vsakování a užívání dešťové vody. V roce 2002 bylo v Německu zavedeno rozdělení poplatků již ve 40 % obcí. Rozdělení poplatků se osvědčilo, protože příkladně v Mnichově ročně ubývá více než 1 % nepropustných ploch napojených na kanalizaci, cca 300 000 m^2 (NLÖ, 2000).

5 Volba technického řešení odvodnění vsakováním. Proveditelnost a přípustnost řešení.

5.1 Výběr mezi vsakováním a retencí

Obecně navrhování optimálního řešení hospodaření se srážkovými vodami řeší projektant v součinnosti s investorem. Zde platí, že srážkové vody se mají přednostně vsakovat, až v případě pokud to není možné, je dalším řešením retence, a teprve v případě, že ani toto nevyhovuje, se srážkové vody se odvedou do kanalizační sítě. Ale při nedostatku vody nebo z důvodu vysoké ceny za vodu v předmětné lokalitě se nabízí možnost využívat srážkovou vodu jako vodu nepitnou. Logicky, v tomto případě, musí být akumulace srážkové vody pro tyto účely předřazena akumulačnímu prostoru retenčního či vsakovacího zařízení. Jen tak lze zabezpečit plnění akumulačního prostoru pro nepitnou vodu při kolísavé intenzitě srážek.

Nejdůležitějšími hledisky (vycházíme-li z normy TNV 75 9011) pro volbu technického řešení a případnou realizaci vhodných vsakovacích, popřípadě retenčních opatření pro likvidaci srážkových vod, jsou:

- geologické podmínky,
- množství srážkových vod,
- velikost odvodňované plochy,
- dostupnost vodního toku nebo kanalizace,
- možnosti retence (prostorové možnosti),
- stavební a technologické možnosti,

Je třeba zdůraznit, že geologické podmínky jsou nejdůležitějším kritériem pro realizaci účelného a funkčního řešení. Z toho vyplývá nutnost provést geologický průzkum, kterým se buď potvrdí, nebo naopak vyvrátí možnost vsakování srážkových vod. Hydraulické vlastnosti zvažované lokality je třeba v rámci geologického průzkumu ověřit sondami či vrty, které jsou v souladu s velikostí a vlastnostmi uvažovaného vsakovacího objektu. Výsledkem je rozhodnutí, zda je vsakování vůbec možné, pokud ne, pak navrhujeme retenční nádrž.

V rámci geologického průzkumu je například posuzována:

- propustnost podloží, která zásadně ovlivňuje velikost vsakovací plochy. Zde platí, že čím je vyšší koeficient vsaku, tím menší může být plocha vsakovacího zařízení;
- jaká je hloubka hladiny podzemní vody a také mocnost nenasycené zóny. Ta určuje míru využitelnosti podloží ke vsakování srážkové vody, směr a rychlost toku podzemní vody;
- sklonitost terénu, na členitém či svažitém terénu je třeba počítat s omezením a je často nemožné povrchové (plošné) vsakování srážkových vod je-li sklon vyšší než 5 %;
- pečlivě se posuzují ochranná pásma vod;
- pro návrh vsakovacích zařízení má také velký význam zástavba území a to jak současná, tak i plánovaná a jeho využití.

Zde je třeba poznamenat, že geologická stavba České republiky není schopna umožnit vsakování srážkových vod ve velkém měřítku. Avšak přes tento fakt, v místech kde je vsakování možné, má být preferovaným způsobem hospodaření s dešťovou vodou (Stránský a kol., 2012). Na výstupu provedeného geologického průzkumu pro vsakování musí být uveden koeficient vsaku k_v. Pro orientační výpočet ještě před provedením geologického průzkumu lze použít údaje z tabulky, ze kterých lze předběžně odhadnout možnost akumulace vody v podzemních vrstvách a rychlost vsaku vody. K odhadu vlastností hornin v zájmovém území poslouží pochůzka po staveništi a rešerše již provedených geologických průzkumů v nejbližším okolí uvažované stavby. Pozornost je vhodné věnovat rozmístění blízkých studní, ověřit hloubku vody v nich a je-li to možné i jejich vydatnost.

Druh zeminy	k_v (m.s^{-1})
jíl	1.10^{-8} a méně
písčitá hlína	1.10^{-6}
ulehlý hlinitý písek	1.10^{-6} až 5.10^{-6}
písky s jílovitými částicemi	1.10^{-6} až 2.10^{-6}
jemný písek a kyprý hlinitý písek	1.10^{-5} až 5.10^{-5}
hrubozrnný písek	1.10^{-4} až 5.10^{-4}
štěrkopísek	2.10^{-4} až 1.10^{-3} i více

Tabulka 3 – Horninové prostředí (zeminy), odhad koeficientu vsaku - upraveno
Zdroj: (konference Sanhyga 2010)

Jsou-li zeminy s koeficientem nižším než 1.10^{-6} $m.s^{-1}$ lze obecně použít pouze vsak s řízeným odtokem. Lze také předběžně uvažovat, že v oblastech s výskytem vrstvy se štěrkopískem, se dá vsakovat neomezeně. To ale platí kromě případů, kdy by zvodnění uložení vrstev štěrkopísku mohlo působit sesuv svahu.

5.2 Vsakování dešťové vody

Neustále přibývá rozsáhlých zpevněných ploch a z toho vyplývá potřeba řešit otázku odvedení dešťových vod. Dříve se srážkové vody přirozeně vsakovaly a doplňovaly deficit vod spodních. V současné době je značná část srážkových vod, odtékajících ze zpevněných ploch, odváděna kanalizačními sběrači do recipientu. Tato voda se nevrátí v daném území do podzemních vod. Infiltrace je také důležitým aspektem pro zemědělské plochy. Nevsákne-li se voda, je častou příčinou vodní eroze. Eroze půdy má souvislost jak s infiltrací, tak s volbou způsobu zpracování půdy, způsobu setí a využití ochranného účinku biomasy rostlin (Hůla & kol., 2010).

Pro vsakování srážkových vod jsou jistá omezení, nelze jej aplikovat v ochranných pásmech vodního zdroje, při vysokých hladinách podzemní vody a také v místech, kde je nepropustné nebo jen málo propustné podloží. Je nepřípustné, aby infiltrace ohrožovala stabilitu stavebních objektů. Problémem pro využití vsakování může být také znečištění srážkových vod. O vhodnosti vsakování pro likvidaci srážkových vod se rozhoduje na základě hydrogeologického průzkumu (Hlavínek & kol., 2007).

V souvislosti se zaváděním decentrálního nakládání se srážkovými vodami, vsakováním na jednotlivých nemovitostech, dochází k přesunu zodpovědnosti a finančních nákladů z veřejné složky na vlastníky nemovitostí. U nových staveb a velkých rekonstrukcí je prosazována povinnost použít vsakování na základě již schválených předpisů (Krejčí & kol., 2002).

Vždy před návrhem systému vsakování je nutný průzkum dané lokality. V rámci základního průzkumu se musí zjistit úroveň extrémní hladiny nejbližšího vodoteče (i s přívalovými srážkami), situování studní a podzemních objektů, které se musí zajistit proti vyplavení vztlakem. Vsakovací zařízení se navrhují tak, aby doba pozdržení srážkové vody nebyla delší než 72 hodin. Podzemní vsakovací zařízení, musí být vždy odvětráváno. Obecně platí, že návrh vsakovacího zařízení má být takový, aby se jednotlivé prvky systému daly čistit a případně snadno obnovit. Při návrhu je nezbytně nutné dodržovat tyto odstupové vzdálenosti:

- 5 m od obytných budov, které nejsou izolované (2 m od izolovaných),
- 3 m od lokálních vegetačních míst (stromy, keře atd.),
- 2 m od hranice pozemku, veřejné komunikace apod.,
- 1,5 m od plynovodu a vodovodu,
- 0,8 m od elektrického vedení,
- 0,5 m od telekomunikačního vedení,
- 1 m odstup od hladiny spodní vody.

Systém se musí také navrhovat na havarijní přítok srážkové vody (vzniká při překročení návrhových srážek), aby nedocházelo k poškozování okolních staveb. Musí být navržen bezpečnostní přepad popř. výron vody na terén otvorem v poklopu nebo mříží. Přepad nebo výron vedeme do nejbližšího vodoteče nebo kanalizace. Zpětná armatura se musí osazovat tam, kde přepadová hrana leží pod hladinou zpětného vzdutí ve stoce, do které je přepadové potrubí odvodněno.

Pokud chceme navrhnout řešení pro konkrétní objekt, zohledňujeme, v jaké lokalitě se objekt nachází, jakým způsobem je ovlivňován okolní zástavbou, jaký je prostor pro návrh, množství srážek v této lokalitě, ale třeba také jaká kvalita srážkové vody (Hlavínek & kol., 2007).

5.3 Možnosti likvidace srážkových vod vzhledem k typu zástavby

Různé typy zástavby umožňují různé varianty hospodaření se srážkovými vodami. Základní rozdíl je v oblasti stávajících staveb a v oblasti novostaveb. Ve stávající zástavbě bývají možnosti značně omezené strukturou obytné oblasti. V této kategorii jsou:

- **centra měst** - v centrech měst je velká plocha zpevnění v souvislosti s vysokou hustotou zástavby (někdy až 100 %). Vsakování dešťových vod je zde velmi malé. Je možné hledat řešení ozeleněním střech, které poté zachycují až 70 % vody, ale je to závislé na ročním období a na vegetačních vrstvách. U starší zástavby je toto řešení značně omezené.

- **obchodní oblasti** – mají silné zastoupení zpevněných ploch (více než 90 %), které znamená značné omezení pro zeleň. V obchodních oblastech je navíc voda znečištěná (automobily) a tak se vyžadují jiné podmínky pro vsakování. Musí se tedy odvádět do kanalizace.

- **městské obytné a smíšené oblasti** - jsou též oblasti s velmi vysokou hustotou zástavby (60 až 80 %). Možnosti pro vsakování vod jsou zde opět značně omezené. Problém jsou vlastnická práva dělící pozemky na různé malé fragmenty.

- **městské obytné oblasti** – tyto oblasti mají stupeň zpevnění od 50 do 80 %. Také zde jsou možnosti řešení poněkud obtížné, ale je-li určitý blok staveb v rukou jednoho vlastníka, je možné využít větší plochy ke vsakování.

- **samostatně stojící rodinné domy** - u samostatně stojících domů se stupeň zpevnění pohybuje blízko 20-ti % a to jsou velice dobré podmínky pro různé druhy vsakovacích zařízení.

Zatímco v oblastech se stávající zástavbou je velké zastoupení zpevněných ploch a nová řešení pro vsakování dešťových vod se jen těžko zavádějí, v oblastech novostaveb lze ihned v počátku aplikovat nová řešení likvidace srážkových vod. V oblastech s novými stavbami lze pracovat s programy preference povrchového odvádění srážkové vody z pozemků, vsakování srážkových vod na pozemcích rodinných domů, využívání různých propustných materiálů pro zpevněné plochy a v parcích používat vsakovací průlehy pro povrchový odtok srážkové vody a také využití jiných technických způsobů podporující infiltraci (Hlavínek & kol., 2007).

5.4 Podklady pro zahájení projektu

Prověřené a tudíž platné podklady jsou nezbytné pro zpracování jakéhokoliv projektu. Každý projekt potřebuje poněkud jiné podklady pro své zpracování. Pro návrh zařízení nakládání se srážkovými vodami rozdělujeme podklady do následujících skupin. Zabýváme se druhem spádové oblasti, pak se zaměřujeme na hydrologické poměry a nakonec také na majetkoprávní poměry (Hlavínek & kol., 2007).

- **Spádové oblasti** - jaké jsou možnosti použití různých zařízení pro nakládání (likvidaci) se srážkovými vodami záleží na typu zástavby. Podklady dělíme na mapové, geologické a hydrogeologické. Mapové podklady určitě zahrnují situační plán, územní plán, plán odvodnění a výškopis. Podklady geologické a hydrogeologické obsahují především informace o struktuře půdy, o její vsakovací schopnosti a o vzdálenostech hladiny podzemní vody. V oblastech, kde je možné očekávat sedání či sesuvy půdy, je naprosto nezbytné přezkoumat vliv vsakování na geologickou stabilitu (Hlavínek & kol., 2007).

- **Hydrologické poměry** - jsou dány průběhem srážek a dalšími vlivy na intenzitu srážek (např. nadmořská výška). Pro určení koeficientu odtoku je třeba zpracovat informace o jednotlivých druzích zpevnění ploch. Dalším podkladem je průzkum jakosti podzemní vody a zjištění koncentrace znečištění dešťové vody (Hlavínek & kol., 2007).

- **Majetkoprávní poměry** - pro jakékoliv práce související s budováním zařízení pro vsakování či retenci, je nutné zjistit přesné hranice pozemků (Hlavínek & kol., 2007).

5.5 Určení množství zachycené srážkové vody

Na množství srážek v dané oblasti, velikosti plochy a koeficientu odtoku závisí množství zachycené srážkové vody Q_d. Tuto skutečnost můžeme vyjádřit pomocí matematického vzorce:

$Q_d = \psi * A * H_n$ [m^3. rok^{-1}] (Hlavínek & kol., 2007)

kde: ψ koeficient odtoku [-]

A plocha povodí [m^2]

H_n množství ročních srážek [$mm.rok^{-1}$]

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	1	1
Střechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše <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 zatravňovacích tvárnic	0,2	0,3	0,4
Komunikace ze vsakovacích tvárnic	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).

Tabulka 4 – Součinitele odtoku srážkových povrchových vod (ψ) - upraveno

Zdroj: (ČSN 75 9010)

5.6 Požadavky na ochranu podzemní vody a půdy

Pokud je koloběh vody v přirozeném stavu, je vsakovací zóna trvalou a spolehlivou ochranou níže ležících horizontů spodní vody. Ochrana je tvořena mnohačetnými fyzikálními, chemickými a biologickými procesy, jež vedou k pozdržení odtoku a látkové přeměně. Procesy jsou značně ovlivněny hydrogeologickými podmínkami a transportními ději. Jednotlivé přírodní pochody jsou různě intenzívní a vzájemně odlišné. Hlavními procesy v překryvném horizontu spodních vod jsou filtrace, adsorpce, iontová výměna, srážení a biologická degradace. Zmíněné procesy jsou intenzivnější v půdní vrstvě (vegetační), než ve vrstvách vsakovacího horizontu. Všechny popsané procesy jsou vzájemně provázány a většinou se přizpůsobují přirozeným změnám okolního prostředí. Špičkovým zatížením myšleno co do množství, tak i znečištění a dlouhodobým přetížením může být tato přizpůsobivost změněna co má nezřídka negativní dopad. Je zřejmé, že vsakováním dešťových vod se na půdním povrchu usazují různé malé částečky a na nich rozličné sorbované látky. A část látek je vnášena dále do půdy v rozsahu od 1 až do 10 cm a poté spolu se vsakovanou vodou rozpuštěné látky zčásti pronikají až do úrovně spodní vody (Hlavínek & kol., 2007).

Z negativních důsledků lze zmínit zejména oslabení přirozených čistících schopností, které v návaznosti vyvolávají změny kvality jak prosakující tak i spodní vody a dochází k uvolnění látek nahromaděných ve vrchní zóně a k jejich přesunu do větší hloubky. Pro minimalizování těchto negativ je nutné vsakovací systém dobře navrhnout, díky čemuž mohou být negativní účinky pomocí technických opatření sníženy na přípustnou úroveň (Hlavínek & kol., 2007).

U vsakovacích objektů pod povrchem je čistící funkce biologicky aktivní půdy principiálně vyloučena. Ohrožení podzemní vody je proto řádově vyšší. Podpovrchové vsakování je vhodné jen když, je dešťový odtok pouze nepatrně znečištěn. Je zřejmé, že více znečištěná dešťová voda musí být před vsakováním v podpovrchových objektech dostatečně ošetřena (předčištěna). U významně hydraulicky a látkově zatížených vsakovacích zařízení se doporučuje kontrola dopadu vsakování srážkových vod na kvalitu půdy a spodní vody (Hlavínek & kol., 2007).

Kromě posuzování znečištění dešťového odtoku, se přípustnost vsakování určuje také na základě zranitelnosti podzemní vody. Ta se stanovuje na základě stavu půdy, čemuž odpovídá horizont A a B. Dále na základě stavu vodou

nasyceného podloží půdní vrstvy, což je horizont C. Požadavky na složení půdního horizontu A a B v souvislosti se vsakováním dešťové vody jsou uvedeny v následující tabulce (Krejčí & kol., 2002).

Horizont A	**Horizont B**			**Složení půdního horizontu**
Mocnost v cm	**pH ($CaCl_2$ - metoda)**	**Obsah humusu v %**	**Mocnost v cm**	
≥ 30	≥ 6,5	≥ 4	≥ 50	**optimální**
≥ 20	≥ 5,5	≥ 2	≥ 35	**průměrné**
≥ 10	≥ 5,5	≥ 2	≥ 20	**nedostatečné**
Při nedosažení minimální hodnoty pro jeden nebo více parametrů (všechny tyto hodnoty musí platit současně) platí složení půdního horizontu jako				**nezpůsobilé**

Tabulka 5 – Požadavky na složení půdního horizontu A a B v souvislosti se vsakováním dešťové vody - upraveno

Zdroj: (Krejčí & kol., 2002)

Zcela zásadní vliv na zranitelnost podzemní vody má horizont C. Záleží na jeho geologickém původu, pórovitosti, propustnosti vody, a také na probíhajících procesech jako je advekce a adsorpce (Krejčí & kol., 2002).

Složení horizontu C	**Charakteristika půdních horizontu A a B**			
	optimální	**průměrné**	**nedostatečné**	**nezpůsobilé**
Zranitelnost podzemní vody				
třída 1	nepatrná	nepatrná	průměrná	vysoká
třída 2	nepatrná	průměrná	značná	vysoká
třída 3	průměrná	značná	značná	velmi vysoká

Tabulka 6 – Celkové posouzení zranitelnosti podzemní vody - upraveno

Zdroj: (Krejčí & kol., 2002)

5.7 Projekční zásady při projektování vsakovacích zařízení

Již projektování a následně při výstavbě a dalším provozu vsakovacích zařízení je nutné dbát všech nařízení vyplývajících ze zákonů na ochranu vod a půdy. Ochranná opatření mimo jiné zahrnují snížení uvolňování látek do srážkových vod při odtoku, snížení vnosu látek na zpevněné plochy, úpravu srážkových vod před jejich vsakováním, dále omezení vsakování odtoků ze znečištěných ploch a podobně. V úvodní fázi plánování vsakovacích zařízení je nutné se ujistit, že v

oblasti hydraulického dosahu nejsou žádné zdroje možného znečištění. Je také nutné doložit, že v prostoru plánovaného opatření se nenachází žádná geologická zátěž s vysokou schopností uvolňovat znečištění. Je třeba i prokázat příslušnými průzkumy či analýzami, že všechny materiály použité na výstavbu vsakovacího zařízení, které přicházejí do styku s průsakovou vodou, negativně neovlivňují průsakovou a spodní vodu. V rámci projektování je třeba se věnovat látkovému zatížení odtoku srážkových vod.

Látkové zatížení odtoků srážkových vod dělíme na primární znečištění deště a druhotné zatížení vznikající v průběhu odtokového procesu (Hlavínek & kol., 2007). Primární znečištění vzniká především reakcemi dešťové vody při průchodu atmosférou, druhotné pak při styku dopadající vody s povrchem, na který dopadá. Povrch, na který dopadne dešťová voda, je tedy důležitým faktorem pro povrchový odtok, a pro zatížení této odváděné vody znečištěním. Volbou materiálů povrchů (zastřešení) lze v urbanizovaném území snížit zatížení odtoku škodlivými látkami.

Důležitá je volba materiálu střech, neboť tím lze ovlivnit koncentraci škodlivých látek. Příkladem je ozeleněná střecha, která může odfiltrovat škodlivé látky, dostávající se ze vzduchu do vody. Voda odtékající ze zelených střech je převážně čistá, někdy s obsahem půdních částeček. Například betonový povrch napomáhá neutralizovat kyselý déšť, ale také může uvolňovat některé zatěžující látky. Třeba azbestocement vylučuje do vody škodlivý lidnan. Materiály, jako měď, zinek a olovo jsou pak zdrojem množství těžkých kovů ve vodě (Hlavínek & kol., 2007).

Střešní krytina, svody	**Potenciál znečištění**
Ozeleněná střecha	Žádný
Sklo	Žádný
Pálená taška	Žádný
Betonová tvárnice	Malý
Umělé materiály	Malý
Asfalty	Střední
Vláknitý beton	Střední
Azbestocement	Vysoký
Měď	Vysoký
Zinek	Vysoký
Olovo	Vysoký

Tabulka 7 – Potenciál znečištění různých střešních materiálů - upraveno
Zdroj: (Bullermann, Wackermann, 2000)

Materiály pro cesty, chodníky, parkové cesty a méně frekventovaná parkoviště by měly být voleny jako propustné (umožňující vsakování), aby množství odváděné vody bylo menší. Hodí se materiály jako rostliny či tráva, štěrk a tráva, zatravňovací tvárnice, dlážděný povrch nebo i třeba asfalt. Všechna porostlá území jsou dobrými filtračními zónami pro znečištěnou dešťovou vodu. Zatravňovací tvárnice zpevní povrch a zároveň mají dobré vsakovací a filtrační vlastnosti a čištění vody probíhá biologickým způsobem. U dlážděných ploch s pískovými spárami je čištění mechanické. Uvedené dvě možnosti mají přidružený čistící efekt, ale naproti tomu asfalt má spíše znečišťující potenciál s ohledem na vyplavující se bitumenové částečky, které ovšem nemají velký zásadní vliv na podzemní vodu (Hlavínek & kol., 2007).

Pokrytí	**Potenciál znečištění**	**Čistící schopnost**
Tráva a rostliny	Žádný	Biologické čištění
Štěrk a tráva	Žádný	Biologické čištění
Zatravňovací tvárnice	Žádný	Biologické čištění
Dlážděný povrch	Žádný	Mechanické čištění
Asfalt	Nízký	Žádná

Tabulka 8 – Znečišťující potenciál a čistící schopnost u materiálů cest a prostranství - upraveno

Zdroj: (Pietsch, Kamith, 1991)

Je třeba zmínit, že u frekventovaných silnic a veřejných parkovišť je množství škodlivých látek výrazně větší než u chodníků a méně užívaných cest. Je tedy vhodné před vsakováním tuto vodu předčistit. Prorostlá, oživená půdní vrstva, kterou necháme vodu protékat, v mnoha případech naprosto postačí. Tam kde to nepostačí, je možné zvolit přírodní čistírnu odpadních vod. V případě frekventovaných dopravních silnic a silně zatížených průmyslových oblastí, je zařazení čistících zařízení nezbytné (Hlavínek & kol. 2007).

Ukazatel látkového znečištění	Zdroj
Nerozpuštěné látky	Zvětraný či poškozený materiál povrchu, opotřebení pneumatik, saze, odpadky
Rostlinné živiny	Suché atmosférické depozice
Olovo	Pneumatiky, olovnatý benzín (je-li používán)
Zinek	Pneumatiky, motorový olej, maziva
Železo	Koroze vozidel a kovových konstrukcí
Měď	Brzdy motorových vozidel, fungicidy
Kadmium	Pneumatiky, insekticidy
Chrom	Povrchy kovů, brzdy vozidel
Nikl	Nafta a benzín, kovové povrchy, asfalt
Mangan	Pohyblivé části motorových vozidel
Titan	Značení na povrchu vozovek
Chloridy, kyanidy, sodík, vápník	Zimní provoz vozovek
Uhlovodíky	Benzin, ztráty oleje, asfalt

Tabulka 9 – Hlavní zdroje látkového znečištění v dešťovém odtoku ulic a silnic - upraveno

Zdroj: (Krejčí & kol., 2002)

5.8 Hydrogeologický průzkum

Hydrogeologický průzkum je nezbytné zajistit v oblastech sedání půdy popřípadě sesuvů půdy následkem eroze, v poddolovaných územích a také v oblastech kde může dojít k výskytu vymývacího efektu. Zkoumá se vliv vsakování na geologickou stabilitu, s ohledem na existenci lokalit se zeminou, která se po nasáknutí stane nestabilní. Zároveň jednou ze základních podmínek pro funkční infiltraci srážkových odtoků je dostačující propustnost půdy a podzemních horninových vrstev. Propustnost půdy, ta se odvíjí od velikosti zrna, zrnitostní křivky, ulehlosti, půdní struktury a teploty vody. Tato veličina se vyjadřuje pomocí koeficientu propustnosti k_f (ATV- DVWK A 138, 2005).

Horniny nesoudržné jsou zpravidla definovány hodnotou koeficientu vsaku od 1.10^{-2} až 1.10^{-10} $m.s^{-1}$. Interval doporučené infiltrace se pohybuje mezi 1.10^{-6} až 1.10^{-3} $m.s^{-1}$, což je třeba prach či prachový jíl nebo střednězrnný písek.

Jsou-li hodnoty nižší než je obecně doporučený interval, mohou se zeminy použít pouze u vsakování s akumulací (retencí) a je třeba návrh doplnit systém pro

odvedení nadměrného množství vod. Doba vzdutí ve vsakovacích zařízeních je poměrně dlouhá a to může spustit v nenasycené zóně anaerobní procesy, které mohou negativně ovlivnit její schopnost zachytit a transformovat znečištění.

Je-li naopak koeficient vyšší než je doporučený interval, pak při malých mocnostech nadloží prosakují srážkové vody rychle až do hladiny spodní vody, a není možné docílit takové doby zdržení, aby bylo provedeno dostatečné přečištění chemickými a biologickými procesy nenasycené zóně. Je třeba upozornit, že je-li zemina dovezená (navážka), má nižší propustnost než podzemní vrstva, a proto je její hodnota koeficientu rozhodující (Hlavínek & kol., 2007).

V daném místě je třeba hydraulické vlastnosti dostatečně prokázat vrty nebo sondami, ty jsou základním nástrojem pro zjištění geologické situace na posuzované lokalitě. Průzkumné sondy jsou strojně (ručně) hloubené podzemní objekty (zpravidla do hloubky 3 m), které popisují parametry nenasycené zóny horninového prostředí.

Obrázek č. 11: Vrtání průzkumné sondy o průměru 150 mm
Zdroj: (autorka, 2015)

Naproti tomu průzkumné vrty, jsou strojně hloubené podzemní objekty (vrtají se do hloubky cca 1 m pod naraženou hladinu podzemní vody), používané při ověřování geologické situace a vsakovacích poměrů v nasycené i nenasycené zóně. Jak vrty, tak sondy mají za úkol simulovat podzemní vsakovací zařízení, například formou vsakovací zkoušky (ČSN 75 9010, 2012).

Důležitá podmínka, kterou zkoumáme při hydrogeologickém průzkumu, je také mocnost vsakovacího prostoru. Ta má zásadně činit nejméně 1 m, tak aby byla zajištěna dostatečná průsaková dráha pro přiváděné odtoky, a vztahuje se na průměrné roční maximum hladiny spodní vody. Při vysokém zatížení srážkového odtoku a velké propustnosti vsakovacího prostoru, by měla být mocnost vsakovacího prostoru co největší. Při neškodných odtocích a nízkém látkovém zatížení je přípustná mocnost vsakovacího prostoru i menší než 1 m. Zde je třeba přihlédnout k faktu, že srážkové odtoky se mohou dostávat přímo do spodních vod již při mocnosti menší než 0,5 m. Je tedy třeba dbát na to, aby nenasycená zóna (důležitá pro proces čištění), zůstala v co největší míře zachována.

5.8.1 Odstup od budov a nemovitostí

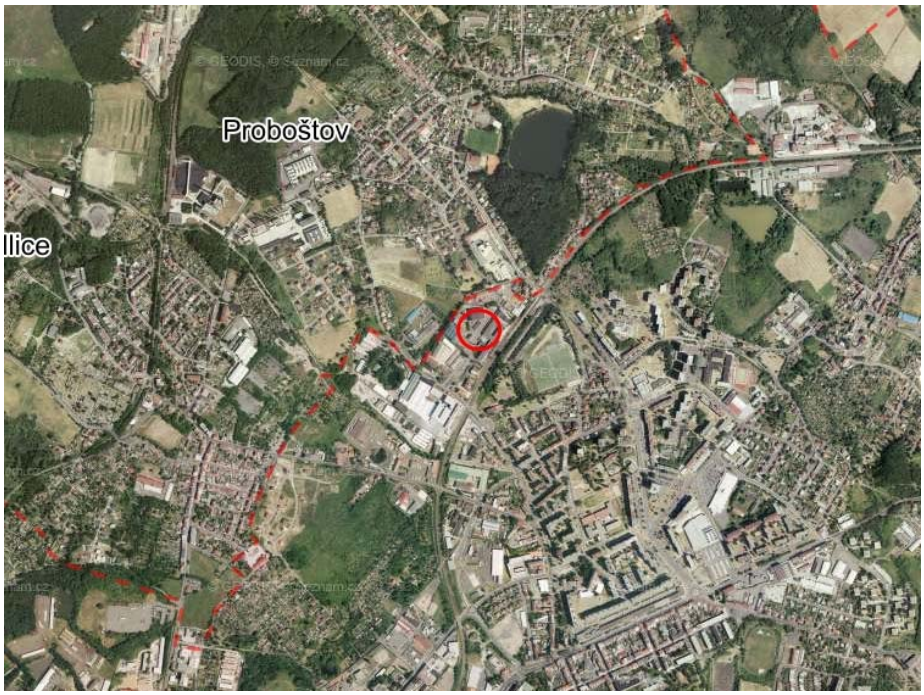
Další důležitou zásadou při návrhu vsakovacích zařízení je odstup od budov a hranic nemovitostí. Jednoznačně, nesmí vsakovací zařízení způsobit újmu na budovách a jiných zařízeních, a proto je třeba udržovat minimální odstupy. Odstupy vycházejí ze způsobu a hloubky podsklepení budovy a z kóty hladiny spodní vody. U podsklepených budov bez izolace proti tlakové vodě, neumisťujeme vsakovací zařízení v prostorech obsypů budovy, ani je neprovádíme ve stavebních jamách budov. U budov s izolací proti tlakové vodě není odstup od budovy nijak významný za předpokladu, že byly dodrženy stavebně technické zásady a postupy (bezpečnost proti vyplavení). Pokud je hladina spodní vody trvale pod úrovní sklepní spáry a tedy není důvod k použití tlakové izolace, měl by být odstup vsakovacího zařízení od paty stavební jámy minimálně 1,5 násobek hloubky stavební jámy. A minimální odstup 0,5 m od horní hrany výkopového svahu k vsakovacímu zařízení zabezpečí, že infiltrovaná voda nepronikne přímo do obsypu bývalé stavební jámy. Co se týká budov bez podsklepení, počítá se místo hloubky stavení jámy s hloubkou základové spáry. Odstup kraje nádrže u zařízení centralizovaného vsakování od stavby musí být větší než průměrná šířka nádrže. Aby nedocházelo k ovlivnění či poškození sousední nemovitosti, je třeba zohlednit druh vsakování a místní hydrogeologické a topografické podmínky (Hlavínek & kol. 2007).

6 Návrh a vyčíslení ekonomické náročnosti řešení vsakování srážkových vod, ve vztahu k lokalizaci subjektu a místním geologickým podmínkám.

6.1 Lokalita A - Teplice

6.1.1 Vymezení území

Zájmové území se nachází na severním okraji městské části Teplice - Trnovany, poblíž průtahu Proboštov - Teplice, po levé straně ulice Zemská. Dané území sousedí s ostatními průmyslovými areály v dané části města. Lokalita spadá do katastrálního území Teplice Trnovany, okres Teplice, kraj Ústecký. Území tvoří k jihu mírně ukloněná zastavěná plošina o nadmořské výšce 243,5 - 239,7 metrů. Pozemky byly i minulosti využívané pro průmyslové účely a jako manipulační plochy. Dle geomorfologického členění ČR leží sledované území v Chabařovické části Chomutovsko-teplické pánve (Czudek, 1972).



Obrázek č. 12: Vymezení zájmového území – průmyslová část Teplic -Trnovany
Zdroj: (MAPY.CZ, 2015a)

6.1.2 Přírodní charakteristika

Pro celou lokalitu je charakteristická poměrně jednoduchá geologická stavba, svrchu tvořená deluviálními, hlinito-jílovitými zeminami (splachy z hypsograficky výše ležících míst), jíly a jílovci nadložního souvrství severočeské hnědouhelné pánve v nadloží. Maximálních mocností dosahuje v mostecké části pánve – kolem 500 m, v okolí Teplic pouze cca 150 m.

Byla provedena rešerše podkladů v archívu geologických zpráv uložených v ČGS Geofondu. Zjištěno bylo, že ve vzdálenosti přibližně do 50 m od zájmové lokality bylo v minulosti provedeno několik vrtů v jistém časovém sledu. Nejstarší vrt V-9 je z roku 1977, poté byly provedeny vrty V-1 a V-2 v roce 1989 a poslední vrt JPP3 je z roku 1991. V témže roce proběhl také inženýrsko-geologický průzkum pro založení přístavby objektu pekárny. Některé výsledky tohoto průzkumu byly využity.

Na základě výsledků průzkumných prací můžeme v zastiženém vrstevním sledu od povrchu dolů vyčlenit následující jednotky ve směru od povrchu do podloží:

- **ornice** – humózní slabě písčitá hlína v mocnosti 0,2 až 0,25 m;
- **podorničí** – slabě humózní písčitá hlína zasahující do hloubky 0,4 až 0,45 m;
- v podloží hlín vystupují svahové, deluviální jíly. Jedná se o zeminy s podílem opracovaných valounků typu o velikosti 1 až 5 cm. Dle archívních laboratorních zkoušek se jedná o zeminy třídy F4 CS až F6 CI, zpravidla do hloubky 1,1 až 1,8 m spíše tuhé konzistence, tj. písčité jíly až jíly se střední plasticitou. Pro tyto materiály je jejich typickou vlastností vysoká rozbřídavost - plasticita, namrzavost, změny objemu vlivem střídavého vysýchání a vlhčení, nízké hodnoty únosnosti při současné ztrátě konzistence;
- dále již vystupují zvětralé jíly nadložního souvrství severočeské hnědouhelné pánve. Jedná se o plastické jíly, svrchu účinky podzemní vody až tuhé konzistence, směrem do hloubky stupeň konzistence rychle narůstá do pevné a od hloubky cca 8 až 10 m přechází až do tvrdé konzistence. Nadložní jíly mají charakter úlomků pevné horniny v jílovité hmotě. Jedná o zeminy tříd F7 MH-ME až F8 CV-CE (hlína až jíl s velmi až extrémně vysokou plasticitou), od přechodu do tvrdé konzistence se jedná o poloskalní horninu třídy R6.

Vzhledem k morfologii území je předpoklad, že celé území je dotováno pouze atmosférickými srážkami, které ve směru gravitace prosakují málo mocnou vrstvou hlín a deluvia na jejich špatně propustné podloží, které je budováno deluviálními zeminami s koeficienty propustnosti v řádu n.10^{-7} až 10^{-8} m/s. Srážkové vody sytí hlíny a dále stékají v jejich povrchové vrstvě směrem po spádu terénu k J až JZ. Prakticky to znamená, že se celá lokalita po srážkách a tání sněhu v povrchové vrstvě do 0,5 m silně zamokřuje – rozbřídá. V obdobích zvýšených srážek tak lze očekávat mělkou zvodeň v hloubce okolo 1 až 1,5 m. Vlastní hladinu podzemní vody tak lze očekávat v hloubkách okolo 9 metrů v jílovcích tvrdé konzistence. Jedná se puklinově propustné prostředí, podzemní voda je vázaná na tenké trhlinky a vrstevní plochy s minimální spojitostí. Tato zvodeň má lokální charakter s minimální statickou zásobou vody, a to s ohledem na stanovenou propustnost v řádu n.10^{-9} m/s.

Odvodnění akumulací podzemních vod se děje přirozenými cestami ve směru spádu nepropustného podloží a dále pak přirozeným odparem. Z výsledků archívních rozboru vody ke stavebním účelům vyplývá, že voda vázaná na tuto zvodeň vykazuje následující vlastnosti:

- agresivita na ocel: IV – velmi vysoká agresivita
- stupeň agresivity prostředí: XA2 – středně agresivní chemické prostředí.

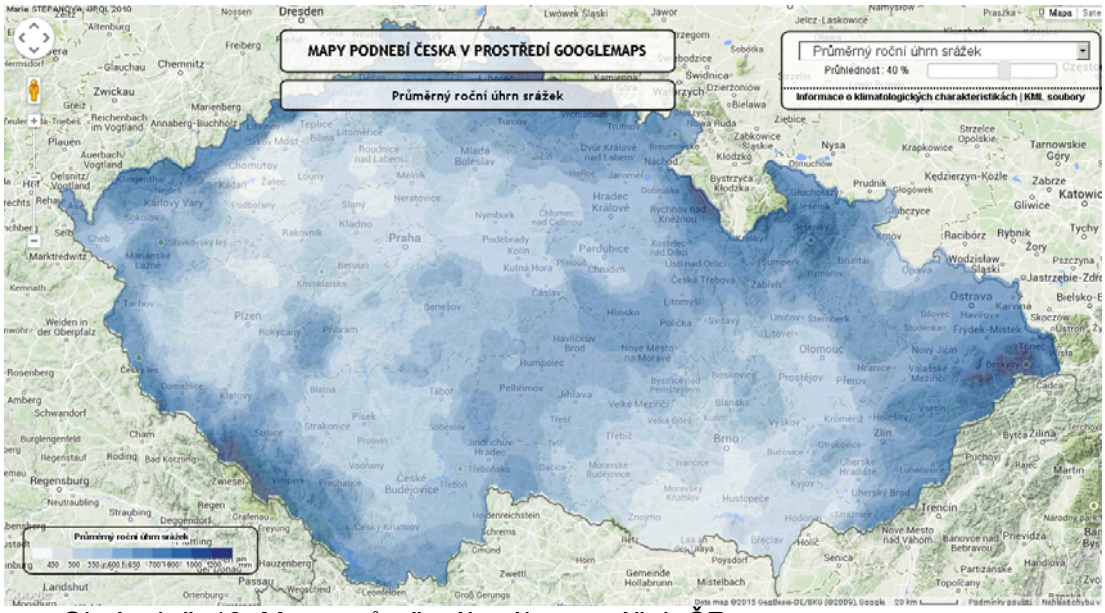
6.1.3 Klima

Část města, kde je zájmová lokalita, se nachází v klimatické oblasti T2, s dlouhým teplým létem, s velmi krátkými přechodovými obdobími a krátkou mírně teplou zimou. Podnebí je značně ovlivněno členitým reliéfem a srážkovým stínem Krušných hor (Quitta, 1971).

Stanice	Nadm. výška m.n.m.	Průměrná teplota °C		Průměrné srážky		Langův faktor	Vegetační doba (dny + 10 °C)	1876-1925		1951-1970	
		roční	IV-IX	roční	IV-IX			°C	mm	°C	mm
Teplice, Trnovany	228	8,6	14,9	531	309	62	168	8,5	528		
Chabařovice	180	(8,6)	-	581	353	68	-	-	-		
Chlumec (UL)	234	(8,3)	-	717	389	86	-	-	-		
Modlany	200	(8,5)	-	559	332	66	-	-	-		

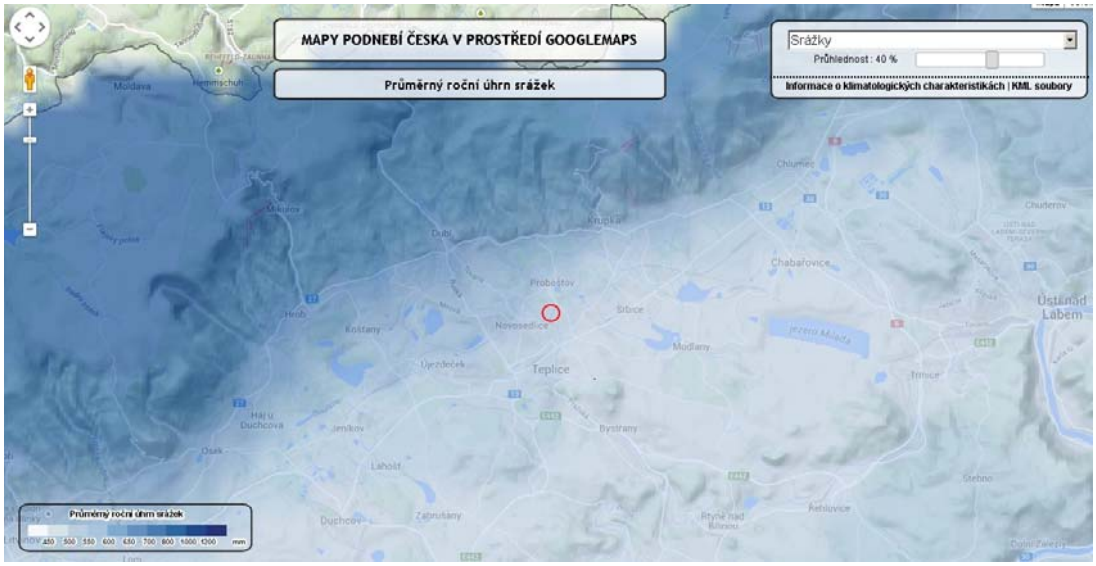
Tabulka 10 – Klimatický charakter území – redukováno, upraveno

Zdroj: (Atlas podnebí ČR, 2007)



Obrázek č. 13: Mapa průměrného úhrnu srážek ČR

Zdroj: (Štěpánová, 2010)



Obrázek č. 14: Mapa průměrného úhrnu srážek – zájmové území

Zdroj: (Štěpánová, 2010)

6.1.4 Posouzení vhodnosti likvidace srážek vsakováním

Z výsledků rozborů vyplývá, že propustnosti zemin ve svrchní části hloubkového spektra tj. do hloubky cca 3 až 4 m, kam lze ještě technicky umístit některá vsakovací zařízení (vsakovací drény, koše, studny) lze charakterizovat (vyjádřeno koeficientem filtrace /propustnosti/ v řádu 10^{-7} až 10^{-9} m/s) jako velmi špatně až nepatrně propustné prostředí. Prakticky to znamená, že horninové

prostředí je schopno absorbovat a transpirovat pouze srážky přímo dopadající, ale již ne další nadlimitní množství. Z výše uvedeného vyplývá, že jakékoliv vsakovací zařízení v ploše objektu v zájmové lokalitě nebude schopné bezpečně zajistit infiltraci výpočtového množství vody do horninového prostředí.

Výše uvedená lokalita je příkladem toho, že přes veškerou snahu investora nelze preferovaný způsob likvidace srážkových vod vsakováním použít a investor je nucen použít pouze dílčí řešení. Zde je také jasně vidět zásadní význam rešerše podkladů z archívu geologických zpráv uložených v ČGS a hydrogeologického průzkumu fyzicky provedeného na zájmové lokalitě.

6.1.5 Návrh reálné alternativy nakládání se srážkovými vodami

I přes nepříznivé hydrogeologické podmínky je záměrem investora byť i částečně řešit stávající způsob nakládání se srážkovými vodami v areálu. Výrobní areál je konglomerátem staré a nové výstavby a různých přístaveb, které vznikaly během více než 100-leté tradice průmyslové činnosti na této lokalitě. Různá doba a různí majitelé znamenaly také různé typy výstavby s rozmanitými prioritami. Současná snaha o řešení nakládání se srážkovými vodami naráží na různá omezení technického charakteru a vysoké ekonomické náročnosti.

Areál je obklopen okolní zástavbou ostatních výrobních podniků. V jediném volném směru na jih je železniční vlečka a za ní železniční trať tahu Chomutov – Ústí nad Labem. Areál zahrnuje hlavní vícepodlažní výrobní budovu s železobetonovým skeletem sousedící s železniční vlečkou, montovanou skladovou halu, samostatnou budovu trafostanice, samostatnou budovu laboratoří a dvě novější výrobní haly. V areálu je také požární nádrž a velmi rozsáhlá plocha dvora s asfaltovým povrchem. V současné době jsou srážkové vody svedeny do jednotné kanalizace. V případech přívalových srážek tato není schopna v krátkém čase srážkové vody odvést a přízemní výrobní prostory hlavní budovy jsou pravidelně zaplavovány.

Prvotní strategií návrhu byla myšlenka řešit likvidaci srážkových vod odděleně pro dvě výrobní haly, kdežto hlavní budovu ponechat zatím stranou těchto záměrů. Důvod pro toto rozhodnutí je zcela pragmatický. Hlavní budova je vícepatrová a velmi rozlehlá s několika úrovněmi střech a vnitřními atrii s komplikovaným řešením okapových svodů. Na jihu přímo souvisí s železniční vlečkou, na východě se skladovou halou a na západě sahá téměř až hranici areálu. Na sever, směrem k

laboratoři je u hlavní budovy rozsáhlá manipulační plocha s asfaltovým povrchem. Tedy technické zařízení s potřebnou kapacitou pro likvidaci srážek z hlavní budovy není v současné době kam umístit.

Obrázek č. 15: Mapa řešeného areálu – popis situace, upraveno, redukováno
Zdroj:(MAPY.CZ, 2015b)

Pro halu č. 1 i halu č. 2 bude realizována podpovrchová akumulační nádrž s přepadem do otevřené požární/retenční nádrže. Z obou akumulačních nádrží se bude zachycená voda využívat pro splachování toalet pro zaměstnance v řešených výrobních halách. Rezerva pro nárůst hladiny v otevřené požární/retenční nádrži je cca 50 cm. Je zde předpoklad, že nádrž má pojmout a zadržet vodu tak aby byla do jednotné kanalizace vypouštěna se zpožděním potřebným k ustoupení kulminačního průtoku po přívalových srážkách. Tím by se mělo, alespoň z části zabránit vyplavování hlavní výrobní budovy.

Otevřená retenční nádrž vznikla úpravou a částečnou rekonstrukcí původní požární nádrže. Tuto funkci retenční nádrž splňuje i dnes. Bezpečnostní přeliv z otevřené retenční nádrže je proveden do kanalizační sítě. Přirozený odpar z venkovní retenční nádrže je bohatě kompenzován ze dvou podpovrchových nádrží u výrobních hal, tedy udržení potřebné hladiny pro požární účely je splněno. V případě

krajního nedostatku srážkové vody je samozřejmě možné požární nádrž doplnit i z vodovodního řadu.

6.1.6 Základní výpočty pro návrh zařízení pro výrobní halu č. 1

Pro umístění zařízení na akumulaci a následné využití srážkových vod byl zvolen pozemek vpravo vedle haly č. 1. Volba byla podložena jednak tím, že je snadné realizovat bezpečnostní přepad do otevřené retenční nádrže, která je po spádu v rozumné vzdálenosti, také proto, že tento pozemek neměl zpevněný povrch – byl zde, a také bude trávník. I dostupnost pro stavební techniku použitou pro realizaci byla určující. Hala č. 1 má půdorys 35 x 45 m a slouží jako lisovna. V lisovně pracuje 12 pracovníků, kteří využívají sociální zařízení v hale. Provoz je dvousměnný, pět dní v týdnu a firma vyhlašuje třítýdenní celozávodní dovolenou.

Vzhledem k uvažovanému využití srážkové vody je třeba ověřit **roční zisk srážkové vody** V_d [l/rok], který se stanoví dle vztahu:

$$V_d = A \,.\, \psi_d \,.\, h_r \,.\, \eta$$

kde je

A	půdorysný průmět plochy střechy [m^2]
ψ_d	součinitel využití srážkové vody
h_r	průměrný roční úhrn srážek [mm]
η	hydraulická účinnost filtru [%]

Pro šikmou střechu s krytinou z vlnitého plechu je $\psi_d = 0{,}8$ a před vstupem do akumulační nádrže je předběžně navržen externí filtr OPTIMAX pro každé svodné dešťové potrubí s účinností = 95 %. Předpokládaný, vypočtený roční zisk srážkové vody V_d činí $1575 \,.\, 0{,}8 \,.\, 531 \,.\, 0{,}95 =$ ***635607 l/rok***

Dalším krokem je určení **denní potřeby srážkové vody** pro využití v budově (v hale č. 1) Qd [l/den] bez potřeby vody pro zalévání nebo kropení. Tato hodnota se stanoví dle:

$$Q_d = n \,.\, q_{WC}$$

kde

n	počet osob
q_{WC}	potřeba vody pro záchody na splachování [l/(osoba.den)]

Jsou uvažována klasická WC s potřebou q_{WC} = 45 l/(osobu.den) a počet zaměstnanců n je 12 (Kopačková, 2011). Denní, vypočtená potřeba srážkové vody Q_d činí $12 . 45 =$ ***540 l/den***. Z toho dále vypočteme **roční potřebu srážkové vody** Qr [l/rok] podle vztahu:

$Q_r = Q_d . d$

kde

Q_d denní potřeba srážkové vody pro využití v budově [l/den]

d počet dnů v roce, kdy se srážková voda využívá

Roční potřeba Q_r činí $540 . 230 =$ ***124200 l/rok***, počet dní d byl určen jako počet pracovních dní za rok, tedy 251 a byla odečtena třítýdenní celozávodní dovolená 21 dní.

Z uvedeného můžeme dovodit posouzení:

Q_r = 124200 l/rok < V_d = 635607 l/rok

Zde platí, že využití dešťové vody v objektu je úplné a systém nebude doplňován pitnou vodou. Smyslem návrhu systému využití dešťové vody je úspora pitné vody a ta je v tomto případe stoprocentní. Případný přebytek zachycené dešťové vody bude využit na udržování stálé hladiny požární nádrže, která je jinak ovlivněna přirozeným odparem a pro umývání firemních automobilů a zalévání zatravněných ploch v areálu.

Na základě předchozích poznatků můžeme stanovit **objem akumulační nádrže**. Objem akumulační nádrže na srážkovou vodu stanovujeme období 3 týdny suchého počasí. Pro stanovení objemu podpovrchové retenční nádrže pro srážkovou vodu V_a [l] použijeme vztah:

$V_a = Q_d . d_1$

kde

Q_d denní potřeba srážkové vody pro využití v budově [l/den]

d_1 počet dnů v průběhu 21 dnů se suchým počasím, kdy se voda používá v budově

Předpokládaný, vypočtený objem podpovrchové retenční nádrže pro srážkovou vodu V_a činí $540 . 15 =$ ***8100 l***, počet dní d_1 byl určen jako počet pracovních dní za 21 dnů suchého počasí. Navržena je akumulační nádrž z kvalitního plastu (PE)

Columbus-XL o objemu V = 10 m^3. Přepad z této akumulační nádrže je uvažován do otevřené retenční nádrže v areálu.

6.1.7 Základní výpočty pro návrh zařízení pro výrobní halu č. 2

Zde byl pro umístění zařízení na akumulaci a následné využití srážkových vod byl zvolen pozemek za halou č. 2. Také zde se přihlédlo k tomu, aby bylo možné realizovat bezpečnostní přepad do otevřené retenční nádrže, která je po spádu a k tomu, že tento pozemek neměl zpevněný povrch – je zde trávník. Dostupnost pro stavební techniku je zcela vyhovující. Výrobní hala č. 2 má půdorys 40 x 55 m a slouží také jako lisovna. Zde v lisovně pracuje 18 pracovníků, kteří využívají sociální zařízení ve výrobní hale. Provoz je opět dvousměnný, pět dní v týdnu a firma vyhlašuje třítýdenní celozávodní dovolenou.

Vzhledem k uvažovanému využití srážkové vody je třeba ověřit **roční zisk srážkové vody** V_d [l/rok], který se stanoví dle vztahu:

$$V_d = A \,.\, \psi_d \,.\, h_r \,.\, \eta$$

kde je

A půdorysný průmět plochy střechy [m^2]

ψ_d součinitel využití srážkové vody

h_r průměrný roční úhrn srážek [mm]

η hydraulická účinnost filtru [%]

Pro šikmou střechu s krytinou z vlnitého plechu je $\psi_d = 0{,}8$ a před vstupem do akumulační nádrže je předběžně navržen externí filtr OPTIMAX pro každé svodné dešťové potrubí s účinností = 95 %. Předpokládaný, vypočtený roční zisk srážkové vody V_d činí $2200 \,.\, 0{,}8 \,.\, 531 \,.\, 0{,}95 =$ ***887832 l / rok***

Dalším krokem je určení **denní potřeby srážkové vody** pro využití v budově (v hale č. 2) Qd [l/den] bez potřeby vody pro zalévání nebo kropení. Tato hodnota se stanoví dle:

$$Q_d = n \,.\, q_{WC}$$

kde

n počet osob

q_{WC} potřeba vody pro záchody na splachování [l/(osoba.den)]

Jsou uvažována klasická WC s potřebou q_{WC} = 45 l/(osobu.den) a počet zaměstnanců n je 18 (Kopačková, 2011). Denní spočtená potřeba srážkové vody Q_d činí $18 . 45 =$ ***810 l/den***. Z toho dále vypočteme **roční potřebu srážkové vody** Qr [l/rok] podle vztahu:

$Q_r = Q_d . d$

kde

Q_d denní potřeba srážkové vody pro využití v budově [l/den]

d počet dnů v roce, kdy se srážková voda využívá

Roční potřeba Q_r činí $810 . 230 =$ ***186300 l/rok***, počet dní d byl určen jako počet pracovních dní za rok, tedy 251 a byla odečtena třítýdenní celozávodní dovolená 21 dní.

Z uvedeného můžeme dovodit posouzení:

Q_r = 186300 l/rok < V_d = 887832 l/rok

Zde platí, že využití dešťové vody v objektu je úplné a systém nebude doplňován pitnou vodou. Smyslem návrhu systému využití dešťové vody je úspora pitné vody a ta je v tomto případe stoprocentní. Případný přebytek zachycené dešťové vody bude využit na udržování stálé hladiny požární nádrže, která je jinak ovlivněna přirozeným odparem a pro umývání firemních automobilů a zalévání zatravněných ploch v areálu.

Na základě předchozích poznatků můžeme stanovit **objem akumulační nádrže**. Objem akumulační nádrže na srážkovou vodu stanovujeme období 3 týdny suchého počasí. Pro stanovení objemu podpovrchové retenční nádrže pro srážkovou vodu V_a [l] použijeme vztah:

$V_a = Q_d . d_1$

kde

Q_d denní potřeba srážkové vody pro využití v budově [l/den]

d_1 počet dnů v průběhu 21 dnů se suchým počasím, kdy se voda používá v budově

Předpokládaný, vypočtený objem podpovrchové retenční nádrže pro srážkovou vodu V_a činí $810 . 15 =$ ***12150 l***, počet dní d_1 byl určen jako počet pracovních dní za 21 dnů suchého počasí. Navržena je akumulační nádrž z kvalitního plastu (PE)

Columbus-XL o objemu V = 16 m^3. Přepad z této akumulační nádrže je uvažován do otevřené retenční nádrže v areálu.

Otevřená požární / retenční nádrž má půdorys 12 x 36 m. Rezerva pro zvýšení hladiny je minimálně 45 cm. Je tedy zřejmé, že krátkodobě je schopná tato nádrž pojmout velmi solidních 200 m^3. Je předpoklad, že většinu přívalových srážek tato nádrž pojme a pozdrží a tím bude vyplavování hlavní výrobní budovy eliminováno. Zkusme tento předpoklad ověřit:

Redukovaný půdorysný průmět **odvodňované plochy** střechy obou hal A_{red} [m^2] se stanoví podle vztahu:

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

kde je

A_i půdorysný průmět plochy určitého druhu [m^2]

ψ_i součinitel odtoku srážkových povrchových vod pro odvodňovanou plochu určitého druhu

n počet odvodňovaných ploch určitého druhu

Pro šikmou střechu s krytinou z vlnitého plechu je $\psi_i = 0,8$. Předpokládaná (vypočtená) hodnota A_{red} činí $(1575 . 0,8) + (2200 . 0,8) =$ ***3020 m²***.

Následuje výpočet **retenčního objemu**. Retenční objem V_{vz} [m^3] se stanoví podle vztahu:

$$V_{vz} = (h_d / 1000) . A_{red} – (1/f) . k_v . A_{vsak} . t_c . 60$$

kde je:

h_d návrhový úhrn srážek s dobou trvání t_c a periodicitou 0,2 [mm]

A_{red} redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy [m^2]

f součinitel bezpečnosti vsaku (f = 1)

k_v koeficient vsaku ($5,3.10^{-8}$ $m.s^{-1}$)

A_{vsak} vsakovat zde nelze (1 m^2)

t_c doba trvání srážky určité periodicity [min]

Vzhledem k poloze místa stavby se výpočet provede pro nejbližší měřící stanici, kterou uvádí ve své příloze A norma ČSN 75 9010. Tou je stanice číslo 7, ve Mšeně. Výpočet byl proveden pomocí tabulky sestavené v Excelu pro všechny

návrhové úhrny srážek s dobou trvání 5 minut až 72 hodin (4320 minut). Výpočet retenčního objemu je uveden v tabulce č. 11. Podle uvedených výpočtů je určen minimální retenční objem V_{vz} = 170 m^3.

Stanice č. 7 Mšeno - 352 m n. m.		
Doba trvání srážky t_c (min)	Návrhové úhrny srážek h_d (mm)	Retenční objem vsakovacího zařízení V_{vz}(m^3)
5	10,90	32,9180
10	14,90	44,9980
15	17,40	52,5480
20	19,10	57,6819
30	21,40	64,6279
40	23,20	70,0639
60	25,60	77,3118
120	29,70	89,6936
240	33,80	102,0753
360	36,30	109,6249
480	38,00	114,7586
600	39,00	117,7782
720	39,60	119,5898
1080	41,40	125,0248
1440	42,20	127,4397
2880	52,30	157,9374
4320	56,40	170,3150

Tabulka 11 – Výpočet retenčního objemu požární nádrže

Zdroj: (autorka, 2015)

Z tabulky je zřejmé, že pro dané návrhové úhrny srážek a uvažovanou plochu střech obou výrobních hal je retenční kapacita požární nádrže dostačující a požární nádrž svou retenční úlohu plnit skutečně bude.

6.1.8 Návrh řešení likvidace srážkových vod pro lokalitu A - Teplice

U obou zájmových objektů v dané lokalitě je použit stejný systém nakládání se srážkovými vodami, rozdíl je pouze v dimenzování. V obou případech je voda ze střechy haly zavedena přes podzemní filtrační šachty do akumulačních nádrží Columbus XL popřípadě XXL. Tato zachycená voda je poté v obou výrobních halách využívána pro splachování WC v sociálních zařízeních.

Protože plocha střech je velká a zároveň je třeba řešit zdržení srážkové vody při intenzivních deštích, která způsobuje pravidelné vyplavování hlavní budovy areálu,

byly přepady z akumulačních nádrží zavedeny do otevřené požární/retenční nádrže a poté do jednotné kanalizace.

Obrázek č. 16: Příklad vsakovacího zařízení u průmyslového objektu
Zdroj: (GRAF, 2014)

Výpočtem bylo ověřeno, že retenční schopnost požární nádrže cca 200 m^3 je pro návrhové úhrny srážek v dané lokalitě vyhovující. Tato nádrž navíc zajistí i tolik potřebné zdržení kulminace srážkových vod. Toto zdržení by mělo postačovat na uklidnění kulminačních průtoků v daném segmentu kanalizační sítě po intenzívních srážkách a bezpečné odvedení srážkových vod z obou výrobních hal bez nebezpečí vzdutí hladiny a vyplavení hlavní výrobní budovy.

6.1.9 Ekonomická rozvaha

Pro základní orientaci je uveden seznam stavebních prvků a materiálu, se kterým se uvažuje při realizaci. Všechny náklady na investici jsou počítány bez DPH a nezapočítáváme náklady na dopravu a náklady potřebné na realizaci svodů. Uvedený předpoklad realizačních nákladů představuje jednorázový výdaj s životností nejméně 50 let. Je třeba zmínit i náklady provozní, i když nejsou nikterak extrémní. Jedná se především o náklady na elektrickou energii pro provoz čerpadel UV, která přečerpávají vodu z akumulačních nádrží do budovy.

Položka, materiál, činnost	obj. číslo	počet	mj	cena/mj	cena celkem
Columbus XXL 16000 l	380001	1	ks	120670,00	120670,00
Columbus XXL 10000 l	370006	1	ks	62830,00	62830,00
Columbus, PE poklop	371010	2	ks	2870,00	5740,00
Columbus, sada klidného nátoku	330140	2	ks	1420,00	2840,00
Columbus, přepadový sifon	330108	2	ks	2260,00	4520,00
Podzemní filtrační šachta	340020	4	ks	8000,00	32000,00
Plovoucí sání se zpětnou klapkou, filtr, hadice 3 m	333017	2	ks	1650,00	3300,00
Tlaková nádoba 8 l	331610	2	ks	550,00	1100,00
Filtr 10" za čerpadlo, max. průtok 100 l/min	131615	2	ks	530,00	1060,00
Čerpadlo ESSENTIAL	202040	2	ks	16250,00	32500,00
Trubka KGEM 110x5000		4	ks	312,20	1248,80
Koleno KGB 110/87°		8	ks	34,40	275,20
Trubka KGEM 160x5000 mm		10	ks	597,60	5976,00
Koleno KGB 160/87°		8	ks	88,20	705,60
Odbočka KGEA160/160/45°		4	ks	88,20	352,80
Oblázkový štěrk, frakce 8-16 mm		20	m^3	810,00	16200,00
Ruční výkopy rýh 80 x 30 cm		65	bm	220,00	14300,00
Zaměření, výkopové práce a převoz zeminy		50	m^3	950,00	47500,00
CELKEM					**353118,40**

Tabulka 12 – Výpočet nákladů na realizaci zařízení v lokalitě A - Teplice
Zdroj: (autorka, 2015)

Vlastník je povinen mít vypracovaný provozní řád zařízení kde bude mimo jiné uvedena pravidelnou kontrola a údržba v minimálním rozsahu. Dá se předpokládat, že bude určeno: nejméně 2 x za rok po každém velkém dešti kontrola stavu celého retenčního prostoru, pokud ji jeho konstrukce umožňuje, čištění usazovacího prostoru filtru splavenin.

6.2 Lokalita B - Lovosice

6.2.1 Vymezení území

Zájmové území se nachází na jihovýchodním okraji průmyslového areálu Lovosice, po levé straně silnice I/15 Most - Litoměřice, ulice Terezínská. Dané území sousedí s ostatními průmyslovými areály v dané lokalitě, která spadá do katastrálního území Lovosice, okres Litoměřice, kraj Ústecký. Území tvoří k západu jen velmi mírně ukloněná plošina o nadmořské výšce 147,19 - 146,54 metrů. Pozemky nebyly v minulosti zemědělsky využívané, byl zde trávní porost s minimálním náletem křovin. Dle geomorfologického členění ČR leží sledované území v Terezínské kotlině na severním okraji Dolnooharské tabule (Czudek, 1972).

Obrázek č. 17: Vymezení zájmového území – průmyslový areál Lovosice
Zdroj: (MAPY.CZ, 2015c)

6.2.2 Přírodní charakteristika

Z hlediska likvidace srážkových vod do vod podzemních je důležité prostředí vázané na štěrkovitopísčité terasové sedimenty. V zájmové lokalitě jsou přítomny v přímém podloží lokality a dokumentovány s jistotou od hloubky 1,7 m níže. Jak je dokumentováno archivními vrtanými sondami 10143 a 9532 je hladina podzemní vody za normálních hydrologických stavů v hloubce větší než 5 m pod terénem. Podklady vycházejí z rešerše v archívu geologických zpráv uložených v ČGS Geofondu. Kvartérní štěrkopísčitá terasa je na zájmové lokalitě v úzké hydraulické spojitosti s povrchovou vodou v řece Labe. Pro ověření detailu geologické stavby objednal investor provedení průzkumných vrtů. Průzkumné vrty prokázaly ustálenou hladinu podzemní vody v obou vrtech zjištěna v hloubce 1,8 m (při zvýšeném stavu řeky Labe 428 cm na vodočtu v Ústí nad Labem). Směr proudění mělkých podzemních vod je severozápadní, v tomto směru nejsou v blízkosti lokality vsakování dokumentovány žádné domovní studny nebo jiné jímací objekty podzemních vod.

Detailní geologické poměry lokality byly ověřeny dvěma průzkumnými vrty o hloubce 4 m, které byly provedeny pro účely vsakovacích zkoušek. Na základě

výsledků průzkumných prací můžeme v zastiženém vrstevním sledu od povrchu dolů vyčlenit následující jednotky ve směru od povrchu do podloží:

- **ornice** – humózní slabě písčitá hlína v mocnosti 0,2 až 0,3 m;
- **podorničí** – slabě humózní tmavě hnědá hlína, tuhá až pevná zasahující do hloubky 0,3 až 1,3 m;
- v podloží hlín vystupují svahové, deluviální jíly, dle archívních laboratorních zkoušek se jedná o zeminy třídy F4 CS, zpravidla do hloubky 1,3 až 1,7 m spíše tuhé konzistence, tj. písčité jíly až jíly se střední plasticitou;
- dále již vystupují štěrkovitopísčité terasové sedimenty. Písek střednozrnný, dobře vytříděný, šedý, s příměsí valounků křemene do velikosti 1 - 5 cm, cca 15 %.

Z hydrogeologického hlediska jsou poměry staveniště a jeho okolí jsou výrazně ovlivněny nejen geologickou stavbou, ale i morfologií širšího okolí. V průběhu provádění vlastních průzkumných prací byla sledována hladina podzemní vody. Hladina podzemní vody byla zastižena v hloubce kolem 2 m. Ustálenou hladinu lze očekávat v hloubkách okolo 1,8 metrů (při zvýšeném stavu řeky Labe 428 cm na vodočtu v Ústí nad Labem).

Je předpoklad, že celé území je dotováno pouze atmosférickými srážkami, které ve směru gravitace prosakují vrstvou hlín na propustné podloží, které je budováno štěrkovitopísčitými terasovými sedimenty s koeficienty propustnosti v řádu $n.10^{-4}$ až 10^{-5} m/s. Odvodnění akumulací podzemních vod se děje přirozenými cestami ve směru spádu a dále pak přirozeným odparem.

Podzemní vody kvartérních fluviálních sedimentů lze na základě archívních údajů klasifikovat jako kalcium-bikarbonát-sulfátové. Voda je většinou neutrální s mírně zásaditou reakcí se střední až mírně zvýšenou mineralizací. Z hlediska agresivity podzemních vod na betonové konstrukce se podzemní vody vyznačují nízkou a střední agresivitou na betonové konstrukce stupně *la* podle ČSN 73 1215 vlivem mírně zvýšeného obsahu síranů a částečně i agresivního CO_2. Chemické působení vody podle ČSN EN 206-1 je ze stejného důvodu na stupni XA1.

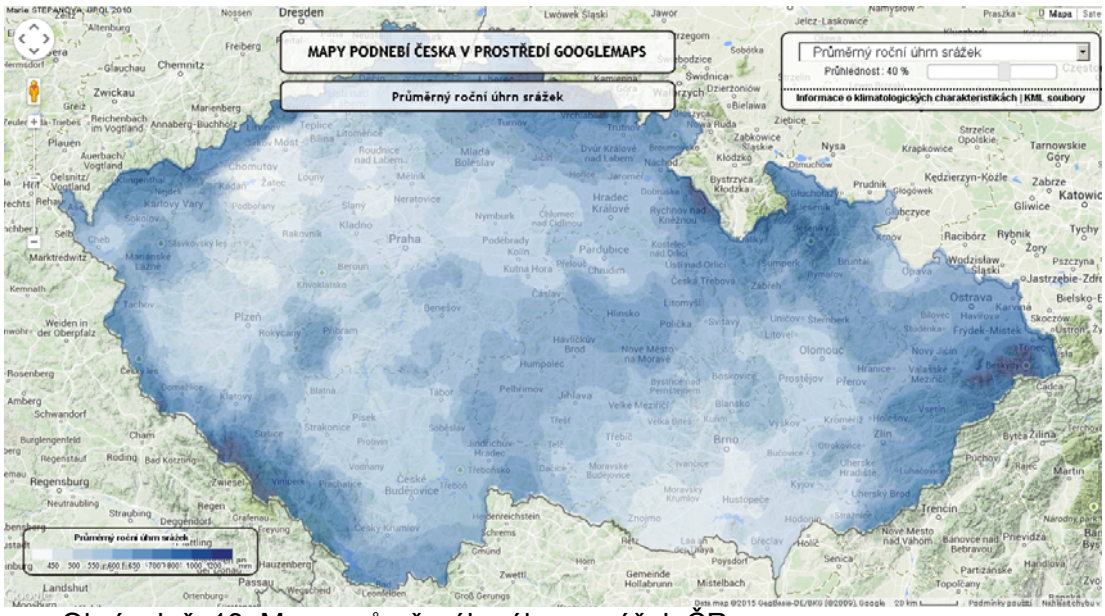
6.2.3 Klima

Podle Atlasu podnebí ČR spadá území do teplé oblasti k okrsku T1, charakter je stručně vyjádřen v následující tabulce a obrázcích.

Stanice	Nadm. výška m.n.m.	Průměrná teplota °C		Průměrné srážky		Langův faktor	Vegetační doba (dny + 10 °C)	1876-1925		1951-1970	
		roční	IV-IX	roční	IV-IX			°C	mm	°C	mm
Litoměřice	172	8,5	14,8	473	307	56	167	8,4	481	-	-
Úštěk, Habřina	280	8,4	14,1	564	351	67	-	-	-	-	-
Milešov	348	8,3	13,9	557	342	67	131	-	-	-	-
Doksany	158	8,5	14,8	456	302	55	167	-	-	8,3	459

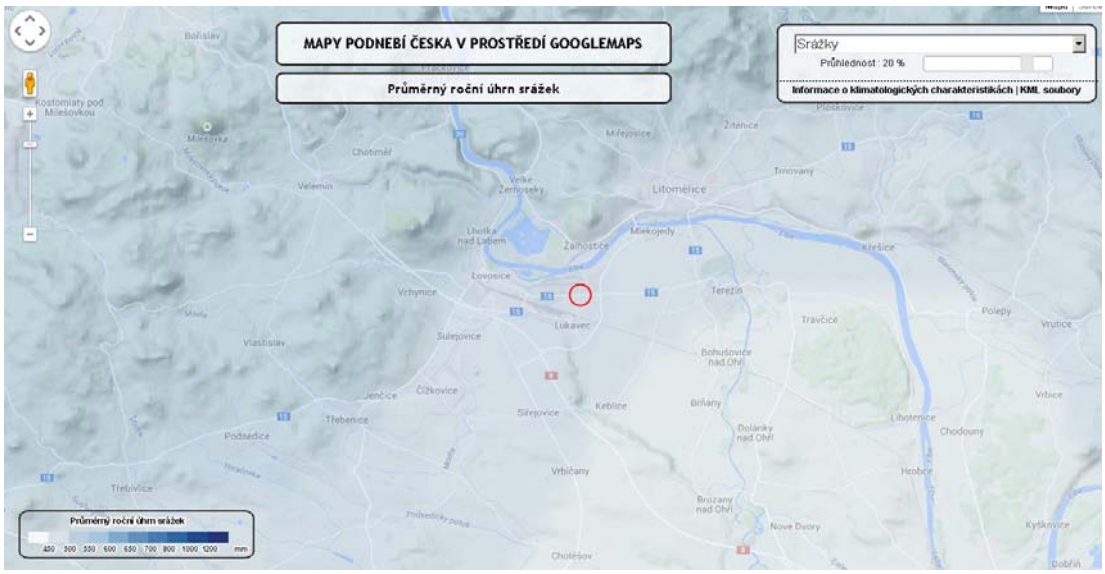
Tabulka 13 – Klimatický charakter území – redukováno, upraveno

Zdroj: (Atlas podnebí ČR, 2007)



Obrázek č. 18: Mapa průměrného úhrnu srážek ČR

Zdroj: (Štěpánová, 2010)



Obrázek č. 19: Mapa průměrného úhrnu srážek – zájmové území

Zdroj: (Štěpánová, 2010)

6.2.4 Posouzení vhodnosti likvidace srážek vsakováním

Z výsledků rozborů vyplývá, že Kvartérní kolektor zastoupený písčito-štěrkovitými terasovými sedimenty a holocénními písčito-hlinitými zeminami se vyznačuje typickou průlinovou propustností. V blízkosti vodoteče a tedy téměř v celém zájmovém území je voda v těsné souvislosti s úrovní hladiny v Labi, kterým je za nízkých stavů drénována a za vyšších vodních stavů probíhá její dotace do kolektoru. Všeobecně se tento kolektor vyznačuje velmi dobrou propustností až v řádech koeficientu filtrace n.10^{-3} až 10^{-4} m/s, která se snižuje v prostředí s vyšším podílem jemnozrnné frakce až k řádu 10^{-5} m/s . Propustnost zemin je tedy nejvyšší při bázi sedimentace a směrem do nadloží klesá v závislosti na zrnitostním složení materiálů.

Na průzkumných vrtech HZ-1 a HZ-2 byly provedeny čerpací zkoušky pro účely zjištění koeficientu vsaku a návrhu optimální hloubky umístění vsakovacích prvků. Zjištění koeficientu vsaku (k_v), který charakterizuje rychlost infiltrace do horninového prostředí ve vsakovacím zařízení, je definován jako poměr přítoku do vsakovacího objektu/zkušební vsakovací plocha. Charakterizuje vsakovací schopnost horninového prostředí dané lokality. Výsledky čerpacích zkoušek jsou následující:

Vrt HZ-1:

poloměr vrtu	$r = 0,11\ m$
výška sledovaného kolektoru	$v = 1,7\ m$
vsakovací plocha	$A_{zk} = 2\pi\ .\ r\ .\ v = 1,174\ m^2$
čerpaný objem	$V_p\ .\ \pi\ .\ r^2 = 0,0085\ m^3$
časový interval	$\Delta t = 14\ s$
čerpaný objem vody	$Q_{zk} = (V_p\ .\ \pi\ .\ r^2) / \Delta t = 6,06\ .\ 10^{-4}\ m^3/s$

$k_v = Q_{zk} / A_{zk} = \mathbf{5,17\ .\ 10^{-4}\ m.s^{-1}}$

Vrt HZ-2:

poloměr vrtu	$r = 0,11\ m$
výška sledovaného kolektoru	$v = 1,7\ m$
vsakovací plocha	$A_{zk} = 2\pi\ .\ r\ .\ v = 1,174\ m^2$
čerpaný objem	$V_p\ .\ \pi\ .\ r^2 = 0,0085\ m^3$
časový interval	$\Delta t = 13\ s$
čerpaný objem vody	$Q_{zk} = (V_p\ .\ \pi\ .\ r^2) / \Delta t = 6,54\ .\ 10^{-4}\ m^3/s$

$k_v = Q_{zk} / A_{zk} = \mathbf{5,57\ .\ 10^{-4}\ m.s^{-1}}$

Je tedy zřejmé, že v zájmovém území lze očekávat ve spodní části kvartérní sedimentace velmi vysoké hodnoty propustnosti v souvislosti s hrubozrnným charakterem materiálů.

6.2.5 Základní výpočty pro návrh vsakovacího zařízení

Z hlediska jakosti srážkových vod jsou vody z předmětného záměru řazeny do kategorie podmínečně přípustných vod, tj. vod, které jsou sváděny ze střechy skladové haly (na dřevěné palety) o redukované odvodňované ploše přesahující 200 m^2 a manipulační plochy z betonových stavebních panelů. Podmínečně přípustné srážkové vody je dovoleno vsakovat pouze za předpokladu aplikace vhodného fyzikálního způsobu předčištění, a to podle druhu znečištění a typu vsakovacího zařízení.

Odvodňovaná plocha je v dané lokalitě definována jako střecha montované skladové haly na uskladnění dřevěných palet o půdorysu 48 x 16 m a přidružená pevněná manipulační betonová plocha o půdorysu 65 x 46 m. Redukovaný půdorysný průmět **odvodňované plochy** A_{red} [m^2] se stanoví podle vztahu:

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

kde je

A_i půdorysný průmět plochy určitého druhu [m^2]

ψ_i součinitel odtoku srážkových povrchových vod pro odvodňovanou plochu určitého druhu

n počet odvodňovaných ploch určitého druhu

Pro šikmou střechu s krytinou z vlnitého plechu je $\psi_i = 1$ a pro nesvažitou betonovou plochu ze stavebních panelů je $\psi_i = 0{,}6$. Předpokládaná (vypočtená) hodnota A_{red} činí $(768 \,.\, 1) + (2990 \,.\, 0{,}6) = \mathbf{2562\ m^2}$.

Dalším krokem je stanovení **vsakovací plochy** vsakovacího zařízení, A_{vsak} [m^2] se stanoví podle vztahu:

$$A_{vsak} = L \,.\, (h_{vz} / 2 + b)$$

kde je:

L délka podzemního prostoru [m]

b šířka podzemního prostoru [m]

h_{vz} výška propustných stěn [m]

Předpokládaná hodnota vsakovací plochy A_{vsak} činí $8 \,.\, (1{,}32 / 2 + 4) = \mathbf{37{,}28\ m^2}$.

Následuje výpočet **retenčního objemu** vsakovacího zařízení. Retenční objem V_{vz} [m^3] se stanoví podle vztahu:

$$V_{vz} = (h_d / 1000) \,.\, A_{red} - (1/f) \,.\, k_v \,.\, A_{vsak} \,.\, t_c \,.\, 60$$

kde je:

h_d	návrhový úhrn srážek s dobou trvání t_c a periodicitou 0,2 [mm]
A_{red}	redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy [m^2]
f	součinitel bezpečnosti vsaku (f ≥ 2)
k_v	koeficient vsaku [m.s^{-1}]
A_{vsak}	vsakovací plocha vsakovacího zařízení [m^2]
t_c	doba trvání srážky určité periodicity [min]

Vzhledem k poloze místa stavby se výpočet provede pro nejbližší měřící stanici, kterou uvádí ve své příloze A norma ČSN 75 9010. Tou je stanice číslo 7, ve Mšeně. Výpočet byl proveden pomocí tabulky sestavené v Excelu pro všechny návrhové úhrny srážek s dobou trvání 5 minut až 72 hodin (4320 minut). Výpočet retenčního objemu vsakovacího zařízení je uveden v tabulce č. 14. Podle uvedených výpočtů je určen minimální vypočtený retenční objem vsakovacího zařízení V_{vz} = 37 m^3.

Doba trvání srážky t_c (min)	Návrhové úhrny srážek h_d (mm)	Retenční objem vsakovacího zařízení V_{vz}(m^3)
5	10,90	24,9229
10	14,90	32,1680
15	17,40	35,5701
20	19,10	36,9226
30	21,40	36,8094
40	23,20	35,4152
60	25,60	29,5524
120	29,70	4,0217
240	33,80	-57,5438
360	36,30	-123,2085
480	38,00	-190,9228
600	39,00	-260,4305
720	39,60	-330,9630
1080	41,40	-542,5605
1440	42,20	-756,7200
2880	52,30	-1595,6801
4320	56,40	-2450,0123

A_{red}	2562	m^2
A_{vsak}	37,28	m^2
f	2	
k_v	0,000537	$m.s^{-1}$

Tabulka 14 – Výpočet retenčního objemu vsakovacího zařízení

Zdroj: (autorka, 2015)

Doba prázdnění vsakovacího zařízení nemá přesáhnout 72 hodin. **Doba prázdnění** vsakovacího zařízení T_{pr} [s] se stanoví podle vztahu:

$T_{pr} = V_{vz} / Q_{vsak}$

kde je:

V_{vz} retenční objem vsakovacího zařízení [m^3]

Q_{vsak} vsakovaný odtok [m^3/s]

Vsakovaný odtok Q_{vsak} [m^3/s] je závislý na vsakovací ploše a koeficientu vsaku, stanoví se podle vztahu:

$Q_{vsak} = (1 / f) . k_v . A_{vsak}$

kde je:

f součinitel bezpečnosti vsaku (f ≥ 2)

k_v koeficient vsaku [$m.s^{-1}$]

A_{vsak} vsakovací plocha vsakovacího zařízení [m^2]

$Q_{vsak} = (1 / 2) . 0,000537 . 37,28 =$ ***0,01001 m^3/s***

Doba prázdnění vsakovacího zařízení T_{pr} [s] se stanoví podle vztahu:

$T_{pr} = V_{vz} / Q_{vsak}$

$T_{pr} = 37 / 0,01001 = 3696\ s$ = ***cca 1 hodina.***

6.2.6 Návrh řešení likvidace srážkových vod pro lokalitu B - Lovosice

V okolí řešené lokality nevede kanalizace, do které by bylo reálné srážkové vody vypouštět, vypouštění do vodoteče nebo do silničního příkopu poblíž s odvodněním do vodoteče rovněž není technicky schůdné. Na základě zhodnocení výsledků provedeného hydrogeologického průzkumu byla zvolena likvidace srážkových vod jejich vsakováním do horninového prostředí tvořeným kvartérními terasovými střednozrnnými písky s příměsí štěrků v hloubce 1,7 – 4 m pod terénem.

Navrhovaným vypouštěním srážkových vod do vod podzemních nebudou ohroženy žádné zdroje pitné vody ani stavby v blízkém okolí.

S ohledem ke geologickým podmínkám a způsobu využití dané lokality bylo zvoleno provedení vsakování srážkových vod do vod podzemních prostřednictvím vsakovacích bloků Garantia EcoBloc o celkovém využitelném objemu 40 m^3. Tomu odpovídá 200 ks těl bloků a 50 základen, uspořádaných ve 4 vrstvách po 50-ti blocích. Vsakovací bloky jsou osazeny odvětrávacími hlavicemi. Před vsakovacím zařízením je předřazena podzemní filtrační šachta DN 400. (GRAF, 2012)

Dno výkopu přesahuje půdorys vsakovacího objektu o 500 mm na každé straně. Hloubka výkopu je v souladu s počtem vrstev modulů vsakovacího bloku a na plánovaných výškách napojení a výškách šachet. Dno výkopu je umístěné 3 m pod úroveň terénu. Na dně výkopu je štěrkové lože (oblázkový štěrk frakce 8/16 mm) o tloušťce nejméně 250 mm upravené do roviny sloužící jako základ pro položení dna vsakovacího bloku.

Obrázek č. 20: Příklad vsakovacího zařízení u průmyslového objektu
Zdroj: (GRAF, 2014)

Půdorysné rozměry štěrkového drenážního lože v případě použití vsakovacích bloků Garantia EcoBloc činí 5 x 9 m, výška 0,25 m. Na štěrkové lože je položena geotextilie vytvářející ochrannou vrstvu pro vsakovací objekt EcoBloc a bránící pronikání nečistot dovnitř. Geotextilii (300 g/m^2) je třeba chránit před poškozením.

Geotextilie se položí v pásech na podkladní vrstvu. Přesah jednotlivých pásů je minimálně 200 mm. Po sestavení vsakovacích bloků budou tyto také obaleny geotextilií, která bude sloužit jako separační prvek mezi bloky a okolním půdním prostředím. Jako obsyp a zásyp je použit stejný materiál jako na štěrkové lože, tedy oblázkový štěrk frakce 8/16 mm. Čistá kapacita takto dimenzovaného vsakovacího zařízení (200 bloků Garantia EcoBloc + objem štěrkového lože) přesahuje s využitelným akumulačním objemem 95 % hodnotu 45 m^3 což je zcela dostačující.

6.2.7 Ekonomická rozvaha

Pro základní orientaci je uveden seznam stavebních prvků a materiálu, se kterým se uvažuje při realizaci. Všechny náklady na investici jsou počítány bez DPH a nezapočítáváme náklady na dopravu a náklady potřebné na realizaci svodů.

Položka, materiál, činnost	obj. číslo	počet	mj	cena/mj	cena celkem
GARANTIA EcoBloc, tělo bloku	402005	200	ks	1189,00	237800,00
GARANTIA EcoBloc, dno bloku	402006	50	ks	434,00	21700,00
GARANTIA EcoBloc, zakončení bloku (2ks)	402002	20	ks	289,00	5780,00
GARANTIA EcoBloc, spojky pro horizontální spojení	402026	680	ks	29,00	19720,00
GARANTIA EcoBloc, odvětrávací hlavice DN 100	665703	4	ks	229,00	916,00
Filtrační geotextílie 300 g/m^2	369021	155	m^2	25,00	3875,00
Filtrační nátoková šachta	340003	4	ks	4520,00	18080,00
Podzemní filtrační šachta DN 600	340050	1	ks	25400,00	25400,00
trubka KGEM 110x5000		2	ks	312,20	624,40
koleno KGB 110/87°		4	ks	34,40	137,60
trubka KGEM 160x5000 mm		20	ks	597,60	11952,00
koleno KGB 160/87°		8	ks	88,20	705,60
odbočka KGEA160/160/45°		2	ks	88,20	176,40
oblázkový štěrk, frakce 8-16 mm		55	m^3	810,00	44550,00
Ruční výkopy rýh 80 x 30 cm		165	bm	220,00	36300,00
zaměření, výkopové práce a převoz zeminy		140	m^3	950,00	133000,00
CELKEM					**560717,00**

Tabulka 15 – Výpočet nákladů na realizaci vsakovacího zařízení

Zdroj: (autorka, 2015)

Uvedený předpoklad realizačních nákladů představuje jednorázový výdaj s životností nejméně 50 let. Je třeba zmínit i náklady provozní, i když nejsou nikterak extrémní. Vlastník je povinen mít vypracovaný provozní řád vsakovacího zařízení kde bude mimo jiné uvedena pravidelnou kontrola a údržba v minimálním rozsahu. Dá se předpokládat, že bude určeno: nejméně 2 x za rok po každém velkém dešti

kontrola stavu vsakovacího prostoru, pokud ji jeho konstrukce umožňuje, kontrola odvětrání, čištění usazovacího prostoru filtru splavenin, umístěného před vsakovacím zařízením.

7 Zhodnocení ekonomického přínosu navrhovaných řešení včetně posouzení návratnosti jednotlivých variant.

7.1.1 Posouzení návratnosti pro lokalitu A – Teplice

Pro posouzení použijeme model, dle kterého zjistíme finanční rozpočet na období 30-ti let. Pomocí modelu vypočteme roční náklady na pořízení akumulačních nádrží a jejich využívání. Tento model zahrnuje součet celkových nákladů na pořízení a na instalaci akumulačních nádrží. K oběma nádržím přičítáme ještě cenu za další čerpadlo, neb očekávaná životnost čerpadla je zpravidla do 15-ti let - pro zvolené období 30-ti let tedy potřebujeme 2 čerpadla. Také musíme zahrnout cenu elektrické energie potřebné pro provoz čerpadla. Příkon čerpadla je 1,1 kWh a během hodiny přečerpá cca 3,5 m³. Vzhledem k množství spotřebované vody na splachování WC je čerpadlo pro halu č. 1 v provozu 35,5 hod/rok - vypočteno jako podíl spočtené roční potřeby 124,2 m^3 a hodinový výkon čerpadla 3,5 m^3 = 35,5 hod. U haly č. 2 je čerpadlo ročně v provozu 53,2 hod, protože spočtená potřeba vody je 186,3 m^3/3,5 m^3 = 53,2 hod. V roce 2015 je průměrná cena za 1 kWh stanovena na 4,75 Kč (energie123.cz, 2015). U haly č. 1 se za rok zaplatí 4,75 · 35,5 = 168,60 Kč, za 30 let to bude 5 058 Kč. U haly č. 2 budou roční náklady 4,75 · 53,2 = 252,70 Kč, za 30 let tedy přibližně 7 581 Kč.

Finanční rozpočet na 30 let pro zařízení u obou výrobních hal je součtem přímých pořizovacích nákladů, včetně dvou náhradních čerpadel: 385 618 Kč a nákladů na elektrickou energii, tedy + 12 639 Kč = 398 257 Kč, z čehož lze dovodit roční výdaje: 398 257/30 = 13 275 Kč (GRAF, 2012).

Využije-li investor či provozovatel veškerou dešťovou vodu, kterou technickým zařízením zachytil, ušetří na vodném a potažmo i na stočném. Vypočítané celkové množství zachycené a využitelné srážkové vody u obou výrobních hal činí ročně 310,5 m³. Od 1. ledna 2015 je pro danou lokalitu cena vodného 42,78 Kč/m³ a cena stočného 40,72 Kč/m³. Za vodné a stočné tedy ročně ušetří za současných cen: (42,78 + 40,72) · 310,5 = 25 927 Kč (SČVK, 2015).

Celková bilance ročních nákladů na pořízení a provoz obou nádrží je vcelku příznivá: vždyť roční výdaje jsou 13 275 Kč, a pokud od těchto nákladů odečteme

vypočtené ušetřené prostředky za vodné a stočné, tak se dostaneme na částku: 13 275 - 25 927 = -12 652 Kč. Tedy ročně nám vzniká profit a můžeme se pokusit vypočítat návratnost investice. Uvedené zařízení spadá do 5. odpisové třídy s lineárním ročním odpisem 3,4 %. Doba návratnosti a [rok] se stanoví podle vztahu:

$$I = \sum_{1}^{a} (Z_i + O_i)$$

kde je

I pořizovací cena (kapitálový výdaj) [Kč]

a doba návratnosti [rok]

Z_i zisk v i-tém roce [Kč]

O_i odpis v i-tém roce [Kč]

Přímé náklady vycházející z tabulky č. 12 a činí 353 118 Kč. Návratnost je dána tím rokem provozu investice, ve kterém platí uvedená rovnice. Hledané a se zjistí tak, že se kumulativně sčítají roční zisky a odpisy. Rok, ve kterém se kumulativní součet zisku a odpisů rovná investičním nákladům, je rokem návratnosti. V našem případě tak bude po 14-ti letech. Vzhledem k charakteru investice je to přijatelný výsledek.

7.1.2 Posouzení návratnosti pro lokalitu B – Lovosice

I zde jsme pro posouzení použili model, dle kterého zjistíme finanční rozpočet na období 30-ti let a tak vypočteme roční náklady na pořízení vsakovacího zařízení a jeho využívání. Vycházíme ze součtu celkových nákladů pořízení a na instalaci. Také musíme zahrnout náklady nejméně 2 x za rok po každém velkém dešti na kontrolu stavu vsakovacího prostoru, kontrolu odvětrání a čištění usazovacího prostoru filtru splavenin, umístěného před vsakovacím zařízením. Tyto provozní náklady lze odhadem ohodnotit na částku 1 500 Kč ročně a 45 000 Kč za 30 let. Tato částka však představuje prakticky jediný provozní náklad, neboť energetické náklady na provoz vsakovacího zařízení v dané lokalitě nejsou.

Finanční rozpočet na 30 let pro vsakovací zařízení skladové haly a přilehlé plochy je součtem přímých pořizovacích nákladů: 560 717 Kč a nákladů na kontrolu, revize a údržbu, tedy + 45 000 Kč = 605 717 Kč, z čehož lze dovodit roční výdaje: 566 717/30 = 20 190 Kč (GRAF, 2012).

V této lokalitě uvažujeme s odváděním veškeré dešťové vody do vsakovacího zařízení. V okolí nevede kanalizace, do které by bylo reálné srážkové vody

vypouštět, vypouštění do vodoteče nebo do silničního příkopu poblíž s odvodněním do vodoteče rovněž není technicky schůdné. Není zde tedy reálná možnost s čím ekonomické parametry porovnat. Lze pouze naznačit hypotetické náklady na odvádění stejného množství srážkových vod do kanalizace. Cena stočného v dané lokalitě k 1. lednu 2015 je 40,72 Kč/m³. Poplatek za odvádění srážkových vod by se vypočítal vynásobením ročního množství odváděných srážkových vod a cenou stočného, v daném případě:

$$Q = A \,.\, \psi \,.DSU$$

kde je

A půdorysný průmět plochy určitého druhu [m^2]

ψ součinitel odtoku srážkových povrchových vod

DSU dlouhodobý srážkový úhrn [mm]

Pro šikmou střechu s krytinou z vlnitého plechu je $\psi = 1$ a pro nesvažitou betonovou plochu ze stavebních panelů je $\psi = 0{,}6$. Předpokládaná (vypočtená) hodnota Q činí $(768 \,.\, 1) + (2990 \,.\, 0{,}6) \,.\, 473 =$ ***1211826 l = 1212 m^3***.

Výpočet hypotetického ročního poplatku za odvádění dešťových vod do kanalizace 1 212 . 40,72 = 49 353 Kč (SČVK, 2015).

Celková teoreticky porovnatelná bilance ročních nákladů na pořízení a provoz vsakovacího zařízení je příznivá: vždyť roční výdaje jsou 18 890 Kč, a pokud od těchto nákladů odečteme vypočtené ušetřené prostředky za odvádění dešťových vod do kanalizace, tak se dostaneme na částku: 20 190 - 49 353 = -29 163 Kč. Tedy ročně nám vzniká hypotetický profit a můžeme se pokusit vypočítat teoretickou návratnost investice. Uvedené zařízení spadá do 5. odpisové třídy s lineárním ročním odpisem 3,4 %. Doba návratnosti a [rok] se stanoví podle vztahu:

$$I = \sum_{1}^{a} (Z_i + O_i)$$

kde je

I pořizovací cena (kapitálový výdaj) [Kč]

a doba návratnosti [rok]

Z_i zisk v i-tém roce [Kč]

O_i odpis v i-tém roce [Kč]

Přímé náklady vycházející z tabulky č. 15 a činí 560 717 Kč. Návratnost je dána tím rokem provozu investice, ve kterém platí uvedená rovnice. Hledané a se zjistí tak, že se kumulativně sčítají roční zisky a odpisy. Rok, ve kterém se kumulativní součet zisku a odpisů rovná investičním nákladům, je rokem návratnosti. V našem teoretickém příkladu tak bude po 12-ti letech. Vzhledem k charakteru investice by to byl velmi solidní výsledek.

8 DISKUZE

V laické veřejnosti a v obecném povědomí velké většiny obyvatel je stále hospodaření s dešťovými vodami neznámou disciplínou. Nicméně pro odborníky, investory a pracovníky státní správy se již hospodaření s dešťovou vodou stalo tématem, kterému se věnuje mnoho lidí. Důvodem je i skutečnost, že došlo k zakotvení hospodaření s dešťovými vodami v legislativě. Mám na mysli normy (ČSN 75 9010 a TNV 75 9011), kdy první řeší vsakování srážkových povrchových vod a druhá se věnuje hospodaření se srážkovými vodami. U našich sousedů v Německu jsou v problematice hospodaření s dešťovými vodami poněkud dále a realizovali více projektů, protože se touto oblastí zabývají o mnoho let déle.

Klíčovým tématem této bakalářské práce je vsakování srážkových vod. Při návrhu i následné realizaci vsakování má největší a zásadní význam hydrogeologický průzkum a z něj vyplývající posudek, dle kterého se vše dále odvíjí. Rozsah a výstupy hydrogeologického průzkumu jsou stanoveny normou ČSN 75 9010. Posudek zhodnocuje vsakovací poměry a zjišťuje vliv vsakování na geologickou stabilitu (sklon k sesuvu půdy vlivem eroze, v poddolovaných územích a případné účinky vymývání), součinitel vsaku a hladinu podzemní vody. Je jasné, že v každém regionu jsou geologické podmínky rozdílné. V již zmiňovaném Německu převažují o proti České republice štěrkopísky, což obecně naznačuje, že mají dobré podmínky pro vsakování (ČSN 75 9010, 2012; TNV 75 9011, 2012).

Principiálním problémem vsakování je, že ho nelze užít kdekoliv. Je vhodné v místech s propustnými půdami umožňujícími vsakování (průsak). Nesmí se však používat v ochranných pásmech vodního zdroje či v místech s trvale vysokou hladinou podzemní vody a také v místech s málo propustným či nepropustným podložím. Také tvar a poloha pozemku musí být vyhovující. Musí být také zaručena ochrana podzemních vod a blízké zástavby. Základní podmínky pro vsakování jsou definovány normou ČSN 75 9010, ale je důležité respektovat i zákon o ochraně půdy a zákon o ochraně vod (Hlavínek a kol., 2007; ČSN 75 9010, 2012).

Z finančního hlediska jsou obecně vsakovací zařízení levnější, v porovnání nákladů na vsakování s běžnými náklady na odvádění dešťové vody. Zjistíme, že stavební náklady na vsakování dešťové vody jsou obvykle nižší než náklady na stavbu dešťové kanalizace (Hlavínek a kol., 2007).

Dalším dotčeným tématem bakalářské práce je odvádění dešťové vody. V současné době se již preferuje decentralizovaný systém odvádění srážkových vod, řešící odtok srážek v místě jeho vzniku s návratem do přirozeného koloběhu vody. Decentrální řešení srážkového odtoku na pozemcích stavby jsou předmětem normy TNV 75 9011. Dává se přednost systému povrchového odvádění vody, kterými jsou například průlehy povrchové rýhy. Otevřené odvodňovací prvky jsou vždy levnější než klasická dešťová kanalizace, podporují odpařování, snadno se udržují a mají čistící funkci. Je ověřeno, tyto systémy povrchového odvádění vody fungují i v zimním období (Bavorský zemský úřad pro životní prostředí, 2006; Hlavínek a kol., 2007; TNV 75 9011, 2012).

Příklady hospodaření s dešťovými vodami se nejlépe sledují v praxi. V praktické části bakalářské práce jsou popsány dvě konkrétní lokality průmyslových areálů, jedna ve stávající zástavbě a druhá 'na zelené louce'. Kromě popisu situace a potom i řešení v dané lokalitě, bych ráda zmínila ještě jednu oblast srovnání těchto dvou lokalit. Myslím si, že realizace zařízení u nově vznikajících investičních záměrů je v jednom ohledu o mnoho snazší než obdobná realizace ve stávajících objektech v zástavbě. U nového projektu 'na zelené louce' je jasné kdo jej zaplatí, že musí být vyprojektován a zhotoven v souladu se stávající legislativou a v rámci výstavby je i realizace bez větších problémů. U stávajících staveb v tradičních průmyslových areálech je většinou změna způsobu nakládání se srážkovými vodami placena z prostředků údržby, místa pro realizaci je málo či je nevhodně situované a i legislativní direktivnost chybí. Proto se tento projekt mnohem hůře prosazuje a zdůvodňuje a o to více je třeba každou takovou realizaci ocenit, i když mnohdy jde jen o dílčí řešení. Na celkové rekonstrukce, celého 'dešťového hospodářství' lze-li to tak nazvat, prostě prostředky nejsou. I technické obtíže spojené mnohdy s velmi starou zástavbou v tradičních průmyslových areálech vyžadují opravdu velké nasazení při realizaci a efekt je někdy nevýrazný a ne příliš motivující. Jen zmiňuji, protože z uvedených lokalit to přímo nevyplývá, že využívání a vsakování dešťových vod se nevylučuje, naopak spojení těchto způsobů nakládání se srážkovými vodami je nejlepším řešením. Je velmi vhodné dešťovou vodu zadržovat v nádržích na

dešťovou vodu, pak ji dále využívat a přebytečnou vodu z těchto nádrží odvádět do průsaku, například do vsakovacího drénu (Böse, 1999).

Výhodou nádrží na srážkovou vodu jsou nejen ušetřené peníze za vodné, ale sníží se tím i odběr pitné vody. Akumulační nádrže určené ke splachování toalet se dají všeobecně využít u budov institucí, které mají velké plochy střech, z čehož vyplývá potřebné množství zachycené dešťové vody. Šetří se tak nejen za vodné, ale i za stočné. Výhodami vsakovacích zařízení jsou nízké finanční náklady, většinou menší nároky na plochu a snadná údržba. V místech s větším množstvím zachycené dešťové vody je lepší využít vsakovací bloky nebo klece.

Odvádět dešťovou vodu do kanalizace je vhodné pouze v místech, kde není prostor na žádné vsakovací zařízení, ani na vybudování akumulační nádrže na dešťovou vodu. V ostatních případech tuto variantu nelze nedoporučit, jelikož je nehospodárná a je v rozporu s trendy propagujícími trvale udržitelný rozvoj. Odvodem dešťové vody do kanalizace se zvyšují průtoky vody a jsou pak kladeny nároky na větší stoky a větší koryta řek, aby nedocházelo k záplavám. Vybudování dostatečně velkých profilů stok a zvětšení koryt řek je finančně náročné. Proto není tento způsob odvádění dešťových vod vhodný (Krejčí a kol., 2002; Vítek, 2008).

9 ZÁVĚR

Bakalářskou prací byly stanoveny základní cíle, které jsem se snažila postupně plnit. V úvodní části - rešerši, jsem se věnovala problematice hospodaření s dešťovou vodou. Dále jsem popsala základní způsoby odvádění dešťových vod. Na vsakování jsem se poté zaměřila i s ohledem na jeho využití a popsala jsem jednotlivé způsoby vsakování. V praktické části jsem řešila nakládání se srážkovými vodami na dvou konkrétních lokalitách v průmyslových areálech. Vypočítala jsem dostupné množství dešťové vody a vzhledem k daným možnostem a místním podmínkám jsem navrhla způsoby nakládání se srážkovými vodami. V obou lokalitách se nakládá s dešťovou vodou jiným způsobem, jedna vodu využívá a druhá vodu vsakuje. Ke každé z lokalit byly spočítány finanční náklady na jejich pořízení a nastíněna případné návratnost investic. Využívat dešťovou vodu pro splachování toalet či zalévání travnatých ploch je velmi hospodárné a zároveň šetrné k životnímu prostředí.

Hospodaření se srážkovými vodami je stále více atraktivní téma, které kromě základní logiky a zlepšení vztahu k přírodě, má nesporně i jistý ekonomický náboj.

I to myslím důvod proč se zvyšuje počet lidí, kteří mají zájem nějak lépe nakládat s dešťovou vodou (ať už pro účely soukromé zástavby, tak i v průmyslových oblastech), ale stoupá i počet firem zaměřených na hospodaření s dešťovou vodou a s tím se současně zvyšuje nabídka produktů vztahujících se k dané problematice.

Je nutné vyzdvihnout, že s vodou je třeba šetřit. Odváděním srážkových vod do kanalizace se připravujeme o cenný, levný zdroj vody a pak musíme používat pitnou vodu pro účely, kde jistě postačí dešťová voda. To je ekonomický aspekt, ale využíváním dešťové vody pomůžeme i životnímu prostředí. Vsakováním dešťové vody navracíme vodu do jejího přirozeného koloběhu a dochází ke stabilizaci podzemní hladiny vody.

Pitná voda se neustále zdražuje v podobě vodného, ale i stočného. Při navrhování a realizaci nových staveb je vhodné a výhodné již v úvodu projektu řešit zachytávání a využívání dešťové vody, aby se předešlo možným problémům, kdy už nemusí být dostatek prostoru na vybudování nádrží či vsakovacích zařízení.

Legislativní zakotvení problematiky je velkým přínosem do budoucnosti. Jasné stanovení podmínek a postupů v hospodaření s dešťovými vodami se zlepší situace v technické přípravě projektů, ale i povědomí širší veřejnosti. Při promyšleném a profesionálním návrhu a realizaci, může zařízení na nakládání se srážkovými vodami tvořit i významný estetický prvek.

10 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

10.1 Internetové zdroje

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2013: Geologicky dokumentované objekty. Praha, online: http://www.geology.cz/app/gdo/d.php?item=2, cit. 12. 1. 2015

GEOOFFICE, S. R. O., 2010: Úvod do problematiky vsakování vod a sesuvů půdy – výklad základních pojmů v oboru hydrogeologie a svahových deformací. Ostrava, online: http://www.geooffice.cz/userdata/articles/12/01.%20Radim%20Pt-n--ek.pdf, cit. 22. 10. 2014.

GLYNWED S. R. O., 2014: Kalkulátor velikosti nádrže. Vestec, online: http://www.glynwed.cz/galerie/obrazky/image.php?img=13696&x=566&y=309, cit. 15. 10. 2014.

GRAF, 2014: Regenwassernutzung mit Systém. Teningen, DE, online: http://static.graf-online.de/fileadmin/Katalog_R35_Carat.pdf, cit. 23. 2. 2015.

JUNIORSTAV, 2008: Využití databáze DRUV pro návrh vsakovacích zařízení. Brno, online: http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/3/Kubik_Jiri_CL.pdf, cit. 7. 6. 2014.

KOPAČKOVÁ, 2011: Výrazné snížení směrných čísel potřeby vody. Praha, online: http://voda.tzb-info.cz/7546-vyrazne-snizeni-smernych-cisel-potreby-vody, cit. 10. 2. 2015.

MAPY.CZ, 2015a: Základní mapa. Seznam.cz, a. s., Praha, online: http://www.mapy.cz/letecka?x=13.8344479&y=50.6601804&z=14&source=muni&id=2074, cit. 3. 2. 2015.

MAPY.CZ, 2015b: Základní mapa. Seznam.cz, a. s., Praha, online: http://www.mapy.cz/zakladni?x=13.8355735&y=50.6605346&z=16&l=0%20%20source=muni&id=2074,%202015, cit. 3. 2. 2015.

MAPY.CZ, 2015c: Základní mapa. Seznam.cz, a. s., Praha, online: http://www.mapy.cz/letecka?x=14.0896654&y=50.5101789&z=15&source=muni&id=1906, cit. 3. 2. 2015.

MŽP ČR, 2014: Počítáme s vodou - Exkurze do Švýcarska. Praha, online: http://www.pocitamesvodou.cz/wp-content/uploads/2014/03/PSV_SBORNIK_exkurze.pdf, cit. 15. 10. 2014.

OPTIGRÜN INTERNATIONAL AG, 2008: Systémové řešení Optigreen: 'Šikmá střecha'. Znojmo, online: http://www.optigreen.cz/T-img/PDF/1090.pdf, cit. 17. 10. 2014.

SAFEHARBOR, 2014: Coastal Construction-Green Roofs. Provincetown, USA online: http://safeharborenv.com/coastal-construction-considerations/green-roofs/, cit. 14. 10. 2014.

SANHYGA, 2010: Dimenzování vsakovacích zařízení v české republice. Brno, online: http://arch.fsv.cvut.cz/predmety_Mgr/Atelierova_tvorba/ATKS/Kopriva_Knytl/Destova_voda/Destova_voda_6.pdf, cit. 1. 11. 2014.

SČVK A. S., 2015: Cena vodného a stočného. Teplice, online: http://www.scvk.cz/vse-o-vode/ceny-vody/, cit. 15. 3. 2015.

ŠTĚPÁNOVÁ M., 2010: Průměrná roční teplota vzduchu. Topolčany, online: http://gislib.upol.cz/app/stepanova10/map.html?vyber=8,%202015, cit. 3. 2. 2015.

SISPO HOLOVOUSY, 2004: Klimatické regiony ČR (dle Quitt, 1971). Holovousy, online: http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa, cit. 24. 2. 2015

WEBPORTÁL ENERGIE123.CZ, 2011: Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny. ČR, online: http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/, cit. 2. 3. 2015.

10.2 Právní předpisy

ATV-DVWK A 138 Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser. V účinnosti od 1. 4. 2005.

ČSN 75 0110 Vodní hospodářství - Terminologie hydrologie a hydrogeologie. V účinnosti od 1. 5. 2010.

ČSN 75 9010 Vsakovacích zařízení srážkových vod. V účinnosti od 1. 3. 2012.

ČSN EN 1085 Čištění odpadních vod - Slovník. V účinnosti od 1. 10. 2007.

Nařízení vlády č. 416/2010 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. V účinnosti od 14. 12. 2010.

TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. V účinnosti od 1. 3. 2013.

Zákon č. 183/2006 Sb. - o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). V účinnosti od 1. 1. 2007.

Zákon č. 254/2001 Sb. - o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). V účinnosti od 1. 1. 2002.

Zákon č. 274/2001 Sb., - o vodovodech a kanalizacích a související předpisy. V účinnosti od 1. 1. 2002.

10.3 Časopisy, sborníky

ASOCIACE ČISTÍRENSKÝCH EXPERTŮ ČESKÉ REPUBLIKY, 2007: Podklad pro koncepci nakládání s dešťovými vodami v urbanizovaných územích, Ministerstvo zemědělství, Odbor vodohospodářské politiky, Praha

KABELKOVÁ I., STRÁNSKÝ D., BAREŠ V., 2013: TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami, 1. část: Volba způsobu odvodnění a technického řešení. Vodní hospodářství 2013/9: 289 - 294.

KABELKOVÁ I., STRÁNSKÝ D., BAREŠ V., 2013: TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami, 2. část: Přípustný odtok a regulační zařízení. Vodní hospodářství 2013/10: 331 - 333.

KABELKOVÁ I., STRÁNSKÝ D., BAREŠ V., 2013: TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami 3. část: Dimenzování objektů. Vodní hospodářství 2013/10: 383 - 386.

NIEDERSACHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (NLÖ), 2000: Empfehlungen zum umwetgerechten Umgang mit Regenwasser – Regenwassernutzung. Hildesheim: 13s

VÍTEK J., 2008: Odvodňování urbanizovaných území podle principů udržitelného rozvoje. Urbanismus a územní rozvoj 4/2008: 15-26.

STRÁNSKÝ D., KABELKOVÁ I., BAREŠ V., 2012: Nové normy v oboru hospodaření se srážkovými vodami. Městské vody 2012, Sborník přednášek konference s mezinárodní účastí. ARDEC s.r.o., Brno

WALLINDER I., HEDBERG Y., DROMBERG P., 2009: Storm water runoff measurements of copper from a naturally patinated roof and from a parking space. Aspects on environmental fate and chemical speciation. Water Research, 12/2009: 5031-5038.

10.4 Knihy

BAVORSKÝ ZEMSKÝ ÚŘAD PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, 2006: Přírodě blízké odvodnění dopravních ploch v sídlech. Bavorský zemský úřad pro životní prostředí, Mnichov: 40 s.

BÖSE K. H., 1999: Dešťová voda pro zahradu a dům. HEL, Ostrava: 85 s.

BULLERMANN M., WACKERMANN R., 2000: Gesplittete Abwassergebühr - Ökologische Regenwasserbewirtschaftung. Fachhochschulverlag, Frankfurt a. M.: 127 s.

CULEK M., 1995: Biogeografické členění České republiky. Enigma, Lelekovice pod Strážnou: 347 s.

DREISEITL H., GEIGER W., 2009: Neue Wege für das Regenwasser, 3. Auflage. Deutscher Industrieverlag, München: 266 s.

HLAVÍNEK P., MIČÍN J., PRAX P., 2000: Příručka stokování a čištění. NOEL 2000 s.r.o., Brno: 251 s

HLAVÍNEK P., PRAX P., SKLENÁROVÁ T., DVOŘÁKOVÁ D., POLÁŠKOVÁ K., KUBÍK J., HLUŠTÍK P., BERÁNEK J., 2007: Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. ARDEC s. r. o., Brno, 164 s.

KREJČÍ V., HLAVÍNEK P., ZEMAN E., 2002: Odvodnění urbanizovaných území: koncepční přístup. NOEL 2000 s. r. o., Brno: 562 s.

PIETSCH J., KAMITH H., 1991: Stadtböden, Entwicklungen, Belastungen, Bewertung und Planung. Blottner, Taunusstein: 304 s.

QUITT E., 1971: Klimatické oblasti Československa. ACADEMIA, Praha: 73 s

ŠÁLEK J., ŽÁKOVÁ Z., HRNČÍŘ P., 2008: Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. ERA group, Brno: 116 s.

TOLASZ R., 2007: Atlas podnebí Česka. Český Hydrometeorologický Ústav, Praha: 255 s.

10.5 Seznam obrázků a tabulek

Obrázek č. 1 Vodní režim na území s nezpevněnými a zpevněnými plochami
Obrázek č. 2 Modifikovaná jednotná kanalizace
Obrázek č. 3 Modifikovaná oddílná kanalizace
Obrázek č. 4 Objekt plošného vsakování
Obrázek č. 5 Vsakovací průleh s povrchovým přívodem vody
Obrázek č. 6 Vsakovací průleh - rýha s regulovaným odtokem
Obrázek č. 7 Suchá retenční dešťová nádrž
Obrázek č. 8 Spektrum využití vody v domácnosti
Obrázek č. 9 Příklad zelené střechy pro osvětové a vzdělávací účely
Obrázek č. 10 Systémové řešení zelené střechy se sklonem 15°
Obrázek č. 11 Vrtání průzkumné sondy o průměru 150 mm
Obrázek č. 12 Vymezení zájmového území - průmyslová část Teplic - Trnovany
Obrázek č. 13 Mapa průměrného úhrnu srážek ČR
Obrázek č. 14 Mapa průměrného úhrnu srážek - zájmové území
Obrázek č. 15 Mapa řešeného areálu - popis situace, upraveno, redukováno
Obrázek č. 16 Příklad vsakovacího zařízení u průmyslového objektu
Obrázek č. 17 Vymezení zájmového území - průmyslový areál Lovosice
Obrázek č. 18 Mapa průměrného úhrnu srážek ČR
Obrázek č. 19 Mapa průměrného úhrnu srážek - zájmové území
Obrázek č. 20 Příklad vsakovacího zařízení u průmyslového objektu

Tabulka 1 Chemické složení srážek v ČR – průměrné hodnoty koncentrací
Tabulka 2 Průměrné složení atmosférické depozice v Čechách (1994)
Tabulka 3 Horninové prostředí (zeminy), odhad koeficientu vsaku - upraveno
Tabulka 4 Součinitele odtoku srážkových povrchových vod (ψ) - upraveno
Tabulka 5 Požadavky na složení půdního horizontu A a B v souvislosti se vsakováním dešťové vody - upraveno
Tabulka 6 Celkové posouzení zranitelnosti podzemní vody - upraveno
Tabulka 7 Potenciál znečištění různých střešních materiálů - upraveno

Tabulka 8 Znečišťující potenciál a čistící schopnost u materiálů cest a prostranství - upraveno
Tabulka 9 Hlavní zdroje látkového znečištění v dešťovém odtoku ulic a silnic - upraveno
Tabulka 10 Klimatický charakter území - redukováno, upraveno
Tabulka 11 Výpočet retenčního objemu požární nádrže
Tabulka 12 Výpočet nákladů na realizaci zařízení v lokalitě A - Teplice
Tabulka 13 Klimatický charakter území - redukováno, upraveno
Tabulka 14 Výpočet retenčního objemu vsakovacího zařízení
Tabulka 15 Výpočet nákladů na realizaci vsakovacího zařízení