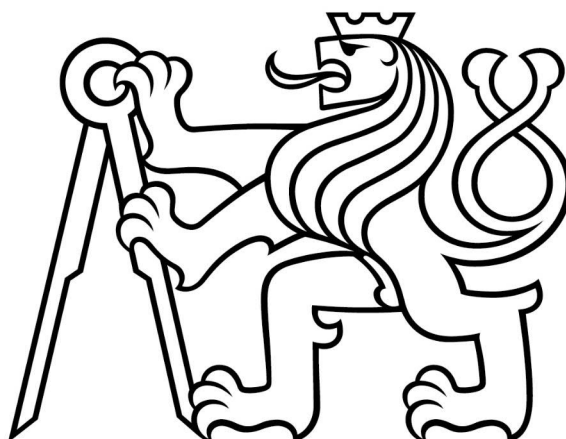


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ



**POTENCIÁL VYUŽITÍ SRÁŽKOVÝCH VOD
VE ŠKODĚ MLADÁ BOLESLAV**

STORMWATER USE POTENTIAL
IN SKODA MLADA BOLESLAV

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Markéta Novotná

2022

Vedoucí práce: doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Novotná Jméno: Markéta, Bc. Osobní číslo: 468323
Zadávací katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Potenciál využití srážkových vod ve Škodě Mladá Boleslav
Název diplomové práce anglicky: Stormwater use potential in Skoda Mlada Boleslav

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce bude obsahovat teoretickou (rešeršní) a praktickou část. V praktické části bude vyhodnocen potenciál současných dešťových retenčních nádrží v areálu Škody Mladá Boleslav pro zadržení vody a její další využití. Na příkladu jedné retenční nádrže bude vytvořena metodika pro její posouzení, proveden výpočet pomocí srážko-odtokového modelu a studovány různé varianty úpravy provozu nádrže.

Seznam doporučené literatury:

Krejčí a kol. Odvodňování urbanizovaných území - Koncepční přístup, NOEL2000, 2002
ENVI-PUR, s.r.o. Metodika hodnocení využívání vody na úrovni podniků, 2021
SWMM User guide, US EPA, 2021

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 24.9.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

24.9.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 2.1.2022

.....

Markéta Novotná

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Davidu Stránskému Ph.D. za výjimečný přístup, cenné rady a věnovaný čas. Dále děkuji paní Ing. Boženě Vesecké a panu Oldřichu Česákovi za poskytnutí podkladů a podrobnějších informací ohledně provozu retenční nádrže ve Škodě Mladá Boleslav.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá hospodařením se srážkovými vodami zejména v průmyslových podnicích. Teoretická část je zaměřena na problematiku srážkových vod, podstatná část z ní je věnována aktuálnímu tématu hospodaření s dešťovými vodami, které je jedním z pilířů decentrálního přístupu odvodnění. Součástí rešerše je pohled na využívání vody v průmyslu a je blíže popsána metodika, která se využívá za cílem snižování spotřeby vody a zefektivňování vodního hospodářství průmyslových podniků. Praktická část této diplomové práce se skládá z tvorby srážko-odtokového modelu zájmové retenční dešťové nádrže ve Škodě Mladá Boleslav v softwaru SWMM (Storm Water Management Model), jeho kalibrace a vyhodnocení variant spočívajících ve zvýšení akumulačního objemu v nádrži prostřednictvím nastavení provozní hladiny čerpadla.

Klíčová slova

dešťová voda, srážková voda, hospodaření s dešťovými vodami, retenční nádrž, srážko-odtokový model, průmysl

Abstract

The diploma thesis deals with stormwater management, especially in industrial companies. The theoretical part is focused on the issue of stormwater, a significant part of it is dedicated to the current topic of stormwater management, which is one of the basics in decentralized approach to drainage. Part of the research is a look at the use of water in industry and description of the methodology used to reduce water consumption and to make water management of industrial enterprises more effective. The practical part of this diploma thesis consists of creating a precipitation-runoff model of the retention stormwater tank in Skoda Mlada Boleslav in SWMM software (Storm Water Management Model), its calibration and evaluation of variations increasing the storage volume in the tank by modifying the operating level of the pump.

Key words

stormwater, stormwater management, retention tank, precipitation-runoff model, industry

Obsah

1	Motivace	8
2	Rešerše	9
2.1	<i>Srážkové vody v kontextu odpadních vod</i>	9
2.1.1	Definice odpadních vod	9
2.1.2	Charakteristika srážkových vod	9
2.1.2.1	Povrchový odtok	9
2.1.2.2	Znečištění srážkových vod	11
2.1.3	Techniky hospodaření se srážkovými vodami	14
2.1.3.1	Vsakování	16
2.1.3.2	Retence a regulované odvádění do povrchových vod/jednotnou kanalizací ..	21
2.2	<i>Voda a průmysl</i>	27
2.2.1	Strategie a opatření průmyslu při narůstajícím tlaku na vodní zdroje	28
2.2.2	Způsoby snížení spotřeby vody v průmyslu	30
2.2.3	Vodní audit	30
2.2.4	Využití srážkových vod v průmyslu	32
3	Cíle práce	33
4	Charakteristika zájmového území	34
4.1	<i>Škoda Mladá Boleslav</i>	34
4.2	<i>Vodní hospodářství Škody Mladá Boleslav – současný stav a výhledové směry</i>	34
4.2.1	Zásobování závodu vodou	34
4.2.2	Systém odvodnění areálu	35
4.2.3	Potenciál využití dešťových vod	38
4.3	<i>Řešená retenční nádrž</i>	39
4.3.1	Charakteristika zájmového povodí	41
5	Metody dosažení cíle	42
5.1	<i>Příprava, vstupní data</i>	42
5.2	<i>Srážko-odtokový model</i>	44
5.2.1	Odvodňované povodí	44
5.2.2	Potrubí a směry odtoku	46
5.2.3	Retenční nádrž a čerpací stanice	47
5.2.4	Čerpání	47
5.2.5	Dešťová data	49
5.2.5.1	Dešťová událost 2.8.2020	50

5.2.5.2	Dešťová událost 28.8.2020	50
5.2.5.3	Dešťová událost 22.6.2021	51
5.3	<i>Kalibrace, verifikace</i>	52
6	Posouzení, interpretace výsledků	60
7	Závěry, diskuse	69
8	Literatura	70
9	Seznam obrázků	74
10	Seznam tabulek	76
11	Seznam příloh	77

1 Motivace

Voda je nenahraditelná tekutina, bez které by neexistoval život. Respektovat koloběh vody a tím udržovat dostatek pitné vody pro všechny by mělo být základním pilířem veškerého hospodaření na světě. Hospodaření s vodou by mělo maximálně respektovat zásady udržitelného rozvoje a nemělo by nadměrně zatěžovat ostatní složky životního prostředí. (1) Aktuální změna klimatu, která přináší např. delší období sucha, nám zdůrazňuje její nepostradatelnost, a naopak častější extrémní srážky nám připomínají její přirozenou sílu.

Lidé (nejen) v Evropě spotřebovávají obrovské množství vody nejen na pití, ale v rámci zemědělství, průmyslu, energetiky, vytápění a chlazení, služeb apod. Dostupné zdroje sladké vody (sladkovodní jezera, řeky a podzemní zdroje) ale nejsou neomezené. Nejen klimatické změny, ale i růst populace nebo šíření znečištění jsou důvody, které podněcují čím dál větší tlak na zásoby kvalitní vody.

Využívání dešťových vod je jednou z možností úspory pitné vody, a to nejen v průmyslových areálech. Nevýhodou dešťových vod z hlediska jejich využívání je nerovnoměrnost srážek, která z tohoto potenciálního zdroje vody dělá zdroj nepříliš spolehlivý a je tak možné dešťové vody v průmyslových podnicích využívat většinou pouze doplňkově nebo je nutnost je před jejich využitím dlouhodoběji akumulovat. Na druhou stranu za využití dešťových vod můžeme s trochou nadsázky považovat i vracení těchto vod do místního koloběhu vody, např. vsakováním nebo využitím na závlahy, čímž můžeme přispět ke zlepšení našeho životního prostředí.

2 Rešerše

2.1 Srážkové vody v kontextu odpadních vod

Vzhledem k tomu, že téma této diplomové práce souvisí s problematikou srážkových vod, bude jí věnována podstatná část rešerše. Srážkové vody kategorizačně spadají ve většině případů pod odpadní vody, proto bude v následujících kapitolách objasněno, v jakých případech toto tvrzení neplatí a dále budou srážkové vody blíže charakterizovány.

2.1.1 Definice odpadních vod

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

„Odvádí-li se odpadní voda a srážková voda společně jednotnou kanalizací, stává se srážková voda vtokem do této kanalizace vodou odpadní.“ (2)

V souvislosti se srážkovými vodami nejsou za odpadní vody podle zákona považovány patřičně předčištěné srážkové vody z pozemních komunikací. *„Odpadními vodami nejsou ani srážkové vody z pozemních komunikací, pokud je znečištění těchto vod závadnými látkami řešeno technickými opatřeními podle vyhlášky, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích“ (dáno vyhláškou č.104/1997 Sb.). (2)*

2.1.2 Charakteristika srážkových vod

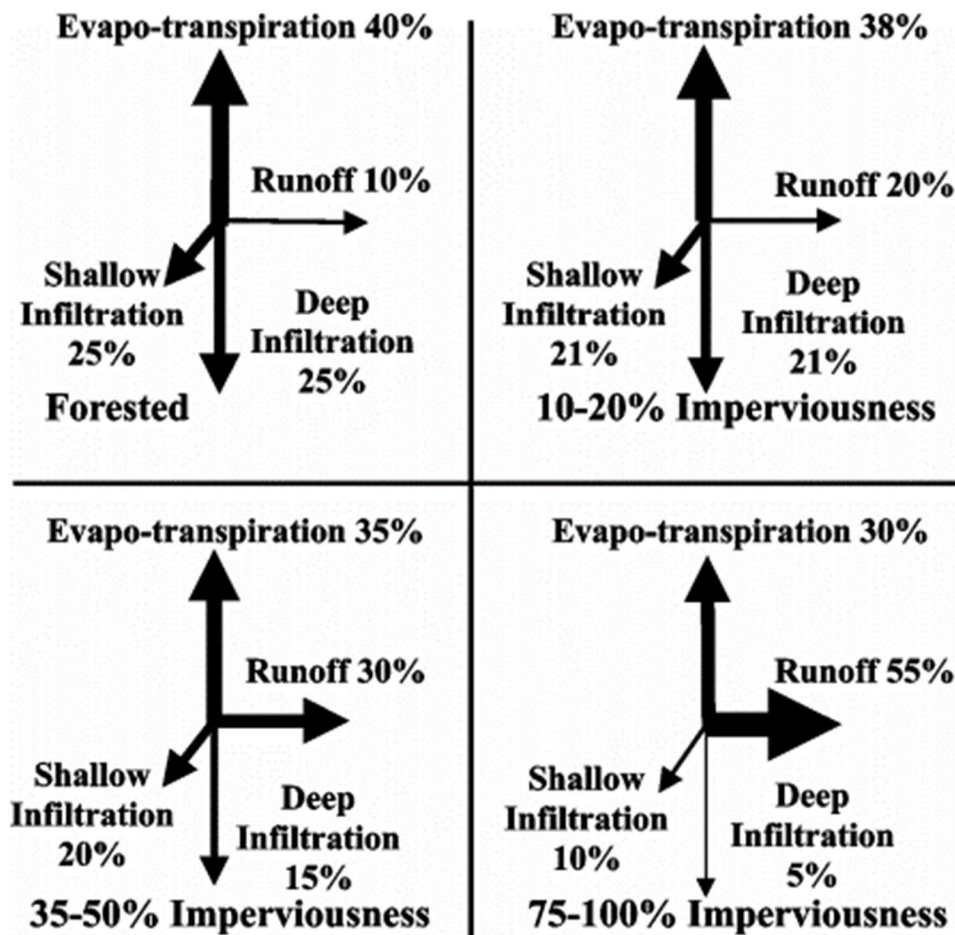
Srážkové vody vznikají z atmosférických srážek, které po dopadu na zemský povrch odtékají směrem do recipientu. Tento jev se nazývá povrchový odtok.

2.1.2.1 Povrchový odtok

Odtok je jednou ze tří složek hydrologické bilance a vyjadřuje množství vody, která odeče za určité časové období z povodí uzávěrovým profilem. Povrchový odtok dělíme na povrchový, podpovrchový a základní odtok. Povrchový odtok unáší vodu po povrchu.

Podpovrchový (hypodermický) odtok odvádí vodu nenasycenou zónou, tj. nad hladinou podzemní vody. Odtok podzemní vody (základní odtok) probíhá v nasycené zóně. Celkovým odtokem z povodí rozumíme součet těchto tří odtoků. Velikost a charakter odtoku jsou závislé na druhu srážek, jejich intenzitě, časovém a plošném rozložení a velikosti a typu plochy, kterou zasáhnou. Poměr mezi jednotlivými složkami hydrologické bilance – výparem, vsakem a odtokem, je mimo jiné velmi ovlivněn antropogenní činností.

Na následujícím obrázku (Obrázek 1) je vidět změnu v rozložení srážek do výparu, vsaku a povrchového odtoku v závislosti na množství nepropustných povrchů v povodí. Vlevo nahoře je původní zalesněná krajina, kde výpar představuje 40 % srážek, vsak 50 % a pouhých 10 % odtéká po povrchu. Další schémata naznačují změny pro povodí s 10-20 %, 35-50 % a 75-100 % nepropustných ploch, kde se výrazně zvyšuje povrchový odtok na úkor vsaku a výparu. (3)

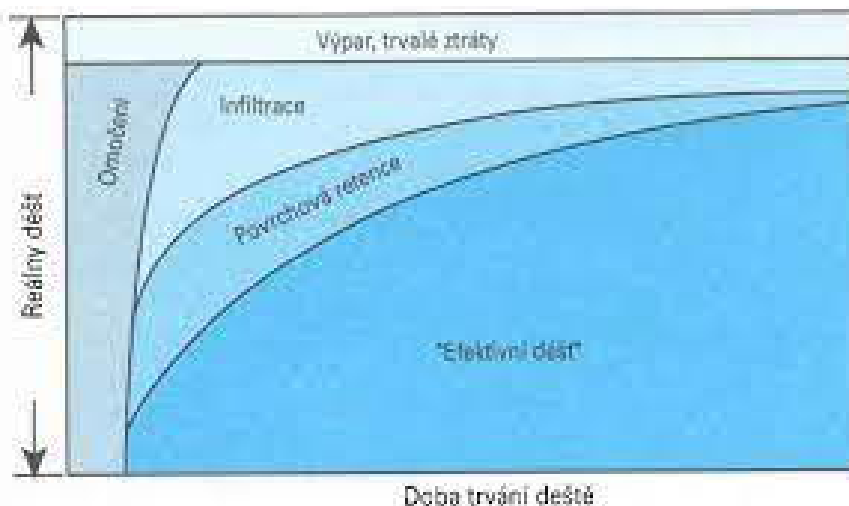


Obrázek 1 - Změny v hydrologické bilanci v závislosti na podílu nepropustnosti povrchů (runoff – odtok, evapo-transpiration – evapotranspirace, shallow infiltration – vsak do půdy, deep infiltration – vsak do hlubších vrstev) (3)

V rámci problematiky modelování srážko-odtokových procesů se popisuje tvorba povrchového odtoku, která rozděljuje srážkovou vodu dopadající na povrch na tzv. efektivní déšť a ztráty související s povrchovým odtokem. Mezi tyto ztráty na povodí patří:

- Omočení (intercepce)
- Výpar (evapotranspirace)
- Infiltrace (vsakování)
- Povrchová retence
- Trvalé ztráty

Výpar a trvalé ztráty se projevují po celou dobu trvání deště, omočení se projevuje na úplném počátku deště, infiltrace a povrchová retence jsou vyšší na začátku deště, spolu s tím, jak se půda saturuje vodou a povrchové prohlubně se vyplňují vodou, se jejich objem snižuje (Obrázek 2). (4)



Obrázek 2 - Tvorba povrchového odtoku: Efektivní déšť a ztráty na povodí (4)

Během odtoku se srážkové vody dostávají do styku s povrchem, který vodu může kontaminovat různými druhy znečištění a tím ovlivňovat její původní jakost.

2.1.2.2 Znečištění srážkových vod

Protože se tato diplomová práce zabývá retencí a následným využíváním srážkových vod, považuje se za důležité, zmínit problematiku znečištění srážkových vod. Podle normy ČSN 75 6101 Stokové systémy a kanalizační přípojky (5) se srážkové vody dělí na znečištěné a neznečištěné. Klasifikaci ploch, které mohou způsobovat znečištění srážkových vod popisuje TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. (6)

Podle tabulky na následujícím obrázku (Obrázek 3), která je přílohou TNV 75 9011, se míra znečištění srážkových vod rozděljuje do tří stupňů. Vysokou míru znečištění z hlediska nerozpuštěných látek, těžkých kovů a uhlovodíků způsobuje odtok přes plochy

vysoce frekventovaných komunikací, manipulační, u skladišť, komunikací zemědělských areálů, parkovišť nákladních aut a střech s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m². Naopak málo znečištěné srážkové vody přitékají ze střech vegetačních, z inertních materiálů, s plochou neošetřených kovových částí do 50 m², nebo málo frekventovaných parkovišť či komunikací, popř. komunikací pro chodce a cyklisty. (6)

Typ plochy	Míra znečištění srážkových vod	
<ul style="list-style-type: none"> - Vegetační střechy - Střechy z inertních materiálů - Střechy s plochou neošetřených kovových částí do 50 m² - Komunikace pro chodce a cyklisty - Málo frekventovaná parkoviště osobních aut - Málo frekventované pozemní komunikace^a (příjezdy k domům) 		nizká
<ul style="list-style-type: none"> - Střechy s plochou neošetřených kovových částí 50 m² až 500 m² - Středně frekventované pozemní komunikace^b - (Vysoce) frekventovaná parkoviště (osobní auta a autobusy) 		střední
<ul style="list-style-type: none"> - Střechy s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m² - Vysoce frekventované pozemní komunikace^c - Plochy u skladišť, manipulační plochy - Komunikace zemědělských areálů - Parkoviště nákladních aut^d 		vysoká
^{a, b, c} viz tabulka A.1 ^d parkoviště, která nejsou součástí veřejných komunikací		

Obrázek 3 - Orientační klasifikace znečištění srážkových vod z hlediska znečištění nerozpuštěnými látkami, těžkými kovy a uhlovodíky (6)

Další tabulka (Obrázek 4) vystihuje potenciální druhy znečištění na jednotlivých typech ploch a pravděpodobnou míru znečištění přes tyto plochy tekoucí srážkové vody. Norma TNV 75 9011 v tabulce popisuje míru znečištění hrubými nečistotami, jemnými částicemi, těžkými kovy, uhlovodíky, organickým znečištěním (BSK₅), živinami (N, P), patogenními mikroorganismy a chloridy. Z hlediska organického znečištění, znečištění živinami a patogenními mikroorganismy jsou nejhorší zemědělské plochy. Chloridy, těžkými kovy a uhlovodíky bývají nejvíce znečištěny vysoce frekventované komunikace a parkoviště pro nákladní auta. Střechy mohou být pro srážkovou vodu znečišťující hlavně z pohledu těžkých kovů, pakliže mají velkou plochu neošetřených kovových částí. Zatravněné plochy pravděpodobně budou produkovat větší množství znečištění srážkové vody jemnými částicemi i nerozpuštěnými látkami, a to v závislosti na zrnitostní křivce zeminy na povrchu. (6)

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

Obrázek 4 - Typické znečišťující látky na jednotlivých typech ploch a očekávané znečištění srážkových vod (6)

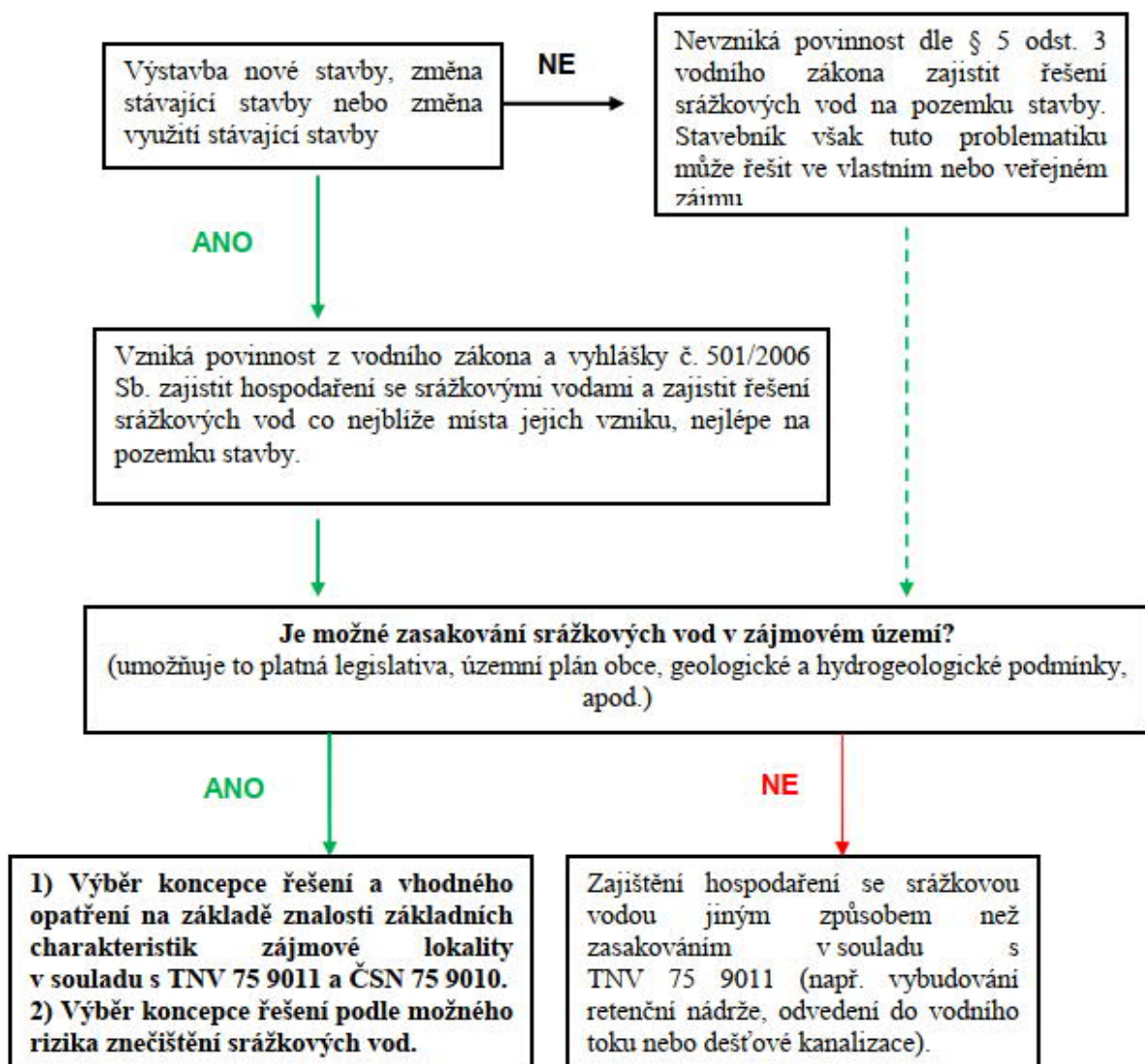
2.1.3 Techniky hospodaření se srážkovými vodami

Nakládání s dešťovými vodami má za cíl udržovat přirozenou vodní bilanci v dané lokalitě. V minulosti se k problematice nakládání s vodou (ať už dešťovou nebo odpadní) přistupovalo centrálním způsobem odvodnění, což upřednostňuje shromažďování vody ze širší oblasti a zacházení s ní (např. čištění) ve větším množství. Tento centrální přístup se naprosto liší od současného přístupu k nakládání s dešťovými vodami, kterému se říká decentrální způsob odvodnění. Jeho prioritou je nakládání se srážkovými vodami v místě jejich vzniku a jejich vrácení do přirozeného koloběhu vody, dále také omezení směšování odpadů s vodou, tj. omezení využívání vody jako transportního média pro odpad. (4) (6)

V rámci Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích bylo identifikováno 6 hlavních strategických cílů směřování vodního hospodářství v oblasti hospodaření s dešťovými vodami (neboli HDV) v České republice:

- dosažení přirozené vodní bilance
- ochrana urbanizovaného území před zaplavením v důsledku přívalových srážek
- ochrana povrchových a podzemních vod
- snížení spotřeby pitné vody užíváním srážkové vody
- zlepšení mikroklimatu ve městech
- podpora využití vody pro zajištění estetických, rekreačních a dalších služeb v urbanizovaných územích (7)

Na následujícím obrázku (Obrázek 5) je schéma koncepce řešení hospodaření se srážkovou vodou v souladu s legislativou a platnými normami v urbanizovaném území. Povinnost zajistit řešení hospodaření se srážkovými vodami vzniká dle vodního zákona (2) při výstavbě nové stavby, změny nebo změny využití stávající stavby. Pakliže tato povinnost vzniká, stavebník je povinen zajistit řešení co nejbližší místě vzniku dešťových vod. Dále vyvstává otázka, zda je možné zasakování dešťových vod? Pokud to umožňuje legislativa, územní plán obce, hydrogeologické podmínky apod., pak je třeba přistoupit k výběru vhodného vsakovacího objektu. K tomu dobře poslouží norma TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami (6), případně ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod (8). V případě, že zasakování není vhodné, je potřeba stejně tak postupovat podle TNV 75 9011, ale výběrem jiné techniky HDV. (9)



Obrázek 5 - Základní rozhodnutí o koncepci řešení (managementu) hospodaření se srážkovou vodou v souladu s legislativou a platnými normami v urbanizovaném povodí (9)

Způsob hospodaření s dešťovými vodami by měl být zvolen primárně s ohledem na konkrétní podmínky a problémy v řešeném území. Pro popis těchto základních technik ale využijí prioritní pořadí, ve kterém je udává TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami (6):

1. *odvádění srážkových vod do půdního a horninového prostředí (vsakování); při jeho nedostatečné vsakovací schopnosti se vsakování kombinuje s retencí a regulovaným odtokem*
2. *retence a regulované odvádění srážkových vod do povrchových vod*
3. *retence a regulované odvádění srážkových vod jednotnou kanalizací*

2.1.3.1 Vsakování

Primárně je cílem srážkové vody nechat zasakovat zpátky do půdního a horninového prostředí a podpořit tak místní koloběh vody. Před návrhem vsakování dešťových vod do půdy je třeba nechat provést hydrogeologický průzkum, který mimo jiné určí koeficient vsaku neboli vsakovací schopnost půdního a horninového prostředí. Čím vyšší je koeficient vsaku, tím menší může být vsakovací plocha. Hydrogeologický průzkum dále určí hloubku podzemní vody, která je nezbytným údajem pro návrh z důvodu, že na ní vsakovací zařízení nesmí narazit. Vzdálenost základové spáry vsakovacího zařízení a maximální hladiny podzemní vody musí být nejméně 1 m. (8) (9)

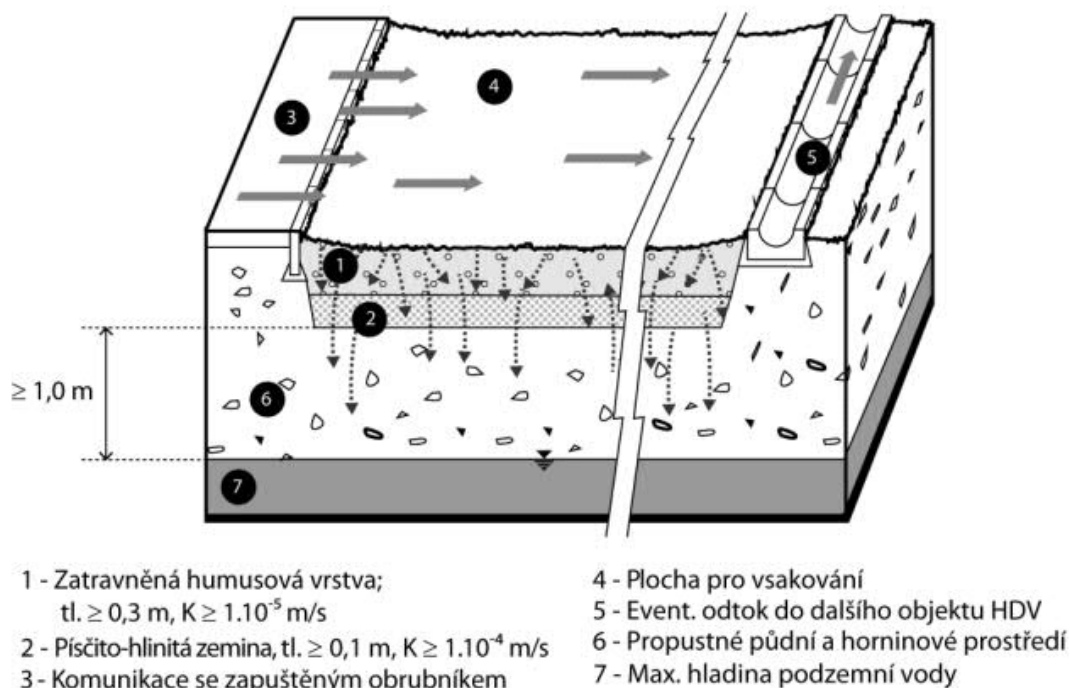
Dále je třeba zohlednit předpokládané znečištění vsakovaných dešťových vod. Pro znečištěné vody je nutné řádné předčištění či vsakování přes humusovou vrstvu. Vysoce znečištěné vody (např. vysoce frekventované pozemní komunikace, průmyslové, zemědělské plochy či parkoviště pro nákladní vozidla) nejsou téměř vůbec pro vsakování vhodné. U znečištěných ploch je tedy nutné možnosti vsakování posuzovat velmi individuálně s ohledem na míru znečištění a možnosti předčištění a stupeň ochrany podzemních vod.

V realizaci se setkáváme buď s povrchovými nebo podzemními vsakovacími zařízeními, mezi nimiž volíme na základě prostorových možností pozemku a sklonitosti terénu. Upřednostňujeme povrchová vsakovací zařízení, a to díky čistící schopnosti humusové vrstvy a podpoře výparu. Ve stísněných podmínkách a ve strmém terénu ale nejsou povrchová vsakovací zařízení vhodná. (10)

K povrchovému vsakování slouží tato zařízení:

- **plošné vsakování**

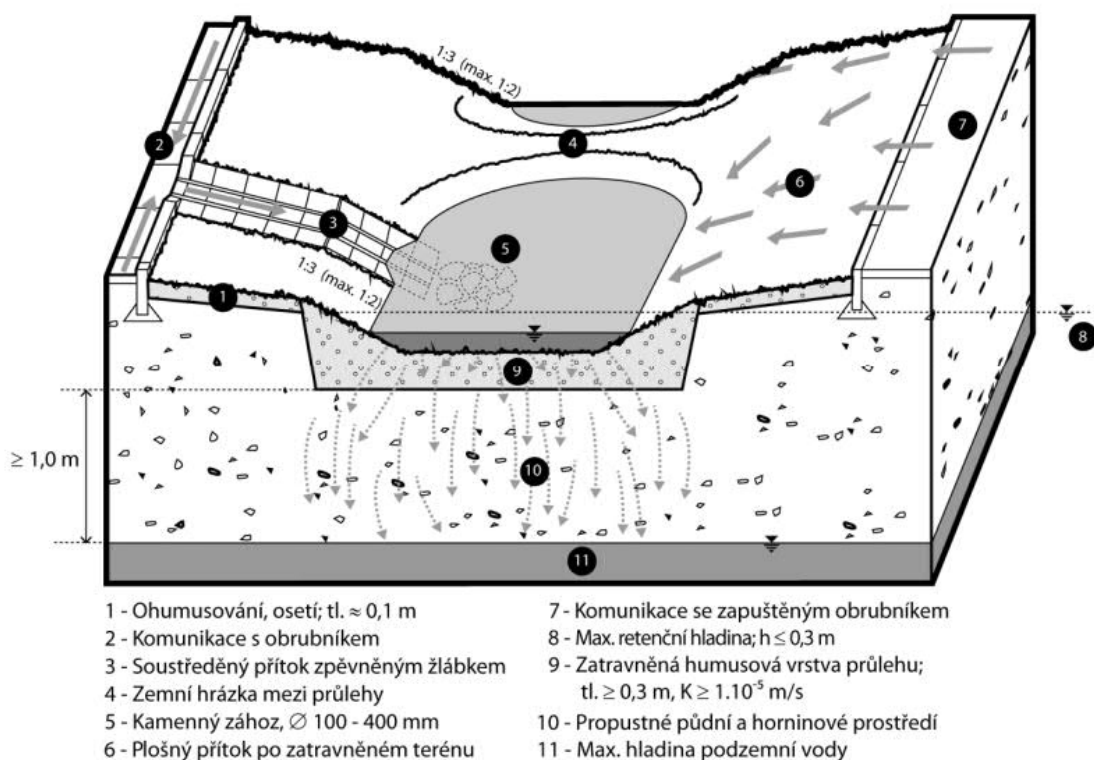
Do objektu plošného vsakování dešťové vody natékají rovnoměrně z přilehlých komunikací. U plošného vsakování se neuvažuje retenční objem. Na obrázku (Obrázek 6) je vzorový návrh plošného vsakování z normy TNV 75 9011. Toto zařízení by mělo být navrhováno tak, aby byla jeho plocha zatěžována co nejrovnoměrněji. Je to nejjednodušší objekt HDV a pro svou efektivitu může být předřazen i dalším komplikovanějším objektům HDV. (6)



Obrázek 6 - Objekt plošného vsakování (6)

- **vsakovací průleh**

Objekt vsakovacího průlehu s povrchovým přítokem vody je znázorněn na obrázku (Obrázek 7).

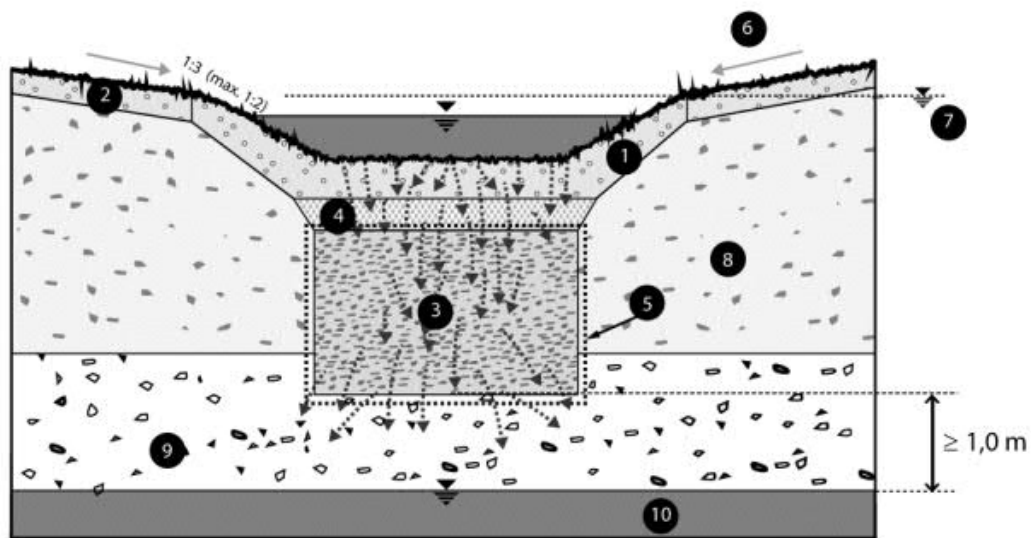


Obrázek 7 - Objekt vsakovacího průlehu s povrchovým přívodem vody (6)

Vsakovací průleh navrhujeme v místech, kde není k dispozici dostatek plochy pro návrh plošného vsakování. Přívod vody do tohoto objektu může být navržen dvěma způsoby, plošným přítokem přes zatravněnou plochu nebo soustředěným odtokem. Preferovaným způsobem je plošný přítok, protože zatravněný terén snižuje riziko eroze a kolmatace průlehu nerozpuštěnými látkami. V případě soustředěného odtoku se doporučuje navrhnout opevnění, a to i pod nátokem do průlehu, aby nedocházelo k vymílání dna. (6)

- **vsakovací průleh-rýha**

Vsakovací průleh-rýha je vhodný tam, kde je potřeba překonat vrstvu nedostatečně propustného prostředí, aby mohly být dešťové vody zasakovány hlouběji do propustnějšího horninového prostředí. Vytváří se proto podzemní prostor neboli rýha vyplněná nejčastěji štěrkem, která disponuje zvýšeným retenčním objemem. (6) Na obrázku (Obrázek 8) je řez vsakovacím průlehem-rýhou.

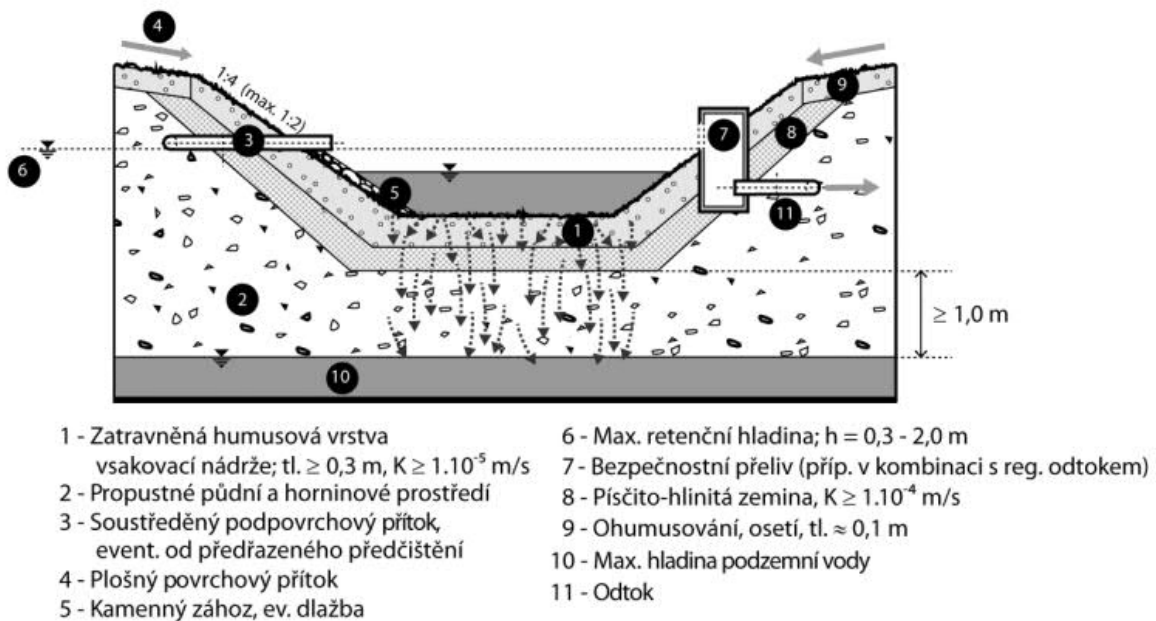


- | | |
|--|--|
| 1 - Zatravněná humusová vrstva průlehu; tl. $\geq 0,3$ m, $K \geq 1 \cdot 10^{-5}$ m/s | 5 - Geotextilie |
| 2 - Ohumusování, osetí; tl. $\approx 0,1$ m | 6 - Plošný povrchový přítok |
| 3 - Retenční/vsakovací rýha (štěrk 16/32mm / prefabrikované bloky) | 7 - Max. retenční hladina; $h \leq 0,3$ m |
| 4 - Píščito-hlinitá vrstva, tl. $\geq 0,1$ m, $K \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s | 8 - Nedostatečně propustné půdní a horninové prostředí |
| | 9 - Propustné půdní a horninové prostředí |
| | 10 - Max. hladina podzemní vody |

Obrázek 8 - Vsakovací průleh-rýha (6)

- **vsakovací nádrž**

Vsakovací nádrž je objekt s nejvýznamnější retenční funkcí ze zmiňovaných vsakovacích objektů a používá se především pro větší odvodňované plochy, více pozemků najednou nebo jí předchází jiná zařízení HDV. Přítok je často kombinován jak plošný povrchový, tak soustředěný podpovrchový. Hloubky nadržení ve vsakovací nádrži se pohybují v rozmezí 0,3 až 2 m. Součástí objektu vsakovací nádrže musí být bezpečnostní přeliv, který může být řešen i jako objekt s regulovaným odtokem. (6) Objekt vsakovací nádrže je znázorněn na následujícím obrázku (Obrázek 9).

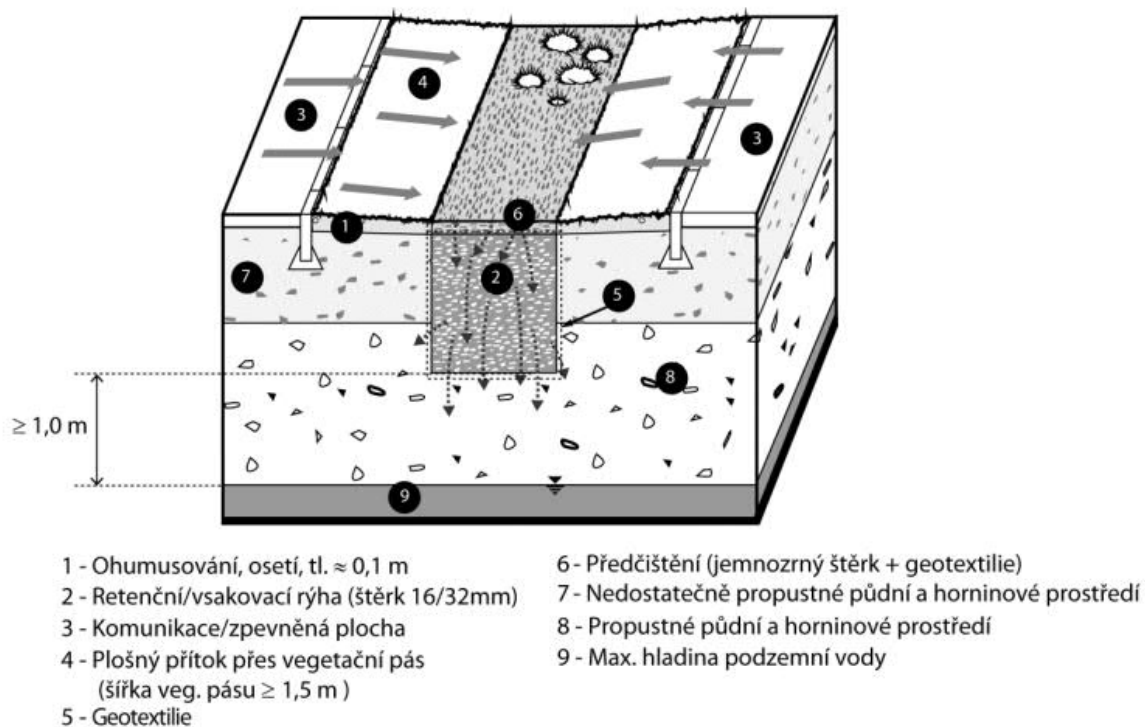


Obrázek 9 - Vsakovací nádrž (6)

Ze zařízení k podzemnímu vsakování můžeme navrhovat:

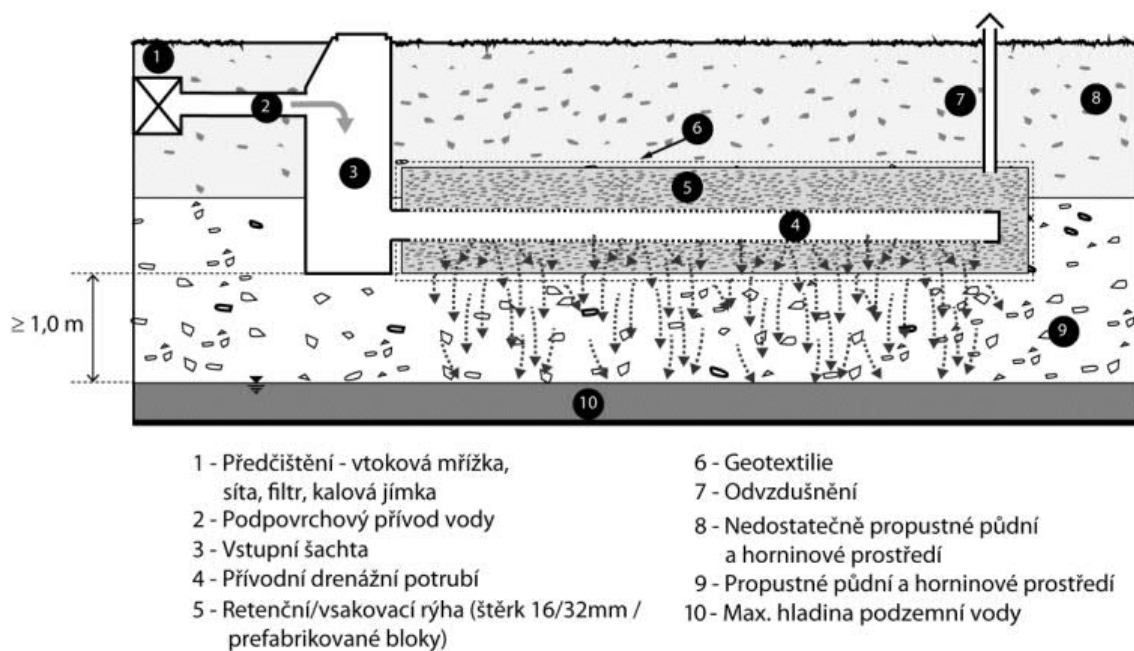
- **vsakovací rýhy**

Vsakovací rýhy rozdělujeme na rýhy s povrchoým a podpovrchovým přítokem. Na obrázku (Obrázek 10) je znázorněn vzorový návrh vsakovací rýhy s plošným přítokem, jejíž hloubka se odvíjí od hloubky propustného horninového prostředí. Povrchový přítok musí být plošný přes travnatou plochu z důvodu předčištění. Z důvodu vyšší náchylnosti na ucpávání je toto zařízení vhodné spíše pro málo znečištěné vody a je vhodné použít filtrační vrstvu nebo geotextilii.



Obrázek 10 - Vsakovací rýha s povrchoým plošným přítokem (6)

Na dalším obrázku (Obrázek 11) je vidět vsakovací rýha s podpovrchovým přítokem, kde je nutné předřadit šachtu s čistícím zařízením pro zachycení nerozpuštěných látek kvůli náchylnosti ke kolmataci. Stejně jako vsakovací rýha s povrchoým přítokem se hodí spíše pro méně znečištěné vody. (6)



Obrázek 11 - Vsakovací rýha s podpovrchovým přítokem (6)

- **podzemní prostory vyplněné štěrkem nebo bloky**

Podzemní vsakovací prostory vyplněné štěrkem nebo bloky jsou zpravidla plošnými objekty, přívod vody do prostoru je buď přes šachtu nebo otvorem.

- **vsakovací šachty**

Vsakovací šachty umožňují bodové vsakování, hodí se pro zasakování málo znečištěných vod, zpravidla z vegetačních střech. Vzhledem k prostorové náročnosti ve svislém směru jsou šachty vhodné spíše v místech s hlubší hladinou podzemní vody, protože její úroveň nesmí být dnem šachty dosažena. (9)

Všechny výše uvedené typy vsakovacích objektů kromě plošného vsakování můžeme navrhnout také s regulací odtoku, která umožňuje zbrzdit odtok do povrchových vod či stokové sítě. Doplnění regulace odtoku je nutné v případě nedostatečné vsakovací schopnosti půdního a horninového prostředí. (6)

2.1.3.2 Retence a regulované odvádění do povrchových vod/jednotnou kanalizací

V místě, kde není možné navrhnout vsakování, např. z důvodu nevhodných vsakovacích parametrů půdního a horninového prostředí, starých ekologických zátěží, z prostorových důvodů apod. směřujeme hospodaření s dešťovými vodami ke kombinaci retence a regulovaného odvádění do povrchových vod. Odvádění dešťových vod do vod povrchových je úzce spjato s retencí, protože je zpravidla nutné nejprve zdržet odtok prostřednictvím retenčního objektu. Před navrhováním retenčních objektů je opět nutné provést hydrogeologický průzkum. Součástí by mělo být i stanovení vzdálenosti povrchových vod vhodných k vypouštění od místa retence a prověření možností, kudy a jakým způsobem vodu z retenčního objektu do recipientu dovést (např. svodnice, dešťová kanalizace).

Dále je potřeba posoudit míru a druh znečištění odváděných dešťových vod zejména vzhledem k požadavkům správce recipientu – tzn. ověřit ochranu recipientu např. z hlediska minimálního/maximálního průtoku, odběrů pro vodárenské účely či chovu ryb. V závislosti na přípustné míře znečištění pak navrhujeme předčištění těchto dešťových vod. Preferovaným způsobem dopravy srážkové vody do recipientu je prostřednictvím otevřených svodnic, protože podporují výpar a snížení kulminačních odtoků na rozdíl od uzavřených profilů dešťové kanalizace.

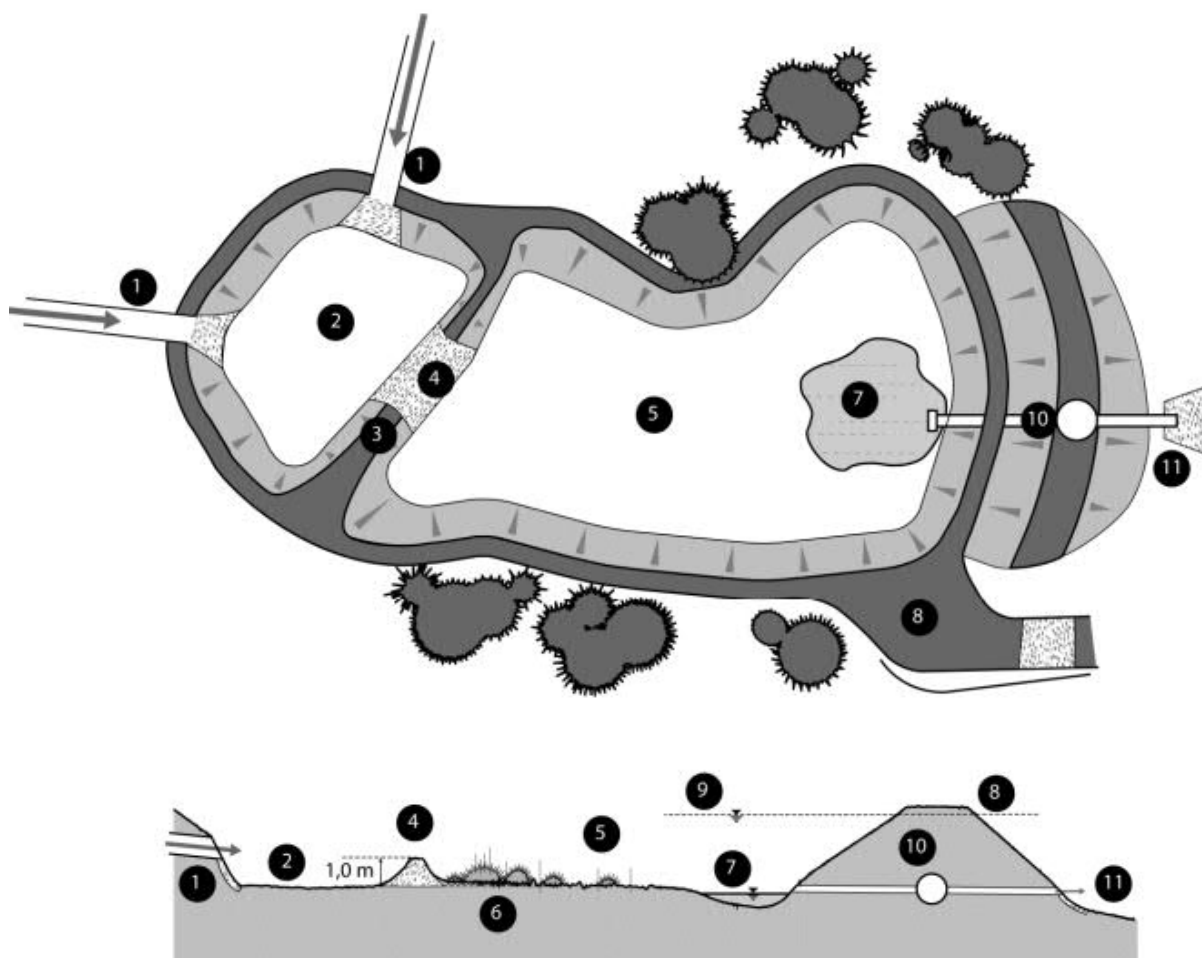
V nejhorším případě, kdy není možné odvádět dešťové vody do povrchových vod, je nutné přistoupit k jejich odvádění jednotnou kanalizací na čistírnu odpadních vod. Zde nejsou požadavky na míru znečištění většinou omezujícím faktorem, ale je nutné se vejít do limitu znečištění odpadních vod podle příslušného kanalizačního řádu. To se netýká např. ropných látek, u kterých je nepřípustné, aby se vůbec do odpadní vody dostávaly. Proti takovým látkám musí být vyvinuto dostatečné opatření, aby bylo zamezeno jejich vniku do odpadních vod. Co se týče vstupních podkladů pro posouzení, je v tomto případně nutné znát konkrétní kanalizační síť kvůli její kapacitě. Retenční objekty zpravidla pomáhají snížit počet odlehčení na jednotných stokách.

Retenční objekty se pro oba způsoby odvádění do recipientu navrhují podobným způsobem. Objem retenčního prostoru se vypočte podle normy TNV 75 9011. (6) Každý retenční objekt musí být vybaven regulátorem odtoku, aby byl schopen vypouštět maximálně povolený odtok. V případě ohrožení objektu zpětným vzdutím se navrhuje ochrana, např. zpětná klapka. Dále musí být retenční objekt vybaven bezpečnostním přelivem, který slouží pro zajištění bezpečného převedení průtoku způsobeného větší než návrhovou srážkou. (6)

Dále budou představeny typy retenčních objektů:

- **suché retenční dešťové nádrže (poldry)**

Poldr je terénní prohlubeň, která má retenční i regulační funkci. Regulátor odtoku se umísťuje do nejnižšího místa nádrže. Nabízí široké využití ve veřejném prostranství v době, kdy není ve funkci, jako např. odpočinková zóna, dětské hřiště apod., pakliže je tento prostor k těmto účelům záměrně navržen a prvky jsou přizpůsobeny možnému zatopení. Mobiliář nebo herní prvky nesmí nikdy bránit správnému fungování nádrže. Povrch poldru může být zatravněn nebo tvořen kombinací propustných a nepropustných materiálů. Částečné zasakování může být žádoucí, nicméně toto je potřeba posoudit vzhledem ke specifickým podmínkám konkrétního území. Výhodami poldru mimo jeho retenční a regulační funkci jsou podpora evapotranspirace, vsakování (pouze v případě propustného dna), potenciál využití plochy v suchém období pro další aktivity nebo zvýšení biodiverzity. Omezením naopak mohou být prostorová náročnost (především v případě žádného dalšího využití) či zatopení prvků mobiliáře. (11) Na následujícím obrázku (Obrázek 12) znázorňujícím vzorové řešení poldru můžeme vidět i předřazenou menší nádrž, která slouží k předčištění vody od nerozpuštěných látek pomocí prosté sedimentace.



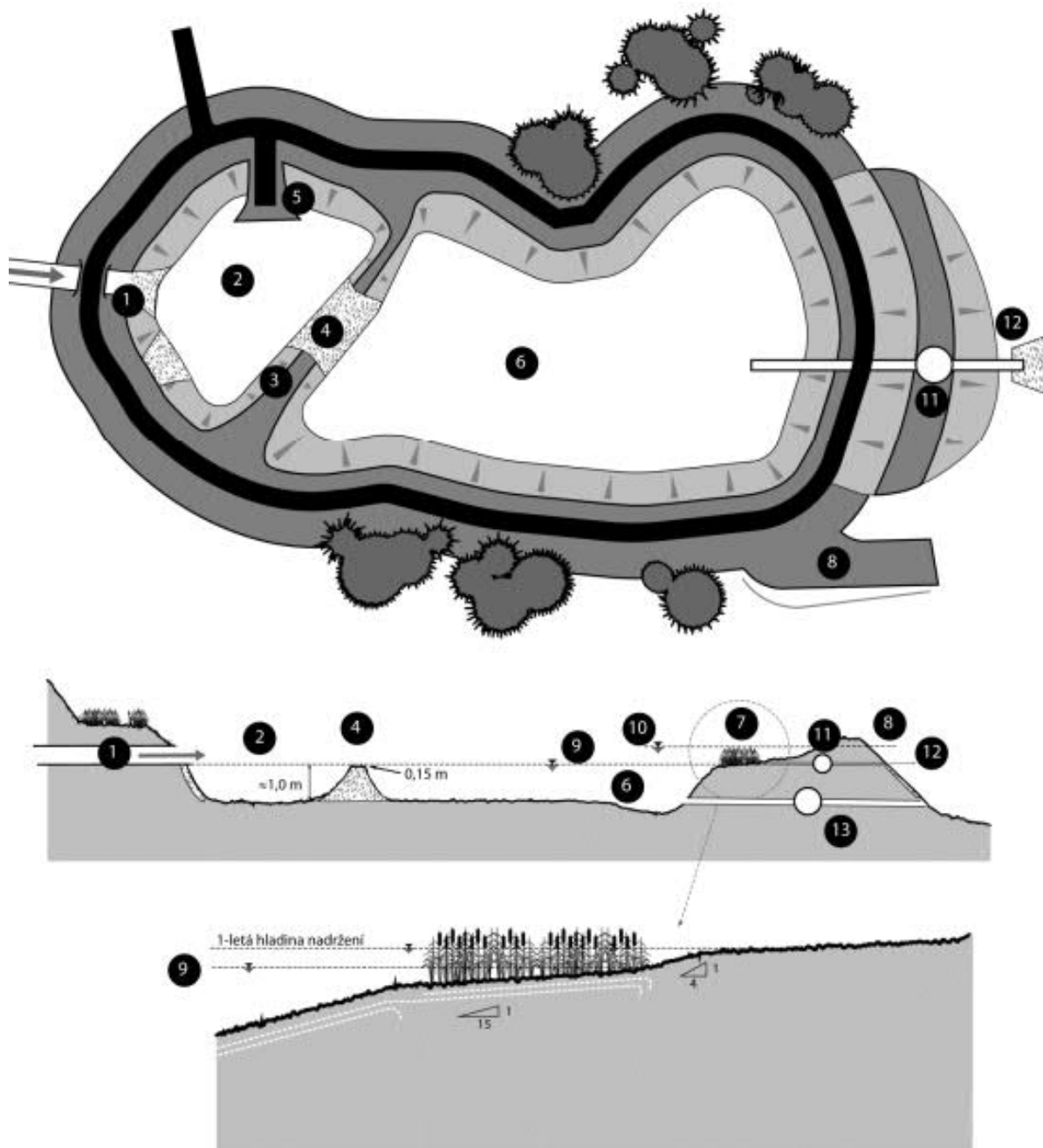
- | | |
|---|---|
| 1 - Vtokový objekt s opevněním | 7 - Případný prostor se stálým nadržáním a vodními rostlinami |
| 2 - Část nádrže pro zachycení sedimentů | 8 - Bezpečnostní přeliv |
| 3 - Dělicí hrázka | 9 - Maximální retenční hladina |
| 4 - Propustný materiál - kamenivo apod. | 10 - Regulátor odtoku |
| 5 - Hlavní retenční prostor | 11 - Výtokový objekt s opevněním |
| 6 - Ozelenění | |

Obrázek 12 - Suchá retenční nádrž (poldr) (6)

- **retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem**

Jedná se o nádrže plnící stejnou funkci jako poldr, ale liší se stálou hladinou nadržení. Regulátor odtoku se pak osazuje na úroveň hladiny stálého nadržení. Dále se navrhuje spodní výpust pro možnost úplného vypuštění nádrže např. z důvodu údržby. Mohou být využívány víceúčelově, např. jako okrasné nádrže v intravilánu nebo částečně jako biotop. Cirkulace vody přes biotop může významně podpořit biologickou čisticí funkci. Retenční dešťové nádrže se stálou hladinou nadržení mají vysoké nároky na prostor, ale hodí se např. do parků či sídlištních veřejných prostorů pro svou estetickou, mikroklimatickou a rekreační funkci. Vybudování takové retenční nádrže přispívá ke zvýšení vlhkosti půdy a podporuje evapotranspiraci a biodiverzitu. (6) (11) Na obrázku (Obrázek 13) vidíme půdorys a řez retenční nádrží se zásobním prostorem, jejíž hladina

stálého nadržení je na úrovni přelivné hrany hrázky mezi předčišťovacím a retenčním jezerem.



- | | |
|---|----------------------------------|
| 1 - Vtokový objekt s opevněním | 7 - Biotop |
| 2 - Část nádrže pro zachycení sedimentů | 8 - Bezpečnostní přeliv |
| 3 - Dělicí hrázka | 9 - Hladina stálého nadržení |
| 4 - Propustný materiál - kamenivo atd. | 10 - Maximální retenční hladina |
| 5 - Vstup pro čištění nádrže | 11 - Regulátor odtoku |
| 6 - Hlavní retenční prostor | 12 - Výtokový objekt s opevněním |
| | 13 - Spodní výpust s opevněním |

Obrázek 13 - Retenční nádrž se zásobním prostorem (6)

- **podzemní retenční dešťové nádrže**

Podzemní retenční dešťová nádrž je podzemní technický objekt s retenční a regulační funkcí, u něhož je kladen důraz na co nejefektivnější využití prostoru, který je k dispozici, vzhledem k tomu, že není na první pohled viditelný ve veřejném prostranství. Jedná se převážně o umělé nádrže tvaru kvádrů nebo válců typicky z betonu či plastu. Někdy může být retence dešťových vod řešena pouhým zvětšením profilu v úseku potrubí. Stavba si klade určité nároky na koordinaci s podzemními inženýrskými sítěmi nebo využitím prostoru nad retenčním objektem. U podzemních retenčních nádrží dále vzhledem k uzavřenosti prostoru vzniká potřeba bezpečnostního přepadu, který by v ideálním případě měl být napojen do jiného odtoku, než je regulovaný odtok používaný během běžného provozu. Regulovaný odtok může být proveden jak gravitačním způsobem, tak čerpáním, nicméně funkce bezpečnostního přepadu musí být nezávislá na případném výpadku elektrické energie, a tudíž u havarijního přepadu čerpání nepřipadá v úvahu.

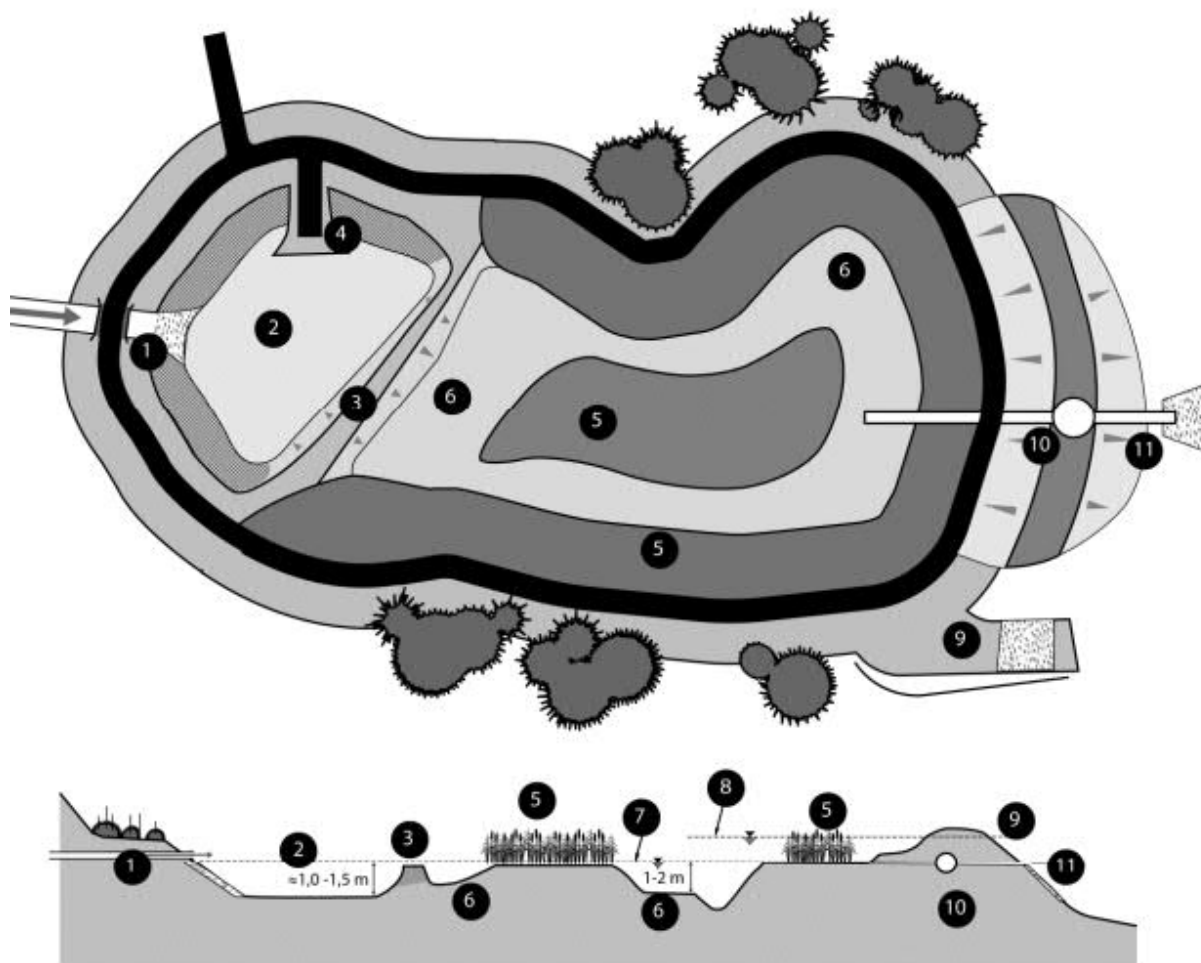
Obecně lze do podzemních retenčních nádrží napojovat dešťové vody z jakéhokoliv typu ploch. V případě napojení znečištěných vod je nutné řešit vhodné předčištění a vyvolává to vyšší nároky na čištění a údržbu nádrže. Je vhodné konstrukčně oddělit přítok do nádrže s cílem umožnit předčištění sedimentací. Pro případné využití dešťové vody lze v retenčním objektu navrhovat akumulací prostor, který ale musí být navržen v takovém poměru k prostoru retenčnímu, aby nemohl zásadně ohrožovat retenční funkci nádrže. Regulátor odtoku pak umístíme s ohledem na akumulací prostor nádrže – v případě existence akumulacího prostoru na jeho úroveň hladiny, pakliže akumulacího prostoru nenavrhujeme, tak na dno nádrže.

Zmíněné výhody menší prostorové náročnosti oproti povrchovým nádržím a možnosti využití dešťové vody při návrhu akumulacího prostoru neguje skutečnost technického řešení vyloženě nepřirodního charakteru bez pozitivního efektu na mikroklima či biodiverzitu. Dále je potřeba počítat s potřebou údržby za pomoci speciální technologie kvůli horšímu přístupu do podzemního prostoru. (6) (11) (12)

- **umělé mokřady**

Umělé mokřady jsou mělké povrchové nádrže se stálým nadržением vody a vodními rostlinami, které mají biologickou schopnost čištění vody. Dno mokřadu je tvořeno nepropustným podložím s vrstvou bahna a navrhuje se členité, aby bylo docíleno co největší variability stanovišť pro rozmanité druhy fauny a flóry. Stejně jako u retenční nádrže se zásobním prostorem se u umělého mokřadu navrhuje stálá hladina nadržení a na její úrovni je osazeno odtokové potrubí. Z výše vyjmenovaných typů retenčních

objektů jsou umělé mokřady jedním z nejvíce podporujících mikroklima a biodiverzitu. Kromě toho plní mokřady okrasnou i rekreační funkci např. v krajinářských parcích nebo rekreačních částí okrajů měst. Na druhou stranu, umělé mokřady nejsou primárně určeny pro zachycení velkých srážkových přítoků, jako např. dešťové nádrže se zásobním prostorem nebo poldry. Pro snížení vnosu znečištění do mokřadu se doporučuje konstrukčně oddělit přítok, což je vidět na obrázku znázorňujícím umělý mokřad (Obrázek 14). (6) (11)



- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1 - Vtokový objekt s opevněním | 6 - Zóna plovoucí/ponořené vegetace |
| 2 - Část nádrže pro zachycení sedimentů | 7 - Hladina stálého nadržení |
| 3 - Dělicí hrázka | 8 - Maximální retenční hladina |
| 4 - Vstup pro čištění nádrže | 9 - Bezpečnostní přeliv |
| 5 - Zóna emersní vegetace | 10 - Regulátor odtoku |
| | 11 - Výtokový objekt s opevněním |

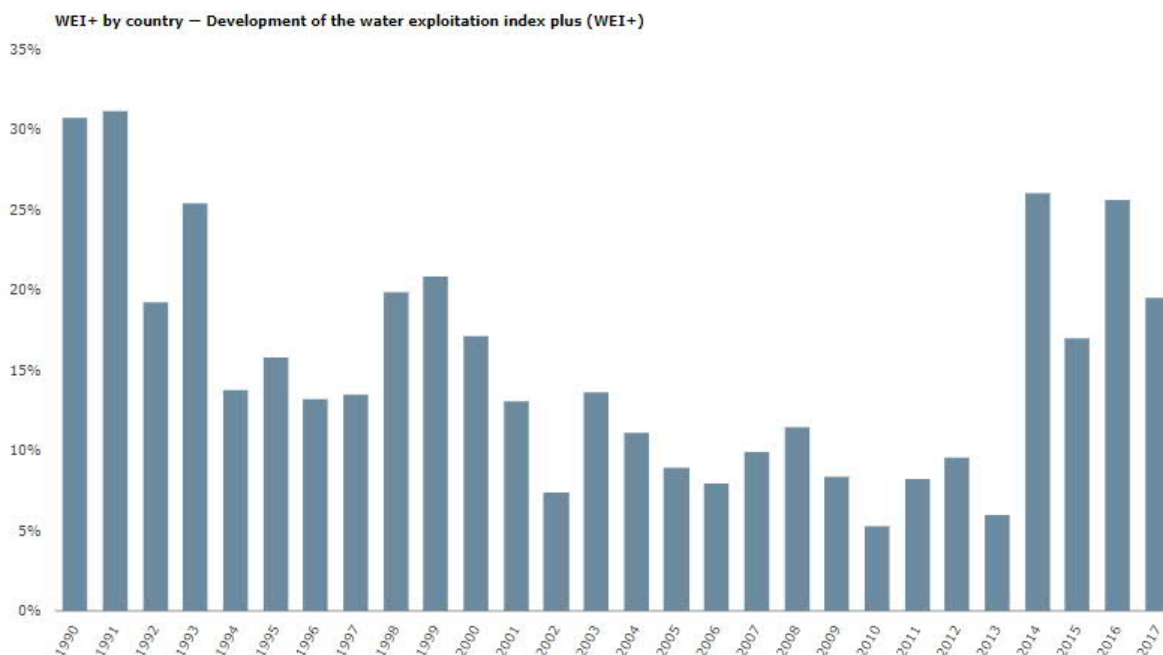
Obrázek 14 - Umělý mokřad (6)

2.2 Voda a průmysl

Mezi lidmi na světě rostou obavy o dostatek pitné vody, která je nezbytná pro zajištění základních potřeb jako je pití, ale i na chod zemědělství, průmyslu, energetiky, vytápění a chlazení, služeb apod. Dostupné zdroje sladké vody čím dál častěji nestíhají doplňovat vlastní kapacity. Nejen klimatické změny, ale i růst populace nebo šíření znečištění jsou důvody, které podněcují čím dál větší tlak na zásoby kvalitní vody. Objem zásoby vody v obnovitelných zdrojích (jako je podzemní voda, jezera, řeky a nádrže) se snižuje, a to v důsledku vyšší spotřeby zejména kvůli nárůstu počtu obyvatel. Současně nedochází k dostatečnému doplňování těchto zásob pomocí srážek, jejichž průměrné roční úhrny postupně klesají. Na druhou stranu, podle agentury EEA, vyšší účinnost využívání vody a lepší hospodaření s jejími zásobami vedly od roku 1990 ke snížení celkového čerpání vody o 19 %. (13) Tento fakt vzbuzuje naději, že je společnost schopna spotřebu vody výrazně ovlivnit a dostupnost kvalitní vody zachovat i pro příští generace.

V České republice jsou největšími odběrateli povrchových vod průmysl a energetika. Voda je v průmyslu používána zejména pro technologické procesy, k hygienickým účelům, pro potřeby dopravy apod. Povrchové zdroje vody zajišťují přibližně 70-75 % potřeby pro průmysl, podzemní vody pokrývají zhruba 6-9 %, zbytek je zásobován z veřejného vodovodu. Největší množství vody je spotřebováno na chlazení v odvětví energetiky, dalšími velkými spotřebiteli vody jsou chemické, hutnické a papírenské podniky. Právě tato průmyslová a energetická odvětví se již v minulosti rozvíjela především v blízkosti řek nebo s jejich vznikem byla spojena výstavba umělých vodních nádrží. Ze závratných čísel odběru povrchových vod pro průmysl a energetiku v 70. letech (2885 mil. m³ v roce 1975) se postupně s vývojem technologií množství odebírané vody začalo postupně snižovat. Odběr povrchových vod pro průmysl v roce 1990 činil 830 mil. m³, o 14 let později, v roce 2004 už to bylo 400 mil. m³. Po ukončení restrukturalizace a zapojení jaderné elektrárny Temelín do provozu se odběry mírně zvýšily. (14)

Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) používá tzv. index využívání vody (Water Exploitation Index neboli WEI), a to za účelem hodnocení tlaku na vodní zdroje. Hodnota WEI vyjadřuje procentuálně poměr odebrané sladké vody ku celkově dostupné obnovitelné zásobě vody v daném státě. Na následujícím obrázku (Obrázek 15) je vidět vývoj tohoto indexu využívání vody pro Českou republiku mezi lety 1990-2017.



Obrázek 15 - Vývoj indexu využívání vody WEI pro Českou republiku v letech 1990-2017 (15)

Hodnoty WEI nad 20 % jsou známkou tlaku na vodní zdroje, přičemž hodnoty nad 40 % indikují vážné ohrožení vodních zdrojů a neudržitelné hospodaření s vodou. Z grafu je patrné, že hodnota WEI pro Českou republiku se v posledních 27 letech dostala nad hranici 20 % celkem osmkrát. V průměru hůře, než Česko je z evropských zemí na tom pouze Kypr a Řecko, podobně jako my jsou na tom Španělé, Portugalci a Turci. Důležité je zmínit velký vliv nepravidelnosti a celkového úbytku srážek, který zesiluje tlak na vodní zdroje zejména ve středomořských zemích. (15) (16)

2.2.1 Strategie a opatření průmyslu při narůstajícím tlaku na vodní zdroje

V minulosti se na zvýšenou poptávku po vodě reagovalo zvýšením jejich využitelných zásob, což znamenalo výstavbu studní, přehrad a vodních nádrží nebo budování vodárenské infrastruktury. (16) Tyto způsoby ale v současnosti přestávají dávat smysl, vodárenská infrastruktura je již v Česku na velice vysoké úrovni a pro další budování vodních zdrojů již nenacházíme tak početné a výhodné lokality. Na řadě je tedy zlepšit management využívání vody, ve kterém se nachází velký prostor pro zlepšení.

Ke snižování spotřeby vody v průmyslu a energetice dříve často také docházelo podstatnými změnami v ekonomice, např. uzavíráním dolů a hutního průmyslu, což ale rozhodně není důvod, proč ve zlepšování technologií s cílem úspory vody nepokračovat.

Úspora vody jako taková není definována pouze jejím množstvím, ale i znečištěním – bude-li průmysl snižovat emise do vodního prostředí, jedná se také o významný druh úspory vody. Podstatné snížení odběru povrchových vod dále přineslo zavedení přísnějších limitů na množství vypouštěných odpadních vod a jejich znečištění, kontrola a pokutování za jejich nedodržování. Pozitivní přínos jistě má i propagace udržitelnějšího hospodaření s vodou a prezentace politiky přátelské k životnímu prostředí. Významným faktorem je také ekonomická stránka, kdy je prokázáno, že průmysl reaguje na nárůst cen vody dokonce citlivěji než domácnosti – důvodem je právě odebírané množství vody. Je potřeba mít na paměti, že každé odvětví průmyslu má svá specifika a způsoby úspory vody se budou v jednotlivých oborech lišit.

Současný postup je kompromisem mezi dvěma základními strategiemi pro postup proti tlaku na vodní zdroje, kterými je zvýšení produktivity vody v průmyslu a vize dosažení nulového objemu vypouštěné odpadní vody. Vyšší produktivita vody je současně i argumentem pro zlepšení kvality vody, jelikož odpovídá její vyšší hodnotě. Tato strategie zastává pravidlo, kdo má v oblasti s nedostatkem vody její vyšší produktivitu, ten vodu získá. Dosažení cíle druhé strategie vyžaduje velké množství času a úsilí a je více reálná na úrovni jednotlivých podniků. Výsledkem proaktivního přístupu průmyslových podniků, z nichž již řada množství opatření realizovala, je dosažení vyšší produktivity vztažené k jednotkové spotřebě vody.

K cíli dosáhnout vyšší efektivity ve využití vody v průmyslu se lze ubírat těmito hlavními směry:

- analýzou stávajících výrobních procesů a potenciálu k úspoře vody
- snížením průmyslových emisí do vodního prostředí (minimalizace vypouštěného znečištění)
- vývojem a aplikací moderních technologií s optimálním využitím vody a odstraněním znečišťujících látek z odpadní vody (14)

2.2.2 Způsoby snížení spotřeby vody v průmyslu

Konkrétní opatření, která by pro dosažení cíle snížení spotřeby vody v průmyslu a zvýšení produktivity vody měla být realizována jsou:

- vodní audit
- změny ve výrobních procesech
- používání vody v kvalitě objektivně vyhovující výrobním procesům namísto pitné vody
- recyklace vody a její zpětné využití v místě
- opakované využití vody
- minimalizace ztrát
- eliminace plýtvání
- politické nástroje a ekonomické iniciativy – např. poskytování motivace k úsporám prostřednictvím finančních grantů z místních, národních i evropských programů
- změny v chladících technologiích
- akumulace dešťové vody a její využívání s cílem snížit celkový odběr vody nebo čerpání vlastních zdrojů
- implementace pravidel pro úsporu vody v domácnostech i do průmyslových podniků – toto je myšleno v části, kde zaměstnanci využívají vodu pro stejné účely jako v domácnosti, a protože za ni neplatí, nechovají se stejně jako ve vlastní domácnosti (14) (17)

2.2.3 Vodní audit

Jedním z prvních kroků ke zlepšení efektivity využívání vody v průmyslovém podniku je právě vodní audit, ke kterému jsem se rozhodla napsat následující kapitolu. Vodní audit je analýza současného systému vodního hospodářství posuzovaného průmyslového podniku provedená způsobilou osobou, jejíž cílem je jeho komplexní zhodnocení a identifikace rizik včetně návrhu nápravných opatření. Součástí vodního auditu je i kontrola souladu vodního hospodářství podniku s platnou legislativou. Vodní audit se zabývá veškerými používanými či produkovánými druhy vod v daném podniku, jedná se o vodu pitnou, technologickou, užitkovou, procesní, dešťovou a odpadní. Hlavním důvodem pro provedení vodního auditu v průmyslovém podniku je zájem o podrobné zpracování a kvantifikaci jeho vodního hospodářství s cílem hledání úspor a snižování rizik spojených s tlakem na zdroje vody.

Vodní audit se skládá z následujících částí:

- Titulní list
- Základní charakteristika podniku – popis lokality, odvětví, režimu výroby, velikosti podniku apod.
- Popis současného stavu vodního hospodářství podniku – zdroje vody a jejich kapacita, ohrožení, úprava vody, vodovodní síť, nakládání s odpadními vodami, nakládání s dešťovými vodami, recyklace vody, vodohospodářská bilance*, údržba a investice do vodohospodářské infrastruktury
- Hodnocení spotřeby vody v podniku vzhledem k referenčním hodnotám
- Identifikace rizik spojených s nedostatkem vody, ve vazbě na ohrožení suchem; ostatní rizika spojená s úpravou vody, infrastrukturou, odpadními vodami, rozvojem podniku apod.
- Vyhodnocení a přeložení návrhů nápravných opatření včetně jejich ekonomického zhodnocení
- Závěr
- Přílohy (18) (19)

** Pokud není k dispozici dostatek měřených dat, laboratorních rozborů apod. je v rámci vodního auditu provedena měrná kampaň ke zjištění průtoků vody v jednotlivých směrech, případně další potřebné rozborů vod ke zhodnocení znečištění jednotlivých druhů používaných/produkovaných vod.*

Identifikovaná rizika jsou následně kvantifikována a tabelárně shrnuta. Hodnocení probíhá „podle pravděpodobnosti výskytu čísla 1-5 (1 – velmi nepravděpodobné, 5 – téměř jisté) a podle dopadu na provoz podniku čísla 1-4 (1 – minimální dopad, 4 – kritické ohrožení provozu). Výsledná rizika jsou pak vypočtena vynásobením pravděpodobnosti výskytu dopadem na provoz.“ (19) Zpracovatel vodního auditu pak následně navrhne nápravná opatření pro rizika s pravděpodobností 4 neboli *jedenkrát týdně až několikrát měsíčně* a vyšší a/nebo pro rizika s dopadem na provoz hodnoceným číslem 3 neboli *pro zvládnutí události je potřeba vynaložit větší úsilí, je potřeba provést odborný úkon, případně je potřeba využít služeb odborníka či specialisty, během řešení události může být omezen provoz podniku* a vyšší, rizika s celkovým součinem vyšším než 7, případně tam, kde to považuje za vhodné.

Jako pomůcka pro návrhy opatření existuje internetový Katalog opatření pro úsporu vody v energetice a průmyslu (20), jehož součástí jsou návrhy na technologie pro recyklaci vody i technická a provozní opatření pro úsporu vody.

2.2.4 Využití srážkových vod v průmyslu

Závěrem této kapitoly o vodě v průmyslu bych se chtěla vrátit k dešťovým vodám, jimž se zejména věnuje tato diplomová práce a jejich roli v hospodaření s vodou v průmyslových podnicích. Potenciál využití dešťových vod v průmyslových podnicích se odvíjí zejména od využitelné plochy, ze které jsme schopni odvádět srážkovou vodu, akumulovat ji a dále ji využívat. Využitelnost plochy musíme posuzovat s ohledem na míru znečištění vody omývající tento povrch. Pro stanovení přibližného dostupného množství dešťové vody potřebujeme znát pouze využitelnou plochu [m²], koeficient odtoku odvíjející se od typu plochy a průměrný roční úhrn srážek [mm], popřípadě pouze sezónní úhrn, pakliže uvažujeme využívání srážkových vod např. pouze v létě.

V dalším kroku posuzujeme, na jaké procesy je srážková voda z hlediska jejího množství, kvality a znečištění vhodná a jestli se vyplatí investovat do takového nahrazení jiné průmyslové vody vodou dešťovou. Cílem je buď přinést úsporu vody nebo alespoň ušetřit náklady za odvádění dešťových vod. Podle postupu uvedeného v Metodice vodního auditu zpracovatel vodního auditu definuje množství vody potenciálně nahraditelné srážkovou vodou, určí procento zabezpečení potřeby užitkové vody, kdy množství zachytitelné vody je 100 % a dopočte procento ukazatele potenciálně nahraditelné vody srážkovou vodou. Z tohoto procenta se dále vychází pro určení koeficientu využití srážkové vody, jehož hodnota by se měla volit spíše nižší s ohledem na stabilitu provozu při využívání srážkových vod. Dalším postupem je navrhování optimálního objemu nádrže a případné linky na úpravu srážkové vody.

Pakliže z nějakého důvodu, ať už je to nevhodná kvalita dešťové vody, nebo její množství je v objemu průmyslové vody zanedbatelné a nahrazování průmyslové vody srážkovou se vskutku nevyplatí nebo postrádá smysl, existují ještě další možnosti, jak s dešťovou vodou nakládat lépe, udržitelněji a stále získat určité úspory. Dešťovou vodu lze téměř vždy využívat na závlahu, případně lze čerpat řadu pozitiv využitím technik hospodaření s dešťovými vodami popisovaných v kap. 2.1.3. Další možností s méně nákladnou úpravou je využití dešťové vody na splachování WC, čímž lze výrazně ušetřit množství odebírané vody pitné. „Za potenciální využití srážkové vody se považuje i její řízené odvádění do vod podzemních, tj. umělá infiltrace (doplňování podzemních vod) tam, kde jsou známé geologické podloží a koeficienty vsaku.“ (19)

3 Cíle práce

Teoretická část této diplomové práce si klade za cíl popsat problematiku nakládání se srážkovými vodami a představit strategie a způsoby vedoucí k lepšímu hospodaření s vodou v rámci průmyslových podniků. Dále se snaží popsat metodiku vodního auditu, jehož cílem je návrh opatření vedoucích ke snížení spotřeby pitné vody a zefektivnění průmyslové výroby v oblasti vodního hospodářství.

Diplomová práce se ve své praktické části věnuje posuzování variant provozu zájmové retenční nádrže M12L ve Škodě Mladá Boleslav. Využití dešťových vod v tomto případě spočívá v poskytování akumulované dešťové vody místním zahrádkářům na zálivku, čímž se mimo jiné benefity vrací voda zpátky do lokálního koloběhu.

Praktická část se sestává z několika dílčích cílů:

- Sběr podkladů, terénní průzkum, seznámení se s tématem, konkrétním případem zájmové retenční nádrže a požadavky k využívání dešťové vody
- Stavba srážko-odtokového modelu zájmové retenční nádrže v softwaru SWMM
- Kalibrace a verifikace modelu
- Vytvoření systému posouzení zájmové retenční nádrže, stanovení možných variant úpravy provozu za účelem docílení co nejvyšší efektivity akumulace dešťové vody a současně maximálního zabezpečení dostatečného odvodnění okolí
- Spuštění všech variantních simulací, interpretace výsledků
- Shrnutí poznatků, vyvození závěrů a doporučení

4 Charakteristika zájmového území

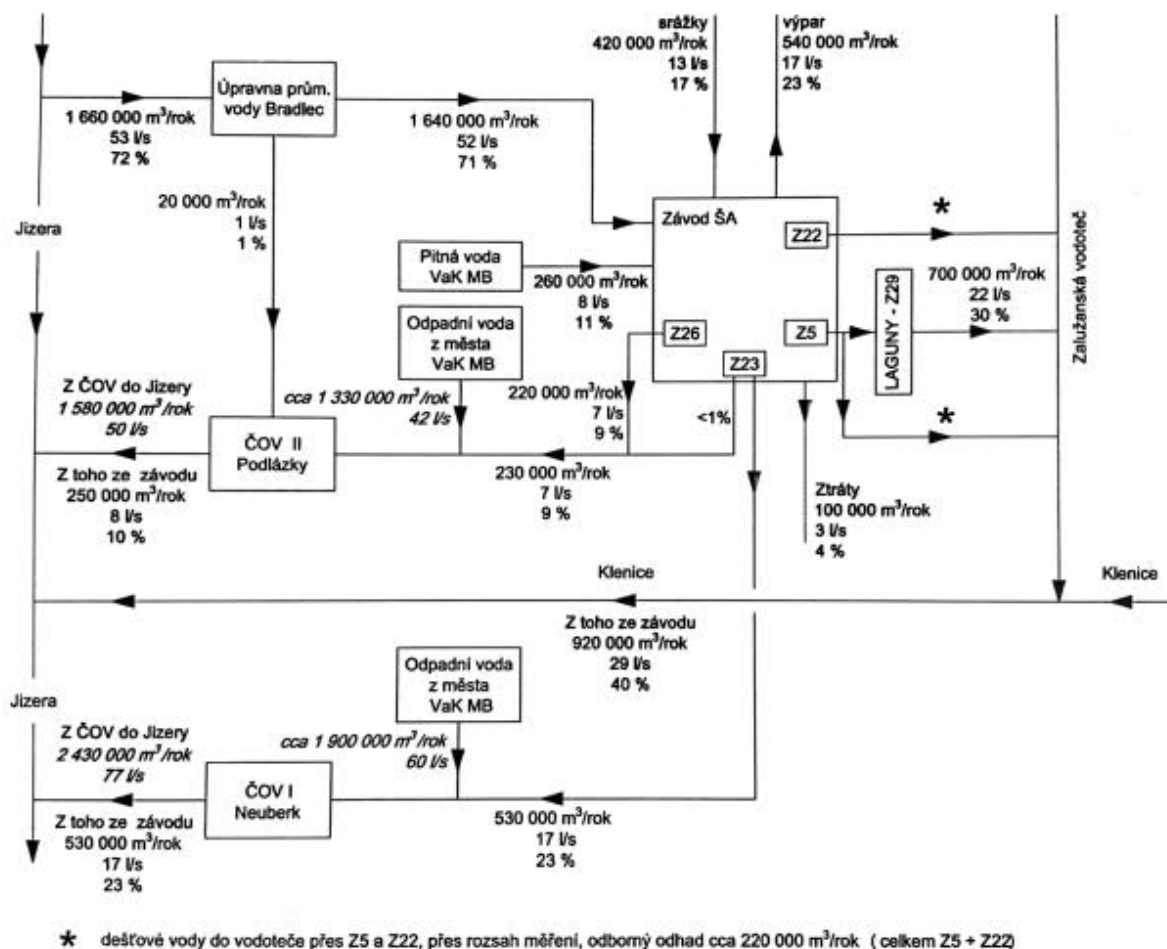
4.1 Škoda Mladá Boleslav

ŠKODA AUTO a.s. je největším výrobcem automobilů v České republice. Sídli v Mladé Boleslavi, kde se nachází i jeho hlavní výrobní závod. Dále má společnost v České republice další dva pobočné výrobní závody, a to v Kvasinách nedaleko Rychnova nad Kněžnou a ve Vrchlabí v okrese Trutnov. Historie společnosti se píše od roku 1895, kdy byla založena značka českého výrobce jízdních kol, motocyklů a automobilů, Laurin & Klement. V roce 1925 tuto značku koupil plzeňský strojírenský podnik Škoda. Škodovy závody patřily mezi nejdůležitější průmyslové podniky Československa. Moderní historie Škody sahá do roku 1991, kdy se stala součástí německého koncernu Volkswagen Group. (21) (22)

4.2 Vodní hospodářství Škody Mladá Boleslav – současný stav a výhledové směry

4.2.1 Zásobování závodu vodou

Škoda Mladá Boleslav je v současnosti zásobována pitnou vodou z městského vodovodu a průmyslovou vodu vyrábí ze surové vody odebírané z řeky Jizery. V závodě jsou dva oddělené rozvody vody – pitné a průmyslové vody. Srážkové vody dopadající na území průmyslového závodu odtékají z části do městské kanalizace, z části jsou přečerpávány do Zálužanské vodoteče, která ústí přes Klenici do Jizery. Z následujícího bilančního schématu (Obrázek 16) si lze udělat představu o poměru jednotlivých zdrojů vody a také o systému zásobování vodou Škody Mladá Boleslav. (23)



Obrázek 16 - Generelní bilanční schéma zdrojů vody pro Škoda Auto včetně srážek a směry jejího odtoku, 100 % = odběry ze zdrojů včetně srážek (= odtoky) (23)

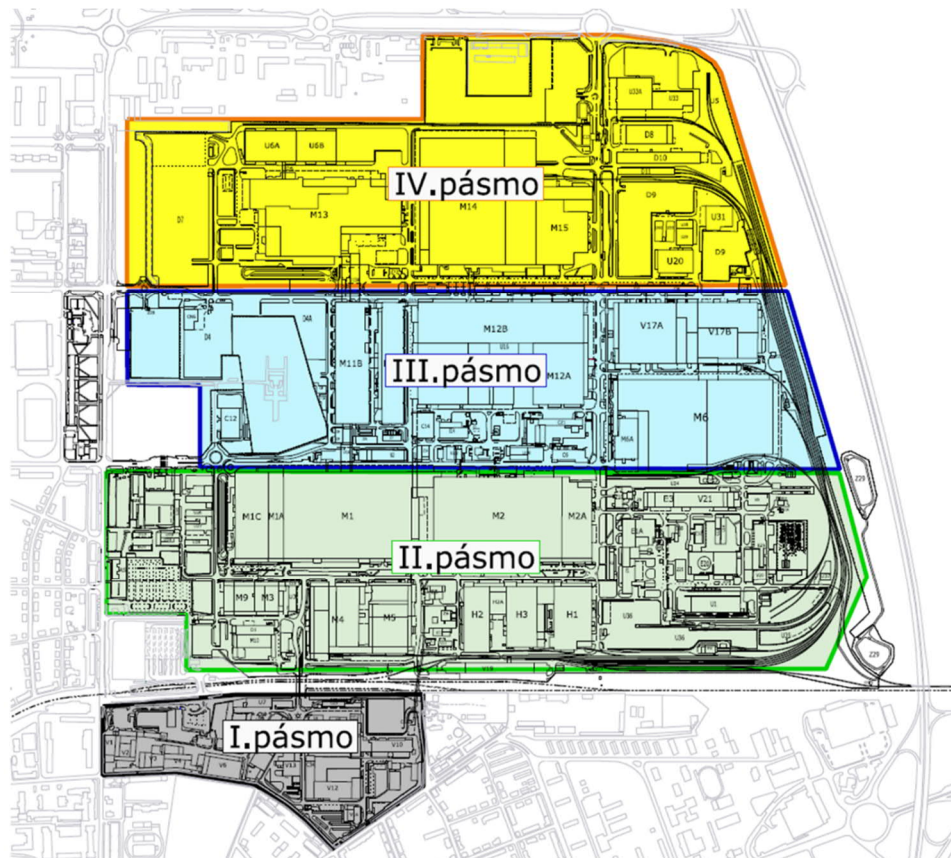
4.2.2 Systém odvodnění areálu

Areál Škody Mladá Boleslav je rozdělen do 4 pásem odvodnění (Tabulka 1, Obrázek 17). Jednotlivá pásma potažmo představují postupný rozvoj areálu. Nejstarší částí je pásmo I., kolem stávající závodní polikliniky a středního odborného učiliště, jehož odvodňovaná plocha je cca 16,8 ha a délka hlavních kanalizací je cca 3 000 m. V I. pásmu odvodnění je systém jednotné kanalizace, kterou spravuje společnost VaK Mladá Boleslav, řeší se předání správy do Škody Auto, a.s.

Tabulka 1 - Pásma odvodnění areálu Škody Mladá Boleslav, jejich odvodňovaná plocha, systém kanalizace a délka hlavních stok (24)

Pásmo odvodnění	I.	II.	III.	IV.
Odvodňovaná plocha [ha]	16,8	53,7	63,9	67,9
Délka hlavních stok kanalizace [m]	3 000	11 350	9 500	10 320
Systém odvodnění	jednotný	jednotný	oddílný	oddílný

Pod pásmo odvodnění II. spadá oblast hal H1-H3, M3-M5, M1 a M2. V tomto pásmu je také jednotný systém odvodnění, celkem cca 11 350 m hlavních stok odvodňujících plochu cca 53,7 ha. Před zaústěním odpadních vod do městské kanalizace je objem všech odtékajících vod z oblasti II. pásma měřen v objektu Z23. (24)



Obrázek 17 - Pásma dešťového odvodnění v areálu Škody Mladá Boleslav (zdroj: Škoda Auto, a.s.)

Oblasti kolem lakoven M11A, B a hal M12, V17 a M6 představují pásmo III. V tomto pásmu je již vybudován systém oddílné kanalizace, veškeré dešťové vody jsou odváděny na čerpací stanici Z5. První splachy dešťových vod z této oblasti jsou odděleny ve vírovém separátoru a následně jsou skrz čerpací stanici Z29 čerpány do dočišťovacích lagun. Odlehčená voda ze separátoru je potrubím vedena do Zálužanské vodoteče. Nová koncepce odvodnění areálu Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav západní část tohoto pásma (kolem lakovny M11C) nově převádí přes retenční nádrž M11C do městské kanalizace ve třídě V. Klementa. S tím je spojené i převedení dešťových vod z části střechy objektu M2, spadající do II. pásma do III.pásma. Odvodňovaná plocha III.pásma je cca 63,9 ha a délka hlavních stok cca 9 500 m. (25)

Do IV. pásma spadají nejnovější oblasti kolem hal M13, M14 a M15 s největší odvodňovanou plochou cca 67,9 ha a délkou hlavních stok cca 10 320 m. Je zde

vybudována oddílná kanalizace, dešťové vody jsou odváděny na čerpací stanici Z22. První splachy jsou vedeny skrz III. pásmo na dočištění v objektu lagun Z29. (24)

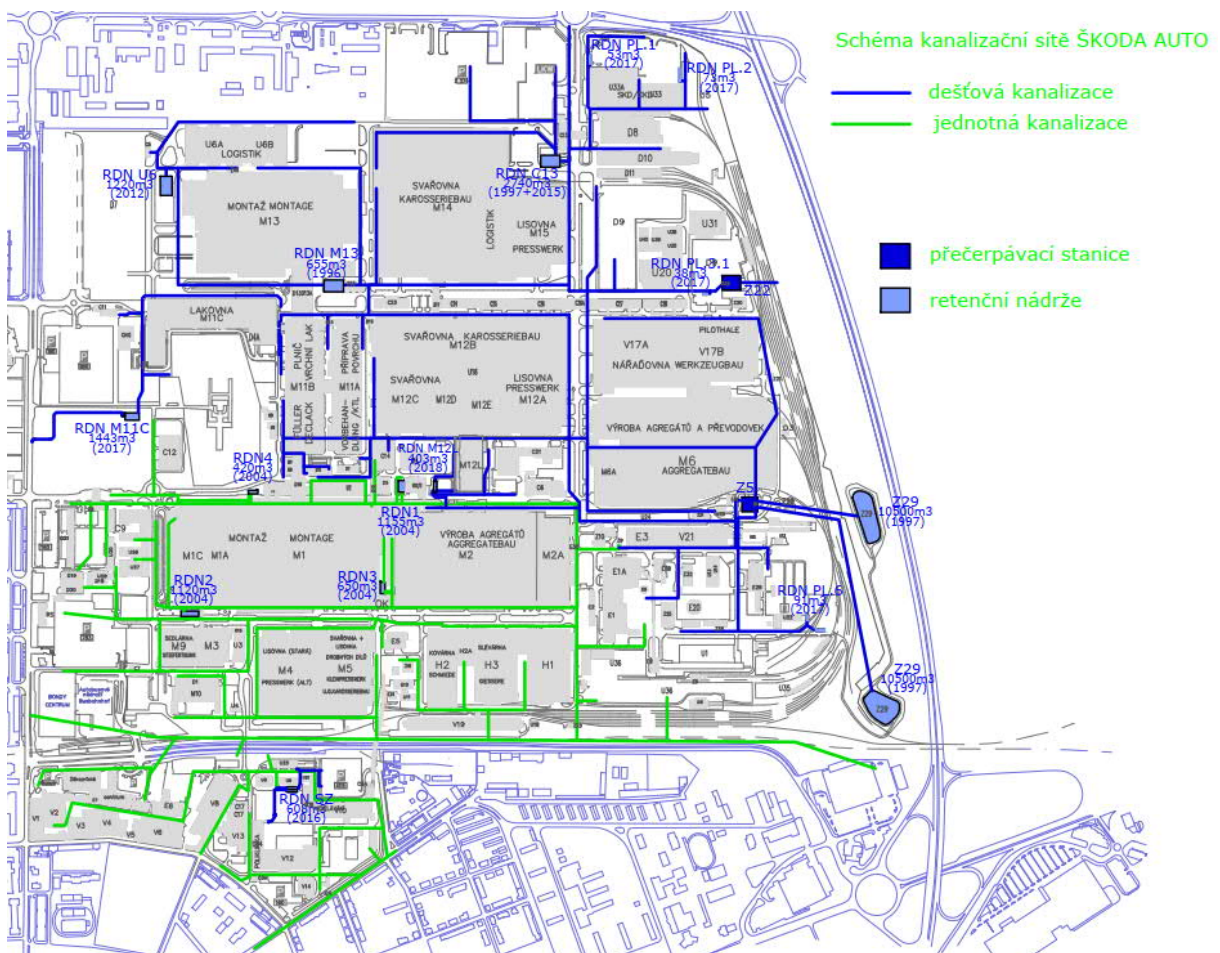
Na schématu kanalizace areálu (Obrázek 18) je vidět rozsah jednotného (zeleně) a dešťové části oddílného systému kanalizace (modře). V jihozápadní části areálu jsou dočišťovací laguny Z29 o objemu 2x 10 500 m³. Dále jsou na schématu zakresleny retenční dešťové nádrže (zkratka RDN), které jsou podle pásem rozděleny takto:

I. pásmo: RDN SZ

II. pásmo: RDN1, RDN2, RDN3, RDN4

III. pásmo: RDN M11C, RDN M12L

IV. pásmo: RDN U6, RDN M13, RDN C13



Obrázek 18 - Schéma kanalizační sítě Škoda Auto a.s. (zdroj Škoda Auto a.s.)

Praktická část v podobě tvorby srážko-odtokového modelu se bude týkat retenční nádrže ve III. pásmu, RDN M12L.

4.2.3 Potenciál využití dešťových vod

Omezením souvisejícím s připravovaným nařízením vlády (26), jehož součástí bude stanovení minimálního zůstatkového průtoku ve vodních tocích, může být zásobování průmyslového areálu Škody zejména v letním období ohroženo. Nejen kvůli tomu společnost Škoda Auto, a.s. již několik let aktivně řeší, jak se s tímto výrazným omezením či úplným zastavením odběru užitkové vody z Jizery vypořádat. Např. ve Studii udržitelného zásobování vodou v závodu Škody Mladá Boleslav z června 2020 (23), bylo vytipováno celkem 7 potenciálních zdrojů průmyslové vody:

- Nádrž pro vodu z Jizery
- Vyčištěná odpadní voda z ČOV
- Podzemní vody
- Dešťové vody
- Odpadní vody z lagun Z29
- Úspory v provozu včetně chladicích vod
- Šedé vody

V podrobnější technické studii z ledna 2021 se zpracovatel studie věnoval dále variantě využívání vyčištěné odpadní vody z ČOV Podlázky jako možné kompenzace sníženého odběru užitkové vody z Jizery. (27) Protože tato diplomová práce se týká využití pouze dešťových vod, dále se nebudeme zabývat ostatními potenciálními zdroji vody a překročíme k možnostem využívání srážkových vod.

Škoda Mladá Boleslav má vzhledem k velikosti svého areálu k dispozici poměrně velké množství srážkových vod, se kterými musí dále nakládat. Podpořit využívání srážkových vod je v jejím vlastním zájmu, protože se jedná o významný zdroj vody a také náklady na vodohospodářskou infrastrukturu spojenou se zajištěním spolehlivého odvodnění areálu jsou značné. Množství srážkových vod v bilanci zdrojů vody v areálu je cca 420 000 m³/rok (zaokrouhlený průměr z let 2018 a 2019), což je přibližně 17 % celkového odběru vody pro závod a zároveň jeho celkového odtoku. (23)

Kontinuální zajištění výroby průmyslové vody z dešťové vody zachycené v retenčních nádržích je vzhledem k její potřebě a k nepravidelnosti srážek v ČR nesmysl. Technická pomoc – studie Využití dešťových vod z června 2020 (25) ale pojednává o využití dešťových vod z dočišťovacích lagun objektu Z29 a z RDN M11C pro kompenzaci výpadku nebo sníženého odběru užitkové vody z Jizery v letním období. Návrh představuje vybudování 2 podzemních nádrží (vodojemů) o objemu každé z nich cca 40 000 m³, z nichž jedna by využívala vodu z dočišťovacích lagun Z29 a druhá vodu z retenční nádrže M11C. Jednalo by se o princip dlouhodobé akumulace vody pro případ výpadku.

K vodojemům by příslušela úprava, která by zajišťovala požadovanou úpravu vody k použití do výroby a čerpací stanice. (25)

V případě menších retenčních nádrží v areálu a stejně tak zájmové nádrže M12L, řešené v této práci, je v současné době vyvíjena snaha o akumulaci dešťových vod a umožnění jejího využívání pro závlivu zeleně zahrádkářům z okolí. Odběr vody pro zahrádkáře se předpokládá pouze ve vegetačním období, které pro účely této práce bylo stanoveno na měsíce duben-září. V průběhu léta 2021 na zájmové RDN byly prováděny experimenty s akumulací dešťové vody a tato voda byla již nabízena zahrádkářům, kteří podle dostupných informací odebírali průměrně 70-80 m³ vody týdně.

4.3 Řešená retenční nádrž

V praktické části této diplomové práce se zabývám modelem konkrétní retenční nádrže dešťových vod, která se nachází v areálu Škody Mladá Boleslav, přesněji východně od skladové haly výlisků M12L. Tato retenční nádrž je obdélníková z monolitického železobetonu a její vnitřní rozměry jsou 6,0 x 24,0 x 3,1 m. Dno nádrže je vyspádováno ve sklonu 1 % směrem k odtoku do čerpací stanice na kótu 206,50 m n.m.



Obrázek 19 - Fotografie retenční nádrže M12L z realizace (zdroj: Škoda Auto, a.s.)

Retenční nádrž má celkem 3 přítoky, stoku D1 DN/OD500 (niveleta dna 206,70 m n.m.), stoku D2 DN/OD400 (niveleta dna 208,20 m n.m.) a stoku D4 DN/OD200 (niveleta dna 208,90 m n.m.). Retenční nádrž je ve dně propojena s čerpací stanicí vodorovným potrubím DN/OD500 o délce 2,2 m. V retenční nádrži je vybudován bezpečnostní přepad DN/OD315 do jednotné kanalizace (stoky A) s kótou nivelety dna odtoku 209,30 m n.m. Všechna potrubí jsou materiálově z hladkého polypropylenu PP, SN 12.

Čerpací stanice je kruhová šachta o průměru 2 m s kótou vnitřního dna cca 204,60 m n.m. Nátok do čerpací stanice je zhotoven z jak již bylo zmíněno výše, vodorovného potrubí DN/OD500. V čerpací stanici jsou v provozu 2 ponorná litinová čerpadla Flygt s elektromotorem 400 V/50 Hz, $Q = 80 \text{ l/s}$, $H = 4,7 \text{ m}$, se jmenovitým výkonem 5,9 kW. Provoz čerpadel je z důvodu kontroly funkce navržen jako střídavý. Po dosažení zapínací hladiny čerpá čerpadlo č.1, po vyčerpání vody na vypínací hladinu čerpadlo č.1 vypne a při dalším cyklu je čerpání provedeno čerpadlem č.2. Dešťové vody z retenční nádrže jsou čerpány výtlačným potrubím $d280 \times 16,6 \text{ mm}$ do oddílné dešťové kanalizace vedoucí na Z5 a přes dočišťovací laguny do Zálužanské vodoteče. (28) (23)



Obrázek 20 - Fotografie retenční nádrže M12L z realizace (zdroj: Škoda Auto, a.s.)

Účinný retenční prostor nádrže (po bezpečnostní přepad) je cca 404,6 m³ + příslušný objem v čerpací stanici cca 14 m³, tj. celkem bez spojovacího potrubí cca 418,6 m³. Podrobnější výkresy (půdorys + řez) retenční nádrže i čerpací stanice z prováděcí dokumentace, které jsem měla k dispozici, jsou součástí příloh č.1-3.

4.3.1 Charakteristika zájmového povodí

Do retenční nádrže jsou svedeny dešťové vody ze střechy M12L, několika menších okolních objektů a přilehlých komunikací. Jedná se tedy o dešťové vody odtékající pouze ze zpevněných ploch. Podrobnější informace o napojených plochách jsou zřejmé z následující tabulky (Obrázek 21).

Stoka	Okrsek	Plocha ha	ψ	r.plocha ha	Odtok l/s	Σ odtoků l/s
D21	P3	0,1250	0,90	0,1125	22,73	22,73
D3	P1	0,1100	0,90	0,0990	20,00	20,00
D4	P2	0,0850	0,90	0,0765	15,45	15,45
D2 - 2. úsek	K2	0,1950	0,90	0,1756	35,45	35,45
D2 - 1. úsek	St1	0,3800	0,90	0,3420	69,08	104,53
	+ stoka D21				22,73	127,26
D1- 2. úsek	S1	0,7750	0,90	0,6975	140,90	140,90
	K1	0,1000	0,90	0,0900	18,18	159,08
D1- 1. úsek	+ stoka D3				20,00	179,08
	St2	0,1200	0,90	0,1080	21,82	200,90
součet		1,8900			<i>Celkový odtok 343,61 l/s</i>	

Obrázek 21 - Tabulka odvodňovaných ploch (28)

5 Metody dosažení cíle

5.1 Příprava, vstupní data

Tato diplomová práce byla koncipována jako příprava pro budoucí výzkumnou práci na projektu pro společnost ŠKODA AUTO a.s. V úvodní fázi jsem se spolu s ostatními kolegy z FSV ČVUT zúčastnila návštěvy hlavního závodu Škody v Mladé Boleslavi, kde jsme se setkali s paní Ing. Boženu Veseckou, která nám blíže specifikovala zadání. Zároveň jsme měli možnost projít si okolní terén zájmové retenční dešťové nádrže.

Vstupní data se sestávala z:

- Projektové dokumentace ve stupni DPS, akce: ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav – hala M12 – sklad výlisků, TI 04 Areálová kanalizace dešťová, RN, ČS – Technická zpráva, výkresu čerpací stanice a retenční nádrže (půdorys + řez), 02/2018

Tyto podklady posloužily zejména k seznámení se s dispozičním i výškovým návrhem retenční nádrže a čerpací stanice, režimem fungování, dále k sestavení objemové křivky a křivky čerpadla.

- Záznamu měření hladiny vody v retenční nádrži (resp. v čerpací stanici náležící k zájmové RDN) v rozsahu od 19.2.2019 8:20 do 5.12.2021 23:59, jednalo se o data z počátku v 10minutovém a od cca 20.4.2021 v minutovém kroku

Z datové řady bylo nutné ustanovit si stálou hladinu v čerpací stanici a její úroveň vzhledem k měření. Nejnižší hladina se nejčastěji v měřených datech ustálila na hladině 0,25 m, která po odsouhlasení s provozovatelem čerpací stanice byla stanovena jako stálá hladina v čerpací stanici, resp. vypínací hladina čerpadel (205,10 m n.m.).

- Dešťových dat ze dvou srážkoměrů ve Škodě Mladá Boleslav
 - Srážkoměr ŠKO-ENERGO se nachází u kotelny v areálu Škody Mladá Boleslav, data byla předána v rozsahu od 30.9.2019 8:00 do 15.10.2021 23:59, jedná se o srážkové úhrny v 15minutovém kroku.
 - Srážkoměr na střeše M12L je umístěn přímo na střeše zájmové haly, byl ale nainstalován poměrně nedávno, data z něj mi byly k dispozici v rozsahu od 1.7.2021 7:40 do 5.12.2021 23:59. Tento srážkoměr běžně zaznamenává data v 10minutovém kroku, pokud prší, tak srážkové úhrny zaznamenává až v minutovém kroku.

Vzhledem k prováděným provozním experimentům během léta 2021, nebylo pro kalibraci bohužel vhodné použít srážkoměr ze střechy M12L. Pro účely této práce mi tedy především posloužila data ze vzdálenějšího srážkoměru ŠKO-ENERGO.

Dále je k dešťovým datům důležité poznamenat, že data ze srážkoměru ŠKO-ENERGO byla zaznamenávána i v letním čase, proto je bylo potřeba převést do zimního času, ve kterém byla data měření hladiny v čerpací stanici. V následující tabulce (Tabulka 2) jsem shrnula období v roce, která byla v letním čase a data z nich byla nutná převést do stejného časového formátu (zimního času = standardního středoevropského času (SEČ)). Letní čas se zavádí vždy v poslední neděli měsíce března, kdy se ve 2:00 změní čas na 3:00, a končí poslední neděli v říjnu, kdy se ve 3:00 čas vrátí zpět na 2:00. (29)

Tabulka 2 - Dny, kdy proběhla změna času v letech 2019-2021

rok	začátek letního času	konec letního času
2019	31.března	27.října
2020	29.března	25.října
2021	28.března	31.října

- Desetiletá historická řada dešťů (v rozsahu 1/1999-12/2008) z nedaleké srážkoměrné stanice v minutovém kroku, která následně posloužila pro posouzení retenční nádrže

Po důkladném prozkoumání všech dostupných dat a jejich úpravě do použitelných formátů jsem byla schopna přistoupit k sestavování srážko-odtokového modelu.

5.2 Srážko-odtokový model

Model jsem se rozhodla vytvořit v bezplatné verzi softwaru SWMM (Storm Water Management Model) americké nezávislé agentury EPA (Environmental Protection Agency), který umožňuje poměrně jednoduchou cestou modelovat srážko-odtokové procesy.

5.2.1 Odvodňované povodí

Jak již bylo řečeno, do zájmové retenční nádrže jsou napojeny dešťové vody pouze ze zpevněných ploch v okolí haly M12L. Bližší charakteristika odvodňovaných ploch byla převzata z projektové dokumentace. (28) Celkem jsou do retenční nádrže napojeny 3 přítoky, stoka D1, D2 a D4. K těmto napojeným stokám byly v modelu připojeny odvodňované plochy, jak je zřejmé z následující tabulky (Tabulka 3).

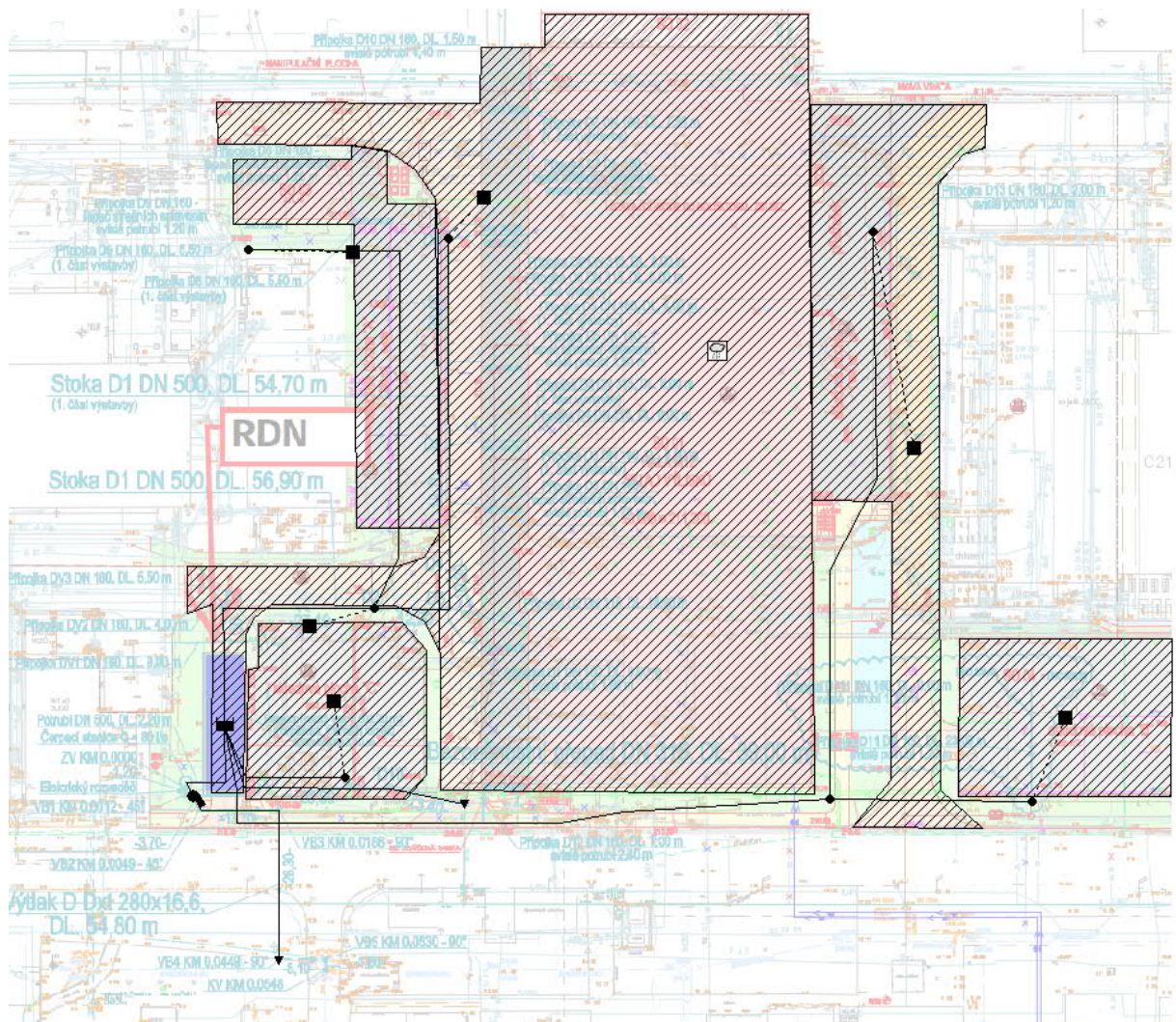
Tabulka 3 - Přehled odvodňovaných ploch v rámci jednotlivých přítoků do zájmové RN

STOKA D1 DN500		
<i>Stoka</i>	<i>Okrsek</i>	<i>Plocha z TZ [ha]</i>
D1 - 2.úsek	S1	0,775
	K1	0,100
D1 - 1.úsek	St2	0,120
D3	P1	0,110
		1,11
STOKA D2 DN400		
<i>Stoka</i>	<i>Okrsek</i>	<i>Plocha z TZ [ha]</i>
D2 - 2.úsek	K2	0,195
D2 - 1.úsek	St1	0,380
D21	P3	0,125
		0,70
STOKA D4 DN200		
<i>Stoka</i>	<i>Okrsek</i>	<i>Plocha z TZ [ha]</i>
D4	P2	0,085
		1,89

Největší odvodňovanou plochou je střecha haly M12L (plocha S1), která má 0,775 ha. Ostatní části povodí jsou zejména skladové plochy a komunikace. Do SWMM bylo tedy zadáno 6 dílčích povodí, přičemž byly spojeny plochy S1+K1 a St1+K2. Odtok z dílčího povodí byl vždy napojen do horní šachty příslušné stoky. Celková plocha povodí

zájmové retenční dešťové nádrže je 1,89 ha. Jednotlivé odvodňované plochy a přítoky do retenční nádrže jsou přehledně vyznačeny v původním situačním výkresu, který je součástí přílohy č.4.

Sklon povodí byl nastaven na 2 % podle sklonu střechy haly M12L, která tvoří hlavní část povodí. Vzhledem k tomu, že pro návrh retenční nádrže byly uvažovány pouze zpevněné plochy, podíl nepropustných ploch byl uvažován jako stoprocentní. Protože odvodňované plochy jsou buď střecha průmyslové haly anebo pozemní komunikace, případně skladovací plocha, tak Manningův součinitel drsnosti celého povodí byl odhadem na základě doporučených hodnot z manuálu ke SWMM stanoven na 0,012 (30). Retenční kapacita nepropustných povrchů (D-store Imperv) byla odhadnuta podobným způsobem na hodnotu 2 mm. (31) Procento nepropustných ploch s nulovou retenční kapacitou (% Zero-Imperv) bylo stanoveno jako nulové, protože se zde nevyskytují šikmé střechy.



Obrázek 22 - Sraško-odtokový model zájmové retenční dešťové nádrže ve SWMM

Směr odtoku z povodí jsem nastavila jako Outlet, což znamená, že odtok z propustných i nepropustných ploch odtéká přímo a nepřelévá se mezi propustnými a nepropustnými plochami. V tomto modelu se žádné propustné plochy neuvažují.

5.2.2 Potrubí a směry odtoku

V modelu byla vytvořena schematizovaná síť potrubí, skládající se ze 3 hlavních stok, natékajících do RN – D1, D2 a D4. Stoka D1 je napojena do RN s kótou nivelety dna 208,7 m n.m., je profilu DN/OD500, délky 112 m a má jeden přítok D3 profilu DN/OD250 délky 90 m. Stoka D2 je druhým největším přítokem do RN, jedná se o potrubí DN/OD400 v délce 109 m napojené ve výšce 208,2 m n.m. Její úvodní část o délce 101 m je v profilu DN/OD315 a je do ní napojena vedlejší stoka D21 DN/OD250 o délce 35 m. Nejmenším nátokem (na kótě 208,9 m n.m.) je stoka D4, která odvádí vody pouze ze skladové plochy „C“ (P2) o profilu DN/OD200 a délce 18 m. Všechna potrubí jsou plnostěnná z polypropylenu PP SN 12. Drsnost potrubí byla uvažována o hodnotě 0,012 – tato hodnota byla převzata z manuálu pro SWMM (32) a byla zvolena nižší mez rozpětí nabízených hodnot vzhledem k tomu, že potrubí je relativně nové (bylo uloženo v roce 2019). Protože výrobce skutečně použitého potrubí nebyl znám, v modelu byly zadány vnitřní rozměry potrubí, které byly získány z internetových stránek jednoho z významných výrobců PP kanalizačního potrubí (33) a jsou shrnuty v tabulce:

Tabulka 4 - Vnitřní průměry potrubí PP SN 12 (33)

DN/OD [mm]	200	250	315	400	500
Vnitřní průměr ID [mm]	184,6	230,8	290,8	369,4	461,8

Voda shromážděná v retenční nádrži pak ve skutečnosti natéká vodorovným potrubím DN/OD500 do čerpací stanice. V modelu byla situace zjednodušena tak, že retenční nádrž a čerpací stanice jsou spojeny do jednoho retenčního objektu, a proto je toto spojovací potrubí o délce 2,2 m zanedbáno. Jeho retenční objem je oproti retenčnímu objemu celé nádrže zanedbatelný.

Běžně je voda dále čerpána výtlačným potrubím d280 x 16,6 mm do oddílné dešťové kanalizace. V modelu je do společného retenčního objektu s čerpací stanicí napojeno čerpadlo, které je zakončeno volným výtokem. Modelování této části oddílné dešťové kanalizace není cílem této diplomové práce.

V modelu retenční nádrže je stejně jako ve skutečnosti vytvořen havarijný přepad DN/OD315 se kótou přelivu 209,3 m n.m. Potrubí havarijního přepadu je v modelu

zakončeno výtokem do volna (Outfall) s kótou vyústění 209,03 m n.m. Ve skutečnosti se havarijní případ v této výšce napojuje do jednotné kanalizace, ale modelování jejího zatížení při dešti není součástí této diplomové práce.

5.2.3 Retenční nádrž a čerpací stanice

Pro účely této diplomové práce mi byla k dispozici data v podobě měření hladiny v čerpací stanici za období od 19.2.2019 do začátku prosince 2021. Měřená hladina v čerpací stanici odpovídá nadmořskou výškou hladině v retenční nádrži, protože tyto fungují jako spojené nádoby. Stálá hladina v čerpací stanici byla po zprůměrování naměřených dat určena 0,25 m, což odpovídá výšce vypínací hladiny čerpadla 205,10 m n.m. Z toho byla odvozena modelová kóta dna retenčního objektu 204,85 m n.m. Ve skutečnosti je ale možné, že stavební dno čerpací stanice se výškově lehce liší.

Retenční nádrž byla v modelu uvažována spolu s čerpací stanicí jako jeden objekt typu „Storage Unit“ s kótou dna 204,85 m n.m. Objem retenční nádrže byl do SWMM zadán pomocí objemové křivky (Storage Curve) s následujícím tabulárním zadáním (Tabulka 5). V levém sloupci je hloubka v metrech, v pravém sloupci plocha v metrech čtverečních. Za objem modelovaného retenčního objektu se bere objem retenční nádrže a čerpací stanice do úrovně vnitřního stropu retenční nádrže (209,60 m n.m., tj. 4,75 m hloubky v tabulce). Objem propojovacího potrubí DN/OD500 délky 2,2 m byl zanedbán.

Tabulka 5 - Objemová křivka (Storage Curve) retenčního objektu do modelu SWMM

	nadm. výška [m n.m.]	výška v model. ret. objektu [m]	plocha [m ²]
dno ČS *	204,85	0,00	3,14
dno RN - 1 cm	206,49	1,64	3,14
dno RN	206,50	1,65	174,14
strop RN	209,60	4,75	174,14

* odvozeno podle hladiny v RDN = 0,25m

5.2.4 Čerpání

V čerpací stanici pro zájmovou retenční nádrž jsou umístěny 2 čerpadla, o kapacitě 2x 80 l/s. Dle projektové dokumentace (28) mají tato 2 čerpadla fungovat ve střídavém provozu, tedy vždy čerpá jedno z nich a střídají se. Čerpané množství bylo ověřováno jednoduchým výpočtem, protože ze strany provozovatele byla vznesena informace, že

čerpají obě čerpadla najednou. Výpočet spočíval v tom, že se vzal úsek dat z 2.11.2021, kdy došlo k vyčerpání velké části objemu retenční nádrže, konkrétně v 7:37 bylo započato čerpání z hladiny v čerpací stanici 4,18 m, a bylo sčerpáno na hladinu 0,33 m v čase 8:54 téhož rána. Přepočtem dostáváme vyčerpaný objem 369,9 m³ za dobu 77 min, tj. cca 80 l/s. Tímto byla ověřena hodnota čerpaného průtoku při zapnutí čerpadla.

Charakteristika čerpadla v modelu byla zadána pomocí křivky čerpadla (Pump Curve) v následujícím tabulárním zadání (Tabulka 6). V pravém sloupci jsou výšky počítané ode dna retenčního objektu a v levém sloupci je k nim definováno příslušné čerpané množství v metrech krychlových za sekundu.

Tabulka 6 - Křivka čerpadla (Pump Curve) do modelu SWMM

	nadm. výška [m n.m.]	výška v model. ret. objektu [m]	čerpané množství [m ³ /s]
dno ČS *	204,85	0,00	0,00
vypínací hl. - 1 cm	205,09	0,24	0,00
vypínací hladina	205,10	0,25	0,08
zapínací hladina	206,40	1,55	0,08
dno RN	206,50	1,65	0,08
strop RN	209,60	4,75	0,08

* odvozeno podle hladiny v RN = 0,25m

Spínací hladina čerpadla je podle informací od provozovatele na kótě 206,40 m n.m., tj. ve výšce 1,55 m nad dnem retenčního objektu v modelu. Vypínací hladina čerpadla je na kótě 205,10 m n.m., tj. ve výšce 0,25 m nad dnem retenčního objektu, tato hladina byla použita jako referenční i k určení kóty dna retenčního objektu v modelu.

Je nutné podotknout, že jsem se během zpracovávání dat, které jsem měla k dispozici, potýkala s nejistotami, které byly způsobeny provozními experimenty v nastavení čerpadel, kdy čerpadlo nespínalo automaticky na spínací hladině a byla udržována vyšší hladina v retenční nádrži za účelem vyšší využitelnosti zadržené vody. Tyto provozní experimenty byly podle provozovatele uskutečňovány v období 19.4.-24.8. a od 5.10.2021 dále.

5.2.5 Dešťová data

Dešťová data byla potřeba ke kalibraci modelu, ke které jsem použila data ze srážkoměru ŠKO-ENERGO, který se nachází v areálu Škody Mladá Boleslav. K dispozici jsem sice měla i data z bližšího srážkoměru přímo na střeše haly M12L, ale ta byla pouze z krátkého období, ve kterém nebyla nalezena vhodná dešťová událost pro kalibraci, tzn. dešť, před níž byla retenční nádrž prázdná a byl dostatečně vydatný, aby bylo vidět v 10minutovém kroku měření hladiny v čerpací stanici průběh nárůstu hladiny a vyčerpání nateklého objemu. Toto bylo způsobeno mimo jiné i provozními experimenty, probíhajícími v období dostupných dat ze srážkoměru ze střechy M12L, ke kterým jsem v době provádění kalibrace modelu neměla dostatečné informace (o manuálním ovládní čerpadel). Časový rozsah dostupných dešťových dat byl vymezen v kapitole 5.1.

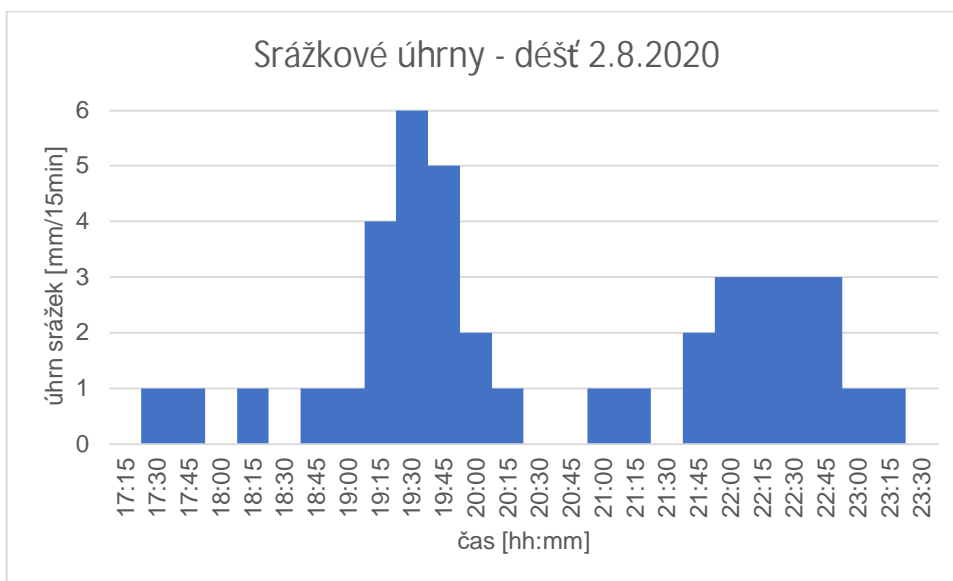
Z výše uvedených důvodů a také faktu, že osazená čerpadla jsou poměrně silná a schopná velmi rychle objem retenční nádrže vyčerpat, tudíž v datech měření hladiny v 10minutovém kroku často není průběh plnění nádrže vidět do větší podrobnosti, relevantních srážkových dat bylo málo, vybrala jsem celkem 3 deště, které jsem použila pro kalibraci. Verifikace modelu vzhledem k nedostatku použitelných dat nebyla provedena. V následujících odstavcích popíšu vybrané dešťové události, které byly použity ke kalibraci. Jedná se o tyto 3 deště:

- 2.8.2020
- 28.8.2020
- 22.6.2021*

Oba deště ze srpna 2020 vyhověly ideálnímu požadavku na počáteční hladinu v čerpací stanici před začátkem deště, a to na vypínací hladině, tj. 0,25 m hloubky podle referenční hladiny měření. Třetí zmíněná dešťová událost ze dne 22.6.2021 už tomuto požadavku nevyhověla, byl použit trochu jiný způsob kalibrace, který bude popsán v následující kapitole 5.3. Při začátku třetího deště byla hladina v retenční nádrži na úrovni 3,22 m, tj. přibližně 1,23 m pod úrovní havarijního přepadu.

5.2.5.1 Dešťová událost 2.8.2020

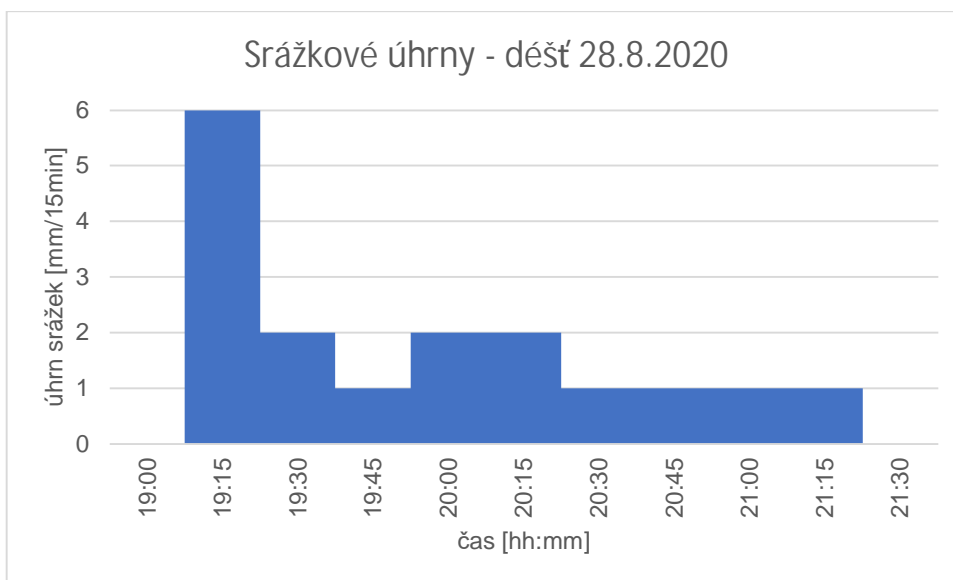
V následujícím grafu (Obrázek 23) jsou vidět srážkové úhrny deště ze dne 2.8.2020 o celkovém srážkovém úhrnu 41 mm.



Obrázek 23 - Srážkové úhrny – dešť 2.8.2020 (srážkoměr ŠKO-ENERGO)

5.2.5.2 Dešťová událost 28.8.2020

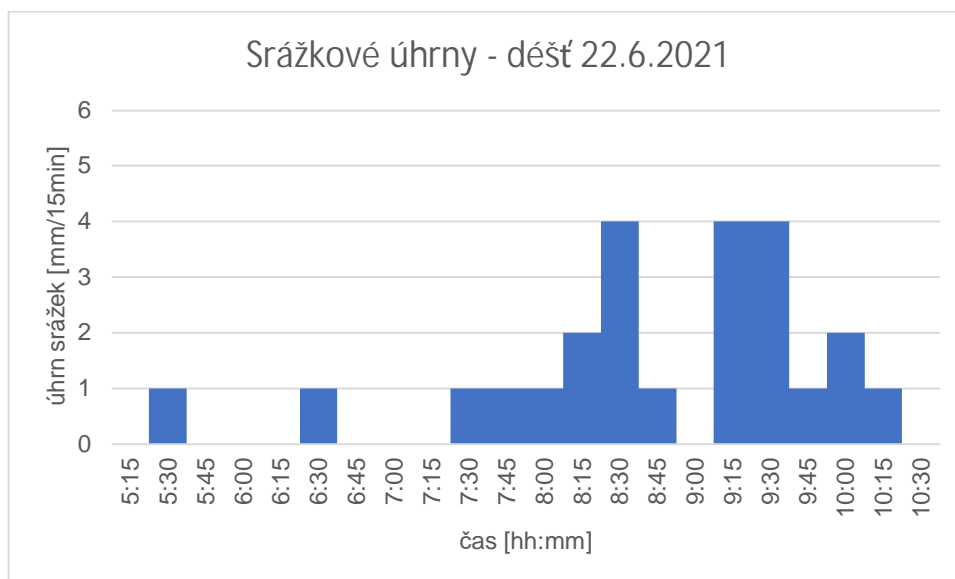
V následujícím grafu (Obrázek 24) jsou vidět srážkové úhrny deště ze dne 28.8.2020 o celkovém srážkovém úhrnu 17 mm.



Obrázek 24 - Srážkové úhrny – dešť 28.8.2020 (srážkoměr ŠKO-ENERGO)

5.2.5.3 Dešťová událost 22.6.2021

V následujícím grafu (Obrázek 25) jsou vidět srážkové úhrny deště ze dne 22.6.2021 o celkovém srážkovém úhrnu 24 mm.



Obrázek 25 - Srážkové úhrny – dešť 22.6.2021 (srážkoměr ŠKO-ENERGO)

5.3 Kalibrace, verifikace

Ve chvíli, kdy byl kompletně sestaven model ve SWMM (bližší popis sestavování modelu viz kapitola 5.2), nastal čas na kalibraci modelu. Smyslem kalibrace modelu je ověření jeho fungování na skutečných dešťových událostech s cílem co největšího přiblížení se chování modelovaného objektu ve skutečnosti, a to pomocí uzpůsobení parametrů, které jsou v realitě těžko měřitelné. (34) Kalibrace může být provedena pouze za předpokladu, že existuje dostatečné množství relevantních naměřených dat ze skutečných událostí. V případě tohoto modelu mi byla k dispozici data o měření hladiny v čerpací stanici s přesností na centimetry, v časovém kroku 10 min. Centimetrová přesnost byla naprosto dostačující, úplně tomu tak nebylo u 10minutového kroku měření dat. Kvůli poměrně dlouhému časovému kroku měření hladiny docházelo k tomu, že model se choval „přesněji“ než realita znázorněná naměřenými hladinami. To jsem ověřila následujícím logickým přepočtem.

Objem čerpací stanice mezi vypínací (205,10 m n.m.) a zapínací hladinou (206,40 m n.m.) je při průměru kruhové šachty 2 m, cca 4,1 m³. Tento objem vody je instalované čerpadlo s čerpaným množstvím 80 l/s schopno vyčerpat za pouhých 51 s. Kvůli tomu docházelo v modelu k velmi častému spínání čerpadla, což při konzultaci s provozovatelem čerpací stanice mi bylo potvrzeno, že čerpadla jsou velmi silná a spínají velice často i ve skutečnosti. Je tedy zřejmé, že pokud do nádrže nepřitéká více jak čerpané množství, tj. 80 l/s, retenční nádrž se v podstatě nezačne ani plnit, protože čerpadla velmi dobře stíhají čerpat nateklou vodu po malém objemu mezi spínací a vypínací hladinou v čerpací stanici. Toto nastavení spínací hladiny pravděpodobně není příznivé pro životnost čerpadla, ale tento problém není tématem této diplomové práce.

Pro kalibraci byly vybrány celkem 3 dešťové události (podrobnější charakteristika viz kapitola 5.2.5) – ze dnů 2.8.2020, 28.8.2020 a 22.6.2021. Samozřejmostí je, že ke všem třem dešťům byla k dispozici data o měření hladiny v čerpací stanici (resp. retenční nádrži). U srpnových dešťů byla počáteční hladina před začátkem deště na úrovni vypínací hladiny, tj. 0,25 m hloubky podle referenční hladiny měření. U červnového deště byla retenční nádrž před deštěm z větší části naplněna, konkrétně byla hladina delší dobu před deštěm ustálena na 3,22 m hloubky. Zbývalo tedy cca 1,23 m k dosažení úrovně havarijního přepadu.

V tomto bodě bylo důležité uvědomit si, jaké všechny parametry modelu mohou zásadně ovlivňovat odtok z povodí, resp. nátok do retenční nádrže. Obecně se jedná o parametry povodí a potrubí. Některé parametry jsem mohla určit celkem přesně podle dostupné projektové dokumentace, např. plochu jednotlivých povodí, procento

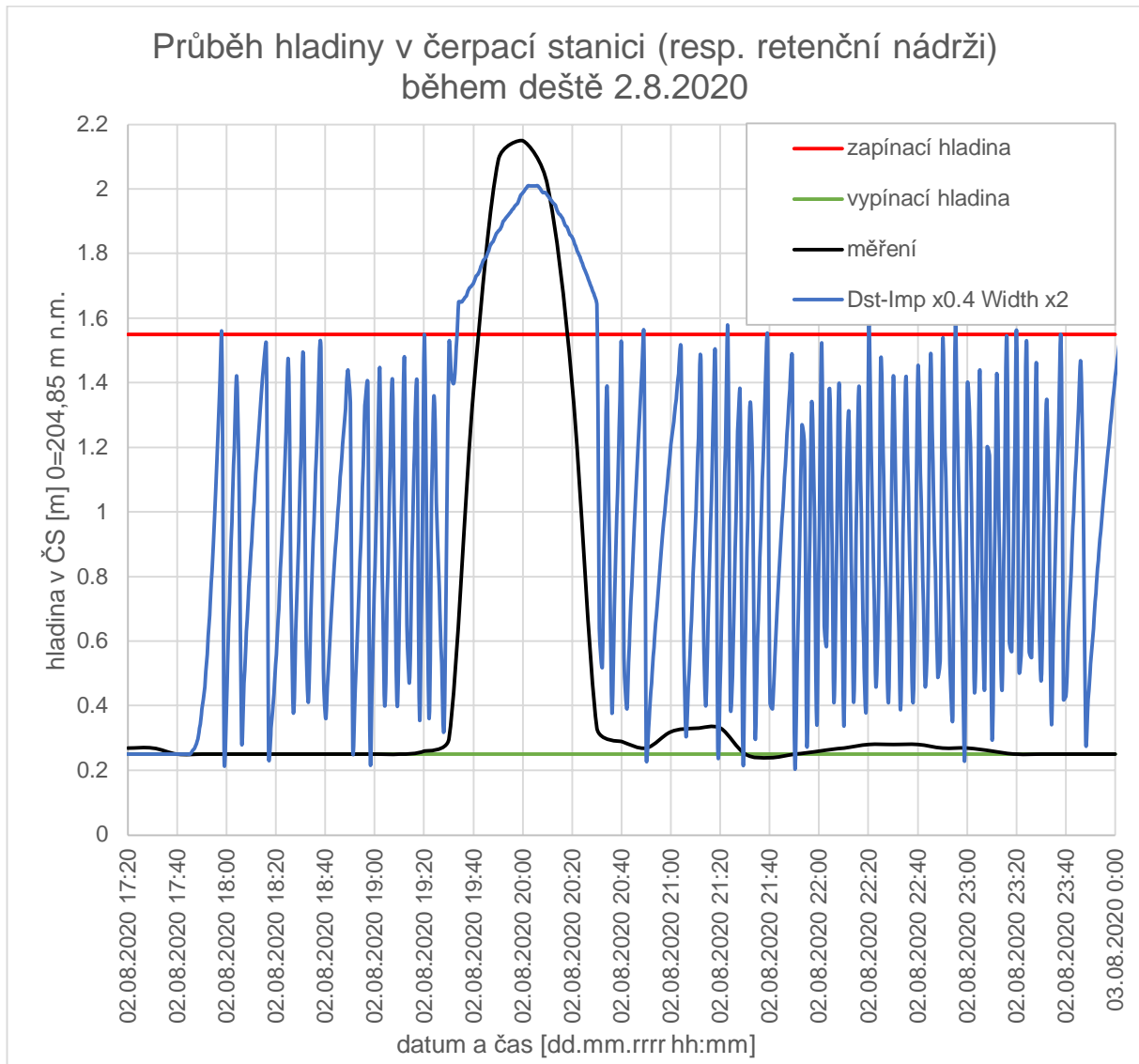
nepropustných ploch. V modelu bylo počítáno pouze s nepropustnými plochami, tudíž procento nepropustných ploch bylo nastaveno na 100 %, a jejich plochy jsem převzala z tabulky, která je součástí projektové dokumentace k retenční nádrži (28). Dále jsem některé parametry jako součinitele drsnosti potrubí a nepropustných ploch určila podle manuálu ke SWMM (35) a s jejich hodnotou jsem při kalibraci v podstatě nehýbala, protože to nemělo podstatný efekt ve formování odtokové vlny. Hodnota sklonu povodí byla také pevně nastavena na 2 %, podle sklonu hlavní střechy haly M12L, a nebyla v kalibraci upravována.

Hlavními parametry, které jsem hromadně upravovala v rámci kalibrace, byla šířka povodí (Width) a retenční kapacita nepropustných ploch (Dstore-Imperv). Ještě jsem chtěla hýbat s parametrem Percent Routed neboli procento plochy, které odtéká mezi dílčími povodími, ale vzhledem k tomu, že v modelu nebyly uvažovány žádné propustné plochy, tento parametr neměl na výsledky simulace žádný vliv.

Parametr šířky povodí (Width) jsem původně odhadla na základě situačního výkresu, v rámci kalibrace vyšlo, že tento parametr by pro co nejbližší chování modelu vzhledem ke skutečnému měření měl být **dvojnásobně zvětšen**.

Parametr retenční kapacity nepropustných ploch (Dstore-Imperv) byl původně odhadnut podle manuálu ke SWMM na hodnotu 2 mm. Během kalibrace jsem došla k tomu, že tento parametr byl **zmenšen 0,4násobně**.

V následujícím grafu (Obrázek 26) je vidět naměřený i simulovaný průběh hladiny v čerpací stanici a potožmo retenční nádrži, s již upravenými parametry pro déšť ze dne 2.8.2020. Jak již bylo řečeno, časté spínání čerpadla v modelu, které je pravděpodobně i realitou, znemožňovalo kalibraci celého průběhu deště, a tak byla kalibrace provedena hlavně vzhledem k vrcholu odtokové vlny.



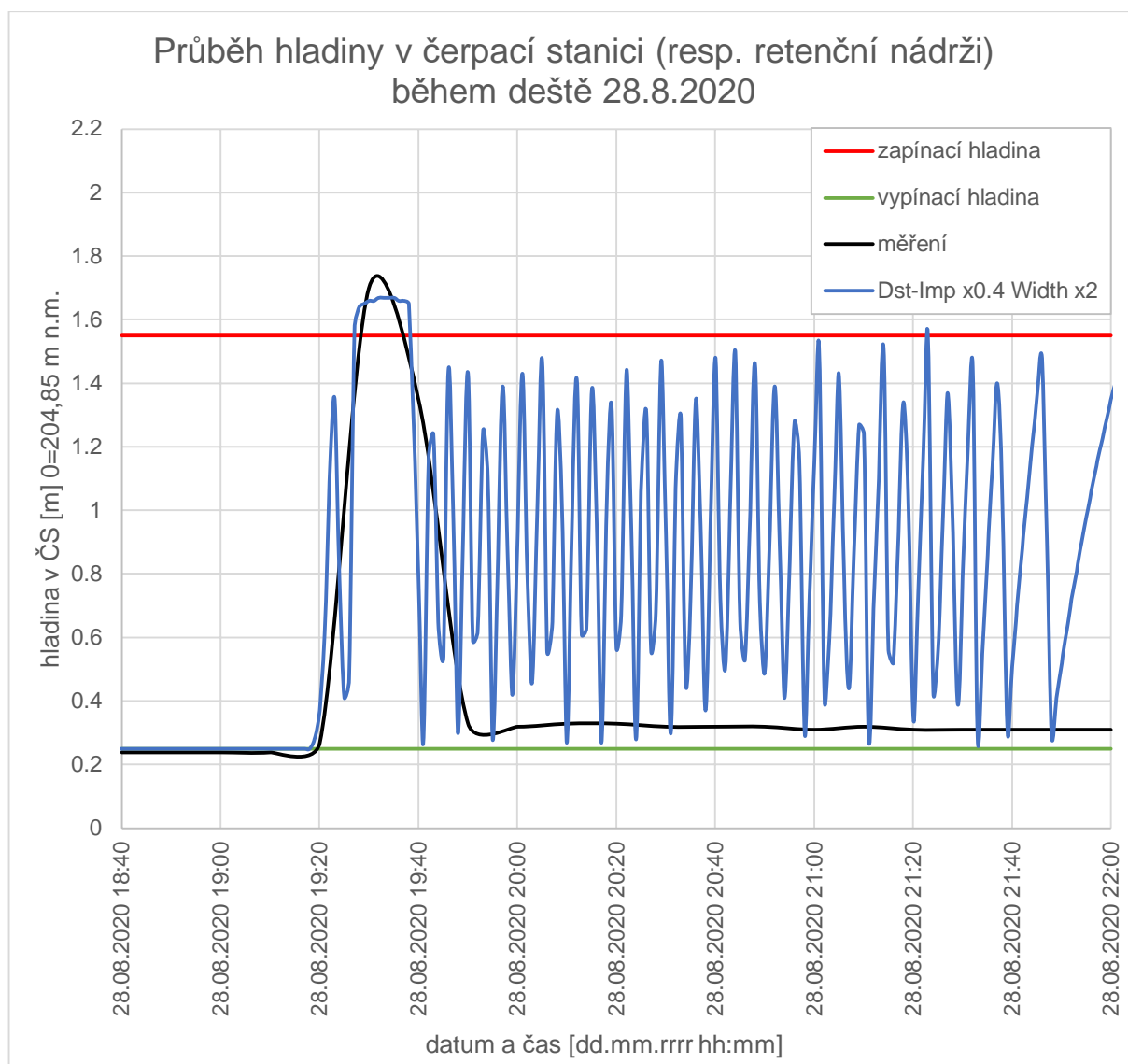
Obrázek 26 - Průběh hladiny v čerpací stanici (resp. retenční nádrži) během deště 2.8.2020

Pro vyhodnocení úspěšnosti kalibrace pro první dva deště (ze srpna 2020) byla nastavena 3 kritéria:

- A. Odchylka maximální hladiny v retenční nádrži musí být max. do 10 %.
- B. Čas, kdy nastala maximální hladina v simulované retenční nádrži musí být rozdílný od měření max. do 10 min, tj. časový krok měření hladiny.

- C. Rozdíl objemu dopadlého deště (součin neredukované plochy povodí a úhrnu srážek) a objemu nátoky do retenční nádrže musí být max. 5 %. Zároveň vyčerpaný objem vody do odtoku by pro kontrolu fungování modelu měl být téměř roven objemu nátoky do RN (max. 5 %).

V následujícím grafu (Obrázek 27) je vidět naměřený i simulovaný průběh hladiny v čerpací stanici a potažmo retenční nádrži, s již upravenými parametry pro dešť ze dne 28.8.2020.



Obrázek 27 - Průběh hladiny v čerpací stanici (resp. retenční nádrži) během deště 28.8.2020

Vyhodnocení kalibrace deště 2.8.2020

Kritérium A: Naměřená maximální hladina v retenční nádrži byla 2,15 m, maximální hladina v modelu dosáhla 2,01 m, tj. 93,49 %.

Kritérium B: Maximální hladina v retenční nádrži (2,15 m) byla naměřena v čase 20:00, maximální hladina v modelu (2,01 m) byla spatřena v čase 20:02.

Pozn. Měření hladiny ve skutečnosti probíhalo v 10minutových intervalech, kdežto v modelu jsou data po minutách.

Kritérium C: Celková plocha povodí spadajícího k zájmové retenční nádrži je 1,89 ha. Úhrn srážek při dešti dne 2.8.2020 byl celkem 41 mm. Z toho bylo vypočteno, že objem spadlých srážek byl 774,9 m³. Objem nátok do retenční nádrže ze SWMM byl 759,86 m³, tj. 98,06 %. Z nátok do RN pak bylo vyčerpáno 99,49 % vody do odtoku, tj. 756 m³ (Tabulka 7).

Tabulka 7 - Vyhodnocení kritéria C k dešti 2.8.2020

Dešťová událost 2.8.2020		<i>[%]</i>
úhrn srážek [mm]	41	
objem spadlých srážek [m ³]	774,90	
objem nátok do RN (ze SWMM) [m ³]	759,86	98,06
vyčerpáný objem do odtoku (ze SWMM) [m ³]	756,00	99,49

Vyhodnocení kalibrace deště 28.8.2020

Kritérium A: Naměřená maximální hladina v retenční nádrži byla 1,70 m, maximální hladina v modelu dosáhla 1,67 m, tj. 98,24 %.

Kritérium B: Maximální hladina v retenční nádrži (1,70 m) byla naměřena v čase 19:30, maximální hladina v modelu (1,67 m) byla spatřena v čase 19:32.

Pozn. Měření hladiny ve skutečnosti probíhalo v 10minutových intervalech, kdežto v modelu jsou data po minutách.

Kritérium C: Celková plocha povodí spadajícího k zájmové retenční nádrži je 1,89 ha. Úhrn srážek při dešti dne 28.8.2020 byl celkem 17 mm. Z toho bylo vypočteno, že objem spadlých srážek byl 321,30 m³. Objem nátok do retenční nádrže ze SWMM byl 306,49 m³, tj. 95,39 %. Z nátok do RN pak bylo vyčerpáno 98,86 % vody do odtoku, tj. 303 m³ (Tabulka 8).

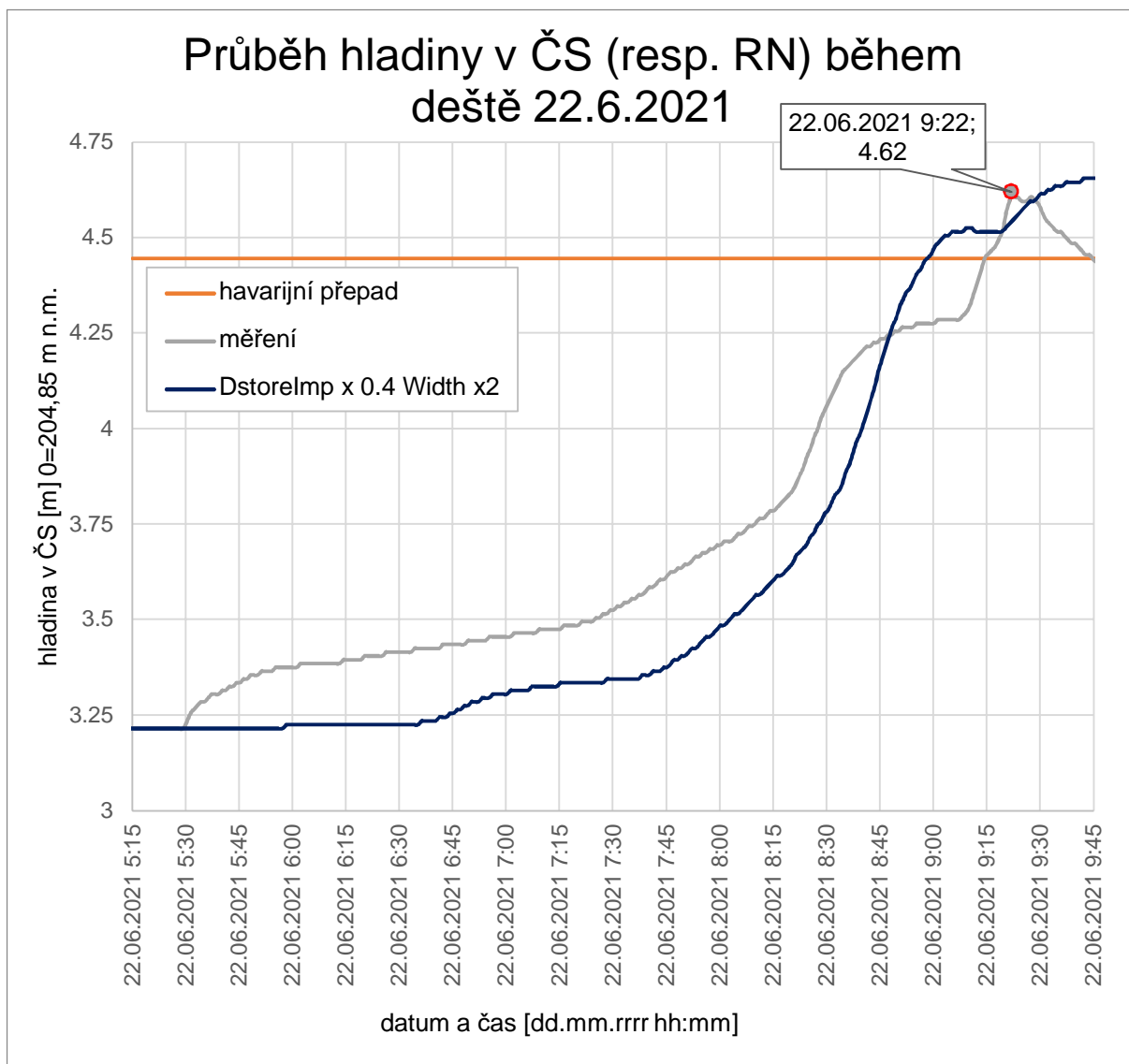
Tabulka 8 - Vyhodnocení kritéria C k dešti 28.8.2020

Dešťová událost 28.8.2020		<i>[%]</i>
úhrn srážek [mm]	17	
objem spadlých srážek [m ³]	321,30	
objem nátoku do RN (ze SWMM) [m ³]	306,49	95,39
vyčerpaný objem do odtoku (ze SWMM) [m ³]	303,00	98,86

U třetího simulovaného deště pro kalibraci z června 2021 byly nastaveny trochu jiné kalibrační podmínky, a to zaprvé z důvodu, že byla vyčerpána zásoba dostupných dešťů, u kterých byl dobře v 10minutovém kroku vidět vzestup a pokles hladiny a zároveň počáteční hladina před začátkem deště byla na minimální hladině v čerpací stanici, zadruhé jsem možnost pojmout třetí kalibrační dešť trochu jiným způsobem posouzení uvítala jako určitou kontrolu správného fungování modelu. Před deštěm dne 22.6.2021 byla hladina v retenční nádrži ustálena na 3,22 m a čerpadla během tohoto deště byla v manuálním režimu. To byl první důvod, proč jsem se rozhodla čerpadlo z modelu úplně vypnout a ověřit pouze nátok do retenční nádrže. Druhým důvodem byla skutečnost, že kalibrované parametry byly stejně pouze vlastnosti povodí, a pro vyladění fungování modelu je základem zkalibrovat co nejpřesněji odtok z povodí, resp. nátok do retenční nádrže.

U tohoto deště bylo ke kalibraci přistupováno tak, že jsem v měření hladiny našla maximální dosaženou hladinu a čas jejího výskytu, ve stejný čas jsem porovnávala výšku hladiny a přítokový objem v modelu. Pro třetí dešťovou událost ze dne 22.6.2021 byla kritéria upravena následovně:

- D. Odchylka maximální hladiny v modelu od naměřené hladiny v čase, kdy nastala maximální hladina ve skutečnosti, musí být max. do 10 %.
- E. Rozdíl celkové změny objemu od začátku deště do času maximální naměřené hladiny v naměřených a simulovaných minutových datech musí být max. 10 %.
- F. Rozdíl objemu dopadlého deště (součin neredukované plochy povodí a úhrnu srážek) a objemu nátoku do retenční nádrže musí být max. 5 %.



Obrázek 28 - Průběh hladiny v ČS (resp. RN) během deště 22.6.2021 při vypnutém čerpání
Vyhodnocení kalibrace deště 22.6.2021

Kritérium D: Maximální hladina 4,62 m se v měřené řadě dat vyskytla v čase 9:22. Ve stejnou chvíli v modelu byla hladina v retenční nádrži 4,52 m, tj. 97,84 %.

Pozn. I: Při tomto dešti měření hladiny ve skutečnosti probíhalo v minutových intervalech, stejně tak v modelu.

Pozn. II: Důvodem, proč jsem se rozhodla porovnávat hladinu ve stejném čase výskytu naměřené maximální hladiny, a ne celkové maximální hladiny v modelu, je to, že pokud nedošlo během tohoto deště k manuálnímu sepnutí čerpadel, tak zřejmě došlo k havarijnímu přepadu, který mohl být ovlivněný kapacitou jednotné stoky, do které je zaústěn. Ovlivnění havarijního přepadu jednotnou stokou není součástí této práce. Dále zde vstupuje nejistota v přesnosti určení vztažné úrovně měření hladiny, která pro potřeby

této diplomové práce byla určena zprůměrováním z naměřených dat a v reálu se může v řádech centimetrů lišit.

Kritérium E: Těsně před začátkem deště (v 5:15) byla v retenční nádrži změřena hladina 3,22 m, což odpovídá akumulovanému objemu 232,67 m³. Stejná počáteční podmínka byla nastavena i v modelu. Od 5:15 do 9:22, kdy nastala maximální hladina, byl rozdíl akumulovaného objemu neboli nátok do retenční nádrže v reálu roven 201,60 m³, v modelu nátok vyšel 187,20 m³, což je 92,86 % (Tabulka 9).

Tabulka 9 - Vyhodnocení kritéria E k dešti 22.6.2021

Dešťová událost 22.6.2021	měření	model	[%]
akumulovaný objem v 5:15 [m ³]	232,67	232,67	
akumulovaný objem v 9:22 [m ³]	434,27	419,87	
rozdíl objemů [m ³]	201,60	187,20	92,86

Kritérium F: Celková plocha povodí spadajícího k zájmové retenční nádrži je 1,89 ha. Úhrn srážek při dešti dne 22.6.2021 byl celkem 24 mm. Z toho bylo vypočteno, že objem spadlých srážek byl 453,60 m³. Objem nátoků do retenční nádrže ze SWMM byl 438,53 m³, tj. 96,68 % (Tabulka 10).

Tabulka 10 - Vyhodnocení kritéria F k dešti 22.6.2021

Dešťová událost 22. 6.2021		[%]
úhrn srážek [mm]	24	
objem spadlých srážek [m ³]	453,60	
objem nátoků do RN (ze SWMM) [m ³]	438,53	96,68

Pro lepší kalibraci by bylo vhodné zpřesnit měření hladiny, a to minimálně do minutového kroku u všech dešťových dat – i to by nemuselo stačit vzhledem k vysokému čerpanému množství čerpadlem. Případně by pomohlo přidat další měřenou veličinu, podle které by se model kalibroval, např. průtok v potrubí těsně před nátokem do RN – tam by bylo ale třeba měřit všechny 3 přítoky. Z důvodu nedostatku relevantních dat, byla tímto posouzením kalibrace považována za dokončenou, a verifikace nebyla provedena.

6 Posouzení, interpretace výsledků

Jedním z finálních cílů této práce bylo studovat varianty provozu z hlediska úpravy poměru mezi retenčním a akumulacním prostorem nádrže pomocí úpravy provozu retenční nádrže. K naplnění tohoto cíle jsem se rozhodla vytvořit systém posouzení retenční nádrže z hlediska využitelnosti akumulace dešťové vody a postavila jsem ho na základě simulace desetileté historické dešťové řady z nedaleké dešťoměrné stanice. Posouzení provozního nastavení bylo rozděleno do 2 fází, jimiž se zabývá tato diplomová práce.

V první fázi byl simulován průběh desetileté dešťové řady na zkalibrovaném modelu, u něhož byly vytvořeny varianty nastavení zapínací hladiny. Počáteční variantou byl současný stav nastavení zapínací hladiny čerpadla, tj. 1,55 m od referenčního dna čerpací stanice (206,40 m n.m.). Vypínací hladina čerpadla byla pro všechny varianty úpravy provozní hladiny čerpadla neměnná, a to na úrovni 0,25 m (205,10 m n.m.). Celkem bylo vytvořeno 6 variant včetně té počáteční, kdy zapínací hladina čerpadla byla s každou další variantou zvednuta o 0,5 m. Zdvihnutím kóty zapínací hladiny by bylo dosaženo vždy většího akumulacního prostoru. V tabulce (Tabulka 11) je přehled simulovaných variant (resp. nastavení zapínací hladiny čerpadla) a k tomu vypočtené příslušné objemy akumulacního a retenčního prostoru. Celkový účinný objem retenční nádrže včetně čerpací stanice vyjma spojovacího potrubí je 418,61 m³ k úrovni havarijního přepadu a celkový objem ke stropu retenční nádrže je 462,76 m³.

Tabulka 11 - Přehled simulovaných variant zapínací hladiny čerpadla a jejich odpovídající poměr akumulacního a retenčního prostoru

Zapínací hladina		Akumulacní prostor	Retenční prostor
[m]	[m n.m.]	[m ³]	[m ³]
1,55	206,40	4,87	413,75
2,05	206,90	64,19	354,42
2,55	207,40	136,19	282,42
3,05	207,90	208,19	210,42
3,55	208,40	280,19	138,42
4,05	208,90	352,19	66,42

Sledovaným jevem byl havarijní přepad, který se nachází na kótě 209,30 m n.m. (resp. 4,45 m). **Při počáteční variantě se současným nastavením provozních hladin čerpadel za celou dobu simulace nedošlo k havarijnímu přepadu do jednotné kanalizace.** Při současném nastavení provozních hladin čerpadla ale retenční nádrž neplní požadovanou akumulacní funkci, protože zapínací hladina čerpadla je nastavena těsně

pod nátokovým potrubím DN/OD 500 z retenční nádrže do čerpací stanice. Při tomto způsobu provozu tedy retenční nádrž zůstává prakticky prázdná (akumulační prostor je necelých 5 m³) a celý její prostor plní retenční funkci neboli brzdí povrchový odtok z povodí do dešťové kanalizace.

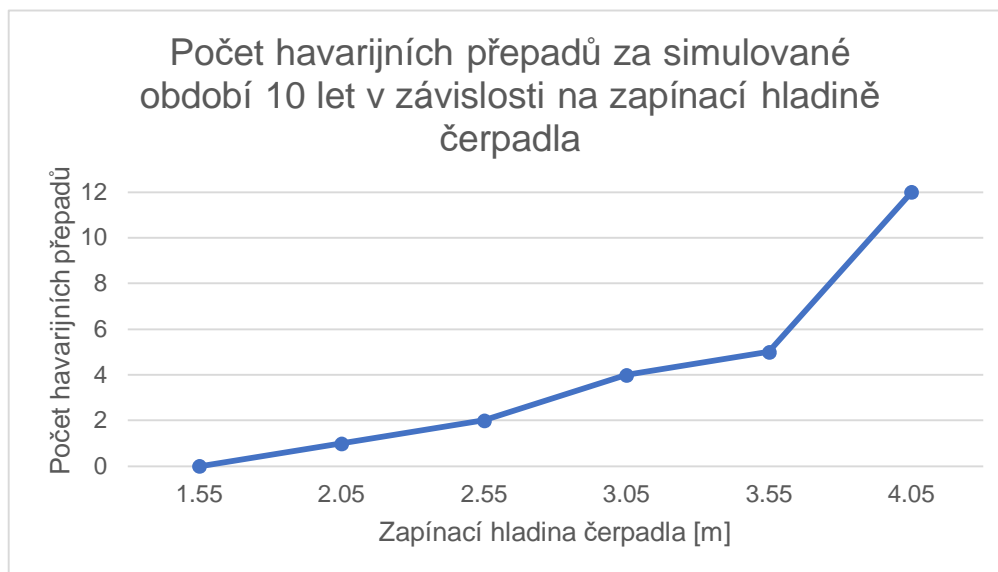
Zvyšování akumulačního objemu na úkor retenčního přináší kromě pozitivního přínosu využití dešťové vody také zvyšování pravděpodobnosti havarijního přepadu, což je obecně ve větší míře nežádoucí. V případě zájmové retenční nádrže M12L ve Škodě Mladá Boleslav je havarijní přepad zaústěn do jednotné kanalizace, která pravděpodobně během deště, který by přepad vyvolal, bude už odvádět velké množství vod z ostatních odvodňovaných ploch a mohlo by být dosaženo jejího kapacitního průtoku. Následkem naplnění kapacity této stoky by byla neplnohodnotná funkčnost havarijního přepadu nádrže, postupné naplnění celého retenčního prostoru a hrozil by výtok vody na povrch skrz poklopy. Zatopením okolního prostranství by mohly být způsobeny značné škody. Požadavek Škoda Mladá Boleslav byl provádět posouzení úpravy provozu tak, aby k havarijnímu přepadu nedošlo.

V následující tabulce (Tabulka 12) a na grafu (Obrázek 29) jsou shrnuty výsledky první fáze posouzení, a to z hlediska počtu havarijních přepadů spojeným se zvětšením akumulačního prostoru nádrže prostřednictvím zvýšení zapínací hladiny čerpadla.

Tabulka 12 - Počet havarijních přepadů při simulaci desetileté dešťové řady, pravděpodobnost havarijního přepadu za rok a celkový přepadlý objem za celé období simulace (10 let) pro všechny varianty nastavení zapínací hladiny čerpadla

Zapínací hladina		Počet havarijních přepadů za 10 let	Pravděpodobnost přepadu za rok	Přepadlý objem celkem za 10 let
[m]	[m n.m.]			[m ³]
1,55	206,40	0	0	0
2,05	206,90	1	0,1	11,0
2,55	207,40	2	0,2	66,1
3,05	207,90	4	0,4	248,0
3,55	208,40	5	0,5	425,0
4,05	208,90	12	1,2	978,0

Pakliže Škoda Mladá Boleslav požaduje, aby počet havarijních přepadů za simulované období byl roven nule, tak v této fázi simulace dále nevyhověla žádná varianta zvýšení akumulačního objemu. Podívala jsem se tedy na dešťové události, které havarijní přepady způsobily a začala je třídit podle logického postupu. Variantu se zapínací hladinou 4,05 m jsem dále ze simulací pro úsporu času vyhodila a pracovala dále s variantami zapínacích hladin 2,05-3,55 m.



Obrázek 29 - Počet havarijních případů za simulované období 10 let v závislosti na zapínací hladině čerpadla

S pohledem na tabulku (Tabulka 13) vysvětlím princip dalšího třídění a plynule přejdu k druhé fázi. Ze SWMM jsem zjistila přibližná data (měsíc a rok) dešťů, které vyvolaly havarijní případ a ty dále konkretizovala, pokud se vyskytovaly v uvažovaném vegetačním období od dubna do září. Během vegetačního období můžeme předpokládat pravidelné odběry vody z retenční nádrže zahrádkářům, kteří budou využívat akumulovanou dešťovou vodu. Modře podbarvené deště vyvolaly případ v zimním období, a dále se jimi nebudu zabývat, protože se v zimě odběry zahrádkářům nepředpokládají.

Tabulka 13 - Přehled dešťových událostí, které vyvolaly během simulace havarijní případ a jejich logické třídění

Zapínací hladina [m]	Počet havarijních případů za 10 let	Dešťová událost vyvolající havarijní případ				
1,55	0					
2,05	1	26.5.2003				
2,55	2	+ březen 2002	26.5.2003			
3,05	4	+ březen 2002	8.4.2002	26.5.2003	+ březen 2008	
3,55	5	+ březen 2002	8.4.2002	21.6.2002	26.5.2003	+ březen 2008

Akumulovaná voda se plánuje využívat pouze v již zmíněném vegetačním období duben-září, a tedy v zimě může být zapínací hladina čerpadla nastavena na současnou hodnotu 1,55 m, kdy nádrž bude plnit pouze svou retenční funkci a během simulace by

pravděpodobnost havarijního přepadu byla rovna nule. Naopak deště, kterými se budu ještě dále zabývat v druhé fázi posouzení, jsou podbarvené žlutě. Červeným písmem jsou v tabulce deště, které přibyly vždy oproti předchozí variantě.

Druhá fáze posouzení tedy spočívala v uvažování odběru vody pro zahrádkáře při jinak totožné simulaci desetileté řady dešťů s podobnými variantami. Vyjmuta byla varianta 4,05 m a přidána byla varianta s úrovní zapínací hladiny 2,30 m. Předpokladem bylo, že v zimním období (říjen-březen) zůstane zapínací hladina nastavena na současnou hodnotu 1,55 m a ve vegetačním období bude zvednuta podle příslušné varianty.

Dalším bodem bylo přidání odběru pro zahrádkáře do modelu SWMM. Informace o velikostech odběru pro zahrádkáře podle provozovatele nebyly moc konkrétní, a proto jsem se rozhodla simulovat 3 různé hodnoty odběru pro zahrádkáře na všech variantách. Jednalo se o odběr 5, 15 a 25 m³/den v uvažované době vegetačního období (duben-září). Pro zadání do SWMM jsem použila funkci Maximum Flow na potrubí, které jsem přidala do modelu retenční nádrže na úroveň minimální hladiny v čerpací stanici (tj. 0,25 m neboli vypínací hladiny čerpadla). Pro zjednodušení odběr fungoval kontinuálně průtokem převedeným do metrů krychlových za sekundu, pokud byl v retenční nádrži dostatek vody. Správné fungování odběru jsem ověřila na grafech průběhu hladiny v retenční nádrži. *Myšlenkou druhé fáze bylo: Pokud zavedu do modelu odběr vody zahrádkářům ve třech různých velikostech (5, 15 a 25 m³/den), jak velký budou mít vliv na výskyt havarijního přepadu? Jsem schopna některé havarijní přepady zavedením odběru zahrádkářům úplně eliminovat?*

V následujících odstavcích a tabulkách se pokusím shrnout a interpretovat výsledky druhé fáze. V tabulce (Tabulka 14) jsou shrnuty celkové objemy přepadlé vody pro variantu se zapínací hladinou na úrovni 2,05 m (tj. 206,90 m n.m.) a havarijním přepadem během deště 26.5.2003, který byl jedinou dešťovou událostí za desetileté simulované období způsobující havarijní přepad při této variantě a jeho celkový úhrn byl 46 mm. Bez odběru zahrádkářům přepadlo 10,9 m³ vody. Při zavedení odběru zahrádkářům do modelu se již od 5 m³/den výrazně snížil přepadlý objem vody (cca o 83 %). Úplně eliminovat havarijní přepad během tohoto deště se ale nepodařilo ani při zvýšení odběru na 15, resp. 25 m³/den.

Tabulka 14 - Výsledné objemy havarijních přepadů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m³/den – varianta zapínací hladiny 2,05 m

zapínací hladina 2,05 m	bez odběru	denní odběr zahrádkářům [m ³ /den]		
		5	15	25
celkový přepadlý objem za déšť 26.5.2003 [m ³]	10,9	1,9	1,4	1,1

Další varianta se zapínací hladinou 2,30 m (207,15 m n.m.), která byla v druhé fázi do posouzení přidána pro přesnější popis chování retenční nádrže v rozmezí reálného zvýšení akumulačního prostoru, byla zkoumána opět pouze na déšť ze dne 26.5.2003 (Tabulka 15). V této variantě se podařilo původní celkový objem havarijního přepadu 37,3 m³ snížit při neefektivnějším odběru 15 m³/den o cca 60 %, na hodnotu 14,7 m³. Další zvyšování odběru již celkový objem havarijního přepadu téměř nepomohlo snížit.

Tabulka 15 - Výsledné objemy havarijních přepadů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m³/den – varianta zapínací hladiny 2,30 m

zapínací hladina 2,30 m	bez odběru	denní odběr zahrádkářům [m ³ /den]		
		5	15	25
celkový přepadlý objem za déšť 26.5.2003 [m ³]	37,3	22,4	14,7	14,0

Ve variantě se zapínací hladinou na úrovni 2,55 m (207,40 m n.m.) se tento vývoj potvrdil, sice celkový přepadlý objem bez odběru byl lehce nižší (33,5 m³), ale zapínací hladina již byla tak vysoko, že odběr zahrádkářům, ať už byl jak vysoký, tak měl prakticky na celkový přepadlý objem pouze minimální vliv (Tabulka 16).

Tabulka 16 - Výsledné objemy havarijních přepadů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m³/den – varianta zapínací hladiny 2,55 m

zapínací hladina 2,55 m	bez odběru	denní odběr zahrádkářům [m ³ /den]		
		5	15	25
celkový přepadlý objem za déšť 26.5.2003 [m ³]	33,5	29,9	29,5	29,1

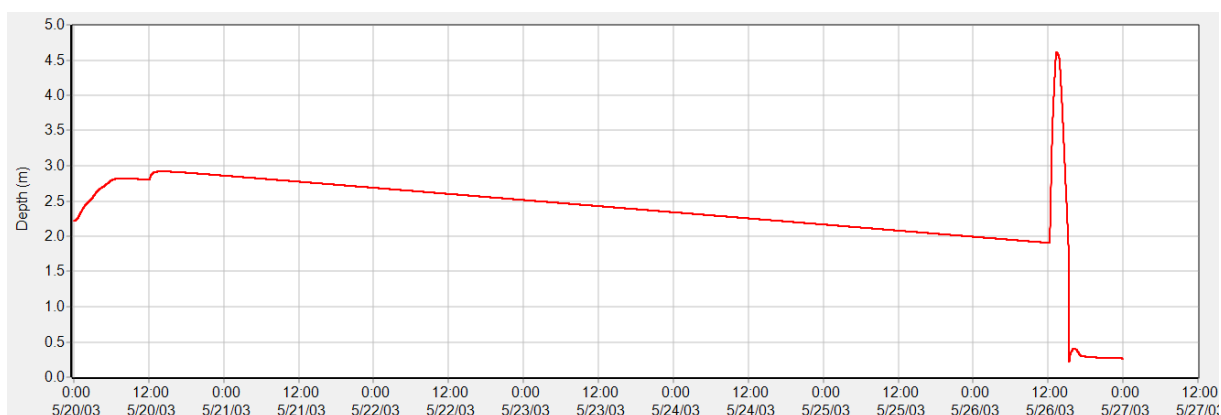
V další variantě se zapínací hladinou 3,05 m (207,90 m n.m.) jsem již posuzovala 2 dešťové události, které vyvolaly havarijní přepad, a to ze dne 26.5.2003 a nově z 8.4.2002 s celkovým úhrnem 37 mm. Při dešti 8.4.2002 bez odběru zahrádkářům přepadlo 47 m³ vody, se zavedením odběru již při 5 m³/den k havarijnímu přepadu při této dešťové události nedošlo. U deště ze dne 26.5.2003 způsobujícího havarijní přepad už od

varianty se zapínací hladinou 3,05 m a dále simulace ukázala trochu jiný případ. Při zapínací hladině čerpadla 3,05 m bez odběru pro zahrádkáře tato dešťová událost vyvolala havarijný přepad o objemu 96,2 m³. Přidáním odběru v hodnotě 5 a 15 m³/den se přepadlý objem poněkud snížil – při odběru 5 m³/den o 20 %, při 15 m³/den o 40 % od původní hodnoty. Při nastavení odběru zahrádkářům na hodnotu 25 m³/den se ale hodnota přepadlého objemu opět zvýšila na 82,6 m³.

Tabulka 17 - Výsledné objemy havarijných přepadů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m³/den – varianta zapínací hladiny 3,05 m

zapínací hladina 3,05 m	bez odběru	denní odběr zahrádkářům [m ³ /den]		
		5	15	25
celkový přepadlý objem za déšť 8.4.2002 [m ³]	47,0	0	0	0
celkový přepadlý objem za déšť 26.5.2003 [m ³]	96,2	77,0	58,2	82,6

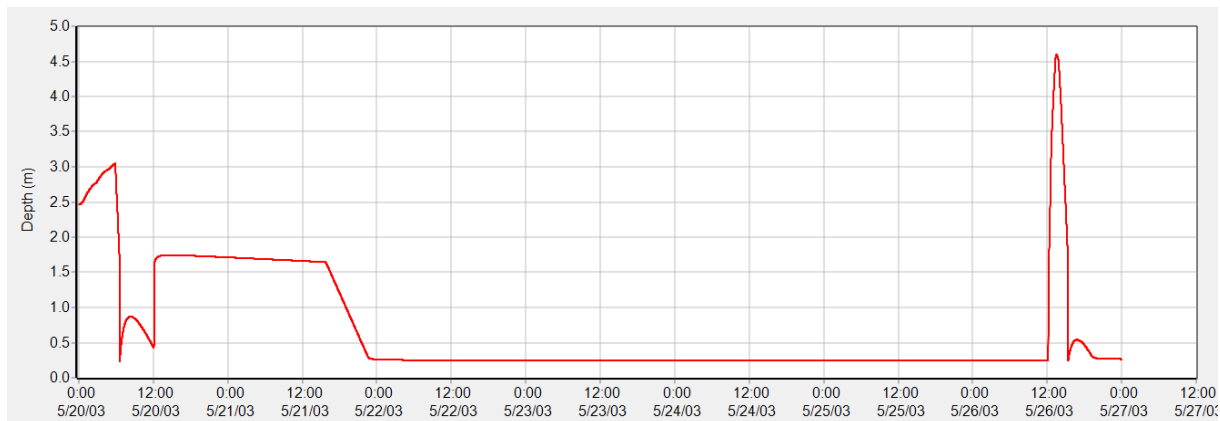
Na obrázku (Obrázek 30) je znázorněn simulovaný průběh hladiny v retenční nádrži několik dní před tímto deštěm, tj. od 20.5.2003. Zde je vidět, že během krátké srážky dne 20.5.2003 nebyla těsně dosažena zapínací hladina čerpadla (3,05 m), ale akumulací prostor nádrže byl téměř plný. Pozvolný pokles hladiny značí plynulý odběr zahrádkářům (25 m³/den), který ale do doby, než přišla větší srážka dne 26.5.2003 nestačil hladinu snížit tak, aby se předešlo nebo se alespoň snížil objem havarijního přepadu. Hladina v retenční nádrži těsně před začátkem deště byla těsně pod hodnotou 2 m.



Obrázek 30 - Průběh hladiny v modelu s odběrem zahrádkářům 25 m³/den během období 20.-26.5.2003

Oproti tomu, když se vrátím k simulaci stejné situace, ale s odběrem pouze 15 m³/den, na grafu (Obrázek 31) vidíme, že již při menším dešti 20.5.2003 kvůli předchozímu pomalejšímu snižování hladiny nižším odběrem bylo dosaženo zapínací hladiny 3,05 m, nádrž se vyčerpala na úroveň 0,25 m, a tudíž při dešti dne 26.5.2003 byl

k dispozici větší retenční prostor, který umožnil snížení objemu havarijního přepadu, ale nikoliv jeho úplné předejití.



Obrázek 31 - Průběh hladiny v modelu s odběrem zahrádkářům 15 m³/den během období 20.-26.5.2003

Podobné chování modelu jsem zaznamenala i v případě poslední zkoumané varianty se zapínací hladinou 3,55 m (208,40 m n.m.), kde se mimo jiné přidala ještě delší, ale za to méně intenzivní dešťová událost ze dne 21.6.2002 o celkovém úhrnu 31,5 mm. V následující tabulce (Tabulka 18) jsou shrnuty výsledky. Havarijní přepad během deště 21.6.2002 byl schopen úplně eliminovat odběr v hodnotě 5 a 15 m³/den. Ostatní deště vykazovaly pokaždé velmi odlišné výsledky objemu havarijního přepadu, ale všechny případy byly stejného charakteru, jako bylo vysvětleno v rámci varianty se zapínací hladinou 3,05 m.

Tabulka 18 - Výsledné objemy havarijních přepadů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m³/den – varianta zapínací hladiny 3,55 m

zapínací hladina 3,55 m	bez odběru	denní odběr zahrádkářům [m ³ /den]		
		5	15	25
celkový přepadlý objem za déšť 8.4.2002 [m ³]	40,0	137,2	7,9	7,5
celkový přepadlý objem za déšť 21.6.2002 [m ³]	29,2	0	0	24,2
celkový přepadlý objem za déšť 26.5.2003 [m ³]	89,2	216,5	172,2	111,8

Pro shrnutí, v rámci 2.fáze posouzení se podařilo ve dvou případech úplně eliminovat (tmavě zeleně, Tabulka 19) havarijní přepad, a to ve variantě se zapínací hladinou 3,05 m při dešti dne 8.4.2002 a ve variantě zapínací hladiny 3,55 m při dešti ze dne 21.6.2002. Déšť ze dne 26.5.2003 s nejvyšším srážkovým úhrnem se podařilo téměř

eliminovat (světle zeleně) ve variantě se zapínací hladinou 2,05 m, v ostatních variantách tento déšť vždy způsobil nejhorší havarijní přepad za celou dobu simulace.

Tabulka 19 - Shrnutí úplné eliminace či minimalizace havarijních přepadů v jednotlivých variantách zapínací hladiny

Zapínací hladina		Eliminace havarijního přepadu při zavedení odběru zahrádkářům		
[m]	[m n.m.]			
1,55	206,40			
2,05	206,90	26.5.2003		
2,30	207,15	26.5.2003		
2,55	207,40	26.5.2003		
3,05	207,90	8.4.2002	26.5.2003	
3,55	208,40	8.4.2002	21.6.2002	26.5.2003

Ve druhé fázi posouzení jsem se snažila zkoumat vliv kontinuálního odběru vody z retenční nádrže pro zahrádkáře a jeho velikosti během vegetačního období. Odběry logicky mají pozitivní vliv na snižování objemu havarijního přepadu, protože vyprazdňují nádrž a tím připravují větší retenční prostor před příchodem deště. Došla jsem ale k závěru, že zkoušené velikosti odběrů (5, 15 a 25 m³/den) představují podstatný vliv pouze v několika prvních variantách, kdy retenční prostor nádrže ještě převažuje nad prostorem akumulacním – jedná se o varianty do výše zapínací hladiny 2,55 m (tj. 207,40 m n.m.). Bylo ověřeno, že nedává smysl zvětšovat akumulacní prostor na úkor retenčního tak, že jejich objemy jsou vyrovnané, natož aby akumulacní prostor byl větší než retenční. Toto přirozeně odklání další pozornost od posledních dvou, resp. tří variant úpravy provozu (3,05, 3,55 a 4,05 m). Během posuzování těchto variant jsme byli svědky na první pohled nestandardního chování retenční nádrže, které bylo blíže vysvětleno a souvisí přímo s příliš velkým zdvihnutím zapínací hladiny čerpadla, potažmo příliš velkým snížením retenčního prostoru v nádrži.

Závěrem posouzení nastíním další postup, který by mohl pomoci ve zkoumání úpravy provozu nádrže s cílem zvýšení akumulacního prostoru z důvodu využití dešťových vod, jakousi třetí fázi. Třetí fáze by spočívala ve zkoumání individuálního řízení čerpadla (popřípadě obou čerpadel) v zájmové retenční nádrži. Cílem optimalizace řízení čerpadel by bylo předcházet havarijním přepadům pomocí nárazového vyčerpání akumulacního objemu před přicházejícím deštěm.

Jedno stávající čerpadlo je nyní schopno vyčerpat celý objem retenční nádrže 418,6 m³ (po havarijní přepad) při čerpaném průtoku 80 l/s během 1 h 27 min. V případě, že by se uvažovalo nárazové používání obou instalovaných čerpadel (celkem 160 l/s), by

postačila na vyčerpání plné nádrže poloviční doba, tj. 43 min. Jako více vypovídající pro potřeby výzkumu budoucího řízení provozu jsou časy vyčerpání příslušných akumulčních prostorů. Tyto časy, za které by se vyčerpala veškerá akumulovaná voda pomocí jednoho nebo obou čerpadel jsou shrnuty v tabulce (Tabulka 20). Pro variantu se zapínací hladinou 2,55 m je to při sepnutí jednoho čerpadla 28,4 min.

Tabulka 20 - Čas pro vyčerpání akumulovaného objemu vody pro provoz jednoho čerpadla ($Q = 80$ l/s) a dvou čerpadel najednou ($Q = 160$ l/s)

Zapínací hladina		Akumulační prostor [m ³]	Čas pro vyčerpání akumulovaného objemu [min]	
[m]	[m n.m.]		pro $Q=80$ l/s	pro $Q=160$ l/s
1,55	206,40	4,87	1,0	0,5
2,05	206,90	64,19	13,4	6,7
2,30	207,15	100,19	20,9	10,4
2,55	207,40	136,19	28,4	14,2

Vzhledem k tomu, že instalovaná čerpadla jsou poměrně silná a čas vyčerpání objemu je relativně krátký – obzvlášť v případě funkce obou čerpadel najednou, by se dalo uvažovat o nastavení řízení, kdy by se na základě předpovědi silnější srážky reagovalo vyčerpáním akumulčního objemu v předstihu v řádu desítek minut až několika hodin. Zjednodušeně řečeno, kdyby se zapínací hladina zvedla na 2,55 m (tj. 207,40 m n.m.), akumulční prostor by měl 136,19 m³ a před příchodem srážky by byl úplně plný, pak by stačilo zapnout jedno čerpadlo cca 30 min před začátkem deště anebo obě čerpadla 15 min před začátkem deště. Dále je potřeba říct, že předpovědi počasí často nejsou tak spolehlivé a mohlo by docházet k tomu, že by se akumulovaná voda vyčerpala „zbytečně“, na druhou stranu opačný problém – že by se nestihl připravit maximální možný retenční prostor pro příchod srážky, je možnostmi stávajících čerpadel podstatně minimalizován.

V rámci posouzení se ukázalo, že velikost odběru v rámci zkoumaných mezí není zásadním faktorem ovlivňujícím spolehlivost nádrže na zajištění bezpečného převedení dešťového průtoku. Odběry zahrádkářům by tedy mohly být poměrně variabilní, protože bez zajištění řízeného vyčerpání akumulčního objemu před silnějším deštěm stejně nejsme schopni zajistit úplnou prevenci havarijního přepadu. Velikost navrhovaného akumulčního prostoru, který by se vytvořil pomocí zvednutí zapínací hladiny čerpadla by každopádně neměl překročit hodnotu stanovenou pro variantu 2,55 m, tj. cca 136 m³. Podrobnější návrh úpravy provozního nastavení musí vycházet z dalšího posouzení možnosti prediktivního řízení, které již není součástí této diplomové práce.

7 Závěry, diskuse

V teoretické části byly nastíněny možnosti, jak mohou průmyslové podniky zlepšit hospodaření s vodou a tím ušetřit nejen svoje náklady, ale hlavně množství vody, jejíž zásoby na Zemi v současné době čelí významnému tlaku. Na případě podniku automobilového průmyslu Škody Mladá Boleslav byl popsán jejich systém získávání užitkové vody, výhledová problematika a směry návrhů jejího řešení. Dále byl přiblížen systém odvodnění areálu v Mladé Boleslavi, nakládání s dešťovými vodami a plány na jejich využití. Součástí těchto plánů je i poskytování dešťové vody na závlivku místním zahrádkářům. Aby se tento potenciál využití dešťové vody mohl ve Škodě naplno rozvinout, bylo potřeba vytvořit systém posouzení pro retenční nádrže, o což jsem usilovala v rámci této diplomové práce.

Podařilo se mi sestavit srážkoodtokový model konkrétní retenční dešťové nádrže, zkalibrovat ho a posoudit na něm možnosti úpravy provozu tak, aby bylo umožněno v retenční nádrži bez stavebního zásahu vytvořit prostor pro akumulaci dešťové vody k využití pro zahrádkáře. Použitý postup posouzení může posloužit k vyhodnocování vhodnosti dalších retenčních nádrží k tomuto účelu využití srážkové vody.

Vzhledem k množství relevantních dostupných dat měření hladiny v retenční nádrži bylo těžké model kalibrovat a nemohla kvůli tomu být provedena verifikace, nicméně výsledky posouzení poskytují zejména ověření logických předpokladů a základní myšlenky a postupy, jakými by se měl návrh akumulčního prostoru dále ubírat. Tím je především problematika prediktivního řízení chodu čerpadel v letním období, kdy bude docházet k využívání dešťových vod. Bez sofistikovanějšího řízení čerpadel totiž na základě výsledků praktické části této diplomové práce nejsme schopni zvětšovat akumulční prostor tak, aby zabezpečení zůstala maximální.

8 Literatura

1. Asociace pro vodu ČR z.s. Vodní manifest CzWA. [Online] [Citace: 15. Prosinec 2021.] <https://www.czwa.cz/storage/2117-manifest-a4-r04.pdf>.
2. Česká republika. Zákon č. 254/2001 Sb. *Zákony pro lidi*. [Online] [Citace: 30. říjen 2021.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>.
3. Kemel, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha : ČVUT, 1996. ISBN: 80-01-01456-8.
4. Krejčí, Vladimír a kol. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. Brno : NOEL 2000 s.r.o., 2002. ISBN: 80-86020-39-8.
5. ČSN 75 6101 *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
6. Stránský, David a kol. *TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami*. Praha : Sweco Hydroprojekt a.s., 2013.
7. Asociace pro vodu ČR, z.s. (CzWA). Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] září 2019. [Citace: 31. listopad 2021.] [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/koncepcni_dokumenty/\\$FILE/OOV-studie_HDV-20191220.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/koncepcni_dokumenty/$FILE/OOV-studie_HDV-20191220.pdf).
8. ČSN 75 9010 - *Vsakovací zařízení srážkových vod*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
9. Novotná, J., Lubas, M., Kabelková, I. *Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR*. Brno : Geotest a.s., Sweco Hydroprojekt a.s., září 2015.
10. Ministerstvo životního prostředí. Přírodě blízké hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaném území. [Online] [Citace: 17. listopad 2021.] http://www.povis.cz/mzp/132/132_VSAK_letak.pdf.
11. Kolektiv autorů ČVUT UCEEB a UJEP IEEP. *Voda ve městě - Metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu*. 2021. ISBN 978-80-01-06817-5.
12. HYDROPROJEKT CZ a.s., ČZU. ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže*. Praha : Český normalizační institut, září 2004.

13. Spotřeba vody v Evropě – množství a kvalita představují velké výzvy. [Online] Evropská agentura pro životní prostředí (EEA), 13. Listopad 2018. [Citace: 2021. Prosinec 15.] <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2018/clanky/spotreba-vody-v-evrope-2013>.
14. Čermák, Jan. *Voda a průmysl*. Ústí nad Labem : Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-880-4.
15. European Environment Agency. Development of the water exploitation index plus (WEI+). *Use of freshwater resources in Europe*. [Online] [Citace: 15. Prosinec 2021.] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-freshwater-resources-3/assessment-4>.
16. Lutter, S., Polzin, Ch., Guiljium, S. a kol. *Využívání vody - Jak plýtvání surovinami ohrožuje vodní zásoby Země*. Vídeň : GLOBAL 2000.
17. Alcalde Sanz, L., Manfred Gawlik, B. *Water Reuse in Europe - Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. Luxembourg : European Union, December 2014. ISBN 978-92-79-44399-2.
18. *MĚSTSKÉ VODY 2021 - článek Vodní audit průmyslových podniků*. Procházková, L., Procházka, J., Dolejš, P., Křivánková, J., Davidová, T. Velké Bílovice : ARDEC s.r.o., Říjen 2021. ISBN: 978-80-86020-92-1.
19. Procházka, J., Dolejš, P., Procházková, L., Křivánková, J. (ENVI-PUR, s.r.o.). *Metodika hodnocení využívání vody na úrovni podniků*. Praha : projekt TITOMPO941 Hospodárnější užívání vod v průmyslu a energetice ČR, 2020.
20. Ministerstvo průmyslu a obchodu. Katalog opatření pro úsporu vody v energetice a průmyslu. *TITOMPO941 - Hospodárnější užívání vod v průmyslu a energetice ČR*. [Online] [Citace: 15. Prosinec 2021.] <http://recyklace-voda.vscht.cz/>.
21. Příspěvatelé Wikipedie. Škoda Auto. *Wikipedie, otevřená encyklopedie*. [Online] 31. Srpen 2021. [Citace: 23. Listopad 2021.] https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_Auto.
22. ŠKODA AUTO a.s. O společnosti. [Online] [Citace: 23. Listopad 2021.] <https://www.skoda-auto.cz/o-spolecnosti/historie>.
23. Šesták, J., Drbohlav, J. *ŠKODA AUTO a.s. - Udržitelné zásobování vodou - Závod Mladá Boleslav (studie)*. Praha : Sweco Hydroprojekt, a.s., 06/2020.
24. Sobotka, J. *Technická zpráva - Dešťová kanalizace, Optimalizace vypouštění dešťových vod z RDN v areálu Škoda Auto a.s., Mladá Boleslav*. Praha : Tebodín Czech Republic, s.r.o., 01/2018.

25. Javůrek, V. *Technická zpráva, TP - Využití dešťových vod, Využití dešťových vod z dočišťovacích lagun Z29, Využití dešťových vod z RDN M11C*. Praha : Bilfinger Tebodin Czech Republic, s.r.o., 06/2020.
26. Vláda České republiky. *Návrh nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení minimálního zůstatkového průtoku*. 2018.
27. Sweco Hydroprojekt, a.s. ŠKODA AUTO a.s. - *Podrobná technická studie pro trvale udržitelné zásobování průmyslovou vodou - Závod Mladá Boleslav*. Praha : autor neznámý, 01/2021.
28. S projekt plus a.s. ŠKODA AUTO a.s. *Mladá Boleslav - hala M12 - sklad výlisků, TI 04 Areálová kanalizace dešťová, RN, ČS - Technická zpráva (DPS)*. 02/2018.
29. Příspěvatelé Wikipedie. Letní čas. *Wikipedie, otevřená encyklopedie*. [Online] 1. Listopad 2021. [Citace: 27. Listopad 2021.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Letn%C3%AD_%C4%8Das.
30. McCuen, R. et al. *Hydrology*. Washington, DC : Federal Highway Administration, 1996.
31. ASCE. *Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems*. New York, NY : autor neznámý, 1992.
32. American Society of Civil Engineers. *Gravity Sanitary Sewer Design and Construction*. New York : ASCE, 1982.
33. Wavin Czechia. Katalog - Acaro PP SN 12, SN 16. [Online] [Citace: 2. prosinec 2021.] <https://www.wavin.com/cs-cz/katalog/kanalizace/gravitacni-kanalizace/acaro-pp-sn-12>.
34. CIWEM. *Code of Practice for the Hydraulic Modelling of Urban Drainage Systems 2017 Version 01*. Londýn : CIWEM, 2017.
35. US EPA. *SWMM User guide*. 2021.
36. Woods Ballard, B. *The SuDS Manual*. Londýn : CIRIA, 2015. ISBN: 978-0-86017-760-9.
37. Hlavínek, Petr a kol. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Brno : ARCDEC, s.r.o., 2007. ISBN: 80-86020-55-X.
38. Stránský D., Kabelková I. Hospodaření se srážkovými vodami na stavebním pozemku a jeho důsledky pro územní plánování. *Člověk, stavba a územní plánování*. 2011, V., stránky 249-261.

39. Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí a VÚV TGM v.v.i. *Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky*. 2017.
40. Shiklomanov, Igor. World fresh water resources. [editor] Peter H. Gleick. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. 1993.
41. Ministerstvo životního prostředí. Národní akční plán adaptace na změnu klimatu. [Online] [Citace: 27. Listopad 2021.] https://www.mzp.cz/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu.
42. Ministerstvo životního prostředí, VÚV TGM v.v.i., Ministerstvo zemědělství. Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině. *Sucho v krajině*. [Online] [Citace: 20. Listopad 2021.] http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/3.2_prikop.pdf.
43. CIWEM. *Rainfall Modelling Guide 2016*. Londýn : CIWEM, 2016.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Změny v hydrologické bilanci v závislosti na podílu nepropustnosti povrchů (runoff – odtok, evapo-transpiration – evapotranspirace, shallow infiltration – vsak do půdy, deep infiltration – vsak do hlubších vrstev) (3).....	10
Obrázek 2 - Tvorba povrchového odtoku: Efektivní déšť a ztráty na povodí (4)	11
Obrázek 3 - Orientační klasifikace znečištění srážkových vod z hlediska znečištění nerozpuštěnými látkami, těžkými kovy a uhlovodíky (6).....	12
Obrázek 4 - Typické znečišťující látky na jednotlivých typech ploch a očekávané znečištění srážkových vod (6)	13
Obrázek 5 - Základní rozhodnutí o koncepci řešení (managementu) hospodaření se srážkovou vodou v souladu s legislativou a platnými normami v urbanizovaném povodí (9).....	15
Obrázek 6 - Objekt plošného vsakování (6).....	17
Obrázek 7 - Objekt vsakovacího průlehu s povrchovým přívodem vody (6).....	17
Obrázek 8 - Vsakovací průleh-rýha (6)	18
Obrázek 9 - Vsakovací nádrž (6)	19
Obrázek 10 - Vsakovací rýha s povrchovým plošným přítokem (6).....	20
Obrázek 11 - Vsakovací rýha s podpovrchovým přítokem (6).....	20
Obrázek 12 - Suchá retenční nádrž (poldr) (6).....	23
Obrázek 13 - Retenční nádrž se zásobním prostorem (6).....	24
Obrázek 14 - Umělý mokřad (6)	26
Obrázek 15 - Vývoj indexu využívání vody WEI pro Českou republiku v letech 1990-2017 (15)	28
Obrázek 16 - Generelní bilanční schéma zdrojů vody pro Škoda Auto včetně srážek a směry jejího odtoku, 100 % = odběry ze zdrojů včetně srážek (= odtoky) (23)	35
Obrázek 17 - Pásma dešťového odvodnění v areálu Škody Mladá Boleslav (zdroj: Škoda Auto, a.s.)	36
Obrázek 18 - Schéma kanalizační sítě Škoda Auto a.s. (zdroj Škoda Auto a.s.).....	37
Obrázek 19 - Fotografie retenční nádrže M12L z realizace (zdroj: Škoda Auto, a.s.).....	39
Obrázek 20 - Fotografie retenční nádrže M12L z realizace (zdroj: Škoda Auto, a.s.).....	40
Obrázek 21 - Tabulka odvodňovaných ploch (28).....	41
Obrázek 22 - Srážko-odtokový model zájmové retenční dešťové nádrže ve SWMM	45
Obrázek 23 - Srážkové úhrny – déšť 2.8.2020 (srážkoměr ŠKO-ENERGO).....	50
Obrázek 24 - Srážkové úhrny – déšť 28.8.2020 (srážkoměr ŠKO-ENERGO).....	50
Obrázek 25 - Srážkové úhrny – déšť 22.6.2021 (srážkoměr ŠKO-ENERGO).....	51
Obrázek 26 - Průběh hladiny v čerpací stanici (resp. retenční nádrži) během deště 2.8.2020	54

Obrázek 27 - Průběh hladiny v čerpací stanici (resp. retenční nádrži) během deště 28.8.2020	55
Obrázek 28 - Průběh hladiny v ČS (resp. RN) během deště 22.6.2021 při vypnutém čerpání	58
Obrázek 29 - Počet havarijních přepadů za simulované období 10 let v závislosti na zapínací hladině čerpadla	62
Obrázek 30 - Průběh hladiny v modelu s odběrem zahrádkářům 25 m ³ /den během období 20.-26.5.2003	65
Obrázek 31 - Průběh hladiny v modelu s odběrem zahrádkářům 15 m ³ /den během období 20.-26.5.2003	66

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Pásma odvodnění areálu Škody Mladá Boleslav, jejich odvodňovaná plocha, systém kanalizace a délka hlavních stok (24).....	35
Tabulka 2 - Dny, kdy proběhla změna času v letech 2019-2021	43
Tabulka 3 - Přehled odvodňovaných ploch v rámci jednotlivých přítoků do zájmové RN	44
Tabulka 4 - Vnitřní průměry potrubí PP SN 12 (33)	46
Tabulka 5 - Objemová křivka (Storage Curve) retenčního objektu do modelu SWMM.....	47
Tabulka 6 - Křivka čerpadla (Pump Curve) do modelu SWMM	48
Tabulka 7 - Vyhodnocení kritéria C k dešti 2.8.2020.....	56
Tabulka 8 - Vyhodnocení kritéria C k dešti 28.8.2020.....	57
Tabulka 9 - Vyhodnocení kritéria E k dešti 22.6.2021	59
Tabulka 10 - Vyhodnocení kritéria F k dešti 22.6.2021	59
Tabulka 11 - Přehled simulovaných variant zapínací hladiny čerpadla a jejich odpovídající poměr akumulčního a retenčního prostoru	60
Tabulka 12 - Počet havarijních případů při simulaci desetileté dešťové řady, pravděpodobnost havarijního případu za rok a celkový případný objem za celé období simulace (10 let) pro všechny varianty nastavení zapínací hladiny čerpadla	61
Tabulka 13 - Přehled dešťových událostí, které vyvolaly během simulace havarijní případ a jejich logické třídění.....	62
Tabulka 14 - Výsledné objemy havarijních případů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m ³ /den – varianta zapínací hladiny 2,05 m.....	64
Tabulka 15 - Výsledné objemy havarijních případů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m ³ /den – varianta zapínací hladiny 2,30 m.....	64
Tabulka 16 - Výsledné objemy havarijních případů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m ³ /den – varianta zapínací hladiny 2,55 m.....	64
Tabulka 17 - Výsledné objemy havarijních případů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m ³ /den – varianta zapínací hladiny 3,05 m.....	65
Tabulka 18 - Výsledné objemy havarijních případů při simulaci bez odběru zahrádkářům a s odběry 5, 15 a 25 m ³ /den – varianta zapínací hladiny 3,55 m.....	66
Tabulka 19 - Shrnutí úplné eliminace či minimalizace havarijních případů v jednotlivých variantách zapínací hladiny	67
Tabulka 20 - Čas pro vyčerpání akumulovaného objemu vody pro provoz jednoho čerpadla (Q = 80 l/s) a dvou čerpadel najednou (Q = 160 l/s)	68

11 Seznam příloh

Příloha č.1 – TI 04 D.2.1.09 Výkres čerpací stanice k RDN M12L (půdorys a řez), projektant: S-projekt plus a.s., DPS 02/2018

Příloha č.2 – TI 04 D.2.1.08 Výkres retenční nádrže M12L (půdorys), projektant: S-projekt plus a.s., DPS 02/2018

Příloha č.3 – TI 04 D.2.1.08 Výkres retenční nádrže M12L (řez), projektant: S-projekt plus a.s., DPS 02/2018

Příloha č.4 – TI 04 D.2.1.03 Situace kanalizace dešťové, projektant: S-projekt plus a.s., DPS 02/2018, s vyznačením odvodňovaných ploch a nátoků do RDN M12L