

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta Stavební
Katedra Zdravotního a ekologického inženýrství



**Posouzení bilancí vody v systému
odvodnění města Pečky**

Bakalářská práce

**Assesment of water balance in urban
drainage system of Pečky municipality**

Bachelor thesis

Jakub Foltýn

Vedoucí Práce: Doc. Ing. David Stránský, Ph.D

2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně. Všechny prameny a použitá literatura byla řádně citována. Zpracování této práce se řídí Metodickým pokynem č. 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“. Tato práce nebyla použita v rámci jiného studia, či k získání jiného titulu.

V Praze dne: 22.05.2023

Jakub Foltýn

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval zejména panu doc. Ing. D. Stránskému, PhD. za vedení bakalářské práce a panu Ing. L. Novákovi, PhD. za poskytnutí digitálních dat výpočetního modelu z něžž tato práce vychází. Rád bych následně poděkoval ještě své rodině a nejbližším přátelům za morální podporu během celého dosavadního studia a svému zaměstnavateli, že mi vždy ve studijních záležitostech vyšli vstříc.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá stokovou sítí města Pečky, zejména posouzením odlehčovacích komor a jejich vlivem na vodní tok. Práce je dělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část uvádí čtenáře do problematiky odlehčovacích komor, jejich rozdělení, technického návrhu a vlivu na životní prostředí. Též nabízí stručný výčet možností zmírnění negativních dopadů znečištění dešťových vod. Vedle odlehčovacích komor nastiňuje též problematiku čištění odpadních vod a odděleného stokování dešťů, které s odlehčovacími komorami úzce souvisí. Praktická část se pak zabývá jak obecným popisem lokality a stokové sítě města Pečky, tak nastiňuje metodiku výpočetní části a práci s matematickým modelem a jak jsem zpracoval data a dle metodiky následně prezentuje dosažené výsledky. Konkrétně jsem posuzoval hydrobiologický stres podle normy ČSN 75 6262 Odlehčovací komory, průměrný vnos znečištění z ulic a celkovou bilanci vnosu fosforečanů za víceleté období. Na konci celé práce je poté shrnující závěrečné zhodnocení a porovnání s vytyčenými cíli.

Klíčová slova

Stoková síť, odlehčovací komora, dešťová událost, čistírna odpadních vod, přepad, průtok, vodní tok, životní prostředí.

Abstract

This bachelor's thesis is focused on sewerage system of Pečky municipality, mainly on evaluation of discharging chambers and their impact on local stream. Thesis is divided into theoretical and practical part. Theoretical part invites the reader to the issues of discharging chambers, their sorting, construction design and environmental effect. Also, it shows a short list of possibilities for decreasing negative impacts from pollutants in rainfalls. Among discharging chamber's problems, there are side chapters dedicated to sewage treatment plants and separated sewing of rainfall flows, which is in tight bond with discharging chambers. Practical part is concerned then with general describing of Pečky area and it's sewerage system, even so it outlines the method of computing part, method of working with mathematical model and how I processed the data. The outlined

methods were then put into practice to reach the optimal results. Specifically, I evaluate hydrobiological stress by standard ČSN 75 6262 Odlehčovací komory, average load of pollutants washed off the streets and total summary of load of phosphates during the multi-years term. At the end of this thesis is then summarizing final evaluation and comparison with set goals.

Keywords

Sewerage system, discharging chamber, rainfall event, sewage treatment plant, overflow, stream, environment.

Obsah

Úvod.....	9
Cíle práce	11
1 Teoretická část.....	12
1.1 Odlehčovací komory	12
1.1.1 Definice odlehčovacích komor	12
1.1.2 Typy odlehčovacích komor	12
1.1.3 Principy návrhu a posouzení OK	20
1.1.4 Vliv OK na stokovou síť a ČOV	24
1.1.5 Dopady OK na životní prostředí	26
1.1.6 Opatření pro snížení negativních dopadů na životní prostředí.....	27
1.2 Čistírna odpadních vod	31
1.2.1 Účel čistírny	31
1.2.2 Podmínky zřízení ČOV	31
1.2.3 Stručný princip čištění.....	31
1.2.4 Dopad používání ČOV	32
1.3 Oddílná dešťová kanalizace	33
1.3.1 Co je oddílná kanalizace	33
1.3.2 Specifika ODK.....	33
2 Praktická část	34
2.1 Charakteristika území.....	34
2.1.1 Město Pečky	34
2.1.2 ČOV Pečky.....	36
2.1.3 Popis stokové sítě.....	38
2.1.4 Popis odlehčovacích komor	38
2.1.5 Popis recipientů.....	42
2.2 Metodika posuzování	43
2.2.1 Popis výchozího výpočetního modelu.....	43
2.2.2 Posuzování hydrobiologického stresu dle ČSN 75 6262 – Odlehčovací komory.....	43
2.2.3 Metodika určení znečištění dešťových vod.....	44
2.2.4 Metodika určení rozpuštěných látek	45
2.3 Interpretace výsledků a dat.....	46
2.3.1 Posouzení hydrobiologického stresu.....	46

2.3.2 Posouzení znečištění dešťových vod.....	48
2.3.3 Posouzení znečištění rozpuštěnými látkami.....	53
Závěr	56
Seznam použité literatury a podkladů	57
Seznam použitých zkratk.....	59
Seznam obrázků	60
Seznam rovnic.....	62
Seznam tabulek	63

Úvod

Činnost člověka je od počátku historie provázena s vytvářením odpadního materiálu. Ať se jedná o biologický odpad z metabolických procesů, tak i odpady ze zpracování surovin. Některé druhy odpadů jsou dále zpracovány z čistě ekonomických důvodů, ale s některými odpady musí být správně naloženo pro zachování hygienických standardů ve společnosti a v posledních několika desítkách let i z důvodů ekologických a utlumení nerovnováhy přírodních systémů, jichž jsme součástí.

Odpady metabolického charakteru a z rozkladu biologického materiálu představovaly zásadní problém pro lidstvo od vzniku prvních sídleních celků po tzv. zemědělské revoluci, kdy se kmenová společenství přestala zabývat kočováním za lovnou zvěří a dočasným setrváním na místě, dokud byly v něm dostupné suroviny, a začala setrávat v jedné lokaci po celou dobu své existence. Touto zásadní změnou ve vývoji lidské populace dochází i k první kumulaci odpadů na jednom místě. S tím je potřeba nakládat primárně z hlediska zdravotního, kdy odpad z vyměšování je původcem řady patogenů. Od prvotních jámek, či žump, přes uliční žlaby, se civilizace dostala až k prvním stokovým systémům, z nichž jedna z neznámějších, ač pozdějších je stoka starověkého Říma tzv. Cloaka Maxima [2].

Tyto systémy sloužily právě k odvedení odpadů mimo obydlené oblasti, nejčastěji do nejbližšího vodního toku. Z důvodů znečišťování vodních toků a následného dopadu na životní prostředí v okolí toku dospěli lidé k průmyslovému čištění odpadních vod, kdy dnes jsme již schopni v rámci 3 stupňů čištění vyčistit vodu do hygienicky a ekologicky nezávadné podoby, dokonce lze zpětně využít část odpadu z kalového hospodářství pro výrobu tepla, či zemědělské využití vysušených kalů jakožto hnojivo pro velký obsah dusíkatých látek. Stále však existuje přímé propojení vodních toků a městského odvodnění přes odlehčovací komory.

Proto jsem si vybral ke zpracování této práce zejména posouzení funkčnosti jednoho z objektů stokové sítě, konkrétně odlehčovacích komor, a to v konkrétní lokalitě, kde jsou dané objekty v aktivním provozu. Bakalářskou práci na Katedře Zdravotního a ekologického inženýrství jsem zvolil pragmaticky z důvodů své projekční praxe v oblasti městského inženýrství a zájmu o prohloubení svých znalostí v této oblasti. Rád bych v této práci zjistil, jaký přenášejí odlehčovací komory stupeň znečištění do recipientů, jestli jsou dodrženy předepsané limity dle normy, či jak by bylo možné dané aktuální řešení upravit pro dosažení lepších dlouhodobých výsledků.

Cíle práce

Cílem práce je zjistit objemy vody vypouštěné do místního recipientu z různých zdrojů odvodnění města Pečky, konkrétně objem vody vypouštěné z čistírny odpadních vod, odlehčovacích komor a dešťové kanalizace, dále pak posoudit vliv odlehčovacích komor na místní recipient dle vybraných parametrů ČSN 75 6262. Práce bude obsahovat teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zaměří zejména na odlehčovací komory a jejich funkci. Výpočty v praktické části budou provedeny pomocí existujícího srážko-odtokového modelu stokové sítě Peček, výstupem bude bilance jednotlivých odtoků ze systému odvodnění do místního recipientu a posouzení vlivu tří odlehčovacích komor na recipient.

Dílčí cíle

- Určení bilancí a objemů vod ve stokové síti
- Rozdělení odvodňovaných ploch v rámci povodí ČOV, rozdělení podle typu využití
- Výpočet vnosu znečištění
- Posouzení vlivu

1 Teoretická část

V teoretické části vás seznámím s problematikou třech hlavních funkčních objektů na stokové síti, kterými se tato práce zabývá, kterými jsou odlehčovací komory, čistírny odpadních vod a oddělené dešťové kanalizace. Je zde vysvětlen princip fungování, přínosy a negativa.

1.1 Odlehčovací komory

„Odhlehčovací komora patří k nejdůležitějším a zároveň nejsložitějším objektům stokových sítí z hlediska hydraulického, hydrologického, hygienického i konstrukčního, přičemž tato jednotlivá hlediska se vzájemně ovlivňují a úzce spolu souvisejí“. [1].

1.1.1 Definice odlehčovacích komor

Jejím účelem je odvedení nadbytečných průtoků na jednotné stokové síti během srážkových událostí z kanalizace přímo do recipientu, aby nedošlo k velkému nátoku OV na ČOV, a ještě umožňuje za ní zařadit stoku o menší dimenzi, pro odtok na ČOV, a tím zlepšit jeho hydraulické vlastnosti.

Jednotná stoka – Deště z uličních vpustí a splaškové vody v jednom potrubí.

Objekt je nejčastěji předřazen těsně před čistírnou a skládá se z hlavní stoky, kde probíhá přítok a odtok na ČOV, hradícího zařízení (stavidlo, přeliv, vyvýšené potrubí atd.) a odtokového potrubí do vodního toku. Ve velkých sídelních celcích můžeme mít komor zařazených několik podle potřeby.

1.1.2 Typy odlehčovacích komor

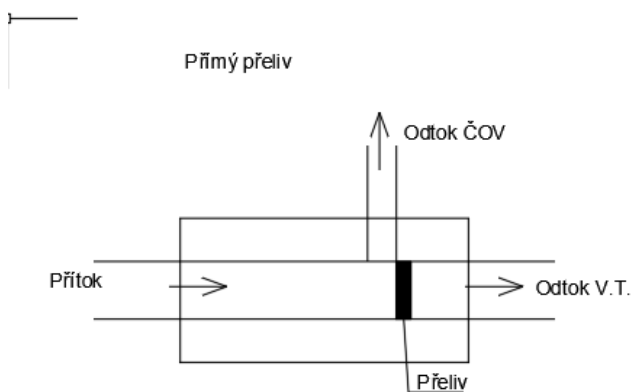
Odhlehčovacích komor máme několik typů, jejich rozlišení je podle typu přepadu na odlehčení. Aby byl přepad vod pouze při deštných událostech, je nutná podmínka přepadu přes práh, respektive přes hranu výše, než je dno přítokového potrubí. Tvar přítoku ani odtoků není omezen, pouze se řídí potřebnou kapacitou. Z důvodu životnosti a údržby se snažíme o co nejlépe hydraulicky účinný návrh.

Typy se dělí na:

- a) OK bez regulace odtoku s přímým přelivem
- b) OK bez regulace odtoku s bočním přelivem jednostranným
- c) OK bez regulace odtoku s bočním přelivem oboustranným
- d) OK s přepadem se škrťací trati
- e) Štěrbínové OK
- f) Etážové OK
- g) Vírové separátory
- h) Ostatní OK

1.1.2.1 Odlehčovací komory s přímým přelivem

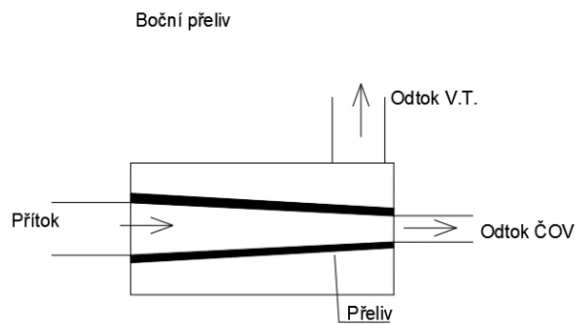
Odtok odlehčení je ve směru přítoku a odtok na ČOV je boční, předřazený a přilehlý k přelivné hraně. Dělení zde probíhá ještě podle půdorysného tvaru přelivné hrany podobně jako tělesa jezu, či hráze na kolmý, šikmý, obloukový a lomený přeliv. Jak u oblouku, tak u lomení je vydutí pouze do směru přítoku, z důvodu soustředění paprsků vody do osy odtoku a zřejmě zamezení ztrát turbulentním prouděním u stěn.



Obrázek 1: Odlehčovací komora s přímým přelivem

1.1.2.2 Odlehčovací komory s bočním přelivem

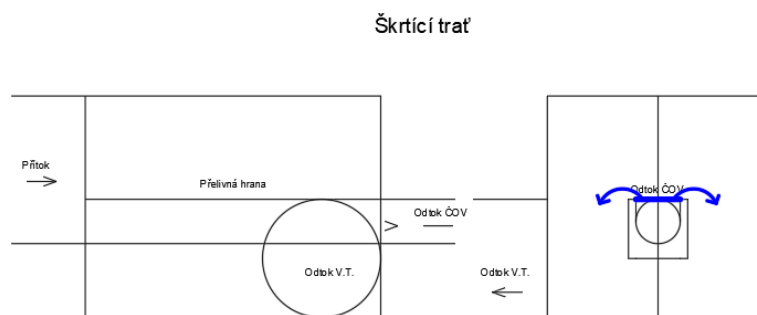
Zde dohází k prohození směru odtoku na ČOV a na recipient. Oproti přímému typu dochází k prodloužení přelivné hrany až na celou délku odlehčovací komory, samo sebou při přepadu oboustranném může být potřebná délka OK, resp. její hrany redukována. Niveleta obou odtoků může být stejná, stejně jako odtok na recipient může být za přelivnou hranou umístěn níž. Půdorysný tvar hrany je variabilní, od přímé hrany, přes šikmý přechod do zaústění odtoku na ČOV až například k přelivu do oblouku, kdy při vyšších průtocích je nadbytečný průtok na odlehčení vynesena odstředivou silou ve vyšších rychlostech.



Obrázek 2: Odlehčovací komora s oboustranným bočním přelivem

1.1.2.3 Odlehčovací komory se škrťací tratí

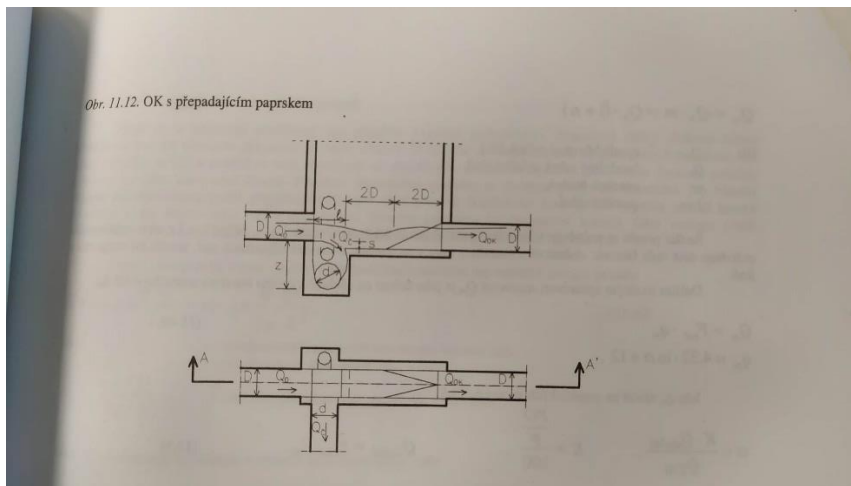
Škrceň probíhá formou výrazného zúžení před odtokem na ČOV, čímž dochází k zahlcení a následně tlakovému proudění při deštných událostech. Při zahlcení zůstává odtok na přibližně konstantním průtoku. Přebytečná voda odchází na odlehčení bočním nebo přímým přelivem, nejlépe s níže umístěným dnem odtoku na recipient proti zamezení zatopení odlehčení.



Obrázek 3: Odlehčovací komora se škrťací tratí

1.1.2.4 Odlehčovací komory štěrbinové

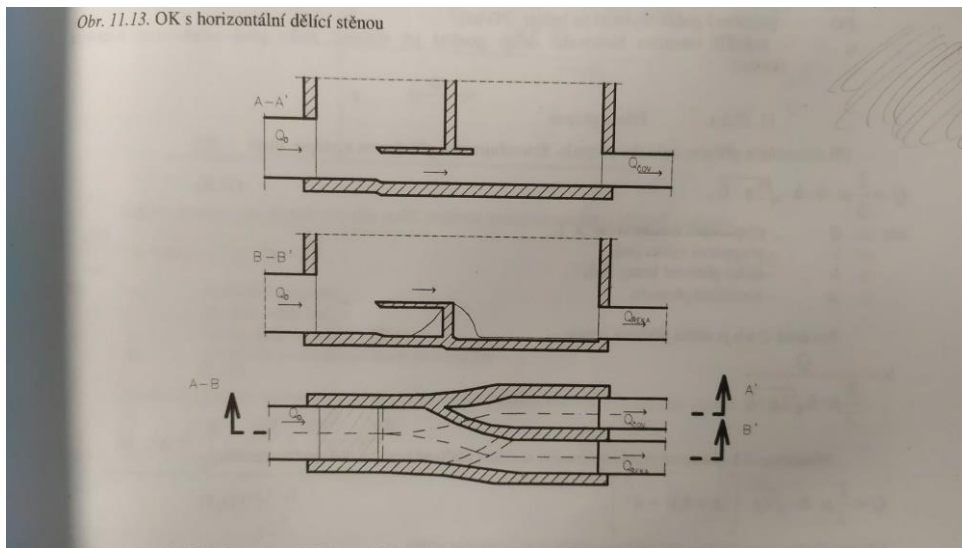
Zde je odtok na ČOV zařazen hned za přítokem u zadní stěny OK a je položen kolmo a níže, tak aby maximální hladina odtoku na ČOV ležela pod dnem přítoku. Tímto dojde při běžných průtocích k přepadu a odtoku na ČOV hned, při velkých průtocích dojde k zahlcení odtoku a přebytečná voda odteče dále do potrubí na recipient. Štěrbina musí být dostatečně široká, aby vnější paprsek OV při maximálních běžných průtocích dopadal na vzdálenější stěnu odtoku na ČOV, taktéž je nutné odtok vést ve sklonu.



Obrázek 4: Ok s přepadajícím paprskem [1]

1.1.2.5 Odlehčovací komory etážové

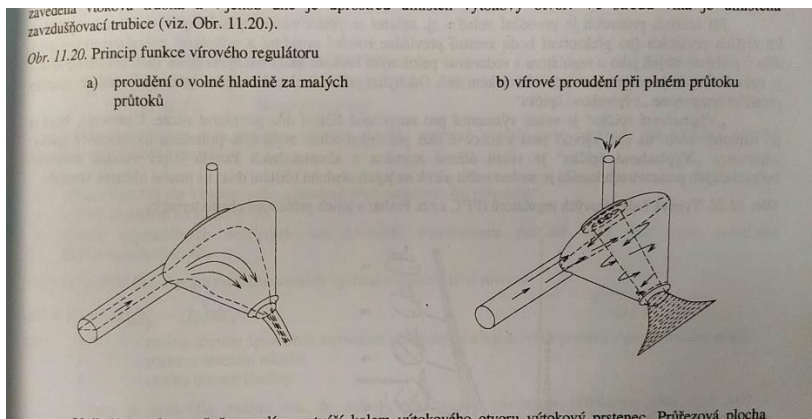
V určité vzdálenosti od přítoku je umístěna deska s ostrou hranou. Při běžných událostech je podtékána nad ČOV, při velkých průtocích je přebytečná voda natékána nad desku, za kterou je odváděna na odtok do recipientu. Teoreticky je zde možno odtokové potrubí umisťovat různě při dodržení různých výšek.



Obrázek 5: Ok s horizontální dělicí stěnou [1]

1.1.2.6 Vírové separátory

Jedná se o kuželovitý objekt s tangenciálním nátokem, který přívod vody posílá po stěně dostředivě k odtoku na dně, pro případ zahlcení, je ještě na straně přítoku umístěna trubice na přísávání vzduchu. Dochází zde k podobnému jevu jako při odpouštění vany. Odtok je regulován jak samotným průřezem výtokového potrubí, tak možností osazení clony, z čehož plyne výhoda, pokud bychom doznali změn na stokové síti a potřeby odtoku menšího, či vyššího, tak toho lze dosáhnout pouze změnou průřezu clony, samo sebou maximálně do velikosti průřezu potrubí. Vlastní proud se reguluje i proměnou paprsku proudění v závislosti na zahlcenosti nátoku, či rychlosti proudění. Velké deštné události se dají řešit odtokovým potrubím ze stěny separátoru ven nad hladinou přítoku, které by fungovalo jako bezpečnostní přeliv v případě zahlcení objektu.

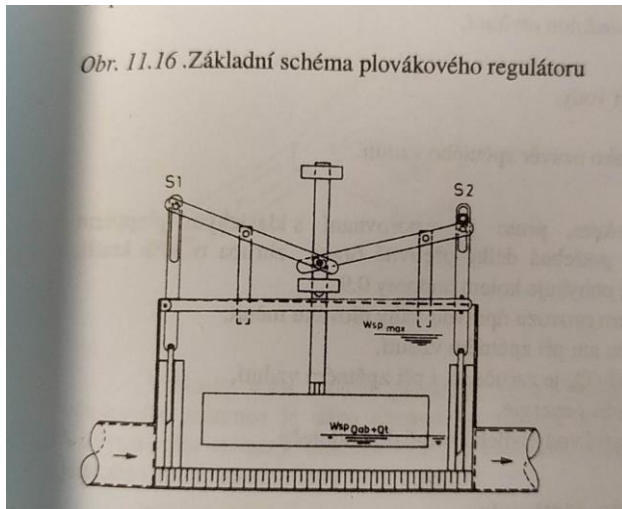


Obrázek 6: Vírový separátor [1]

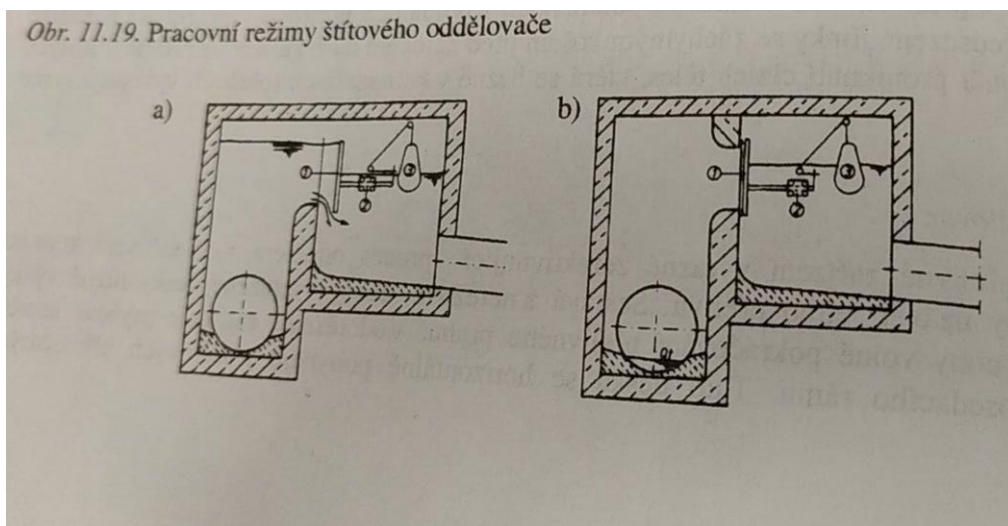
1.1.2.7 Odlehčovací komory ostatní

Jedná se o různé způsoby regulace odtoku jiným způsobem než změnou profilu či rozdílnou niveletou. Patří sem například OK se stavidlem, které je regulováno pákovým systémem s plovákem, kdy se zvyšující se hladinou se zvedá i plovák, který přes pákový systém uzavírá odtok na ČOV a tím dojde nuceně k přepadu do odlehčení. Hodnota neregulovaného odtoku se dá nastavit hladinou uložení plováku, lze tím regulovat i samotný přítok do komory.

Druhým způsobem jsou štítové oddělovače, které fungují na podobných principech jako pohyblivé uzávěry stavidel na jezích a přehradách. Zvyšují vlastní výšku přelivné hrany. Jejich funkce spočívá v momentě, kdy dojde k vystoupaní hladiny nad přelivnou hranu, začne se zvedat štít a dojde k výtoku otvorem do odlehčení. V podstatě se nemění ani tak odtok na ČOV, jako dochází k regulaci odlehčení, respektive jsme schopni do odlehčení pouštět přesné vypočitatelné množství vody. Dochází zde i ke zkrácení potřebné délky přelivné hrany, tím že se jedná o jiný hydraulický jev než klasický přepad. Obě zařízení lze aplikovat ve vzájemné kombinaci.



Obrázek 7: Plováková regulace [1]



Obrázek 8: Štítový oddělovač [1]

1.1.3 Principy návrhu a posouzení OK

Základním údajem ke stanovení před samotným návrhem je maximální hodnota průtoků na ČOV, aby přebytečný průtok při deštných událostech byl odváděn do recipientu.

1.1.3.1 Stanovení odtok na ČOV

Průtok na ČOV je pak násobkem bezdeštného odtoku.

$$Q_{\text{ČOV}} = Q_h * m = Q_h * (1+n) \quad (1)$$

kde $Q_{\text{ČOV}}$ neboli Q_m neodlehčený odtok na čistírnu

Q_h bezdeštný odtok splašků

(maximum toho co odteče odpadním potrubím z napojených nemovitostí)

m násobek ředění, respektive

$1+n$ ředící poměr

(o kolik si můžeme dovolit naředit splaškové odtoky, aby byl proces na ČOV efektivní)

Ředění je variabilní v širokém rozpětí od $m = 5$, ale klidně i více než $m = 8$, podle velikosti znečištění, typu odpadních vod, charakteristiky vodního toku za odlehčením, vodnatosti.

Další možností určení odtoku na ČOV je metodou mezního deště, která závisí na ploše povodí ČOV, počtu obyvatel, intenzitách deště.

$$Q_{\text{ČOV}} = F_{\text{red}} * q_m \quad (2)$$

kde F_{red} redukováná plocha povodí pro danou ČOV v hektarech,

q_m intenzita mezního deště ($\text{m}^3/\text{s}/\text{ha}$)

$$q_m = 4,32 * \ln \alpha + 12$$

jde o empirický vzorec, tzn. zjišťován a odvozen laboratorním měřením

$$\alpha = K * Q_{\text{dešť}} / Q_{270d} \quad (3)$$

kde Q_{270d} 270ti denní průtok v recipientu (m^3/s);

α je empirický součinitel

$$Q_{\text{dešť}} = F_{\text{red}} * i_n \quad (4)$$

kde F_{red} redukováná plocha

$$F_{\text{red}} = F * \psi_s$$

i_n nejnižší intenzita blokového deště

(rovnoměrné rozdělení velikosti srážek v čase trvání)

použitá v návrhu stoky na dešťové průtoky

$Q_{dešť}$ přítok dešťových vod na OK v m³/s.

$$K = (PO/F)/100, \text{ je součinitel kvality odpadních vod} \quad (5)$$

kde F neredukovaná plocha povodí

PO počet obyvatel na hektar příslušného povodí, v podstatě průměrná hustota zalidnění.

Rozložený vzorec je tedy

$$Q_{ČOV} = F_{red} * 4,32 * \ln * (((PO/F) / 100 * F_{red} * i_n) / Q_{270d}) + 12 \text{ a je uveden v m}^3/\text{s.} \quad (6)$$

Odváděné množství na odlehčení je logicky tedy

$$Q_{odlehčení} = Q_{přítok} - Q_{ČOV}.$$

Následný návrh se nám dělí podle typu přelivné hrany na návrh přímého přepadu, bočního, se škrcením, s regulací.

1.1.3.2 Návrh přelivné hrany přímé

Pro přímý přepad je návrh podobný návrhu přelivu na hrázích či jezích.

Pokud neuvažujeme přítokovou rychlost v je návrhový přepad

$$Q = 2/3 * \mu * b * h * \sqrt{(2 * g * h)} \quad (7)$$

kde μ součinitel přepadu závislý na typu přelivné hrany

potažmo h výška přepadu

b délka přelivné hrany.

Jelikož $Q = Q_{odlehčení}$, vyjádříme si ze vzorce potřebnou délku přelivné hrany

$$b = 3 * Q / 2 * (\mu * h * \sqrt{(2 * g * h)}) \quad (8)$$

Potřebnou délku hrany upravujeme se změnou výšky přelivu na optimální hodnotu vůči prostorovým možnostem, kdy například při rekonstrukcích OK máme půdorysný daný limit.

Při uvažování přítokové rychlosti v , kterou získáme z rovnice kontinuity

$$Q = S \cdot v \quad (9)$$

kde S průtočná plocha přívodního potrubí

a $Q = Q_{\text{přítok}}$

bude přelivná hrana navržena ze vzorce

$$Q = 2/3 \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot ((h+k)^{3/2} - k^{3/2}) \quad (10)$$

kde k je rychlostní výška

(jedna ze složek celkové energetické výšky při proudění vody, kde dalšími částmi je vlastní hloubka vody, tlaková výška hydrostatického tlaku, potažmo ztráty)

$$k = \alpha \cdot v^2 / 2g, \quad (11)$$

α Coriolisovo číslo.

Coriolisovo číslo je bezrozměrný hydraulický parametr závislý na rozdělení rychlostního pole, typu objektu, ve kterém dochází k proudění, a například na Chézyho rychlostním součiniteli [3]

g pro všechny rovnice je gravitační zrychlení, pro naše zeměpisné podmínky $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

1.1.3.3 Návrh přelivné hrany boční

V ČR nejběžnější typ přelivu OK, jehož návrh je obtížný. Výpočet se provádí podle Lutzeho, či přesněji dle De Marchiho, nebo ještě přesněji dle Kunštátského, kde nepředpokládá konstantní průběh čáry energie podél celé hrany.

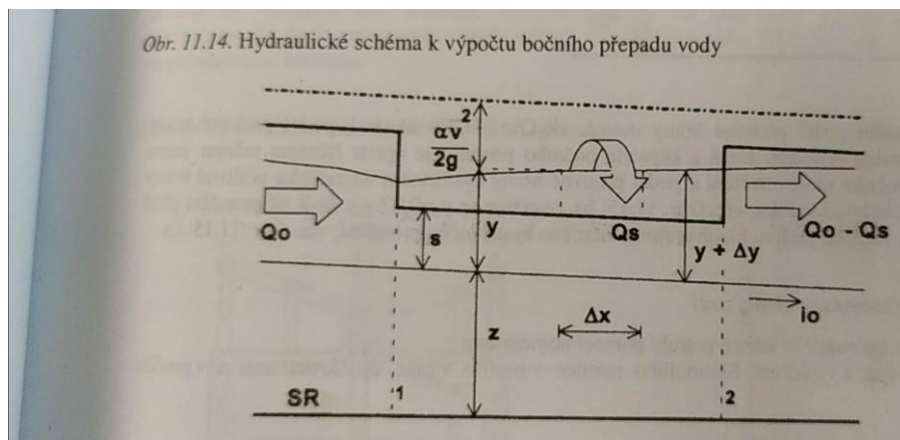
Energie v každém jednom místě se rovná

$$E = z + y + \alpha \cdot v^2 / 2g \quad (12)$$

kde máme člen z vztažná výška nad referenční rovinou

y hloubka vody

a třetí člen je rychlostní výška k v daném bodě.



Obrázek 9: Schéma bočního přepadu [1]

Pro úbytek průtoku podél přelivné hrany se použije

$$-(dQ/dx) = q = m_s * \sqrt{2g} * (y-s)^{3/2} \quad (13)$$

kde m_s součinitel přepadu

y hloubka vody v daném místě

s výška přelivu

Q průtok v daném průřezu

Celá rovnice pro boční přepad zní

$$dy/dx = (i_0 - i_E - \alpha Q/gS^2 * dQ/dx + \alpha Q^2/gS^3 * ydB/dx) / (1 - \alpha Q^2 * B/gS^3) \quad (14)$$

Kde i_0 sklon dna

i_E sklon čáry energie

S průřezová plocha

B šířka hladiny

1.1.3.4 Návrh délky škrťící tratě

U škrťící tratě dochází k tlakovému proudění, tak navrhujeme délku krátkého potrubí pomocí Bernoulliho rovnice.

$$L = (h_s - D - v^2/2g - \zeta^*v^2/2g) / (I_p - I_s) \quad (15)$$

D	průměr škrťící tratě
I_s	sklon dna
I_p	sklon tlakové čáry
v	rychlost ve škrťící trati
L	délka tratě
ζ	součinitel ztráty třením

1.1.4 Vliv OK na stokovou síť a ČOV

Odlehčovací komora je důsledkem výstavby jednotné stokové sítě, pokud bude vystavěna v obci kanalizace oddílná, není nutné objekt OK zařazovat a dešťové průtoky odvádět do recipientu rovnou. Nicméně v urbanizovaném území dochází na antropogenních plochách ke smyvu ploch znečištěných lidskou činností (úkapy ropných látek a olejů, eroze umělých povrchů komunikací atd.) a tyto by mohli způsobit znečištění vodních toků. Na jednotné stoce je šance odvedení části těchto nečistot na ČOV, naopak část nečistot z odpadu z nemovitostí může především za předpokladu nižší objemové hmotnosti, než je voda být odvedeno při velkých dešťných událostech na odlehčení a do recipientu, což lze řešit správným technickým návrhem OK a popřípadě zřízením česlí na výusti odlehčovací stoky. Dále dochází při zřízení jednotné stoky k požadavku na vyšší mechanicko-chemickou odolnost materiálu stoky, kdy znečištění odpadní vodou je při deštích podpořeno dalším znečištěním právě dešťových vod. Tyto jsou znečištěny například uvolněním kovových materiálů po korozi dopravních prostředků, uvolňování stavebních materiálů, mrtvou vegetací, metabolickým odpadem zvěře na zelených plochách, proti mrznoucím solením vozovek v zimních obdobích, atmosférickým znečištěním z dopravních emisí, důlní nebo energetické činnosti, smyvem střech, či nečistými povrchy průmyslových areálů.

Kvalita dešťové vody

Tab. 6. Průměrné koncentrace různých látek zastoupených v dešťovém odtoku [10]

Ukazatel	Rozměr	Šikmé střechy	Ploché střechy štěrkopískovou vrstvou
pH		5,5 - 7,7	5,5 - 7,9
TOC	mg.l ⁻¹	5 - 10	5 - 10
TSS	mg.l ⁻¹	15 - 40	2 - 5
Cl	mg.l ⁻¹	0,3 - 1	0,5 - 1
SO ₄	mg.l ⁻¹	2 - 6	2 - 8
SiO ₄	mg.l ⁻¹	0,3 - 0,4	1 - 2
NO ₃	mg.l ⁻¹	0,3 - 0,7	2 - 5
NO ₂	mg.l ⁻¹	0,05 - 0,1	0,1 - 0,15
NH ₄	mg.l ⁻¹	0,4 - 2	0,01 - 0,07
N _{celk}	mg.l ⁻¹	1,5 - 5	3 - 5
P _{celk}	mg.l ⁻¹	0,08 - 0,15	0,02 - 0,05
Ca	mg.l ⁻¹	1,5 - 2,5	10 - 25
Mg	mg.l ⁻¹	0,2 - 0,7	0,7 - 1
Na	mg.l ⁻¹	0,2 - 0,3	0,2 - 0,3
Cr	μg.l ⁻¹	0,5 - 0,8	0,3 - 0,6
Mn	μg.l ⁻¹	5 - 12	5 - 12
Fe	μg.l ⁻¹	90 - 1000	100 - 200
Cu			
Střecha bez Cu-instalací	μg.l ⁻¹	15 - 30	15 - 25
Střecha s Cu-instalacemi		100 - 300	100 - 300
Cu-střecha		800 - 2000	-
Zn			
Střecha bez Zn-instalací	μg.l ⁻¹	20 - 70	10 - 40
Střecha s Zn-instalacemi		50 - 200	50 - 200
Titan-Zn-střecha		1000 - 4000	-
Pb			
Střecha bez Pb-instalací	μg.l ⁻¹	10 - 30	2 - 10
Střecha s Pb-instalacemi		100 - 300	-
Pb-Střecha		5000 - 7000	-
Cd	μg.l ⁻¹	0,1 - 0,5	0,05 - 0,1

Obrázek 10: Tabulka průměrné koncentrace znečištění ze střech [10]

Průměrné koncentrace látkového znečištění v dešťovém odtoku z ulic [10]

Ukazatel	Rozměr	Průměrné koncentrace
pH	-	7,4
TOC	mg.l ⁻¹	16
TSS	mg.l ⁻¹	240
Cl	mg.l ⁻¹	150
SO ₄	mg.l ⁻¹	40
NO ₃	mg.l ⁻¹	6
NO ₂	mg.l ⁻¹	0,4
NH ₄	mg.l ⁻¹	0,4-2
P _{celk}	mg.l ⁻¹	0,7
Fe	mg.l ⁻¹	6
Pb	mg.l ⁻¹	0,3
Zn	mg.l ⁻¹	500
Cr	mg.l ⁻¹	15
Ni	mg.l ⁻¹	40
Cu	mg.l ⁻¹	150
Cd	mg.l ⁻¹	4,5

Obrázek 11: Tabulka průměrné koncentrace znečištění z ulic [10]

Dešťový průtok zvětšuje nátok na ČOV a dochází ke snížení účinnosti čištění vnosem většího množství větších částic, ředěním vody v usazovacích procesech, což je řešeno odlehčovací komorou, potažmo oddílnou kanalizací, nicméně může docházet k černým nelegální zaústěním dešťových vod z pozemků do splaškové kanalizace

1.1.5 Dopady OK na životní prostředí

Dopady odlehčovacích komor na životní prostředí jsou primárně dopady znečištěných dešťových vod na recipient a dají se rozdělit do čtyř kategorií

Akutně toxické

Chronické

Estetické

Hydrobiologický stres

Akutně toxické jsou způsobené přínosem dusíkatých látek a mikroorganismů spotřebovávajících kyslík, či patogenních mikroorganismů, které mohou způsobit zdravotní problémy odběratelům vody pod zaústěním. Jejich efekt je v řádu několika hodin

Chronické dopady jsou způsobované například zvyšováním obsahu fosforu, či zvyšováním teploty při přítoku dešťů z ohřátých umělých ploch v letních měsících. Do estetických dopadů můžeme řadit jak nátok plovoucích látek do recipientu měnících její zbarvení, tak možný mírný zápach z biologického znečištění DV. Hydrobiologický stres je způsoben náhlým vzrůstem průtoků za zaústěním stoky do vodního toku. Tento náhlý vzrůst průtoků může na malých vodních tocích s malými průměrnými průtoky způsobit odplavení bentosu na dně a splaveniny ze stoky (píscíté částice) mohou odtrhnout biofilm z povrchu kamenů.

1.1.6 Opatření pro snížení negativních dopadů na životní prostředí

Opatření pro snížení negativních dopadů znečištění z dešťů na ŽP je možno několika způsoby.

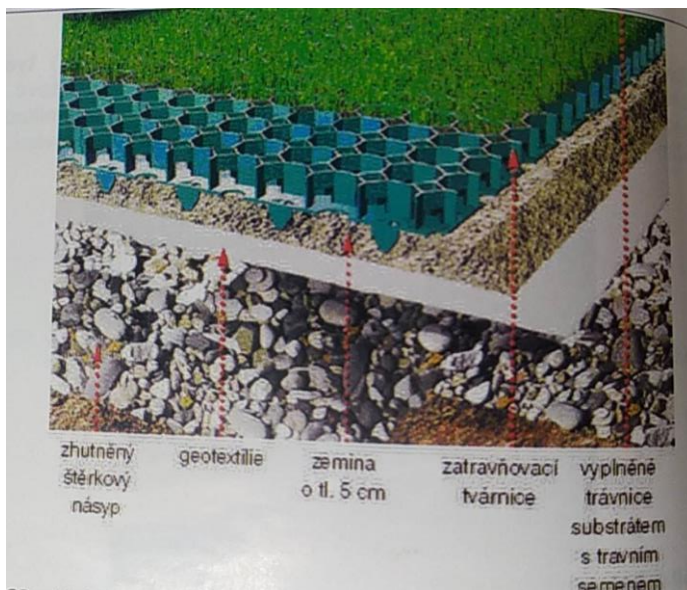
Jedním z nich jsou prvky modro-zelené infrastruktury, tyto zajišťují vsakování co největšího objemu srážek v krajině a v urbanizovaném území, k tomu nám slouží dostatek zelených ploch založených na propustných zeminách, jímací objekty na střechách budov, zelené střechy, zatravnovací tvárnice, či voštinové bloky.

Dalším způsobem je zřízení dešťových nádrží přímo na stokové síti, kde bude docházet k akumulaci vod během velkých deštných průtoků a regulaci maximálního možného odtoku buď velikostí profilu odtokového potrubí, či nějakým stavidlovým regulátorem podobně jako u přelivné hrany odlehčovací komory.

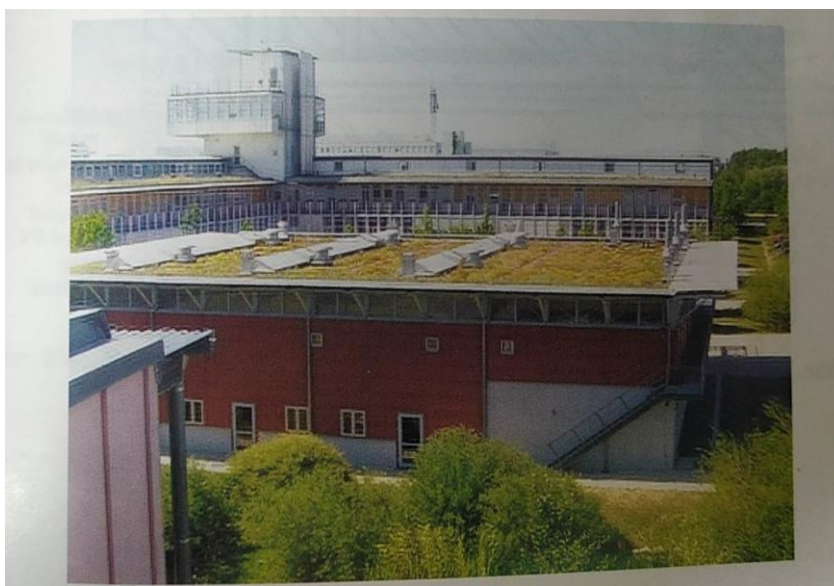
Třetí možností je předčištění dešťových vod, buď česlemi na výusti do vodního toku, sedimentační nádrží za přelivem v odlehčovací komoře. Nebo zřízením zasakovacích či usazovacích šachet. Obě tyto šachty mají odtok výše než dno, kde mezi dnem a odtokem je zřízen kalový prostor pro usazování těžších látek např. bahna. Avšak usazovací šachta je umístěna na potrubí, kdežto zasakovací šachta je na skloněných umělých zpevněných plochách a její přítok je z povrchu, též je možno zkombinovat. Další způsob předčištění je odlučovač lehkých látek, používané tam, kde dochází ke kontaminaci ropnými látkami a minerálními oleji, tj. výrobní plochy, parkoviště, silnice. Pracují stejně jako usazovací šachty na principu různé hustoty dvou kapalin. Dělí se obvykle na kalový prostor pro usazení písku a bahna za přítokem, samotného odlučovače, kde dochází k oddělení lehčí

kapaliny od vody a sorpční část, kde se zachycují jemně dispergované částice lehkých kapalin na filtru.

Ještě je možnost předčistit dešťové průtoky za výstí do vodního toku vytvořením tzv. usazovacího rybníku. Za výust' umístíme mělkou nádrž s dnovým těsněním a zemním hrázovým přelivem, kde dojde k přepadu vody do vodního toku. Na dně rybníku se usazují přinesené látky primárně o středním průměru částic $d > 0,1$ mm.



Obrázek 12: Skladba zatravnovací tvárnice [10]

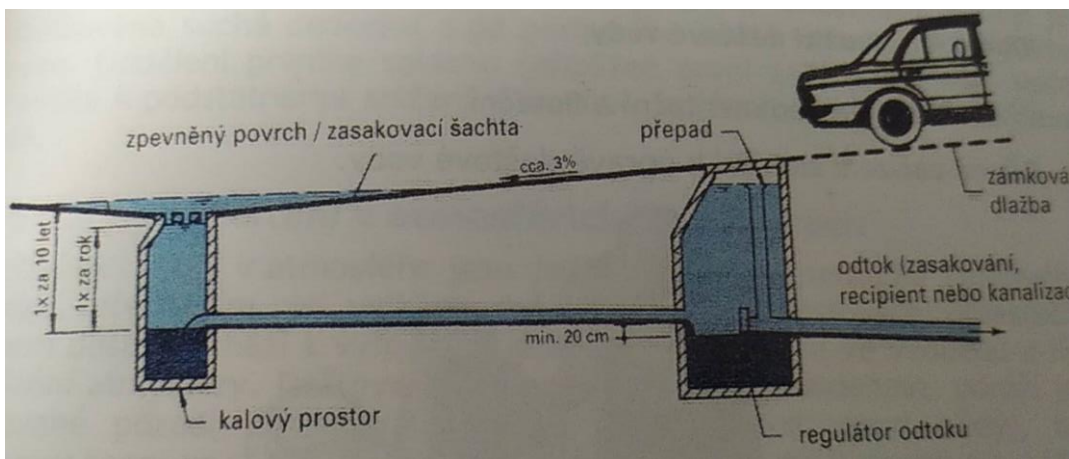


Obrázek 13: Zelená střecha [10]

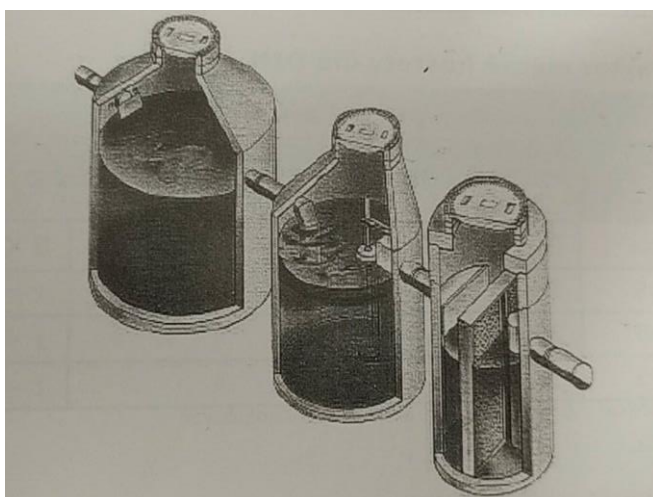


Obr. 17. Retenční nádrž na dešťovou vodu

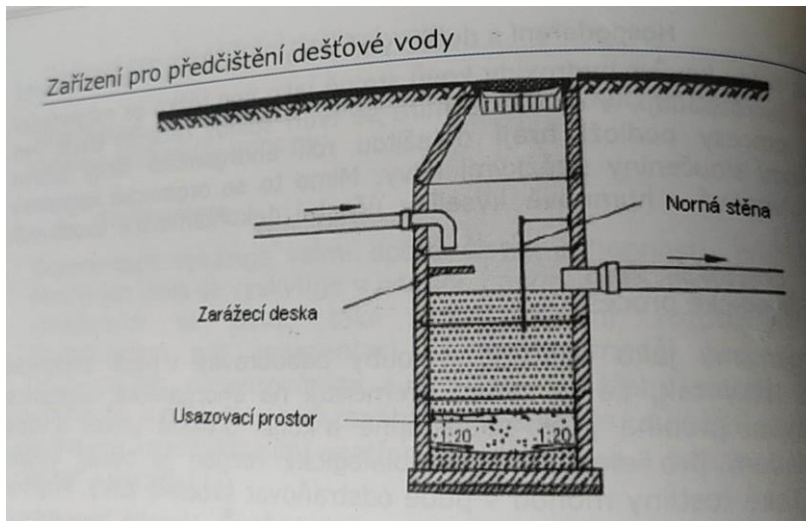
Obrázek 14: Retenční dešťová nádrž [10]



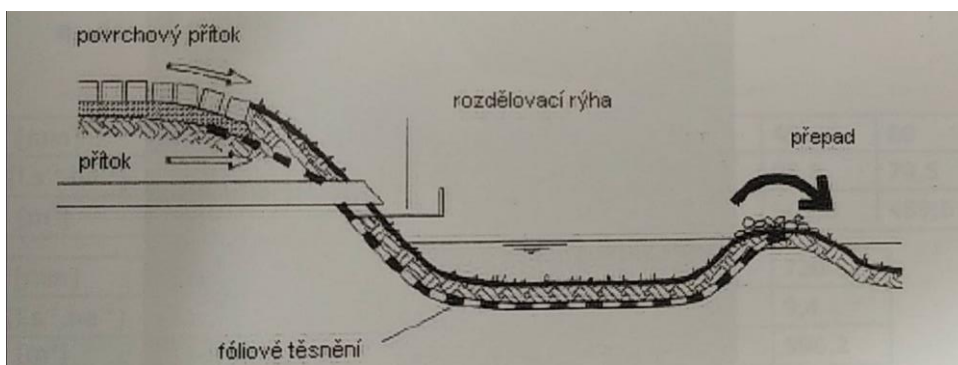
Obrázek 15: Zasakovací šachta [10]



Obrázek 16: Odlučovač lehkých látek [10]



Obrázek 17: Usazovací šachta [10]



Obrázek 18: Usazovací rybník [10]

1.2 Čistírna odpadních vod

1.2.1 Účel čistírny

Čistírna odpadních vod je komplexní objekt k vyčištění odpadních vod ze stok před vypuštěním do vodního toku. Jejím úkolem je vypustit na konci procesu vodu přírodě nezávadnou, netoxickou a bezpečnou. Proces čištění vod je v zjednodušeném hrubém obrysu podobný s procesem úpravy vod na vodu pitnou, pouze s rozdílnými požadavky na kvalitu výstupní vody a na jednotlivé ukazatele, kterými jsou například obsahy dusíkatých látek, obsah fosforu, obsahu kolonií mikroorganismů stanovených biologickou spotřebou kyslíku nebo sensorické ukazatele.

1.2.2 Podmínky zřízení ČOV

Předpokladem výstavby čistíren v jednotlivých obcích je samozřejmě přítomnost vybudované kanalizace s napojením na jednotlivé objekty a dostatečný hydraulický sklon na stokové síti. Bohužel ještě v dnešní době existují místa s absencí kanalizací a pouze zřízenými jímkami u domů s centrálním svozem septikovými vozy. Možností náhrady absence ČOV v obci je izolovaný proces domácích malých čistíren, která v posledních letech získávají na popularitě. Důležité je stanovení množství vody, které bude na čistírnu natékat a na které se následně navrhuje dimenze jednotlivých objektů. Stanovujeme tedy průměrný denní průtok, maximální denní průtok, maximální a minimální hodinový průtok. Přičemž musíme zahrnout jak samotnou spotřebu obyvatelstva, tak odpadní vody z průmyslu, zemědělství a vody balastní, v případě jednotných kanalizací i dešťové vody neoddělené na OK. Též je důležité počítat s průměrnou hodnotou počtu obyvatel napojených i v budoucnu, aby nedošlo k náhlé potřebě zvýšení kapacity ČOV těsně po výstavbě, například otevřením nového průmyslového areálu, nebo masivní bytovou výstavbou a tím zvýšením počtu EO.

1.2.3 Stručný princip čištění

Proces čištění se skládá z dvou až tří stupňů, kdy nejprve máme čištění mechanické přes soustavu česel, která mohou i nemusí být mechanicky stíraná. Za česlemi, které zachytávají největší viditelné nečistoty máme zařazen tzv. lapák písku, kde vodu zpomalujeme dlouhým tokem a gravitačně nám zde sedimentují menší, ale stále pozorovatelné částice. Vedle lapáku písku je ještě zařazen lapák tuků, nicméně čistírny nemají povolení s tuky nakládat. Dále následuje usazovací nádrž, kde dávkujeme

koagulační činidlo, a mikročástice se nám shlukují a usazují se na dně, zatímco voda odtéká vrchem na biologický stupeň aktivačních nádrží, kde je ode dna vháněn kyslík a dávkován flokulant, který pomůže vytvořit tzv. vločky, které se vháněním kyslíku drží na hladině, odkud jsou shrabovány. Za aktivací je poslední dosazovací nádrž, kde ještě dosedají poslední zbytky kalu na dno a voda odchází na recipient. S kalem je dále pracováno, část se vrací jako vratný kal zpět do procesu čištění, část je sušena a vyhnívána ve vyhnívacích nádržích. Třetím stupněm je terciální čištění, kde se za pomoci chemických látek vysráží a oddělí fosfor.

1.2.4 Dopad používání ČOV

Čistírna má jistě neoddiskutovatelný pozitivní přínos na životní prostředí, zmenšením zánosu znečištění do vodních toků, avšak její výstavba je podmíněna ekonomicky náročnou počáteční investicí a pro případ správné funkčnosti i vhodnými podmínkami jakožto dostatečným přítokem v závislosti na počtu EO, tak i dostatečným sklonem ve stokové síti.

1.3 Oddílná dešťová kanalizace

1.3.1 Co je oddílná kanalizace

Jak již název napovídá máme v ODK vedeny pouze dešťové vody odteklé z ulic do uličních vpustí, a tyto putují přímo na recipient, tudíž není nutno na ODK zřizovat odlehčovací komory. Tím, že musejí bezpečně převést průtoky i během extrémních deštných událostí, jsou dimenzovány na mnohem větší průtočné plochy nežli kanalizace splaškové. Nicméně ani v případě existence oddělené kanalizace se nesnažíme svést do ní veškeré deště, ale pouze ty, které se nám nepodaří zadržet na zelených plochách, potažmo v retenčních objektech.

1.3.2 Specifika ODK

Vzhledem k charakteru protékaného média nejsou zde takové požadavky na mechanicko-chemickou odolnost materiálu a též i na těsnost uzávěrů revizních šachet pro omezení pachů, jako u splaškové kanalizace. Nehrozí zde zanesení nečistot z odpadních vod do vodního toku, nicméně je zde obsaženo znečištění popsané v kapitole *1.1.5 Dopady OK na životní prostředí*. Jelikož je kanalizace určena pouze k převodu dešťových průtoků, není tedy využívána během celého roku, ale pouze při deštných událostech a po zbytek doby zůstává bez průtoků. Tím, že deštné události nejsou konstantní, respektive pokaždé o stejné době trvání, intenzitě a rozložení hodnoty během doby trvání, tak není ani přinášeno znečištění do dešťové kanalizace pokaždé stejné a s tím je nutno počítat, pokud chceme navrhnout nějaký druh předčištění před výustí do recipientu.

2 Praktická část

Zatímco v teoretické části jsem se zaměřil na seznámit se s obecnými informacemi ohledně stokové sítě v praktické části se již zaměřuji na analýzu konkrétní sítě v daném místě a jejím posouzení.

2.1 Charakteristika území

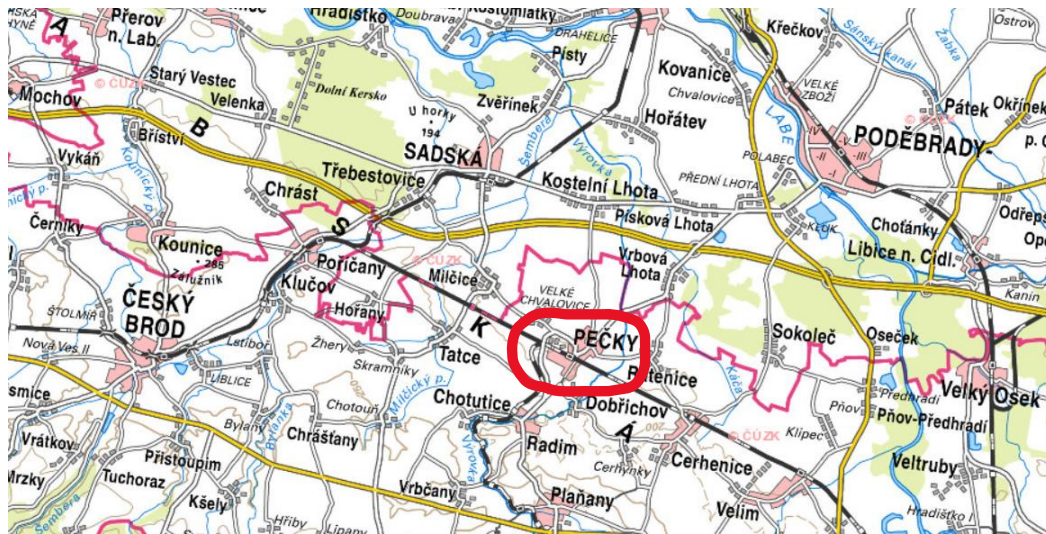
V následujících kapitolách vám popíšu specifikace stokového systému města Pečky, vazby mezi stokovou sítí a recipientem a popis mnou zkoumaných funkčních objektů

2.1.1 Město Pečky

Město Pečky se nachází ve východní části Středočeského kraje přibližně 40 kilometrů od Prahy, ze které se do nich lze dostat automobilem po D11 a sjet z ní na sjezdu číslo 35, potažmo vlakem ve směru na Kolín, v jehož správním okrese se nachází. Město Pečky leží v katastrálním území Pečky 718823. Oblast Peček a okolí je součástí Polabské nížiny, a tudíž zde převládá rovinný terén, s hustým zemědělským využitím v podobě polí a téměř žádným zalesněním.

Jedná se o menší obec s počtem obyvatel do 5 tisíc. Zástavba je z velké části tvořena rodinnými domy se sedlovou střechou, ale i řadovými domy či nižšími bytovými panelovými domy v severovýchodní části obce. A rozloha obce přesahuje 10 km². Výšková poloha se pohybuje okolo 200 m.n.m.

Geologicky se území Peček rozkládá nad rozmanitým podložím, které nejvíce zastupují křídové vápnité jílovce a slínovce, posléze čtvrtohorní fluviální hlinité písky a písčité štěrky a v neposlední řadě též čtvrtohorní svahové hlinité sedimenty, místy s úlomky hornin. Z hlediska půd se zde vyskytují hnědé půdy na píscích a štěrcích – kambické arenosole, černozemě a nivní půdy – eutrické fluvisole.



Obrázek 19: Umístění obce Pečky v širším kontextu [11] (zvýrazněno červenou barvou)



Obrázek 20: Výřez ortofoto mapy obce Pečky a blízkého okolí [11]

2.1.2 ČOV Pečky

Čistírna odpadních vod se nachází v areálu společně se sběrným dvorem v ul. Tř. Jana Švermy 1139. Momentálně zde dochází k realizaci intenzifikace, přičemž poslední intenzifikace a rekonstrukce zde probíhala na přelomu let 2008 a 2009 a to na 7000 EO. Maximální denní přítok je $Q_{24, \max} = 923,8 \text{ m}^3/\text{den}$ a maximální hodinový přítok je stanoven na $Q_{h, \max} = 70,9 \text{ m}^3/\text{hod}$.

Znečištění zde bylo stanoveno na:

$BSK_5 = 420,0 \text{ kg/d} = 400 \text{ mg/l}$

$CHSK = 770,0 \text{ kg/d} = 733 \text{ mg/l}$

$NL = 385,0 \text{ kg/d} = 367 \text{ mg/l}$

$N_c = 70,0 \text{ kg/d} = 67 \text{ mg/l}$

$P_c = 17,5 \text{ kg/d} = 17 \text{ mg/l}$

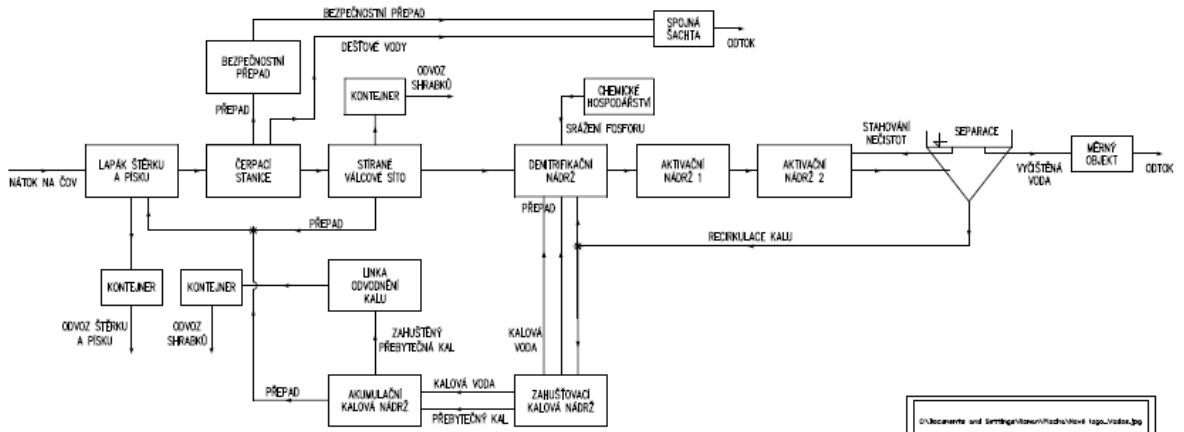
a výstupní kvalita vody má být:

	průměrná	maximální
$BSK_5 = 25 \text{ mg/l}$		45 mg/l
$CHSK = 110 \text{ mg/l}$		150 mg/l
$NL = 30 \text{ mg/l}$		50 mg/l
$N-NH_4 = 15 \text{ mg/l}$		25 mg/l

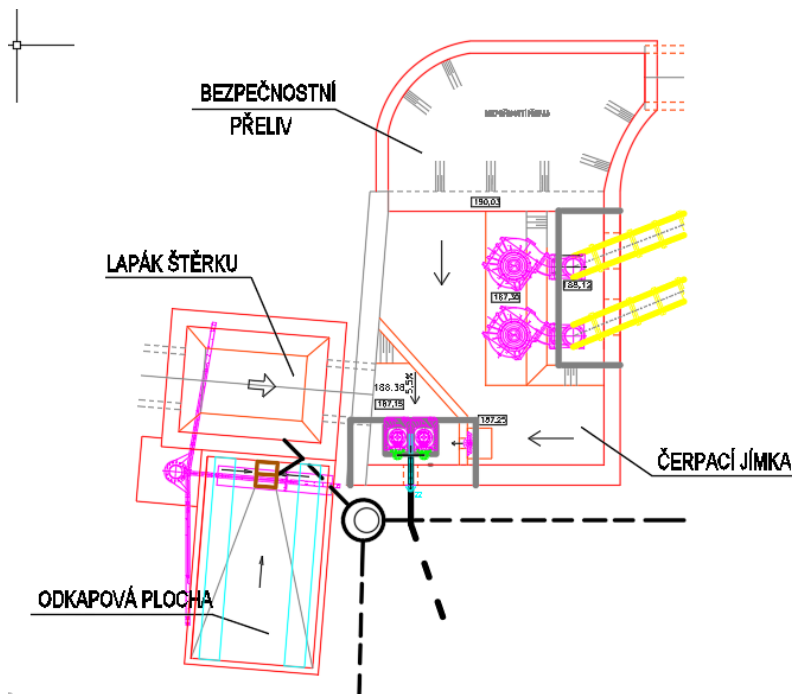
2.1.2.1 Princip čištění v ČOV Pečky

Je zde trojstupňové čištění. Objekt čistírny obsahuje dílčí objekty nádrže akumulace kalů a zahuštění kalů, denitrifikační nádrž, dvou aktivačních nádrží, objekt separace kalu. Na přítoku za česlemi s jeřábovým sběrákem je umístěn lapák štěrků a písku, za kterým je čerpací stanice s odlehčením a s dvěma soustavami ponorných čerpadel po dvou kusech. Jedny menší čerpadla čerpají na čistírnu, další dvě větší čerpadla čerpají přebytečnou vodu při vysokých stavech vod během deštných událostí na odtok do recipientu, proto tento prostor lze nazývat odlehčovací komorou. Pro případ, kdyby čerpadla nestíhala je zde ještě umístěn bezpečnostní přepad, který následně odtéká též do recipientu, aby nedošlo k zatopení, odkud voda též odtéká na spojnou šachtu a na recipient. Oddělení běžných průtoků od nadbytečných v čerpací stanici zajišťuje betonový práh. Za čerpáním je umístěno stírací válcové síto s přepadem, který se vrací zpět na lapák. Voda pokračuje dále na denitrifikační nádrž, kde je rovnou zařazeno chemické hospodářství pro srážení fosforu. Následně jsou zařazeny dvě aktivační nádrže, kde dochází k provzdušnění. V následující separaci dochází k poklesu těžších kalů ke dnu a jejich odtah na kalové

hospodářství, kde jsou kaly zahušťovány, odvodňovány a sbírány, nebo vráceny zpět do procesu čištění. Nečistoty shrabované na separaci z hladiny se vracejí do aktivací a z hladiny též odchází čistá voda na měrný objekt před recipientem.



Obrázek 21: Navržené technologické schéma ČOV Pečky [12]



Obrázek 22: Půdorys čerpací jímky ČOV Pečky [12]

2.1.3 Popis stokové sítě

Do povodí ČOV kromě stokového systému města Pečky spadá ještě stoka v Dobřichově, Ratenicích a Velkých Chvalovicích. Stoková síť je rozvětvená a vesměs kopíruje vedení pozemních komunikací. Jedná o kruhová plastová potrubí pro odpadní vody, potažmo betonové vejčité profily pro vedení vod dešťových. Celá síť je vedena ve velmi mírném sklonu a přívod z okolních napojených vsí musí být tlakově čerpán

2.1.4 Popis odlehčovacích komor

Odlehčovací komory na území města Pečky se nacházejí tři, v ulici Tahiti, v ulici Jana Švermy na křížení s ulicí V Horkách v blízkosti garážových stání a v samotném areálu ČOV na přítoku u čerpadel.

Komora na třídě Jana Švermy je zařazena těsně před nátokem na ČOV a její odtok do recipientu probíhá následně oblastí garáží v přímém směru. Její tvar je netypizovaný. Je plně betonová a dochází zde k bočnímu přelivu odtoku na ČOV v otvoru o šířce přibližně 560 mm a výšce asi 750 mm do komory obdélníkového půdorysu, přítok probíhá betonovou vejčitou stokou 800/1500 a přeliv pro dešťové vody na recipient je přímý o oblém tvaru připomínajícím až Jamborův práh. Je zde ještě vedlejší přítok o světlosti DN 200 mm ve stěně stoky.

Dno stoky a komory je pokryto sedimentem, vstup do komory je dvojitý, buď po stupadlech ve špatném technickém stavu poklopem nad komorou, nebo poklopem nad stokou, nicméně bez stupadel. Přeliv je volný.

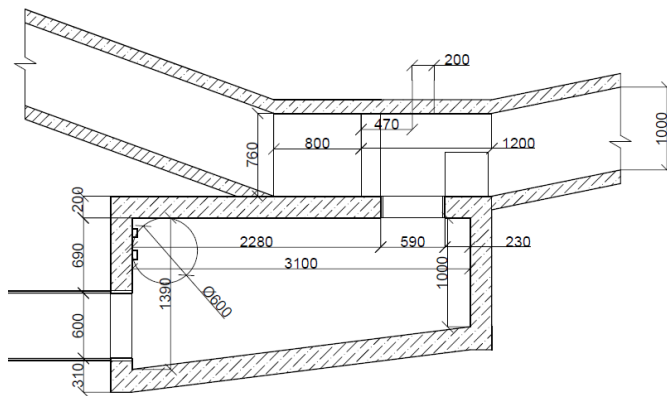
Odlehčovací komora v ul. Tahiti je čtyřúhelníkového půdorysu a průtok vod prochází žlabem jako v běžné kanalizační šachtě. Zde tedy odtok na ČOV je na konci žlabu a je opatřen stavidlovým uzávěrem ovládaným pákovým mechanismem. Na vyvýšené ploše nad žlabem, která je provedena ve sklonu, je poté umístěn boční odtok na recipient monitorovaný průtokoměrem.

Odlehčení v samotném objektu ČOV jsem již představil v kap. 2.1.2.1 *Postup čištění v ČOV Pečky* a zde o obdélníkovou přelivnou hranu do oblouku na nátok na čerpadla, kdy při přelítí hrany se voda akumuluje ve specificky tvarované nádrži, odkud je čerpána dvojicí velkých čerpadel a v případě zaplnění nádrže při povodních stavech je zde

k dispozici bezpečnostní přeliv. Jejich spínací hloubka je 1,15 metru a vypínací při 0,65 metrech.

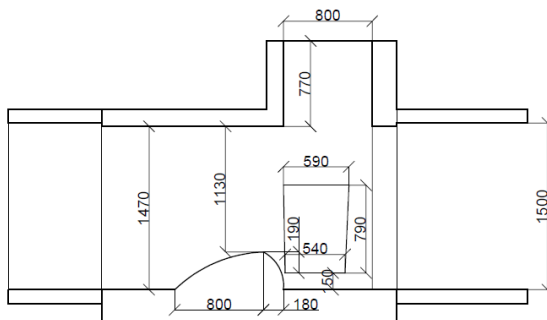
OK Garáže

Půdorys

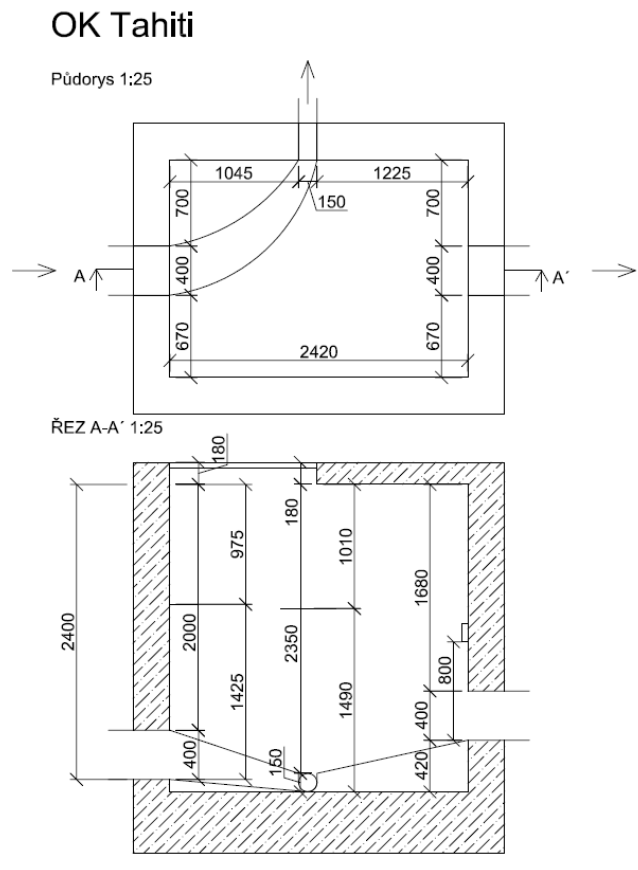


Obrázek 23: Půdorys OK u garáží

Řez



Obrázek 24: Řez OK u garáží



Obrázek 25: Půdorys a řez OK Tahiti



Obrázek 26: OK Tahiti – fotografie odlehčení [14]



Obrázek 27: OK Tahiti – fotografie regulace odtoku [14]



Obrázek 28: OK garáže – fotografie přelivu [14]



Obrázek 29: OK garáže – fotografie odtoku na ČOV [14]

2.1.5 Popis recipientů

Vodním tokem procházejícím městem Pečky jsou Výrovka neboli Vavřínecký potok a Mlýnský náhon, který se z Výrovky odděluje v obci Chotutice pod jezem na 16,4 ř.km a zase se do ní vlévá přibližně 700 metrů za městem Pečky, jejichž intravilánem protéká, kdežto Výrovka teče mimo město. Na Českém hydrometeorologickém ústavu lze nalézt informace o profilu v Plaňanech, jež jsou od Peček vzdálené přibližně 8 kilometrů. Z dostupných dat lze vyčíst, že sucho na toku je vyhlášeno při vodním stavu pod 35 centimetrů a stupeň povodňové bdělosti naopak při dosažení 150 centimetrů hloubky. V aktuálním období (04/2023) se vodní stav pohybuje okolo 60 centimetrů a průtocích od 1,1 do 3,2 m³/s. respektive 48–53 cm při průtocích 0,56 až 0,91 m³/s v období 05/2023.

N-leté průtoky jsou stanoveny na:

N (roky)	1	2	5	10	20	50	100
Q _N (m ³ /s)	7,00	12,00	21,20	30,20	41,80	58,90	75,00

Tab.1 N-leté průtoky na toku Výrovka, profil Plaňany [13]

2.2 Metodika posuzování

2.2.1 Popis výchozího výpočetního modelu

Pro tuto práci vycházím z dat výpočetního modelu ve freeware SWMM (Storm water management model) od amerického úřadu EPA (Agentura pro ochranu životního prostředí). Kalibrovaný výpočetní model stokové sítě města Pečky mi byl poskytnut panem

Ing. Lukášem Novákem PhD. z katedry Zdravotního a ekologického inženýrství Fakulty Stavební ČVUT v Praze. Matematický model obsahuje všechny prvky stokové sítě, tzn. vedle samotného potrubí i všechna čerpadla, odlehčovací komory, přelivy. K modelu byly k dispozici i dešťové řady, z nichž jsem pro výsledná data použil dlouhou reálnou desetiletou řadu Kutná hora 1995–2004. Tyto výpočty v SWMM jsem provedl vždy po dvou letech (př. od 1/1/1995 do 31/12/1996), a to ve dvouminutovém kroku během dešťů a v suchých obdobích bez srážek v kroku desetiminutovém. Dvouletý výpočet jsem zvolil čistě z kapacitních důvodů následného zpracování v programu MS Excel Z výpočtu jsem si vytáhl tabelární výstup průtoků na jednotlivých výústích a tyto výstupy jsem očistil o nulové hodnoty – bezdeštné události.

2.2.2 Posuzování hydrobiologického stresu dle ČSN 75 6262 –

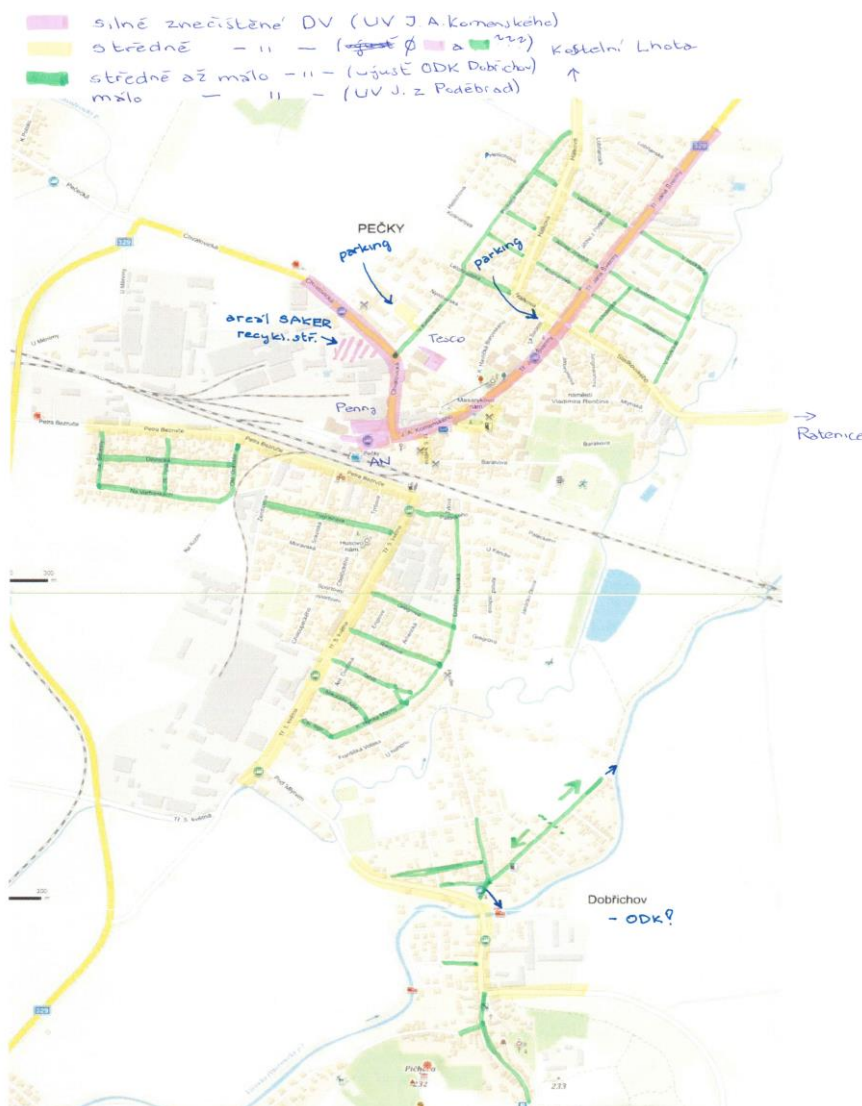
Odlehčovací komory

Pro výpočet hydrobiologického stresu určíme jednoleté průtoky na přelivech, respektive na odtocích z odlehčovacích komor, kdy v rámci 10leté řady průtoků si určíme desátý nejvyšší průtok na přelivných hranách na odlehčení. Tyto průtoky následně porovnáme s jednoletým průtokem ve vodním toku, dle hodnoty z měrného profilu Plaňany, do kterého se zaústějí. Následný součet průtoků z vyústění a v toku je pak dle aktuální normy přípustný 1,1 až 1,5násobek jednoletého průtoku ve vodním toku. Meze se řídí dle variability koryta VT, typem dna, či potenciálem znovuosídlení mikrobiologickou faunou po narušení dešťovým průtokem. V MS excel jsem maximální hodnoty provedl přes funkci MAX(oblast výběru) a vzal nejvyšší hodnotu z prvních dvou přepadových událostí. Dvou, jelikož záznam jsem prováděl pro dvouleté období. Přepadové události jsou odděleny alespoň hodinovým rozdílem mezi ukončením jedné a začátkem druhé.

2.2.3 Metodika určení znečištění dešťových vod

Oblast Peček a Dobřichovic lze rozdělit na čtyři podkategorie z hlediska intenzity znečištění dešťových vod smyvem z povrchu.

1. Silně znečištěné (ul. J. Komenského, J. Švermy, Chvalovická)
2. Středně znečištěné (ul. Hálkova, Sladkovského, P. Bezruče, 5. května, Průběžná)
3. Středně až málo
4. Málo znečištěné



Obrázek 30: Pečky: Schéma zařídění komunikací

Toto rozdělení je provedeno na základě hustoty zástavby a dopravy a následně tyto oblasti ještě rozdělují podle typu ploch na asfaltové komunikace, zeleň, parkovací místa a

chodníky. Tyto plochy odečtené od celkové plochy povodí udají plochy soukromých pozemků a střech. Tyto plochy postupně stanovím tak jak spadají pod jednotlivé výusti (OK Tahiti, OK garáže, OK ČOV).

Rozdělení průměrného znečištění dle čtyř kategorií je pak stanoveno na:

0,174 mg/l pro 1. kategorii

0,135 mg/l pro 2. kategorii

0,097 mg/l pro 3. kategorii

a 0,058 mg/l pro 4. kategorii

Z průběhu průtoků v reálném čase ve dvouminutových krocích provedu celkovou bilanci, celkové množství vody vyteklé z odlehčení do recipientu. Objem dostanu jako celkovou sumu násobku průtoku v m^3/s a délky časového kroku záznamu v sekundách. 2 minuty = 120 sekund. Např. při průtoku v čase 00:02:00 o hodnotě $0.01 m^3/s$ bude proteklé množství $1.2 m^3$. V násobku s koncentrací znečištění pro různé povrchy v mg/l dostanu hodnotu v gramech, a poté tuto hodnotu podělím plochou toho kterého povrchu a dostanu znečištění v g/m^2 a provedu zprůměrování k celkové ploše a převedu na kg/ha.

2.2.4 Metodika určení rozpuštěných látek

Pro určení rozpuštěné látky jsem si vybral koncentraci fosforečnanů a z bilancí proteklých objemů stanovím celkové hmotnostní množství vnesených fosforečnanů do recipientu v průběhu 10 let.

Pro jednotlivé stoky bylo určeno:

0,22 mg/l pro dešťovou kanalizaci

0,58 mg/l pro odtok ČOV po dobu 335 dní

a 3,69 mg/l 10x v roce po dobu 3 dní při odpouštění kalové vody ze sušení kalu

a 6,57 mg/l fosforečnanů v odpadních vodách. Stanovím to z celkového proteklého množství vody ve stokové síti, respektive z celkové bilance vod zaústěných do VT. Bilanci provádím pro jednotlivá odlehčení z reálné desetileté řady průtoků, kdy znám celkový průtok vod zapsaný v časových krocích a bezdeštný průtok na hodnotě 7 l/s. Pro OK Tahiti a Garáže si zjistím přinesené množství fosforečnanů v odpadní vodě a v dešti

znásobením jednotlivých průtoků s danou koncentrací, pro ČOV ještě znásobím s hodnotou 0,58, respektive v náhodných deseti obdobích tři dnů hodnotou 3,69 mg/l a dostanu hodnotu g/s. Tyto dvě hodnoty sečtu a vydělím zpět celkovým průtokem abych dostal průměrnou koncentraci fosforečnanů v daném čase. Funkcí průměr pak získám celkovou průměrnou koncentraci ve dvouletém období a tuto následně pro jednotlivá období vynásobím celkovými objemy odtokové vody, a tím dostanu celkové váhové množství za dva roky, respektive za deset let průtoků do recipientu. Celkové objemy vody jsou stejné jako pro znečištění smyvem.

2.3 Interpretace výsledků a dat

V této kapitole vás seznámím s výsledky výpočtů matematického modelu, jejich posouzením dle toho, jak bylo uvedeno v metodice a provedu závěrečné shrnutí výstupu z praktické části. Tuto kapitolu dělím stejně jako předchozí kapitolu 2.2, jelikož je tato část odpovědí na předtím uvedené postupy práce s daty. Data, jak bylo uvedeno, byla upravena v MS Excel

2.3.1 Posouzení hydrobiologického stresu

Posouzení hydrobiologického stresu představím a zhodnotím po jednotlivých výustích. Z každého dvouletého období jsem vybral dvě nejvyšší hodnoty v rámci dvou přepadových událostí a z celkových deseti pak volím nejnižší hodnotu, která statisticky tvoří Q_1 tzv. jednoletý průtok neboli průtok, který je průměrně překročen alespoň jednou za rok. Poté jej porovnáím s Q_1 ve vodním toku tak, jak udává měrný profil v Plaňanech. Další přepadová událost nastává, pokud mezi jednotlivými záznamy průtoků je rozdíl hodina a více. Pro odtok z ČOV do recipientu jsem přičetl k hodnotě na odlehčení ještě vcelku konstantní čerpání o hodnotě $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ během dešťů.

OK Tahiti

Období	$Q_{\max,1} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_{\max,2} \text{ (m}^3/\text{s)}$
1995–1996	0,17	0,14
1997–1998	0,13	0,1
1999–2000	0,15	0,08
2001–2002	0,3	0,11
2003–2004	0,07	0,07
Q1	0,07	

Tab.2 Maximální odtoky z OK Tahiti

1. OK Garáže

Období	Q _{max,1} (m ³ /s)	Q _{max,2} (m ³ /s)
1995–1996	0,97	0,94
1997–1998	0,86	0,78
1999–2000	0,95	0,48
2001–2002	0,99	0,83
2003–2004	0,66	0,66
Q₁	0,48	

Tab.3 Maximální odtoky z OK Garáže

Pro OK ČOV přičítám k výtoku z výusti též pravidelné čerpání při deštných průtocích na hodnotě 0,01 m³/s.

2. OK ČOV

Období	Q _{max,1} (m ³ /s)	Q _{max,2} (m ³ /s)
1995–1996	0,61	0,61
1997–1998	0,61	0,61
1999–2000	0,61	0,60
2001–2002	0,61	0,61
2003–2004	0,61	0,61
Q₁	0,6	

Tab.4 Maximální odtoky z OK ČOV

Z tabulky průtoků v profilu Plaňany vyčteme, že jednoletý průtok na Výrovce je stanoven na $Q_1 = 7,0 \text{ m}^3/\text{s}$, tudíž limitní hodnota nařazeného průtoky $Q_{\text{max}} = Q_{1, \text{odlehčení}} + Q_{1, \text{tok}} = 1,1 Q_{1, \text{tok}} = 7,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Z čehož plyne, že na každé z výustí do VT může být jednoletý průtok maximálně $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, respektive 700 l/s.

Komora v Tahiti vyhovuje bezchybně, komora v garážích sice vyhovuje, nicméně je to velmi hraniční a nabízela by se otázka zvýšení přelivné hrany, potažmo zřízení malého usazovacího rybníka na výusti do vodního toku, nebo drobné usazovací šachty/dešťové nádrže na odlehčovacím rameni. Na odlehčení ČOV jsou maximální průtoky v průběhu let velmi konstantní a z hlediska hydrobiologického stresu vyhovující, ač se již blíží k hraniční hodnotě $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, na což by měla vliv buď vyšší intenzita dešťů, nebo výrazně zvýšený počet EO napojených na kanalizační síť.

2.3.2 Posouzení znečištění dešťových vod

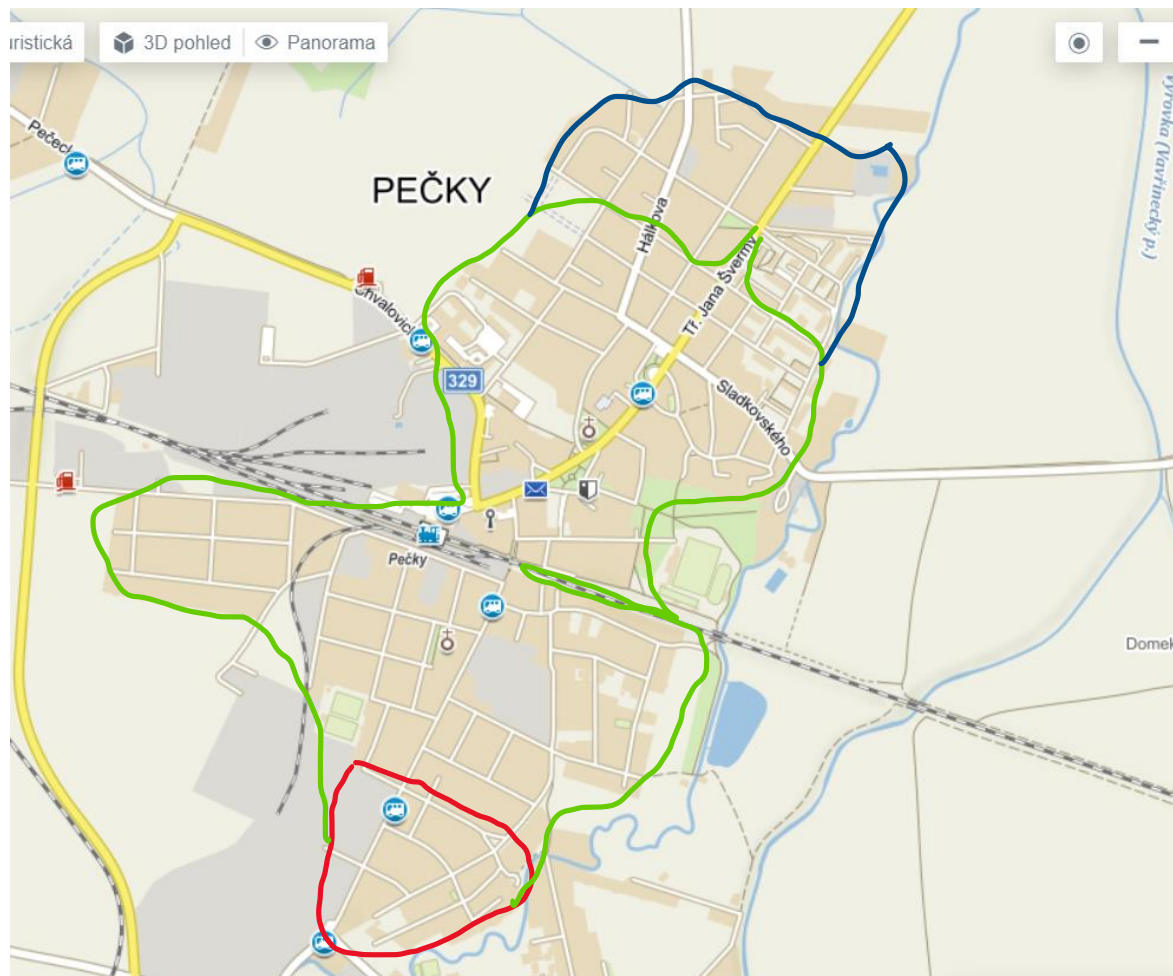
Nejdříve zde představuji souhrnnou tabulku vypočítaných celkových bilancí objemů vody vyteklých na jednotlivých výustích. Pro čerpání na ČOV docházelo k velmi pravidelnému čerpání o konstantním $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ a hodnotu jsem získal tedy podle počtu čerpání, kde každé trvalo 2 minuty.

	(v tis. m^3)	Výustě			
		Tahiti	Garáže	ČOV OK	ČOV čerpání
Období	1995-1996	2.003	31.561	78.784	405.052
	1997-1998	1.078	26.830	69.520	403.037
	1999-2000	0.596	19.454	54.922	402.088
	2001-2002	1.610	26.515	68.867	405.252
	2003-2004	0.786	18.161	54.295	401.916
	Celkem	6.073	122.521	326.388	2017.345

Tab.5 Celkové objemy vody vyteklé do recipientu

Logicky je zde stupňování objemu tím, jak jdeme níže po síti. Rozdělení povrchů spadajících pod jednotlivá odlehčení máme takto:

Pro OK Tahiti se jedná o ulice Tahiti, Čsl. Legií, Mikoláše Alše, Antonína Dvořáka, Fr. Voláka, U Náhonu a půlku ulic K. H. Máchy a Tř. 5.května. Pro Garáže jsou téměř všechny ulice, kromě ul. Hellichova, Boženy Němcové, Lobňanská, části ulic Jiřího z Poděbrad, Prokopa Holého, Hálkova, Tř. Jana Švermy, V Horkách, Svobody.



Obrázek 31: Pečky: Náčrt povodí jednotlivých OK [16] (červená OK Tahiti, zelená OK Garáže, modrá ČOV)

Plochy povodí OK Tahiti

Součet ploch (m ²)	Chodník	Zeleň	Parking	Vozovka	Suma
Silně	0	0	0	0	0
Středně	2154	1077	1436	2154	6821
Středně málo	2643	1762	0	3524	7929
Málo	2844	2844	0	2844	8532
Suma	7641	5683	1436	8522	

Tab.6 Povrchy a plochy povodí OK Tahiti

Plochy povodí OK Garáže

Součet ploch (m ²)	Chodník	Zeleň	Parking	Vozovka	Suma
Silně	6484	8230	5064	8882	28660
Středně	7199	8585	3492	19632	38908
Středně málo	18721	19524	8452	22144	68841
Málo	18358	24386	12056	30414	85214
Suma	50762	60725	29064	81072	

Tab.7 Povrchy a plochy povodí OK Garáže

Plochy povodí ČOV

Součet ploch (m ²)	Chodník	Zeleň	Parking	Vozovka	Suma
Silně	7728	9163	6930	10437	34258
Středně	7365	9415	3492	20794	41066
Středně málo	22349	24966	12080	25772	85167
Málo	19737	28523	17572	37309	103141
Suma	57179	72067	40074	94312	

Tab.8 Povrchy a plochy povodí ČOV Pečky

Nyní z daných ploch a jím příslušným koncentracím znečištění uvedených v metodice vypočítám průměrné znečištění na jednotlivá povodí v mg/l/ha.

OK Tahiti	Velikost zatížení	Plocha (m ²)	Koncentrace znečištění (mg/l)	Plošné zatížení (mg/l/m ²)
	Silně	0	0,174	0
	Středně	6821	0,135	1,979*10 ⁻⁵
	Středně málo	7929	0,097	1,223*10 ⁻⁵
	Málo	8532	0,058	6,798*10 ⁻⁶
	Celkem/průměr	23282	0,0938	4,031*10 ⁻⁶

Tab.9 Plošné zatížení smyvu z povrchu povodí OK Tahiti

OK Garáže	Velikost zatížení	Plocha (m ²)	Koncentrace znečištění (mg/l)	Plošné zatížení (mg/l/m ²)
	Silně	28660	0,174	6,071*10 ⁻⁶
	Středně	38908	0,135	3,470*10 ⁻⁶
	Středně málo	68841	0,097	1,409*10 ⁻⁶
	Málo	85214	0,058	6,806*10 ⁻⁷
	Celkem/průměr	221623	0,0986	4,449*10 ⁻⁷

Tab.10 Plošné zatížení smyvu z povrchu povodí OK Garáže

ČOV	Velikost zatížení	Plocha (m ²)	Koncentrace znečištění (mg/l)	Plošné zatížení (mg/l/m ²)
	Silně	34258	0,174	5,079*10 ⁻⁶
	Středně	41066	0,135	3,287*10 ⁻⁶
	Středně málo	85167	0,097	1,139*10 ⁻⁶
	Málo	103141	0,058	5,623*10 ⁻⁷
	Celkem/průměr	263632	0,1257	4,768*10 ⁻⁷

Tab.11 Plošné zatížení smyvu z povrchu povodí ČOV

Postupně zvětšující se průměrnou koncentraci znečištění z ploch má za následek postupný příbytek silně zatížených povrchů, naopak se zvětšující se plochou povodí se logicky snižuje hodnota plošného zatížení. Celkové zatížení pro jednotlivé výusti získáme vynásobením se zjištěními celkovými proteklými objemy vody.

Povodí	Plošné zatížení (mg/l/m ²)	Celkový objem vody (m ³)	Celkové zatížení za 10 let (g/m ²)	Celkové zatížení za 10 let (kg/ha)	Celkové nános znečištění za 10 let (kg)
OK Tahiti	4,031*10 ⁻⁶	6 073	0,0245	0,245	0,5704
OK Garáže	4,449*10 ⁻⁷	122 521	0,0545	0,545	12,0784
ČOV	4,768*10 ⁻⁷	2 343 733	1,117	11,170	294,477

Tab.12 Celkové znečištění smyvem z ploch v letech 1995-2004

Z tabulky nám vyplývá, že celkově za pozorované období by bylo smyvem z ploch přineseno 307,126 kg polutantů, tudíž průměrně 30,7 kilogramů ročně, do recipientu. K zamezení zanášení vodního toku látkami smytými z ploch bych navrhoval zařazení zasakovacích šachet na stoku z větších ploch, či usazovacích šachet na potrubí jednotné kanalizace, primárně před nátokem na ČOV, potažmo mezi odlehčení ČOV a vodní tok.

2.3.3 Posouzení znečištění rozpuštěnými látkami

V této závěrečné kapitole představím v jednotlivých tabulkách celková zatížení rozpuštěnými fosforečnany za celkové pozorované desetileté období 1995-2004.

OK Tahiti

Období	Průměrné zatížení (mg/l)	Celkový objem vody (m ³)	Celkové množství fosforečnanů (g)	Celkové množství fosforečnanů (kg)
1995-1996	2.653	2 003	5 314	5.314
1997-1998	3.079	1 078	3 319.16	3.319
1999-2000	3.026	596	1 803.49	1.803
2001-2002	2.582	1 610	4 157.02	4.157
2003-2004	2.809	786	2 207.87	2.208
Celkem	(-)	6 073	16 801.54	16.801

Tab.13 Zatížení fosforečnany na OK Tahiti

OK Garáže

Období	Průměrné zatížení (mg/l)	Celkový objem vody (m ³)	Celkové množství fosforečnanů (g)	Celkové množství fosforečnanů (kg)
1995-1996	2.302	31 561	72 653.42	72.653
1997-1998	2.265	26 830	60 769.95	60.770

1999- 2000	2.340	19 454	45 522.36	45.522
2001- 2002	2.313	26 515	61 329.19	61.329
2003- 2004	2.390	18 161	43 404.79	43.405
Celkem	(-)	122 521	283 679.71	283.680

Tab.14 Zatížení fosforečnanů na OK Garáže

ČOV

Období	Průměrné zatížení (mg/l)	Celkový objem vody (m ³)	Celkové množství fosforečnanů (g)	Celkové množství fosforečnanů (kg)
1995- 1996	1.432	483 836	692 853.15	
1997- 1998	1.272	472 557	601 092.50	
1999- 2000	1.436	457 010	656 266.36	
2001- 2002	1.444	474 119	684 627.84	
2003- 2004	1.459	456 211	665 611.85	
Celkem	(-)	2 343 733	3 300 451.7	3 300.45

Tab.15 Zatížení fosforečnanů na ČOV

Výust'	Celkové fosforečnany 1995-2004 (kg/10 let)
OK Tahiti	16.801
OK Garáže	283.680
ČOV	3 300.45
Celkem	3 600.931

Tab.16 Zatížení fosforečnany – shrnutí

Z výpočtů tedy vyplývá, že celkový nános rozpuštěných fosforečnanů do vodního toku činí 3600.9 kilogramů za desetileté období, což činí v průměru vnos 360 kilogramů ročně, to je v průměru 11.42 mg/s. Pokud jde o snížení fosforečnanů mimo třetí stupeň čištění na ČOV, napadá mě pouze snížení koncentrace znečištění z odpadních vod v odlehčení na jednotných stokách. Toho dosáhneme lepším technickým návrhem odlehčovacích komor, kdy změním redicí poměr, nebo například zvýšením přelivné hrany, v návaznosti na další opatření na stokové síti (např. zařazením dešťové nádrže před ČOV), zvětšíme rozdíl mezi běžnými průtoky na ČOV a odlehčením na recipient.

Závěr

Předmětem této bakalářské práce bylo zjistit celkové objemy vod vypouštěné do recipientu ze stokové sítě, posouzení dopadu stokové sítě na životní prostředí, tedy primárně na místní vodní tok v místech zaústění a posoudit vliv odlehčovacích komor na recipient dle jednoho parametru dle normy ČSN 75 6262 Odlehčovací komory.

V teoretické části jsem shrnul problematiku odlehčovacích komor, jak jejich principu využití a konstrukčních návrhů různých typů, tak jejich zásadní dopad jak na životní prostředí s možnostmi zmírnění negativních vlivů, a též i dopady na vlastní čištění odpadních vod. Mimo jiné jsem i nastínil funkci objektu čistírny a problematiku samostatného stokování dešťových vod.

V praktické části nejprve seznamuji čtenáře s lokalitou města Pečky, specifikami dané lokality a její stokové sítě. Též líčím fungování odlehčování vod na místní jednotné kanalizaci a představuji technické parametry jednotlivých odlehčovacích komor i vlastní ČOV. Následně je zde výčet metodického postupu vlastních výpočtů nutných k požadovanému posouzení a popis poskytnutého matematického modelu, jehož data jsem využil. Tyto postupy se dělí na tři části podle zkoumaných charakteristik.

V závěrečné části práce již tabelárně shrnuji jednotlivá upravená data z vlastních výpočtů, respektive z vlastní úpravy dat z modelu. Každá část závěrečné kapitoly obsahuje na svém konci zhodnocení daného problému s možnou nabídkou řešení.

Nicméně pokud bych měl shrnout celkový stav stokové sítě v Pečkách, tak myslím, že jednotná kanalizace zde plní svůj účel, nicméně odlehčovací komory jako takové jeví známky opotřebení a bylo by vhodné podrobit je rekonstrukci, při níž by mělo dojít, zejména v OK Garáže ke zvýšení přelivné hrany a na výpustích do recipientu k opatřením na zadržení vody, aby byly sníženy jak celkové průtoky odteklé do vodního toku při deštných událostech, tak i vnesené polutanty ze smyvu z uličních povrchů, či znečištění rozpuštěnými látkami.

Seznam použité literatury a podkladů

[1] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2535-0.

[2] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Cloaca maxima* [online]. c2022 [citováno 28. 03. 2023]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Cloaca_maxima&oldid=21416471>

[3] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Coriolisovo číslo* [online]. c2021 [citováno 2. 04. 2023]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Coriolisovo_%C4%8D%C3%ADslo&oldid=19478842>

[4] FER&MAN TECHNOLOGY s.r.o. PŘÍLOHA Č. 1 - PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE. *Portál pro vhodné uveřejnění* [online]. Středočeský kraj, 2022, 08.03.2022 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.vhodne-uvrejeni.cz/index.php?m=xenorders&h=order&a=detaildocumentsandimages&rwr=intenzifikace-cov-pecky>

[5] *Město – Město Pečky. Pečky – Město Pečky* [online]. Copyright © 2000 [cit. 21.04.2023]. Dostupné z: <https://www.pecky.cz/cs/mesto-4/>

[6] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, *Geovědní mapa 1:25000*, Mapový list 13143, [online]. Dostupné z: <https://www.mapy.geology.cz/geocr25/#>

[7] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, *Půdní mapa 1:50000*, Číslo listu 13-14, [online]. Dostupné z: <https://www.mapy.geology.cz/pudy/#>

[8] KREJČÍ, Vladimír. *Odvodnění urbanizovaných území: koncepční přístup*. Brno: NOEL 2000, c2002. ISBN 80-86020-39-8

[9] *Plaňany. HPPS POV aktuální měření* [online]. Copyright © [cit. 21.04.2023]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hppsoldv/hpps_prfdyn.php?seq=307024

[10] HLAVÍNEK, Petr. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Editor Jiří KUBÍK. Brno: Ardec, c2007.

[11] *Geoprohlížeč. Document Moved* [online]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>

[12] IKKO HRADEC KRÁLOVÉ, *Snížení znečištění odpadních vod města Pečky v rozsahu prováděcí dokumentace*, Projektová dokumentace, Hradec Králové, 2008, Poskytnuté Ing. L. Novákem PhD.

[13] Povodí Labe – Stavby a průtoky 5.1. *Object moved permanently* [online]. Copyright © [cit. 08.05.2023]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/portal/sap/cz/PC/Mereni.aspx?id=157&oid=2>

[14] NOVÁK, Lukáš Ing. PhD., *Fotodokumentace odlehčovacích komor v Pečkách*. Praha: Fakulta stavební ČVUT, 11/2022.

[15] ČSN 75 6262 *Odlehčovací komory*, Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019, 60 s. Třídící znak 509143

[16] Mapy.cz. Mapy.cz [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.0277132&y=50.0899176&z=15>

Seznam použitých zkratk

- OK – Odlehčovací komora
- ČOV – Čistírna odpadních vod
- OV – Odpadní voda
- DV – Dešťová voda
- ŽP – Životní prostředí
- EO – Ekvivalentní obyvatelé
- ODK – Oddílná dešťová kanalizace
- VT – Vodní tok
- MO – Městské odvodnění
- TOC – Celkový organický uhlík
- TSS – Celkové nerozpuštěné látky
- Cl – Chloridy
- SO₄ – Sírany
- SiO₄ – Křemičitany
- NO₃ – Dusičnany
- NO₂ – Dusitany
- NH₄ – Amonné látky
- N_{celk} – Celkový dusík
- P_{celk} – Celkový fosfor
- BSK₅ – Biologická spotřeba kyslíku
- CHSK – Chemická spotřeba kyslíku
- NL – Nerozpuštěné látky

Seznam obrázků

Obrázek 1: Odlehčovací komora s přímým přelivem	13
Obrázek 2: Odlehčovací komora s oboustranným bočním přelivem	14
Obrázek 3: Odlehčovací komora se škrťací tratí	15
Obrázek 4: Ok s přepadajícím paprskem [1]	16
Obrázek 5: Ok s horizontální dělicí stěnou [1]	17
Obrázek 6: Vírový separátor [1]	18
Obrázek 7: Plováková regulace [1]	19
Obrázek 8: Štítový oddělovač [1]	19
Obrázek 9: Schéma bočního přepadu [1]	23
Obrázek 10: Tabulka průměrné koncentrace znečištění ze střech [10]	25
Obrázek 11: Tabulka průměrné koncentrace znečištění z ulic [10]	26
Obrázek 12: Skladba zatravňovací tvárnice [10]	28
Obrázek 13: Zelená střecha [10]	28
Obrázek 14: Retenční dešťová nádrž [10]	29
Obrázek 15: Zasakovací šachta [10]	29
Obrázek 16: Odlučovač lehkých látek [10]	29
Obrázek 17: Usazovací šachta [10]	30
Obrázek 18: Usazovací rybník [10]	30
Obrázek 19: Umístění obce Pečky v širším kontextu [11] (zvýrazněno červenou barvou)	35
Obrázek 20: Výřez ortofoto mapy obce Pečky a blízkého okolí [11]	35
Obrázek 21: Navržené technologické schéma ČOV Pečky [12]	37
Obrázek 22: Půdorys čerpací jímky ČOV Pečky [12]	37
Obrázek 23: Půdorys OK u garáží	39
Obrázek 24: Řez OK u garáží	39

Obrázek 25: Půdorys a řez OK Tahiti	40
Obrázek 26: OK Tahiti – fotografie odlehčení [14]	40
Obrázek 27: OK Tahiti – fotografie regulace odtoku [14]	41
Obrázek 28: OK garáže – fotografie přelivu [14]	41
Obrázek 29: OK garáže – fotografie odtoku na ČOV [14]	42
Obrázek 30: Pečky: Schéma zatřídění komunikací	44
Obrázek 31: Pečky: Náčrt povodí jednotlivých OK [16]	49

Seznam rovnic

(1) Rovnice odtoku na ČOV	20
(2) Rovnice odtoku na ČOV pomocí intenzity deště	20
(3) Rovnice empirického součinitele alfa	20
(4) Rovnice deštných průtoků	20
(5) Součinitel kvality odpadních vod	21
(6) Rozložená verze rovnice odtoku na ČOV	21
(7) Rovnice přepadu bez uvážení přítokové rychlosti	21
(8) Délka přelivné hrany	21
(9) Rovnice kontinuity	22
(10) Rovnice přepadu s uvážením přítokové rychlosti	22
(11) Rychlostní výška	22
(12) Energetická výška v bočním přelivu	22
(13) Úbytek průtoku podél přelivné hrany	23
(14) Hydraulický popis bočního přepadu	23
(15) Délka škrťací tratě	24

Seznam tabulek

Tab.1 N-leté průtoky na toku Výrovka, profil Plaňany [13].....	42
Tab.2 Maximální odtoky z OK Tahiti.....	46
Tab.3 Maximální odtoky z OK Garáže.....	47
Tab.4 Maximální odtoky z OK ČOV.....	47
Tab.5 Celkové objemy vody vyteklé do recipientu.....	48
Tab.6 Povrchy a plochy povodí OK Tahiti.....	49
Tab.7 Povrchy a plochy povodí OK Garáže.....	50
Tab.8 Povrchy a plochy povodí ČOV Pečky.....	50
Tab.9 Plošné zatížení smyvu z povrchu povodí OK Tahiti.....	51
Tab.10 Plošné zatížení smyvu z povrchu povodí OK Garáže.....	51
Tab.11 Plošné zatížení smyvu z povrchu povodí ČOV.....	51
Tab.12 Celkové znečištění smyvem z ploch v letech 1995-2004.....	52
Tab.13 Zatížení fosforečnany na OK Tahiti.....	53
Tab.14 Zatížení fosforečnany na OK Garáže.....	53
Tab.15 Zatížení fosforečnany na ČOV.....	54
Tab.16 Zatížení fosforečnany – shrnutí.....	55