



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

**OPTIMALIZACE ÚČINNOSTI ODLEHČOVACÍCH KOMOR**

**Optimizing Efficiency of the Overflow Chamber**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Jiří Procházka

Doktorský studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Školitel: prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D.

Praha 2020

# Prohlášení o samostatné práci a použité literatuře

Jméno doktoranda: Ing. Jiří Procházka

Název disertační práce: Optimalizace účinnosti odlehčovacích komor

Prohlašuji, že jsem uvedenou doktorskou disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele prof. Ing. Jaroslava Pollerta, Ph.D.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

Disertační práce vznikla v souvislosti s řešením projektů:

*SGS13/173/OHK1/3T/11 „Zvýšení kvantitativní a kvalitativní účinnosti trubních odlehčovacích komor (TOK) stokových sítí“*

*SGS16/205/OHK1/3T/11 „Chytré řešení čistíren odpadních vod“*

*TE02000077 „Inteligentní Regiony - Informační modelování budov a sídel, technologie a infrastruktura pro udržitelný rozvoj“*

V Praze dne

podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému školiteli prof. Ing. Jaroslavu Pollertovi, Ph.D. a panu prof. Ing. Jaroslavu Pollertovi, DrSc. za jejich odborné rady, ochotu při konzultacích, trpělivost a zajištění podmínek pro zpracování práce.

Děkuji také Ing. Tomáši Ďurčovi a panu Josefu Ježkovi za pomoc při práci na fyzikálních modelech ve Vodohospodářském experimentálním centru.

# Obsah disertační práce

Abstrakt.....	4
Seznam zkratk.....	5
1 Cíle disertační práce.....	6
2 Úvod.....	7
3 Odlehčovací komory a životní prostředí .....	8
3.1 Kanalizace v ČR .....	8
3.2 Disperzní soustavy (typy znečištění).....	9
3.2.1 Rozdělení suspenzí.....	9
3.3 Odlehčovací komory a jejich vlivy na životní prostředí.....	12
3.3.1 Krátkodobé vlivy .....	12
3.3.2 Opožděné vlivy.....	13
3.3.3 Dlouhodobé vlivy .....	13
3.3.4 Narušení ekologického stavu koryta.....	14
4 Legislativa a technické dokumenty.....	16
4.1 Spojené státy americké.....	16
4.2 Evropská legislativa .....	17
4.2.1 Německo, Rakousko, Švýcarsko.....	18
4.2.2 Polsko.....	19
4.3 České zákony a vyhlášky.....	20
4.3.1 Zákony.....	21
4.3.2 Normy.....	23
4.3.3 Vodní zákon 254/2001 – Navrhovaná novelizace .....	24
5 Rešerše dosud vydaných publikací .....	27
5.1 OK obecně.....	28
5.2 Trubní odlehčovací komora.....	34
6 Druhy odlehčovacích komor .....	37
6.1 Odlehčovací komora s přelivem.....	37

6.2	Odlehčovací komora se škrťící tratí.....	38
6.3	Odlehčovací komora s přepadajícím paprskem.....	38
6.4	Odlehčovací komora s horizontální dělicí stěnou.....	39
6.5	S mechanickým předčištěním.....	40
6.6	Ostatní typy.....	44
6.7	Trubní odlehčovací komora (Hobas CSO Chamber).....	45
7	Trubní odlehčovací komora CSO Hobas Chamber.....	47
8	Měření tlakových ztrát.....	51
8.1	Návrh metodiky měření na CSO.....	51
8.1.1	Posouzení účinnosti CSO.....	51
8.1.2	Hydraulické ztráty.....	52
8.2	Série měření tlakových ztrát.....	54
8.2.1	Popis měření.....	55
8.2.2	Použité rovnice.....	57
8.2.3	Výsledky měření a jejich diskuze.....	59
8.3	Přenesení výsledků měření do praxe.....	71
9	Výzkum mechanických vlastností kyvných samočisticích česlí.....	73
9.1	Příprava fyzikálního modelu.....	73
9.1.1	Materiál česlí.....	74
9.1.2	Kyvný kloub.....	75
9.1.3	Vysokorychlostní kamera.....	77
9.2	Návrh metodiky měření.....	78
9.3	Popis měření.....	79
9.4	Výsledky měření a jejich diskuze.....	80
9.4.1	Kruhové česle průměru 16,2 mm.....	81
9.4.2	Kruhové česle průměru 11,8 mm.....	83
9.4.3	Eliptické česle 11,8 * 15,9 mm kolmo na proud.....	85
9.4.4	Eliptické česle 11,8 * 15,9 mm podélně s proudem.....	88
9.4.5	Eliptické česle 8,9 * 15,8 mm kolmo na proud.....	90
9.4.6	Eliptické česle 8,9 * 15,8 mm podélně s proudem.....	93
9.4.7	Souhrnné výsledky měření.....	95

9.5	Ověření samočisticího efektu prutů kyvných česlí .....	97
9.6	Závěr měření.....	99
10	Aplikace výsledků měření v praxi .....	101
11	Seznam použité literatury a zdrojů .....	102
12	Seznam obrázků .....	112
13	Seznam grafů.....	114
14	Seznam tabulek .....	115
15	Seznam rovnic .....	116

## Abstrakt

Disertační práce se zabývá základním rozbořem problematiky odlehčovacích komor, specificky trubní odlehčovací komory CSO Hobas Chamber. V první části práce se věnuji literární rešerši současného stavu OK, vhodnosti použití různých druhů odlehčovacích komor, jejich vlivu na životní prostředí a také hydraulickému řešení. Práce shrnuje dopady legislativních úprav odlehčovacích komor, legislativní úpravy v sousedních zemích a také výhledy do budoucna v ČR na odlehčovací komory. Druhá část práce je výzkumná a zaměřuje se na zjišťování tlakových ztrát CSO za účelem doplnění návrhové tabulky CSO Hobas Chamber. Výzkum dále pokračuje vývojem a optimalizací jednotlivých prutů kyvných inteligentních česlí tak, aby byl podporován jejich samočistící efekt. Po skončení pokusů byl na nevhodnějších typech prutů česlí otestován samočistící efekt, který vzniká při skončení dešťové události a zajišťuje, aby byla CSO po skončení provozu bez nečistot a připravená k dalšímu použití.

**Klíčová slova:** CSO Hobas Chamber; tlakové ztráty; optimalizace; kyvné samočistící česle; samočistící efekt

## Abstract

The dissertation deals with the basic analysis of chambers, specifically the pipe overflow chambers Hobas CSO Chamber. In the first part of paper I focus on literature review of current condition of CSO, suitability of use of different kinds of overflow chambers, their environmental impact and also hydraulic solution. The thesis summarises the impacts of legislative arrangements of overflow chambers, the legislation in neighbouring countries and also the future perspectives for chambers in the Czech Republic. The second part of the work contains a research, where the attention is focused on detection of pressure losses of CSO in order to complete the schemed chart of CSO Hobas Chamber. The research continues in development and optimization of individual rods of intelligent swinging self-clean screen bars in a way so that it supports their self-cleaning function. After finishing the experiments the self-cleaning function was tested on the fittest types of rods of screen-bars. This effect occurs after rain and it makes CSO clean and therefore ready to be used again after the operation.

**Key words:** CSO Hobas Chamber; pressure losses; optimization; swinging self-cleaning screen-bars; self-cleaning effect

## Seznam zkratek

- CSO – CSO Hobas Chamber
- OK – Odlehčovací komora
- TOK – Trubní odlehčovací komora
- EU – Evropská Unie
- ČR – Česká republika
- ES – Evropské společenství
- ČOV – Čistírna odpadních vod
- ČSN – Česká státní norma
- USA – Spojené státy americké
- UK – United Kingdom
- EO – ekvivalentní obyvatel
- ČVUT – České vysoké učení technické
- EPA – Agentura pro ochranu životního prostředí
- CHSK – biochemická spotřeba kyslíku
- DN – vnitřní průměr potrubí
- MŽP – Ministerstvo životního prostředí
- NV – Nařízení vlády
- Sb. – Sbirka zákonů
- OPŽP – Operační program Životní prostředí



# 1 Cíle disertační práce

Cílem disertační práce je optimalizace účinnosti odlehčovacích komor (OK), specificky CSO HOBAS Chamber. Výzkum je rozdělen do dvou částí:

A) Zjišťování celkových tlakových ztrát CSO HOBAS Chamber (bez česlí a s česlemi). Zjištění tlakových ztrát je důležité. Pokud by došlo k zanesení česlí OK nečistotami, mohlo by dojít k zacpání odtoku z OK. Při zacpání OK může dojít ke zvýšení hladiny v OK do takové míry, že by mohlo dojít k úplnému zaplavení nejen OK, ale i ostatních objektů umístěných výše proti proudu na stokové síti. Tomu je třeba zabránit technickým opatřením. V případě, že by zaplavení dosáhlo extrémních hodnot, mohlo by dojít k výtoku splaškových vod revizními šachtami umístěnými výše na stokové síti. Případné zaplavení objektů na stokové síti a okolním území je nežádoucí jak z hygienického hlediska, tak z důvodu ohrožení přístrojů a zařízení umístěných na stokové síti případnou povodní.

B) Optimalizace kyvných samočisticích česlí. Cílem je vytvořit optimální návrhová kritéria pro jednotlivé pruty česlí (ideální tvar a průměr vzhledem k jejich délce), aby česle co nejvíce podporovaly samočisticí efekt česlí a předcházely tak možnému zanesení CSO nečistotami. Zvláštní důraz byl kladen na optimalizaci samočisticího efektu při skončení dešťové události, aby byla OK bez nečistot a připravená k dalšímu provozu.

Přínosem práce je posouzení CSO Hobas Chamber (CSO) fyzikálním modelováním a upřesnění hydraulického řešení při různých zátěžových stavech. Jako výsledek práce pro praxi je stanovení návrhových kritérií prutů samočisticích česlí a doplnění návrhové tabulky CSO Hobas Chamber o koeficienty tlakových ztrát zjištěných na základě výše uvedeného teoretického a experimentálního řešení.

## 2 Úvod

Pro odlehčovací komoru se běžně užívají názvy jako: dešťový oddělovač nebo odlehčovací komora. OK jsou na jednotné kanalizační síti velice důležitým stavebním objektem, který slouží pro snížení průtočného množství odpadních vod, které přitékají kanalizační síti při dešti či těsně po jeho skončení. V tuto dobu právě dochází na jednotné kanalizační síti k několikanásobnému zvýšení průtoku odpadních vod. Při prvním splachu jsou tyto vody velmi znečištěné. Při dlouhotrvajících srážek jsou vody již více naředěné, a proto jsou tvořeny z velké části dešťovou vodou a nikoliv splaškovou. To s sebou nese několik úskalí. Na čistírnu odpadních vod přitékají vody naředěné, ve větším množství, z toho vyplývá, že ČOV musí být na tyto větší průtoky naddimenzována. Dalším negativem je ekonomická stránka věci jak při výstavbě, tak i při samotném provozu a v neposlední řadě při velkém zatížení ČOV i efektivita čištění. [62]

Z těchto důvodů se navrhuje na jednotné stokové síti OK. Ty slouží k odlehčení dešťových vod a zamezují, aby veškerý průtok odtékal na ČOV. Tyto objekty jsou zásadní a velmi složité z hlediska návrhu a to jak z hygienického, tak i z hydrologického a nejvíce pak z hydraulického hlediska. [62]

V ČR a většině států EU je používána jednotná kanalizace, kde OK jsou nedílnou součástí systému. Např. jen v Praze se nachází 148 OK, v ČR cca 6500. V budoucnu budou muset být veškeré odlehčovací komory osazeny měřením průtoku z důvodu výpočtu celkové výše poplatku za odlehčené vody vypouštěné do vodoteče (to znamená investiční náročnost v řádu cca 5 mld. Kč). Tento poplatek by mohl být redukován koeficientem, který by mohl zohlednit stupeň předčištění vypouštěných odpadních vod (např. osazením česlí zachytávající estetické znečištění), což je také předmětem praktických výsledků mé disertační práce. (12)

## 3 Odlehčovací komory a životní prostředí

### 3.1 Kanalizace v ČR

Kanalizace většiny našich měst jsou navrženy jako jednotné a slouží pro odvádění vod odpadních i dešťových. Pro použití jednotné kanalizace někdy existují ekonomické důvody, ale velký vliv má také tradice.

Sloučení odpadní a dešťové vody v jednotné stokové síti přináší celou řadu nevýhod. Odpadní voda přitékající na ČOV je zředěná, čerpá se větší množství vody a všechny objekty ČOV je třeba dimenzovat na vyšší průtok. Největší nevýhodou jednotné stokové sítě je však nutnost odlehčovacích komor, které slouží k vypouštění směsi odpadní a dešťové vody při silných deštích přímo do recipientu. Vytváří se tak přímá spojitost mezi stokovým systémem a recipientem.

Po většinu času tečou jednotnou stokovou sítí splaškové a balastní vody, které mají relativně stálý průměrný průtok. Průtok dešťových vod nastává pouze krátkodobě, jeho velikost je však většinou oproti bezdeštnému průtoku několikanásobně vyšší. V případě, že největší bezdeštný průtok nepřesáhne 10% návrhového dešťového průtoku, bezdeštný průtok se zanedbává a soustava se dimenzuje pouze na průtok dešťový. Návrhový průtok ČOV je ovšem mnohem nižší než dešťový průtok stokovou sítí. ČOV jsou v nejlepším případě schopny nárazově čistit 3-4 násobek průměrného průtoku. Převedení celého dešťového průtoku až k ČOV by znamenalo extrémní navýšení investičních a provozních nákladů. Část průtoku je při dešti třeba ze stok převést na vhodných místech do recipientů tak, aby docházelo k co nejmenšímu ovlivnění kvality jejich vody. Následující stoky budou méně hydraulicky zatíženy a návrh stokové sítě se stává ekonomičtější. Nejpoužívanějším způsobem odlehčení jsou na stávajících stokových systémech odlehčovací komory.

Odlehčovací komory (OK – v české literatuře; CSO v cizojazyčné literatuře) patří k provozně nejdůležitějším a projekčně nejsložitějším objektům městského odvodnění s jednotnou stokovou soustavou. Funkce, které OK během svého provozu plní, ovlivňují management odvodňovacího systému z mnoha hledisek. Jedná se nejen o hydraulickou regulaci bezpečnosti stokové sítě, ale především o nastavení hraničního průtoku, který má vliv na hydraulické a látkové zatížení čistírny odpadních

vod. Nastavení hraničního průtoku má přímý dopad na množství a chemicko-biologické ukazatele vod odlehčovaných do recipientu. Optimální konstrukční návrh OK by měl provozně nejjednodušším způsobem zabezpečit mechanickou separaci co největšího podílu celkového transportovaného znečištění a jeho nasměrování na ČOV.

## **3.2 Disperzní soustavy (typy znečištění)**

### **3.2.1 Rozdělení suspenzí**

Odpadní voda je suspenze pevných a koloidních částic organického a anorganického původu. Odpadní vody obsahují organické látky, toxické látky, mikroorganismy, anorganické sloučeniny a nečistoty ve vznosu, estetické znečištění (toaletní papír, hadry, prezervativy, vložky, atd.). Ze studia různých náhledů disperzních soustav není jasné, kam zařadit estetické znečištění. Domnívám se, že rozdělení podle velikosti částic (viz tab. 1) je nevhodnější, ale ty největší částice, které se objevují v odpadní vodě ve stoce, se tomuto rozdělení vymykají. Nikde v literatuře jsem nenašel vhodnou odpověď, jak základní rozdělení disperzních soustav vyřešit pro tento případ. Přitom tímto estetickým znečištěním hrozí případné zanesení odlehčovacích komor, vyvolávající rizika vyplývající z překročení hydraulické kapacity stokového systému, který vyvolává přechod do tlakového režimu proudění s vystoupaním hladiny nejen do úrovně sklepních prostor, ale často i s výtokem na terén přes revizní šachty, či uliční vpustě (Obr. 1).

Suspenze je zvláštní případ disperzní soustavy typu kapalina – pevná částice. Disperzní soustavu definuje ČSN 01 13 20 jako soustavu dvou nebo více látek různého druhu nebo skupenství a fázovým rozhraním. Rozptýlenou (dispergovanou) látku nazýváme disperzum, disperzní prostředí dispergens. Pro případ suspenze je dispergens tvořeno kapalinou (budeme uvažovat vodu) a disperzum pevnými částicemi.

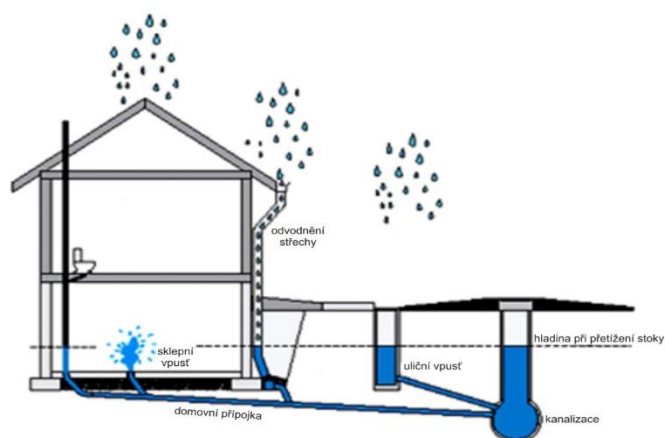
Klasifikací a terminologií disperzních soustav se u nás i v zahraničí zabývala řada autorů. Toto velké množství autorů mělo příznivý vliv na uvážení všech aspektů důležitých pro rozdělení disperzních soustav, i když je vždy patrné preferování některých hledisek. Preferování některých hledisek je výhodné při zkoumání některé

disperzní soustavy za určitých daných podmínek, ovšem při základním rozdělení disperzních soustav se musíme snažit být co nejobektivnější.

Rozdělením suspenzí se zabývali např. Durand R. a Condolios E., z našich autorů např. Kolář V., Hrbek, Janalík J.. Jejich výsledky můžeme shrnout do rozdělení suspenzí podle velikosti pevných částic: Dělení podle Hrbka (viz tab. 1).

Tabulka 1 - Rozdělení suspenzí podle velikosti částic

Suspenze	Velikost částice d (mm)	Charakteristika pohybu částic
analytická	$d \leq 10^{-6}$	intenzivní tepelný pohyb, částice mikroskopické
koloidní	$10^{-6} < d < 10^{-3}$	intenzivní Brownův pohyb, částice submikroskopické
strukturní	$10^{-3} < d < 5 \cdot 10^{-2}$	slabý Brownův pohyb částice mikroskopické
jemnozrnná	$5 \cdot 10^{-2} < d < 2 \cdot 10^{-1}$	působí převážně vnější silové pole, částice makroskopické
Hrubo-disperzní	$2 \cdot 10^{-1} < d < 2 \cdot 10^0$	
heterogenní	$d > 2 \cdot 10^0$	

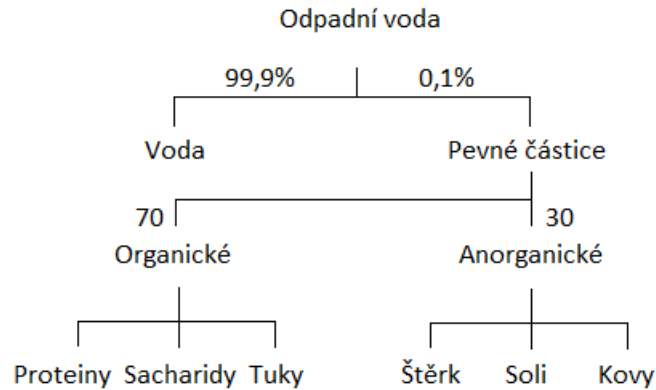


Obrázek 1 - Možnost zatopení sklepních prostor

Prostřednictvím OK se do recipientu a potažmo do životního prostředí dostává určité množství znečištěné vody. Toto zatížení, jak hydraulické, tak látkové, ohrožuje ekologický a chemický stav toků. Nepříznivé účinky pak mohou být krátkodobé, opožděné a dlouhodobé.

Množství a složení stokových vod se mění hodinově, denně a sezónně s průměrem závislejícím na potřebě vody pro obyvatele, na infiltraci a na povrchovém odtoku, stejně jako na lokálních zvycích a stravě. Potřeba vody v USA je přibližně 2x tak velká jako v UK, proto je kanalizace v USA náchylnější k poruchám. [62]

Odpadní voda je z 99,9% voda s materiálem, který je potřeba odstranit ve velikosti 0,1% objemu. Tento pevný materiál je směs výkalů, zbytků jídla, tuku, oleje, soli, kovů, detergentů, plastů, písku a štěrku. Organická frakce je složená primárně z proteinů, karbohydrátů, tuků. Organická složka je odrazem stravy komunity obslužené stokovým systémem. Cílem čištění odpadních vod je změnit pevné částice v kal, se kterým jsme schopni nakládat a který bude koncentrovanější. [62]



Obrázek 2 - Složení odpadní vody

Tabulka 2 - Složení odpadní vody

	US (mg./l)	UK (mg./l)	CZ (mg./l)
pH	7	7	6,5 - 8,5
BSK	250	350	100 - 400
CHSK	500	700	250 - 800
NL	250	400	200 - 700
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	30	40	20 - 45
P celk.	10	15	5 - 15

### 3.3 Odlehčovací komory a jejich vlivy na životní prostředí

Prostřednictvím CSO se do recipientu a potažmo do životního prostředí dostávají určitá množství znečištěné vody. Toto zatížení, jak hydraulické, tak látkové, ohrožuje ekologický a chemický stav toků. Nepříznivé účinky pak mohou být krátkodobé, opožděné a dlouhodobé. [62]

#### 3.3.1 Krátkodobé vlivy

Akutní či krátkodobé vlivy působí od okamžiku přepadu vod až několik hodin po něm. Nejvíce jsou ohroženi vodní živočichové zejména hydraulickým stresem, erozí dna a také zvýšeným obsahem toxických látek, při jejichž rozkladu dochází k úbytku kyslíku a také zákalu v důsledku vniku nerozpuštěných látek. Vliv narušení toku závisí na intenzitě akutního zatížení, jeho trvání a četnosti. (9) [62]

Dle imisních kritérií nesmí být koncentrace amoniakálního dusíku N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ve vodním toku větší než 0,16 mg/l u kaprovitých vod a četnost nesmí být překročena jedenkrát za rok. U lososovitých vod je přípustná koncentrace maximálně 0,03 mg/l.

Norma environmentální kvalita, která je vyjádřena jako celoroční průměr je stanovena pro amoniakální dusík na 0,23 mg/l. (9) Dle emisních limitů jsou hodnoty pro vypouštění stanoveny pro 500-2000 EO v průměru 20 mg/l a maximálně 40 mg/l a pro 2000 – 10000 EO je průměrná hodnota 15 mg/l a maximální 30 mg/l. (9) [62]

Naprostá většina OK je umístěna nad ČOV, proto jsou i odlehčené vody zaústěny přímo do recipientu nad čistírnou. Proto lze vyvodit závěr, že i při splnění emisních hodnot dojde k překročení hodnot imisních, pokud dochází k současnému oddělování na přepadu OK. Jako nejkritičtější bod lze uvést období, kdy OK už vody odděluje do recipientu, ale ve vodoteči ještě není zvýšený průtok vlivem odtoku dešťových vod z povodí. (9) [62]

Návrhem opatření se zabývá metodická příručka, viz výše (8). Zde se uvádí doporučení: zvýšit retenci splaškových vod v OK, předčištění oddělovaných vod či zastínění toku přirozenou vegetací. (9) [62]

### **3.3.2 Opožděné vlivy**

Opožděné vlivy se projevují až za několik dní či týdnů po přepadu vody do recipientu a můžeme k němu zařadit zejména nedostatek kyslíku ve vodě a také v sedimentu, který je vyvolán rozkladem nerozpuštěných organických látek a narušením hygienického stavu toku patogenními organizmy. (9) [62]

### **3.3.3 Dlouhodobé vlivy**

Jako dlouhodobý vliv OK se bere časový úsek v řádech týdnů až roků. Jsou zejména důsledkem kumulativních, fyzikálních, chemických a biologických procesů probíhajících v recipientu. Zejména pak k nim lze přiřadit důsledky jako zanášení dna nerozpuštěnými látkami, dlouhodobý nedostatek kyslíku v sedimentu, toxicita těžkých kovů a organické znečištění, obohacení stojatých vod živinami a změny toku v důsledku eroze. (9) [62]

Erozi a hydraulickými změnami jsou ohroženy zejména menší toky ve středních polohách, kde je větší podélný sklon, proto při zvýšeném průtoku může dojít i ke zvýšení eroze. V těchto polohách je nižší teplota vody, proto není tak výrazné organické znečištění. Naopak u nížinných toků je teplota vyšší, a proto i látkové zatížení je vyšší. (9) [62]



### 3.3.4 Narušení ekologického stavu koryta

Narušení ekologického stavu koryta má velký vliv na daný ekosystém a také na celý systém ekologické stability. V prostředí, kde jsou vypouštěny odpadní vody, dokážou přežít pouze odolné organizmy nebo organizmy rychle se množící či s krátkým životním cyklem. (9) [62]

Odlehčené naředěné vody z OK jsou významným ekologickým narušením vodních toků. Ohrožují biologický stav a také snižují použití pro odběr vody či využití k rekreačním účelům. Přirozená biota toku je ohrožena zejména látkovým znečištěním a fyzikálním narušením. Látkové zatížení je způsobené celou řadou směsí různého původu, jelikož je oddělená voda směsí vod suspenzí povrchového odtoku, splaškových, průmyslových a balastních vod. (9) [62]

Snadno rozložitelné organické látky jsou rozkládány bakteriemi, ty spotřebovávají kyslík a dochází tak k jeho úbytku. U menších toků je riziko, že kyslík klesne nejen ve vodě, ale také v dnovém sedimentu. V tomto případě pak snížení kyslíku ohrožuje hlavně citlivější druhy ryb. Pokud dochází k opakovanému vnosu organického znečištění, tak se vyskytnou výrazné rozkládající procesy a tím i další úbytek kyslíku. Při dlouhodobém snížení koncentrace kyslíku dochází k narušení potravního řetězce ve stávajícím biotopu a posléze i k následné redukci počtu druhů. [9] [62]

Živiny, ke kterým se řadí hlavně dusík a fosfor, jsou vnášeny do toku a posléze se podílí na nepřírozené eutrofizaci převážně ve stojatých vodách. Tím dochází k úbytku kyslíku. V celkové bilanci živin v toku jsou fungující OK méně významným zdrojem, než jsou okolní plošné zdroje. Momentálně ale přichází doba, kdy i malá města či vesnice mají vlastní ČOV a tak nezaústňují splaškové vody do recipientu, proto se zvyšuje význam OK jako zdroj živin, převážně ve větších aglomeracích, kde je jednotný kanalizační systém. (9) [62]

Značná narušení způsobují v odpadních vodách formy dusíku, zejména pak amonné ionty ( $\text{NH}_4^+$ ), které se mění při větších teplotách a pH na toxický amoniak ( $\text{NH}_3$ ). To potom ohrožuje hlavně ryby v nižších vývojových stádiích. (8) [62]

Další látky, které jdou z OK přímo do recipientu, jako např. nerozpuštěné látky organického i minerálního původu, s sebou nesou další negativní účinky. Zákal způsobují suspendované látky, tím se omezuje prostup světla pro rostliny a vyvíjejí

stres pro ryby. Těžší látky sedimentují a dochází k zanášení a zabahnění dna, to omezuje pórovitost sedimentu a výměnu kyslíku mezi vodou a dnovým sedimentem. Rozkládající nerozpuštěné organické látky spotřebovávají na tlení další kyslík a způsobují tedy další úbytek kyslíku. (8) [62]

## 4 Legislativa a technické dokumenty

### 4.1 Spojené státy americké

Zpráva vypracovaná federální agenturou EPA pro Kongres (2004) stanovila v rámci emisního přístupu požadavky na vypouštění odpadních vod za deště z jednotné, resp. splaškové kanalizační soustavy z hlediska ochrany životního prostředí a zdraví obyvatelstva. Zpráva umožnila určit lokalizaci výpustí, četnost a objemy vypouštěných vod a dále stanovila strategické postupy a technologie k dosažení požadovaných cílů. Jde zejména o národní program CSO Control Policy, v rámci kterého se doporučuje použití dostupných nejlepších technologií k redukcí znečištění z dešťového povrchového odtoku, integrace a koordinace postupu s využitím monitoringu, pravidelných hodnotících kritérií a zpráv a povolovacích procedur k vypouštění odpadních vod. Dále se zdůrazňuje koordinace povolení vypouštění odpadních vod na celém povodí, tj. redukce všech zdrojů znečištění v povodí. Ze zprávy vyplynulo, že ke zlepšení stavu se musí používat všechny dostupné metodické postupy a technologie. Finanční nároky na zavádění technologií a opatření (strukturálních a organizačních) se ukázaly být značnými. Proto bylo rozhodnuto o vypracování dlouhodobých programu financování navržených opatření.

EPA vyvinula program GPRACSO k emisnímu posouzení dopadu vypouštěných vod CSO. Program má databázovou část a vlastní simulační model. Simulační model umožňuje určit objemy vypouštěných vod a vnos BSK5 z jednotné stokové sítě. V databázové části byly uloženy všechny dostupné informace o urbanizovaných povodích, kde se jednotné kanalizační soustavy nacházejí. Je však třeba podotknout, že vodoprávní úřady mají možnost stanovit i další kritéria, tj. použít např. kombinovaného přístupu. Rozhodnutí však musí být realizovatelná v rozumné lhůtě, jejich finanční náročnost musí být opodstatněná a zdůvodněná v rámci finanční analýzy a musí umožnit plnit subjektům jejich funkci. [19], [22], [23], [28]

## 4.2 Evropská legislativa

Základním legislativním dokumentem Evropské unie v oblasti vodního hospodářství a životního prostředí je rámcová směrnice 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Také je zde mimo jiné předepsáno v článku 11 Program opatření 3. písm. g) „*pro bodové zdroje vypouštění, které mohou způsobit znečištění, požadavek na předchozí omezení prostřednictvím např. zákazu vnosu znečišťujících látek do vod nebo předchozího povolení nebo registrace založené na všeobecně závazných pravidlech stanovujících postupy omezování emisí příslušných znečišťujících látek, včetně omezování v souladu s články 10 a 16. Tato omezení budou pravidelně přezkoumána a podle potřeby aktualizována.*“ Článek 10 uvádí, že „*Členské státy zajistí, aby všechna vypouštění do povrchových vod podle odstavce 2 byla omezována podle sdruženého přístupu uvedeného v tomto článku. Členské státy zabezpečí zavedení nebo provedení:*

- a) omezování emisí na základě nejlepších dostupných technologií, nebo*
- b) odpovídajících mezních hodnot emisí, nebo*
- c) v případě difúzních vlivů, omezování znečištění, popřípadě zahrnující nejlepší environmentální postupy“ (2) [62]*

Tato směrnice také obsahuje normativní definice klasifikace ekologického stavu řeky, jezera, brakické vody a pobřežní vody, kde je uvedeno, že „*vody dosahující nižšího stavu, než je střední stav, se klasifikují jako poškozené nebo zničené.*“ (3) [62]

Dalším legislativním dokumentem Evropské unie je Směrnice Rady 91/271/EHS ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod. Cílem této směrnice je ochrana životního prostředí před nepříznivými účinky výše uvedených odpadních vod. (3) [62]

Tato směrnice považuje směs splašků a dešťových vod za městské odpadní vody a přestože stanovuje, že členské státy musí zajistit před vypouštěním odpadních vod do recipientu sekundární čištění, tak na druhou stranu dodává: „*Vzhledem k tomu, že není možné vybudovat sběrný systém tak, aby bylo možno čistit všechny odpadní vody během takových situací, jako jsou neobvykle silné deště,*

*rozhodnou členské státy o opatřeních omezujících znečištění z dešťových přívalů.“*  
(3) [62]

Ze strany Evropské unie v současné době nejsou dána zatím žádná pravidla, pod která by odlehčovací komory spadaly, proto se přístup k tomuto problému ve všech zemích EU značně liší. [62]

#### **4.2.1 Německo, Rakousko, Švýcarsko**

Přístup k ochraně vodních toků před vlivy městského odvodnění za deště je v Německu, Rakousku a Švýcarsku velmi podobný. Ve všech třech zemích je i za deště aplikována emisně-imisní strategie ochrany recipientu (tzv. kombinovaný přístup). Odvozené emisní limity a zvolená opatření tak zohledňují místně specifické podmínky.

Emisní standardy jsou chápány jako „minimální požadavky“. V Německu a Rakousku se emise ohraničují pro celé urbanizované povodí. V Německu jsou emisní standardy stanoveny zpravidla jako maximální roční látkové zatížení (CHSK), maximální četnost odlehčení a jeho maximální doba trvání. V Rakousku byly formulovány jako minimální účinnosti odvádění látek za deště na COV. Ve Švýcarsku platí emisní standardy pro jednotlivé odlehčovací komory v závislosti na typu recipientu, avšak jsou spíše pojistkou proti znečišťování velkých vodních toků. Imisní kritéria pro odvození emisních limitů jsou orientována především na hydraulicko-mechanické narušení toku v důsledku zvýšených průtoků ze systému městského odvodnění za deště a na akutní látkové působení. Společnými cílovými veličinami jsou průtok či tečné napětí v toku pod odlehčením, dále pak koncentrace amoniaku a kyslíku, ve Švýcarsku ještě akutní i chronické působení nerozpuštěných látek, teplota a koncentrace patogenních organismů. Kritériem pro hydraulické zatížení je v Německu a Rakousku maximální násobek zvýšení jednoletého průtoku Q1 v toku v důsledku odlehčení, který odpovídá zhruba dvouleté povodni Q2, tudíž průtok, při němž přirozeně nastává masivní transport podkladu a úhyn organismů. Pro posouzení je nutno vypočítat součet všech zaústění dešťového odtoku s četností 1x/rok zjištěných simulací hydrologickým modelem. Ve Švýcarsku je kritériem maximální roční počet událostí vedoucích k erozi dna zjištěný dlouhodobou simulací. Pro diferenciaci jak maximálního násobku zvýšení Q1, tak přípustných četností eroze

dna, je nutno posoudit ekomorfologický stav toku a potenciál znovuosídlení narušených úseku akvatickými organizmy.

V Německu a Rakousku se z imisního hlediska neposuzují jednotlivá zaústění, ale urbanizované povodí jako celek, případně celky, v závislosti na ohraničení imisního prostoru podle dosahu vlivu zaústění. Ve Švýcarsku toto není specifikováno. Studované metodiky jsou zaměřeny především na orientační posouzení a bezpečnou identifikaci kritických případů zatížení vodních toků. [19], [22], [23], [28]

#### **4.2.2 Polsko**

Problematika odlehčovacích komor a jejich vliv na recipienty zatím není v Polsku prioritou. V současné době se investiční prostředky soustřeďují na výstavbu a intenzifikaci ČOV a prioritně se buduje oddílná kanalizace. Legislativa odlehčovacích komor bude v blízké budoucnosti pravděpodobně revidována, protože současné legislativní požadavky jsou emisně orientovány, nezohledňují situaci v recipientu, jejich dosažení je mnohdy investičně náročné a jejich efektivita je v mnoha případech problematická. Lze očekávat, že zpracování generelu odvodnění v nejbližších letech ukáže potřebu legislativu změnit.

Nařízení ministra životního prostředí ze dne 24. července 2006 ve věci podmínek, které je nutno splnit při vypouštění odpadních vod do povrchových vod nebo půdy a ve věci substancí zvláště škodlivých pro životní prostředí, definuje základní parametry návrhu přepadu z odlehčovacích komor emisními kritérii. Koncentrace jednotlivých znečišťujících látek a jejich vliv na recipienty se v tomto nařízení vůbec neřeší.

Rozhodnutí o správnosti návrhu přepadu z odlehčovacích komor je plně v kompetenci vodoprávních úřadů, které zpravidla požadují návrh podle poměru ředění. Za současného stavu techniky je některými vodoprávními úřady pro posouzení dodržení emisních standardů a návrhů opatření považována dlouhodobá simulace srážkoodtokových procesů v urbanizované povodí a na základě této simulace pak uplatnění emisního kritéria 10 přepadů za rok. [19], [22], [23], [28]

### 4.3 České zákony a vyhlášky

Dešťové oddělovače jsou v České republice popisovány normou ČSN75 6262 Dešťové oddělovače.

Dešťové oddělovače (nazývány též odlehčovací či oddělovací komory) jsou navrhovány na jednotných stokových sítích za účelem odlehčování směsi odpadních vod a srážkového odtoku za deště do vodního recipientu, protože z ekonomických a technických důvodů není možno všechn srážkový odtok z urbanizovaného povodí přivádět na čistírnu odpadních vod (ČOV).

Tato norma reaguje na současné trendy a předpisy v oblasti vodního a stavebního práva a zabývá se návrhem a posouzením dešťových oddělovačů tak, aby byla zaručena ochrana vodních recipientů, aniž by bylo způsobeno hydraulické přetížení stokového systému nebo snížený výkon čištění ČOV. Norma se podílí na naplňování vodohospodářské politiky ČR, jejímž smyslem je zajištění trvale udržitelného rozvoje.

Norma řeší návrh, posouzení a provozování dešťových oddělovačů (DO) jednotných stokových sítí urbanizovaných povodí. V normě jsou uvedeny nutné kroky při návrhu dešťových oddělovačů a při posuzování stávajících oddělovačů a detailně vysvětleny jednotlivé dílčí úlohy, zahrnující předběžné stanovení návrhových průtoků, posouzení vlivu odlehčených vod na vodní recipienty kombinovaným emisně-imisním přístupem pro případnou úpravu návrhových průtoků nebo rozhodnutí, zda je zapotřebí navrhnout opatření snižující tyto vlivy a informace, z jakého spektra opatření volit v závislosti na konkrétním narušení recipientu. Norma uvádí též kritéria pro výběr typu oddělovacího objektu a u jednotlivých typů specifikuje doporučené podmínky jejich použití a seznamuje s hydrotechnickými výpočty. Popsána jsou škrťací zařízení pro regulaci a ovládání odtoku z dešťových oddělovačů, včetně doporučených podmínek jejich použití a výpočetních vztahů. Samostatné kapitoly se věnují mechanickému předčištění přeпадů a jeho správnému provedení a zásadám provozu a údržby. Norma uvádí také doporučení pro monitoring objektů.

Norma je založena na využívání metodických přístupů, které odpovídají současnému stavu znalostí a techniky, kterými jsou simulace srážkoodtokových procesů v urbanizovaném povodí, monitoring v urbanizovaném povodí a modelování

objektů (matematické nebo fyzikální). Zároveň jsou respektována specifika malých lokalit, pro něž by tyto metody mohly být finančně neúnosné. [19], [22], [23], [28]

### 4.3.1 Zákony

Hlavní zákon pro nakládání s vodami je zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), jak vyplývá ze zákona v pozdějším znění zákon č. 150/2010 Sb., kde se v §38 odst. 2 uvádí, že *„za odpadní vody se dále nepovažují srážkové vody z dešťových oddělovačů, pokud oddělovač splňuje podmínky, které stanoví vodoprávní úřad v povolení.“* (4)

Dalším zákonem je zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), jak vyplývá ze změn provedených zákonem č. 281/2009 Sb., kde se OK řeší pouze v §12 odst. 1. *„Kanalizace musí být navrženy a provedeny tak, aby negativně neovlivnily životní prostředí, aby byla zabezpečena dostatečná kapacita pro odvádění a čištění odpadních vod z odkanalizovaného území a aby bylo zabezpečeno nepřetržité odvádění odpadních vod od odběratelů této služby. Současně musí být zajištěno, aby bylo omezováno znečišťování recipientů způsobované dešťovými přívaly.“* (5)

Tento zákon je prováděn vyhláškou Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kde se dočteme v §19 odst. 7 toto: *„U jednotné stokové sítě musí odlehčovací komory a separátory spolehlivě rozdělit průtok odpadních vod v poměru podle hydrotechnických výpočtů a bezpečně převést návrhový průtok do čistírny odpadních vod.“* Dále se v §24 uvádí, že součástí kanalizačního řadu musí být *„výčet odlehčovacích komor a jejich rozmístění, údaje o poměru ředění splaškových vod na případech do vodního recipientu (projektový a skutečný).“* (6)

Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod do vod pozemních (401/2015) – dříve 61/2003 do 1.1.2011, ruší 416/2010 do 1.1.2016, 401/2015, kde v §5 Stanovení emisních limitů stojí: Pokud jsou odpadní vody vypouštěny z jednoho zdroje znečištění více výpustmi, stanoví vodoprávní úřad emisní limity pro každou z nich. Městské odpadní vody odváděné stokovými soustavami z aglomerací o velikosti nad 2000 EO musí být před vypouštěním do povrchových vod podrobeny čištění minimálně na úroveň emisních standardů odpovídajících velikosti aglomerace uvedených v příloze č.1. k tomuto nařízení. Týká



se to až 18 měst včetně Prahy. Praha bude muset intenzifikovat 20 pobočkových čistíren s celkovým vypouštěným objemem 7 832 823 m<sup>3</sup>/rok., to představuje investici na rekonstrukci čistíren a následný poplatek 78 mil. Kč ročně – cca 80 Kč na občana Prahy.

S ohledem k tomu, že kontrola OK a vypouštění zředěných odpadních vod do recipientu je bez finančně nákladného monitorovacího systému neproveditelná, tak by se měl vodoprávní úřad při svém rozhodování opírat o Generel stokové sítě. Pokud u OK není generelem prokázáno splnění podmínek daných vodoprávním úřadem, pak je možné toto zpoplatnit. Zákon ukládá provozovateli povinnost měřit vypouštěné vody (množství a kvalitu), poté je instalace monitorovacích zařízení nezbytná.

Dalším zásadním dokumentem je metodická příručka, která byla vytvořena v rámci OPŽP v roce 2010 Českou vědeckotechnickou vodohospodářskou společností, Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích. Příručka je zaměřená na emisní a imisní ochranu recipientu. Příručka vychází ze současného stavu znalostí v městském odvodnění a z přístupů, které se uplatnily v zahraničí. Hlavním cílem této příručky je *„dát podklady k identifikaci kritických případů narušení vodních toků v důsledku případů z dešťových oddělovačů. Uváděné postupy se zaměřují na jednoduché posouzení pomocí základních relevantních klíčových ukazatelů a obsahují určitou bezpečnost (postihují možný nejnepříznivější stav). V některých případech je uváděno více možností provedení výpočetního posouzení s tím, že nejprve se provádí posouzení co nejjednodušším způsobem, s malými nároky na data a výpočet. Teprve když při tomto posouzení nejsou splněny cílové hodnoty kritických ukazatelů (imisní kritéria), přistupuje se k přesnějšímu, ale i náročnějšímu výpočetnímu posouzení imisí. Návrh opatření by po případném zjištění určitého problému měl být prováděn až na základě podrobného posouzení, nejlépe ve spojení s biologicko-ekologickým průzkumem vodního toku, aby investice byly vynaloženy účelně.“* (8)

Tato metodická příručka slouží zejména pro investory při zadávání kontroly koncepce odvodnění a také může sloužit vodoprávním úřadům pro posuzování správné funkčnosti odlehčovacích komor.

Z výše uvedeného plyne, že při návrhu nové OK jsou odváděné vody do recipientu brány jako vody odpadní pouze pokud nesplňují podmínky stanovené

vodoprávním úřadem. V tom případě pouze vodoprávní úřad může rozhodnout, jaké vody a jak znečištěné ještě lze zaústit do recipientu. Vodoprávní úřad nemá žádnou rozhodovací pravomoc či jinou legislativní normu, která by vymezovala, jaké znečištění lze do daného recipientu zaústit. Mohou se však opírat o ČSN EN 752 viz další kapitola.

### 4.3.2 Normy

První z důležitých norem je ČSN EN 752 (75 6110) Odvodňovací systémy vně budov (2008), ta zdůrazňuje respektování místních podmínek při posuzování vyústění a vlivu OK na recipient a uvádí, že *„je třeba brát v úvahu situování oddělovacích komor, zatížení znečištěním, dobu trvání a četnost přepadů, koncentraci znečištění a hydrobiologický stres. Hlavním cílem návrhu oddělovacích komor je proto ochrana vodního recipientu, aniž by tím bylo způsobeno hydraulické přetížení stokového systému nebo snížený výkon čištění následně zařazené čistírny.“* Dále dle doporučení této normy je poměr ředění předepsán v rozmezí min. 1:5 až 1:8 a intenzita mezního deště, kdy nastává odlehčení je zpravidla v rozmezí 10 až 30 l/s.ha<sub>red.</sub> [5] [62]

Další z norem ČSN 75 6262 Dešťové oddělovače (2013) se zaměřuje především na toto: *„V normě jsou uvedeny nutné kroky při návrhu nových dešťových oddělovačů a při posuzování stávajících oddělovačů a detailně vysvětleny jednotlivé dílčí úlohy, zahrnující předběžné stanovení návrhových průtoků, posouzení vlivů odlehčených vod na vodní recipient kombinovaným emisně-imisním přístupem pro případnou úpravu návrhových průtoků nebo rozhodnutí, zda je zapotřebí navrhnout opatření snižující tyto vlivy, a informace z jakého spektra opatření volit .... Norma také uvádí kritéria pro výběr typu oddělovacího objektu a u jednotlivých typů specifikuje doporučené podmínky jejich použití a seznamuje s hydrotechnickými výpočty.“* Dále jsou v normě popsána škrťací zařízení. Část normy se zabývá mechanickým předčištěním přepadů a také doporučením pro monitoring. [6] [62]

Další českou normou je TNV 75 6262 Odlehčovací komory a separátory (2003). U této normy je jedna z nejdůležitějších kapitola 6.4. *„Stanovení návrhových průtoků pro přístup s imisním posouzením.“* V této kapitole se dočteme toto: *„Jedním ze základních kritérií pro posuzování a povolování vypouštěných odpadních vod přes odlehčovací komory během dešťového odtoku jsou maximální přípustné koncentrace*

*amoniakálního dusíku N-NH<sub>3</sub> a rozpuštěného kyslíku O<sub>2</sub> ve vodním toku. Hodnoty jsou udány v závislosti na době opakování a době expozice.“ [7] [62]*

Za posledních pár let došlo k určitému vývoji, kdy se OK neposuzují jen jedním přístupem, ale již se zavádí posuzování kombinovaným přístupem. Dle ČSN EN 752 je doporučený minimální poměr ředění 1:5 až 1:8 a intenzita mezního deště 10 až 30 l/s.ha<sub>red.</sub> Dalšími důležitými parametry je vnos znečištění, a to zejména CHSK, BSK<sub>5</sub>, NL, N<sub>celk</sub> a P<sub>celk</sub>. Pro tyto ukazatele u nás prozatím nejsou stanoveny požadované či cílové hodnoty. [62]

Všechny legislativní úpravy a normy týkající se problematiky OK jasně stanoví ekologická rizika a s tím spojené emisní a imisní limity. Bohužel však téměř žádný předpis neřeší, jak technicky limitů dosáhnout. Každá dosud užívaná konstrukce OK nebyla plně prověřena (ani modelově), jak vyhovuje dnešním ekologickým předpisům nehledě na to, že jejich případná přestavba na již historicky vybudovaných sítích by si vyžádala extrémní finanční náklady. Proto lze doporučit, aby v případech nutné rekonstrukce OK, nebo při výstavbě nové jednotné sítě byly skloubeny všechny aspekty: hydraulické, konstrukční, ekologické a investiční.

### **4.3.3 Vodní zákon 254/2001 – Navrhovaná novelizace**

#### § 38 Odpadní vody

Vody z drenážních systémů odvodňovaných zemědělských pozemků, chladicí vody užití na plavidlech a pro vodní turbíny, u nichž došlo pouze ke zvýšení teploty, a nepoužité minerální vody z přírodního léčivého zdroje nebo zdroje přírodní minerální vody nejsou odpadními vodami podle tohoto zákona. Za odpadní vody se dále nepovažují srážkové vody z odlehčovacích komor oddílné srážkové kanalizace. 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.

#### **4.3.3.1 Poplatky za vypouštění odpadních vod do vod povrchových**

Právnícká nebo fyzická osoba, která vypouští odpadní vody do vod povrchových, je povinna platit poplatek za vypouštění odpadní vody. § 89-89 q vodního zákona, vyhláška 328/2018 Sb.

Poplatníkem poplatku za vypouštění odpadních vod do vod povrchových je ten, kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových. Předmětem poplatku je vypouštění odpadních vod z jednotlivého zdroje znečištění do vod povrchových.

Zdrojem znečištění se rozumí území obce, území vojenského újezdu, průmyslový areál, stavba nebo zařízení, pokud se z nich vypouštějí samostatně odpadní vody do povrchových vod.

#### **Od poplatku za vypouštění odpadních vod se osvobozuje vypouštění:**

- minerálních vod odebíraných ze zdroje osvědčeného podle zákona upravujícího lázeňství jako přírodní léčivý zdroj, pokud nebyly použity při lázeňské péči,
- přírodních minerálních vod odebíraných ze zdroje osvědčeného podle zákona upravujícího lázeňství jako zdroj přírodní minerální vody, pokud nebyly použity při výrobě balených minerálních vod,
- vod ze sanačních vrtů a systémů,
- odpadních vod z průtočného chlazení parních turbín,
- odpadních vod vzniklých využitím podzemních nebo povrchových vod pro získání tepelné energie podle § 8 odst. 1 písm. d),
- odpadních vod z odlehčovacích komor jednotné kanalizace podle § 8 odst. 3 písm. g) splňujících technické požadavky pro jejich stavbu a provoz stanovené právním předpisem, kterým se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích. (11)

#### **4.3.3.2 Osvobození od dílčích poplatků:**

Od dílčího poplatku z objemu se osvobozuje vypouštění odpadních vod, jejichž objem nepřekračuje za poplatkové období objem 100 000 m<sup>3</sup>.

Od dílčího poplatku z jednotlivého znečištění se osvobozuje vypouštění odpadních vod nepřekračujících hmotnostní nebo koncentrační limit pro ukazatel tohoto znečištění uvedený v příloze C4 vodního zákona. (11)

#### 4.3.3.3 Základ poplatku:

Základ poplatku se skládá z dílčích základů poplatku. Dílčí základy poplatku tvoří objem odpadních vod v m<sup>3</sup> v případě dílčího poplatku z objemu a celkové množství jednotlivého znečištění uvedeného v příloze C4 obsaženého v odpadních vodách v kg v případě dílčího poplatku z tohoto znečištění.

Poplatník může snížit dílčí základ poplatku z jednotlivého znečištění o celkové množství tohoto znečištění obsažené v odebrané vodě, ze které se stala vypouštěná odpadní voda.

Pro účely výpočtu poplatku se celkové množství jednotlivého znečištění ve vodách v kg vypočte jako součin průměrné koncentrace ukazatele tohoto znečištění ve vodách v kg/m<sup>3</sup> a objemu vod v m<sup>3</sup>.

Při výpočtu poplatku za organické znečištění vypouštěných odpadních vod se použije rozdílná sazba pro čištěné a nečištěné odpadní vody.

Za čištěné odpadní vody se pro účely výpočtu poplatku považují vody splňující hodnoty emisních standardů stanovené v nařízení vlády podle § 38 odst. 10; není-li emisní standard stanoven, emisní limity pro vypouštění odpadních vod uvedené v povolení podle § 8 odst. 1 písm. c) zákona.

V případě, že u jednotlivého znečištění dojde v důsledku realizace technického nebo technologického opatření s trvalým účinkem ke snížení jeho vypouštěného množství oproti bezprostředně předcházejícímu poplatkovému období, lze uplatnit slevu na dílčím poplatku. (více v § 89g). (11)

## 5 Rešerše dosud vydaných publikací

V Evropě směrnice o čištění městských odpadních vod uznává potřebu odlehčovacích komor (CSO); Primární funkce CSO mohou být definovány takto:

1. působit jako hydraulické ovládání systému
2. udržení odtoku na ČOV s maximálním znečištěním
3. zajistit přepad do nejbližšího vodního toku a tím zabránit povodním v povodí nad CSO
4. CSO by měl být schopen provozu při různých zátěžových stavech
5. CSO má být účinný při zachytávání pevných látek a souvisejících znečišťujících látek a jejich separaci do tratě k ČOV
6. CSO by měl být samo-čistitelný s jednoduchou údržbou

Evropská směrnice o čištění městských odpadních vod zanechala odpovědnost na členských státech, aby rozhodly o opatření pro omezení znečištění vypouštěné vody z CSO do recipientu. Pro návrh lze v odborné literatuře najít tři základní přístupy, které vycházejí z:

- Poměr ředění mezi přepadem a přítokem je definován
- Je definován kapacitní průtok stoky ve vztahu k bezdeštnému průtoku
- Je určen počet přepadů ročně

Splnit v projekční praxi tato kritéria současně je komplikované. Například v Německu jsou pokyny k návrhu uvedeny v ATV 128 (kombinace všech 3 kritérií), obdobně ve Velké Británii jsou doporučené návrhové postupy uvedeny v příručce Městského řízení znečištění a vycházejí také z kombinace tří přístupů.

**Z dosavadní praxe, jak návrhové, tak provozní je možné ve světové odborné literatuře zabývajících se problematikou CSO, stanovit důležitost jednotlivých faktorů, které je nutné respektovat (souhrnně uvádí R.M. Ashley a B. Krajewski; Solids in Sewers v kapitole 4.3.1. Functions of CSO a kap. 4.3.2. Sediment controls in CSO, str. 297-316):**

1. Správná funkce a údržba kanalizace ovlivňuje CSO
2. Maximální využití retenčního prostoru k zachycení prvního splachu (maximální znečištění)

3. Úprava předčištění tak, aby se zajistilo, že dopady CSO na prostředí jsou minimalizovány.
4. CSO má zajistit maximální odtok do čistírny.
5. CSO nemá ovlivnit funkci stokového systému během suchého období
6. CSO by měla být samo-čistitelná tak, aby většina pevných a odplavitelných materiálů byla odstraněna po skončení srážkové události.
7. CSO by mělo být nejen pod odbornou, ale i veřejnou kontrolou (dopady na městské prostředí). Z toho musí vycházet i výukové a školící metodiky pro veřejnost.
8. Konstrukce CSO musí umožnit dokonalý monitoring a jednotkovou kontrolu všech základních funkcí.

## 5.1 OK obecně

**Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích – Metodická příručka; Státní fond životního prostředí; Ivana Kabelková, Vladimír Havlík, Petr Kuba a Petr Sýkora (2010)**

Cílem Metodické příručky Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích (PDO) je sloužit jako pomoc při administraci Operačního programu Životní prostředí (OPŽP). Jednou z priorit tohoto programu je zlepšování vodohospodářské infrastruktury, která je podporována v prioritní ose 1, v oblasti podpory 1.1. Globálním cílem oblasti podpory 1.1 – Snížení znečištění vod je zlepšení stavu povrchových a podzemních vod, specifickým cílem je pak významné snížení znečištění a eutrofizace povrchových vod. Podporovány jsou výstavby, rekonstrukce a dostavby stokových systémů, a to převážně v aglomeracích nad 2000 EO, ale i v aglomeracích do 2000 EO, pokud leží v územích vyžadujících zvláštní ochranu, tj. národní parky a chráněné krajinné oblasti včetně jejich ochranných pásem, lokality soustavy Natura 2000, ochranná pásma vodních zdrojů, ochranná pásma přírodních léčivých zdrojů a zdrojů přírodních minerálních vod, chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV) a v povodí vodního díla Nové Mlýny. Mezi způsobilé výdaje patří jak stavba a rekonstrukce oddílné stokové sítě, tak i stavba a rekonstrukce jednotné stokové sítě. Při posuzování kvality projektu ze strany Státního fondu životního prostředí ČR,

který je zprostředkujícím subjektem OPŽP, je kladen důraz mj. na efektivnost a hospodárnost zvoleného řešení, míru snížení vypouštěného znečištění v souladu s platnou legislativou a dlouhodobou udržitelnost kanalizačního systému.

Příručka má poskytnout podporu při přípravě a administraci předložených projektů výstavby, rekonstrukce a dostavby stokových systémů v rámci OPŽP. Poskytuje rovněž podklad pro investory při zadávání a kontrole zpracování koncepcí odvodnění pro následné krátkodobé i dlouhodobé investiční plány obnovy a dostavby stokových systémů včetně posouzení priorit opatření. Zároveň je pomůckou pro zajišťování a posuzování dotačních zdrojů pro tyto účely. Podobně má sloužit i zpracovatelům generelů odvodnění. Vodoprávním orgánům dává vodítko pro posouzení požadované funkce dešťových oddělovačů.

Metodická příručka respektuje právní rámec České republiky a zpřesňuje podmínky týkající se ochrany recipientů před vlivy městského odvodnění za deště.

Právní rámec Evropské unie v oblasti vodního hospodářství a životního prostředí je dán Rámcovou směrnicí 2000/60/ES o vodní politice Společenství, jež předepisuje všem členským zemím ES, aby omezily vnos znečištění do vodních útvarů z difúzních i bodových zdrojů a aby byl do r. 2015 dosažen dobrý chemický a ekologický stav všech vodních útvarů, kde je to ekonomicky a společensky únosné. Rámcová směrnice uvádí také hlavní znečišťující látky, jejichž vnos je nutno omezit či mu zcela zabránit. Dešťové oddělovače jsou zdrojem řady těchto látek (např. nerozpuštěných látek, látek přispívající k eutrofizaci či látek, které mají nepříznivý vliv na kyslíkovou rovnováhu). Pro regulování vypouštění z bodových a difúzních zdrojů znečišťování do povrchových vod vyžaduje směrnice tzv. sdružený přístup s využitím omezování znečištění u zdroje stanovením hodnot emisních limitů a standardů environmentální kvality.

Dalšími relevantními směrnicemi ES jsou Směrnice 2006/7/ES o řízení jakosti vod ke koupání a Směrnice Rady 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod.

České harmonizované právo v oblasti vodního hospodářství vychází ze zákona č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů (novela z r. 2010), a ze zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích, ve znění pozdějších předpisů.



Podle vodního zákona (§ 5, odst. 3) jsou při provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání stavebníci povinni: „zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážkové vody“) v souladu se stavebním zákonem“ (zákon ze dne 14. března 2006 o územním plánování a stavebním řádu, ve znění pozdějších předpisů). Blíže tyto požadavky upřesňuje prováděcí vyhláška stavebního zákona č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů (změna ze dne 12. srpna 2009 (§ 20 odst. 5)), kde jsou dány priority nakládání se srážkovými vodami: „Stavební pozemek se vždy vymezuje tak, aby na něm bylo vyřešeno vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití.“

Podle vodního zákona (§ 38, odst. 4) 254/2001., o odpadních vodách bude platit, že: Vody z drenážních systémů odvodňovaných zemědělských pozemků, chladicí vody užití na plavidlech a pro vodní turbíny, u nichž došlo pouze ke zvýšení teploty, a nepoužité minerální vody z přírodního léčivého zdroje nebo zdroje přírodní minerální vody nejsou odpadními vodami podle tohoto zákona. Za odpadní vody se dále nepovažují srážkové vody z odlehčovacích komor oddílné srážkové kanalizace. 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.

Návrh novelizace zákona č. 254/2001 Sb. v § 38, odst. 3), kde je nově uvedeno: „Odvádí-li se odpadní voda a srážková voda společně jednotnou kanalizací, stávají se srážkové vody vtokem do této kanalizace vodou odpadní“ a současně novelizací § 89 Poplatky za vypouštění odpadních vod do vod povrchových odst. 1) „Právnícká nebo fyzická osoba, která vypouští odpadní vody do vod povrchových, (dále jen "znečišťovatel") je za podmínek stanovených v tomto zákoně povinna platit poplatek za znečištění vypouštěných odpadních vod a poplatek z objemu vypouštěných odpadních vod (dále jen "poplatky"). Poplatky se platí za jednotlivé zdroje znečišťování.“

**Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů Část I.**  
– Účel a hlavní principy metodické příručky; Ivana Kabelková, Vladimír Havlík, Petr Kuba a Petr Sýkora (2011)

Tento příspěvek je prvním ze seriálu článků představujících Metodickou příručku „Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích“ (PDO), která zavádí posuzování dešťových oddělovačů kombinovaným přístupem a stanoví postupy k identifikaci kritických případů narušení vodních toků v důsledku přepadů z dešťových oddělovačů. Je zde představen obsah příručky, její účel a rozsah platnosti. [54]

**Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů Část II.  
– Ochrana recipientů z emisního hlediska; Ivana Kabelková, Vladimír Havlík,  
Petr Kuba a Petr Sýkora (2011)**

Tento příspěvek je druhým ze seriálu článků představujících metodickou příručku „Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích“ (PDO), která zavádí posuzování dešťových oddělovačů kombinovaným přístupem. Tato část seznamuje s emisními kritérii pro celé urbanizované povodí i pro jednotlivé oddělovací komory a se způsobem jejich výpočtu. [54]

**Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů Část III.  
– Ochrana recipientů z imisního hlediska: Hydraulické narušení; Ivana  
Kabelková, Vladimír Havlík, Petr Kuba a Petr Sýkora (2011)**

Tento příspěvek je třetím ze seriálu článků představujících Metodickou příručku „Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích“ (PDO), která zavádí posuzování dešťových oddělovačů kombinovaným přístupem. Tato část seznamuje s imisními kritérii hydraulického narušení vodních toků přepadů z dešťových oddělovačů a se způsobem jejich výpočtu. [54]

**Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů Část IV.  
– Ochrana recipientů z imisního hlediska: Akutní toxicita amoniaku; Ivana  
Kabelková, Vladimír Havlík, Petr Kuba a Petr Sýkora (2011)**

Tento příspěvek je čtvrtým ze seriálu článků představujících Metodickou příručku „Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích“ (PDO), která zavádí posuzování dešťových oddělovačů kombinovaným přístupem. Tato část seznamuje s imisními kritérii akutní toxicity amoniaku a se způsobem jejich výpočtu. [54]

**Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů Část V.  
– Ochrana recipientů z imisního hlediska: Deficit kyslíku, nerozpuštěné látky,  
hygienické znečištění a estetické narušení; Ivana Kabelková, Vladimír Havlík,  
Petr Kuba a Petr Sýkora (2011)**

Tento příspěvek je pátým ze seriálu článků představujících Metodickou příručku „Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných zemích“ (PDO), která zavádí posuzování dešťových oddělovačů kombinovaným přístupem. Tato část seznamuje s dalšími imisními kritérii látkového narušení vodních toků přepady (kritérii pro deficit kyslíku, nerozpuštěné látky, hygienické znečištění a estetické narušení) a se způsobem jejich posouzení. [54]

**Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů Část VI.  
– Biologicko-ekologický průzkum vodního toku; Ivana Kabelková, Vladimír  
Havlík, Petr Kuba, Petr Sýkora, Gabriela Šťastná (2011)**

Tento příspěvek je šestým ze seriálu článků představujících Metodickou příručku „Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích“ (PDO), která zavádí posuzování dešťových oddělovačů kombinovaným přístupem. Tato část seznamuje s biologicko-ekologickým průzkumem vodního toku, zahrnujícím posouzení viditelných projevů narušení vodního toku, jakosti vody, hydromorfologického stavu vodního toku a makrozoo-bentosu. [54]

**Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů Část  
VII. – Doporučený postup prací, stanovení priorit opatření a kontrola jejich  
účinnosti; Ivana Kabelková, Vladimír Havlík, Petr Kuba, Petr Sýkora (2011)**

Příspěvek je posledním ze seriálu článků představujících Metodickou příručku „Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích“ (PDO), která zavádí posuzování dešťových oddělovačů kombinovaným přístupem. Je zde doporučen postup prací při posuzování vlivu dešťových oddělovačů na recipienty, stanovení priorit opatření a kontrole jejich účinnosti. [54]

**Informační systém oddělovacích komor a jejich vlivů na vodní toky Část I. –  
Koncepte a funkcionalita; Ivana Kabelková, Tomáš Metelka, Filip Krejčí, David  
Stránský, Gabriela Šťastná (2014)**

V článku je představen Informační systém oddělovacích komor a jejich vlivů na vodní toky (ISOK), který ukládá, vyhodnocuje a zobrazuje data z výpočetního a ekologického posouzení vlivů městského odvodnění na vodní toky za deště a umožňuje jejich provázání. ISOK slouží k identifikaci problematických míst systému městského odvodnění za deště a je pomůckou pro prioritizaci nápravných opatření v různých prostorových měřítkách – od lokálního po regionální. Tento článek je prvním z dvoudílné série a seznamuje nejprve s metodikami posuzování a následně s koncepcí a funkcionalitou ISOK, zejména jeho nástroji. [55]

**Informační systém oddělovacích komor a jejich vlivů na vodní toky Část II. – Aplikace na pilotním povodí; Ivana Kabelková, Tomáš Metelka, Filip Krejčí, David Stránský, Gabriela Št'astná, David Hrabák (2014)**

Informační systém oddělovacích komor a jejich vlivů na vodní toky (ISOK) byl vyvíjen a testován na pilotním povodí Příbram. V příspěvku je představeno komplexní vyhodnocení a jeho vizualizace. Výpočetním posouzením byla identifikována nízká účinnost odvádění nerozpuštěných látek na biologický stupeň ČOV, hydraulický stres v téměř celém posuzovaném úseku Příbramského potoka, vlivy nerozpuštěných látek již od prvního dešťového oddělovače a toxicita amoniaku v dolní části Příbramského potoka. Posouzením morfologie Příbramského potoka a Litavky byly zjištěny závažné deficity, které jsou hlavní příčinou toho, že ekologický stav ve všech sledovaných profilech je v kategorii poškozený a dopady městského odvodnění na změnu struktury společenstva makrozoobentosu nejsou téměř patrné. Případná opatření tedy musí cílit především na zlepšení morfologického stavu obou vodních toků. [55]

**Předčištění odpadních vod na stokové síti; Denisa Doskočilová, Diplomová práce VUT Brno (2015)**

Příspěvek se věnuje nařízení vlády 23/2011 Sb. Ze dne 22.12.2010, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění vlády č. 229/2007 Sb. [61] Nařízení vlády 61/2003 bylo platné do 1.1.2011, ruší 416/2010 platné do 1.1.2016, a v platnost vstupuje nařízení vlády 401/2015.

## 5.2 Trubní odlehčovací komora

### Trubní odlehčovací komora jako ekologicko-ekonomické řešení, Jaroslav Pollert (2008)

V roce 2005 jeden z předních českých výrobců sklolaminátového potrubí – HOBAS – požádal Katedru zdravotního a ekologického inženýrství na Stavební fakultě ČVUT v Praze o vývoj nového typu odlehčovací komory, která by se stala součástí jejich výrobního programu. Hlavními požadavky byly ekonomická výroba, jednoduchá montáž na místě a zvýšení ochrany recipientu.

Pro tyto podmínky byla vyvinuta Trubní odlehčovací komora, která respektuje požadavky výrobce. V principu je trubní odlehčovací komora sestavou dvou na sobě ležících trub, které jsou vzájemně propojeny štěrbinou. Při zvýšeném průtoku, který nestačí škrťící trasa odvádět, dojde ke zvýšení hladiny ve spodní troubě a po dosažení úrovně propojovací štěrbinou je přebytečná a minimálně znečištěná voda odváděna do odlehčovací stoky a dále do recipientu. Princip mechanického předčištění je založen na existenci příčného proudění, které je podpořeno právě spodní přepadovou štěrbinou. Matematickým modelováním proudění nerozpustných částic v trubní odlehčovací komoře a měřeními na fyzikálním modelu byly porovnány výsledky proudění, které mají vliv na separaci nerozpuštěných látek.

V dubnu 2007 byly instalovány první „Trubní odlehčovací komory TOK“ v České republice – v Moravském Krumlově a v Děčíně. Podmínkou bylo nepřekročení finančních potřeb pro dodávku a montáž TOK oproti klasické OK s boční přepadovou hranou. Možnosti rychlé instalace byly vyzkoušeny na TOK Děčín. Objekt byl umístěn na velmi frekventované silnici, proto osazení proběhlo přes noc, a to i přes relativně velké rozměry – přítokové potrubí bylo DN1000.

Tímto byl završen několikaletý vývoj nového typu odlehčovacích komor, který respektuje ekologicko-ekonomické požadavky. Doufáme, že tento nový typ pomůže při výstavbě a rekonstrukci OK, že zlevní výstavbu, a v neposlední řadě zlepší separaci nerozpuštěných látek, tím lépe ochrání recipient před znečištěním a tím naplní Evropskou směrnici vodní politiky 2000/60/EC. [56]

### **Posouzení odlehčovací komory Debř nad Jizerou, Mladá Boleslav; Jaroslav Pollert, Ondřej Balihar, Jiří Fridrich (2010)**

Posouzení funkce odlehčovací komory v obci Debř nad Jizerou. Měřená odlehčovací komora (OK) se nachází v obci Debř nad Jizerou u Mladé Boleslavi v ulici U hřbitova. Její přepad vede pod silnicí č. 38 do inundačního území řeky Jizery. [57]

### **Porovnání účinností separace nerozpuštěných látek v odlehčovací komoře CSO-T ve skutečnosti a matematickém modelu; Jaroslav Pollert, (2012)**

Při vývoji tohoto nového typu odlehčovací komory bylo nutné sledovat nové zákonné úpravy, a to zejména Rámcovou směrnicí o vodě 2000/60/EU a Vodní zákon 254/2001 Sb. V České republice. Pro tyto podmínky byla vyvinuta odlehčovací komora s názvem CSO-T. Velkou výhodou je jednoduchost stavby, možnost samočištění a také vyšší účinnost k oddělení nečistot. Právě účinnost čištění, resp. oddělení nerozpuštěných látek, tak aby znečištění pokračovalo na čistírnu odpadních vod, zatímco „čistá voda“ přepadala do recipientu, je hlavním tématem tohoto článku. [58]

### **Porovnání vlivu odlehčovací komory před a po rekonstrukci na recipient pomocí měření a matematického modelu; Jaroslav Pollert, Petr Chmátal, Jana Nábělková, Kristýna Soukupová, Karel Kříž, Renata Nováková (2013)**

Porovnání matematického modelu s realitou je základem důvěryhodnosti metodiky a matematického modelování obecně. Příspěvek demonstruje metodiku komplexního monitoringu zaměřeného na vyhodnocení funkce odlehčovací komory (OK) a posouzení jejího vlivu na recipient. Monitoring zahrnuje online sledování hydrologických ukazatelů ve stokové síti, kontinuální odběr vzorků během srážkové události a jejich chemické hodnocení. Dále sleduje posouzení kvality vody v recipientu z okamžité i dlouhodobé perspektivy. Na základě dat získaných monitoringem, s využitím matematického modelování, je navrženo účinné řešení. Opakovaný monitoring je ověřením správnosti realizovaného řešení. Zároveň na tomto příkladu je ukázána shoda obou přístupů. Metodika je prezentována na lokalitě Debř. Měření na OK ukázalo dobrou shodu reálných účinností separace nerozpuštěných látek s matematickým modelem. Zvýšení separační účinnosti po

rekonstrukci OK se potvrdilo. Nově instalované OK v průměru sníží znečištění do recipientu o 30-50 % a je patrné snížení vlivu OK na chemickou kvalitu vody v recipientu. [59]

**Monitoring funkce trubní odlehčovací komory v Debři u Mladé Boleslavi;  
Jaroslav Pollert, Nováková Renata, Jana Nábělková, Kristýna Soukupová  
(2014)**

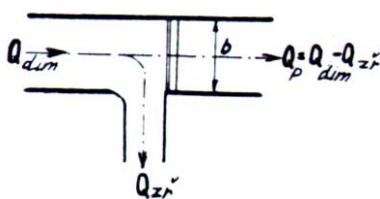
Tento příspěvek je zaměřen na posouzení funkce nově zrekonstruované odlehčovací komory v Debři nad Jizerou. V roce 2012 byla původní odlehčovací komora, která neplnila svou funkci, nahrazena modifikovaným typem trubní odlehčovací komory. Měření bylo založeno na on-line monitoringu a bodových odběrech vody a sedimentu. [60]

## 6 Druhy odlehčovacích komor

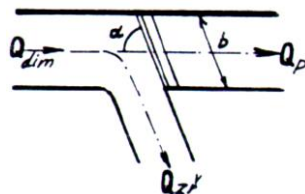
### 6.1 Odlehčovací komora s přelivem

#### a) Příným

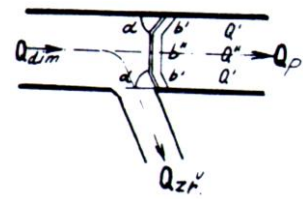
Odlehčovací potrubí pokračuje v ose potrubí přívodního, tudíž odpadní voda protéká přímo a potrubí směřující na ČOV odbočuje. Hlavní typy se odlišují tvarem a orientací přelivné hrany. [2]



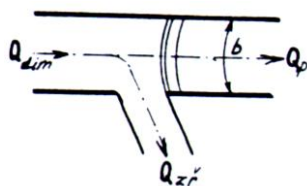
Obrázek 3 - OK s kolmým přelivem [1]



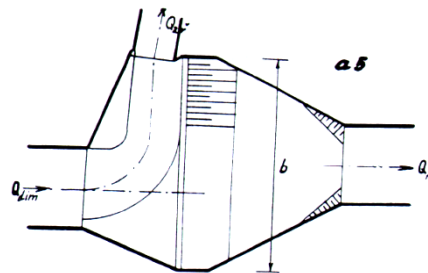
Obrázek 4 - OK s šikmým přelivem [1]



Obrázek 5 - OK s lomeným přelivem [1]



Obrázek 6 - OK s obloukovým přelivem [1]

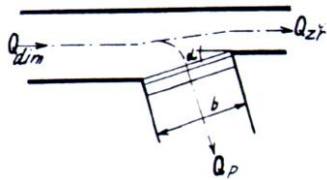


Obrázek 7 - OK s přímým kolmým přelivem v oblouku [1]

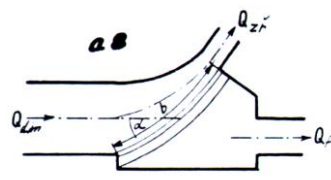
#### b) Jednostranným bočním přelivem

Směr odlehčovacího potrubí je odkloněn od směru přívodního potrubí. Lze zvýšit účinnost umístěním bočního přelivu do vnějšího oblouku. U tohoto typu se využívá odstředivá síla proudící vody. [2]

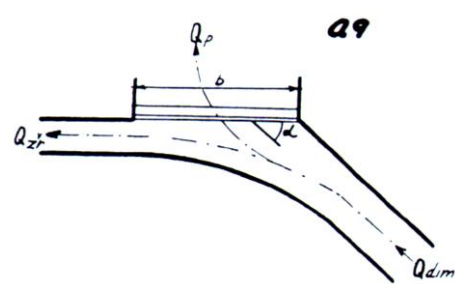




Obrázek 8 - OK s přelivem s šikmou hranou [1]



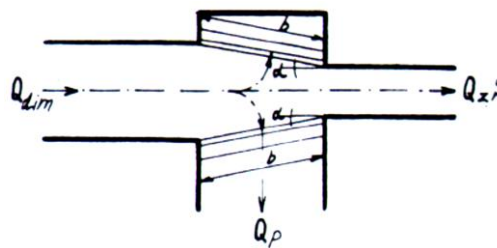
Obrázek 9 - OK s přelivem s hranou v oblouku [1]



Obrázek 10 - OK s přelivem s tangenciální hranou [1]

### c) Oboustranným bočním přelivem

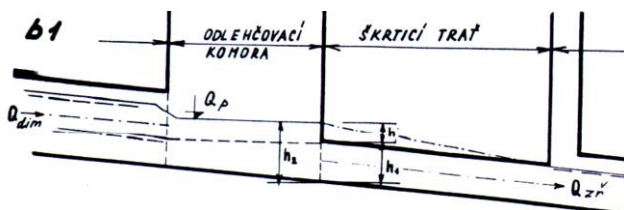
Hlavní výhodou OK s oboustranným bočním přelivem je oproti předchozím druhům délka přelivné hrany, která je po obou stranách a tím se může zkrátit celá délka OK. [2]



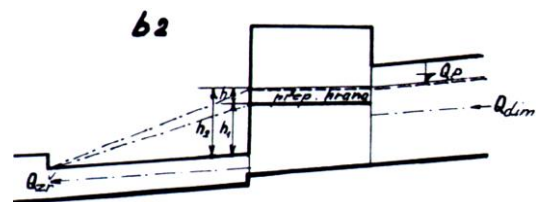
Obrázek 11 - OK s oboustranným přelivem se šikmou hranou [1]

## 6.2 Odlehčovací komora se škrťací trati

Mezi odlehčovací komoru a potrubí pokračující na ČOV je vloženo potrubí s menším průměrem. To způsobí vzduť hladiny v komoře a následný přepad přes přímou nebo boční přepadovou hranu. [2]



Obrázek 12 - OK se škrťací trati s nízkou přelivnou hranou [1]

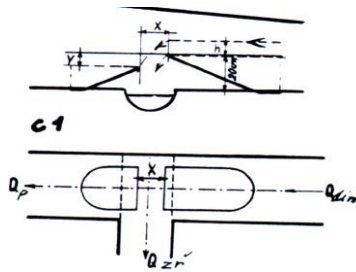


Obrázek 13 - OK s vysokou přelivnou hranou [1]

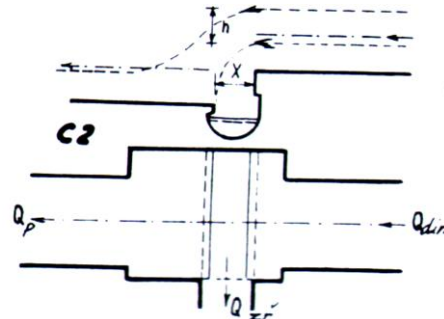
## 6.3 Odlehčovací komora s přepadajícím paprskem

Tento druh OK pracuje na principu rozdělení přepadajícího paprsku. Při malém průtoku propadnou vody do žlábků, kterým odtékají na ČOV. Při velkém průtoku část

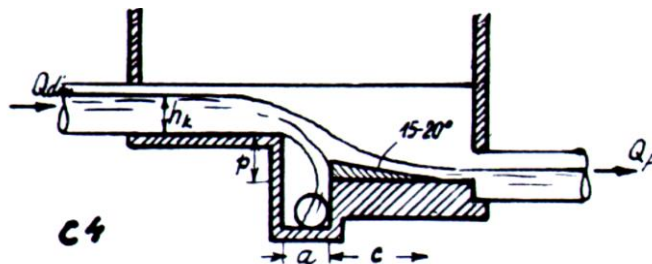
vody propadá do žlábků a část vody přeteče a odtéká do recipientu. (Obr. 14, Obr. 15, Obr. 16, Obr. 17) [2]



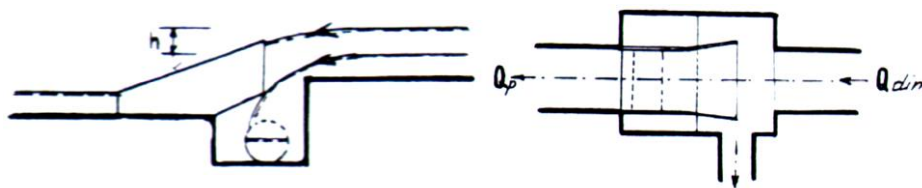
Obrázek 14 - OK s přepadem přes štěrbinu vytvořenou pomocí ocelových desek (1)



Obrázek 15 - OK s přepadem přes štěrbinu vytvořenou ve dně stoky (1)



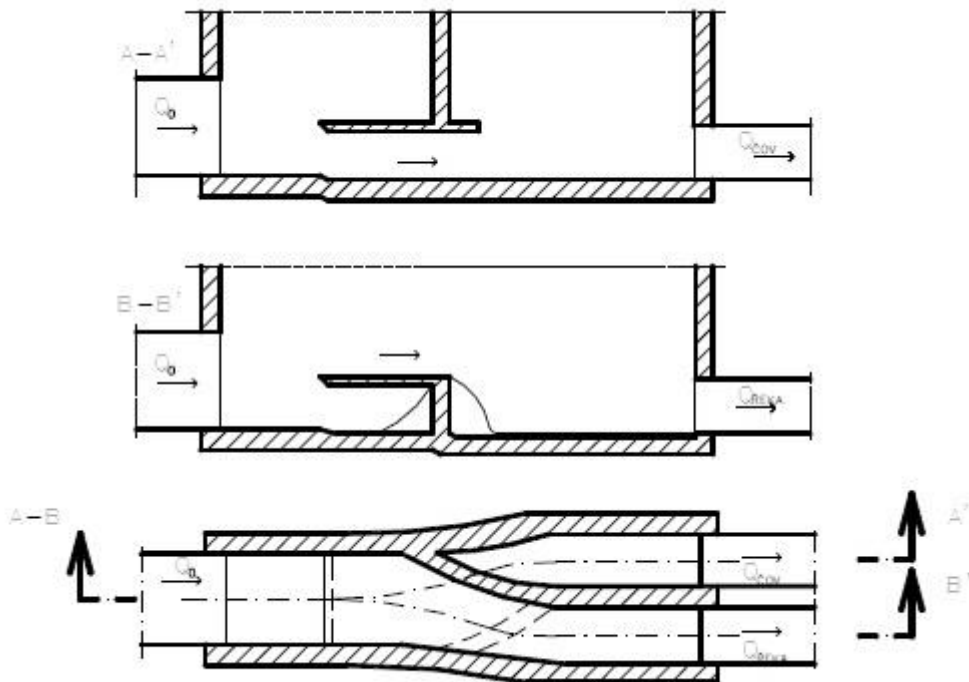
Obrázek 16 - OK s přepadem přes štěrbinu ve dně s prahem (1)



Obrázek 17 - OK s přepadem přes štěrbinu ve dně stoky do nastaveného plechového žlabu (1)

## 6.4 Odlehčovací komora s horizontální dělicí stěnou

Ve vodorovné poloze je umístěn břít. Při bezdeštném průtoku je břít podtékán. Při větších průtocích břít horizontálně rozdělí proudící vodu. Tudíž část vody jde do recipientu a část na ČOV. [2]



Obrázek 18 - OK s horizontální dělicí stěnou (2)

## 6.5 S mechanickým předčištěním

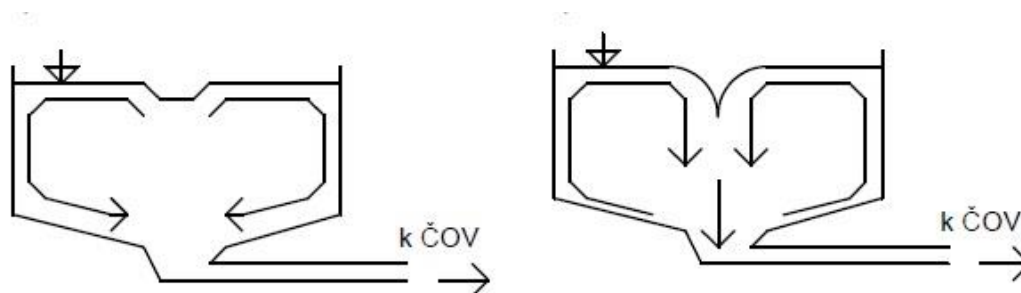
### a) Vírové a vířivé separátory

Běžně se používají dva druhy separátorů. Rozlišují se podle odvádění vody: s přelivnou hranou uvnitř a s přelivnou hranou vně. [1]

Separátory jsou odlehčovací komory a fungují na principu odstředivé síly, čímž se odstraňují nerozpuštěné látky. Dle typu proudění se rozlišují separátory na vírové a vířivé. (Obr. 19) [1]

U vířivého separátoru je proudění hlavního proudu nerozpuštěných látek směřováno od středu nádrže při hladině směrem k obvodovým stěnám, dále kolem nich klesá ke dnu a postupuje do středu nádrže. Odstředěné látky jsou sunuty a zachyceny ve středu nádrže v kališti. Na hladině u středu nádrže vzniká prohlubeň a jsou zde zachyceny plovoucí látky. Veškeré látky, které jsou zachyceny v kališti, jsou odvedeny na ČOV. [1]

U vírového separátoru je proudění opačné tzn., že jsou také látky vedeny podél obvodových stěn, ale ode dna k hladině a pak dále po hladině ke středu. Zde se utvoří vír. Vzdušné jádro víru dosahuje až ke kališti. Plovoucí i usaditelné nečistoty odcházejí společně na ČOV. Jaké proudění bude v separátoru, záleží na několika faktorech: na množství a rychlosti přitékající vody, na hloubce vody v nádrži, na množství vody přepadající do recipientu a množství a rychlosti vody odtékající



Obrázek 19 - Vírové a vířivé separátory (1)

potrubím na ČOV. Vířivé proudění nastane tehdy, pokud odtéká na ČOV asi 1–5 % přítoku, vírové pak při odtoku na ČOV 10 a více %, v závislosti na hloubce vody. [1]

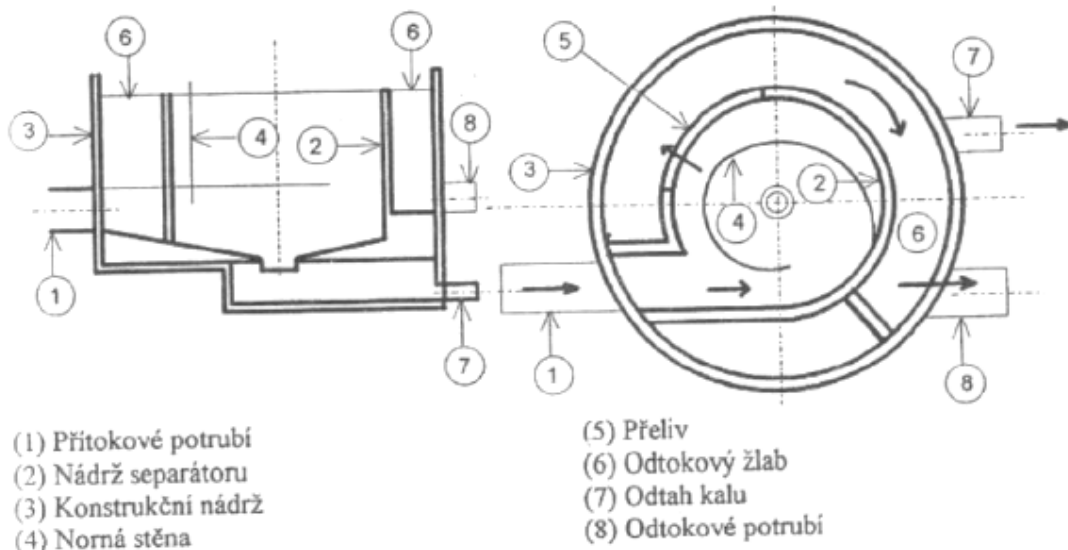
### b) Typy s přelivnou hranou vně nádrže

*Typ dle Balmofortha (Obr. 20)*

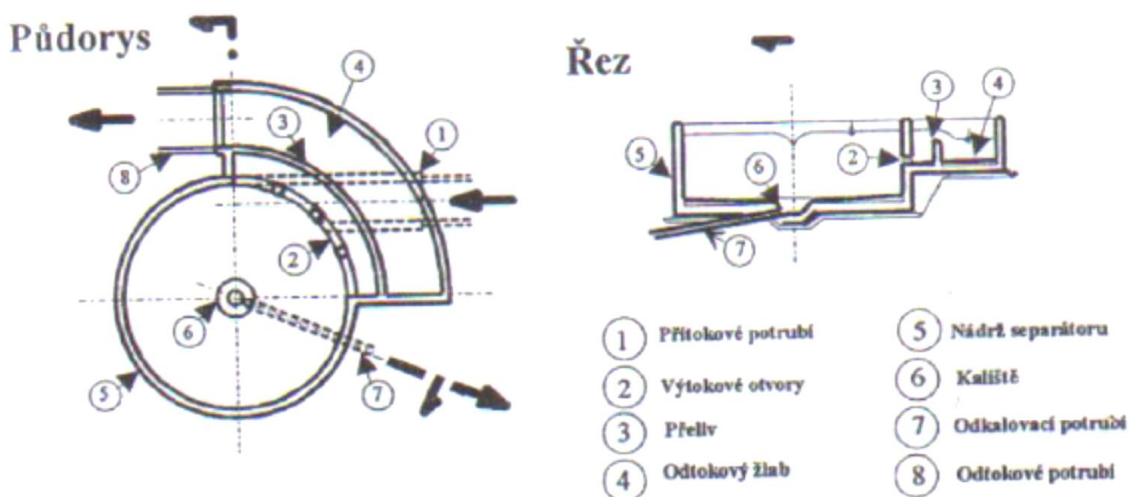
OK je vytvořena dvěma kruhovými nádržemi. Jedna funguje jako nádrž a druhá je v mezikruží, které využívá pro odtok. Splašky jsou přiváděny tangenciálně na dno nádrže. Norná stěna ve tvaru spirály je ve středu separátoru, poslední část je pak upravena jako přelivná hrana. Kal je mířen ke středu nádrže a odtud je odveden na ČOV. [3]

*Typ ČVUT (Obr. 21)*

Tento separátor byl vyvinut na ČVUT Praha a vychází z typu separátoru USEPA (viz níže). Nátok je přiveden tangenciálně ke dnu nádrže a zde se vytvoří spirálovitý vír. Přeliv a norná stěna jsou umístěny v poslední čtvrtině nádrže, z tohoto místa je voda odvedena do recipientu. Kal se odděluje do středu nádrže, kde je umístěno kaliště. [3]



Obrázek 20 - Typ separátoru dle Balmofortha [3]



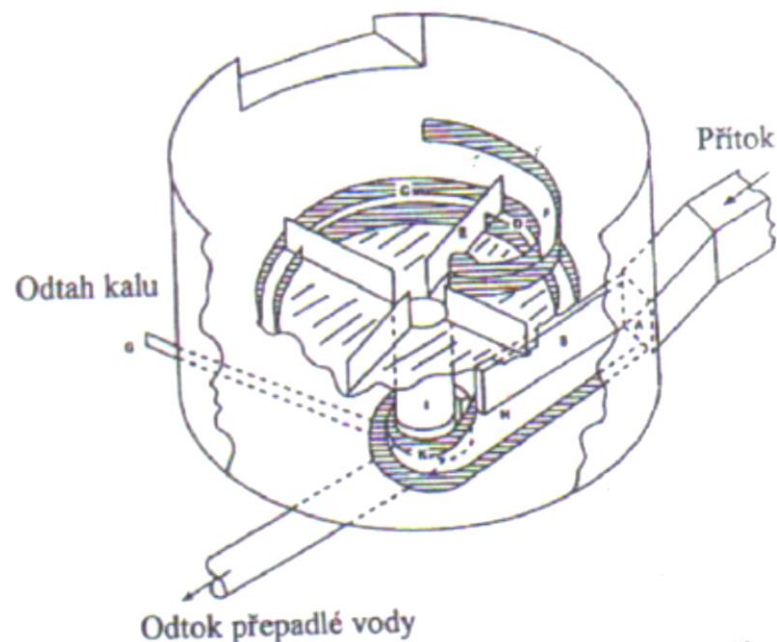
Obrázek 21 - Typ separátoru ČVUT [3]

### c) Typy s přelivnou hranou uvnitř nádrže

Typ USEPA (Obr. 22)

Nátok do separátoru je tangenciálně veden u dna a zde vtéká do nádrže kruhového tvaru, tady vytvoří dvojitou spirálu, která vede ke středu nádrže. U přítoku se nachází odražeč proudu, který je nápomocný při vytvoření víru. Díky prodloužené přelivné hraně je umístěn u hladiny talíř s vnější přelivnou hranou. Před touto hranou je umístěná normá stěna kruhového tvaru, aby nedocházelo k odnosu nečistot do

recipientu. Nečistoty na hladině jsou strženy pod talíř a vír je přesune do kaliště a následně jsou odvedeny na ČOV. [3]



Obrázek 22 – Oddělovač dešťových vod typu USEPA (1)

### Typ Fluid Vortex – FLOSEP

Nátok je taktéž přiveden u dna nádrže. U hladiny je upevněn vertikálně válec. Ten vytváří pod hladinou vnitřní jádro separačního prostoru. Proti odtoku látek do recipientu je okolo válce umístěna normá stěna. Mezi válec a normou stěnu je hnána voda, která je odváděna mimo separátor. Dno u tohoto typu separátoru je vypouklé, zde je umístěno kaliště a z něho jde kal a ostatní nečistoty na ČOV. [3]

Do středu výšky nádrže je veden tangenciálně přítokový proud. V nádrži jsou umístěny horizontálně talíře, ty mají za úkol zachytit v první řadě kal, ale také vznášející se nečistoty. Z vrcholového talíře je proveden přepad do postranního žlabu a odtud je voda odvedena do recipientu. Kal je potom odváděn žlábkem na dno žlabu a dále na ČOV. [3]

#### **d) Storm fox (1)**

Tento typ OK prezentuje vlastnost většího průměru přítokového potrubí než odtokového. To má za následek snížení rychlosti v odlehčovací komoře a tím i zlepšení usazování nerozpuštěných látek u dna. Zmenšený profil na konci hlavní části OK má při zvýšeném průtoku nedostatečnou kapacitu, to zapříčiňuje zvedání hladiny v hlavní komoře. Zvyšující se hladina je filtrovaná přes Copa CSO síť (tato síť je patentová část OK firmy EIMCO Watertechnologies). Síť má za úkol zachytávat plovoucí nečistoty a neusazené látky ve vodě. Je uložena horizontálně cca v polovině OK. Přepad do recipientu je řešen dvěma potrubími. Ty jsou instalovány vedle Copa CSO sítí (1)

Tato komora se dodává jako prefabrikát. Z toho plyne několik zásadních výhod. Hlavní výhodou je malá váha a z toho plynoucí jednoduchost při manipulaci a převozu, další výhodou je, že se jedná o prefabrikát, tudíž výrobek, který je smontován ve výrobě a na stavbu je dovezen jako jeden kus. Tím odpadá nutnost technologických přestávek při klasickém postupu výstavby jiných OK. Dalšími výhodami jsou: odolnost vůči korozi, bezúdržbovost a rychlá instalace. (1)

## **6.6 Ostatní typy**

### **a) Odlehčovací komora s plovákem**

Tento typ OK je postaven na principu plováku, který se při zvýšené hladině otevírá a voda odtéká do recipientu. Jako příklad – štítový oddělovač

### **b) Odlehčovací komora se stavítkem**

Tato OK je založena na principu regulace odtoku pomocí stavítka.



## 6.7 Trubní odlehčovací komora (Hobas CSO Chamber)

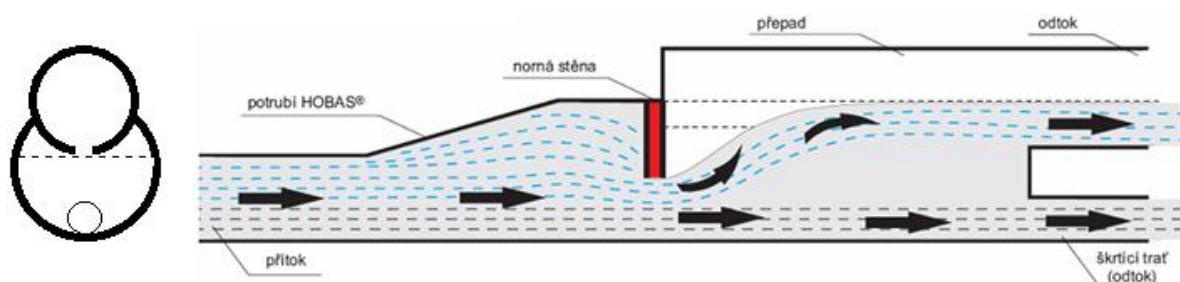


Obrázek 23 - Instalace CSO v Moravském Krumlově (13)

Trubní odlehčovací komora CSO Hobas Chamber byla vyvinuta na katedře zdravotního a ekologického inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha ve spolupráci s firmou HOBAS. Tato OK klade hlavní důraz na jednoduchou konstrukci, levnou výrobu, snadnou obsluhu a bezproblémový a bezpečný provoz. Nejvhodnější umístění pro tento typ OK je rovinaté území, kde lze využít přítokové potrubí jako retenční (z tohoto důvodu musí být potrubí navrženo jako tlakové). V důsledku toho se poté zlepší proudění v CSO a taktéž je zachycen primární splach. Komora je vytvořena ze sklolaminátu, který má minimální drsnost stěn a tudíž lépe odolává sedimentaci v CSO. Kompletní komora je vyrobena v montovně dodavatele a na stavbu se dováží v celku. Další nespornou výhodou je rychlost instalace bez technologických přestávek. (3)



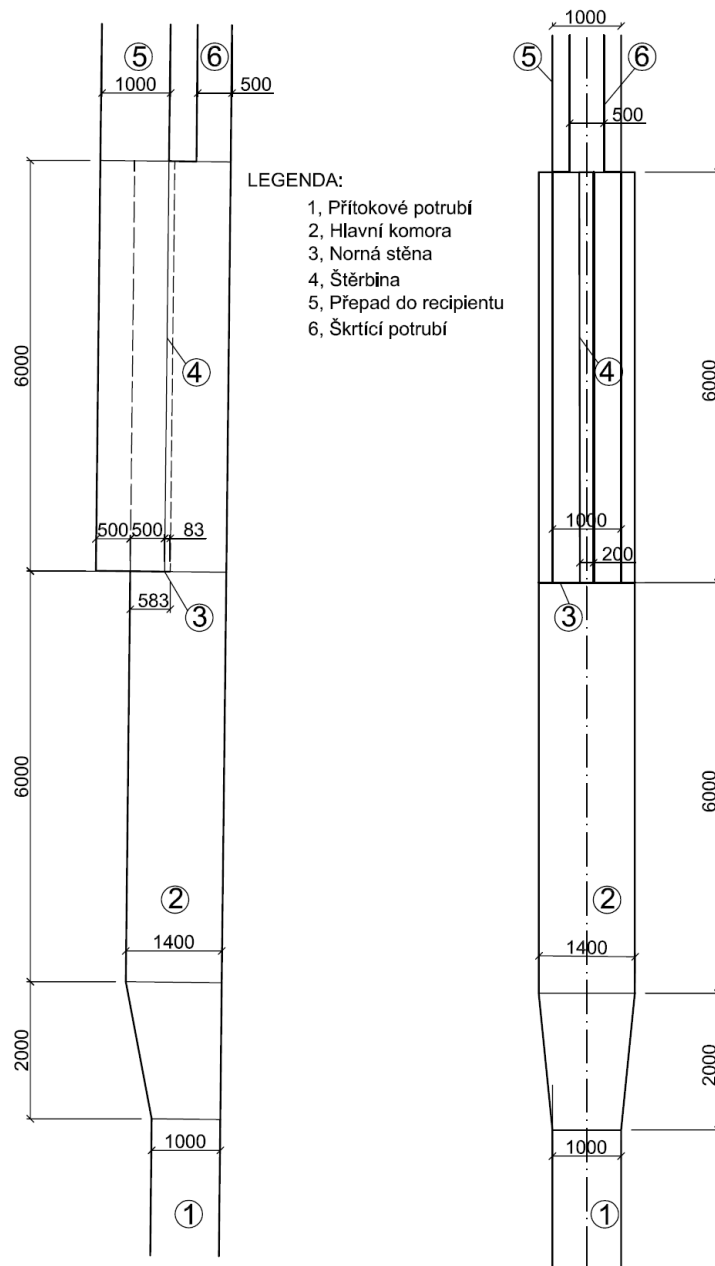
„V principu je trubní odlehčovací komora sestavou dvou na sobě ležících trub, které jsou vzájemně propojeny štěrbinou, která je proříznuta podélně vespod přepadového potrubí. Při zvýšeném průtoku, který nestačí škrťací trasa odvádět, dojde ke zvýšení hladiny ve spodní trubě a po dosažení úrovně propojovací štěrbiny (horní přepadová hrana) je přebytečná a minimálně znečištěná voda odváděna do odlehčovací stoky a dále do recipientu. Její umístění na vrchu přítokového potrubí má za úkol zlepšit příčné proudění, které má pozitivní vliv na separaci nerozpuštěných látek. Princip mechanického předčištění je podpořen existencí příčného proudění oproti klasickým řešením (např. boční přepadová hrana), kdy dojde ke zviření nerozpuštěných látek a sedimentu narušením přirozeného proudění.“ [4]



Obrázek 24 - Schéma proudění v CSO Hobas chamber [13]

CSO Hobas Chamber byla vyvíjena na základě fyzikálního a matematického modelování. Na nich se zkoumal vliv proudění na separaci nerozpuštěných látek. Taktéž se zkoušely ve fyzikálním i matematickém modelu odlišné varianty přepadové štěrbin.

## 7 Trubní odlehčovací komora CSO Hobas Chamber



Obrázek 25 - Celkové schéma trubní odlehčovací komory [62]

### 1. Přítokové potrubí

Přítokové potrubí musí být dostatečně dlouhé před odlehčovací komorou, aby nedocházelo k turbulentnímu proudění ( $Fr < 1$ ). Proto musí být přítokové potrubí rovné minimálně dvanáctinásobek průměru přítokového potrubí, tzn.  $12D$ . Pokud tento požadavek nelze splnit, musí být před komoru instalována komora pro uklidnění energie. [4] [62]

## 2. Hlavní komora

Komora je zvětšena oproti přítokovému potrubí o 1,4násobek DN. Je zde umístěna také revizní šachta pro obsluhu, ta se nachází před nornou stěnou. Z bezpečnostního hlediska je umístěn u revizní šachty nouzový odtok. Je opatřen šoupětem, které lze ovládat z šachty nad úrovní celého objektu. Tento odtok je instalován kvůli nouzové situaci, kdyby došlo k ucpání odtokového potrubí na ČOV a CSO by byla celá pod vodou. [4] [62]

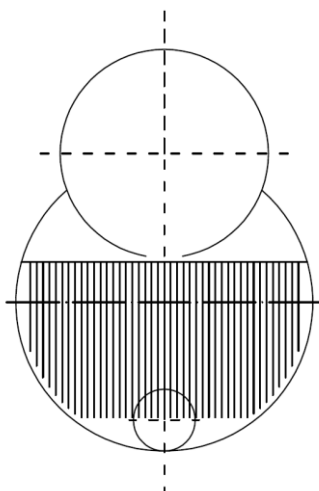
## 3. Norná stěna

Před přeřadovou štěrbinou je instalována norná stěna. Ta má za úkol zachytávat plovoucí nerozpuštěné látky. Při poklesu hladiny v CSO jsou nečistoty odplaveny na ČOV. Dle potřeby lze nornou stěnu překloupat a použít jí jako provizorní hrazení při možných opravách. [4]



Obrázek 26 - Norná stěna (13)

Česle jsou důležitou součástí CSO, mají zamezit vtoku větších a plovoucích nečistot do recipientu. Česle jsou rozmístěné po celé délce odlehčovací komory. Počet polí je 5, jsou kyvné s odklonem až 45° od svislice. Pruty česlic jsou o průměru 14 mm a světlá šířka je 30 mm, mezera mezi česlicemi a komorou je rovna polovině průměru odtokového potrubí. [4] [62]



Obrázek 27 - Řez inteligentními kyvnými česlemi [62]

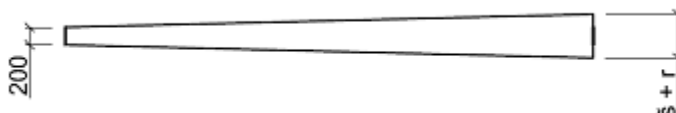
#### 4. Přepadová štěrbina

Štěrbinou protékají naředěné vody, ty jsou odváděny již přímo do recipientu. Kvůli déletrvajícím či přívalovým deštům se zvedne v komoře hladina a voda přechází přes štěrbinu do potrubí.

Pro přepadovou štěrbinu jsou navrženy dva základní tvary. U prvního z nich se jedná o jednoduchý obdélník, který se používá u komor s velikostí přítokového potrubí do DN 1000. Druhý typ štěrbiny má tvar lichoběžníku. Ten se používá u komor s přítokovým potrubím o velikosti DN 1000 a větší. [4] [62]



Obrázek 28 - Obdélníková štěrbina [62]



Obrázek 29 - Lichoběžníková štěrbina [62]

## **5. Přepad do recipientu**

Tímto potrubím je voda při dešťové události odváděna do recipientu.

## **6. Škrťací potrubí**

Při normálním bezdeštném stavu převádí škrťací potrubí veškerý průtok na ČOV. Za deště škrťací potrubí reguluje odtok na ČOV tak, aby byl konstantní. Oproti přítoku má menší DN a proto i omezenou kapacitu. To při dešti způsobuje neodvedení veškerého přítoku na ČOV a voda se hromadí v OK a zvedá se hladina. [4] [62]

## 8 Měření tlakových ztrát

### 8.1 Návrh metodiky měření na CSO

*„V principu je trubní odlehčovací komora sestavou dvou na sobě ležících trub, které jsou vzájemně propojeny štěrbinou, která je proříznuta podélně vespod přepadového potrubí. Při zvýšeném průtoku, který nestačí škrťací trasa odvádět, dojde ke zvýšení hladiny ve spodní trubě a po dosažení úrovně propojovací štěrbin (horní přepadová hrana) je přebytečná a minimálně znečištěná voda odváděna do odlehčovací stoky a dále do recipientu. Její umístění na vrchu přítokového potrubí má za úkol zlepšit příčné proudění, které má pozitivní vliv na separaci nerozpuštěných látek. Princip mechanického předčištění je podpořen existencí příčného proudění oproti klasickým řešením (např. boční přepadová hrana), kdy dojde ke zvíření nerozpuštěných látek a sedimentu narušením přirozeného proudění.“ [4]*

#### 8.1.1 Posouzení účinnosti CSO

Hydraulický výkon může být vyjádřen v kapalných objemech, použitím termínu "flow split" (oddělení):

$$\text{Flow split} = \frac{\text{storm volume retained in the system}}{\text{total storm inflow volume}}$$

Rozdělení může být také vyjádřeno ze zatížení znečišťujících látek (kumulativní hmotnost znečišťující látky), používat termín „total efficiency“ (celková účinnost):

$$\text{Total efficiency} = \frac{\text{storm load retained in the system}}{\text{total storm inflow volume}}$$

Celkové zatížení znečištěním zůstávajícím v systému/ celkovému zatížení

Oba termíny jsou nutné pro posouzení funkčnosti CSO pomocí termínu „treatment factor“ (čistící faktor).

$$\text{Treatment factor} = \frac{\text{Total efficiency}}{\text{Flow split}}$$

**a) Provozní posouzení – stávajících osazených CSO**

1. provozní problémy
2. problémy při povodních – zpětné zaplavení stokového systému
3. jiné problémy

**b) Kvantitativní posouzení – měření in-situ**

1. množství oddělené vody – zda odpovídá návrhu
2. množství odtokové vody – způsob regulace a vhodnost jeho použití
3. retence vody

**c) Kvalitativní posouzení – měření in-situ**

1. estetické znečištění – viditelné znečištění recipientu
2. vnos sedimentu do toku – zrnitostní rozbor, množství těžkých kovů apod.
3. jiné parametry

**d) Vyhodnocení**

1. vyhodnocení měření in-situ
2. měření na fyzikálním modelu, fyzikální modelování samočisticích česlí (snížení estetického znečištění)
3. verifikace výsledků matematickým modelem (FLUENT)
4. doporučení úprav CSO pro jednotnou stokovou síť (vliv terénu, atd.)

Znečištění odpadní vody se obecně dělí na dvě základní skupiny: rozpuštěné a nerozpuštěné látky. Při kvalitativním posouzení se soustředíme na nerozpuštěné látky (znečišťující částice). Částice jsou charakterizovány velikostí, hmotností (hustotou) a tvarem.

## 8.1.2 Hydraulické ztráty

### 8.1.2.1 Ztráty třením

„Ztráty třením  $Z_t$  vznikají po celé délce proudu a jsou jí úměrné. Jsou způsobeny vnitřními silami v proudící vazké tekutině a tečným napětím u tuhé stěny vedení, tj. třením mezi jednotlivými vrstvami vazké tekutiny a třením o stěny.“ [11]

Rovnice 1 - Ztráty třením

$z_t = \lambda \frac{L v^2}{D 2g}$	( 1 )
------------------------------------	-------

$z_t$  – ztráty třením (m),  $\lambda$  – součinitel tření (-),  $L$  – délka (m),  $D$  – průměr potrubí (m),  $v$  – rychlost proudění (m/s),  $g$  – gravitační zrychlení (m/s<sup>2</sup>)

### 8.1.2.2 Ztráty místní

„Ztráty místní  $Z_i$  jsou způsobeny deformací rychlostního pole při změně průtočného průřezu nebo směru proudění, vytvářením nebo rozpadem vírů při obtékání překážek či při průtoku prvky tuhého vedení; index  $i$  označení místní ztráty se mění podle jejího druhu, např. ztráta vtokem  $Z_v$ , rozšířením průřezu  $Z_r$ , změnou směru  $Z_s$  apod.“ [11]

Rovnice 2 - Ztráty místní

$z_i = \xi \frac{v^2}{2g}$	( 2 )
----------------------------	-------

$\xi$  – koeficient ztrát (-),  $\Delta h$  – rozdíl hladin (m),  $z_t$  – ztráty třením (m),  $v$  – rychlost proudění (m/s),  $g$  – gravitační zrychlení (m/s<sup>2</sup>)

Výsledná ztráta se stanoví jako součet všech jednotlivých ztrát (i když se dopouštíme určité nepřesnosti). [62]

Rovnice 3 - Ztráty celkové

$Z = \sum Z_t + \sum Z_i$	( 3 )
---------------------------	-------

$Z$  – celkové ztráty (m),  $Z_t$  – ztráty třením (m),  $Z_m$  – místní ztráty (m)

Každá deformace rychlostního pole prvky, který způsobuje místní ztrátu v dalším navazujícím úseku vyvolává ztrátu třením a další místní ztráty, pokud jsou poruchové prvky blízko za sebou. Jedná se zejména o ztráty v tvarovkách, armaturách a dalších částech potrubí, kde se mění směr nebo velikost rychlosti proudění. [62]

Hydraulickou ztrátu a ztrátovou výšku nám mezi dvěma průřezy při ustáleném proudění udává Bernoulliho rovnice součtem rozdílů polohových, tlakových a rychlostních výšek v průřezu 1 a v průřezu 2 daného úseku potrubí. [62]



Rovnice 4 - Bernoulliho rovnice

$$Z = \left( h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left( h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) = \Delta h + \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{\Delta(\alpha v^2)}{2g} \quad (4)$$

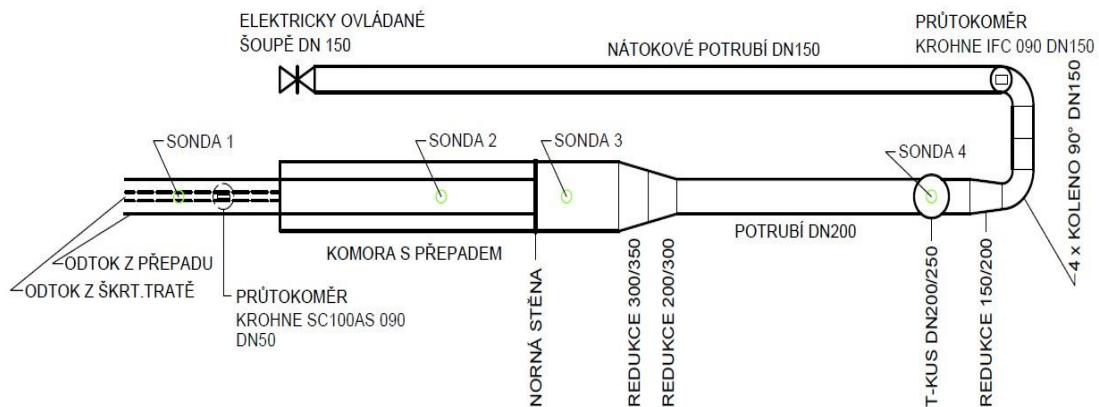
V našem případě u CSO se ve ztrátách projevuje hlavně tlakové proudění před komorou, kónické rozšíření při nátoku do komory, normá stěna, česle, štěrbina u přeřadu a následný odtok. [62]

## 8.2 Série měření tlakových ztrát

Model Hobas CSO Chamber byl umístěn ve Vodohospodářském Experimentálním centru na ČVUT FSV. Byl vyroben převážně z průhledného plastu a trub z PVC a to v měřítku 1:5. [62, str. 40]



Obrázek 30 - Fyzikální model Hobas CSO Chamber [62]



Obrázek 31 - Celkové schéma umístění modelu v laboratoři [62, str. 40]

## 8.2.1 Popis měření

### 8.2.1.1 Měření průtoku

Model je osazen dvěma průtokoměry. Průtokoměr Krohne IFC 090 je umístěn na přítoku na potrubí DN150. Druhý průtokoměr je typu Krohne Altometer SC100AS DN50 a je umístěn na odtoku z modelu. [62, str. 41]

### 8.2.1.2 Měření hladiny

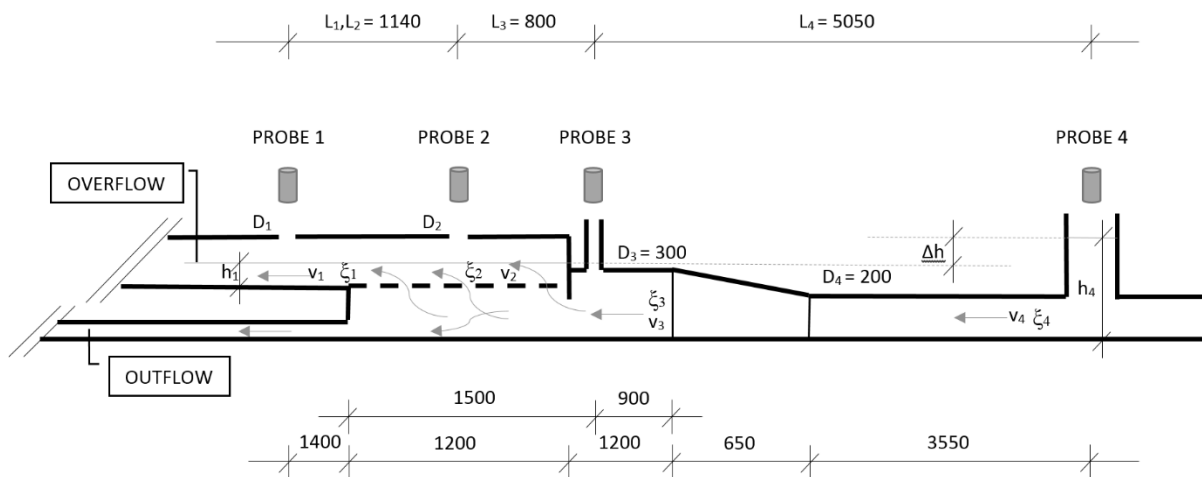
Pro měření hladiny byly instalovány 4 sondy. Jedná se o ultrazvukové senzory PEPERL+FUCHS Ultrasonic sensor. Pro vyhodnocení všech sond byla použita vyhodnocovací jednotka Fiedler M4016-G. Ta zaznamenává kontinuálně veškeré hodnoty, které sondy naměří. Hodnoty byly měřeny každou sekundu a průměrovány v jednominutovém intervalu. [62, str. 43]



Obrázek 32 - Ultrazvuková sonda



Obrázek 33 - Měření úrovně hladiny s ultrazvukovou sondou [62]



Obrázek 34 - Schéma rozmístění ultrazvukových sond na modelu

### 8.2.1.3 Postup měření

Celkem bylo měřeno 16 stavů, každý v 20minutovém intervalu. Každý stav byl měřen 3x a výsledné hodnoty byly zprůměrovány. Maximální přítok byl zvolen 12,90 - 13,40 l/s, protože nebylo možné nastavit stejnou hodnotu pro všechna měření. Pro každý přítok byly nastavovány 3 různé stavy odtoku škrťacím potrubím, a to od úplně zavřeného odtoku 0,00 l/s (simuluje úplné zacpání odtoku) dále pak 2,00 l/s (simuluje přibližně poloviční zacpání odtoku) a posledním typem odtoku je maximální otevření, hodnota se pohybuje mezi 3,75 – 4,00 l/s a v tomto případně nebrání nic odtoku.

Při každém měření byly kontinuálně měřeny hodnoty jednotlivých sond a zaznamenávány ve vyhodnocovací jednotce. [62, str. 49]

Tabulka 3 - Měřené stavy přítoků a odtoků [62, str. 49]

přítok [l/s]	odtok [l/s]
4,10	0,00
4,10	2,00
4,10	3,80
5,05	0,00
5,05	2,00
5,05	3,83
6,20	0,00
6,20	2,00
6,20	3,85
7,20	0,00
7,20	2,00
7,20	3,86
8,75	0,00
8,75	2,00
8,75	3,85
13,40	4,00

## 8.2.2 Použité rovnice

Rovnice 5 - Ztráty třením

$z_t = \lambda \frac{L v^2}{D 2g}$	( 5 )
------------------------------------	-------

$z_t$  – ztráty třením (m),  $\lambda$  – součinitel tření (-),  $L$  – délka (m),  $D$  – průměr potrubí (m),  $v$  – rychlost proudění (m/s),  $g$  – gravitační zrychlení (m/s<sup>2</sup>)

Rovnice 6 - Místní ztráty

$\xi = -\Delta h - z_t \frac{2g}{v^2}$	( 6 )
--	-------

$\xi$  – koeficient ztrát (-),  $\Delta h$  – rozdíl hladin (m),  $z_t$  – ztráty třením (m),  $v$  – rychlost proudění (m/s),  $g$  – gravitační zrychlení (m/s<sup>2</sup>)

Rovnice 7 - Celkové ztráty

$z = z_t + z_m$	(7)
-----------------	-----

$z$  – celkové ztráty (m),  $z_t$  – ztráty třením (m),  $z_m$  – místní ztráty (m)

Rovnice 8 - Hydraulický poloměr

$R = \frac{S}{O}$	(8)
-------------------	-----

$R$  - hydraulický poloměr (m),  $S$  – průtočná plocha (m<sup>2</sup>),  $O$  – omočený obvod (m)

Rovnice 9 - Hydraulický průměr trubice

$D = 4 \cdot R$	(9)
-----------------	-----

$D$  – průměr (m),  $R$  - hydraulický poloměr (m)

Rovnice 10 - Chézyho rovnice

$v = C\sqrt{R \cdot i}$	(10)
-------------------------	------

$v$  – rychlost (m/s),  $R$  – hydraulický poloměr (m),  $i$  – sklon dna (m/m),  $C$  – Chézyho koeficient(m<sup>0.5</sup>.s<sup>-1</sup>)

Rovnice 11 - Manningův koeficient

$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$	(11)
-----------------------------------	------

$C$  – Chézhoy koeficient(m<sup>0.5</sup>.s<sup>-1</sup>),  $R$  – hydraulický poloměr (m),  $n$  – Manningův koeficient drsnosti (-)

Rovnice 12 - Reynoldsovo číslo

$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$	(12)
------------------------------	------

$Re$  – Reynoldsovo číslo (-),  $v$  – rychlost proudění (m/s),  $D$  – hydraulický průměr trubice (m),  $\nu$  – kinematická viskozita (m<sup>2</sup>/s)

$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}$	(13)
---	------

$\lambda$  – součinitel tření (-),  $\text{Re}$  – Reynoldsovo číslo (-)

### 8.2.3 Výsledky měření a jejich diskuze

V každém měření, jak už bylo uvedeno výše, bylo měřeno celkem 16 stavů. Každý stav byl měřen třikrát a v různém pořadí. Tyto hodnoty byly zprůměrovány. Dalším krokem pro vyhodnocení byl výpočet rozdílu hladin v jednotlivých sondách vůči sobě. Kladná hodnota znamená stoupanutí hladiny a záporná hodnota pokles hladiny vůči předchozí sondě. Sondy jsou očíslovány od přepadu jako S1 a postupně proti směru proudění vody S2, S3 a poslední sonda umístěna na začátku S4. [62, str. 53]

Pro porovnání výsledků nakonec nebylo použito měření s maximálním přítokem tj. hodnoty v rozmezí 12,90 – 13,40 l/s, protože nebylo možné nastavit stejnou hodnotu u všech měření. Tyto hodnoty jsou změřeny a lze je zařadit do výsledných grafů, ovšem nelze je následně porovnávat. [62, str. 53]

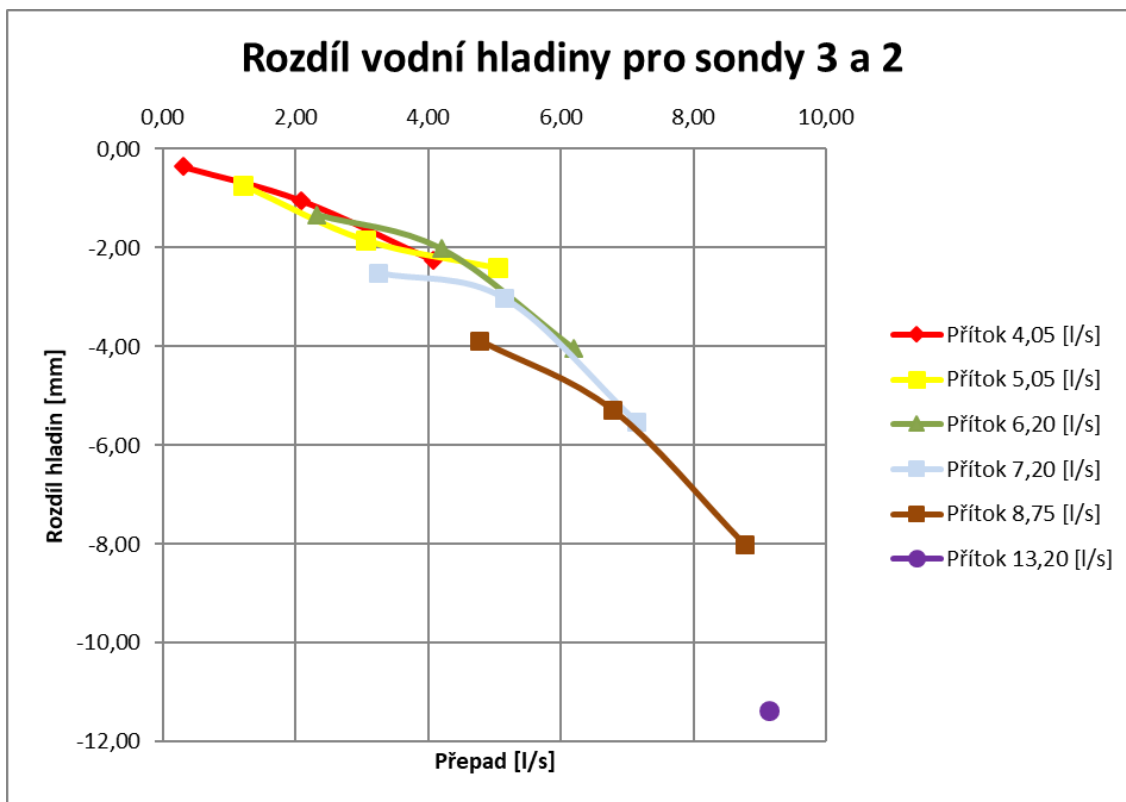
Pro prezentaci naměřených výsledků jsem vybral zástupce dvou grafů, kde se porovnává sonda 3 a sonda 2 v prvním grafu a sonda 4 a sonda 1 v druhém grafu. [62, str. 53]

### 8.2.3.1 CSO bez česlí

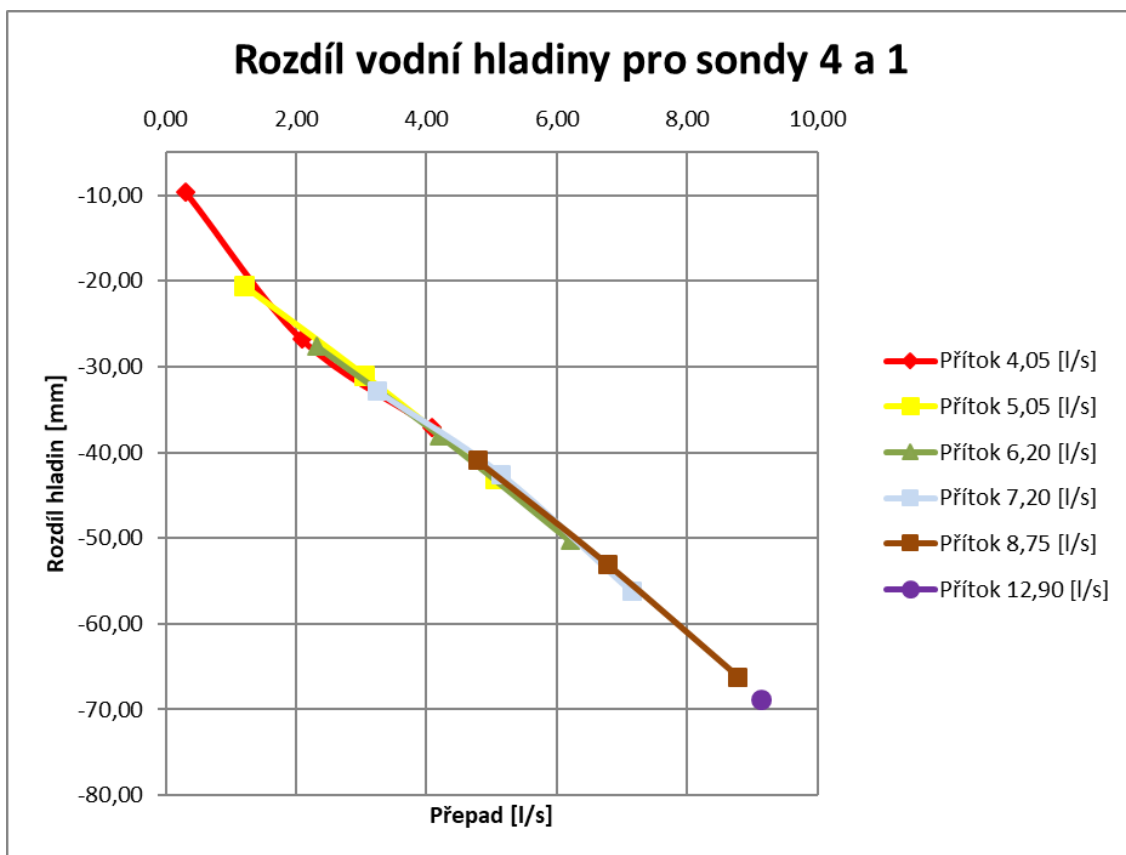
V této části měření byl model demontován a česle byly z retenčního prostoru komory odstraněny. Následné měření tedy probíhalo na modelu bez česlí. (Obr. 35) Tento typ měření byl zvolen z důvodu, že se vyrábí CSO Hobas Chamber taktéž bez česlí. [62]



Obrázek 35 - CSO bez česlí (česle odebrány) [62]



Graf 2 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2

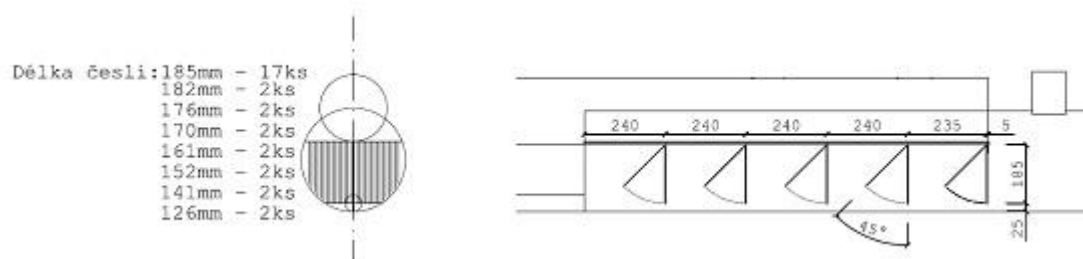


Graf 1 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1



### 8.2.3.2 CSO s nezanesenými česlemi

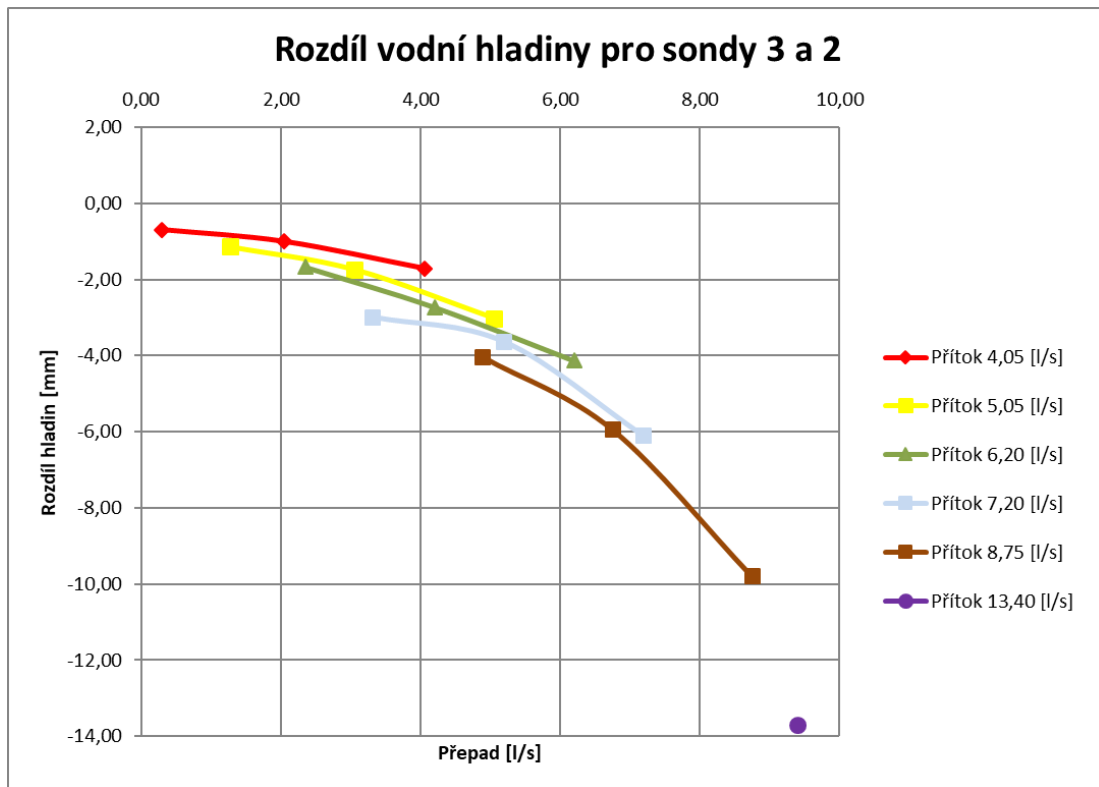
Tato série měření probíhala na modelu s nezanesenými česlemi. (Obr. 36, Obr. 37)



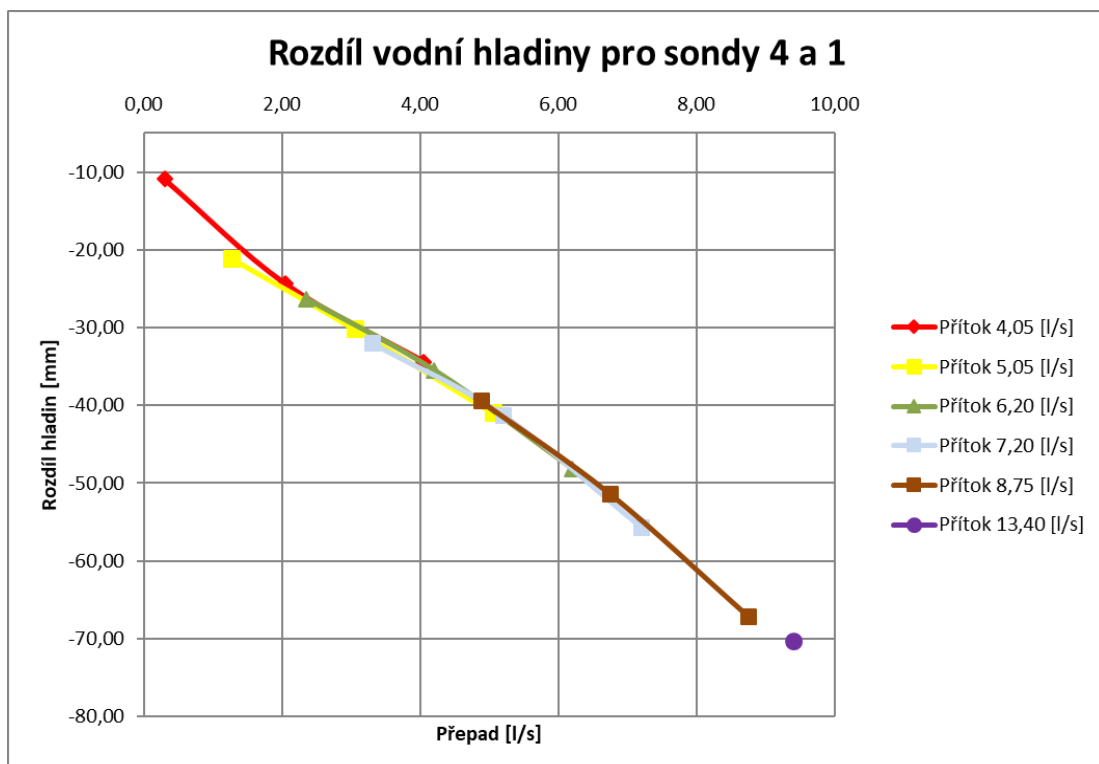
Obrázek 37 - Rozmístění česlí na modelu [62]



Obrázek 36 - CSO s nezanesenými česlemi [62]



Graf 4 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2



Graf 3 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1

### 8.2.3.3 CSO se zanesenou první česlí

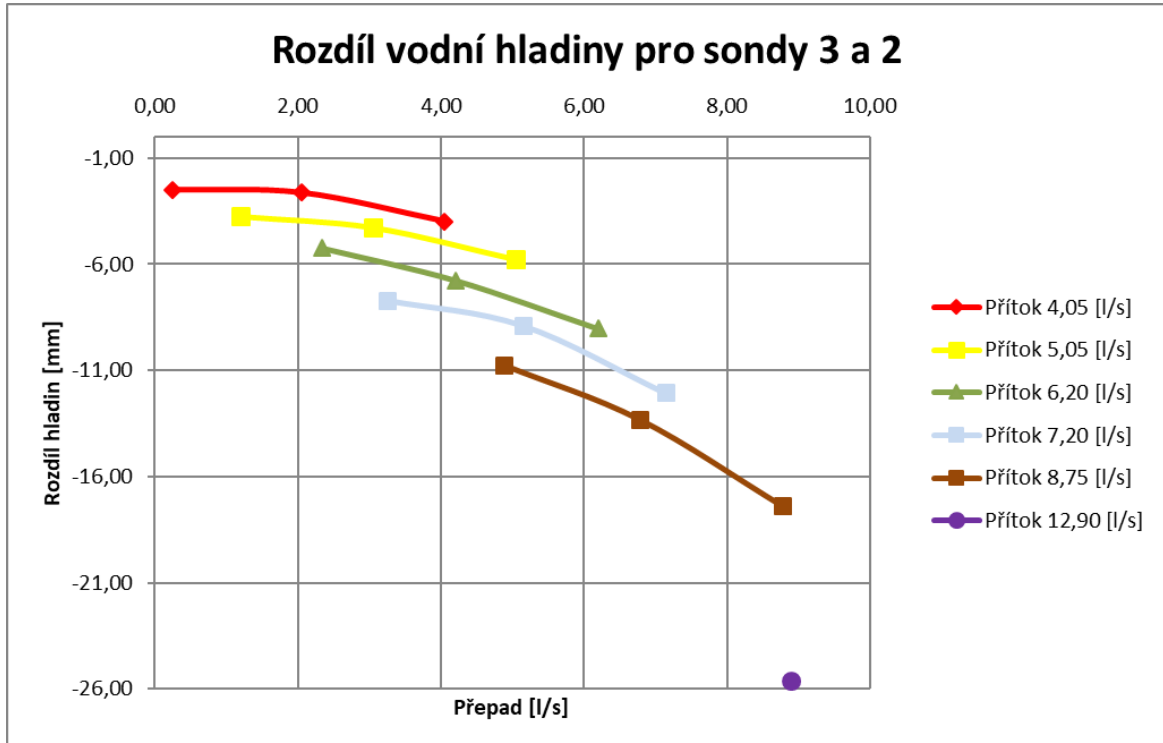
Ve třetí sérii měření byla na první česli nainstalovaná zábrana v podobě umělohmotné destičky. (Obr. 38, Obr. 39) Tato zábrana simuluje zanesení první sady česlí, ale neomezuje česle v kyvu.



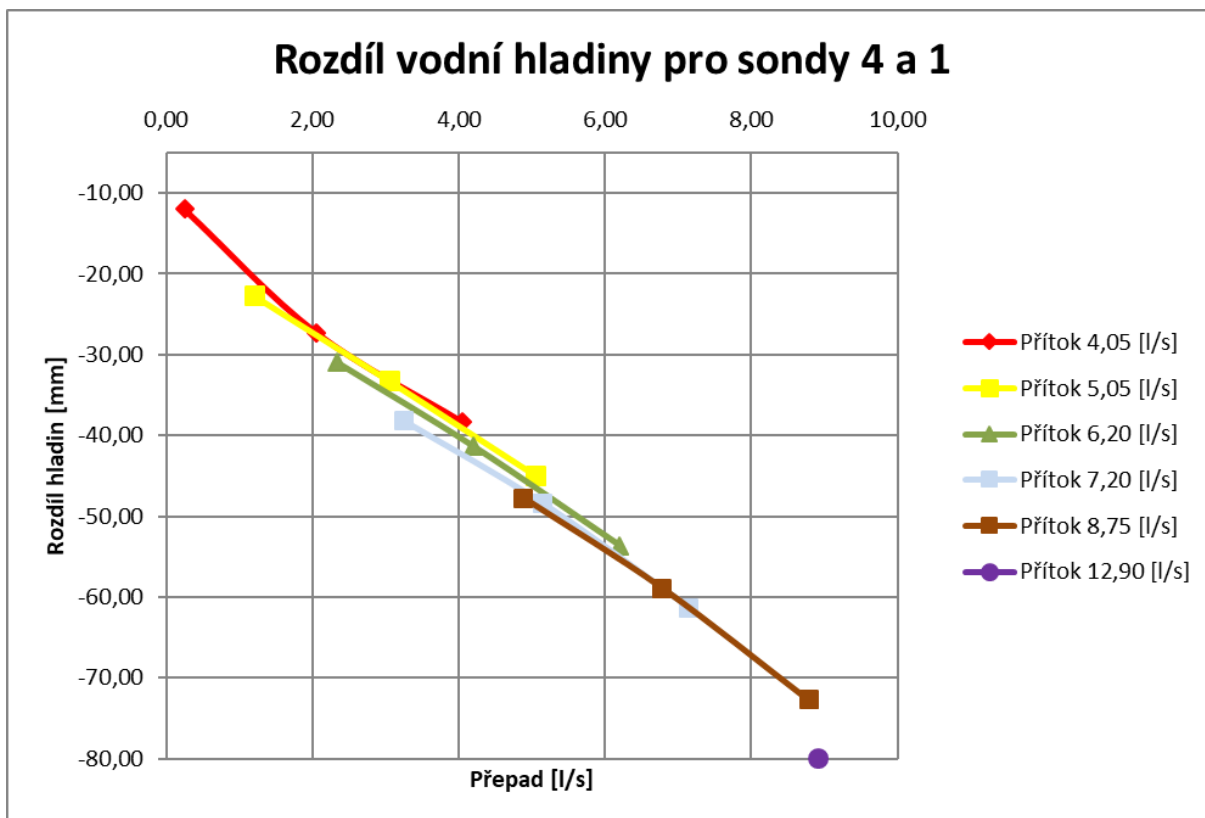
Obrázek 38 - CSO se zanesenou první česlí [62]



Obrázek 39 - CSO se zanesenou první česlí [62]



Graf 5 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2



Graf 6 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1

#### 8.2.3.4 CSO se zanesenými česlemi

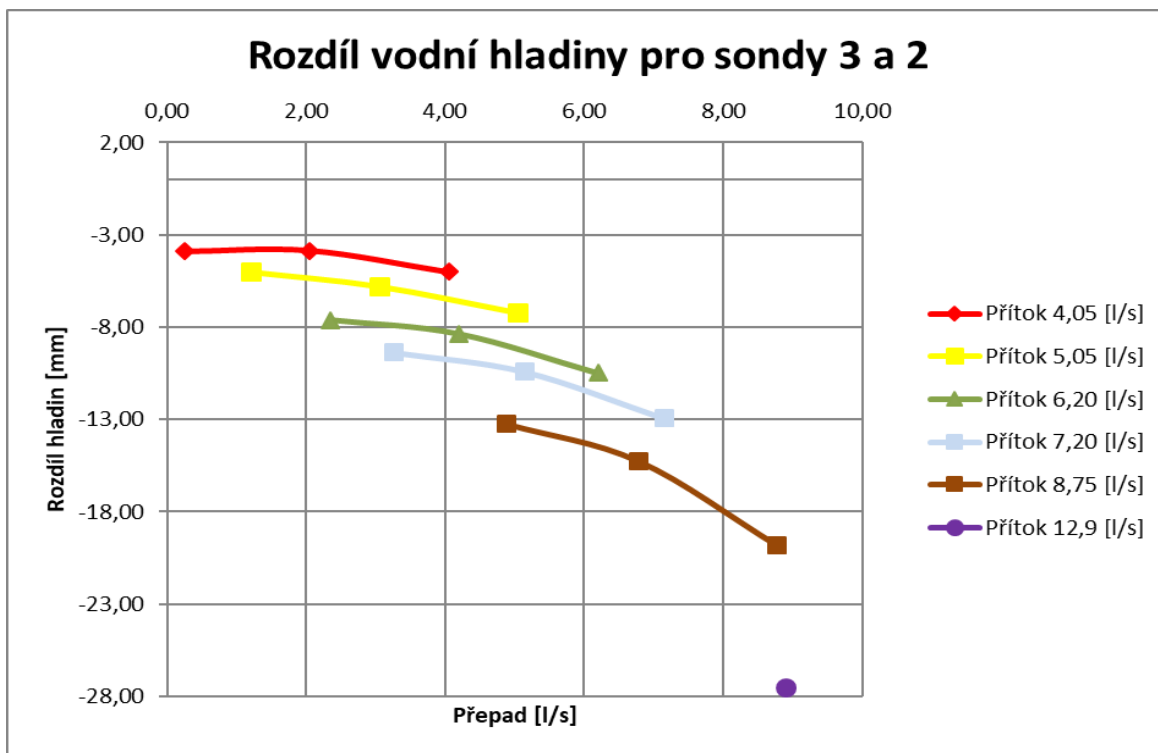
V poslední sérii měření byly zábrany z umělohmotných destiček simulující zanesení všech česlí nečistotami nainstalované na každou česli. (Obr. 40, Obr. 41)



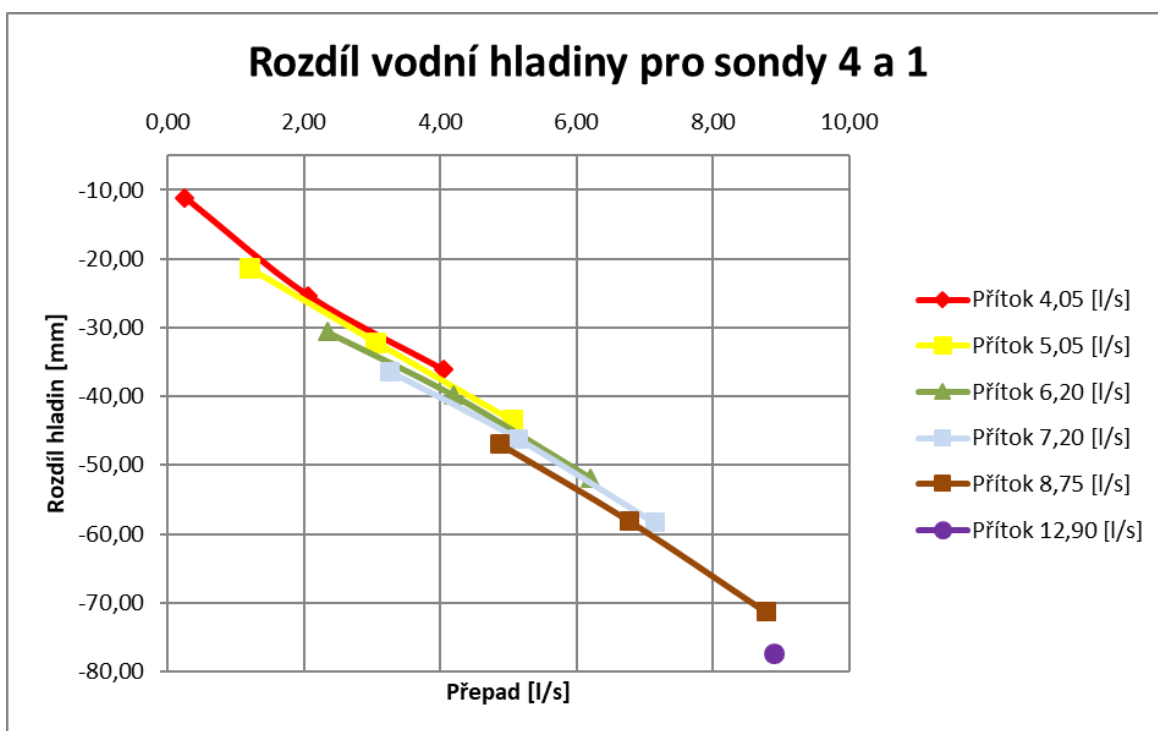
Obrázek 40 - CSO se zanesenými česlemi



Obrázek 41 - CSO se zanesenými česlemi



Graf 7 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2

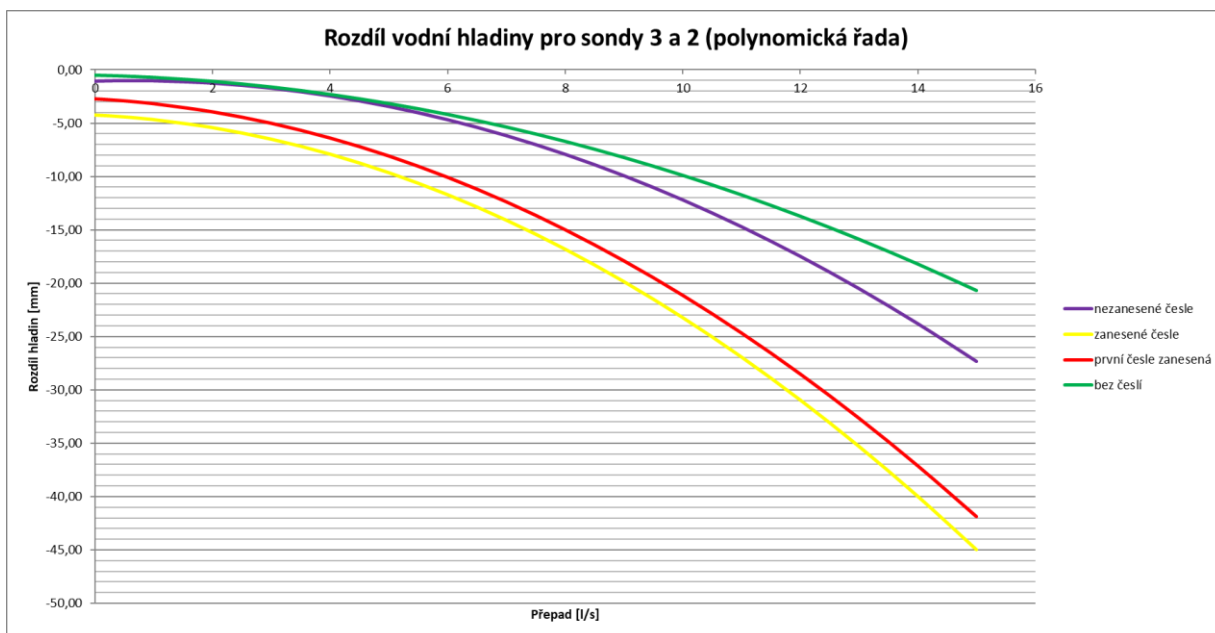


Graf 8 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1

### 8.2.3.5 Celkové výsledky

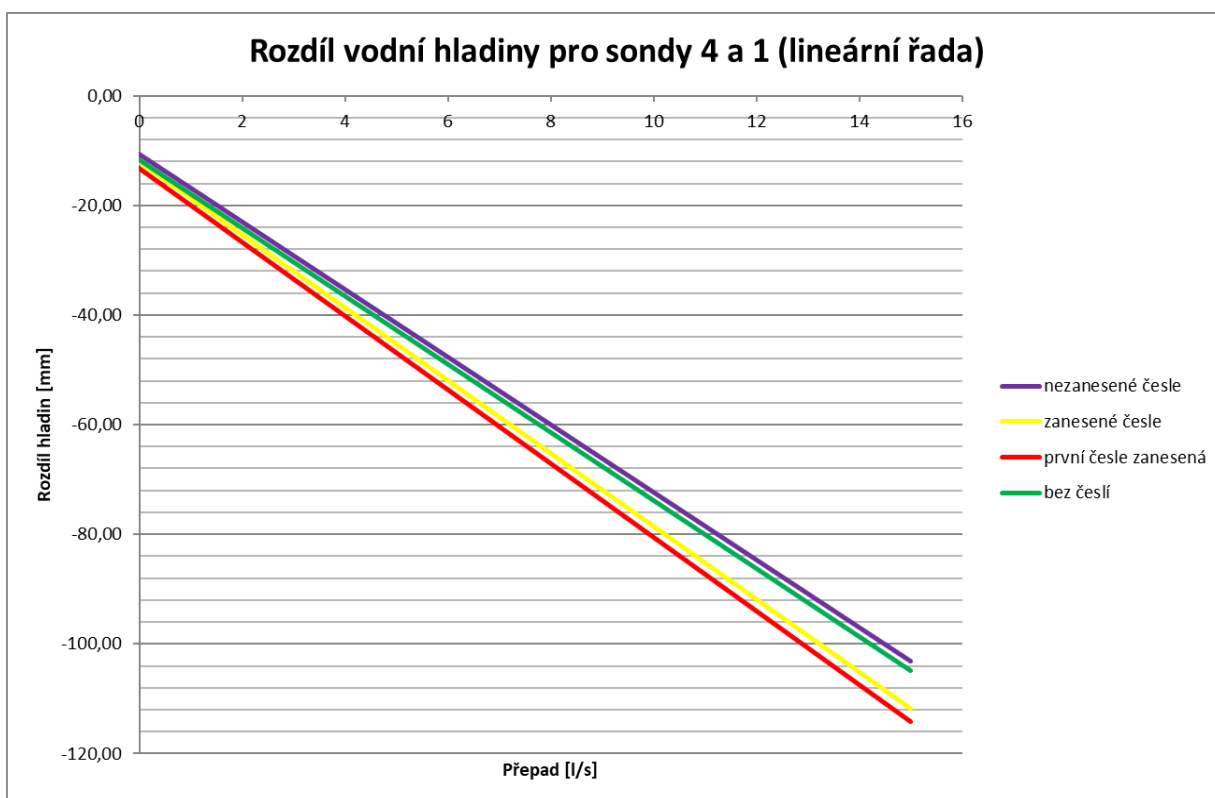
V následujícím grafu (Graf 9) jsou porovnány všechny výsledky na sondě 3 a na sondě 2. Nejedná se o hodnoty z měření, ale o hodnoty, které byly vytvořeny pomocí polynommické křivky druhého řádu. Touto křivkou byly proloženy skutečné hodnoty jednotlivých stavů měření a byla zaznamenána rovnice, podle které se následně spočítaly další hodnoty. V tomto grafu můžeme pozorovat celkový trend, který jsme předpokládali a to, že nejmenší ztráty budou u měření bez česlí, následovat bude měření s nezanesenými česlemi, posléze s první zanesenou česlí a největší rozdíly sond se budou projevovat u měření se všemi zanesenými česlemi. [62, str. 58]

Pokud se tedy podíváme na následující graf, můžeme opravdu pozorovat nejmenší rozdíl hladin u měření bez česlí. U tohoto stavu se nám v CSO vytváří místní ztráta pouze díky štěrbině, norné stěně a odtoku. Druhá křivka reprezentuje měření s nezanesenými česlemi. Zde už se projevuje místní ztráta na nainstalovaných česlích, proto jsou zde i větší rozdíly mezi hladinami. Ty se projevují hlavně u větších přepadů. U minimálního přepadu je rozdíl hladin u modelu bez česlí a s česlemi téměř nezatelný, u největšího přepadu zaznamenaného v grafu je tento rozdíl zdatelný a činí 6,65 mm. Třetí křivka zastupuje měření na modelu s první česlí zanesenou, proto se nám rozdíl hladin opět prohloubil, zde totiž vstupuje do místních ztrát právě úplné zacpání první česle. Opět můžeme pozorovat trend, kdy je při minimálním přepadu menší rozdíl hladin u jednotlivých křivek. Při větším přepadu je tudíž větší rozdíl mezi rozdíly hladiny sondy 3 a sondy 2. Poslední nejnižší křivka zastupuje, měření se zanesenými všemi česlemi. Z tohoto důvodu jsou zde patrné i největší rozdíly. Tady lze pozorovat trend, že rozdíl křivky se zanesenými česlemi a se zanesenou jen první česlí je od minimálního přepadu po maximální přepad téměř totožný po celé délce. [62, str. 58]



Graf 9 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2 (polynomická řada)

V dalším grafu (Graf 10) porovnáváme rozdíl hladin na sondě 4 a na sondě 1. Tento graf byl sestaven proložení naměřených hodnot lineární řadou. [62, str. 60]



Graf 10 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1 (lineární řada)

Předpoklad byl, že křivky by měly jít po sobě stejně jako u předchozího grafu. Tento trend tu ovšem není pozorován. [62, str. 60]

Důležitým bodem je výpočet změřeného koeficientu místních ztrát a porovnání s tabulkovými koeficienty. [62, str. 62]

První prvek, který můžeme považovat za nositele částečné hodnoty místní ztráty, je excentrické rozšíření. Pro tento typ rozšíření dle dostupné literatury neexistují tabulkové hodnoty. Vzhledem k této skutečnosti byly použity tabulkové hodnoty centrického rozšíření. [12; str. 111] [62 str. 62]

Dalším zástupcem místní ztráty je norná stěna, která je umístěna před hlavní komorou CSO. I u této hodnoty bylo vycházeno z jiných tabulkových hodnot. Po pročtení dostupné literatury jsem usoudil, že nejvhodnější pro výpočet norné stěny bude nejlepší použít vzoreček pro šoupátko. Zde vstupuje do výpočtu především poměr otevření k celkovému profilu. [12; str. 291] [62 str. 62]

Třetí místní ztrátou jsou česle, které jsou umístěné za sebou. Zde je důležité, jestli jsou česle zacpané či nikoliv. Pro nezacpané česle existují tabulkové hodnoty pro jejich výpočet, kde vstupuje do výpočtu jejich délka, šířka a rozteč česlic. [12; str. 269] [62 str. 62]

Pro zacpané česle je použit podobný výpočet jako u norné stěny. U kyvných česlí je potom důležitý úhel naklopení a tím se i zvětšuje či zmenšuje průtočný profil. [12, str. 111] [62 str. 62]

Čtvrtou místní ztrátou je štěrbina, která představuje přechod z komory do přepadového potrubí. Zde byla počítána místní ztráta jako vstup vody do trouby bočním otvorem. Zde vstupují základní parametry, jako je délka a šířka štěrby a také průměr potrubí. [12; str. 61] [62 str. 62]

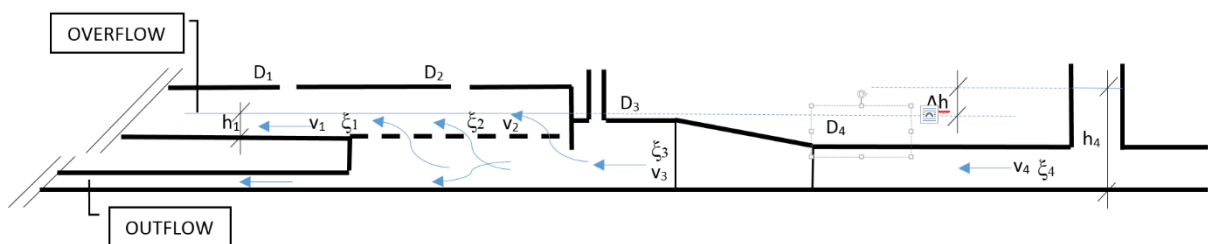
Poslední místní ztrátou je odtok z přepadu, který byl brán jako výtok netlakovou trubkou. Z poměru rychlostí se z tabulek odečte koeficient místní ztráty. [12; str. 349] [62 str. 62]

Všechny místní ztráty se sečetly a porovnaly se s naměřenými hodnotami. Vzhledem k tomu, že na fyzikálním modelu bylo měřeno na čtyřech místech, nelze hodnoty rozdělit jako u tabulkových hodnot a následně je porovnat. Proto v následující tabulce je porovnání sečtených hodnot koeficientem místních ztrát. Výpočet koeficientu místní ztráty z měření probíhal z naměřených hodnot, kde byly



zjištěny celkové ztráty. Z rovnic uvedených výše byl vypočítán koeficient místních ztrát  $\xi_c$  pro každé měření. Z těchto měření byl spočítán průměr. [62 str. 63]

V CSO má každá část (potrubí, škrťací potrubí, přepadová štěrbinina, česle atd.) vliv na místní ztráty (Obr. 42). V našem výzkumu můžeme oddělit každý vliv, proto máme čtyři sondy, ale pro výpočet celkových ztrát ( $\Delta h$ ) potřebujeme pouze jeden ztrátový koeficient, který popisuje celou strukturu. (2)



Obrázek 42 - Schéma místních ztrát

$$\Delta h = \sum_1^4 \lambda_n \frac{L_n}{D_n} \frac{v_n^2}{2g} + \xi_n \frac{v_n^2}{2g} \quad (2)$$

Protože ztráty jsou závislé na rychlosti, bereme jako referenční hodnotu rychlost v přívodním potrubí, když je plně naplněné. K plnému naplnění potrubí dochází během přepadu. Ztráty třením mohou být ztráty místními z důvodu relativní délky ve všech částech a nízkému vlivu celkových ztrát. Pro výpočet celkových ztrát v CSO můžeme použít zjednodušený koeficient celkové ztráty (3). Tento koeficient závisí na stavu zanesení česlí. Z bezpečnostních důvodů se doporučuje použít nejhorší variantu - všechny česle jsou ucpané - v případě, že je CSO s česlemi.

$\xi = \Delta h \frac{2g}{v_4^2}$ $\Delta h = \xi \frac{v_4^2}{2g}$	( 3 )
---	-------

$\xi$  – overall loss coefficient (-)

$\Delta h$  – level difference between outflow and inflow (m)

$V_4$  – flow velocity in full inflow pipe (m/s)

$g$  – gravitational acceleration (m/s<sup>2</sup>)

Tabulka 4 - Vypočtené koeficienty místních ztrát

Koeficient místní ztráty $\xi$	
<b>Bez česlí</b>	0,73
<b>S nezanesenými česlemi</b>	0,75
<b>S první česlí zanesenou</b>	0,79
<b>Všechny česle jsou zanesené</b>	0,82

### 8.3 Přenesení výsledků měření do praxe

Zaměřené koeficienty místních ztrát byly následně zaneseny do aktuálně používané návrhové tabulky průtokových kapacit CSO Hobas Chamber (Tab. 5), kde nahrazují původní tabulkové koeficienty.

Při návrhu nové CSO Hobas Chamber se pouze zadají informace o původní OK do návrhové tabulky (délka, DN, atd.), ve které se navolí plánovaná varianta CSO (bez česlí/s česlemi) a tabulka provede výpočet průtokových kapacit navrhované OK. Návrhová tabulka po dosazení koeficientů zjištěných ztrát (které mnohem lépe odpovídají skutečnosti, než původní tabulkové hodnoty) optimalizuje návrh nových CSO Hobas Chamber. Z prezentačních důvodů jsou volitelné varianty CSO zobrazeny všechny a jsou označeny žlutě (Tab. 5), při výpočtu kapacitních průtoků je ponechávána pouze zvolená varianta.

Tabulka 5 - Doplnění vzorové návrhové tabulky průtokových kapacit CSO Hobas Chamber o změřené koeficienty ztrát

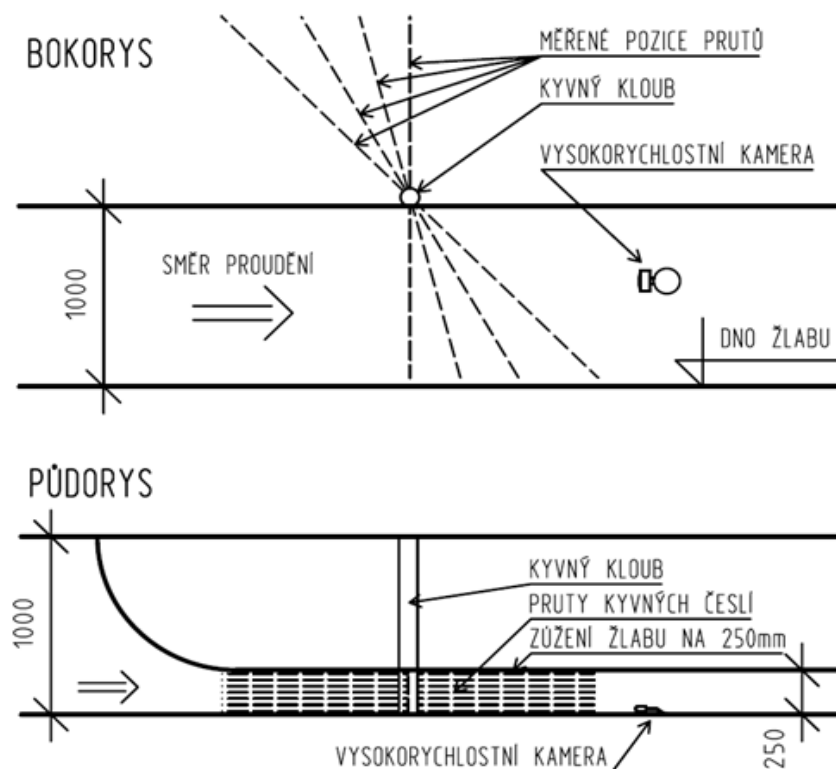
Části CSO	Přítok Q [m <sup>3</sup> /s]	DN	Poloměr r [m]	Hloubka h [m]	α	Průtočná plocha S [m <sup>2</sup> ]	Šíře hladiny t [m]	Omezený obvod O [m]	Sklon i [%]	Rychlost v [m/s]	Δ/D	λ	Délka potrubí [m]	Koeficient ztrát ζ	Ztráty místní Zn [m]	Ztráty třením Zt [m]	Ztráty celkové [m]	Kapacita [m <sup>3</sup> /s]	Kontrola
Přívodní potrubí	2,87	1200	0,6	1,200	0	1,131	0,000	3,770	2,60	2,538	0,000008	0,012		0,0000				2,58	!Attention!
Nátokové potrubí s volnou hladinou	2,87	1200	0,6	1,200	0	1,131	0,000	3,770	2,60	2,538	0,000008	0,012	10	0,0000	0,0000	0,0328	0,0328	2,58	!Attention!
Retenční komora	2,87	1600	0,8	0,770	3,07	0,957	1,599	2,453	2,60	2,998	0,000006	0,013	7,2	0,0063	0,0029	0,0268	0,0297	5,57	OK
Normá sěna	2,87	1600	0,8			1,005		2,513	2,60	2,855	0,000006	0,01		0,0911	0,0378	0,0000	0,0378	5,57	OK
CSO bez česlí	2,87	1600	0,8										7,2	0,7311	0,2400	0,0000	0,2400	OK	
Česle bez nečistot	2,87	1600	0,8										7,2	0,7531	0,2472	0,0000	0,2472	OK	
Zanesená 1. česle	2,87	1600	0,8										7,2	0,7968	0,2615	0,0000	0,2615	OK	
Všechny česle zanesené	2,87	1600	0,8										7,2	0,8263	0,2712	0,0000	0,2712	OK	
Přepadová šěrčina	2,8					2,160			2,60	1,296				0,0000	0,1185	0,0000	0,1185		!Attention!
Přepadové potrubí	2,8	1200	0,6	0,960	-1,9	0,970	0,960	2,657	2,60	2,887	0,000008	0,013	7,2	0,0000		0,0331	0,0331	2,58	!Attention!
Škrťací potrubí	0,07	300	0,15	0,300	0	0,071	0,000	0,942	2,60	0,990	0,00003	0,011	1	0,0000		0,0018		0,06	
<b>Cellkem</b>															<b>0,2712</b>	<b>0,0946</b>	<b>0,2712</b>		

## 9 Výzkum mechanických vlastností kyvných samočisticích česlí

V této části výzkum navazuje na problematiku mechanických vlastností kyvných inteligentních samočisticích česlí pro trubní odlehčovací komoru CSO HOBAS Chamber. Česle byly vyvíjeny ve vodohospodářské laboratoři v hydraulickém žlabu v měřítku 1:1.

### 9.1 Příprava fyzikálního modelu

Fyzikální model byl navržen tak, aby v něm bylo možné testovat samočisticí česle v měřítku 1:1 za použití reálného estetického znečištění a za rychlostního proudění, které je běžné ve stokové síti. Proto byl model vytvořen tak, aby jej bylo možné kdykoliv zúžit na požadovanou šíři a zajistit tak vysoké rychlosti proudění (1-2 m/s). Bylo důležité dodržet, aby konstrukce česlí podporovala samočisticí efekt kyvných česlí a jejich jednotlivých prutů, mechanickou odolnost a mrazuvzdornost. Po zvážení dostupných materiálů jsem pro konstrukci česlí zvolil tažené kompozitní materiály od firmy PREFA KOMPOZITY, a.s.



Obrázek 43 - Schéma fyzikálního modelu kyvných inteligentních česlí (vlastní schéma)

Dále bylo potřeba vyrobit kyvný kloub s možností osazení jednotlivých prutů česlí o různých délkách a hlavně různých průměrů a tvarů. Kyvný kloub je možné osadit libovolným počtem prutů podle toho, jak je zúžen hydraulický žlab.

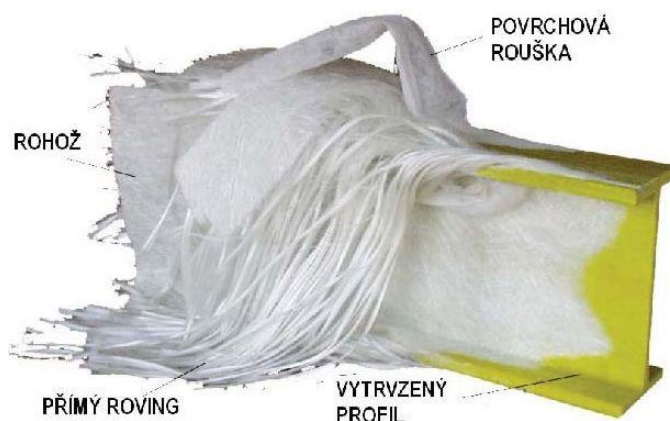
Celý model byl doplněn vysokorychlostní kamerou vhodnou ke snímání působení vodního proudu na jednotlivé pruty tak, abychom mohli záběry zpomalit a následně vyhodnotit.



Obrázek 44 - Fyzikální model kyvných inteligentních česlí (vlastní foto)

### 9.1.1 Materiál česlí

Kompozitem je každý materiál, který se skládá z minimálně dvou hlavních komponent s výrazně se lišícími fyzikálními vlastnostmi. PREFA KOMPOZITY, a.s. vyrábí kompozitní prvky z materiálu ve složení pojivo / vláknová výztuha. V našem případě se jedná o kompozit z organické polymerní pryskyřice a skleněných vláken. Obchodní označení je PREFEN. Materiál je vyráběn technologií tažení (pultruze).



Obrázek 45 - Kompozitní materiál (www.prefa-kompozity.cz)

Pultruze je proces kontinuální výroby vyztužených pryskyřic různých tvarů a délky tažením. Vstupní materiál je směs tekuté pryskyřice a vláknové výztuže. Proces zahrnuje tažení materiálu přes vyhřívanou ocelovou formu pomocí tažného zařízení. Všechny profily PREFEN kromě plných tyčí mají na povrchu tenkou netkanou povrchovou polyesterovou roušku. Tato rouška obaluje skleněnou výztuž a navíc, nasycena pryskyřicí, tvoří obal, který zvyšuje jednak odolnost proti vniknutí chemikálií, UV záření a vylepšuje i estetický vzhled kompozitu. Povrchová rouška zabraňuje tomu, aby po poškození povrchu vyčnívala skleněná vlákna ven.

Výhody: Vysoký poměr pevnosti a tuhosti k hustotě  
 Vysoká odolnost proti tečení a únavě  
 Vysoká pevnost za zvýšených teplot  
 Vysoká houževnatost  
 Korozní odolnost

Nevýhody: Náklady na materiály  
 Náročné na výrobu  
 Složité na opravy  
 Rozptýl materiálových vlastností  
 Složité zkoušky materiálů a inspekce  
 Recyklace materiálu je velmi komplikovaná

### 9.1.2 Kyvný kloub

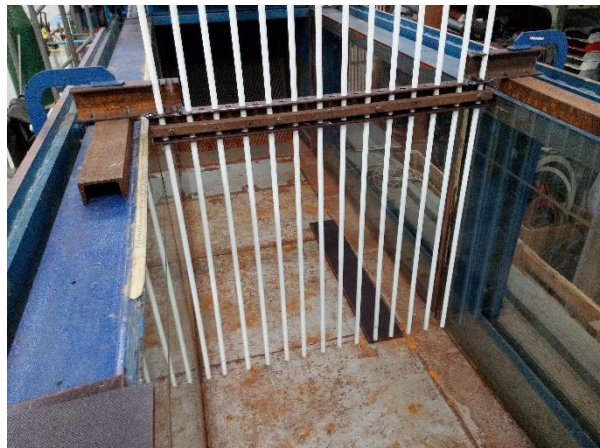
Kyvný kloub byl postupně vyvíjen tak, aby umožňoval osazení prutů libovolných délek a hlavně různých průměrů a tvarů.



První verze umožňovala osazení prutů pouze ve svislé poloze a jen o daném průměru. Jednalo se o ocelový profil typu „U“ s vyvrtanými otvory doplněný o další profil typu „O“, který sloužil jako přítlačný držák prutů.



Obrázek 46 - Použité kompozitní tyče spolu s estetickým znečištěním (vlastní foto)



Obrázek 47 - První verze „kloubu“ s přítlačným držákem prutů (vlastní foto)

V následující verzi byl již plně funkční kyvný kloub zhotovený z trubek rozřezaných a přivařených k „U“ profilu tak, aby bylo těžiště ve svislici vyrovnané a po osazení pruty byly česle dokonale svisle. K nastavení úhlu sklopení kyvného kloubu jsem vyrobil měnitelné a nastavitelné plastové příložky.



Obrázek 48 - Kyvný kloub (vlastní foto)



Obrázek 49 - Příložky k nastavení úhlu sklonu česlí

Po sérii pokusů byl kyvný kloub doplněn dalšími příložkami, které se umísťují na pruty česlí. Příložky jsou pohyblivé, avšak po jejich dotažení dojde k semknutí a ukotvení jednotlivých prutů tak, aby nemohlo dojít k jejich posunu nebo pootočení. Tyto příložky jsou vyrobeny ve více kusech tak, aby byl pro každý průměr a tvar prutů perfektně přiléhající kus. Díky této úpravě upnutí jednotlivých prutů máme jistotu, že po celou dobu měření zůstanou v požadované délce a natočení volných konců.



Obrázek 50 - Pohyblivé příložky garantující volnou délku a natočení prutů česlí



Obrázek 51 - Pohyblivé příložky garantující volnou délku a natočení prutů česlí

### 9.1.3 Vysokorychlostní kamera

Po zvážení možností jsem jako nejvhodnější a nejdostupnější zařízení pro videozáznam měření zvolil kameru GoPro HERO4. Dané zařízení disponuje velmi vysokým rozlišením (až do 4k) a hlavně možností natáčení ve větším množství snímků za vteřinu (fps), které dosahuje 120fps místo standardních 24fps. Z tohoto důvodu se podařilo záběry zpomalit až 10x, avšak reálně bylo využíváno pouze 8x zpomalení (0,125 rychlosti běžného přehrávání) a stále byl velmi detailně vidět průběh pokusů.

Zařízení je primárně určeno pro nahrávání extrémních situací při outdoorových sportech (rychlého pohybu natáčeného s pohybujícím se zařízením), s doplňky je koncipováno jako voděodolné. Tato vlastnost byla velmi vhodná při umístění zařízení přímo do proudu hned za česlemi tak, aby byly snímány volné konce kmitajících prutů česlí.



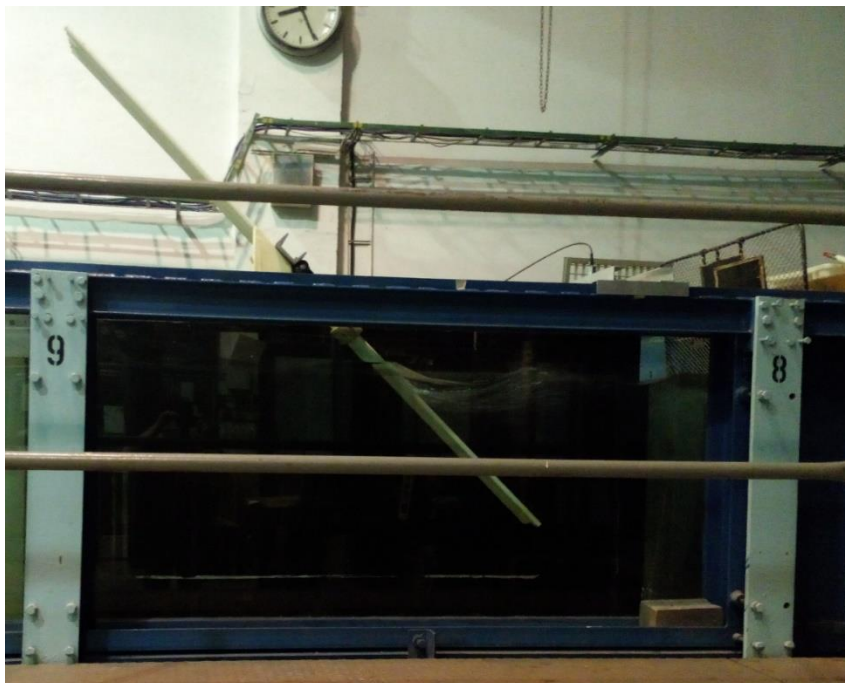


Obrázek 52 - Vysokorychlostní kamera GoPro HERO 4 (zdroj: www.google.cz)

## 9.2 Návrh metodiky měření

Hledány jsou potřebné mechanické vlastnosti, jako pevnost v ohybu (důležitá vlastnost při zanesení česlí nečistotami, při kterém dochází ke zvýšení tlakových ztrát na česlích a navýšení sil působících na česle), hrubost povrchu (hladký povrch zabraňuje usazování nečistot na česlích a jejich zanášení) a kmitání volných konců česlí v proudu (kmitáním dochází k samočisticí funkci česlí, kmitání uvolňuje již usazené nečistoty).

Na fyzikálním modelu je zkoumáno chování jednotlivých prutů česlí v proudění odpovídajícímu reálnému proudění ve stokové síti. Během měření jsou postupně otestovány pruty různých průměrů a různých eliptických tvarů v závislosti na jejich délce a úhlu naklonění vůči proudu. Všechna měření jsou snímána vysokorychlostní kamerou, následně zpomalena 8x a analyzována za účelem odečtení počtu kmitů za sekundu volného konce prutu a změření výkyvu prutů a zjištění, zda během výkyvu dochází ke kolizi sousedících prutů česlí. Během měření jsou hledány profily dosahujících co největších kmitů za sekundu (z důvodu podpory samočisticího procesu) a zároveň dosahující takového výkyvu, aby nedocházelo ke kolizi jednotlivých prutů česlí a jejich mechanickému poškození.



Obrázek 53 - Fyzikální model kyvných inteligentních samočisticích česlí – boční pohled

### 9.3 Popis měření

Měřeno bylo celkem 135 stavů při průtoku od 79 l/s do 200 l/s a rychlosti proudění od  $v=0,8$  m/s až 0,9 m/s, dle použitého zúžení hydraulického žlabu tak, aby byly česle při zvolené délce zaplaveny vždy až po kloub nebo po pohyblivou příložku garantující pevné ukotvení prutů při dané délce.

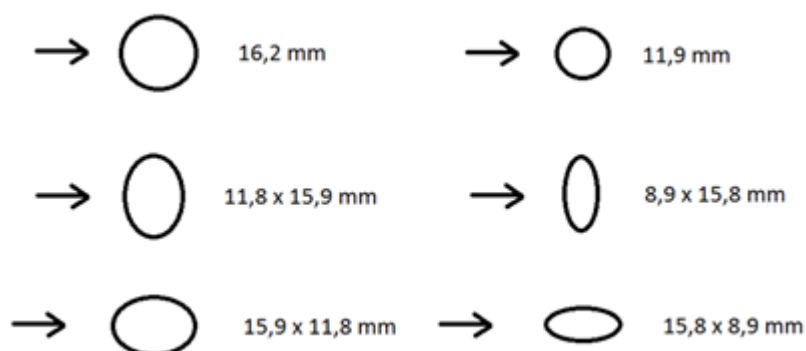


Obrázek 54 - Záběry z vysokorychlostní kamery



Obrázek 55 - Záběry z vysokorychlostní kamery

Jednotlivé pruty jsou v modelu vždy osově vzdáleny 36 mm. Tvar prutů je kruhový a elipsovitý o různých rozměrech (viz. obr. 7.5). Délka prutů se pohybuje od 50 cm do 140 cm (delší pruty se již nevešly do žlabu). Úhel sklonu samočisticích česlí byl postupně měněn po 15° od svislého stavu až do náklonu 45°. Všechny 135 stavů bylo snímáno vysokorychlostní kamerou, kde záznamy byly zpomaleny 8:1 a následně z nich byl zjištěn počet kmitů jednotlivých prutů za sekundu a vzdálenost jejich kyvu v mm.



Obrázek 56 - Průměry testovaných prutů v mm a jejich postavení vzhledem k směru proudění

## 9.4 Výsledky měření a jejich diskuze

Po provedení prvních pokusů na modelu kyvných inteligentních samočisticích česlí bylo zjištěno, že je třeba model přepracovat tak, aby bylo možné česle zaplavit až po kyvný kloub. K modelu česlí byla přidána zpevňující příložka, aby byla garantovaná délka prutů od pevného ukotvení. Hydraulický žlab byl zúžen tak, aby i při maximálním zaplavení česlí rychlosti proudění na modelu odpovídaly rychlostem zjištěným při terénním monitorování.

### 9.4.1 Kruhové česle průměru 16,2 mm



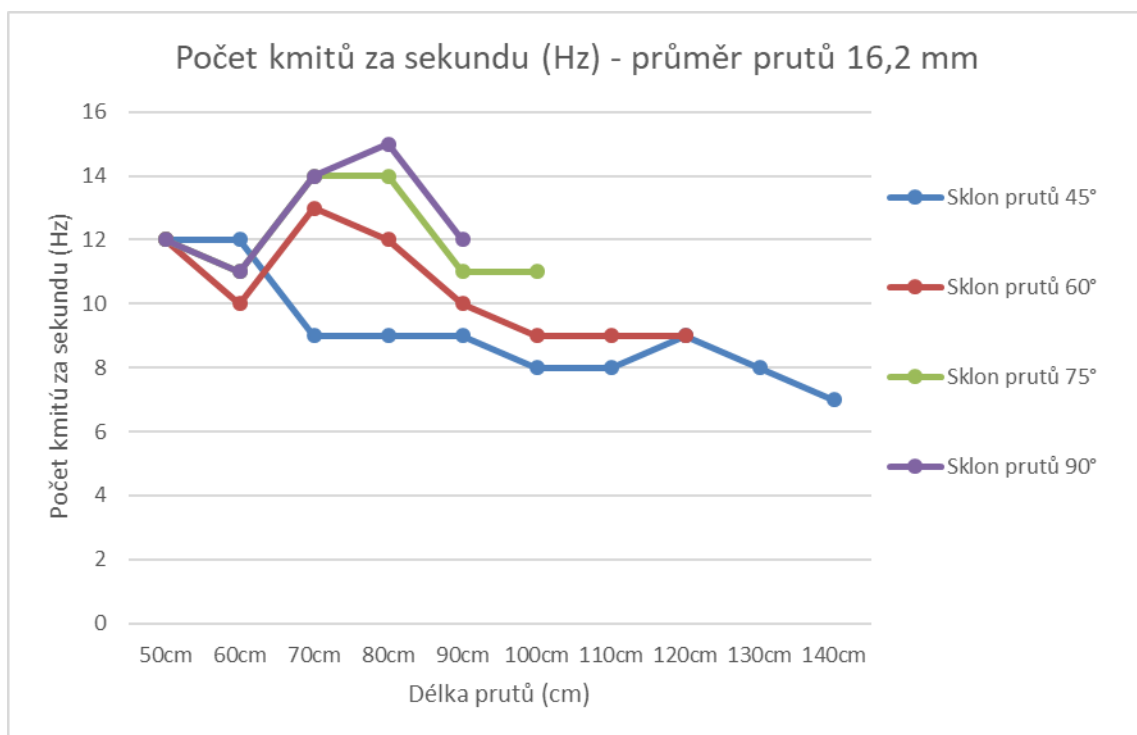
Obrázek 57 - Směr proudu na prut česlí

Tabulka 6 - Počet kmitů (Hz) kruhových česlí průměru 16,2 mm

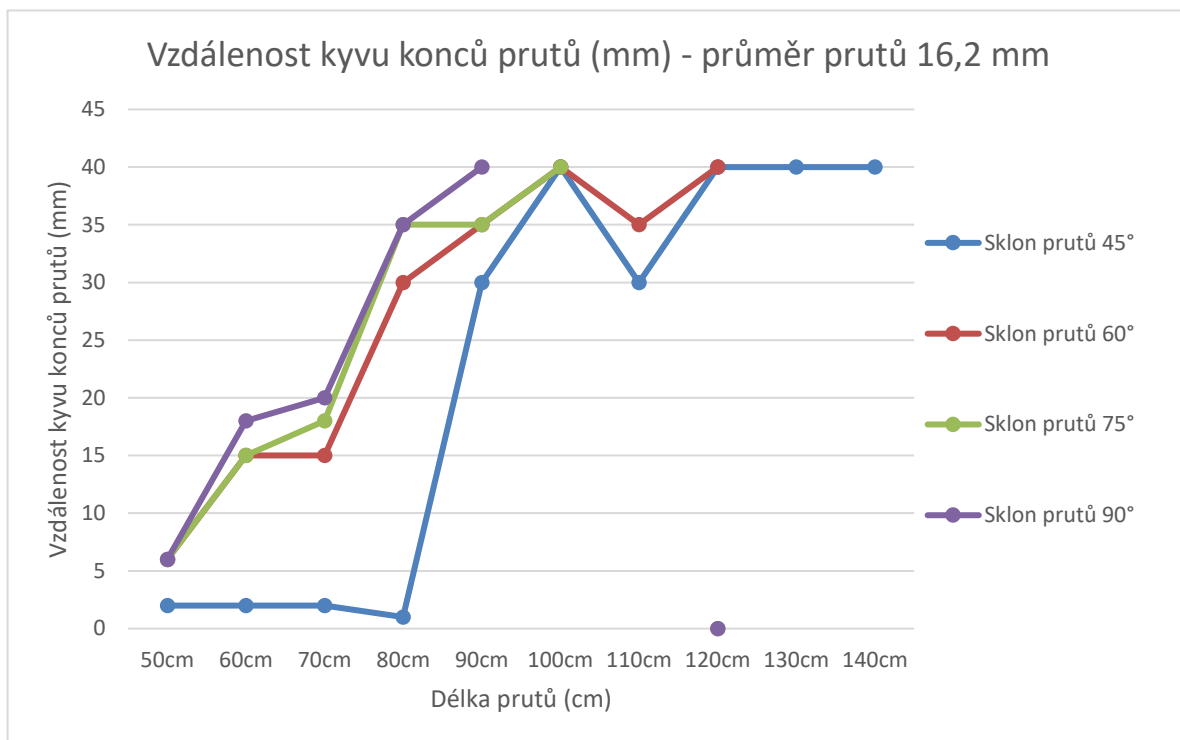
Kmit (Hz)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	12	12	9	9	9	8	8	9	8	7
Sklon prutů 60°	12	10	13	12	10	9	9	9		
Sklon prutů 75°	12	11	14	14	11	11				
Sklon prutů 90°	12	11	14	15	12					

Tabulka 7 - Výkyv prutů během kmitu (mm) kruhových česlí průměru 16,2 mm

Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	2	2	2	1	30	40	30	40	40	40
Sklon prutů 60°	6	15	15	30	35	40	35	40		
Sklon prutů 75°	6	15	18	35	35	40		Pruty kolidující s ostatními jsou označeny červeně		
Sklon prutů 90°	6	18	20	35	40			Pruty kolidující s ostatními jsou označeny červeně		



Graf 11 - Počet kmitů za sekundu (Hz) kruhových česlí průměru 16,2 mm



Graf 12 - Vzdálenost kyvu konců prutů (mm) kruhových česlí průměru 16,2 mm

Při proložení všech naměřených hodnot lze pozorovat klesající tendenci počtu kmitů za sekundu (Hz) s prodlužující se délkou prutů. Ale také zvyšující se vzdálenost kyvu (mm) s prodlužující se délkou prutů a to do té míry, že při délkách prutů nad 80 cm dochází ke vzájemné kolizi volných konců sousedících prutů.

## 9.4.2 Kruhové česle průměru 11,8 mm



Obrázek 58 - Směr proudu na prut česlí

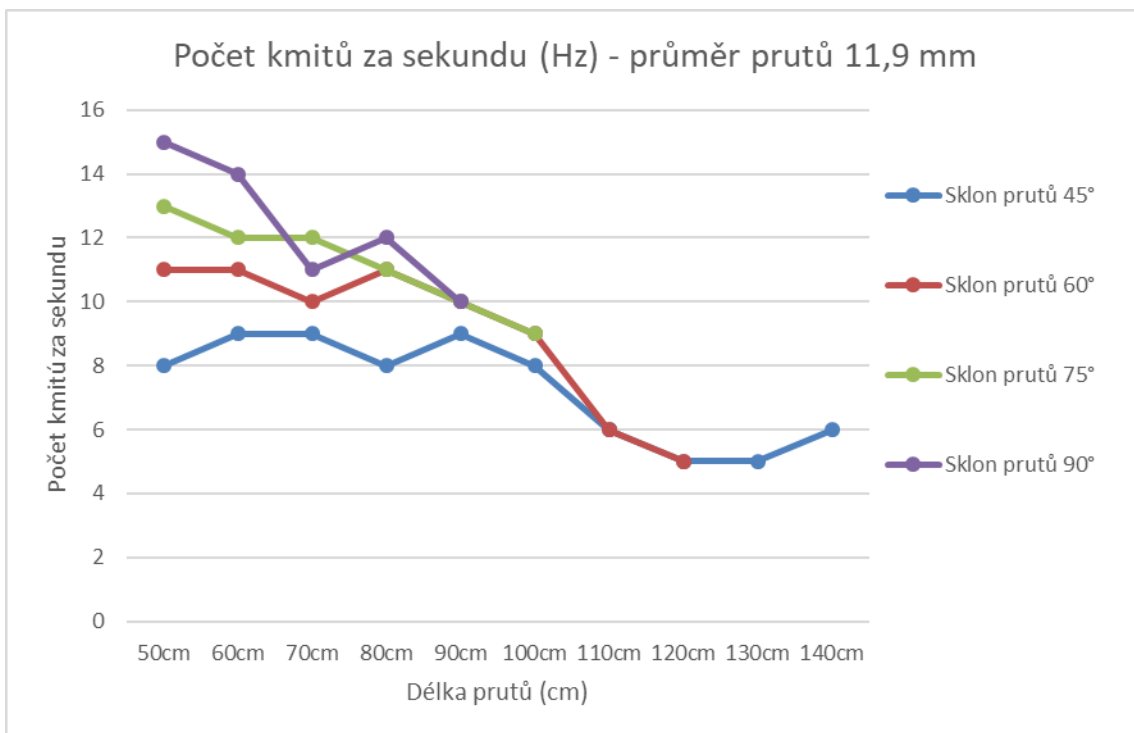
Tabulka 8 - Počet kmitů (Hz) kruhových česlí průměru 11,8 mm

Kmit (Hz)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	8	9	9	8	9	8	6	5	5	6
Sklon prutů 60°	11	11	10	11	10	9	6	5		
Sklon prutů 75°	13	12	12	11	10	9				
Sklon prutů 90°	15	14	11	12	10					

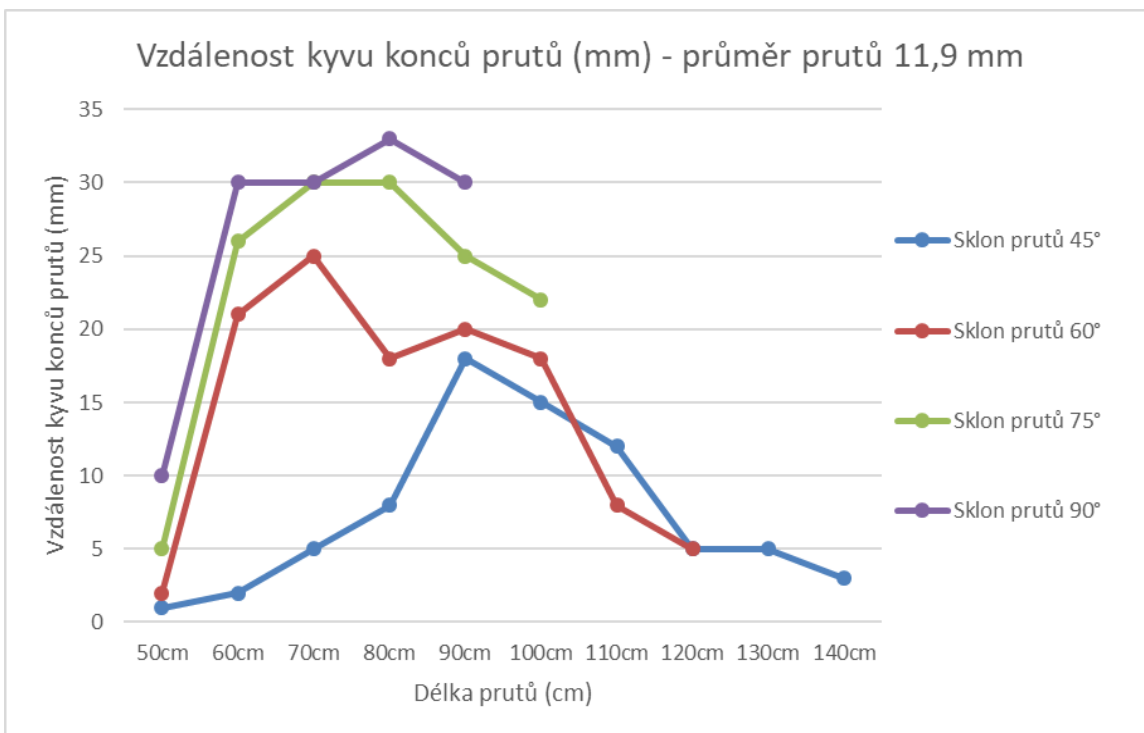
Tabulka 9 - Výkyv prutů během kmitu (mm) kruhových česlí průměru 11,8 mm

Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	1	2	5	8	18	15	12	5	5	3
Sklon prutů 60°	2	21	25	18	20	18	8	5		
Sklon prutů 75°	5	26	30	30	25	22				
Sklon prutů 90°	10	30	30	33	30					

Při proložení všech naměřených hodnot lze pozorovat klesající tendenci počtu kmitů za sekundu (Hz) s prodlužující se délkou prutů. Ale také zprvu prudce se zvyšující vzdálenost kyvu (mm) s prodlužující se délkou prutů cca do 70 cm s následujícím pozvolným poklesem vzdálenosti kyvu až k minimálním hodnotám.

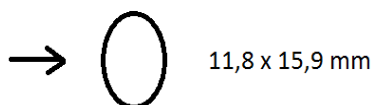


Graf 13 - Počet kmitů za sekundu (Hz) kruhových česlí průměru 11,8 mm



Graf 14 - vzdálenost kyvu konců prutů (mm) kruhových česlí průměru 11,8 mm

### 9.4.3 Eliptické česle 11,8 \* 15,9 mm kolmo na proud



Obrázek 59 - Směr proudu na prut česlí

Tabulka 10 - Počet kmitů (Hz) eliptických česlí průměru 11,8 mm kolmo na proud

Kmit (Hz)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	10	13	10	9	10	8	7	6	6	5
Sklon prutů 60°	10	13	10	10	10	9	7	6		
Sklon prutů 75°	12	13	11	10	10	9				
Sklon prutů 90°	12	13	11	11	10					

Tabulka 11 - Výkyv prutů během kmitu (mm) eliptických česlí průměru 11,8 mm kolmo na proud

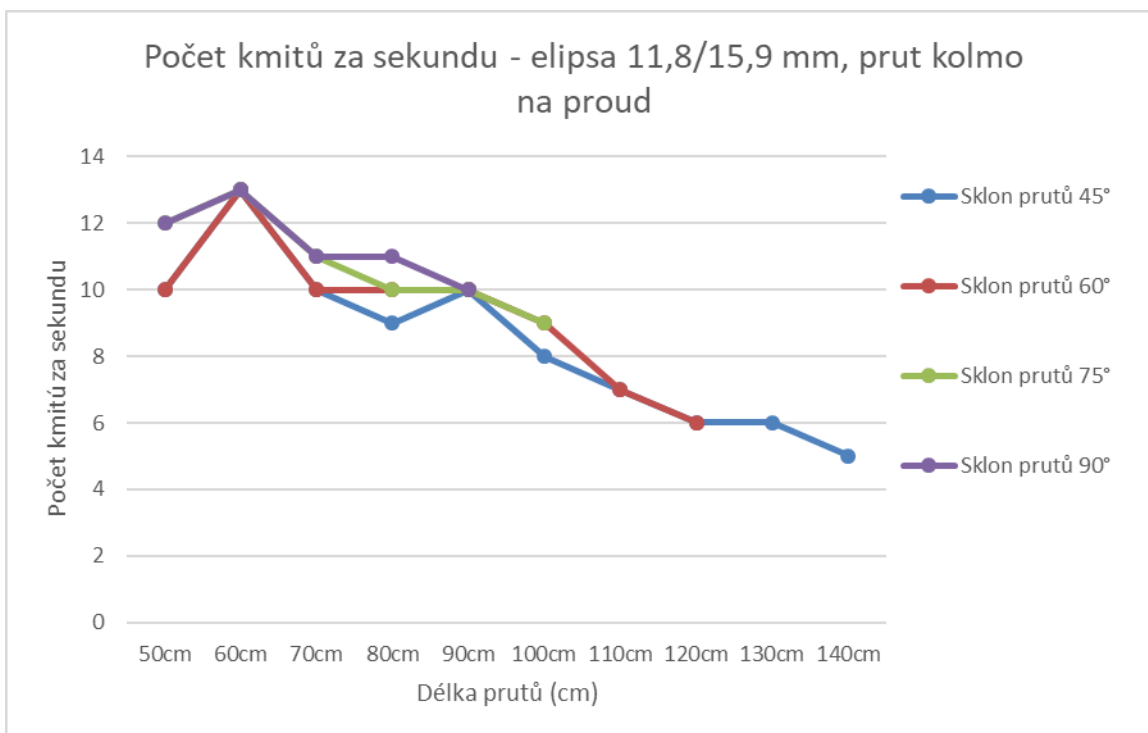
Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	kolmo na proud	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm
Sklon prutů 45°	2	0,25	4	3	35	35	50	45	45	40
Sklon prutů 60°	3	2	20	40	50	45	55	50		
Sklon prutů 75°	14	30	35	45	60	50		Pruty kolidující s ostatními jsou označeny červeně		
Sklon prutů 90°	18	35	40	55	70					

Tabulka 12 - Výkyv (mm) prutů podélně s proudem během kmitu eliptických česlí o průměru 11,8 mm

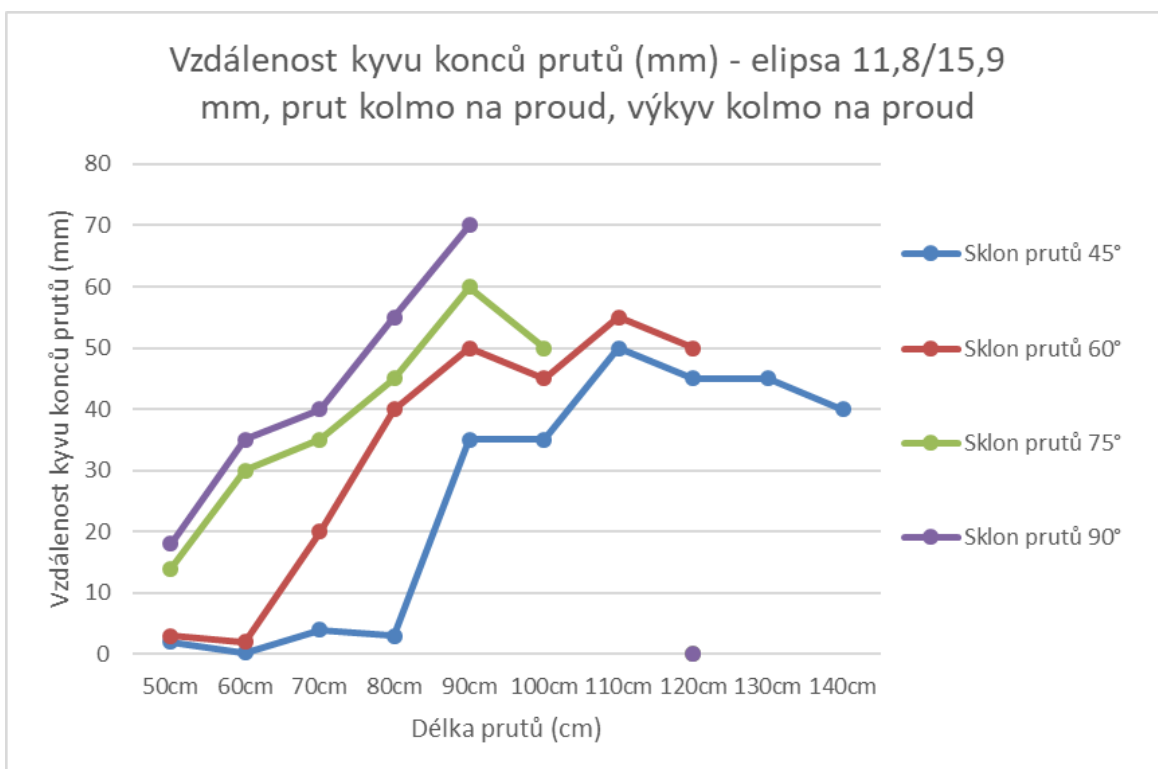
Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	podélně s proudem	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm
Sklon prutů 45°	1	1	2	2	3	6	18	20	20	20
Sklon prutů 60°	1	2	5	6	5	8	18	18		
Sklon prutů 75°	2	5	12	12	12	15				
Sklon prutů 90°	2	5	15	15	25					

V této části měření lze pozorovat klesající tendenci počtu kmitů za sekundu (Hz) s prodlužující se délkou prutů. Zároveň pozvolně se zvyšující vzdálenost kyvu (mm) s prodlužující se délkou prutů cca do 100 cm s následujícím ustáleným výkyvem ve směru kolmo na proud. Zatímco výkyv rovnoběžně s prouděním má stále vzrůstající tendenci závislou na délce prutů česlí.

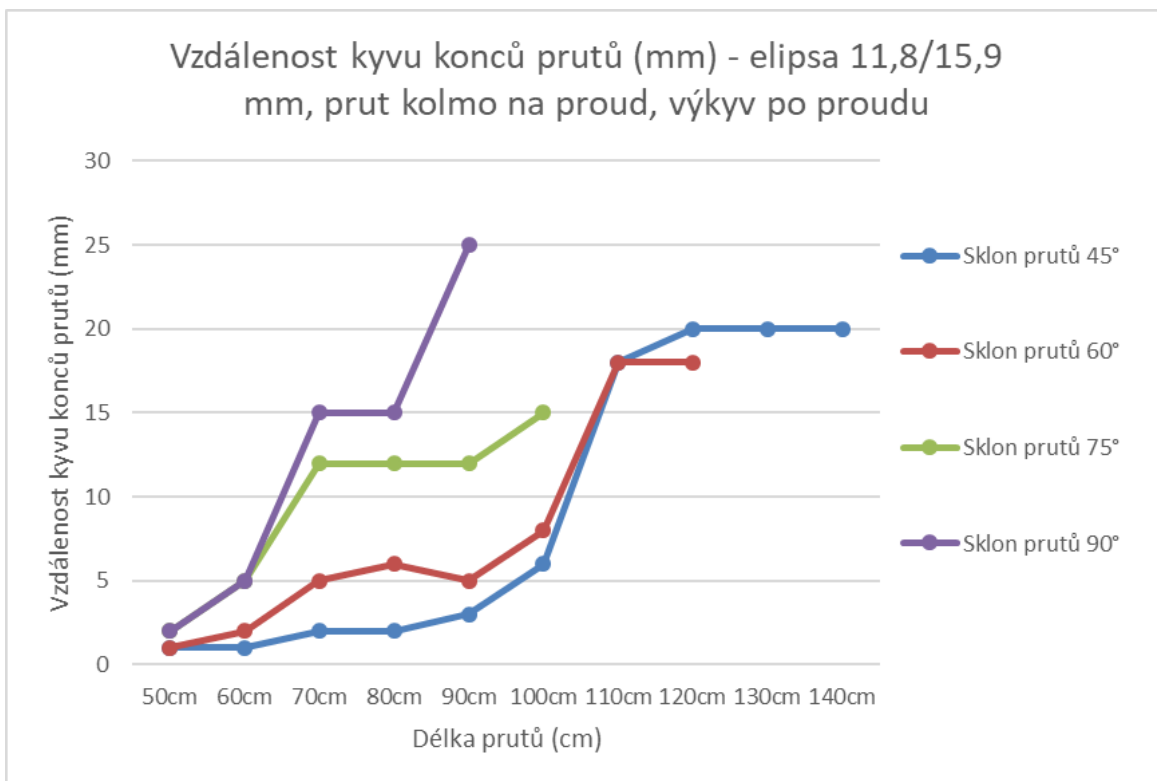




Graf 15 - Počet kmitů za sekundu (Hz) eliptických česlí průměru 11,8 mm kolmo na proud



Graf 16 - Vzdálenost kyvu (mm) konců prutů kolmo na proud eliptických česlí průměru 11,8 mm



Graf 17 - Vzdálenost kyvu konců prutů po proudu (mm), prut kolmo na proud

## 9.4.4 Eliptické česle 11,8 \* 15,9 mm podélně s proudem



Obrázek 60 - Směr proudu na prut česlí

Tabulka 13 - Počet kmitů (Hz) eliptických česlí 11,8 \* 15,9 mm podélně s proudem

Kmit (Hz)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	2	9	10	7	6	6	6	5	5	4
Sklon prutů 60°	4	10	8	7	6	7	6	5		
Sklon prutů 75°	5	10	8	7	6	9				
Sklon prutů 90°	10	11	9	8	7					

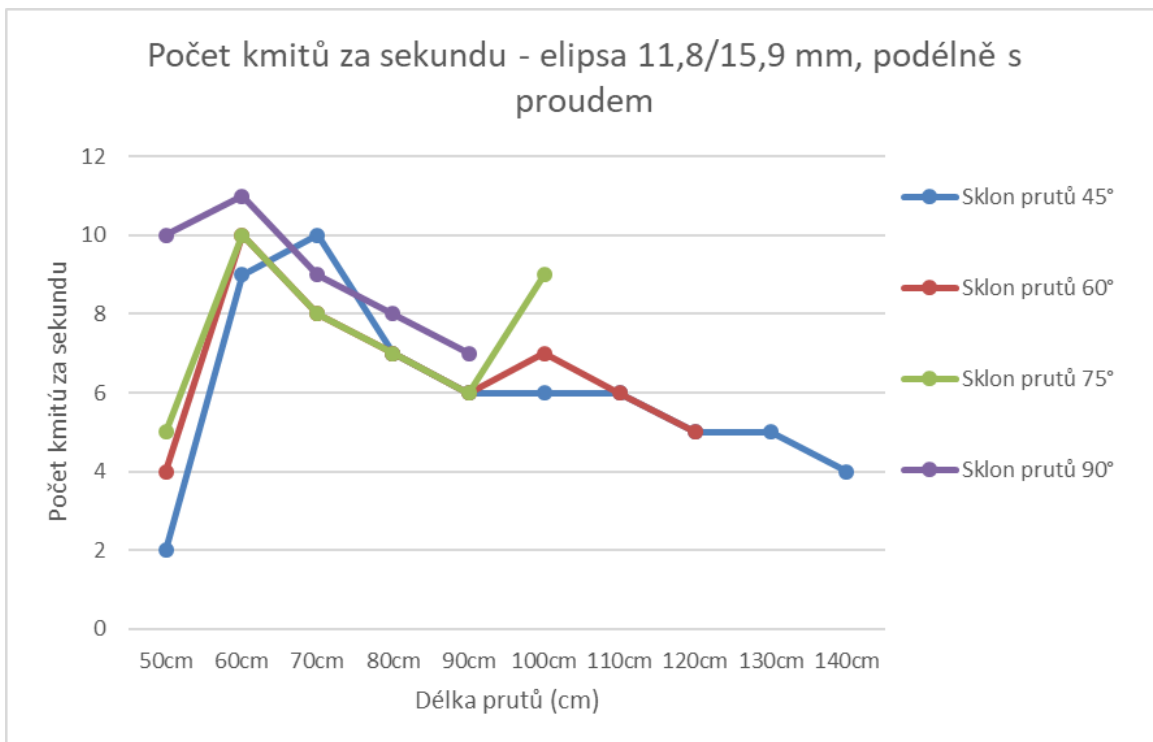
Tabulka 15 - Výkyv prutů kolmo na proud během kmitu (mm) eliptických česlí 11,8 \* 15,9 mm

Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
kolmo na proud										
Sklon prutů 45°	0,25	1	1	1	2	10	10	6	6	5
Sklon prutů 60°	0,5	2	5	8	12	15	8	9		
Sklon prutů 75°	1	3	10	11	12	10				
Sklon prutů 90°	2	4	20	17	25					

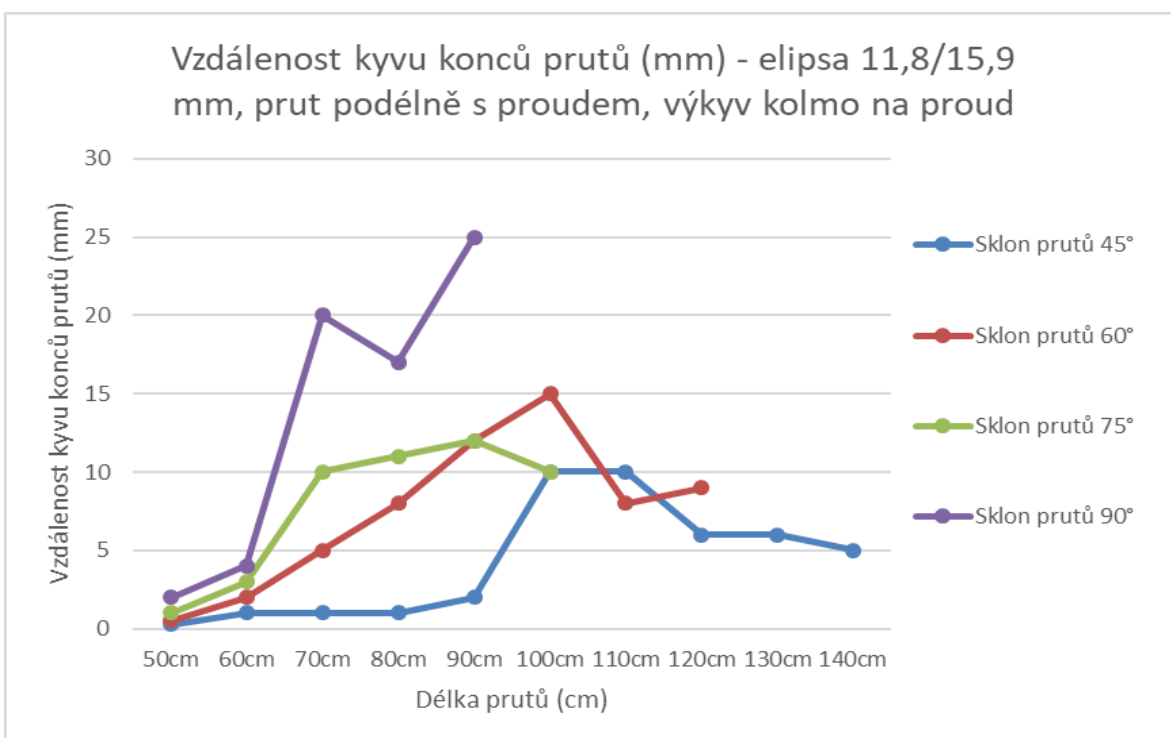
Tabulka 14 - Výkyv prutů podélně s proudem během kmitu (mm) eliptických česlí 11,8 \* 15,9 mm

Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
podélně s proudem										
Sklon prutů 45°	0	2,5	3	3	10	11	2	2	2	1
Sklon prutů 60°	0	2	4	4	10	11	2	2		
Sklon prutů 75°	0	1,5	2,5	5	10	3				
Sklon prutů 90°	0	1	2	5	3					

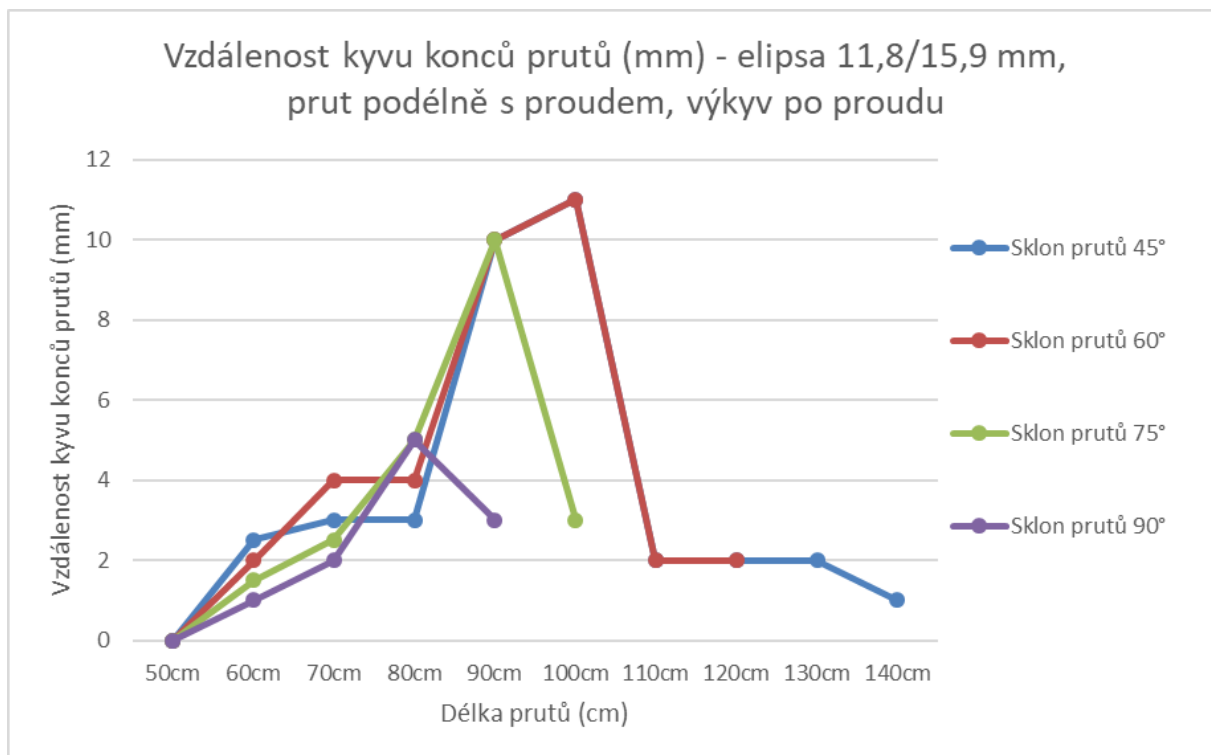
Po otočení prutů o 90° ve směru proudu (hlavní osa elipsy je rovnoběžně s proudem) lze po rychlém nárůstu kmitů (až 11 Hz při délce 60 cm) pozorovat klesající tendenci počtu kmitů za sekundu (až na 4 Hz) s prodlužující se délkou prutů. Zároveň pozvolně se zvyšující vzdálenost kyvu (kolmo na směr proudění (mm)) s prodlužující se délkou prutů. Mimo varianty, kdy jsou česle sklopeny na 90° (svisle), v tomto případě je nárůst výkyvu oproti ostatním variantám sklopení česlí velmi rychlý. Výkyv rovnoběžně s prouděním má vzrůstající tendenci s délkou prutů česlí až do cca 100 cm. Následně dochází k pozvolnému poklesu výkyvu až na 1-2 mm.



Graf 18 - Počet kmitů za sekundu (Hz) eliptických česlí 11,8 \* 15,9 mm podélně s proudem

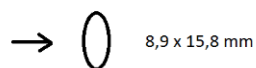


Graf 19 - Vzdálenost kyvu konců prutů kolmo na proud (mm) eliptických česlí 11,8 \* 15,9 mm, prut podélně s proudem



Graf 20 - Vzdálenost kyvu konců prutů po proudu (mm) eliptických česlí 11,8 \* 15,9 mm

### 9.4.5 Eliptické česle 8,9 \* 15,8 mm kolmo na proud



Obrázek 61 - Směr proudu na prut česlí

Tabulka 16 - Počet kmitů (Hz) eliptických česlí průměru 8,9/15,8 mm kolmo na proud

Kmit (Hz)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	7	14	15	12	9	7	7	8	5	6
Sklon prutů 60°	9	12	14	12	10	8	8	7		
Sklon prutů 75°	10	13	14	14	10	8				
Sklon prutů 90°	10	14	14	13	11					

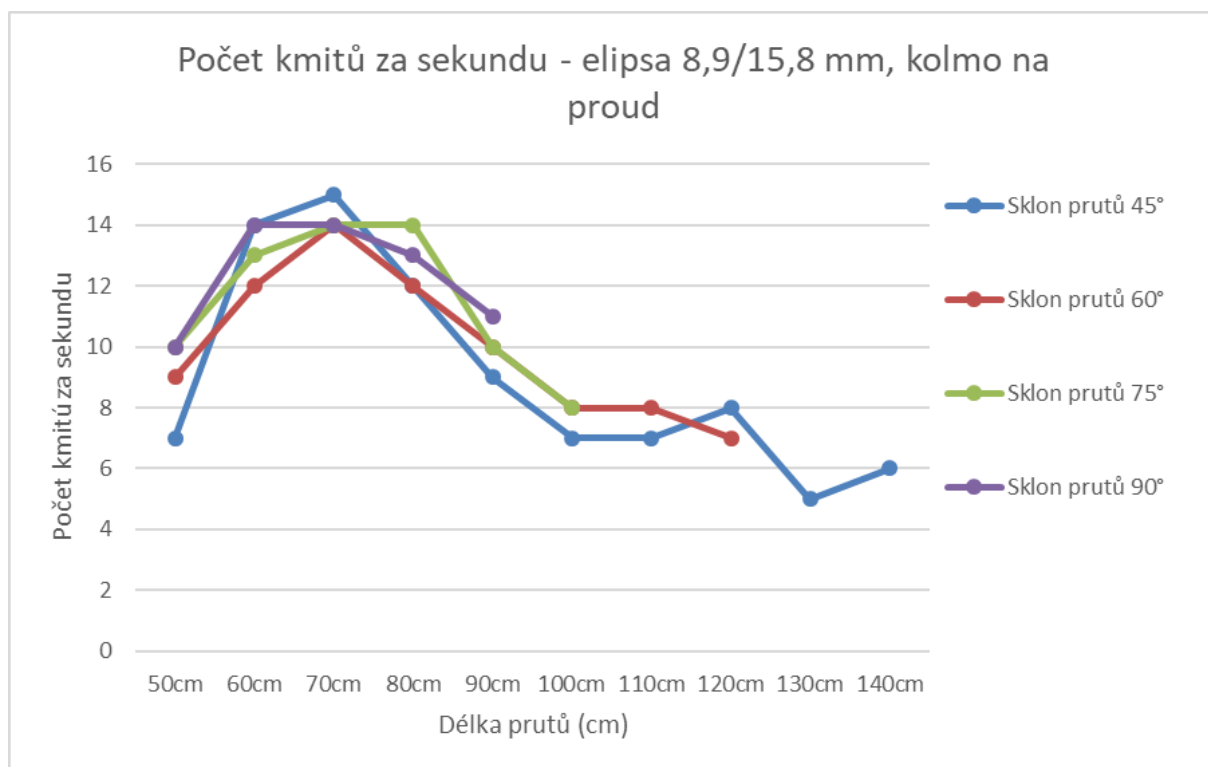
Tabulka 17 - Výkyv prutů během kmitu kolmo na proud(mm) eliptických česlí průměru 8,9/15,8 mm

Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
kolmo na proud	0,5	0,25								
Sklon prutů 45°	0,5	0,25	3	10	35	35	40	50	55	60
Sklon prutů 60°	1	15	20	30	40	45	45	50		
Sklon prutů 75°	15	20	30	35	55	60			Pruty kolidující s ostatními	
Sklon prutů 90°	20	25	35	40	60				jsou označeny červeně	

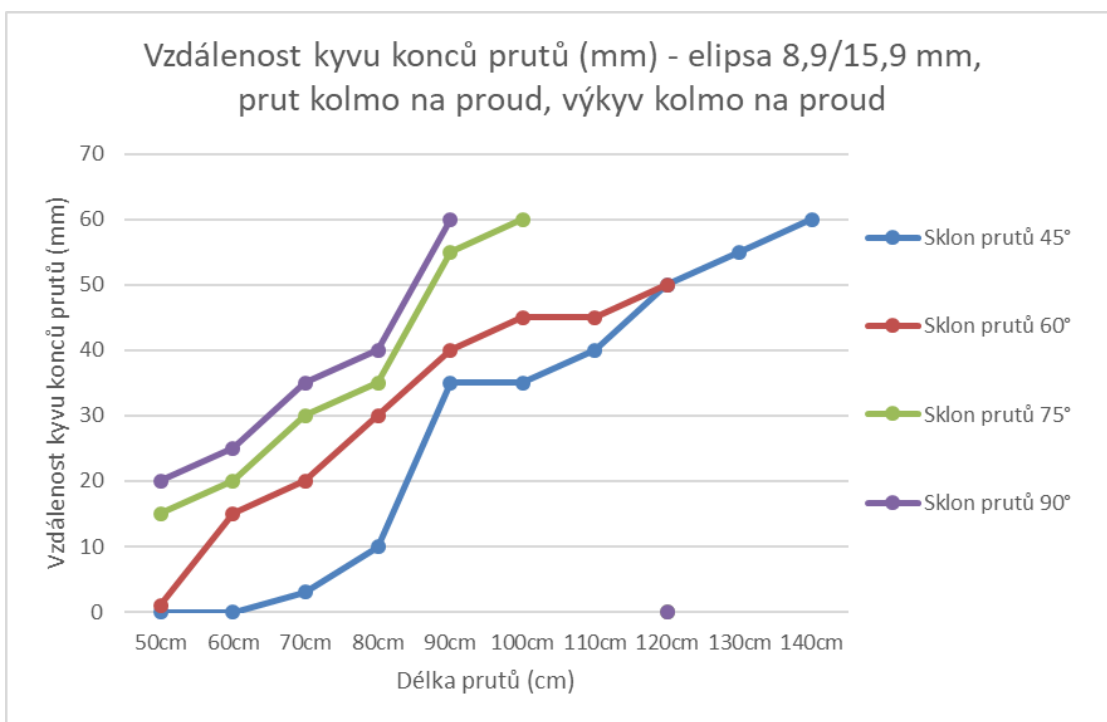
Tabulka 18 - Výkyv prutů během kmitu podélně s proudem (mm)  
eliptických česlí průměru 8,9/15,8 mm

Výkyv (mm) podélně s proudem	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	0,5	1	2	3	8	15	20	25	40	50
Sklon prutů 60°	0,5	4	5	7	18	25	35	35		
Sklon prutů 75°	8	8	14	25	30	35				
Sklon prutů 90°	10	15	25	30	40					

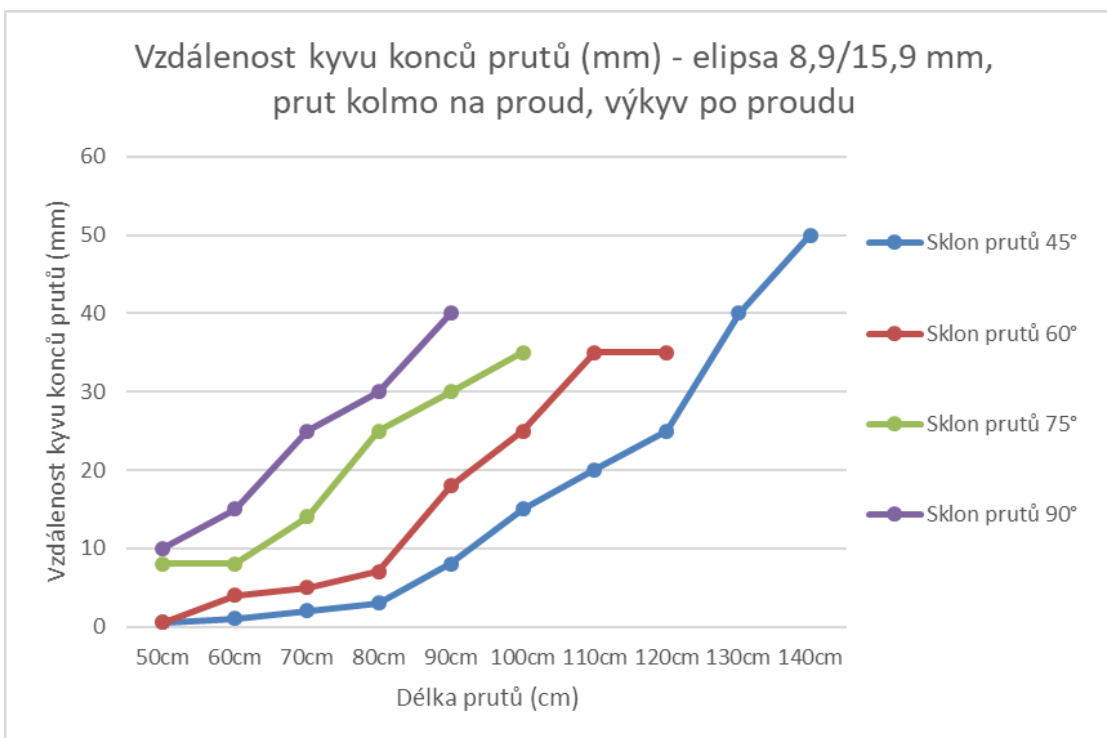
V poslední části měření mechanických vlastností prutů jsem vyměnil pruty o elipsovitém profilu za ještě užší (8,9\*15,8 mm), na kterých lze při měření pozorovat rovnoměrný nárůst počtu kmitů za sekundu (Hz) s prodlužující se délkou prutů až do 70 cm. Poté následuje pozvolný pokles kmitání až do středních hodnot pohybujících se v celkovém měření. Zároveň pozvolně se zvyšující vzdálenost kyvu (mm) ve směru kolmo na proud s postupně se prodlužující délkou prutů, kdy v délce 70 cm (při které dochází k poklesu počtu kmitů) dochází k tak velkému výkyvu, že volné konce prutů kyvných česlí spolu kolidují. Výkyv rovnoběžně s prouděním má velmi podobnou tendenci jako výkyv kolmo na proud, avšak zde nedochází k vzájemným kolizím.



Graf 21 - Počet kmitů za sekundu (Hz) eliptických česlí průměru 8,9/15,8 mm kolmo na proud



Graf 22 - Vzdálenost kyvu konců prutů kolmo na proud (mm), prut kolmo na proud



Graf 23 - Vzdálenost kyvu konců prutů pom proudu (mm), prut kolmo na proud

## 9.4.6 Eliptické česle 8,9 \* 15,8 mm podélně s proudem



Obrázek 62 - Směr proudu na prut česlí

Tabulka 19 - Počet kmitů (Hz) eliptických česlí průměru 15,8/8,9 mm podélně s proudem

Kmit (Hz)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
Sklon prutů 45°	12	10	8	8	6	6	17	17	16	14
Sklon prutů 60°	15	10	8	8	6	12	17	17		
Sklon prutů 75°	16	10	8	7	8	14				
Sklon prutů 90°	15	10	9	7	8					

Tabulka 20 - Výkyv prutů během kmitu (mm) eliptických česlí průměru 15,8/8,9 mm podélně s proudem

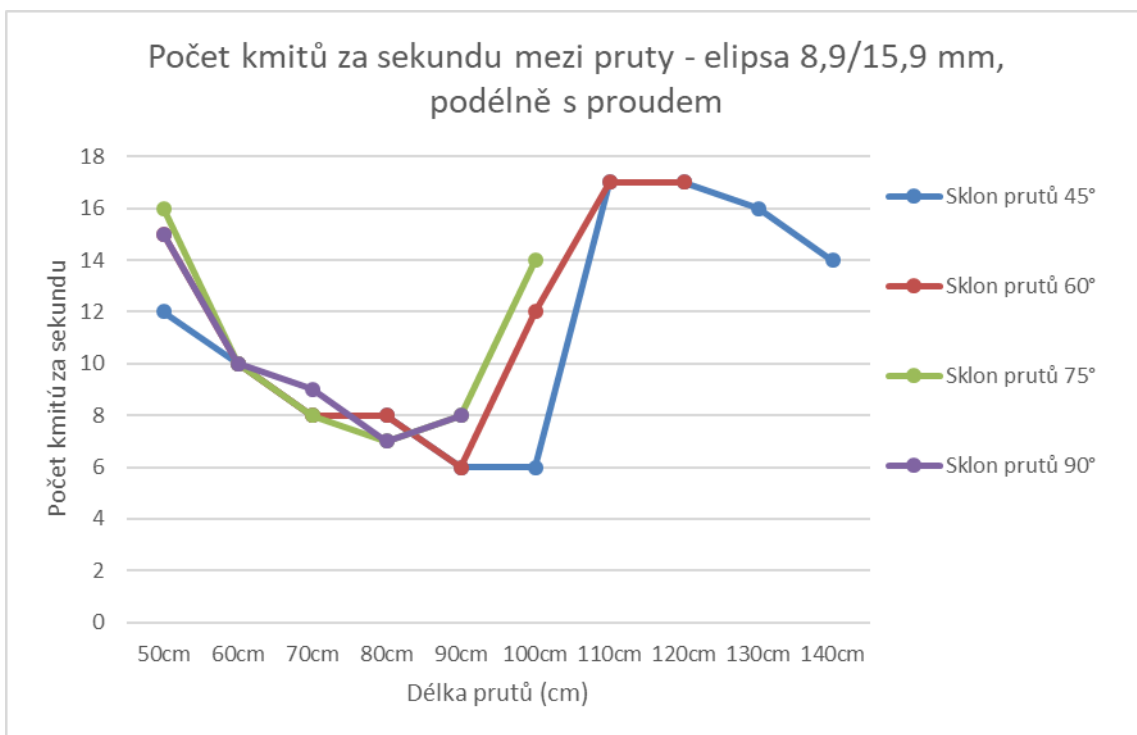
Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
kolmo na proud										
Sklon prutů 45°	2	1	2	10	10	6	5	5	5	2
Sklon prutů 60°	4	2	4	12	8	2	8	5		
Sklon prutů 75°	6	2	9	11	2	4				
Sklon prutů 90°	5	4	10	10	2					

Tabulka 21 - Výkyv prutů během kmitu podélně s proudem (mm) eliptických česlí průměru 15,8/8,9 mm prut podélně s proudem

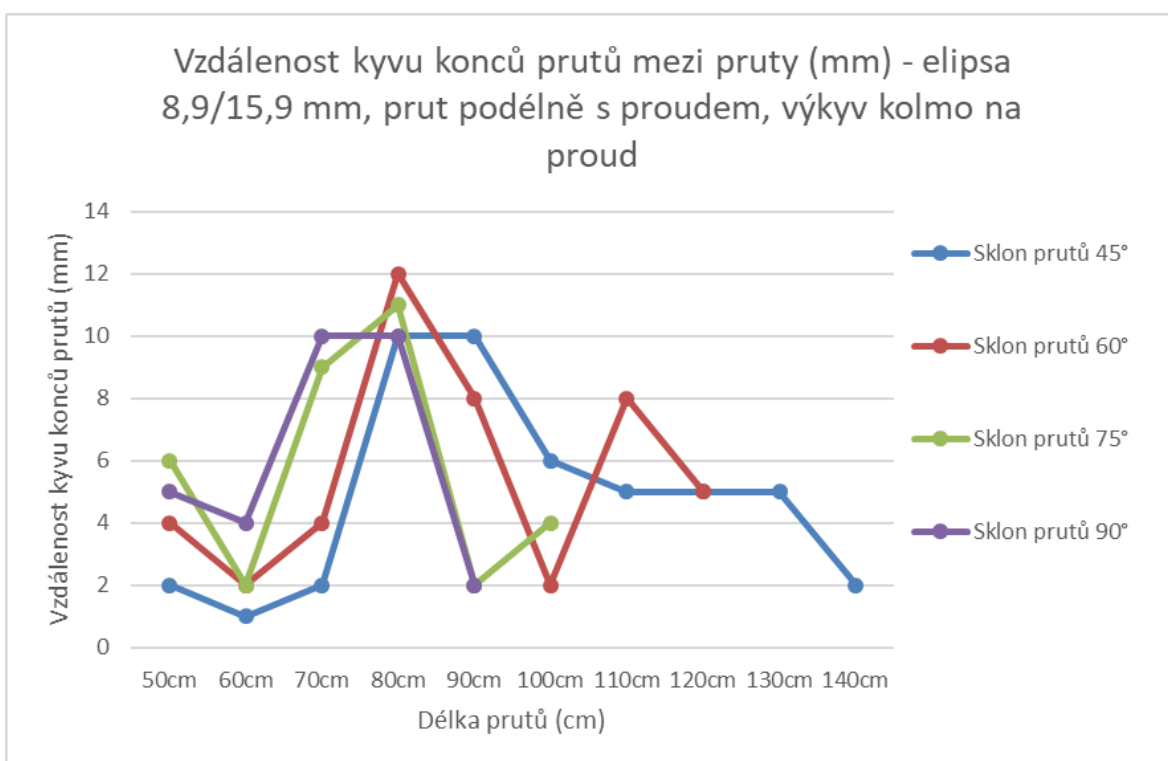
Výkyv (mm)	Délka prutu (cm)									
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm	110cm	120cm	130cm	140cm
podélně s proudem										
Sklon prutů 45°	1	1	3	5	1	1	2	1	5	2
Sklon prutů 60°	1	1	4	10	1	2	2	2		
Sklon prutů 75°	1	1	3	12	3	8				
Sklon prutů 90°	1	1	3	10	10					

Po otočení prutů z předchozího setu měření o 90° (hlavní osa elipsy je rovnoběžně s proudem) lze pozorovat vysoký počet kmitů (až 16 Hz), který má klesající tendenci s délkou prutů až do 100 cm. Poté je evidentní prudký nárůst počtu kmitů na původní hodnotu 16 Hz a (při prodloužení délky prutů o 20 cm) jejich následný pozvolný pokles. Vzdálenost kyvu, kolmo na směr proudění i podélně s prouděním se s prodlužující se délkou prutu je velmi podobná a poměrně nízká. Pouze při délkách prutů kolem 80 cm dochází k navýšení výkyvu, ale nijak razantně, pouze na 12 mm, takže nedochází ke kolizi sousedících prutů.

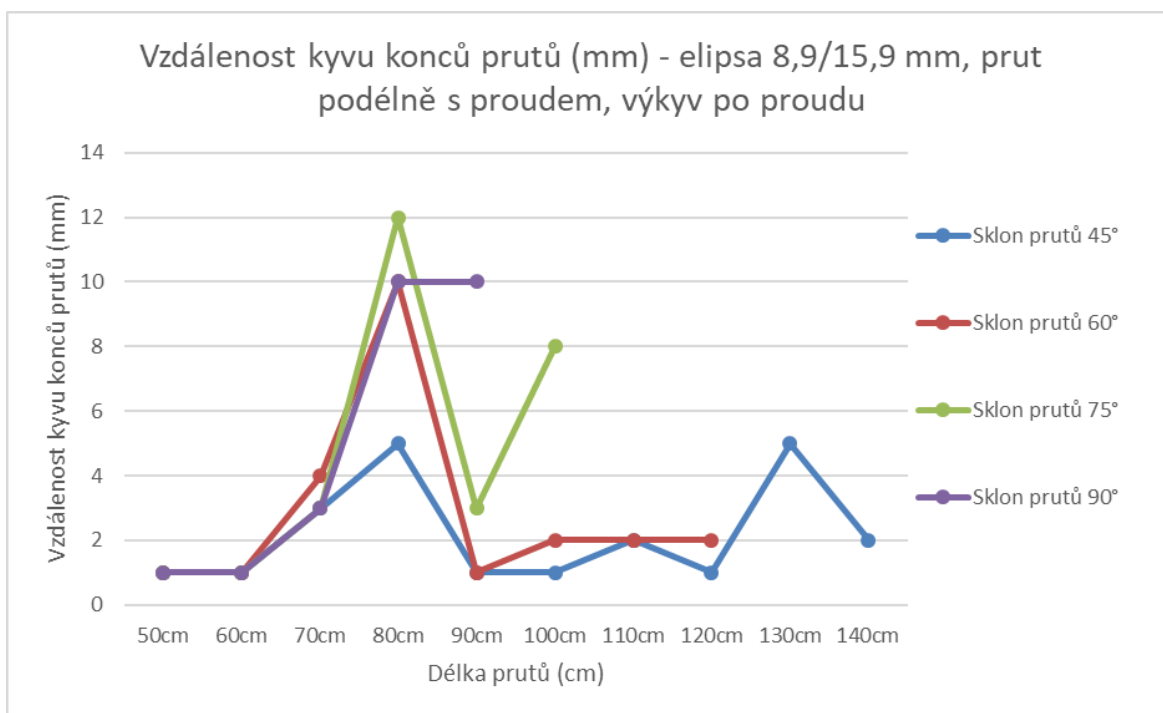




Graf 24 - Počet kmitů za sekundu (Hz) eliptických česlí průměru 15,8/8,9 mm podélně s proudem



Graf 25 - Vzdálenost kyvu konců prutů kolmo na proud (mm), prut podélně s proudem



Graf 26 - Vzdálenost kyvu konců prutů po proudu (mm), prut podélně s proudem

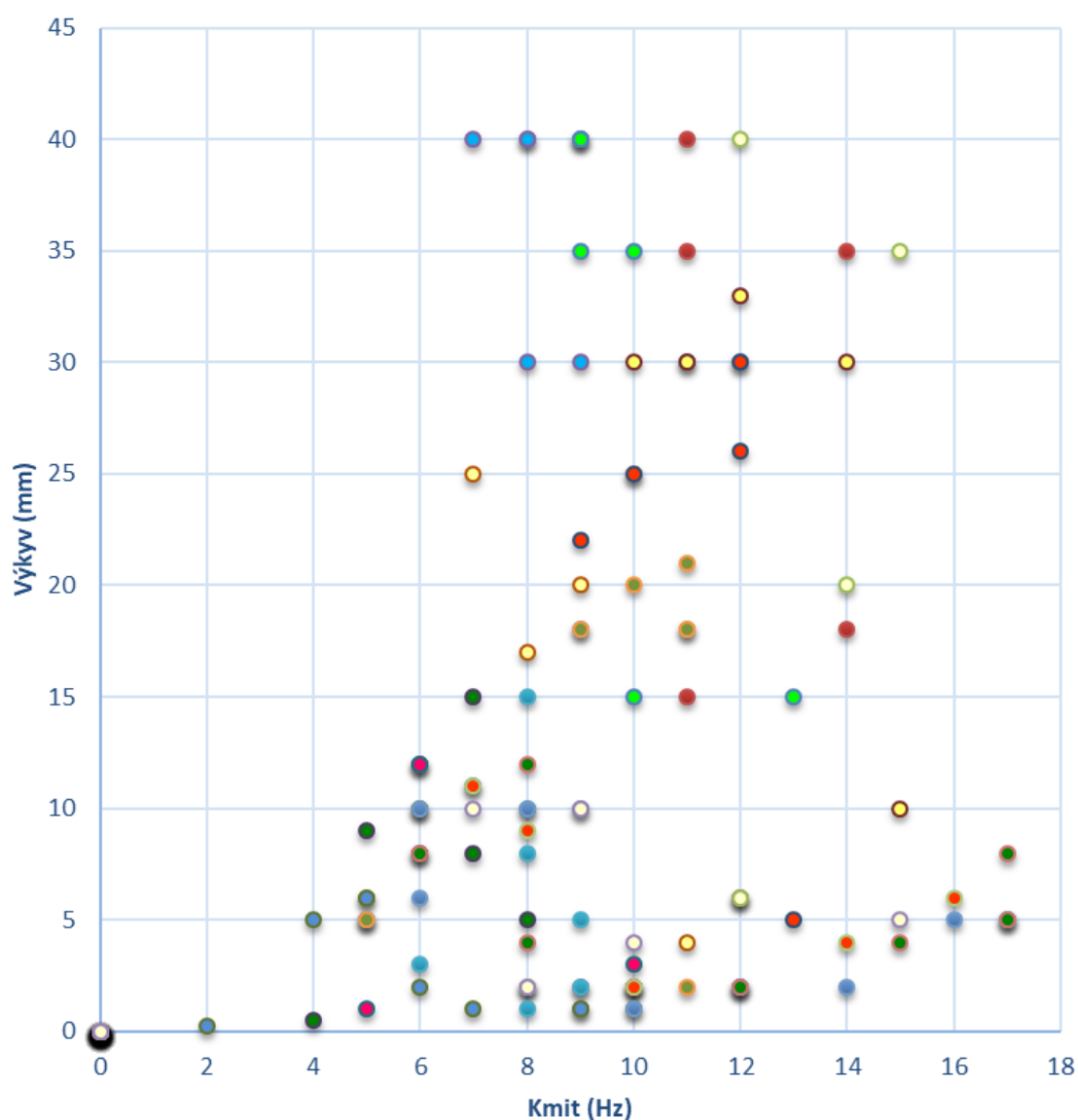
### 9.4.7 Souhrnné výsledky měření

Následující graf (Graf 27) znázorňuje vliv kmitu na vzdálenost kyvu kolmo na směr proudění. Tento graf zohledňuje hodnoty kmitu a kyvu česlí kulatých profilů a profilů eliptických, jejichž podélná osa je rovnoběžná s osou proudění.

Barevné rozdělení naměřených výsledků je podle sklonů prutů česlí. Pro sklon 45° je zvolena modrá škála barev a pro sklon 60° zelená. Sklony prutů při 75° jsou v červené škále barev a pruty ve svislici (sklon 90°) jsou označeny žlutou škálou barev.

V grafu lze pozorovat, že kmit dosahuje nejčastěji hodnot 7-12 Hz při výkyvu do 20 mm. Limitní hodnoty výkyvu nad 35 mm, které již mohou způsobovat kolize volných konců jednotlivých prutů, jsou zastoupeny pouze minimálně a to převážně u prutů malých sklonů (45° a 60°). U sklonů 75° a 90° hrozí kolize až při kmitech nad 12 Hz a k těm dochází již minimálně. Vliv kmitu (Hz) na vzdálenost kyvu (mm) je tudíž pozorován, avšak není lineární.

## Vliv kmitu na vzdálenost kyvu kolmo na směr proudění



- Sklon prutů 45°Průměr 16,2
- Sklon prutů 60°Průměr 16,2
- Sklon prutů 75°Průměr 16,2
- Sklon prutů 90°Průměr 16,2
- Sklon prutů 45°Průměr 11,9
- Sklon prutů 60°Průměr 11,9
- Sklon prutů 75°Průměr 11,9
- Sklon prutů 90°Průměr 11,9
- Sklon prutů 45°Elipsa 11,8x15,9 podélně
- Sklon prutů 60°Elipsa 11,8x15,9 podélně
- Sklon prutů 75°Elipsa 11,8x15,9 podélně
- Sklon prutů 90°Elipsa 11,8x15,9 podélně
- Sklon prutů 45°Elipsa 8,9x15,9 podélně
- Sklon prutů 60°Elipsa 8,9x15,9 podélně
- Sklon prutů 75°Elipsa 8,9x15,9 podélně
- Sklon prutů 90°Elipsa 8,9x15,9 podélně

Graf 27 - Vliv kmitu na vzdálenost kyvu u prutů s hlavní osou kolmo na směr proudění

## 9.5 Ověření samočisticího efektu prutů kyvných česlí

Po skončení série měření mechanických vlastností kyvných samočisticích česlí jsem ověřoval u všech typů česlí (mimo eliptických umístěných kolmo na proud – z důvodu kolize jednotlivých prutů je jejich použití v provozu nevhodné) jejich samočisticí efekt pomocí estetického znečištění. Použil jsem reálné znečištění tohoto typu, které se vyskytuje ve stokových soustavách, tj.:

- Textil, hadry a obuv
- Prezervativy
- Dámské vložky a tampony
- Papírové kapesníky a odličovací tampony
- Vysokorychlostní kameru a mobilní telefon



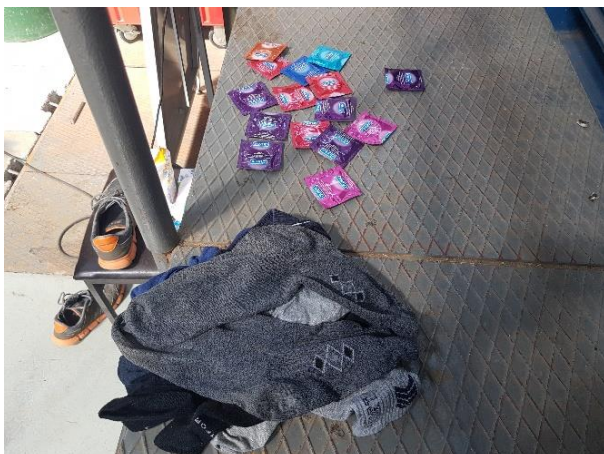
Obrázek 63 - Příprava estetického znečištění k pokusům



Obrázek 64 - Prezervativy a tampony

Estetické znečištění jsem umisťoval do hydraulického žlabu do proudu tak, aby jej proud nanášel na česle a pomocí zpomalených videozáznamů jsem ověřoval, jak nečistoty ulpívají na jednotlivých prutech samočisticích česlí a hlavně jak se z nich následně uvolňují. Hlavní částí zájmu bylo ověření chování prutů česlí při skončení dešťové události, kdy dojde k postupnému poklesu navýšeného proudění až k jeho návratu na bezdeštní stav, kdy CSO přestane přepadat. Při tomto stavu dochází k ponoření pouze části volných konců prutů česlí, které se postupně zcela vynoří z přepadající vody. Již v prvotní fázi pokusů bylo zřejmé, že při ponoření prutů v délce 5 až 10 cm dochází k jejich výraznému rozkmitání a následnému uvolnění všech zbývajících nečistot. Ověřovány byly 4 typy prutů s tím, že každé měření bylo 3x opakováno. Měření vždy začínalo s hladinou dosahující úrovně zaplavení kyvného kloubu, následovanou postupným poklesem hladiny až na nulovou úroveň.

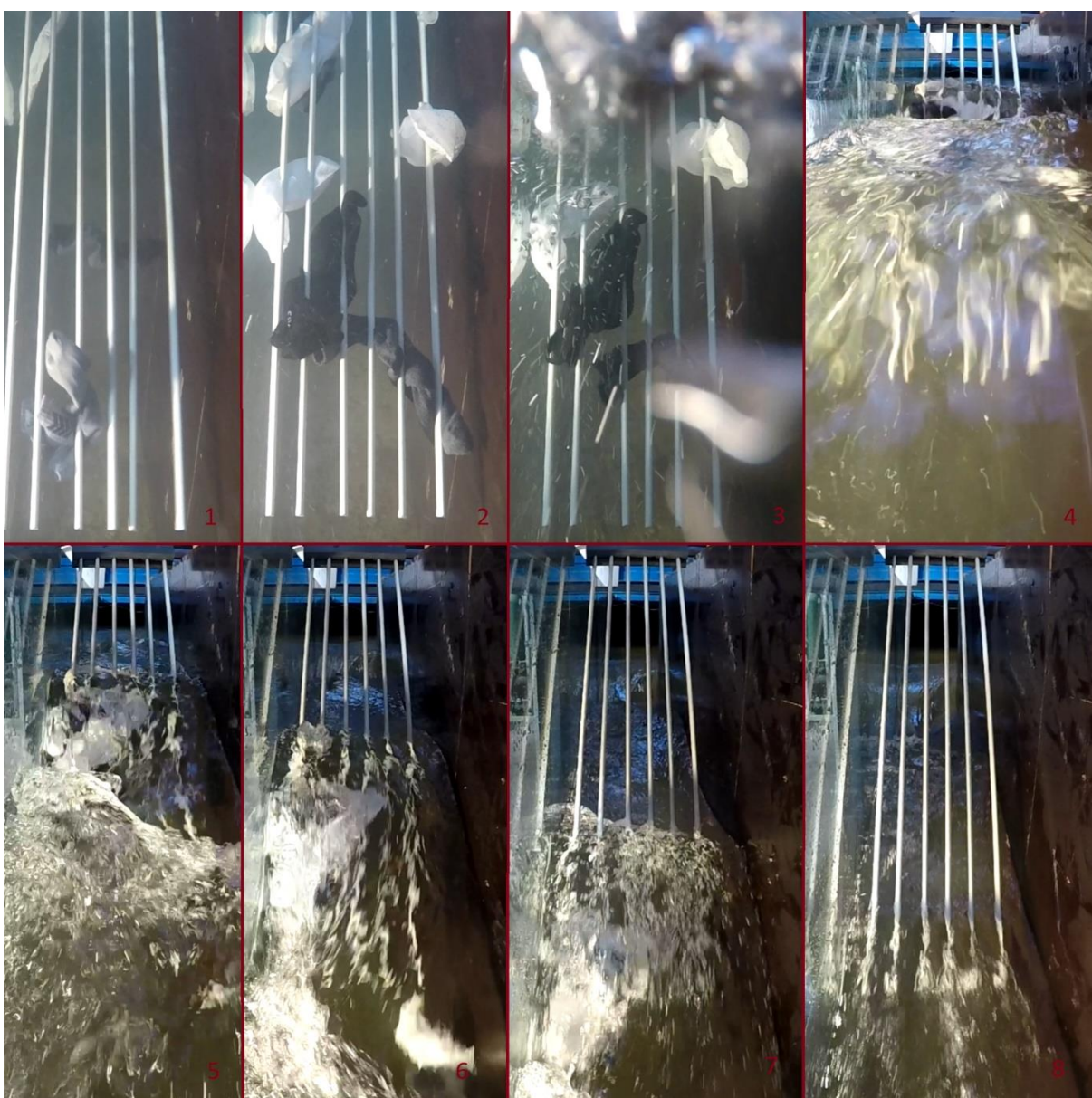




Obrázek 65 - Hadry a textil



Obrázek 66 - Vložky a tampony



Obrázek 67 - Samočisticí efekt kyvných česlí CSO Hobas chamber (časosběrné foto z videa)

Během pokusů se zaplavením prutů česlí až po kyvný kloub docházelo téměř ve všech případech k zachycení a následnému posunu směrem ke dnu žlabu znečištění větších rozměrů (dámské vložky, prezervativy, hadry a obuv). Zatímco znečištění menších rozměrů (dámské tampony a odličovací tampony) v 50 % případů proplulo mezi jednotlivými pruty bez zachycení. Zachycené znečištění menších rozměrů však po nějaké době (většinou v řádech desítek sekund, max. 2-3 minuty) se vždy uvolnilo ve směru proudění, popř. sklouzlo po prutech směrem ke dnu hydraulického žlabu ve směru proudění. Více viz. videa v příloze na CD.

Obr. 67 znázorňuje průběh samočisticího efektu kyvných česlí, který nastává během simulace končící dešťové události, kdy pozvolným poklesem hladiny v CSO dojde k výraznému rozkmitání volných konců prutů česlí, ze kterých se následně uvolní všechny zbylé nečistoty. Tento efekt byl pozorován při všech pokusech u všech typů prutů, po skončení pokusů na prutech nezůstaly nečistoty ani v jednom případě. Více viz. videa v příloze na CD.

Během pokusu bylo jednoznačně dokázáno, že k samočisticímu efektu kyvných česlí CSO Hobas Chamber dochází a že je 100% efektivní.

## 9.6 Závěr měření

Při výzkumu mechanických vlastností samočisticích česlí bylo zjištěno, že oba typy elipsovitých česlí umístěných kolmo na proud dosahují tak velkého výkyvu v obou směrech, že jsou nepoužitelné z důvodu vzájemné kolize jednotlivých prutů. Během pokusů se zvolený kompozitní materiál ukázal jako velmi vhodný, nedocházelo k poškození a opotřebením prutů česlí, nebo ke zdrsnění jejich povrchu a následnému možnému omezení samočisticího efektu, který se zvláště při poklesu hladiny vody simulující skončení dešťové události ukázal jako velmi efektivní.

Kruhové pruty mají velmi podobný počet kmitů v obou průměrech (11,9 a 16,2 mm). Avšak z hlediska výkyvu jsou vhodnější 11,9 mm pruty, protože nedocházelo k jejich kolizi během jakýchkoliv stavů měření. Zatímco u prutů 16,2 mm docházelo ke kolizím volných konců při délkách prutů nad 80 cm.

Elipsovité česle umístěné svojí podélnou osou ve směru proudění se jednoznačně jeví jako nejvhodnější. Při délce prutů do 1 m dosahují vyšších kmitů a uspokojivých hodnot kyvu pruty profilu 11,8/15,9 mm, nad 1 m dosahují vyšších

kmitů a vhodných kyvů pruty profilu 8,9/15,9 mm. Při výkyvu česlí umístěných podélně s proudem nedochází ke vzájemné kolizi volných konců prutů při všech jejich délkách.

Obecně se rychlost pohybu volného kmitajícího konce prutů spíše zvyšuje s délkou prutu → vyšší rychlost pohybu napomáhá samočisticímu efektu česlí.

Pro návrh kyvných česlí se samočisticí funkcí tedy doporučuji elipsovité pruty umístěné svojí podélnou osou ve směru proudění. Pro délku prutů česlí do 1 m navrhuji profil 11,8/15,9 mm, při délkách prutů česlí nad 1 m pak profil 8,9/15/9 mm.

## 10 Aplikace výsledků měření v praxi

Získané výsledky již byly částečně aplikovány v praxi. Zjištěné koeficienty ztrát byly dosazeny do návrhové tabulky pro výpočet kapacitního proudění v CSO Hobas Chamber. Podle navržené optimalizace již byly zkonstruovány a osazeny CSO, viz. níže:

Pollert Hobas CSO, Německo 2014

Hobas CSO Chamber – Castel San Pietro 2017

Hobas CSO-T – Kežmarok 2017

Pollert Hobas CSO, Slovensko 2017

Hobas CSO Chamber s boční přepadovou hranou (prototyp) 2018

Závěry měření zjištěné při výzkumu mechanických vlastností kyvných samočisticích česlí byly dodány výrobcí CSO Hobas Chamber (dříve HOBAS-CZ, nyní je to společnost Amiblu Holding GmbH prostřednictvím dceřiné společnosti Amiblu Technology AS). Podle doporučených návrhů vyplívajících z práce, budou optimalizovány kyvné česle se samočisticí funkcí při výrobě nových CSO Hobas Chamber, které se budou v budoucnu osazovat v terénu.

Jak naznačuje vývoj výše popsaných zákonů a vyhlášek (Kap. 4.3.), bude v budoucnu nutné osadit OK měřením průtoku za účelem výpočtu poplatku za vypouštění odlehčené vody přepadající z OK. Dle výše zmíněných informací by měl být výsledný poplatek redukován koeficientem, mimo jiné vycházejícím ze stupně předčištění odlehčených vod. Nově doporučený návrh kyvných samočisticích česlí splňuje požadavky podle § 8 odst. 3 písm. g) „splňujících technické požadavky pro stavbu a provoz OK stanovené právním předpisem“, kterým se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích.

Získané výsledky napomohly k optimalizaci CSO Hobas Chamber z hlediska funkčního a pravděpodobně v budoucnu i z hlediska finančních úspor za poplatky za vypouštění odpadních vod během provozu CSO. Z těchto důvodů hodnotím cíle disertační práce jako splněné.



# 11 Seznam použité literatury a zdrojů

## Literatura:

- [1] Nysl, V., & Synáčková, M. (1998). *Zdravotně inženýrské stavby 30: Stokování 1*. vyd. Praha: České vysoké učení technické.
- [2] Hlavínek, P., Mičín, J., Prax, P., & Vysoké učení technické v Brně. Stavební fakulta. (2003). *Stokování a čištění odpadních vod 1* vyd. Brno: CERM.
- [3] Koníček, Z. & kol. (1996) *Navrhování a provoz vírových separátorů dešťových vod na jednotné stokové sítě*, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha
- [4] Pollert, J., Kunc, J., *Vývoj trubní odlehčovací komory ekologicko-ekonomickým směrem*
- [5] ČSN EN 752 (75 6110) (2008). *Odvodňovací systémy vně budov*. ČR: Český normalizační institut
- [6] ČSN 75 6262 (2013). *Dešťové oddělovače*. ČR: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
- [7] TNV 75 6262 (2003). *Odlehčovací komory a separátory*, ČR MZe: Hydroprojekt CZ a.s.
- [8] Standard ATV – A 128E. (1992) *Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Structures in Combined Sewers*, SRN: German association for the water environment
- [9] Krejčí V. & kol. (2002), *Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup*, NOEL 2000, Brno
- [10] Sborník přednášek konference s mezinárodní účastí (2008). *Optimalizace návrhu a provozu stokových sítí a ČOV*
- [11] Kolář, V., Patočka, C., Bém, J.(1982), *Hydraulika*, 1 vyd. Praha
- [12] Fried, E., Idelchik, I. E. (1989), *Flow Resistance*, Edition 1, New York, 1989
- [13] Balihar, O. (2005), *Modelová studie odstranění plovoucích nečistot z přepadu trubní odlehčovací komory*, Praha (Diplomová práce)
- [14] Thomas N. Debo, Andrew J. Reese (2008). *Municipal Storm Water Management*, ISBN 0-87371-981-6, Lewis Publisher sis an printing of CRC
- [15] Willi H. Hager (1999), *Wastewater Hydraulics – Theory and Practise*, Printed in Germany, ISBN 3-540-62998-X Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- [16] Sveinung Saegrov, et al. (2006), *CARE-S IWA Publishing*, ISBN: 1843391155

- [17] Pollert J., *Trubní odlehčovací komora jako ekologicko-ekonomické řešení*. Vodní hospodářství, roč. 2008, č. 2, 33-36.
- [18] Pollert J. (2008), *Problematika odlehčovacích komor na stokové síti*, Praha ČVUT (Habilitační práce)
- [19] AČE ČR (2009): Metodická příručka Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí
- [20] BWK-Merkblatt 3 (2001): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse. 2. Auflage.
- [21] ČSN EN 752 (75 6110) (2008): Odvodňovací systémy vně budov.
- [22] Havlík, V., Kabelková, I. a Haloun, R. (2007): Rešerše problematiky interakce odlehčovacích komor s recipienty, Závěrečná zpráva, MZe – ČVTVHS.
- [23] Havlík, V., Kabelková, I. a Haloun, R. (2008): Výsledky rešerše problematiky odlehčovacích komor jednotné kanalizační sítě s recipienty. SOVAK 17(6), 18-22.
- [24] Kabelková, I. a Šťastná, G. (2008): Ověřování metodik vlivu oddělovačů na recipienty. Zpráva 1. etapy, MŽP.
- [25] Kabelková, I. a Šťastná, G. (2009): Ověřování metodik vlivu oddělovačů na recipienty. Zpráva 2. etapy, MŽP.
- [26] Kabelková, I. a Šťastná, G. (2009): Výběr povodí pro ověřování zahraničních metodik posuzování vlivu dešťových oddělovačů na recipienty. SOVAK 18(7-8), 42-47.
- [27] Kabelková, I. a Šťastná, G. (2010): Ověřování zahraničních metodik posuzování vlivu dešťových oddělovačů na recipienty - případová studie Janské Lázně. SOVAK 19 (11), 18-24.
- [28] Kabelková, I., Cyhelská, E., Šťastná, G. a Doucha, J. (2008): Zahraniční přístupy k hodnocení vlivu dešťových oddělovačů na recipienty: Případová studie Benešov. Konference Městské vody 2008, Velké Bílovice, 2.-3.10.2008, 181-190.
- [29] Kabelková, I., Havlík, V. a Haloun, R. (2008): Zahraniční přístupy k hodnocení vlivu dešťových oddělovačů na recipienty: Rešerše a doporučení pro podmínky ČR. Konference Městské vody 2008, Velké Bílovice, 2.-3.10.2008, 173-180.
- [30] Kabelková, I., Šťastná, G. A Stránský, D. (2010): Comparison of different impact based guidelines for CSOs in the Benesov case study, Czech Republic. In Novatech

7th international conference on sustainable techniques and strategies in urban water management [CD-ROM]. London: IWA Publishing.

[31] Kabelková, I., Havlík, V., Kuba, P. a Sýkora, P. (2010): Metodická příručka Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích, ČVTVHS.

[32] Krejčí a kol. (2002): Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup (Eds. P. Hlavínek a E. Zeman), NOEL 2000, Brno.

[33] Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových a odpadních vod, náležitostech k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení č. 229/2007 Sb.

[34] ÖWAV-Regelblatt 19 (2007): Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen, Wien.

[35] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

[36] TNV 75 6262 Odlehčovací komory a separátory (květen 2003)

[37] VSA (2007): Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter: Richtlinie „STORM“ für die konzeptuelle Planung von Massnahmen. VSA, Zürich.

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

[39] Zabel, T., Milne, I. and McKay, G. (2001): Approaches adopted by the European Union and selected Member States for the control of urban pollution. Urban Water (3), pp. 25-32.

[40] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

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

[42] Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)

[43] BWK-Merkblatt 7 (2008). Leitfaden zur detaillierten Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäss BWK-Merkblatt 3.

[44] Plán hlavních povodí České republiky (2007), MZe.

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

[46] BUWAL (1998). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Ökomorphologie Stufe F, Mitteilungen zum Gewässerschutz, 27.

Bern. (in German). Methods for the Investigation and Assessment of Running Waters: Ecomorphology level F, Mitteilungen zum Gewässerschutz, 27. Bern.

[47] BWK-Materialien 1 (2003). Begleitband zu dem BWK-Merkblatt 3. BWK, Pfullin - gen. (in German). Companion volume to the BWK-Merkblatt 3, BWK, Pfullingen.

[48] Emerson, K. R.; Russo, R. C.; Lund, R. E. and R.V. Thurston (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. Journal of Fisheries Research Board of Canada 32, 2379-2383.

[49] Horký, P.; Opatřilová, L.; Kokeš, J.; Němejcová, D.; Syrovátka, V. a Zahrádková, S. (2011). Metodika hodnocení ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích pomocí biologické složky makrozoobentos, VÚV TGM. (in Czech). Guidance for the assessment of the ecological status of running waters based on the biotic component benthic macroinvertebrates, VÚV TGM.

[50] Kabelková, I. a Šťastná, G. (2011). Priority opatření v souvislosti s narušením vodních toků přepady z dešťových oddělovačů, In: Sborník z konference Městské vody 2011, Velké Bílovice, 183-190. (in Czech). Priorities of measures related to the stream disturbance by CSOs, In: Proceedings of conference Urban Water 2011, Velké Bílovice, 183-190.

[51] Kokeš, J. a Němejcová, D. (2006). Metodika odběru a zpracování vzorků makrozoobentosu tekoucích vod metodou Perla, VÚV TGM. (in Czech). Guidance for the collection and processing of samples of benthic macroinvertebrates in running waters, VÚV TGM.

[52] Nařízení vlády č. 71/2003 Sb. ustanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod, v platném znění. (in Czech). Government Order 71/2003 Coll., establishing surface waters which are suitable for the life and reproduction of indigenous species of fish and other aquatic fauna and determining and evaluating the quality of these waters.

[53] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. European Parliament and the Council (2000), Directive 2000/60/EC of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy

[54] Posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů; Ivana Kabelková, Vladimír Havlík, Petr Kuba a Petr Sýkora (2011)

- [55] Informační systém oddělovacích komor a jejich vlivů na vodní toky; Ivana Kabelková, Tomáš Metelka, Filip Krejčí, David Stránský, Gabriela Šťastná (2014)
- [56] Trubní odlehčovací komora jako ekologicko-ekonomické řešení, Jaroslav Pollert (2008)
- [57] Posouzení odlehčovací komory Debř na Jizerou, Mladá Boleslav; Jaroslav Pollert, Ondřej Balihar, Jiří Fridrich (2010)
- [58] Porovnání účinností separace nerozpuštěných látek v odlehčovací komoře CSO-T ve skutečnosti a matematickém modelu; Jaroslav Pollert, (2012)
- [59] Porovnání vlivu odlehčovací komory před a po rekonstrukci na recipient pomocí měření a matematického modelu; Jaroslav Pollert, Petr Chmátal, Jana Nábělková, Kristýna Soukupová, Karel Kříž, Renata Nováková (2013)
- [60] Monitoring funkce trubní odlehčovací komory v Debři u Mladé Boleslavi; Jaroslav Pollert, Nováková Renata, Jana Nábělková, Kristýna Soukupová (2014)
- [61] Předčištění odpadních vod na stokové síti; Denisa Doskočilová, Diplomová práce VUT Brno (2015)
- [62] Modelová studie tlakových ztrát „Hobas CSO Chamber“; Tomáš Ďurčo, Diplomová práce ČVUT v Praze (2013)
- [63] R.M. Ashley, J.B. Krajewski, a kol.; Solids in Sewers, London 2004, ISBN: 1-900222-91-4
- [64] N.F. Gray; Water technology and introduction for enviromental scintists and engineers; London 2005, ISBN: 07506-6633-1
- [65] D. Butler, J. W. Davies; Urban drainage, Canada 2000, ISBN: 0-419-22340-1

## Internetové zdroje:

(1) Hobas.cz [online].[cit. 2013-10-23] Dostupný z WWW:

<http://www.hobas.cz/sluzbyke-stazeni/novinky/news-detail/article/hobas-trubni-odlehcovaci-komora.html>

(2) EU. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2000/60/ES: kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. In: L 327/1. Úřední věstník Evropské unie, 2000, [online]. [cit. 2013-10-25] Dostupný z WWW:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:05:32000L0060:CS:PDF>

(3) EU SMĚRNICE RADY 91/271/EH: o čištění městských odpadních vod. In: L 135. Úřední věstník Evropské unie, 1991, [online].[cit. 2013-10-25] Dostupný z WWW:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/smernice\\_odpadni\\_vody/\\$FILE/OOV-91\\_271\\_EHS-19910530.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/smernice_odpadni_vody/$FILE/OOV-91_271_EHS-19910530.pdf)

(4) ČR. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění zákona č. 76/2002 Sb., zákona č. 320/2002 Sb., zákona č. 274/2003 Sb., zákona č. 20/2004 Sb., zákona č. 413/2005 Sb., zákona č. 444/2005 Sb.,

zákona č. 186/2006 Sb., zákona č. 222/2006 Sb., zákona č. 342/2006 Sb., zákona č. 25/2008 Sb., zákona č. 167/2008 Sb., zákona č. 181/2008 Sb., zákona č. 157/2009 Sb., zákona č. 227/2009 Sb., zákona č. 281/2009 Sb., a zákonem č. 150/2010 Sb., 2010, [online]. [cit. 2013-10-25] Dostupný z WWW:

<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=71071&fulltext=odd~C4~9Blova~C4~8D&nr=&part=&name=&rpp=15#local-content>

(5) ČR. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) jak vyplývá ze změn provedených zákonem č. 320/2002 Sb., zákona č. 274/320 Sb., zákona č. 20/2004 Sb., zákona č. 127/2005 Sb., zákona č. 76/2006 Sb., zákona č. 222/2006 Sb., zákona č. 186/2006 Sb., zákona č. 281/2009 Sb., 2009, [online]. [cit. 2013-10-25] Dostupný z WWW:

<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=51549&fulltext=&nr=274~2F2001&part=&name=&rpp=15#local-content>

(6) Vyhláška č. 428/2001 Sb. kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), [online]. [cit. 2013-10-25] Dostupná z WWW:

<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-428-2001-sb-kterou-se-provadi-zakon-c-274-2001-sb>

(7) Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. a nařízení vlády č. 23/2011 Sb., [online]. [cit. 2013-10-29]

Dostupný z WWW:  
[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pripustne\\_znecistení\\_vod\\_narizeni/\\$FILE/OOV-NV\\_61\\_2003-20110610.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pripustne_znecistení_vod_narizeni/$FILE/OOV-NV_61_2003-20110610.pdf)

(8) Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, *Metodická příručka posuzování dešťových oddělovačů jednotných stokových systémů v urbanizovaných územích*, 2010, [online]. [cit. 2013-10-30] Dostupná z WWW:  
[http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/40/12023-Metodicka%20prirucka\\_verze\\_24.pdf](http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/40/12023-Metodicka%20prirucka_verze_24.pdf)

(9) Pipa, J., *Optimalizace návrhu odlehčovacích komor na jednotné stokové síti*, Brno, 2012, [online]. [cit. 2013-11-10] Dostupná z WWW:

<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/9020/11154.pdf?sequence=1>

(10) Navrhovaná novelizace zákona 254/2001 Sb. O vodách [cit. 2016-06-10] Dostupný z WWW:

<http://www.vlada.cz/cz/clenove-vlady/pri-uradu-vlady/jiri-dienstbier/aktualne/legislativni-rada-vlady-nedoporucila-prijmout-navrh-zakona-o-vyberu-osob-do-funkci-ve-statnich-firmach-a-jejich-organech-144578/>

(11) Poplatky za vypouštění odpadních vod do vod povrchových § 89-89q vodního zákona, vyhláška 328/2018 Sb. Dostupný z www:

<http://www.envigroup.cz/c28.html>

(12) SOVAK ČR k povolování a zpoplatnění odlehčovacích komor. Dostupný z www:

<https://www.sovak.cz/cs/clanek/sovak-cr-k-povolovani-zpoplatneni-odlehcovacich-komor>

### **Vlastní publikace v souvislosti s disertační prací:**

- [1] Pollert J., Procházka J., Nováková R., Soukupová K., Chmátal P., Studie tlakových ztrát trubní odlehčovací komory HOBAS CSO, Konference Městské vody 2014, Velké Bílovice, str. 103-110, ISBN 978-80-86020-79-2.
- [2] Procházka J., Kvalitativní a kvantitativní zvýšení účinnosti trubních odlehčovacích komor, Konference STOKA 2014, Telč, str. 37-40, ISBN 978-80-01-05505-2.
- [3] Procházka J., Zvýšení účinnosti trubních odlehčovacích komor, Konference STOKA 2013, Telč, str. 35-38, ISBN 978-80-01-05280-8
- [4] Pollert J., Procházka J., Nováková R., Soukupová K., Chmátal P., Posouzení funkce trubní odlehčovací komory pomocí různých metod, Konference odpadové vody 2014, Štrbské pleso, str. 114-119, ISBN 978-80-970896-7-2
- [5] Pollert J., Procházka J., Nováková R., Soukupová K., Chmátal P., Studie tlakových ztrát trubní odlehčovací komory HOBAS CSO, Konference s mezinárodní účastí – aktuální vodohospodářské problémy 2014, Staré Těchanovice, str. 103-110, ISBN 978-80-248-3541-9.
- [6] Švanda O., Procházka J., Hydraulický výzkum rekonstrukce dráhy pro vodní slalom v Ivrea, Itálie, Konference mladých odborníků 2015, Bratislava, ISBN 978-80-88907-89-3.
- [7] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Kyvné inteligentní samočisticí česle a jejich mechanické vlastnosti, Konference JUNIORSTAV 2016, Brno, ISBN 978-80-214-5311-1.
- [8] Procházka J., Švanda O., Pollert J., Hydraulický výzkum rekonstrukce vodního kanálu Ivrea, Itálie, Konference Stoka 2015, Telč, str. 72-75, ISBN 978-80-01-05723-0.
- [9] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Olympijské hry Rio de Janeiro 2016 - hydraulický výzkum drah pro vodní slalom, Konference Stoka 2015, Telč, str. 37-40, ISBN 978-80-01-05723-0.
- [10] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Nováková R., Soukupová K., Švanda O., Studie tlakových ztrát trubní odlehčovací komory HOBAS CSO, Konference Voda 2015, Poděbrady, str. 293-296, ISBN 978-80-263-0971-0.
- [11] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Nováková R., Soukupová K., Švanda O., Studie mechanických vlastností kyvných inteligentních samočisticích česlí,



Konference Městské vody 2015, Velké Bílovice, str. 245-250, ISBN 978-80-86020-81-5.

[12] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Nováková R., Soukupová K., Švanda O., Studie tlakových ztrát HOBAS CSO, Konference Stoka 2015, Telč, str. 33-36, ISBN 978-80-01-05723-0.

[13] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Švanda O., Felton J., Campbel B., Dungworth D., Umělé dráhy pro vodní slalom, návrh a posouzení matematickým a fyzikálním modelem, Městské vody 2015, Velké bílovice, str. 207-214, ISBN 978-80-86020-81-5.

[14] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Švanda O., Felton J., Campbel B., Dungworth D., Physical and Mathematical Modelling for Canoe Slalom Whitewater and the 2016 Olympic Games in Rio de Janeiro, 14th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering 2015, Brno, str. 65-76, ISBN 978-80-214-5230-5.

[15] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Švanda O., Felton J., Campbel B., Dungworth D., POSSIBILITIES OF 3D MATHEMATICAL MODELING IN WATER MANAGEMENT SHOWN ON WHITE WATER COMPLEX IN AUCKLAND, QUAERE 2015 - interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů, elektronická konference, str. 1558-1566, ISBN 978-80-87952-10-8.

[16] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Švanda O., Felton J., Campbel B., Dungworth D., Modelování areálu s divokou vodou v Aucklandu, TechSoft Engineering ANSYS 2015 Setkání uživatelů a konference, Valeč, ISBN 978-80-905040-4-2.

[17] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Matematický model vodopádu a dráhy s divokou vodou v Aucklandu, Stoka 2015, Telč, ISBN 978-80-01-05723-0.

[18] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Švanda O., Felton J., Campbel B., Dungworth D., Hydraulický výzkum rekonstrukce vodního kanálu v Ivrea, Itálie; Vodní hospodářství, říjen 2015, str. 16-18, ISSN 1211-0760.

[19] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Švanda O., Felton J., Campbel B., Dungworth D., Hydraulický výzkum sportovišť pro aktivity na divoké vodě: Auckland, Nový Zéland; Vodní hospodářství, srpen 2015, str. 10-14, ISSN 1211-0760.

[20] Procházka J., Chmátal P., Pollert J., Pollert J. st., Švanda O., Felton J., Campbel B., Dungworth D., Olympijské hry Rio de Janeiro 2016 - hydraulický výzkum drah pro vodní slalom; Vodní hospodářství, září 2015, str. 5-11, ISSN 1211-0760.

## 12 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Možnost zatopení sklepních prostor .....	11
Obrázek 2 - Složení odpadní vody .....	12
Obrázek 3 - OK s kolmým přelivem [1].....	37
Obrázek 4 - OK s šikmým přelivem [1].....	37
Obrázek 5 - OK s lomeným přelivem [1].....	37
Obrázek 6 - OK s obloukovým přelivem [1].....	37
Obrázek 7 - OK s přímým kolmým přelivem v oblouku [1].....	37
Obrázek 8 - OK s přelivem s šikmou hranou [1].....	38
Obrázek 9 - OK s přelivem s hranou v oblouku [1].....	38
Obrázek 10 - OK s přelivem s tangenciální hranou [1].....	38
Obrázek 11 - OK s oboustranným přelivem se šikmou hranou [1] .....	38
Obrázek 12 - OK se škrťící tratí s nízkou přelivnou hranou [1].....	38
Obrázek 13 - OK s vysokou přelivnou hranou [1].....	38
Obrázek 14 - OK s přepadem přes štěrbinu vytvořenou pomocí ocelových desek (1).....	39
Obrázek 15 - OK s přepadem přes štěrbinu vytvořenou ve dně stoky (1) .....	39
Obrázek 16 - OK s přepadem přes štěrbinu ve dně s prahem (1).....	39
Obrázek 17 - OK s přepadem přes štěrbinu ve dně stoky do nastaveného plechového žlabu (1).....	39
Obrázek 18 - OK s horizontální dělicí stěnou (2) .....	40
Obrázek 19 - Vírové a vířivé separátory (1) .....	41
Obrázek 20 - Typ separátoru dle Balmofortha [3].....	42
Obrázek 21 - Typ separátoru ČVUT [3].....	42
Obrázek 22 – Oddělovač dešťových vod typu USEPA (1) .....	43
Obrázek 23 - Instalace CSO v Moravském Krumlově (13).....	45
Obrázek 24 - Schéma proudění v CSO Hobas chamber [13].....	46
Obrázek 25 - Celkové schéma trubní odlehčovací komory [62] .....	47
Obrázek 26 - Norná stěna (13).....	48
Obrázek 27 - Řez inteligentními kyvnými česlemi [62] .....	49
Obrázek 28 - Obdélníková štěrbina [62].....	49
Obrázek 29 - Lichoběžníková štěrbina [62] .....	49
Obrázek 30 - Fyzikální model Hobas CSO Chamber [62] .....	54

Obrázek 31 - Celkové schéma umístění modelu v laboratoři [62, str. 40] .....	54
Obrázek 32 - Ultrazvuková sonda .....	55
Obrázek 33 - Měření úrovně hladiny s ultrazvukovou sondou [62].....	55
Obrázek 34 - Schéma rozmístění ultrazvukových sond na modelu.....	56
Obrázek 35 - CSO bez česlí (česle odebrány) [62] .....	60
Obrázek 36 - CSO s nezanesenými česlemi [62] .....	62
Obrázek 37 - Rozmístění česlí na modelu [62] .....	62
Obrázek 38 - CSO se zanesenou první česlí [62] .....	64
Obrázek 39 - CSO se zanesenou první česlí [62] .....	64
Obrázek 40 - CSO se zanesenými česlemi.....	65
Obrázek 41 - CSO se zanesenými česlemi.....	65
Obrázek 42 - Schéma místních ztrát.....	70
Obrázek 43 - Schéma fyzikálního modelu kyvných inteligentních česlí (vlastní schéma) .....	73
Obrázek 44 - Fyzikální model kyvných inteligentních česlí (vlastní foto).....	74
Obrázek 45 - Kompozitní materiál (www.prefa-kompozity.cz).....	75
Obrázek 46 - Použité kompozitní tyče spolu s estetickým znečištěním (vlastní foto) .....	76
Obrázek 47 - První verze „kloubu“ s přítlačným držákem prutů (vlastní foto).....	76
Obrázek 48 - Kyvný kloub (vlastní foto).....	76
Obrázek 49 - Příložky k nastavení úhlu sklonu česlí .....	76
Obrázek 50 - Pohyblivé příložky garantující volnou délku a natočení prutů česlí	77
Obrázek 51 - Pohyblivé příložky garantující volnou délku a natočení prutů česlí	77
Obrázek 52 - Vysokorychlostní kamera GoPro HERO 4 (zdroj: www.google.cz)	78
Obrázek 53 - Fyzikální model kyvných inteligentních samočisticích česlí – boční pohled .....	79
Obrázek 54 - Záběry z vysokorychlostní kamery .....	79
Obrázek 55 - Záběry z vysokorychlostní kamery .....	79
Obrázek 56 - Průměry testovaných prutů v mm a jejich postavení vzhledem k směru proudění .....	80
Obrázek 57 - Směr proudu na prut česlí .....	81
Obrázek 58 - Směr proudu na prut česlí .....	83
Obrázek 59 - Směr proudu na prut česlí .....	85

Obrázek 60 - Směr proudu na prut česlí .....	88
Obrázek 61 - Směr proudu na prut česlí .....	90
Obrázek 62 - Směr proudu na prut česlí .....	93
Obrázek 63 - Příprava estetického znečištění k pokusům.....	97
Obrázek 64 - Prezervativy a tampony .....	97
Obrázek 65 - Hadry a textil.....	98
Obrázek 66 - Vložky a tampony .....	98
Obrázek 67 - Samočistící efekt kyvných česlí CSO Hobas chamber (časosběrné foto z videa).....	98

## 13 Seznam grafů

Graf 1 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1 .....	61
Graf 2 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2 .....	61
Graf 3 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1 .....	63
Graf 4 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2 .....	63
Graf 5 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2 .....	64
Graf 6 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1 .....	65
Graf 7 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2 .....	66
Graf 8 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1 .....	66
Graf 9 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 3 a 2 (polynomická řada).....	68
Graf 10 - Rozdíl vodní hladiny pro sondy 4 a 1 (lineární řada).....	68
Graf 11 - Počet kmitů za sekundu (Hz) kruhových česlí průměru 16,2 mm.....	81
Graf 12 - Vzdálenost kyvu konců prutů (mm) kruhových česlí průměru 16,2 mm .....	82
.....	
Graf 13 - Počet kmitů za sekundu (Hz) kruhových česlí průměru 11,8 mm.....	84
Graf 14 - Vzdálenost kyvu konců prutů (mm) kruhových česlí průměru 11,8 mm .....	84
.....	
Graf 15 - Počet kmitů za sekundu (Hz) eliptických česlí průměru 11,8 mm kolmo na proud.....	86
Graf 16 - Vzdálenost kyvu (mm) konců prutů kolmo na proud eliptických česlí průměru 11,8 mm .....	86
Graf 17 - Vzdálenost kyvu konců prutů po proudu (mm), prut kolmo na proud ..	87

Graf 18 - Počet kmitů za sekundu (Hz) eliptických česlí 11,8 * 15,9 mm podélně s proudem .....	89
Graf 19 - Vzdálenost kyvu konců prutů kolmo na proud (mm) eliptických česlí 11,8 * 15,9 mm, prut podélně s proudem .....	89
Graf 20 - Vzdálenost kyvu konců prutů po proudu (mm) eliptických česlí 11,8 * 15,9 mm .....	90
Graf 21 - Počet kmitů za sekundu (Hz) eliptických česlí průměru 8,9/15,8 mm kolmo na proud.....	91
Graf 22 - Vzdálenost kyvu konců prutů kolmo na proud (mm), prut kolmo na proud.....	92
Graf 23 - Vzdálenost kyvu konců prutů pom proudu (mm), prut kolmo na proud	92
Graf 24 - Počet kmitů za sekundu (Hz) eliptických česlí průměru 15,8/8,9 mm podélně s proudem.....	94
Graf 25 - Vzdálenost kyvu konců prutů kolmo na proud (mm), prut podélně s proudem.....	94
Graf 26 - Vzdálenost kyvu konců prutů po proudu (mm), prut podélně s proudem .....	95
Graf 27 - Vliv kmitu na vzdálenost kyvu u prutů s hlavní osou kolmo na směr proudění.....	96

## 14 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení suspenzí podle velikosti částic .....	10
Tabulka 2 - Složení odpadní vody .....	12
Tabulka 3 - Měřené stavy přítoků a odtoků [62, str. 49] .....	57
Tabulka 4 - Naměřené koeficienty místních ztrát .....	71
Tabulka 5 - Doplnění vzorové návrhové tabulky průtokových kapacit CSO Hobas Chamber o změřené koeficienty ztrát.....	72
Tabulka 6 - Počet kmitů (Hz) kruhových česlí průměru 16,2 mm .....	81
Tabulka 7 - Výkyv prutů během kmitu (mm) kruhových česlí průměru 16,2 mm	81
Tabulka 8 - Počet kmitů (Hz) kruhových česlí průměru 11,8 mm .....	83
Tabulka 9 - Výkyv prutů během kmitu (mm) kruhových česlí průměru 11,8 mm	83

Tabulka 10 - Počet kmitů (Hz) eliptických česlí průměru 11,8 mm kolmo na proud .....	85
Tabulka 11 - Výkyv prutů během kmitu (mm) eliptických česlí průměru 11,8 mm kolmo na proud.....	85
Tabulka 12 - Výkyv (mm) prutů podélně s proudem během kmitu eliptických česlí o průměru 11,8 mm .....	85
Tabulka 13 - Počet kmitů (Hz) eliptických česlí 11,8 * 15,9 mm podélně s proudem .....	88
Tabulka 14 - Výkyv prutů podélně s proudem během kmitu (mm) eliptických česlí 11,8 * 15,9 mm .....	88
Tabulka 15 - Výkyv prutů kolmo na proud během kmitu (mm) eliptických česlí 11,8 * 15,9 mm .....	88
Tabulka 16 - Počet kmitů (Hz) eliptických česlí průměru 8,9/15,8 mm kolmo na proud .....	90
Tabulka 17 - Výkyv prutů během kmitu kolmo na proud(mm) eliptických česlí průměru 8,9/15,8 mm .....	90
Tabulka 18 - Výkyv prutů během kmitu podélně s proudem (mm) eliptických česlí průměru 8,9/15,8 mm .....	91
Tabulka 19 - Počet kmitů (Hz) eliptických česlí průměru 15,8/8,9 mm podélně s proudem .....	93
Tabulka 20 - Výkyv prutů během kmitu (mm) eliptických česlí průměru 15,8/8,9 mm podélně s proudem.....	93
Tabulka 21 - Výkyv prutů během kmitu podélně s proudem (mm) eliptických česlí průměru 15,8/8,9 mm prut podélně s proudem .....	93

## 15 Seznam rovnic

Rovnice 1 - Ztráty třením.....	52
Rovnice 2 - Ztráty místní .....	53
Rovnice 3 - Ztráty celkové.....	53
Rovnice 4 - Bernoulliho rovnice.....	54
Rovnice 5 - Ztráty třením.....	57
Rovnice 6 - Místní ztráty.....	57

Rovnice 7 - Celkové ztráty .....	58
Rovnice 8 - Hydraulický poloměr.....	58
Rovnice 9 - Hydraulický průměr trubice.....	58
Rovnice 10 - Chézyho rovnice .....	58
Rovnice 11 - Manningův koeficient.....	58
Rovnice 12 - Reynoldsovo číslo .....	58
Rovnice 13 - Součinitel tření .....	59