



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

K144 – Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Ověření stálosti kalibrace vybraných profilů havarijního monitoringu na pražské stokové síti

**Verification of the calibration stability of selected emergency
monitoring profiles in Prague's sewer system**

Diplomová práce

Bc. Adéla Lukáčová

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Vedoucí práce: doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

Praha 2021





Anotace:

Předmětem diplomové práce je ověření stálosti kalibrace vybraných profilů havarijního on-line monitoringu na pražské stokové síti. Hlavním cílem je posoudit stálost kalibrace dvou vybraných profilů porovnáním dat naměřených při měrných kampaních s daty měrných stanic. V práci jsou použita data zaznamenaná on-line měřením na kmenových stokách D a E. Stanice měří chemické ukazatele: CHSK_{Cr} , nerozpuštěné látky, dusičnanový dusík, amoniakální dusík a pH. Na každém z měřicích profilů byly realizovány dvě měrné kampaně, při kterých byly odebírány vzorky pro laboratorní analýzu ukazatelů, které měří obě stanice on-line. Hodnoty z on-line měření a z laboratoře byly porovnány a stálost (správnost) kalibrace byla vyhodnocena na základě relativní směrodatné odchylky.

Klíčová slova:

Stoková síť, odpadní vody, on-line monitoring, kalibrace, kvalitativní parametry odpadních vod

Annotation:

The subject of the diploma thesis is the verification of the calibration stability of selected emergency on-line monitoring profiles on the Prague's sewer system. The main target is to assess the stability of the calibration of two selected profiles by comparing the data measured during measurement campaigns with data of measurement station. The work uses data from on-line monitoring of wastewater in the main sewers D and E. The stations are measuring chemical parameters: COD_{Cr} , suspended solids, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and pH. Two measurement campaigns have been taking place on each profiles, by every campaign have been taking samples for laboratory analyses. Stability of calibration and its correctness were assessed by comparing the data obtained during measurement campaigns (laboratory analyses) with on-line data measured by the stations, evaluation by RSD have been used.

Keywords:

Sewerage, wastewater, on-line monitoring, calibration, wastewater quality parameters



Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Praze dne 3.1.2021

.....

Adéla Lukáčová



Poděkování:

Ráda bych poděkovala své vedoucí práce doc. Mgr. Janě Nábělkové, Ph.D. za trpělivost a ochotu při vedení mé práce, také bych chtěla poděkovat Ing. Janu Hartigovi ze společnosti Pražské vodovody a kanalizace a.s. za asistenci při měrných kampaních. Společnosti Pražské vodovody a kanalizace děkuji za poskytnutá data.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Lukáčová Jméno: Adéla Osobní číslo: 438113
Zadávající katedra: K144- Katedra zdravotního a ekologického inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Ověření stálosti kalibrace vybraných profilů havarijního monitoringu na pražské stokové síti

Název diplomové práce anglicky: Verification of the calibration stability of selected emergency monitoring profiles in Prague's sewer system

Pokyny pro vypracování:

V dipomové práci bude ověřena stálost kalibrace online měřicích stanic havarijního monitoringu na pražské stokové síti. Na vybraných profilech bude prováděno vzorkování, vzorky budou podrobeny chemické analýze a výsledky budou porovnávány s daty změřenými stanicemi.

Seznam doporučené literatury:

PITTER, Pavel. Hydrochemie. 4. aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009, 579 s. ISBN 9788070807019.
Manuály firmy s::scan pro con::cube, oxi::lyser, redo:lyser a spectro:meter.

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2020 Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíl diplomová práce	8
3	Teoretická část	9
3.1	Odpadní voda.....	9
3.1.1	Druhy OV	9
3.1.2	Látky přítomné ve splaškových a městských odpadních vodách.....	14
3.1.3	Přípustná míra znečištění a environmentální kvalita přírodních vod.....	21
3.2	Soustavy stokové sítě a současné trendy	25
4	Praktická část	28
4.1	Popis zájmového území.....	28
4.1.1	Pražské stoková síť a čistírna odpadních vod	28
4.1.2	Motivace k instalaci stanic on-line havarijního monitoringu.....	28
4.1.3	Popis on-line monitoringu kvality odpadní vody ve stokové síti.....	29
4.1.4	Popis profilů vybraných pro ověření stálosti kalibrace.....	31
4.2	Metodika měrných kampaní	35
4.3	Výsledky.....	39
4.3.1	Profil D1-PAPÍRENSKÁ.....	39
4.3.2	Profil E2-ZOO.....	48
4.3.3	Shrnutí	56
5	Závěr	58
6	Seznam použité literatury.....	59
7	Seznam obrázků	62
8	Seznam tabulek	63
9	Seznam grafů.....	64
10	Seznam příloh.....	65

1 Úvod

Většina lidí si myslí, že v oboru vodního hospodářství a vodních staveb jsou nejzajímavější přehrady, jakožto velkolepá a majestátní vodní díla. Objevuje se stereotyp, že ti skromnější, nebo méně sebevědomí projektují menší vodní díla a ti, co na ně nic jiného nezbylo, se zabývají vodovody a potažmo kanalizací. Ovšem stereotypy a obecné veřejné mínění často nebývají založené na faktech. Tak jako může být pro někoho zajímavé trávit hodiny projektováním bezpečné přehrady, pro jiného je zajímavější zkoumat komplexnost návrhů nakládání s odpadními vodami. A tak jako se staví krásné, dechberoucí přehrady a cihlové stoky obrovských rozměrů staví se i méně lákavé betonové holé přehrady a betonové čistě funkční stoky.

Praha je město známé především pro své střechy, věže a historickou zástavbu. Její součástí je spletné podzemní město stokové sítě, ve které se odráží život na povrchu. Historická část kmenových stok je nejen turisticky zajímavá, ale i důležitou součástí městské infrastruktury. Stejně jako se modernizuje a rozšiřuje město, mění se i stoková síť včetně její nedílné součásti – čistírny odpadních vod. I ve stokování se sledují současné trendy, zlepšují se technologie a ohlíží se do minulosti, abychom našli ponaučení a poučili se z chyb.

V minulém století bylo hlavní myšlenkou nakládání s odpadními vodami, jejich rychlé odvedení a čištění jen natolik, kolik bylo nezbytně nutné, částečně kvůli dostupným technologiím a ekonomické nevýnosnosti. V dnešní době si lépe uvědomujeme, že je potřeba se zajímat o vody z hlediska celku i jednotlivých částí, že je lepší zabránit co nejvíce vodám v jejich znečištění a rychlému odtoku, abychom nejen my měli stále kvalitní a dobře dostupnou vodu. Čím dál více se tady dbá na oddělování mírně znečištěných (neznečištěných) vod od vod znečištěných a jejich zasakování, nebo opětovné využívání. Také se více sledují vlastnosti odpadní vody a zvyšují se nároky na její čištění.

Má diplomová práce se věnuje on-line monitoringu kvality odpadní vody v pražské stokové síti. Monitoring probíhá hlavně za účelem odvrácení havarijních situací, způsobených extrémním látkovým zatížením odpadní vody. Díky on-line monitoringu kvality odpadní vody ve stoce je vyšší pravděpodobnost dohledání původce nadměrného znečištění, následně mohou být přijata opatření, aby k takovým situacím nedocházelo.

2 Cíl diplomová práce

Základním cílem práce je ověření stálosti kalibrace monitoringu na vybraných profilech pražské stokové sítě. Za tímto účelem byla provedena nezávislá měření vybraných ukazatelů znečištění a porovnána s daty změřenými stanicemi instalovanými na vybraných profilech.

3 Teoretická část

Při nízkém osídlení a jen drobné výrobě člověk produkoval především odpad, který lze vyhodit na běžný kompost. S příchodem měst se lidé museli začít starat o odklizení svých odpadů, protože již nebylo možné řešit je „za domem“. Suchý odpad se začal centrálně odvážet na velké skládky a pro tekuté odpady se postupně stavěly stoky pro jejich odvádění pryč z ulic. I dešťovou vodu v hustší zástavbě bylo nutné nějakým způsobem řešit, protože do zpevněných povrchů ulic se nedokázaly vsakovat.

Pro město tak začala být čím dál důležitější otázka nakládání s odpadními vodami. Bylo důležité nejen odvést znečištění z města, aby se zabránilo velkému šíření nemocí a zajistily se dobré podmínky pro život. Navíc se posléze začalo řešit i čištění odpadních vod pro ochranu zdrojů pitné vody. Jak se vyvíjel technický pokrok, vyvíjelo se i nakládání s odpady, jejich složení a sledování škodlivých látek znečištění. Člověk začal víc chápat komplexnost procesů v přírodě a začal tak řešit nejen krátkodobé důsledky svého nakládání s odpady, ale i některé dlouhodobější. Začalo se proto zkoumat nejen, co všechno by se mělo považovat za odpad, ale i jak lépe nakládat s přírodními zdroji, aby se neubližovalo přírodě a potažmo tedy i lidem.

3.1 Odpadní voda

Odpadní vody jsou vody používané v obcích, domech, závodech, zdravotnických zařízeních a jiných provozovnách či zařízeních, při jejichž použití se změní jejich jakost. Dále také jiné vody z nich odtékající, které mohou změnit jakost podzemních a povrchových vod. (1)

3.1.1 Druhy OV

Podle původu a způsobu znečištění můžeme odpadní vody dělit na: (1)

- Splaškové odpadní vody
- Dešťové odpadní vody
- Průmyslové odpadní vody
- Infekční vody
- Oplachové vody
- Balastní vody

Splaškové odpadní vody

Splaškové odpadní vody vznikají používáním vody v domácnostech, jídelnách, hygienických zařízeních a podobně. Znečištění splaškové vody je především organického původu, jde o odpad z koupelen – mýdlo a oleje, moč, exkrementy; z kuchyní – zbytky jídel a podobně. Nechybí ale i anorganické znečištění pocházející z čisticích a pracích prostředků a moči. Některé vybrané parametry znečištění splaškových vod jsou uvedeny v tabulce 3.1, jednotlivé ukazatele budou podrobněji rozebrány v kapitole 3.1.2. (1), (2), (3)

Tabulka 3.1 - Orientační složení splaškových odpadních vod (vybrané parametry) (2)

Ukazatel	Rozmezí hodnot	Jednotky
Hodnota pH	6,5 – 8,5	
Nerozpuštěné látky	200 – 700	mg/l
- z toho usaditelné	73	%
- z toho neusaditelné	27	%
Rozpuštěné látky	600 – 800	mg/l
BSK ₅ s potlačením nitrifikace	100 – 400	mg/l
CHSK – Cr	250 – 800	mg/l
TOC (DOC)	asi 250	mg/l
N _{celk}	30 – 70	mg/l
N-NH ₄	20 – 45	mg/l
P _{celk}	5 – 15	mg/l
Poměr BSK ₅ : CHSK _{Cr0}	0,5	[-]

Obecně se předpokládá, že množství odpadní vody je shodné se specifickou spotřebou pitné vody na obyvatele. Průměrná spotřeba vody v domácnosti je přibližně 110 litrů na obyvatele za den. Množství odebírané a potažmo tedy i odpadní vody kolísá během dne týdne i roku a s ním kolísá i složení odpadní vody. Výkyvy od průměrných hodnot jsou výraznější na vesnicích a menší ve velkých městech, maximální koncentrace znečištění bývá přítomna v odpadní vodě v době jejích maximálních průtoků. Hlavním podílem znečišťujících látek ve splaškových vodách pochází z moči a fekálií, jedná se přibližně o 80% organického znečištění ve splaškové odpadní vodě, jsou však původci i anorganického znečištění. Zatímco u fekálií tvoří jen 10% sušiny podíl anorganických látek, pro moč je podíl organických a anorganických látek přibližně v poměru 3:2. Dalším zdrojem znečištění splaškových vod jsou živočišné a rostlinné zbytky potravy a látky obsažené v namáčecích, pracích a čisticích prostředcích. Splaškové vody jsou obvykle

složeny přibližně z 50% látkami organického původu a 50% látkami anorganického původu. (3)

Vzhledem k trendu recyklace a znovu využití zdrojů se splaškové vody dělí na žluté odpadní vody (moč), hnědé odpadní vody (především fekálie), černé odpadní vody (směs žlutých a hnědých odpadních vod) a šedé odpadní vody (vody z umyvadel, sprch a podobně). Z takto oddělené žluté vody lze separovat fosfor a používat jej jako hnojivo. Šedé vody jsou jen málo znečištěné, lze je proto použít na splachování toalet, nebo při praní. Díky větší separaci odpadní vody tak může dojít k menší spotřebě pitné vody i využití odpadní vody jako zdroje potřebných látek. (3)

Dešťové odpadní vody

Dešťové odpadní vody jsou vody z atmosférických srážek, které spadnou na střechy budov, či povrchy silnic a jiných zpevněných ploch. Stékáním z těchto povrchů dochází k jejich organickému i anorganickému znečištění. Obvykle jde o mírně znečištěné vody s velkou nerovnoměrností průtoku. (1)

Dešťová odpadní voda má oproti splaškové vodě vyšší poměr anorganického znečištění. Složení dešťové odpadní vody je velmi závislé na prostředí, ve kterém se vyskytuje. Znečišťující látky se do dešťové vody dostávají „vymýváním“ atmosféry, odnosem látek usazených na površích a kontaktem dešťové vody s různými materiály povrchů. Například povrch silnic může být znečištěn výfukovými plyny, pohonnými hmotami, různými brusy gum nebo karosérie a ze střech se smývá dle jejich materiálu mech nebo těžké kovy, brusy povrchu, městský prach a podobně. Jedná se tedy o širokou škálu látek, navíc jsou u dešťové vody velmi důležitými ukazateli znečištění i teplota a pH vody, které ovlivňuje především kontakt s ohřátými povrchy a vymývání atmosféry. Důležitým faktorem velikosti znečištění je délka bezdeštného období, zda a jak jsou čištěny ulice, intenzita atmosférických srážek – ovlivnění transportu nerozpuštěných látek a objem dešťového odtoku – ovlivnění transportu rozpuštěných látek. (4), (2)

V atmosféře je přirozeně rozptýlena řada látek. Kromě přirozeného pozadí, které je převážně zásadité (uhličitan vápenatý a hořečnatý, amoniakální dusík...), se do ovzduší dostávají i kyseliny a kyselinotvorné látky (kyselina sírová, dusičná, chlorovodíková...) především antropogenní nebo sopečnou činností. Vymýváním atmosféry za deště pak dochází k reakcím mezi těmito látkami a dešťová voda může dosahovat pH okolo 4,3. Při značné převaze kyselin a kyselinotvorných látek hovoříme o tzv. kyselých deštích.

V Česku byl problém kyselých dešťů zaznamenán především v 70. letech minulého století v severních Čechách. (4)

Koncentrace znečištění ve srážkové vodě během deště není konstantní. Na začátku deště, s takzvaným „prvním smyvem“, je vodou nesena většina znečištění z atmosféry a usazeného na zpevněném povrchu, následně se znečištění snižuje. Ke konci deště tedy často ze zpevněného povrchu odtéká jen mírně znečištěná, nebo neznečištěná voda. Hodnoty znečištění dešťové vody se také mění během let dle kvality ovzduší a podobných faktorů, jak to ukazuje tabulka 3.2 průměrných hodnot znečištění dešťových vod v letech 1995 a 2000 – Pitter, P. 2015 (3). (2)

Tabulka 3.2- Průměrné složení vod v ČR v letech 1995 a 2000 (výběr ukazatelů) (3)

Ukazatel	Jednotka	1995	2000
Hodnota pH	-	4,45	4,65
NH ₄ ⁺	mg/l	1,21	0,94
NO ₃ ⁻	mg/l	2,58	2,74
SO ₄ ²⁻	mg/l	4,00	2,17
F ⁻	mg/l	0,06	0,02
Pb	μg/l	9,70	4,30
Cd	μg/l	0,40	0,22

Průmyslové odpadní vody

Průmyslové odpadní vody vznikají použitím vody při výrobním procesu v průmyslových a zemědělských závodech. Podle stupně znečištění mohou být vypouštěny do veřejné kanalizace, nebo je nutné jejich předčištění. (1)

Složení průmyslových odpadních vod velmi závisí na jejich původu, protože z různých výrobních procesů vzniká různý odpad a jinak ovlivňují vlastnosti odpadních vod. Proto při vypouštění do recipientu se jejich škodlivost může významně lišit. Odpadní vody z některých procesů se nemusí čistit vůbec, jiné se smí vypouštět do veřejné kanalizace, při některých procesech však dochází k takovému znečištění, že je třeba odpadní vodu řešit samostatně a to buď odváděním na průmyslovou čistírnu odpadních vod, nebo předčištěním a následným vypouštěním do městské kanalizace. (3)

Průmyslové odpadní vody se dle znečišťujících látek dělí na převážně anorganicky znečištěné a převážně organicky znečištěné. Samozřejmě některé průmyslové závody produkují odpadní vody, které se nedají zařadit ani do jedné z těchto skupin. (3)

Převážně anorganicky znečištěné odpadní vody se čistí fyzikálně-chemickými a chemickými způsoby, takže pro ně není vhodné převážně biologické čištění na komunálních čistírnách odpadních vod, v závislosti na toxicitě odpadních vod mohou být po předčištění, nebo přímo vypouštěny do recipientu. (3)

Převážně organicky znečištěné odpadní vody jsou v závislosti na toxicitě a obsahu biologicky rezistentních látek odváděny se splaškovými vodami na městskou čistírnu odpadních vod, nebo samostatně čištěny na průmyslové čistírně odpadních vod. (3)

Kromě toxicity je třeba sledovat i látky jinak škodlivé, například tenzidy, které mohou způsobit značné potíže nadměrným pěněním během provzdušňování na biologickém stupni ČOV, nebo oleje, které se mohou usazovat v potrubí či bránit správnému průběhu biologického stupně čištění. Dle způsobu nakládání s průmyslovými odpadními vodami se jejich limitní hodnoty znečištění řídí buď emisními standardy stanovenými Nařízením vlády č. 401/2015 Sb., nebo kanalizačním řádem městské čistírny odpadních vod, na kterou jsou odváděny. (3)

Infekční vody

Další odpadní vody jsou například infekční vody z mikrobiologických laboratoří, výroben očkovacích látek, infekčních oddělení nemocnic. Ty jsou zatížené specifickým znečištěním, jako jsou patogenní látky nebo zbytky léčiv. Před vypouštěním do stokové sítě je nutné je předčistit tak, aby byly zničeny chorobotvorné zárodky, nebo je likvidovat samostatně. (1)

Oplachové vody

Oplachové vody jsou vody podobně znečištěné jako vody dešťové. Vznikají čištěním komunikací, parkovišť a jiných zpevněných ploch. Při návrhu stokové sítě a čistírny odpadních vod se obvykle neuvažují, protože mají výrazně nižší intenzitu a podobný charakter jako odpadní vody dešťové. (1)

Balastní vody

Neznečištěné vody, které vnikají do kanalizace a mísí se s odpadními vodami, se stávají také odpadními vodami a nazývají se vody balastní. Jedná se například o vody podzemní,

pitnou vodu prosakující z vodovodní sítě, vody drenážní, chladicí vodu. Tyto vody vnikají do kanalizace obvykle jejími netěsnostmi a je třeba v co největší míře snížit jejich množství. Toho se docílí dobrým řešením stěn stoky, či samostatným odváděním neznečištěných vod a jejich zasakováním. (1)

3.1.2 Látky přítomné ve splaškových a městských odpadních vodách

Složení odpadní vody zásadně závisí na jejím druhu a místě vzniku. Za účelem jejího čištění je důležité vědět, jaké látky obsahuje, aby mohla být správně vyčištěna. Látky obsažené ve vodě se dělí na rozpuštěné a nerozpuštěné. Jiné základní dělení je podle toho, zda se jedná o látky organické nebo anorganické. Dělení je pro přehlednost shrnuto v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3- Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách (5)

Skupina	Znečišťující látky	Příklady
1	Rozpuštěné	
1.1	- organické	
1.1.1	- biologicky rozložitelné	(cukry, mastné kyseliny, ...)
1.1.2	- biologicky nerozložitelné	(azobarviva – syntetická barviva, ...)
1.2	- anorganické	(amonné ionty, fosforečnany, ...)
2	Nerozpuštěné	
2.1	- organické	
2.1.1	- biologicky rozložitelné	(škrob, bakterie, ...)
2.1.2	- biologicky nerozložitelné	(papír, plasty, ...)
2.1.3	- usaditelné	(celulosa vlákna, ...)
2.1.4	- neusaditelné	
2.1.4.1	- koloidní	(bakterie, ...)
2.1.4.2	- plovoucí	(papír, ...)
2.2	- anorganické	
2.2.1	- usaditelné	(písek, hlína, ...)
2.2.2	- neusaditelné	(brusný prach, ...)

Množství látek se vyskytuje i v neznečištěné vodě (například písek, bakterie, různé ionty). Není potřeba z odpadní vody úplně odstranit všechny přítomné látky, nesnažíme se o docílení kvality vody destilované, což by bylo nejen ekonomicky náročné, ale i nevhodné. Během čistících procesů se většinou snažíme množství znečišťujících látek pouze snížit, úplně eliminovat je nutné pouze látky toxické, které by se ve veřejné

kanalizaci vůbec neměly vyskytovat. Abychom dobře vyčistili odpadní vodu, sledujeme její složení pomocí takzvaných ukazatelů (parametrů) znečištění. (2), (6)

Charakteristika znečišťujících látek v odpadních vodách

Ve splaškových vodách jsou znečišťující látky zastoupeny asi z poloviny organickými a z poloviny anorganickými sloučeninami. Vlastnosti těchto odpadních jsou v různých oblastech podobné, protože znečištění pochází z obdobných zdrojů.

Nerozpuštěné látky

Nerozpuštěné látky se dělí na usaditelné (např. písek) a neusaditelné (např. tuky). Stanovují se podle ČSN EN 872 Jakost vod – Stanovení nerozpuštěných látek – Metoda filtrace filtrem ze skleněných vláken. (7)

Nerozpuštěné látky mohou být z chemického hlediska organické i anorganické či směs obojího. Mohou také v odpadní vodě být v podobě různě velkých částic, od nejhrubšího šterku, přes písek až po částice nejjemnější, velikosti řádově mikrometry. Hrubé frakce sedimentují na dně nebo se posouvají po dně stok v závislosti na průtoku, jemné částice zůstávají ve vznosu. Na čistírně odpadních vod se nerozpuštěné látky odstraňují postupně, v jednotlivých technologických stupních čištění (především mechanický stupeň). (2)

Nerozpuštěné látky jsou jedním z ukazatelů sledovaných na odtoku z čistíren odpadních vod a pro tento parametr jsou stanoveny emisní standardy Nařízením vlády č. 401/2015 Sb. Jejich vnos do přírodních vod je nežádoucí z několika důvodů: zanášení koryt řek, možnost vnosu organických látek či živin v pevné podobě a příspěvek k eutrofizaci a konečně možnost vnosu toxických látek do vodního prostředí, např. těžkých kovů či perzistentních organických látek, které se nezřídka sorbují na povrchu suspendovaných částic. (3)

Organické látky

Organické znečištění ve vodách může být antropogenního i přírodního původu. V povrchových vodách se běžně vyskytují organické látky z výluhů z půd a z životní činnosti rostlin, živočichů a dalších organismů. V odpadní vodě jsou to pak také živočišné odpady (moč, fekálie, zbytky jídla...), ale i nejrůznější látky z čistících a mycích prostředků a produkty používané pro osobní péči. Do vod se dostává i organické znečištění ze zemědělských odpadů a skládek. (3)

Rozlišujeme látky snadno biologicky rozložitelné a obtížně biologicky rozložitelné (rezistentní).

Rezistentní látky se mohou hromadit v půdě a vodě a působit dlouhodobé problémy. V roce 2001 proto vznikla Stockholmská úmluva o rezistentních organických polutantech (POP), ke které ČR přistoupila v roce 2004. Obsahuje seznam látek, které jsou toxické, těžko rozložitelné a významně se akumulují v půdě, sedimentech a organismech, jako jsou např. chlorované alifatické a aromatické látky nebo DDT. List polutantů se neustále aktualizuje a rozšiřuje, ke konci roku 2013 bylo na seznamu 23 POP. Země, které se k úmluvě hlásí, se zavázaly ke snižování koncentrací těchto látek v životním prostředí a jejich monitoringu. Přestože byla řada těchto látek omezena, nebo úplně zakázána, stále se vyskytují v některých oblastech v půdách, dnových sedimentech, nebo na starých skládkách. (3)

Látky, které výrazně ovlivňují vlastnosti vody, jako je toxicita, karcinogenita, chuť a zápach, pěnivost a podobě, se stanovují samostatně. Avšak u organických látek, které se ve vodě přirozeně vyskytují a jsou problematické jen tím, že ovlivňují kyslíkový režim ve vodách, se určuje jejich celková koncentrace. Pro tyto účely se stanovuje chemická spotřeba kyslíku (CHSK), celkový organický uhlík (TOC), nebo biologická spotřeba kyslíku (BSK). (3)

CHSK

Chemická spotřeba kyslíku vyjadřuje množství organických látek ve vodě. Přesněji jde o hmotnost kyslíku, odpovídající spotřebě oxidačního činidla na oxidaci organických látek, vztaženou k objemu daného vzorku. Nejčastěji používaným činidlem je dichroman draselný (CHSK_{Cr}). (3)

BSK

Biochemická spotřeba kyslíku hodnotí množství organických látek biologicky rozložitelných za aerobních podmínek. Množství rozložených látek závisí na čase, proto se obvykle stanovuje BSK₅ – pětidenní úbytek koncentrace kyslíku spotřebovaného na oxidaci organických látek. Celkové BSK se následně určuje matematickými metodami. (3)

Sloučeniny fosforu

Jejich přítomnost ve vodě může být způsobena vylouhováním z půd či zvětralých hornin, navíc je fosfor jeden ze základních prvků pro organismy, takže je přijímán i vylučován

jejich soustavami. Zdrojem jeho sloučenin v dešťové odpadní vodě jsou fosforečná hnojiva a velkochov hospodářských zvířat. Ve splaškových vodách jsou jejich současným zdrojem živočišné odpady (fekálie, zbytky jídla), ve kterých se vyskytuje fosfor jak v anorganické, tak i organické formě. V nedávné minulosti byl majoritní původ především z pracích, čistících a mycích prostředků. V současnosti už je fosfor výrazně limitován jak v pracích prostředcích (v ČR od roku 2006, v Evropě od 2013) v prostředcích do myček nádobí od roku 2017 (vyplývá to z Nařízení Evropského Parlamentu a Rady č. 648/2004). V pracích prostředcích pro spotřebitele je limit 0,5 g fosforu na prací dávku a v prostředcích do myček 0,3 g na jednu dávku mycího cyklu. (3), (8)

V přírodních a užitkových vodách je fosfor zastoupen ve velmi nízkých koncentracích obvykle pod 1 mg/l, v podzemní vodě ještě nižších. Splašková odpadní voda v ČR obsahuje fosfor v koncentracích řádově jednotek mg/l, průmyslové vody z prádelen mají koncentrace vyšší – řádově desítky mg/l, mohou však dosahovat i hodnot kolem 100 mg/l. (3)

Obecně se fosfor ve vodách vyskytuje v rozpuštěné i nerozpuštěné formě, vázaný v anorganických i organických sloučeninách. Pro analýzy stanovení množství fosforu ve vodách se obvykle rozlišuje celkový fosfor (P_{celk}), orthofosforečnanový fosfor (P_{ortho}) a fosfor vázaný v hydrolyzovaných fosforečnanech. Při stanovení celkového fosforu se všechny formy fosforu převádí mineralizací na rozpuštěné orthofosforečnany, které se následně stanovují molybdenovou metodou. Velký význam mají také málo rozpustné fosforečnany kovů, které významně ovlivňují zbytkové koncentrace fosforu ve vodách a také se jejich vzniku využívá při odstraňování fosforu srážením. (3)

Fosfor je z odpadních vod odstraňován kvůli zachování přírodnímu poměru živin a snížení projevů jejich nadbytku jako je eutrofizace. Ze zákona (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.) je nutné jej odstraňovat jen na větších čistírnách odpadních vod o velikosti nad 2000 EO, pro menší čistírny by to bylo příliš nákladné. Nejčastěji se používá metody srážení fosforečnanů solemi hliníku a železa. Tato metoda je neúčinnější ve slabě kyselém prostředí, ale odpadní vody mají obvykle spíš zásaditý charakter a kvůli ostatním čistícím procesům se na nižší hodnoty neupravuje. Další z možných metod odstranění fosforu je srážení hořčíkem, při vyšších koncentracích amoniakálního dusíku vzniká srážením struvit ($MgNH_4PO_4$). Výhodou je možnost použití sloučeniny k výrobě hnojiv a odstranění částí dusíkového znečištění. Tento postup je však problematický kvůli možnému ucpávání potrubí anaerobních reaktorů krystalky struvitu. (3)

Problém fosforu v odpadních vodách je především v jeho následném přebytku v povrchové vodě. Spolu s uhlíkem a dusíkem tvoří základní prvky pro život fytoplanktonu. Ideální poměr pro produkci biomasy je C:N:P – 106:16:1, ve sladkovodních povrchových vodách je pro tento poměr obvykle v přebytku uhlík i dusík, ale fosforu je nedostatek. Při normálním stavu je v nádržích dobrá biodiverzita a biologická rovnováha. Ale při zvýšení koncentrací fosforu, mají zelené organismy příliš živin a dojde k jejich přemnožení. Díky tomu je dostatek potravy pro býložravé organismy a vody jsou plné života. Následně se však ve vodě vyčerpává kyslík. Kvůli zahalení povrchu rostlinami se na dno nedostává dostatek slunečního záření, takže rostliny na dně nemohou doplňovat kyslík do prostředí fotosyntézou. Navíc v důsledku stratifikace nádrže – rozvrstvení vody v nádrži tak, že neprobíhá přirozené promíchávání po celé výšce nádrže, není v nižších vrstvách kyslík doplněn ani ze vzduchu vstřebáváním hladinou. Dochází proto k masivnímu úhynu a procesům tlení, což ještě zvýší množství živin a sníží dostupný kyslík, ve spodní vrstvě nádrže u dna se vytvoří tzv. mrtva zóna, kde bývá anaerobní prostředí. Nakonec zůstanou nádrže bez dnové vegetace, pokryté jen vrstvou sinic, které předtím přispěli k úhynu zakrytím hladiny i vylučováním toxických látek. Tento jev se nazývá eutrofizací („obohacení o živiny“) a je velice nežádoucí jednak z důvodu biodiverzity, jednak proto, že při výkvětu vylučují sinice látky toxické pro množství organismů včetně člověka. Takovéto vody jsou nevhodné na koupání a jejich úprava na pitnou vodu je náročná. (3), (9)

Sloučeniny dusíku

Dusík je jedním ze základních prvků a patří do skupiny nutrietů, což jsou látky nezbytné pro rozvoj veškerého života, včetně mikroorganismů. Sloučeniny dusíku se běžně dostávají do vody rozkladem rostlinných a živočišných zbytků. V odpadních splaškových vodách jsou nejčastějším původcem také rostlinné a živočišné zbytky – moč, fekálie, zbytky jídel. Průmyslové odpadní vody mají významný podíl dusíku obzvláště, pochází-li z potravinářského průmyslu nebo tepelného zpracování uhlí. Významné koncentrace dusíku má také dešťová odpadní voda z půd hnojených dusíkatými hnojivy, ta je obvykle bez odvádění zasakována, nebo odtéká do povrchových vod. (3)

V odpadních vodách se dusík vyskytuje jako organicky vázaný nebo v anorganické podobě, jako kationt amonný či amoniak v závislosti na pH (při pH vyšším než 8,3 přechází amonné ionty v amoniak). Další anorganické formy dusíku (dusičnany a dusitany) se mohou vyskytovat jen v nízkých koncentracích, neboť jsou závislé na

přítomnosti rozpuštěného kyslíku, kterého je však v odpadní vodě v kanalizaci nedostatek. (3)

Mikrobiální činností se organické dusíkaté sloučeniny rozkládají a vzniká amoniakální dusík. V anaerobních podmínkách je amoniakální dusík stálý, ale v aerobním prostředí podléhá nitrifikaci – oxiduje na dusitany až dusičnany. Redukce dusičnanů na molekulový dusík probíhá v anoxickém prostředí a je nazývána denitrifikací. Těchto přeměn organických a anorganických forem dusíku se využívá v čistírenských procesech. Při denitrifikaci je třeba dostatečné množství organických látek, které využívají anaerobní organismy jako zdroj energie, pokud je jich nedostatek, přidává se do tohoto stupně biologického čištění snadno biologicky rozložitelný organický substrát (např. metanol, kyselina octová). Denitrifikací také dochází vlivem uvolňování hydroxidových iontů ke zvýšení pH vody. Nitrifikace zase vyžaduje oproti denitrifikaci aerobní prostředí, proto se na čistírnách odpadní vody vhání vzduch do nitrifikačních nádrží různými aerátory. (3)

Jak již bylo zmíněno, dusík je jedním ze základních nutrientů. Společně s uhlíkem a fosforem jsou v určitém poměru ideální pro výživu mikroorganismů. Jeho zvýšené koncentrace ve vodě obvykle nemají velký vliv na povrchové vody v ČR, protože nedostatkovým prvkem pro ideální poměr živin je fosfor. Významnější dopad však má na eutrofizaci mořských vod, kde jsou přirozeně vyšší koncentrace fosforu a dusík je limitujícím prvkem pro množení organismů. (3)

Chloridy

Sloučeniny chloru se do vody přirozeně dostávají výluhy z hornin a půd. Hlavní zdroje chloridů ve splaškových vodách je moč, navíc v odpadní vodě zůstává část chloru z hygienického zabezpečení pitné vody, což je významné spíše u vody z koupališť a bazénů. V průmyslových odpadních vodách pochází z živočišné výroby, organického průmyslu a výroby pyrotechniky. Dešťové odpadní vody (povrchový odtok) jsou zatěžovány chloridy především v zimě důsledkem posypových solí. Chloridy jsou nejrozšířenější formou sloučenin chloru ve vodě, jejich rozpustnost závisí významně na teplotě a pH. Když je dostatečně vysoký látkový poměr mezi chlorem a amoniakem, tvoří se chloraminy, čehož lze využít k odstraňování amoniakálního dusíku z vody. (3)

Chloridy, hydrogenuhličitan, sírany a dusičnany jsou základními anionty v přírodních a užitkových vodách. Koncentrace chloridů v povrchových vodách je běžně kolem jednotek až desítek mg/l, v minerálních vodách dokonce několik tisíc mg/l. Městské

odpadní vody mívají koncentrace chloridů řádově v desítkách mg/l, v zimním období však někdy přesahují i 100 mg/l. Ve vodě jsou hygienicky nezávadné, chemicky i biochemicky stabilní, při vyšších koncentracích však ovlivňují chuť vody a jsou silně korozivní. Navíc reakcí chloru s řadou organických látek, často vznikají toxické nebo hygienicky jinak závadné sloučeniny. (3)

Sloučeniny síry

Sloučeniny síry se ve vodách vyskytují jak v anorganické (sulfan, siřičitany...), tak organické (bílkoviny, aminokyseliny...) formě. Mohou být jak přírodního původu, půdy a sopečná činnost, tak antropogenního původu, fosilní paliva a různé výroby. (3)

Při anaerobním rozkladu mnohých organických sírných látek vzniká sulfan (H_2S) a jeho iontové formy. Bývá obsažen v bioplynu a vulkanických exhalacích. Sulfan je toxický a má silný charakteristický zápach, jeho iontové formy však jeho negativní vlastnosti nevykazují, proto při určování koncentrací H_2S je důležitým faktorem jeho forma výskytu, tedy hodnota pH. (3)

Sulfan a jeho iontové formy podléhají v aerobním prostředí oxidaci až na sírany. Sírany ve vodách mají různé původce, například odpady vzniklé spalováním fosilních paliv. Dešťové vody tak obsahují koncentrace síranů v řádech až jednotek mg/l, v průmyslových oblastech to mohou být až desítky mg/l. Při zvýšených koncentracích v ovzduší výrazně přispívá k tvorbě takzvaných „kyselých dešťů“. (3)

Těžké kovy

Ve vodách se přirozeně vyskytuje množství kovů a polokovů, při posuzování znečištění se zaměřujeme na skupinu, kterou nazýváme těžké a toxické kovy. Těžké kovy mohou být definovány objemovou hmotností vyšší než 5000 kg/m^3 , ale tohoto označení se používá i jako synonyma pro toxické kovy. Mezi těžké kovy patří především Hg, Cd, Pb, As. I některé esenciální kovy potřebné pro správnou funkci organismů (např. Fe, Cu, Zn, Ca, Mg) jsou ve větších koncentracích toxická a nebezpečná. (3)

Těžké kovy se do vody přirozeně dostávají z půdy a hornin, nebo vulkanickou činností. Antropogenním zdrojem znečištění těžkými kovy jsou především odpady z těžby a zpracování rud, fotografického a chemického průmyslu, spaloven atd. Do dešťové vody se dostávají z výfukových plynů, ze spalování fosilních paliv a kontaktem s kovovými povrchy. (3)

Kovy se obvykle nevyskytují ve velké míře jako rozpuštěné ionty, ale tvoří komplexy s anorganickými i organickými látkami. Navíc je značný podíl kovů vázán absorpcí na nerozpuštěné látky a hromadí se v sedimentech, když poklesne koncentrace kovů ve vodě, mohou být zpětně remobilizovány ze sedimentů (nerozpuštěných látek). Poměr koncentrace kovu v kapalně fázi a sedimentech se nazývá rozdělovací koeficient (K_D), který závisí na hodnotě pH a různí se pro konkrétní kovy. (3)

V čistírnách odpadních vod se adsorpcí hromadí kovy na primárním a především biologickém kalu. Z odpadní vody se tak odstraní 20 až 90% kovů a polokovů v závislosti na hodnotě pH a parametrech čistírny odpadních vod. Těžké kovy značně negativně ovlivňují procesy na čistírnách právě z důvodu snadné fixace na kal, ten následně nelze využít na kompostování či hnojení, navíc u biologického kalu může dojít k jeho úhynu a zastavení čistírenských procesů na biologickém stupni. (3)

3.1.3 Přípustná míra znečištění a environmentální kvalita přírodních vod

Aby se zajistilo dostatečné čištění odpadní vody, je potřebné kontrolovat její složení jak před vyčištěním, tak při vypouštění vod z čistírny odpadních vod. Legislativa stanovuje maximální koncentrace znečištění, jaké může mít odpadní voda při vypouštění do vod povrchových (podzemních), tedy již vyčištěná odpadní voda.

Emisní standardy

V Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. se můžeme dočíst, jaká je přípustná míra znečištění – emisní standardy vody vypouštěné z komunální čistírny odpadních vod, jaké jsou náležitosti povolení vypouštění odpadních vod do vod povrchových a podobě. Základními sledovanými ukazateli na odtoku z ČOV jsou CHSK (organické látky), nerozpuštěné látky (NL), amoniový dusík, celkový dusík a celkový fosfor. Emisní standardy jsou uvedeny jak v koncentracích jmenovaných ukazatelů znečištění (tabulka 3.4), tak v procentech účinnosti čištění těchto ukazatelů (tabulka 3.5).

Tabulka 3.4- Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l (10)

Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺		N _{celk}		P _{celk}	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m	průměr	m	průměr	m
<500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001 -10000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10001 -100000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Tabulka 3.5- Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v procentech (10)

Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	N _{celk}	P _{celk}
<500	70	80	-	-	-
500 - 2000	70	80	50	-	-
2001-10000	75	85	60	-	70
10001 - 100000	75	85	-	70	80
> 100000	75	85	-	70	80

Rozbor odpadní vody se provádí tak, jak určí vodoprávní úřad na základě platné legislativy. Analytické metody stanovení hodnot znečišťujících látek a jejich skupin jsou určeny Metodickým pokynem oboru ochrany vod MŽP k nařízení vlády č. 401/2015 Sb. (7)

Normy environmentální kvality

Pro povrchové vody užívané pro různé účely vyjadřují přípustné znečištění normy environmentální kvality. Jedná se především o znečištění zvláště nebezpečnými a toxickými látkami, ale i o koncentrace některých netoxických kovů v případě vody pro vodárenské účely. Normy environmentální kvality jsou popsány v Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. a řídí se Směrnicí Evropského parlamentu a Rady (2013/39/EU – prioritní látky a některé další znečišťující látky). (10)

Kanalizační řád

I odpadní vody vypouštěné do veřejné kanalizace mají stanovené limitní hodnoty znečištění, které musí být dodržovány. Tyto limity však nejsou stanovené centrálně pro Českou republiku, nýbrž jsou popsány v Kanalizačním řádu, který je vytvářen pro každou čistírnu odpadních vod s její stokovou sítí zvlášť.

Kanalizační řád určuje podmínky pro vypouštění vody do veřejné kanalizace. Slouží k ochraně stokové sítě i vodních toků, aby bylo možné zajistit dodržení emisních standardů ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod vypouštěných z čistírny odpadních vod, které jsou stanovené nařízením vlády č. 401/2015 Sb. Pro každou čistírnu odpadních vod se zhotovuje vlastní kanalizační řád, aby se mohl přizpůsobit konkrétním požadavkům v síti, na čistírně a toku, do kterého jsou vody vypouštěny. (6)

Kanalizační řád stanovuje, co a za jakých podmínek se smí vypouštět do kanalizace. Stanovuje tedy konkrétní limity znečištění vody, která se smí vypouštět z domácností, škol, provozoven, průmyslových závodů a dalších prostorů, aby se nenarušily procesy čištění. V tabulce 3.6 jsou popsány limitní hodnoty ukazatelů znečištění, které platí pro odpadní vodu z domácností, škol, ubytovacích zařízení, čerpacích stanic pohonných hmot, menších průmyslových podniků a podobně, vypouštěné do pražské centrální stokové sítě. (6)

Tabulka 3.6- Limity ukazatelů znečištění pro souhrnnou skupinu znečišťovatelů do jednotné a splaškové kanalizace (limity jsou uvedeny v mg/l, vyjma teploty a pH) (6)

základní ukazatele		pv	sv
pH		6-10	
teplota		40 °C	
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku	900	400
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku	2 000	1 200
N-NH ₄ ⁺	dusík amoniakální	80	40
N _{celk}	dusík celkový	110	70
P _{celk}	fosfor celkový	18	9
RL ₁₀₅	rozpuštěné látky sušené při 105 °C	2 000	1 000
NL ₁₀₅	nerozpuštěné látky sušené při 105 °C	900	500
RL ₅₅₀	(RAS) rozpuštěné látky žíhané při 550 °C	1 000	500
SO ₄ ²⁻	sírany	400	200
F ⁻	fluoridy	2,40	1,20
CN ⁻	kyanidy veškeré	0,20	0,10
S ₂ ⁻	sulfidy	0,10	-
C ₁₀ -C ₄₀	uhlovodíky C ₁₀ až C ₄₀ (NEL-GC)	6	3
tuky a oleje		100	70

FN 1	fenoly jednosytné	10	5
PAL-A	aniontové tenzidy	10	5
PAL	kationtové tenzidy	1	0,5
PAL	neiontové tenzidy	3	1,5
AOX	adsorbovatelné organicky vázané halogeny	0,20	0,10
AOX	(v případě povinného zdravotního zabezpečení odpadních vod chlorováním)	5,00	3,00
Kovy	(Limit platí pro součet koncentrací kongenerů PCB 28,52, 101,138,153,180)		
Ag	stříbro	0,200	0,100
As	arzen	0,200	0,100
Ba	baryum	3,000	1,500
Cd	kadmium	0,050	0,020
Cr _{celk}	chrom celkový	0,200	0,100
Cr ^{VI}	chrom	0,100	0,050
Cu	měď	0,500	0,100
Hg	rtuť	0,010	0,005
Ni	nikl	0,100	0,050
Pb	olovo	0,100	0,050
Se	selen	0,020	0,010
V	vanad	0,100	0,050
Zn	zinek	4,000	2,000
Benzen		0,50	
Ethylbenzen		0,01	
Toluen		0,50	
Naftalen		0,50	
xylen suma		0,50	
Chlorbenzen		0,1000	
Dichlorbenzen		0,0100	
1,2,4 - trichlorbenzen		0,0100	
Hexachlorbenzen		0,0005	
PCB	polychlorované bifenyly	0,0001	
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky suma	0,1000	
Tetrachlormethan		0,010	
Trichlormetan		0,010	
1,2 - dichlorethan		0,100	
1,1,2, - trichlorethan		0,010	
1,1,2,2, - tetrachlorethen (TCE – PCE – perchlorethylen)		0,100	
1,2 - cis - dichlorethen		0,010	
Trichlorethen		0,010	
2 - monochlorfenol		0,001	
2,4 - dichlorfenol		0,001	
2,4,6 - trichlorfenol		0,001	
Pentachlorfenol		0,010	

Pozn. **pv** – prostý vzorek z jednorázového odběru; **sv** – směsný vzorek, směsný 24-hodinový vzorek se získává smísením objemově stejných vzorků odebraných v intervalu 2 hodin, nebo kratším.

3.2 Soustavy stokové sítě a současné trendy

Stoková síť slouží k transportu odpadní vody z místa jejího vzniku do místa čištění odpadních vod. Podle druhu dopravovaných odpadních vod rozdělujeme různé stokové soustavy. (1)

- Jednotná stoková soustava
- Oddílná stoková soustava
- Modifikovaná stoková soustava

Jednotná stoková soustava

Jednotná soustava stok sdružuje všechny druhy odpadní vody do jedné stoky. Tato soustava měla v minulosti tak značné ekonomické a technické výhody, že byla plošně budována bez ohledu na zřejmé nevýhody z hlediska životního prostředí a zatížení čistírny odpadních vod. (2)

Hlavní výhodou je budování pouze jedné sítě stok. Jednak to může být výhodné z hlediska výkopových prací a hlavně z hlediska plánování a navrhování stokové sítě a městského odvodnění. (1)

Značnou nevýhodou je nutnost odlehčovacích komor, protože jinak by za přívalových dešťů odpadní voda nedostatečně odtékala a vznikalo by vzduť směrem k domovním přípojkám, nebo by se muselo navrhovat potrubí nesmyslně velkých rozměrů. Část odpadní vody je tedy během vydatnějších dešťů oddělena odlehčovací komorou a bez předčištění vypouštěna do recipientu (povrchových vod). Je možné snížit objem vypouštěné nečištěné odpadní vody do recipientu, nebo úplně zamezit jejímu vniku do recipientu zařazením nějaké formy akumulární nádrže. To ale není běžnou praxí, protože je to finančně, technicky a prostorově náročné. Další nevýhodou je už podstata jednotné sítě, tedy slučování různých odpadních vod o různých vlastnostech. Vody natékající na čistírnu odpadních vod mají v závislosti na deštivém, nebo bezdeštném období odlišný objem a jsou charakteristické jiným látkovým znečištěním, proto čistírenské procesy nemohou pracovat tak efektivně. (1)

Oddílná stoková soustava

Oddílná soustava stok je v současné době upřednostňovaná. Různé druhy odpadní vody jsou odváděny samostatně, vzájemně se nemísí. Ve městech se často přistupuje k takové formě oddílné kanalizace, kde se mísí odpadní vody o podobných vlastnostech, tedy

dešťová voda je vedena samostatně a splašková voda s průmyslovými vodami z menších provozoven je odváděna jedním potrubím. (1)

Nevýhodou může být budování dvou stokových sítí, dešťová kanalizace se však může vést po povrchu a částečně je řešena zasakováním. Dalším problémem je, že městské dešťové vody, které se dříve považovaly za čisté, mohou být znečištěny podobně nebo i výrazněji než odpadní vody splaškové. Často je tedy žádoucí na odtoku z dešťové kanalizace zařadit alespoň nějakou formu předčištění, například dešťovou usazovací nádrž. (1)

Výhodou je, že čištění odpadní vody lze lépe přizpůsobit jejím vlastnostem. Navíc je možné část dešťové kanalizace vést na povrchu v příkopech a podobně, nebo s dešťovou vodou nakládat jinak – zasakování, znovu využití. Splaškovou odpadní vodu zase lze přepravovat nejen gravitačně, jak je navržena jednotná soustava, ale například podtlakově nebo tlakově. Tyto technologicky složitější varianty dopravy odpadní vody mohou mít své výhody z hlediska průměru potrubí, nebo jistoty, že odpadní vody neprosakuje do půdy. (1)

Modifikovaná stoková soustava

Modifikovaná stoková soustava se snaží využít výhody oddílné a jednotné soustavy. Může být kombinace oddílné kanalizace, která se v určitém úseku spojí do jednotné. Velké průtoky dešťových vod tak mohou být odděleny již před vstupem do jednotné kanalizace a zároveň velmi znečištěné smyvy z počátku deště jsou odvedeny na čistírnu odpadních vod. Aby bylo takové řešení funkční, je nutné komplexní projektování. (1)

Současné trendy

Dle Městských standardů Prahy je při budování nové kanalizace vhodné navrhovat soustavu oddílnou a srážkové vody přednostně zasakovat, či využívat pro závlahy nebo splachování toalet. Při rekonstrukcích je nutné dodržet stávající stokovou soustavu, ale řeší se snižování množství balastních vod pronikajících do kanalizace a přítok neznečištěných dešťových vod do jednotné stokové soustavy. Tyto vody se pak zasakují, nebo odvádějí po povrchu. To se týká veřejných prostranství, na soukromých pozemcích se při novostavbách smí do kanalizační sítě vypouštět jen splaškové vody, dešťové vody se řeší místně znovu využitím, nebo zasakováním. (11)

S odpadní vodou však lze nakládat i více hospodárně. Hlavními myšlenkami moderní koncepce odvodnění je napodobit přirozený řád přírodních procesů a zmírnit negativní

důsledky urbanizace. Postupně se příkládá vyšší důraz zásadám trvale udržitelného rozvoje. Aby bylo možné je alespoň z částí dodržet, je nutné řešit znečištění a nakládání s vodami přímo v místě jejich vzniku. Odpadní vody se tedy co nejvíce řeší již na jednotlivých nemovitostech. Je snaha omezit směšování vody s možným znečištěním v domácnostech i průmyslu, aby nedocházelo k vnosu zbytečného znečištění a následné nutnosti čištění. (4)

Jedním z možných modelů je oddělování vody z kuchyní a toalet od takzvané „šedé“ vody z umyvadel, sprch a praček. Fekálie a moč je možné společně s bioodpadem anaerobně zpracovat za produkce bioplynu a hnojiva. Šedé vody lze po lehkém předčištění znovu využít. (4)

Dalším model je založen na dělené toaletě, která díky funkčnímu technologickému řešení odděluje moč a fekálie. Čistá moč bez přidané vody – urin je odváděn do samostatného zásobníku a fekálie jsou spolu s odpadní vodou odváděny na čistírnu odpadních vod. Urin se pak zpracovává a je z něj vyráběno hnojivo. Šedé vody se mohou řešit samostatně, nebo odvádět na čistírnu odpadních vod. (4)

4 Praktická část

Praktická část je zaměřená na pražskou stokovou síť a měření na ní. Nejprve je zařazen základní popis sítě a následně monitoring odpadní vody. V další kapitole je pak popsáno vlastní měření na vybraných profilech a porovnání naměřených hodnot.

4.1 Popis zájmového území

4.1.1 Pražské stoková síť a čistírna odpadních vod

V Praze je velmi starý kanalizační systém, nejstarší části pochází z 19. století. Na začátku 20. století byla postavena čistírna odpadních vod v Bubenči, která sloužila až do 60. let a následně byla nahrazena modernější čistírnou na Císařském ostrově – Ústřední čistírnou odpadních vod Praha (ÚČOV Praha), která funguje dodnes. V roce 2018 byla ÚČOV rozšířena o novou vodní linku pro zajištění efektivnějšího čištění, aby byly splněny zpřísnující se limity na vyčištěnou odpadní vodu. Historické kmenové stoky vybudované společně s čistírnou za doby Rakouska-Uherska jsou stále v provozu a jsou důležitou součástí sítě pražských stok. (12)

Na ÚČOV Praha je v současnosti odváděno 93% odpadní vody produkované na území hlavního města. Zbýlých 7% odpadní vody je čištěno lokálně na čistírnách odpadních vod po okraji Prahy, kam je odvádí samostatné kanalizační síť. Centrální pražská kanalizace je tvořena kmenovými stokami A, B, C, D, E, F, K. Převažující kanalizační soustavou v Praze je jednotná soustava, jen v některých částech je dešťová kanalizace vedena samostatně. (6),

4.1.2 Motivace k instalaci stanic on-line havarijního monitoringu

Pražská ÚČOV je v provozu od roku 1967. Od té doby prošla několika rekonstrukcemi, aby mohla plnit stále se zvyšující kvantitativní a kvalitativní limity na čištění vody. V uplynulých letech nebyly ojedinělé události, kdy stokovou sítí na ÚČOV přitékalo extrémně vysoké látkové zatížení. Dochází i k nelegálnímu vypouštění odpadních vod s vysokou koncentrací těžkých kovů do stokové sítě, které je identifikováno až v aktivovaném kalu. Například v roce 2013 koncentrace mědi v aktivovaném kalu dosahovala 700 – 900 mg/kg sušiny (oproti běžnému stavu kolem 200 mg/kg sušiny), což mělo za následek částečný rozpad kalu a zastavení procesu nitrifikace. Problémy způsobené přítokem extrémního znečištění stokovým systémem vyvrcholily na ÚČOV havárií v roce 2015 trvající téměř sedm měsíců. Byla způsobena škoda za cca 12 mil Kč

(4,5 mil Kč náklady na likvidaci škod, cca 7,5 mil Kč finanční ztráty vzniklé propadem vlastní výroby el. energie následkem snížené produkce bioplynu). (13)

Nastíněné opakované události znamenají ohrožení funkčnosti ÚČOV Praha. Proto vznikla myšlenka zbudování on-line havarijního monitoringu na přítoku odpadních vod na ÚČOV (a později i na dalších místech stokové sítě), aby bylo možné havárie včas odhalit a čistírnu na ně připravit, odhalit původce a do budoucna havarijní stavy omezit na minimum. První stanice havarijního monitoringu byla na ÚČOV Praha, na přítoku kolektorem ACK, instalována v roce 2016. Dále se postupně instalovaly on-line měřící stanice havarijního monitoringu i na vybraných místech kmenových stok pražské stokové sítě, a to zejména z důvodu možnosti prodloužení reakčního času při hrozící havárii a lepší dohledatelnosti původce nadlimitního znečištění. (13), (14)

V pilotním provozu stanice na přítoku na ÚČOV v roce 2016 proběhlo kalibrační a verifikační měření, které bylo zpracováno a vyhodnoceno v rámci diplomové práce Ilony Rýznarové zadané na pracovišti katedry 144 (Stavební fakulty ČVUT v Praze) (15). Má diplomová práce navazuje na práci Ilony Rýznarové a její závěry.

4.1.3 Popis on-line monitoringu kvality odpadní vody ve stokové síti

Společnost PVK a.s. používá pro on-line monitoring ukazatelů kvality odpadní vody spektrometrickou sondu firmy s::can (obrázek 4.1). Sonda má uplatnění pro určování složení od ultračisté vody až po průmyslovou odpadní vodu, tedy s ní lze měřit znečištění pitné, či odpadní vody.

Principem měření sondy je prosvěcování vody paprskem světla a měřením jeho vlnového spektra po průchodu měřeným médiem. Každá molekula pohlcuje (odráží) specifickou známou vlnovou délku záření a na základě toho sonda vyhodnocuje koncentraci dané látky ve vodě. Takto sonda je schopná určit koncentrace různých kombinací ukazatelů v závislosti na typu a způsobu využití, např. NL, dusičnany, CHSK, BSK, TOC. Spektrometrická sonda se skládá ze tří základních částí: vysílače, měřící části, přijímače. Pro správnou funkci sondy je v systému zapojena řídicí jednotka firmy s::can s příslušným operačním softwarem a je doplněna o další senzory (např. pro měření teploty). Aby všechny senzory byly stále ponořené a zároveň byly umístěny ve vhodné části proudění, jsou sondy a další senzory uchyceny v plováku na hladině (obrázek 4.2). (16), (14)

Stanice on-line havarijního monitoringu je naprogramovaná tak, že v případě zachycení hodnot přesahujících nastavené maximum upozorní dispečink SMS zprávou o možné havárii. Zároveň ukládá záznam všech naměřených hodnot, jednotlivé hodnoty měří s frekvencí 3 minuty. Záznam měření je možné stáhnout přes internet, takže lze kdykoli na dálku zkontrolovat koncentrace ukazatelů znečištění odpadních vod ve sledované stoce. (14)

Obrázek 4.1- Spektrometrická sonda s::can (16)



Obrázek 4.2- Plovák se sondou ve stoce (14)



Pro účely on-line monitoringu je na pražské stokové síti instalováno několik měrných stanic. K lednu 2020 bylo na stokové síti 16 stálých měrných profilů pro měření průtoků a 9 kontrolních profilů pro měření parametrů jakosti odpadní vody (tyto označujeme jako stanice on-line havarijního monitoringu kvality odpadní vody). Měření jakosti odpadní vody probíhá na kmenových stokách A, B, C, D, E, F, K, na Bohnickém sběrači a za objektem česlovný při nátoku do Ústřední čistírny odpadních vod Praha. (11)

4.1.4 Popis profilů vybraných pro ověření stálosti kalibrace

Pro tuto diplomovou práci byly vybrány dva profily osazené sondou pro online měření chemické kvality odpadní vody. První profil leží na levém břehu Vltavy poblíž pražské ÚČOV. Jde o profil označený D1-PAPÍRENSKÁ-Q. Druhá vybraná stanice on-line monitoringu se nachází v areálu pražské zoologické zahrady na pravém břehu Vltavy, označení profilu je E2-ZOO-Q. Poloha obou zájmových lokalit je znázorněna na obrázku 4.3 a schématu v příloze 12 (mapa a schéma stok). Oba profily leží na kmenových stokách poblíž Ústřední čistírny odpadních vod. Každý z nich odvodňuje jinou část Prahy a má proto mírně rozdílné složení odpadních vod, na každém profilu je také sonda v provozu jinak dlouhou dobu, viz podrobnější popis v následujících odstavcích. (14)

Obrázek 4.3- Mapa odběrových míst (1: E1-ZOO; 2: D1-PAPÍRENSKÁ) (14)



Měrný profil D1- PAPIRENSKÁ-Q

První odběrné místo D1-PAPÍRENSKÁ-Q (obrázek 4.5) se nachází na kmenové stoce D. Stoka je vedena ulicí Podbabskou, Koulovou, Kolejní, Evropskou přes Veleslavin, Alžírskou, Evropskou v souběhu s Litovickým potokem do ulice Ruzyňské. Odvodňuje tedy území městské, především obytné, zástavby, v Dejvicích je pak zvýšené procento jídelních zařízení. Havarijní monitoring zde probíhá od 2.7.2020 a v on-line režimu se měří CHSK, koncentrace nerozpuštěných látek, NO₃-N, NH₄-N, draslík, pH a teplota odpadní vody. Sonda je odborně kalibrována každé 3 měsíce, poslední kalibrace proběhla v termínu 12-13.10.2020. Měřená data jsou zpracovávána řídicí jednotkou firmy s::can (obrázek 4.4). (14)

Obrázek 4.4- Řídicí jednotka měrné stanice na profilu D1-PAPÍRENSKÁ-Q



Obrázek 4.5- Pohled kontrolní šachtou na sondu profil D1-PAPÍRENSKÁ-Q



Měrný profil E2-ZOO-Q

Druhá měrná stanice, profil E2-ZOO-Q (obrázek 4.6), leží na kmenové stoce E. Kontrolní šachta se nachází u dětského hřiště v areálu pražské zoologické zahrady (obrázek 4.7). Stoka E je vedena od shybky pod Vltavou v Troji, areálem ZOO Praha, kolem Trojstého zámku, předpolí mostu Barikádníků, po pravém břehu Vltavy až k ústí Rokytky k Elsnicovu náměstí. V oblasti se nachází bytová zástavba, areál Nemocnice Na Bulovce, městské parky a Zoologická zahrada, je zde i výpustné místo fekálního vozu. Sonda pro on-line měření kvality odpadní vody byla na stoku E umístěna 5.12.2018 a naposledy byla kalibrována v termínu 12-13.10.2020. I zde probíhá kalibrace pravidelně jednou za 3 měsíce. V on-line režimu se měří CHSK, koncentrace nerozpuštěných látek, NO₃-N, NH₄-N, draslík a teplota odpadní vody (14)

Obrázek 4.6- Pohled kontrolní šachtou na sondu profil E2-ZOO-Q



Obrázek 4.7- Místo měření na profilu E2-Zoo



4.2 Metodika měrných kampaní

Abych mohla posoudit stálost kalibrace měrných stanic on-line havarijního monitoringu na pražské stokové síti, provedla jsem ve spolupráci se specialistou měření na stokové síti, společnosti PVK a.s., oddělení technické podpory, odběrové kampaně. Účelem těchto kampaní bylo odebrání vzorků odpadní vody pro laboratorní analýzu.

Byly provedeny celkem čtyři měrné kampaně na dvou profilech vždy v ranních hodinách mezi 7:45 a 10:15. Při každé měrné kampani se odebíralo deset vzorků v intervalu patnácti minut pro různé analýzy. Na prvním profilu D1-Papírenská proběhlo měření 19.11. a 7.12.2020, na druhém profilu E2-Zoo se měřilo 26.11. a 9.12.2020. V odpadní vodě byla sledována vodivost, pH, chemická spotřeba kyslíku, amonné ionty, dusičnany a nerozpuštěné látky.

Vodivost a pH

Vodivost a pH byly měřeny multimetrem Hach HQ40d multi (obrázek 4.8). Tento multimetr má možnost měření dvou veličin najednou a automaticky rozpozná připojenou sondu. Lze měřit buďto kontinuálně aktuální hodnotu, nebo jednorázově zprůměrované hodnoty. Vodivost byla měřena sondou konduktivity a pH gelovou pH elektrodou. (17)

Obrázek 4.8- Multimetr Hach HQ40d multi. (17)



Chemická spotřeba kyslíku

CHSK_{Cr} jsem stanovovala pomocí kyvetových testů Hach – označení kyvetových testů LCI400 (ISO 15705, 0-1 000 mg/L O₂). Dle návodu specifikovaného výrobcem se vzorek o objemu 2,0 ml smíchá se suspenzí připravenou výrobcem v kyvetě (zkumavce). Následně se vzorek mineralizuje termostatem předehřátým na 148 °C po dobu 2 hodin. Po zchlazení na pokojovou teplotu se měří intenzita zabarvení takto připraveného roztoku vzorku (intenzita žluté barvy způsobené ionty chromu) na spektrofotometru Hach DR2800 proti slepému stanovení. (18)

Amoniakální dusík

Amoniakální dusík byl stanoven kyvetovými testy Hach – označení testů LCK302 (Amonné ionty kyvetový test 47-130 mg/L NH₄-N). Dle metodiky výrobce: po smísení připraveného roztoku s 0,2 ml odpadní vody se do směsi přidá obsah víčka zkumavky kyvetového testu, vzorek se protřepe a po uplynutí 15 minut se měří amoniakální dusík spektrofotometrem DR2800. Bylo měřeno přímo během odběrové kampaně v terénu. Vlivem probíhajících reakcí se kapalina v kyvetě barví do modrozelené (zelené) barvy (obrázek 4.9). (19)

Obrázek 4.9- Kyvetové testy: dusičnanový dusík, chemická spotřeba kyslíku, amoniakální dusík (zleva ve zmíněném pořadí, dva pohledy, již s odebranými vzorky)



Dusičnanový dusík

Dusičnanový dusík byl měřen kyvetovými testy Hach – označení testů LCK339 (Dusičnany kyvetový test 0,23-13,5 mg/L NO₃-N). Návod výrobce: po smísení 1,0 ml vzorku odpadní vody s roztokem připraveným ve zkumavce kyvetového testu a 0,2 ml roztoku A, přiloženého v balení sady 25 ks kyvetových testů, se po 15 minutách hodnota NO₃⁻-N měří spektrofotometrem DR2800. Nitrátové ionty v roztoku obsahujícím

kyselinu sírovou a fosforečnou reagují s 2,6-dimetylfenolem na 4-nitro-2,6-dimetylfenol, to se při pozorování projevuje tak, že se kapalina barví do světle růžové (obrázek 4.9). (20)

Spektrofotometr DR2800

Přístroj je, kromě možnosti standardního měření absorbcí klasických kolorimetrických analýz, určen pro vyhodnocování kyvetových testů. Do otvoru pro kyvetové testy se vloží zkumavka kyvetového testu se vzorkem, zakryje se zatemňovacím krytem (obrázek 4.10) a spektrofotometr změří koncentraci příslušného chemického ukazatele. Spektrofotometr pracuje na principu vysílání paprsku skrz měřený vzorek a vyhodnocování absorpance při specifické vlnové délce (pro každý chemický parametr je jiná vlnová délka). Spektrofotometr Hach DR2800 je také vybaven snímačem čárového kódu na 13mm kyvetě, takže po vložení do spektrofotometru je kód načten. Přístroj pak automaticky nastaví vlnovou délku pro danou analýzu a pomocí nahraného softwaru vyhodnotí a na displeji ukáže koncentraci odpovídající změřené absorpaci. Navíc díky pomalé rotaci během prosvěcování dokáže naměřit množství hodnot, které následně eliminuje a průměruje, aby bylo dosaženo velmi přesných hodnot. (21)

Obrázek 4.10- Spektrofotometr DR2800



Nerozpuštěné látky

Nerozpuštěné látky jsem stanovovala jejich vážením po vysušení při 105°C. Vzorek jsem přefiltrovala za sníženého tlaku pomocí vývěvy, následně byl vysušen v sušárně a vážen na analytických vahách. Koncentrace nerozpuštěných látek byla vypočtena z rozdílu hmotností filtračního papíru a papíru s vysušenou usazeninou a podělením objemem přefiltrovaného vzorku. Na základě legislativy se stanovují podle ČSN EN 872 Jakost vod – Stanovení nerozpuštěných látek – Metoda filtrace filtrem ze skleněných vláken. (7)

Každá analýza nerozpuštěných látek byla dublována, výsledek koncentrace nerozpuštěných látek se vyjádřil jako průměr z obou vzorků a pro kontrolu přesnosti měření byla počítána relativní směrodatná odchylka. V případě, že RSD vycházela vyšší, než 20%, jsem místo průměru určila jako konečnou hodnotu tu, která se více blížila střední hodnotě celé řady (viz příloha 9).

Výsledky laboratorního měření ukazatelů znečištění: CHSK, NH₄-N, NO₃-N, nerozpuštěné látky a pH, byly porovnány s daty z kontinuálního záznamu sondy umístěné v profilu. Kontinuita byla měřena pro případné lepší posouzení nesrovnalostí mezi měřenými daty. Sonda on-line monitoringu měří s četností jednou za 3 minuty, hodnoty pro porovnání v konkrétních časech byly určeny lineární interpolací.

Podobnost dat jsem posuzovala dle relativní směrodatné odchylky RSD. Data jsou dle Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) považována za podobná, pokud je $RSD \leq 20\%$. (22)

Bylo provedeno i grafické srovnání měření. Data ze záznamu sondy byla zachycena modrou křivkou spojující naměřené hodnoty, zatímco laboratorní měření bylo znázorněno pomocí bodů v časech jednotlivých měření a pomyslnou čárkovanou křivkou. Tento způsob záznamu byl zvolen, aby byl dobře patrný průběh dat a mohly se zkoumat jeho podobnosti.

4.3 Výsledky

4.3.1 Profil D1-PAPÍRENSKÁ

Na tomto profilu proběhla poslední kalibrace v termínu 12-13.10.2020 a měřicí kampaně se uskutečnily 19.11. a 7.12.2020, tedy přibližně měsíc a dva měsíce po kalibraci. Zde budu zkoumat platnost měření CHSK, NL, NO₃-N, NH₄-N a pH.

Během obou měřících kampaní se ve vodě nárazově objevovalo množství vysráženého tuku v podobě kuliček lehce připomínajících polystyren.

Chemická spotřeba kyslíku 19.11.2020

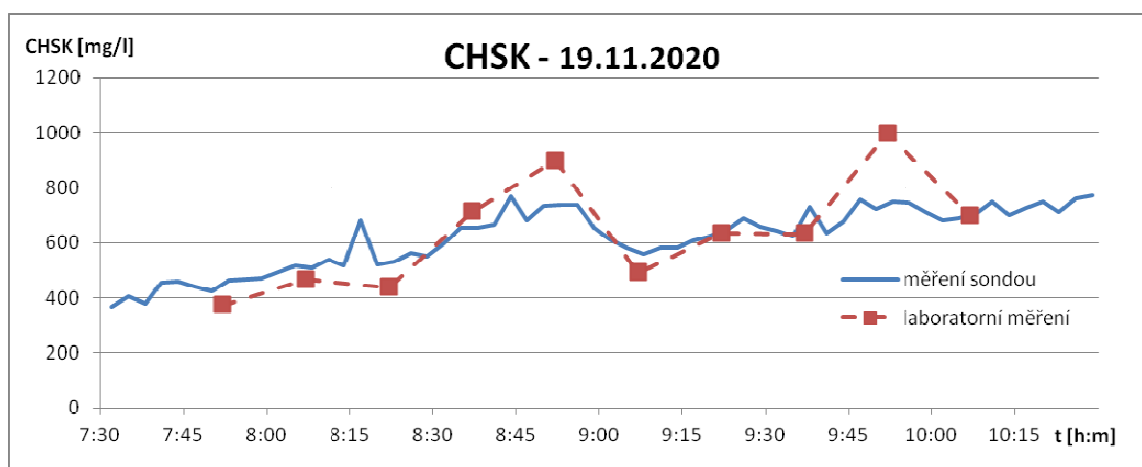
Během první měřicí kampaně se data měřená stanicí a v laboratoři poměrně shodují. Liší se jen data z 9. měření (tabulka 4.1), kde hodnota RSD těsně přesahuje 20%. Přestože data z laboratorního měření mají vyšší hodnoty lokálních extrémů, jejich průběh se vcelku shoduje (graf 4.1). Výrazněji vybočuje jen hodnota kolem 9:50, tedy v době 9. měření.

Tabulka 4.1- Naměřené CHSK 19.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:52	8:07	8:22	8:37	8:52	9:07	9:22	9:37	9:52	10:07
CHSK 1 [mg/l]	451,4	511,1	527,8	654,3	735,1	565,3	637,4	695,5	740,6	699,0
CHSK 2 [mg/l]	372,0	466,0	437,0	713,0	898,0	490,0	635,0	632,0	998,0	700,0
RSD	14%	7%	13%	6%	14%	10%	0%	7%	21%	0%

pozn. CHSK 1 – měření sondou, CHSK 2 – laboratorní měření CHSK

Graf 4.1- Naměřené CHSK 19.11.2020



Chemická spotřeba kyslíku 7.12.2020

I během další měřicí kampaně na tomto místě jsem došla ke srovnatelným výsledkům. Ve všech časech odběrů vzorků jsem porovnávala hodnoty s daty naměřenými stanicí. Jak je vidět v tabulce 4.2, RSD překročila 20% pouze v případě 9. měření. Data se tedy liší v podobném čase jako v předchozí měřicí kampani. Průběh obou datových řad vypadá podobně, až na poslední dva údaje z laboratorního měření.

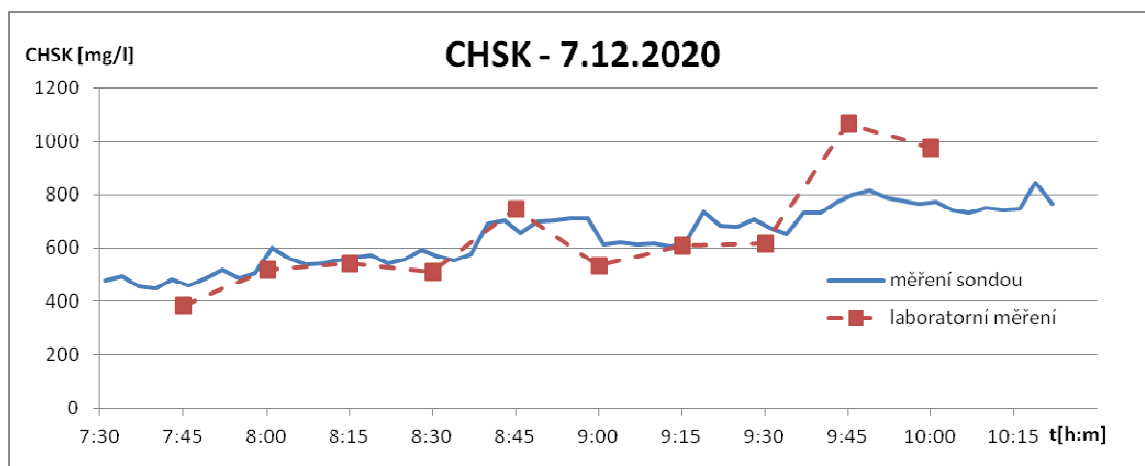
Při porovnání všech naměřených dat (přílohy 1, 2, 5 a 6) se byla kromě CHSK ve vzorku odebraném 7.12. v 9:45 zvýšená koncentrace nerozpuštěných látek, amoniakálního dusíku a vychylovala se i hodnota vodivosti. To vše dohromady nasvědčuje skutečně zvýšeným hodnotám chemické spotřeby kyslíku v tomto čase, a důvod, že je nezachytila sonda, může být jiná metoda odběru vzorků. V případě měření 19.11. v 9:52 však nebyl zaznamenán výrazný nárůst jiného ukazatele znečištění a ani průtok odpadní vody se v tomto čase výrazně neměnil. Nesourodost dat na tomto profilu v podobném čase, je tedy spíše náhodná.

Tabulka 4.2 - Naměřené CHSK 7.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00
CHSK 1 [mg/l]	467,9	568,8	560,3	575,6	669,7	645,7	621,3	685,3	791,1	771,3
CHSK 2 [mg/l]	383,0	517,0	541,0	508,0	746,0	534,0	608,0	616,0	1069,0	978,0
RSD	14%	7%	2%	9%	8%	13%	2%	8%	21%	17%

pozn. CHSK 1 – měření sondou, CHSK 2 – laboratorní měření CHSK

Graf 4.2- Naměřené CHSK 7.12.2020



Nerozpuštěné látky 19.11.2020

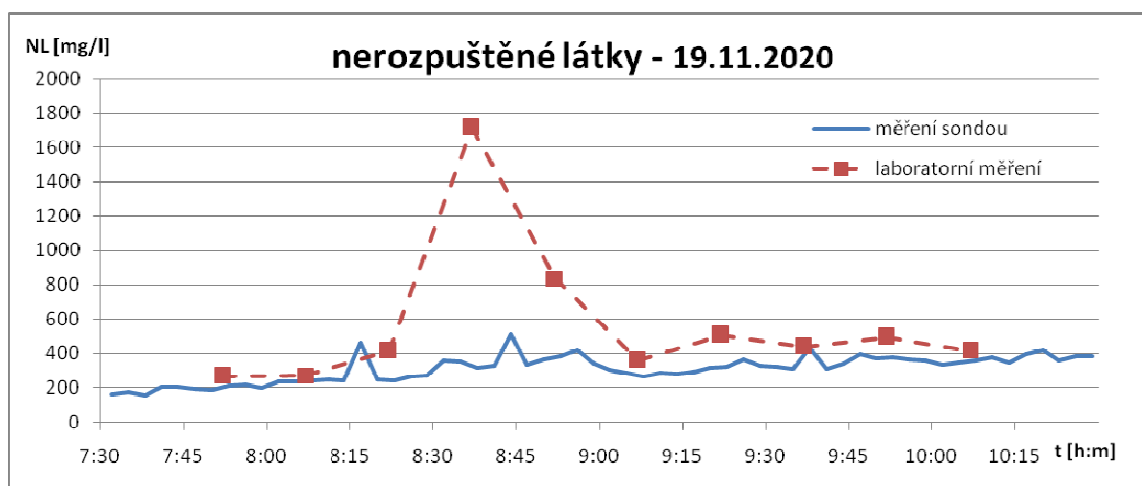
Průměrná RSD těchto dat je 31%, což přesahuje přijatelnou mez pro podobnost dat. Nesourodost dat může být způsobena výraznou koncentrací plovoucích tuků, které se objevovaly na hladině v průběhu měření. Když odmyslíme výrazný extrém v grafickém znázornění laboratorního měření, průběhy obou křivek se podobají. Extrémní hodnoty laboratorního měření mohly být způsobeny tím, že odebraný vzorek nebyl dostatečně reprezentativní. Klasickým odběrem byly na hladině plovoucí hrudky tuků zachyceny, sondou stanice, která měří pod hladinou, zachyceny nebyli. Je tedy otázka, jestli je problém v kalibraci sondy, nebo nejistota měření nehomogenní směsi s plovoucími tuky.

Tabulka 4.3- Naměřené NL 19.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:52	8:07	8:22	8:37	8:52	9:07	9:22	9:37	9:52	10:07
NL 1 [mg/l]	202,2	240,5	246,2	328,5	377,5	271,7	319,2	391,8	373,5	354,9
NL 2 [mg/l]	267,7	272,4	415,7	1715,0	835,6	361,7	508,9	440,0	493,8	416,8
RSD	20%	9%	36%	96%	53%	20%	32%	8%	20%	11%

pozn. NL 1 – měření sondou, NL 2 – laboratorní měření nerozpuštěných látek

Graf 4.3- Naměřené NL 19.11.2020



Nerozpuštěné látky 7.12.2020

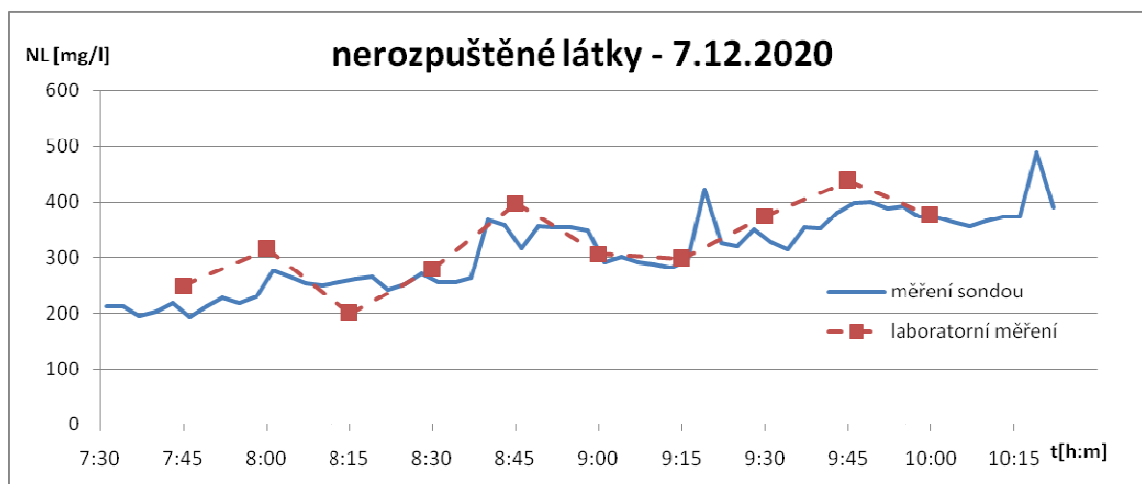
Z vyhodnocení měrné kampaně 7.12. na profilu D1-Papírenská je patrné, že hodnota RSD v žádném měření nepřekročila 20% mez, takže v tomto případě se kalibrace stanice pro nerozpuštěné látky jeví stálá a on-line měření se ukazuje jako poměrně přesné. Průběh křivek zobrazených v grafu je podobný, výrazněji se vychyluje jen hodnota 3. laboratorního měření.

Tabulka 4.4- Naměřené NL 7.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00
NL 1 [mg/l]	202,4	261,6	261,0	262,3	330,8	311,3	291,9	335,8	392,1	373,5
NL 2 [mg/l]	250,5	315,4	200,0	281,0	398,0	306,8	299,0	375,0	438,7	375,8
RSD	15%	13%	19%	5%	13%	1%	2%	8%	8%	0%

pozn. NL 1 – měření sondou, NL 2 – laboratorní měření nerozpuštěných látek

Graf 4.4- Naměřené NL 7.12.2020



Dusičnanový dusík 19.11.2020

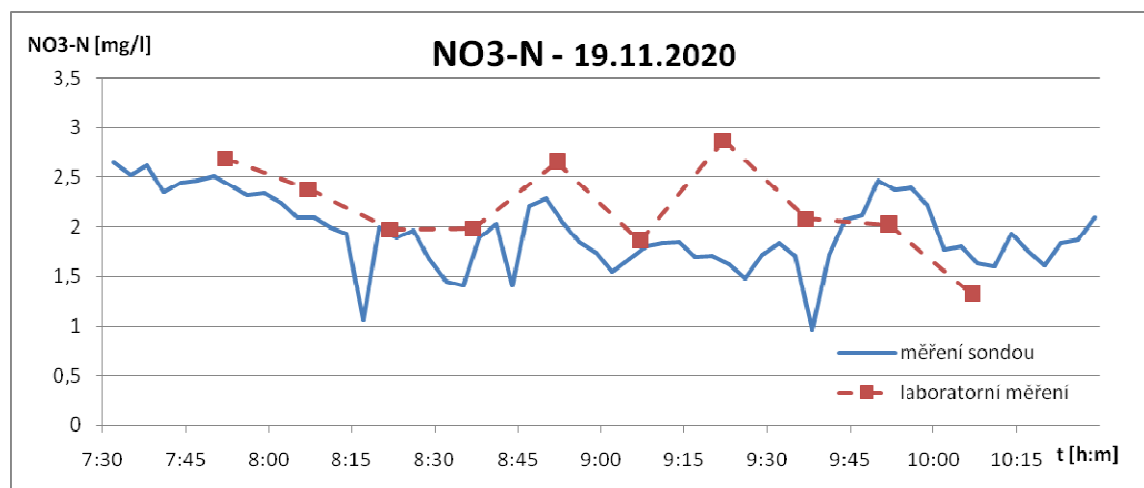
Koncentrace dusičnanového dusíku během prvního měření vycházely kolem 2 mg/l, průměrná RSD měření sondy a laboratorními testy je 15%. Data se tedy celkově statisticky shodují, ale hodnoty 7. a 8. měření přesahují RSD 20%. I znázornění v grafu jeví takovouto podobnost mezi daty. Kromě dat naměřených v 9:22 a 9:37 mají křivky stejný průběh. Přibližně v 9:20 došlo ke zvýšení průtoku ve stoce (viz příloha 10) a v podobnou dobu se i zvýšila koncentrace nerozpuštěných látek, je tedy možné, že zvýšené koncentrace dusičnanů sonda nezaznamenala vlivem vyšší koncentrace nerozpuštěných látek, nebo ke zvýšení došlo v krátkých vlnách – v koncentrovanějších úsecích, které sonda nezaznamenala.

Tabulka 4.5- Naměřené NO₃-N 19.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:52	8:07	8:22	8:37	8:52	9:07	9:22	9:37	9:52	10:07
NO ₃ -N 1 [mg/l]	2,4	2,1	1,9	1,7	2,1	1,8	1,7	1,2	2,4	1,7
NO ₃ -N 2 [mg/l]	2,69	2,38	1,97	1,98	2,65	1,86	2,87	2,08	2,02	1,32
RSD	7%	9%	2%	10%	15%	4%	38%	37%	12%	17%

pozn. NO₃-N 1 – měření sondou, NO₃-N 2 – laboratorní měření NO₃-N

Graf 4.5- Naměřené NO₃-N 19.11.2020



Dusičnanový dusík 7.12.2020

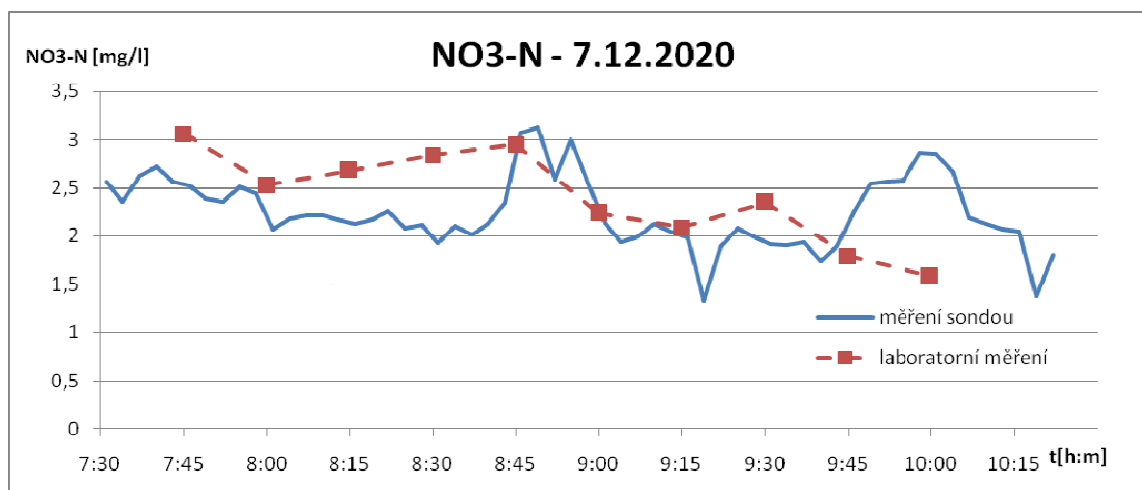
Během tohoto měření se hodnoty NO₃-N pohybovaly kolem 2,5 mg/l. Data, která nesplnila RSD pod 20%, se objevila během 4. a 10. měření. Průměrná relativní směrodatná odchylka vychází 14%, takže se potvrzuje, že kalibrace drží a stanice i tento parametr měří spolehlivě. I z grafu je patrné, že si hodnoty vcelku dopovídají, až na údaje kolem 8:30 a 10:00.

Tabulka 4.6- Naměřené NO₃-N 7.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00
NO ₃ -N 1 [mg/l]	2,5	2,2	2,1	2,0	2,8	2,3	2,0	1,9	2,1	2,9
NO ₃ -N 2 [mg/l]	3,06	2,53	2,68	2,84	2,95	2,24	2,09	2,35	1,79	1,58
RSD	13%	10%	16%	25%	3%	1%	3%	14%	12%	41%

pozn. NO₃-N 1 – měření sondou, NO₃-N 2 – laboratorní měření NO₃-N

Graf 4.6- Naměřené NO₃-N 7.12.2020



Amoniakální dusík 19.11.2020

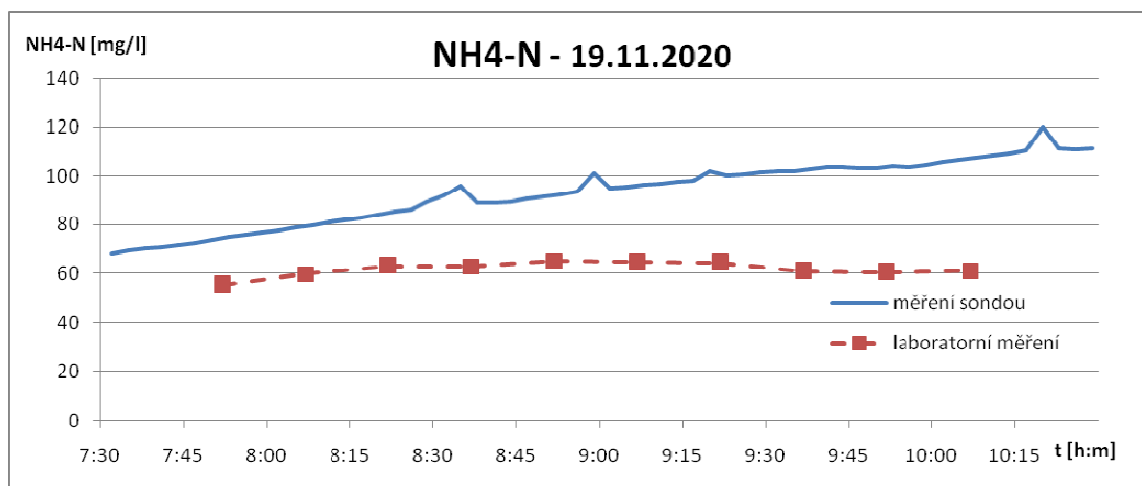
Laboratorním měřením kyvetovými testy bylo mezi 7:45 a 10:15 průměrné NH₄-N přibližně 62 mg/l, zatímco dle spektrometrické sondy vychází přibližně na 93 mg/l. Již z toho je patrné, že se naměřená data neshodují. Při porovnání pomocí RSD data nepřekračují hodnotu 20% RSD jen u druhého měření. Ani v grafickém znázornění nelze najít jasnou podobnost mezi měřenými daty. Zatímco křivka hodnot měřených stanicí má jasnou vzestupnou tendenci, hodnoty z laboratorního měření mají nejprve vzestupnou a následně sestupnou větev.

Tabulka 4.7- Naměřené NH₄-N 19.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:52	8:07	8:22	8:37	8:52	9:07	9:22	9:37	9:52	10:07
NH ₄ -N 1 [mg/l]	74,5	79,4	84,8	91,3	92,2	96,0	101,0	102,6	103,8	107,2
NH ₄ -N 2 [mg/l]	55,3	59,9	63,1	62,8	65	64,5	64,4	61	60,4	61,2
RSD	21%	20%	21%	26%	24%	28%	31%	36%	37%	39%

pozn. NH₄-N 1 – měření sondou, NH₄-N 2 – laboratorní měření NH₄-N

Graf 4.7- Naměřené NH₄-N 19.11.2020



Amoniakální dusík 7.12.2020

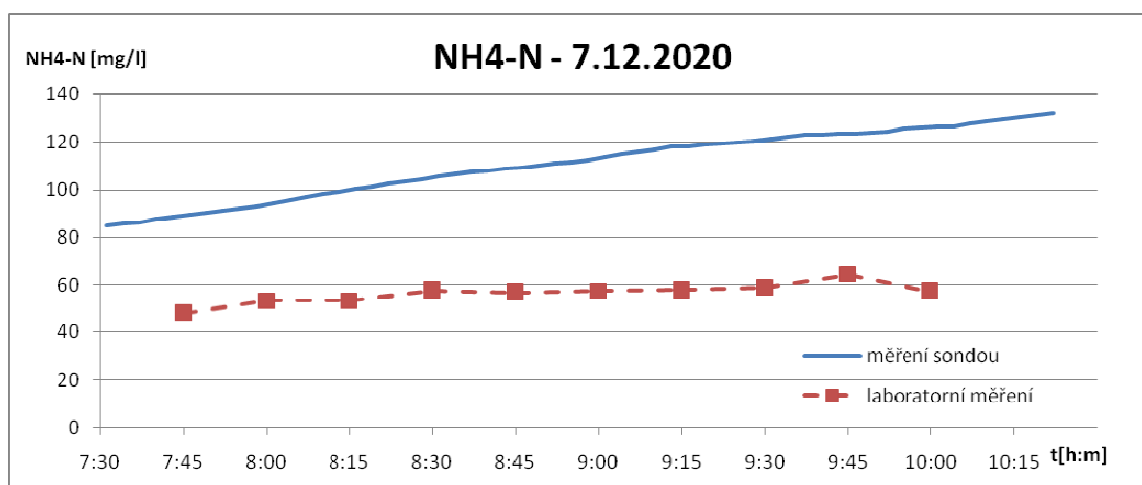
I během druhého měření byla data velmi rozdílná. Zatímco stanice naměřila mezi 7:45 a 10:00 průměrnou koncentraci amoniakálního dusíku 110 mg/l, laboratorní výsledky se pohybovaly kolem 57 mg/l. Při srovnání pomocí RSD nejsou ani v jednom čase měření hodnoty vzájemně podobné, průměrně dosahují RSD 45%. Graf se velmi podobá předchozímu měření, ale křivky jsou vůči sobě posunuté o něco více, to všechno podporuje přesvědčení, že kalibrace měření amoniakálního dusíku není stálá.

Tabulka 4.8- Naměřené NH₄-N 7.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00
NH ₄ -N 1 [mg/l]	89,1	93,9	99,9	105,2	109,1	113,3	118,2	121,0	123,4	126,1
NH ₄ -N 2 [mg/l]	48,0	53,7	53,6	57,8	57,0	57,6	57,9	58,8	64,5	57,4
RSD	42%	38%	43%	41%	44%	46%	48%	49%	44%	53%

pozn. NH₄-N 1 – měření sondou, NH₄-N 2 – laboratorní měření NH₄-N

Graf 4.8- Naměřené NH₄-N 7.12.2020



pH 19.11.2020

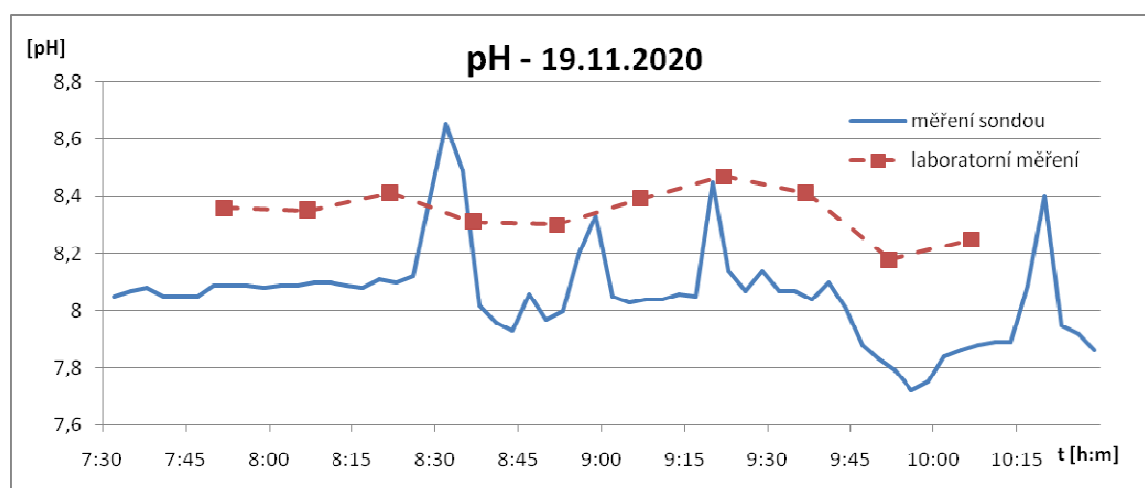
Stanice naměřila hodnoty lehce nižší než multimetr používaný při terénním měření. Odchylna mezi daty je však malá a i průběh dat se shoduje, rozdíl je zřejmě způsoben různou kalibrací přístrojů a je zanedbatelný.

Tabulka 4.9- Naměřené pH 19.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:52	8:07	8:22	8:37	8:52	9:07	9:22	9:37	9:52	10:07
pH 1 [mg/l]	8,1	8,1	8,1	8,2	8,0	8,0	8,2	8,1	7,8	7,9
pH 2 [mg/l]	8,36	8,35	8,41	8,31	8,3	8,39	8,47	8,41	8,18	8,25
RSD	2%	2%	3%	1%	3%	3%	2%	3%	3%	3%

pozn. pH 1 – měření sondou, pH 2 – laboratorní měření pH

Graf 4.9- Naměřené pH 19.11.2020



pH 7.12.2020

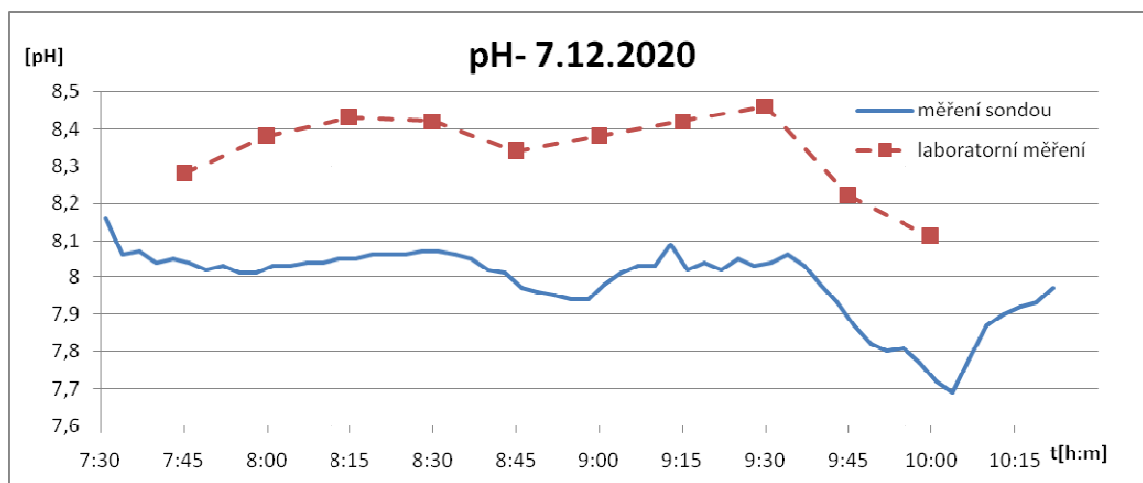
I při druhém měření v tomto profilu byly průběhy dat časově shodné a RSD se pohybovalo kolem 3%. Stálost kalibrace měření pH se tedy jeví jako dobrá.

Tabulka 4.10- Naměřené pH 7.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00
pH 1 [mg/l]	8,0	8,0	8,1	8,1	8,0	8,0	8,0	8,0	7,9	7,7
pH 2 [mg/l]	8,28	8,38	8,43	8,42	8,34	8,38	8,42	8,46	8,22	8,11
RSD	2%	3%	3%	3%	3%	4%	3%	4%	3%	3%

pozn. pH 1 – měření sondou, pH 2 – laboratorní měření pH

Graf 4.10- Naměřené pH 7.12.2020



4.3.2 Profil E2-ZOO

Poslední kalibrace u tohoto profilu proběhla v termínu 12.-13.10.2020 přibližně měsíc poté proběhla první měrná kampaň (26. 11.), začátkem prosince (9. 12.) proběhla druhá měrná kampaň.

Během odběrových kampaní byla odpadní voda povětšinou zbarvena lehce dohněda, ke konci odběrové kampaně 9.12. měla výrazné černé zbarvení (od odběru v 9:55).

Koncentrace ukazatelů znečištění měřených laboratorně se na tomto profilu liší od koncentrací získaných z měřicí stanice. Ani jeden z měřených ukazatelů nevykazuje dostatečnou podobnost mezi daty. Nejrozdílnější je měření amoniakálního dusíku, kde průměrná koncentrace naměřená kyvetovými testy násobně převyšuje koncentrace průměrné změřené sondou v době měrné kampaně.

Chemická spotřeba kyslíku 26.11.2020

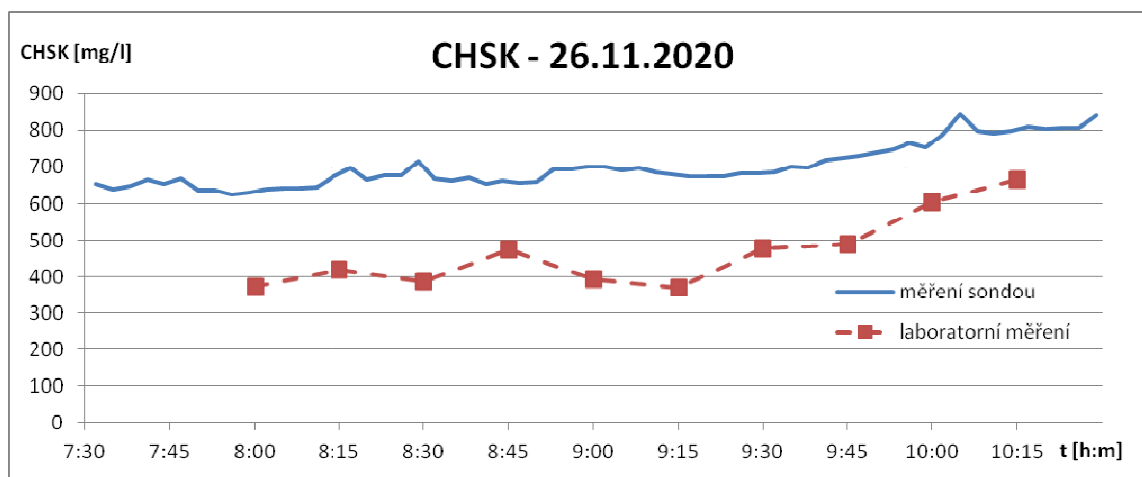
Z vyhodnocení vychází, že data měřená stanicí se neshodují s výsledky laboratorní analýzy provedené ve vzorcích odebraných při kampani. Průměrná RSD dat je 30%, pod 20% vychází jen pro poslední dvě měření (tabulka 4.11). Graf 4.11 ukazuje, že průběhy křivek se relativně podobají, ale hodnoty z měření sondou jsou přibližně o 150 – 300 mg/l vyšší, než z laboratorního měření.

Tabulka 4.11- Naměřené CHSK 26.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15
CHSK 1 [mg/l]	633,7	681,9	699,7	660,4	701,1	679,1	684,2	725,6	766,4	800,8
CHSK 2 [mg/l]	372,0	420,0	387,0	476,0	394,0	369,0	477,0	490,0	603,0	667,0
RSD	37%	34%	41%	23%	40%	42%	25%	27%	17%	13%

pozn. CHSK 1 – měření sondou, CHSK 2 – laboratorní měření CHSK

Graf 4.11- Naměřené CHSK 26.11.2020



Chemická spotřeba kyslíku 9.12.2020

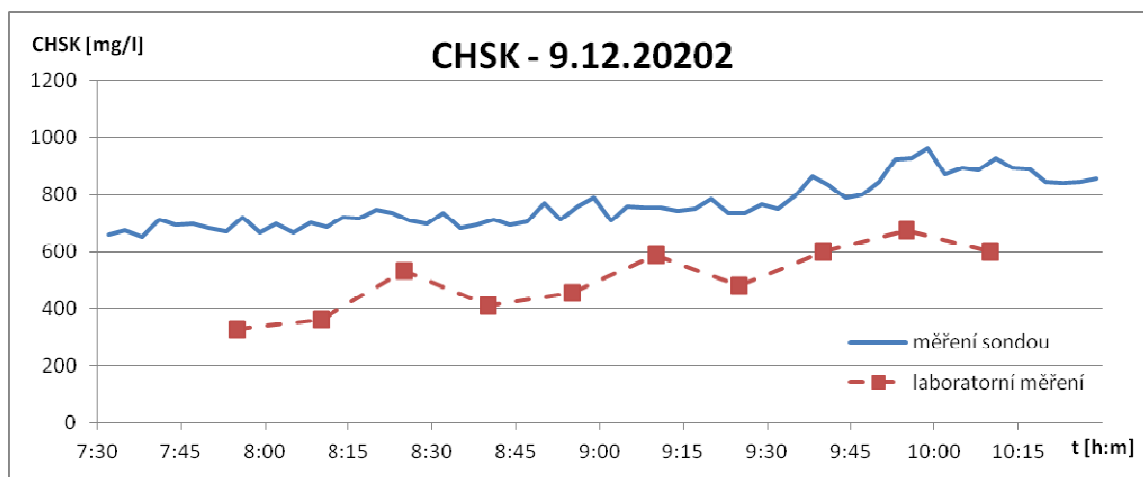
Chemická spotřeba kyslíku z druhé měrné kampaně na profilu E2-Zoo také nevykazuje dostatečnou shodu s daty naměřenými stanicí. RSD jen v jednom čase měření nepřesáhla hranici 20% (tabulka 4.12). Když se podíváme na grafické znázornění dat (graf 4.12), obě křivky mají podobné tendence, jen jsou vzájemně posunuté přibližně o 240 mg/l. Vzhledem k datům z 26.11. se zdá, že možná došlo k chybnému nastavení koncentrací během kalibrace, která je ale stálá.

Tabulka 4.12- Naměřené CHSK 9.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:55	8:10	8:25	8:40	8:55	9:10	9:25	9:40	9:55	10:10
CHSK 1 [mg/l]	704,3	692,4	717,4	708,7	744,5	754,8	736,6	845,4	925,8	915,1
CHSK 2 [mg/l]	328	360	533	408	456	591	480	601	675	602
RSD	52%	45%	21%	38%	34%	17%	30%	24%	22%	29%

pozn. CHSK 1 – měření sondou, CHSK 2 – laboratorní měření CHSK

Graf 4.12– Naměřené CHSK 9.12.2020



Nerozpuštěné látky 26.11.2020

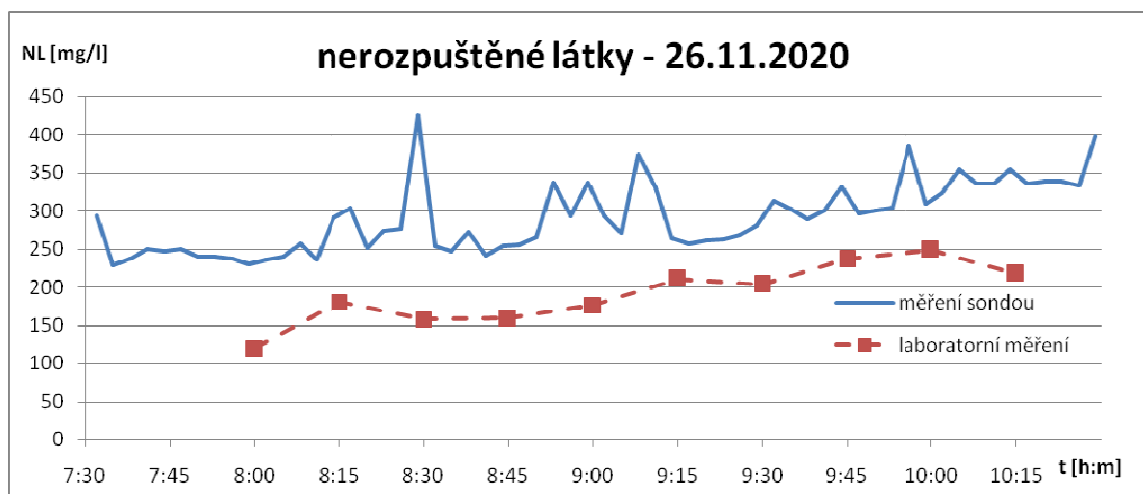
Ani koncentrace nerozpuštěných látek měřená na profilu E2-ZOO nevykazuje dostatečnou podobnost s daty měřeními stanicí. Průměrná hodnota RSD během prvního měření dosáhla 32 %. Relativní směrodatná odchylka nepřesahuje 20% pouze u hodnot z 6. a 9. odběru, jinak je ve všech bodech vyšší (tabulka 4.13). Z grafu 4.13 je patrné, že sonda pár minut před 8:30 naměřila ojedinělou vyšší hodnotu koncentrace nerozpuštěných látek, což mohlo být způsobeno nehomogenitou odpadní vody. Tato zřejmě nereálná hodnota částečně snižuje podobnost mezi daty 3. měření. V grafu se vyskytuje více vychýlených hodnot, nelze proto s jistotou tvrdit, že křivky nemají podobný průběh, ale nezdá se, že by se tendencemi shodovaly.

Tabulka 4.13- Naměřené NL 26.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15
NL 1 [mg/l]	119,6	180,4	158,0	159,0	176,5	210,8	203,8	236,6	249,0	217,5
NL 2 [mg/l]	232,1	295,2	368,0	254,4	322,7	261,5	291,6	320,2	313,9	348,4
RSD	45%	34%	56%	33%	41%	15%	25%	21%	16%	33%

pozn. NL 1 – měření sondou, NL 2 – laboratorní měření nerozpuštěných látek

Graf 4.13- Naměřené NL 26.11.2020



Nerozpuštěné látky 9.12.2020

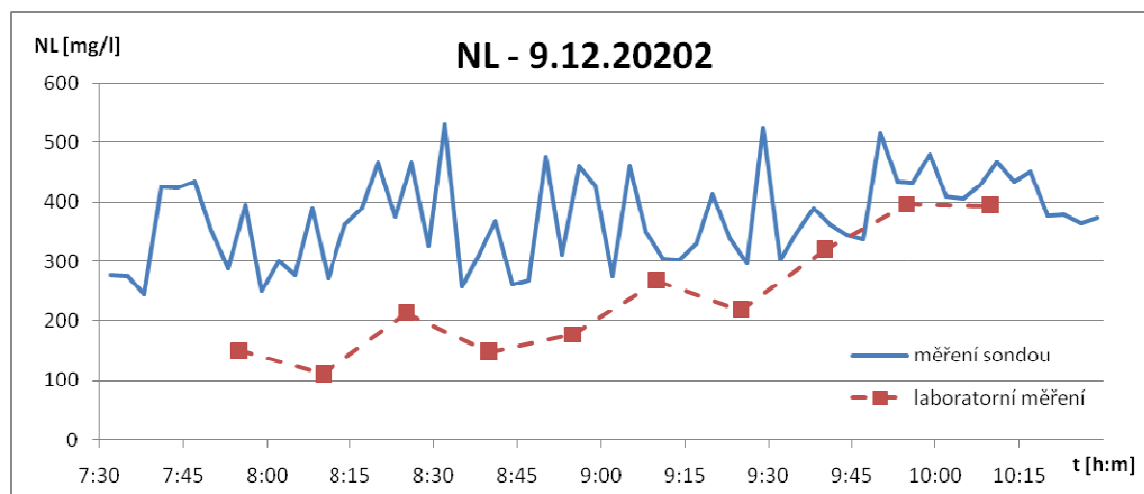
Průměrná RSD dat je 35 %, což je ze statistického hlediska ještě horší výsledek, než vyhodnocení dat z předchozího měření na tomto profilu. Je zajímavé, že data z 1. poloviny měrné kampaně vykazují horší shodu, než data měřená po 9. hodině (tabulka 4.14). Koncentrace nerozpuštěných látek naměřené během 6., 8., 9. a 10. měření dokonce vykazují RSD pod 20%. Křivka „měření sondou“ má často velké rozdíly v hodnotách měřených v řadě po sobě, až na konci zájmového intervalu se křivka stává plynulejší (graf 4.14). Když se snažíme porovnat obě křivky, můžeme najít velkou podobnost někdy po 9:30, předtím se data příliš neshodují.

Tabulka 4.14- Naměřené NL 9.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:55	8:10	8:25	8:40	8:55	9:10	9:25	9:40	9:55	10:10
NL 1 [mg/l]	150,2	110,1	212,8	147,6	177,3	267,0	218,5	318,9	396,4	393,3
NL 2 [mg/l]	359,9	310,9	436,0	349,0	410,7	319,9	311,2	371,8	433,9	454,2
RSD	58%	67%	49%	57%	56%	13%	25%	11%	6%	10%

pozn. NL 1 – měření sondou, NL 2 – laboratorní měření nerozpuštěných látek

Graf 4.14- Naměřené NL 9.12.2020



Dusičnanový dusík 26.11.2020

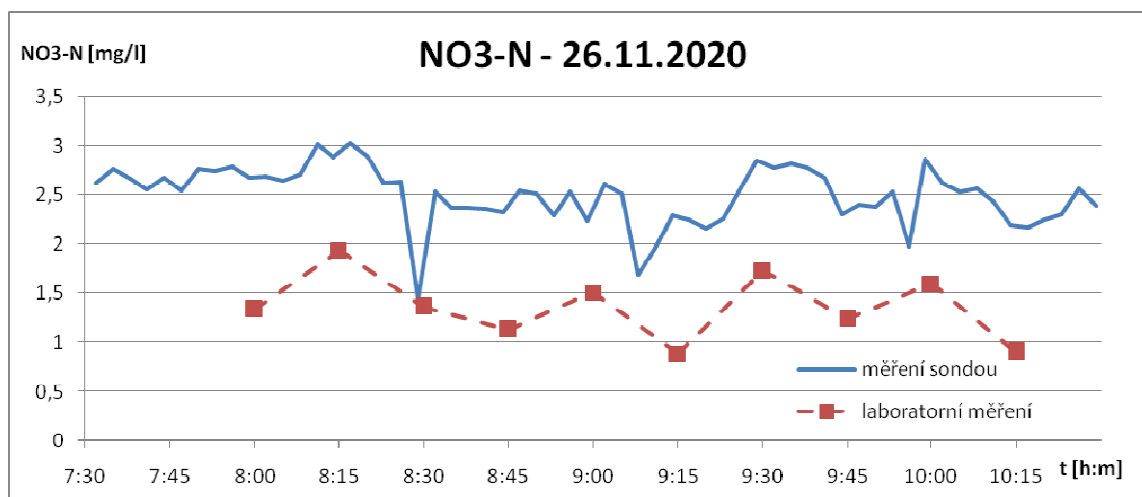
Již měsíc po kalibraci přesahuje průměrná RSD 20% a je rovna 41%, takže zřejmě kalibrace NO₃-N není příliš stálá. Průběh obou datových řad se přibližně shoduje, ale data získaná laboratorním měřením jsou v grafu posunutá přibližně o 1 mg/l níže vůči křivce z měření sondou.

Tabulka 4.15- Naměřené NO₃-N 26.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15
NO ₃ -N 1 [mg/l]	2,7	2,9	1,8	2,4	2,4	2,3	2,8	2,3	2,8	2,2
NO ₃ -N 2 [mg/l]	1,34	1,94	1,36	1,13	1,51	0,885	1,73	1,24	1,6	0,903
RSD	47%	29%	20%	51%	31%	62%	34%	43%	38%	59%

pozn. NO₃-N 1 – měření sondou, NO₃-N 2 – laboratorní měření NO₃-N

Graf 4.15- Naměřené NO₃-N 26.11.2020



Dusičnanový dusík 9.12.2020

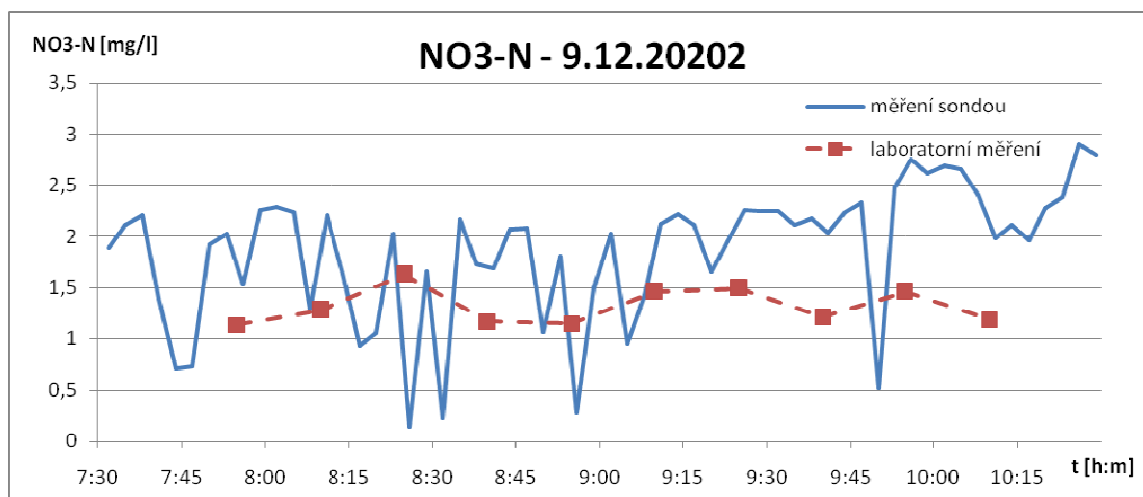
Po vyhodnocení tohoto měření vychází průměrná RSD 32%, takže je kalibrace nevyhovující. Data ze sondy v zájmovém úseku navíc mají velké množství lokálních minim a maxim, zřejmě rozkolísáním měřicí soustavy. Můžeme si domyslet, že kdyby křivka „měření sondou“ byla vyhlazenější, průběhy křivek by se podobaly. Podobnost mezi daty tedy vychází lépe než 26.11., to však může být způsobeno rozkolísáním hodnot a náhodnou lepší podobností, proto i zde lze předpokládat, že kalibrace může být stálá, jen chybně provedená.

Tabulka 4.16- Naměřené NO₃-N 9.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:55	8:10	8:25	8:40	8:55	9:10	9:25	9:40	9:55	10:10
NO ₃ -N 1 [mg/l]	1,7	1,9	0,8	1,7	0,8	1,9	2,2	2,1	2,7	2,1
NO ₃ -N 2 [mg/l]	1,14	1,28	1,63	1,17	1,15	1,46	1,49	1,21	1,46	1,19
RSD	28%	28%	51%	26%	27%	18%	26%	38%	41%	40%

pozn. NO₃-N 1 – měření sondou, NO₃-N 2 – laboratorní měření NO₃-N

Graf 4.16- Naměřené NO₃-N 9.12.2020



Amoniakální dusík 26.11.2020

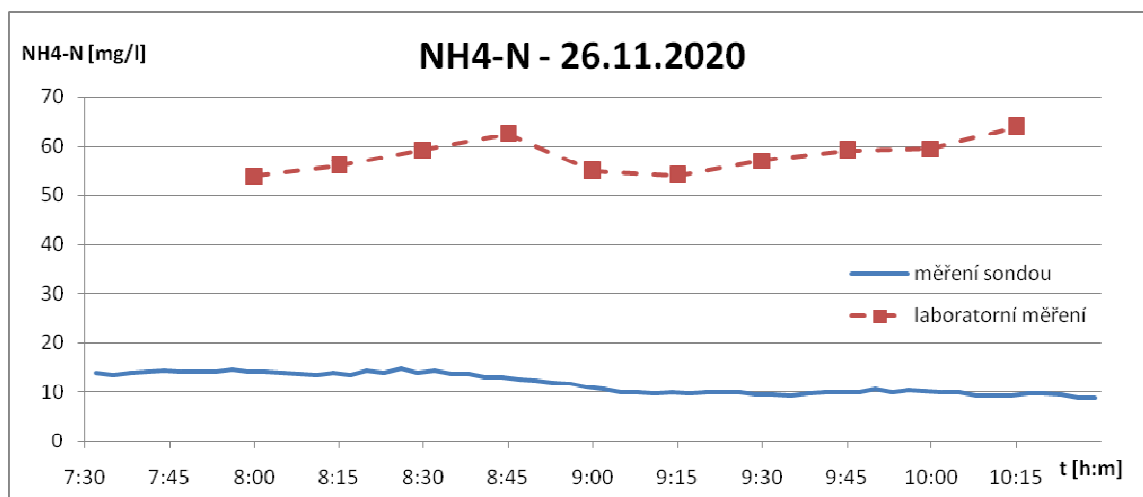
Hodnoty koncentrace amoniakálního dusíku měřené kyvetovými testy několikanásobně převyšují hodnoty naměřené sondou. Dle grafického znázornění je navíc patrné, že křivka „laboratorního měření“ má stoupavou tendenci, zatímco křivka „měření sondou“ klesá. Srovnání podle RSD nemá příliš význam, v žádném jednotlivém čase měření se ani zdaleka neblíží k 20%.

Tabulka 4.17- Naměřené NH₄-N 26.11.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15
NH ₄ -N 1 [mg/l]	14,0	13,8	14,0	12,9	10,9	9,8	9,5	10,0	10,0	9,4
NH ₄ -N 2 [mg/l]	54,0	56,0	59,2	62,4	54,9	54,1	57,0	59,1	59,5	63,9
RSD	83%	86%	87%	93%	95%	98%	101%	100%	101%	105%

pozn. NH₄-N 1 – měření sondou, NH₄-N 2 – laboratorní měření NH₄-N

Graf 4.17- Naměřené NH₄-N 26.11.2020



Amoniakální dusík 9.12.2020

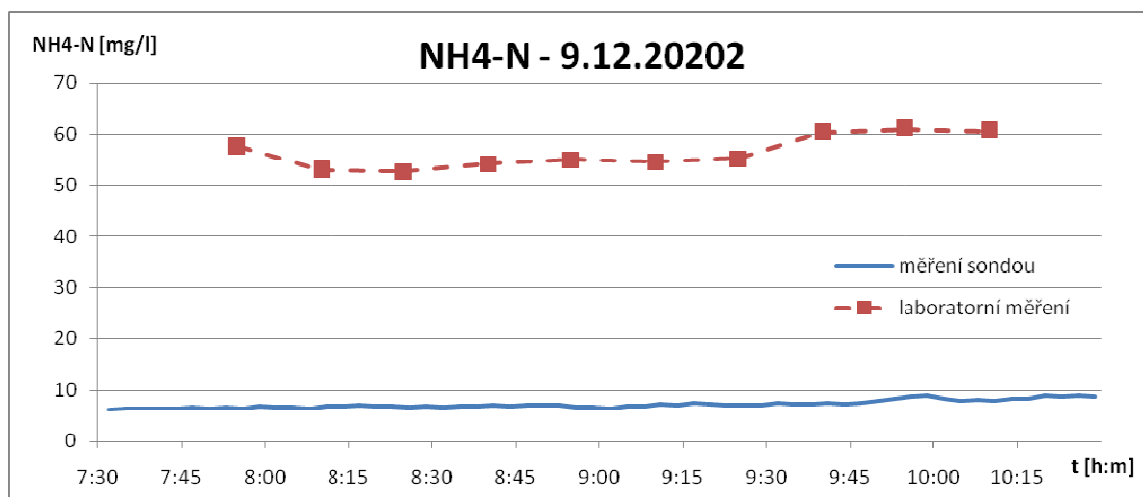
Již při pohledu na data je zřejmé, že mezi nimi není shoda. Koncentrace amoniakálního dusíku naměřená během druhé měrné kampaně na profilu E2-Zoo vykazuje velkou odchylku mezi daty měřenými stanicí a v laboratoři. Z výpočtů vychází RSD přes 100% u všech měření této kampaně (tabulka 4.18). Z grafu 4.18 je stejně jako z dat postavených vedle sebe vidět, že se křivky nepřekrývají, dalo by se možná uvažovat o tom, že mají podobný tvar, ale průměr datové řady „laboratorní měření“ je asi 6x vyšší, než průměr řady „měření sondou“ v daném úseku.

Tabulka 4.18- Naměřené NH4-N 9.12.2020

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas měření	7:55	8:10	8:25	8:40	8:55	9:10	9:25	9:40	9:55	10:10
NH4-N 1 [mg/l]	6,4	6,6	6,6	6,8	6,7	7,1	7,1	7,4	8,5	7,9
NH4-N 2 [mg/l]	57,5	53,0	52,7	54,2	55,0	54,6	55,2	60,4	61,0	60,6
RSD	113%	110%	110%	110%	111%	109%	109%	110%	107%	109%

pozn. NH4-N 1 – měření sondou, NH4-N 2 – laboratorní měření NH4-N

Graf 4.18- Naměřené NH4-N 9.12.2020



4.3.3 Shrnutí

Celkově se z měřených ukazatelů znečištění zdá být nejspolehlivější určování pH odpadní vody. Při porovnání měřených hodnot pH relativní směrodatná odchylka ani v jednom případě nepřesáhla 5%. Na profilu D1-Papírenská vycházela stálost kalibrace výrazně lépe, než na profilu E2-ZOO. Je možné, že při kalibraci sondy na profilu E2-ZOO došlo k nějaké chybě. U většiny ukazatelů nedochází k výrazné změně průměrné odchylky mezi oběma odběrnými kampaněmi, což vnucuje myšlenku chyby v nastavení spíše než nedržící kalibrace.

Nejvíce problematické se zdá být určování koncentrace amoniakálního dusíku, na žádném profilu nebyla dostatečná shoda mezi laboratorním měřením a daty z měrné stanice. Výrazné rozdíly v měření dvou stanic mohou být způsobeny jejich stářím – dobou provozu, nebo různě velkými průtoky (viz příloha 10 a 11).

Nejdůležitějšími ukazateli znečištění jsou pro ÚČOV: chemická spotřeba kyslíku, nerozpuštěné látky a amoniakální dusík. To vyplývá jednak z popisu havárií na ÚČOV (13), jednak ze závěrů diplomové práce Ilony Rýznarové (15). Dalším důležitým ukazatelem jsou nepochybně koncentrace těžkých kovů, jejich měření je však problematické kvůli ochraně senzorů zařazením filtrů, které zachytávají velkou část znečištění a složitostí samotné analýzy (nutná mineralizace vzorku i v on-line režimu, tedy nelze nastavit časový krok kratší než 15 minut) (23), (24). V provozu pilotní stanice na nátoky na ÚČOV se toto neosvědčilo (15), proto se na stanicích ve stokové síti těžké kovy neměří.

Měření chemické spotřeby kyslíku probíhá na stanicích celkem spolehlivě. Kalibrace na obou sledovaných profilech se jevila jako stálá, na profilu D1-PAPÍRENSKÁ vykazovala data dobrou shodu. I když na profilu E2-ZOO byly průměrné hodnoty naměřené stanicí a laboratorními testy rozdílné, zdá se, že trendy obou naměřených křivek byly shodné. Takže ať posunutí křivky „měření sondou“ způsobila chybná kalibrace, nebo něco jiného, je pravděpodobné, že výkyv koncentrací k extrémním hodnotám by stanice on-line havarijního monitoringu zachytila dobře.

Výsledek porovnání měřených koncentrací nerozpuštěných látek je o něco horší. Na profilu D1-PAPÍRENSKÁ by se dala měření považovat za dobře kalibrovaná, pokud přičteme výrazné zvýšení koncentrace NL změřené 19.11. kolem 8:30 náhodné chybě. Náhodná chyba je podle mě pravděpodobná, z důvodu, že žádný z ostatních měřených ukazatelů znečištění nevykazuje v daný čas podobnou odchylku. NL na profilu E2-ZOO se obtížně hodnotily kvůli nevyrovnaným hodnotám ze stanice. Ani při jedné měřné kampani nevykazovalo porovnání měření dostatečnou shodu, při měření 9.12. vycházela průměrná RSD jen o málo vyšší, než při měření předchozím. Je proto možné, že rozdíl mezi daty je způsoben celkovou kalibrací a ne její nestálostí.

Měření koncentrací amoniakálního dusíku nemá dostatečnou shodu mezi daty. Jednak již při prvních měřeních na profilech nevycházela podobnost mezi měřeními kyvetovými testy a on-line měřnou stanicí a jednak se při další měřné kampani rozdíl mezi průměrnými hodnotami dat ještě zvětšil. Kalibrace on-line havarijního monitoringu NH₄-N se tedy jeví jako nestálá na obou sledovaných profilech.

Přehled všech naměřených hodnot je v přílohách 1-8.

5 Závěr

Bylo provedeno měření vybraných ukazatelů znečištění za účelem jejich porovnání s daty poskytnutými měrnou stanicí. Během měrných kampaní bylo dohromady odebráno čtyřicet vzorků odpadní vody. Vzorky byly podrobeny analýze CHSK, NL, NO₃-N, NH₄-N, pH a vodivosti. Následně byla vyhodnocená data zanesena do tabulek a grafů a porovnána s daty naměřenými sondou.

Stálost kalibrace vycházela obecně nejlépe pro data pH, která se ovšem porovnávala jen u profilu D1- Papírenská. Dobře vycházela i stálost kalibrace chemické spotřeby kyslíku, obzvláště pokud byl rozdíl mezi daty měřenými laboratorně a měrnou stanicí na profilu E2-ZOO skutečně způsoben chybnou kalibrací. Nejméně dobře vycházela podobnost naměřených koncentrací NH₄-N, při žádné měrné kampani nebyla RSD koncentrací amoniakálního dusíku nižší než 20%. To je z hlediska monitoringu nepříznivé, protože dusík v amoniakálních iontech je nejvíce zastoupená forma dusíku v odpadních vodách a je tedy důležitým ukazatelem dusíkatého znečištění.

Spolehlivost on-line měření pH a koncentrací CHSK, nerozpuštěných látek a dusičnanového dusíku je tedy dobrá. On-line monitoring amoniakálního dusíku se dle posouzení nezdá příliš spolehlivý. Při odhalování možných havárií je tedy potřeba se spolehnout především na ukazatele CHSK a koncentrací nerozpuštěných látek.

6 Seznam použité literatury

1. Nysl V., Synáčková M. *Zdravotně inženýrské stavby 30: stokování*. 1. vydání. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-010-1729-X.
2. Havlíček, P., Mičín, J. a Prax, P. *Příručka stokování a čištění*. Brno : NOEL, 2000, c2001. ISBN 80-860-2030-4.
3. Pitter, P. *Hydrochemie*. 5. aktualiz. vyd. Praha : Vydavatelství VŠCHT Praha, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
4. Krejčí, Vladimír a kolektiv. *Odvodnění urbanizovaných území - Konceptní přístup*. [editor] P. Hlavínek a E. Zeman. Brno : NOEL2000, 2002. ISBN: 80-86020-39-8.
5. Bindzar, J. *Základy úpravy a čištění vod*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická, 2001. ISBN 978-80-7080-729-3.
6. **Pražská vodohospodářská společnost a.s.** *Kanalizační řád Ústřední čistírny odpadních vod Praha*. Praha 2018. Dostupné z webu: <http://pvs.cz/prozakazniky/kanalizacni-rady/>.
7. Metodický pokyn oboru ochrany vod MŽP k nařízení vlády č. 401/2015 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*. Praha : Ministerstvo životního prostředí, 2015. Ing. Josef Nistler.
8. Zpravodajství - Evropský parlament. *Prací a mycí prostředky přívětivé k rybám*. [Online] 2011. [Citace: 5. Leden 2021.] <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/press-room/20111213IPR34069/praci-a-myci-prostredky-privetive-k-rybam>.
9. Chislock, M. F., a další. *Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems*. [Online] 2013. [Citace: 7. Leden 2021.] <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/eutrophication-causes-consequences-and-controls-in-aquatic-102364466/>.
10. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. *Nařízení vlády 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*. Praha : Česká republika. znění od 1. 1. 2016.

11. **Pražská vodohospodářská společnost a.s.** *Městské standardy vodovodů a kanalizací na území hl. města Prahy: Kanalizační část*. Praha : Česká republika, leden 2020. Dostupné z webu: <http://pvs.cz/pro-zakazniky/mestske-standardy/>.
12. **Jásek, J. a Almerová, J.** Historie kanalizace. *PVS.cz*. [Online] 2012. [Citace: 14. Listopad 2020.] <http://pvs.cz/historie/historie-kanalizace/>.
13. **Hrubý, T., a další.** *Havárie ÚČOV Praha způsobená nelegálním vypouštěním na stokové síti – zkušenosti a poznatky z řešení*. Praha 2016.
14. **Pražské vodovody a kanalizace a.s.** Praha 2020. Ing. Jan Hartig.
15. **Rýznarová, Ilona.** *Vyhodnocení pilotního provozu stanice pro komplexní havarijní monitoring přítoku odpadních vod na ÚČOV Praha*. Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze. Praha 2016. Diplomová práce.
16. **s::can Messtechnik GmbH**. Manuál: spektrometrická sonda V2. Vienna, 2011.
17. **HACH LANGE s.r.o.** Technický list pro multimetry HQD. 2010. Dostupné z webu: <https://cz.hach.com/hq40d-digital-multi-meter-kit-ph-gel-cond-electrode-std-1m/product-downloads?id=25651819386>.
18. **HACH LANGE s.r.o.** *Pracovní postup: LCI400 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)*. 2019. Dostupné z webu: <https://cz.hach.com/amonne-ionty-kyvetovy-test-47-130-mg-l-nh-n/product-downloads?id=25651613331>.
19. **HACH LANGE s.r.o.** *Pracovní postup: LCK302 amoniakální dusík*. 2019. Dostupné z webu: <https://cz.hach.com/amonne-ionty-kyvetovy-test-47-130-mg-l-nh-n/product-downloads?id=25651613331>.
20. **HACH LANGE s.r.o.** *Pracovní postup: LCK339 Dusičnany*. 2019. Dostupné z webu: <https://cz.hach.com/dusicnany-kyvetovy-test-0-23-13-5-mg-l-no-n/product-downloads?id=25651613336>.
21. **HACH LANGE s.r.o.** 4. vydání *Uživatelská příručka DR2800*. leden 2008. Dostupné z webu: <https://docplayer.cz/983612-Doc022-85-00720-dr-2800-uzivatelska-prirucka-leden-2008-vydani-4-hach-lange-2007-2008-vsechna-prava-vyhrazena-vytisteno-v-nemecku.html>.

22. **Unsworth, J.** *Residue analytical methods*. [Online] 2010. [Citace: 24. Listopad 2020.]

http://agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Detail.

23. **ISTRAN s.r.o.** *Manual: EcaMon SaFIA (Cr(VI)-Ni-Cd)*. Bratislava.

24. **ISTRAN s.r.o.** *Manual: EcaMon SaFIA (Hg-Cu-As)*. Bratislava.

25. **Seznam.cz a.s.** *Mapy.cz*. [Online] 2020. [Citace: 20. prosinec 2020.]

<https://mapy.cz/zakladni?x=14.4031781&y=50.1149431&z=15&l=0>.

7 Seznam obrázků

Obrázek 4.1- Spektrometrická sonda s::can (16)	30
Obrázek 4.2- Plovák se sondou ve stoce (14)	30
Obrázek 4.3- Mapa odběrových míst (1:E1-ZOO; 2:D1-PAPÍRENSKÁ) (14)	31
Obrázek 4.4- Řídící jednotka měrné stanice na profilu D1-PAPÍRENSKÁ-Q	32
Obrázek 4.5- Pohled kontrolní šachtou na sondu profil D1-PAPÍRENSKÁ-Q.....	33
Obrázek 4.6- Pohled kontrolní šachtou na sondu profil E2-ZOO-Q	34
Obrázek 4.7- Místo měření na profilu E2-Zoo.....	34
Obrázek 4.8- Multimetr Hach HQ40d multi. (17)	35
Obrázek 4.9- Kyvetové testy: dusičnanový dusík, chemická spotřeba kyslíku, amoniakální dusík (zleva ve zmíněném pořadí, dva pohledy, již s odebranými vzorky) .	36
Obrázek 4.10- Spektrofotometr DR2800	37

8 Seznam tabulek

Tabulka 3.1 - Orientační složení splaškových odpadních vod (vybrané parametry) (2) ..	10
Tabulka 3.2- Průměrné složení vod v ČR v letech 1995 a 2000 (výběr ukazatelů) (3)	12
Tabulka 3.3- Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách (5)	14
Tabulka 3.4- Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l (10).....	22
Tabulka 3.5- Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v procentech (10).....	22
Tabulka 3.6- Limity ukazatelů znečištění pro souhrnnou skupinu znečišťovatelů do jednotné a splaškové kanalizace (limity jsou uvedeny v mg/l, vyjma teploty a pH) (6) .	23
Tabulka 4.1- Naměřené CHSK 19.11.2020	39
Tabulka 4.2 - Naměřené CHSK 7.12.2020	40
Tabulka 4.3- Naměřené NL 19.11.2020.....	41
Tabulka 4.4- Naměřené NL 7.12.2020.....	42
Tabulka 4.5- Naměřené NO ₃ -N 19.11.2020	43
Tabulka 4.6- Naměřené NO ₃ -N 7.12.2020	44
Tabulka 4.7- Naměřené NH ₄ -N 19.11.2020	45
Tabulka 4.8- Naměřené NH ₄ -N 7.12.2020	46
Tabulka 4.9- Naměřené pH 19.11.2020	47
Tabulka 4.10- Naměřené pH 7.12.2020	47
Tabulka 4.11- Naměřené CHSK 26.11.2020	49
Tabulka 4.12- Naměřené CHSK 9.12.2020	50
Tabulka 4.13- Naměřené NL 26.11.2020.....	51
Tabulka 4.14- Naměřené NL 9.12.2020.....	52
Tabulka 4.15- Naměřené NO ₃ -N 26.11.2020	53
Tabulka 4.16- Naměřené NO ₃ -N 9.12.2020	54
Tabulka 4.17- Naměřené NH ₄ -N 26.11.2020	55
Tabulka 4.18- Naměřené NH ₄ -N 9.12.2020	56

9 Seznam grafů

Graf 4.1- Naměřené CHSK 19.11.2020	39
Graf 4.2- Naměřené CHSK 7.12.2020	40
Graf 4.3- Naměřené NL 19.11.2020	41
Graf 4.4- Naměřené NL 7.12.2020	42
Graf 4.5- Naměřené NO ₃ -N 19.11.2020.....	43
Graf 4.6- Naměřené NO ₃ -N 7.12.2020.....	44
Graf 4.7- Naměřené NH ₄ -N 19.11.2020.....	45
Graf 4.8- Naměřené NH ₄ -N 7.12.2020.....	46
Graf 4.9- Naměřené pH 19.11.2020.....	47
Graf 4.10- Naměřené pH 7.12.2020.....	48
Graf 4.11- Naměřené CHSK 26.11.2020	49
Graf 4.12- Naměřené CHSK 9.12.2020	50
Graf 4.13- Naměřené NL 26.11.2020	51
Graf 4.14- Naměřené NL 9.12.2020	52
Graf 4.15- Naměřené NO ₃ -N 26.11.2020.....	53
Graf 4.16- Naměřené NO ₃ -N 9.12.2020.....	54
Graf 4.17- Naměřené NH ₄ -N 26.11.2020.....	55
Graf 4.18- Naměřené NH ₄ -N 9.12.2020.....	56

10 Seznam příloh

Příloha 1- Měření D1-Papírenská 19.11.2020.....	66
Příloha 2- Nerozpuštěné látky 19.11.2020	66
Příloha 3- Měření E2-Zoo 26.11.2020	67
Příloha 4- Nerozpuštěné látky 26.11.2020	67
Příloha 5- Měření D1-Papírenská 7.12.2020.....	68
Příloha 6- Nerozpuštěné látky 7.12.2020	68
Příloha 7- Měření E2-Zoo 9.12.2020	69
Příloha 8- Nerozpuštěné látky 9.12.2020	69
Příloha 9- Stanovené koncentrace nerozpuštěných látek	70
Příloha 10- Průtok profil D1-PAPÍRENSKÁ-Q	71
Příloha 11- Průtok profil E2-ZOO-Q	71
Příloha 12- Schéma kmenových stok, odběrová místa (12).....	72

Příloha 1- Měření D1-Papírenská 19.11.2020

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas	7:52	8:07	8:22	8:37	8:52	9:07	9:22	9:37	9:52	10:07
pH [-]	8,36	8,35	8,41	8,31	8,3	8,39	8,47	8,41	8,18	8,25
vodivost [μS/cm]	1321	1256	1216	1264	1262	1207	1212	1206	1311	1271
NO ₃ -N [mg/l]	2,69	2,38	1,97	1,98	2,65	1,86	2,87	2,08	2,02	1,32
NH ₄ -N [mg/l]	55,3	59,9	63,1	62,8	65,0	64,5	64,4	61,0	60,4	61,2
CHSK [mg/l]	372,0	466,0	437,0	713,0	898,0	490,0	635,0	632,0	998,0	700,0

Příloha 2- Nerozpuštěné látky 19.11.2020

Číslo vzorku	m papírku [g]	objem vz. [ml]	m pap.+v.vz. [g]	NL [g/ml]	NL [mg/l]	NL [mg/l]
1-1	0,1081	36	0,1178	0,000269	269,4	267,7
1-2	0,1052	50	0,1185	0,000266	266,0	
2-1	0,1065	58	0,1219	0,000266	265,5	272,4
2-2	0,1084	53	0,1232	0,000279	279,2	
3-1	0,1065	44	0,1156	0,000207	206,8	415,7
3-2	0,1061	51	0,1273	0,000416	415,7	
4-1	0,1058	50	0,3230	0,004344	4344,0	1715,0
4-2	0,1062	40	0,1748	0,001715	1715,0	
5-1	0,1080	29	0,1323	0,000838	837,9	835,6
5-2	0,1054	30	0,1304	0,000833	833,3	
6-1	0,1078	30	0,1177	0,00033	330,0	361,7
6-2	0,1081	30	0,1199	0,000393	393,3	
7-1	0,1074	29	0,1229	0,000534	534,5	508,9
7-2	0,1092	30	0,1237	0,000483	483,3	
8-1	0,1077	30	0,1209	0,000440	440,0	440,0
8-2	0,1085	32	0,1341	0,000800	800,0	
9-1	0,1058	33	0,1236	0,000539	539,4	493,8
9-2	0,1078	29	0,1208	0,000448	448,3	
10-1	0,1058	29	0,1176	0,000407	406,9	416,8
10-2	0,1073	30	0,1201	0,000427	426,7	

Příloha 3- Měření E2-Zoo 26.11.2020

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
čas	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15
pH [-]	7,53	7,7	7,83	7,95	8,41	8,41	8,46	8,24	8,09	8,14
vodivost [μS/cm]	1418	1389	1390	1408	1424	1855	1738	1746	1940	1493
NO ₃ -N [mg/l]	1,34	1,94	1,36	1,13	1,51	0,885	1,73	1,24	1,6	0,903
NH ₄ -N [mg/l]	54,0	56,0	59,2	62,4	54,9	54,1	57,0	59,1	59,5	63,9
CHSK [mg/l]	372,0	420,0	387,0	476,0	394,0	369,0	477,0	490,0	603,0	667,0

Příloha 4- Nerozpuštěné látky 26.11.2020

Číslo vzorku	m papírku [g]	objem vz. [ml]	m pap.+v.vz. [g]	NL [g/ml]	NL [mg/l]	NL [mg/l]
1-1	0,1059	55	0,1103	0,00008	80,0	99,8
1-2	0,1073	51	0,1134	0,00012	119,6	
2-1	0,1059	50	0,1159	0,00020	200,0	119,6
2-2	0,1083	51	0,1165	0,000161	160,8	
3-1	0,1072	50	0,1147	0,00015	150,0	158,0
3-2	0,1084	53	0,1172	0,000166	166,0	
4-1	0,1065	50	0,1143	0,000156	156,0	159,0
4-2	0,1079	50	0,1160	0,000162	162,0	
5-1	0,1084	41	0,1158	0,00018	180,5	176,5
5-2	0,1081	40	0,1150	0,000173	172,5	
6-1	0,1095	51	0,1195	0,000196	196,1	210,8
6-2	0,1073	51	0,1188	0,000225	225,5	
7-1	0,1078	50	0,1171	0,000186	186,0	203,8
7-2	0,1062	51	0,1175	0,000222	221,6	
8-1	0,1086	50	0,1203	0,000234	234,0	236,6
8-2	0,1066	51	0,1188	0,000239	239,2	
9-1	0,1083	51	0,1224	0,000276	276,5	249,0
9-2	0,1074	51	0,1187	0,000222	221,6	
10-1	0,1078	41	0,1204	0,000307	307,3	217,5
10-2	0,1115	40	0,1202	0,000218	217,5	

Příloha 5- Měření D1-Papírenská 7.12.2020

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
čas	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00
pH [-]	8,28	8,38	8,43	8,42	8,34	8,38	8,42	8,46	8,22	8,11
vodivost [μS/cm]	1159	1177	1171	1209	1223	1197	1185	1175	1544	1278
NO ₃ -N [mg/l]	3,06	2,53	2,68	2,84	2,95	2,24	2,09	2,35	1,79	1,58
NH ₄ -N [mg/l]	48,0	53,7	53,6	57,8	57,0	57,6	57,9	58,8	64,5	57,4
CHSK [mg/l]	383,0	517,0	541,0	508,0	746,0	534,0	608,0	616,0	1069,0	978,0

Příloha 6- Nerozpuštěné látky 7.12.2020

číslo vzorku	m papírku [g]	objem vz. [ml]	m pap.+v.vz. [g]	NL [g/ml]	NL [mg/l]	NL [mg/l]
1-1	0,1068	40	0,1164	0,00024	240,0	250,5
1-2	0,1069	41	0,1176	0,000261	261,0	
2-1	0,1077	38	0,1200	0,000324	323,7	315,4
2-2	0,1070	42	0,1199	0,000307	307,1	
3-1	0,1079	48	0,1175	0,0002	200,0	200,0
3-2	0,1083	44	0,1148	0,000148	147,7	
4-1	0,1092	42	0,1210	0,000281	281,0	281,0
4-2	0,1089	40	0,1280	0,000478	477,5	
5-1	0,1081	44	0,1262	0,000411	411,4	398,0
5-2	0,1070	39	0,1220	0,000385	384,6	
6-1	0,1072	39	0,1188	0,000297	297,4	306,8
6-2	0,1076	37	0,1193	0,000316	316,2	
7-1	0,1089	42	0,1219	0,00031	309,5	299,0
7-2	0,1089	26	0,1164	0,000288	288,5	
8-1	0,1070	31	0,1198	0,000413	412,9	375,0
8-2	0,1069	35	0,1187	0,000337	337,1	
9-1	0,1067	30	0,1257	0,000633	633,3	438,7
9-2	0,1071	31	0,1207	0,000439	438,7	
10-1	0,1096	33	0,1211	0,000348	348,5	375,8
10-2	0,1084	32	0,1213	0,000403	403,1	

Příloha 7- Měření E2-Zoo 9.12.2020

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
čas	7:55	8:10	8:25	8:40	8:55	9:10	9:25	9:40	9:55	10:10
pH [-]	7,94	7,99	7,98	7,86	7,97	7,94	8	8,19	7,83	8,3
vodivost [μS/cm]	1331	1350	1404	1425	1524	1720	2330	2420	1613	1682
NO ₃ -N [mg/l]	1,14	1,28	1,63	1,17	1,15	1,46	1,49	1,21	1,46	1,19
NH ₄ -N [mg/l]	57,5	53,0	52,7	54,2	55,0	54,6	55,2	60,4	61,0	60,6
CHSK [mg/l]	328	360	533	408	456	591	480	601	675	602

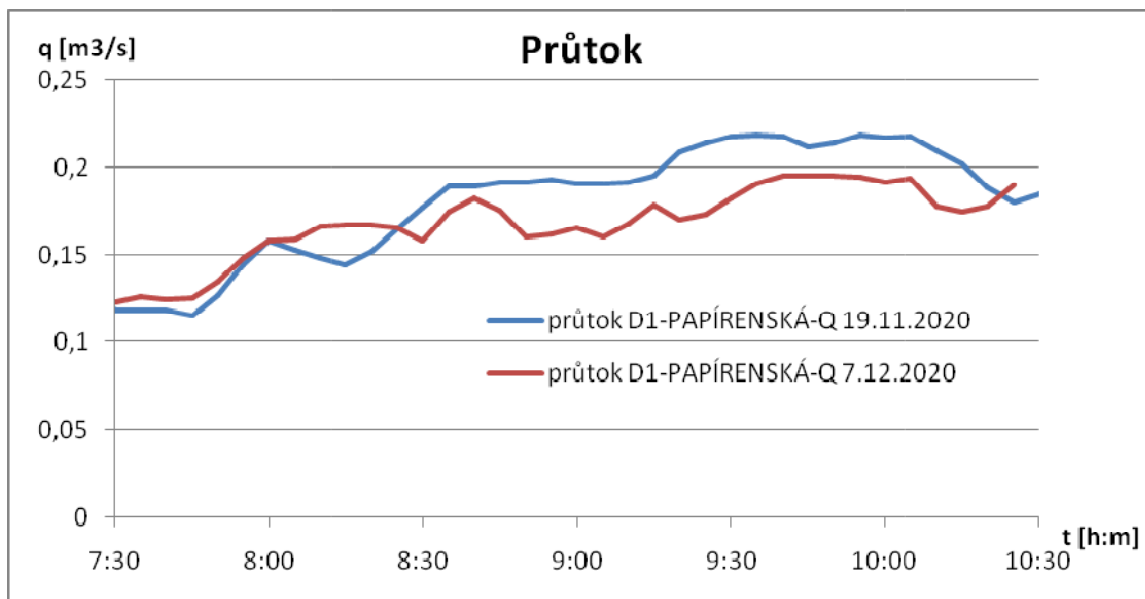
Příloha 8- Nerozpuštěné látky 9.12.2020

Číslo vzorku	m papírku [g]	objem vz. [ml]	m pap.+v.vz. [g]	NL [g/ml]	NL [mg/l]	NL [mg/l]
1-1	0,1062	41	0,1126	0,000156	156,1	150,3
1-2	0,1068	45	0,1133	0,000144	144,4	
2-1	0,1069	39	0,1117	0,000123	123,1	110,2
2-2	0,1077	37	0,1113	9,73E-05	97,3	
3-1	0,1094	47	0,1194	0,000213	212,8	212,8
3-2	0,1100	42	0,1166	0,000157	157,1	
4-1	0,1074	43	0,1136	0,000144	144,2	147,6
4-2	0,1079	45	0,1147	0,000151	151,1	
5-1	0,1078	43	0,1155	0,000179	179,1	177,3
5-2	0,1104	45	0,1183	0,000176	175,6	
6-1	0,1102	39	0,1206	0,000267	266,7	267,1
6-2	0,1082	40	0,1189	0,000268	267,5	
7-1	0,1070	42	0,1163	0,000221	221,4	218,6
7-2	0,1056	51	0,1166	0,000216	215,7	
8-1	0,1056	37	0,1181	0,000338	337,8	318,9
8-2	0,1063	34	0,1165	0,0003	300,0	
9-1	0,1068	45	0,1250	0,000404	404,4	396,4
9-2	0,1058	43	0,1225	0,000388	388,4	
10-1	0,1063	31	0,1245	0,000587	587,1	393,3
10-2	0,1061	30	0,1179	0,000393	393,3	

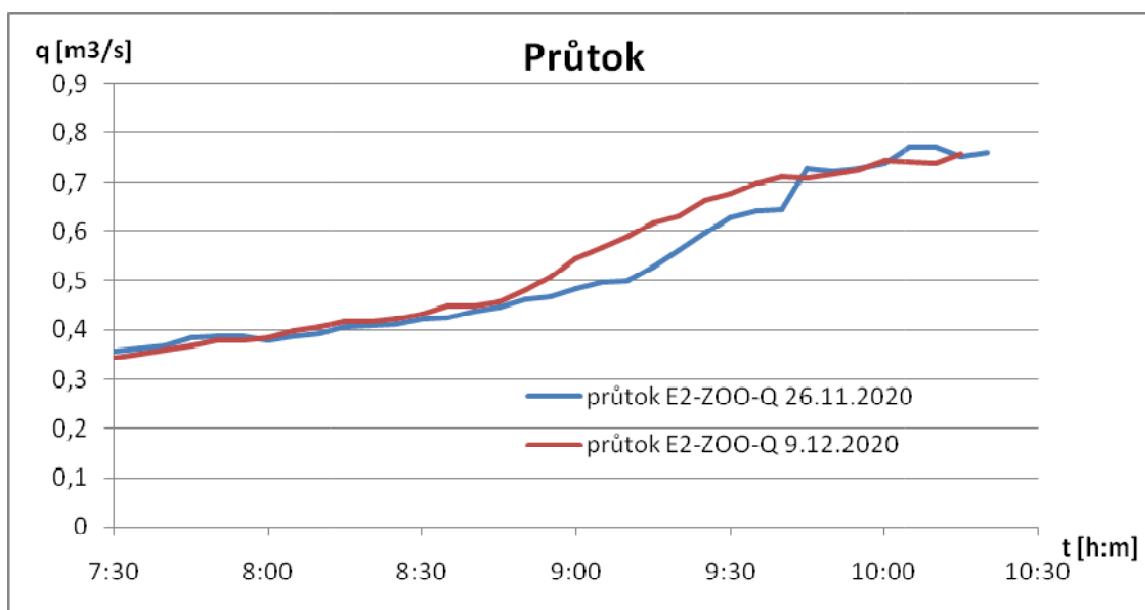
Příloha 9- Stanovené koncentrace nerozpuštěných látek

číslo vzorku	19.11.		26.11.		7.12.		9.12.	
	NL [mg/l]	RSD	NL [mg/l]	RSD	NL [mg/l]	RSD	NL [mg/l]	RSD
1-1	269,4		80,0		240,0		156,1	
1-2	266,0	1%	119,6	28%	261,0	6%	144,4	5%
2-1	265,5		200,0		323,7		123,1	
2-2	279,2	4%	160,8	15%	307,1	4%	97,3	17%
3-1	206,8		150,0		200,0		212,8	
3-2	415,7	47%	166,0	7%	147,7	21%	157,1	21%
4-1	4344,0		156,0		281,0		144,2	
4-2	1715,0	61%	162,0	3%	477,5	37%	151,1	3%
5-1	837,9		180,5		411,4		179,1	
5-2	833,3	0%	172,5	3%	384,6	5%	175,6	1%
6-1	330,0		196,1		297,4		266,7	
6-2	393,3	12%	225,5	10%	316,2	4%	267,5	0%
7-1	534,5		186,0		309,5		221,4	
7-2	483,3	7%	221,6	12%	288,5	5%	215,7	2%
8-1	440,0		234,0		412,9		337,8	
8-2	800,0	41%	239,2	2%	337,1	14%	300,0	8%
9-1	539,4		276,5		633,3		404,4	
9-2	448,3	13%	221,6	16%	438,7	26%	388,4	3%
10-1	406,9		307,3		348,5		587,1	
10-2	426,7	3%	217,5	24%	403,1	10%	393,3	28%
medián	433,3		191,0		320,0		214,2	

Příloha 10- Průtok profil D1-PAPÍRENSKÁ-Q



Příloha 11- Průtok profil E2-ZOO-Q



KMENOVÉ STOKY – schéma 2017

