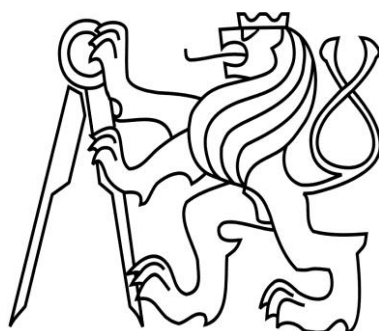


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**KATEDRA HYDRAULIKY A HYDROLOGIE**



**TERÉNNE TESTOVANIE KVALITATÍVNEJ**  
**SONDY PRE ANALÝZU ODPADOVÝCH VÔD**  
**V ČASE A PRIESTORE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

**Bc. Zuzana GABKOVÁ**

**Vedúci diplomovej práce:**

**Dr. Vojtěch Bareš**

**január 2018**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Gabková Jméno: Zuzana Osobní číslo: \_\_\_\_\_  
Zadávající katedra: Katedra hydrauliky a hydrologie  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: In-situ testing of waste-water quality probe for spatial-temporal mapping  
Název diplomové práce anglicky: Terénní testování kvalitativní sondy pro analýzu odpadních vod v čase a prostoru

#### Pokyny pro vypracování:

Práce se zabývá využitím nové experimentální sondy pro měření kvality odpadních vod v podélném profilu stokové sítě tzv. "Sewer Ball". V rámci práce se předpokládá, že studentka provede rešeršní analýzu kvality odpadních vod především s ohledem na transportní a transformační procesy ve stokové síti a vliv těchto procesů na pozorované kvalitativní parametry. Dále zpracuje metody monitoringu vybraných parametrů v porovnání s principy na kterých pracuje nová sonda.

V experimentální části se předpokládá, že se studentka zaměří na praktické testování sondy v laboratoři a terénu v pražské stokové síti, provede odpovídající testy, kde prosoudí stabilitu měření, reprodukovatelnost a schopnost sondy provádět měření v podélném profilu stoky. V analytické části se pokusí zhodnotit využití sondy i pro jiné provozní úlohy ve stokové síti.

#### Seznam doporučené literatury:

Huisman, J (2001). Transport and transformation processes in combined sewers, Disertace ETH Zurich  
Pitter, P. (2009). Hydrochemie, VŠCHT Praha  
Butler, D. (2000). Urban Drainage, E & FN Spon.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Vojtěch Bareš

Datum zadání diplomové práce: 12.10.2017

Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018

*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“.*

12.10.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracovala samostatne a že som  
uviedla všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynem o etické  
přípravě vysokoškolských prací.

V Prahe, 20. január 2018

.....

Bc. Zuzana Gabková



## **POĎAKOVANIE**

V prvom rade by som rada poďakovala vedúcemu mojej diplomovej práce Dr. Vojtěchovi Barešovi za cenné informácie, ktoré mi poskytol nielen formou obsiahlej literatúry ale predovšetkým osobnou konzultáciou k problematike a nejasnostiam týkajúcich sa mojej práce. Rada by som sa poďakovala aj Doc. Mgr. Janě Nábělkové, Ph.D. za poskytnutie školských pomôcok a priestorov pre vypracovanie práce a za poskytnuté rady v oblasti chémie.

V neposlednom rade ďakujem všetkým mojim kolegom z Pražských vodovodov a kanalizácií, a.s., predovšetkým Šimonovi Skalovi za jeho nenahraditeľnú pomoc pri terénnom testovaní a za poskytnuté informácie k oblasti testovania. Posledná vďaka patrí kolegovi Ing. Bc. Martinovi Srbovi, Ph.D. za zapožičanie ORP sondy pre experimentálne účely.

**ABSTRAKT**

Táto diplomová práca je založená na testovaní a výsledkoch merania novej kvalitatívnej sondy SQUID, ktorá popisuje vývoj štyroch kvalitatívnych parametrov v čase a priestore. Účelom testovania bolo zistiť stabilitu a presnosť merania, jej chovanie v stokovom systéme a v neposlednom rade praktické využitie pre účely detekcie prítokov testovaných úsekov. V úvode literárnej rešerše sa práca venuje monitoringu a meraniu na stokovom systéme a následné spracovanie dát vo všeobecnosti. Ďalej sa rešerš rozširuje o rozbor kvality odpadových vôd vzhľadom na transportné a transformačné procesy. V poslednej tretine teoretického výkladu je stručne popísaný senzor a práca s ním. V experimentálnej časti sú detailne riešené laboratórne aj terénne testovania vrátane výsledkov a komentárov. Záver práce zhodnocuje priebeh experimentov, ich náročnosť a interpretuje najpodstatnejšie výsledky, na ktoré viaže návrh dodatočných zmien v meraní.

**Kľúčové slová:** kvalita odpadovej vody, transformačné procesy, transportné procesy, kvalitatívna sonda SQUID

This diploma thesis is based on testing and results of measuring of new waste-water quality probe SQUID, which describes spatiotemporal development of four quality parameters. The main aim of testing was to determine stability and precision of measuring, its behavior in sewer system and, finally, practical use for detection of inflows to a testing section. Introduction of literary research dedicates to monitoring and measuring in sewer system and follow processing of dates in general. Second part of literary research analyzes waste-water quality in connection with transportation and transformation processes. Last part briefly describes probe and work with it. Experimental part contains laboratory and in-situ testing in detail including results and comments. Conclusion of this thesis dedicates process of experiments, difficulty of measuring and interprets the most important results. In second part are suggested changes in measuring.

**Keywords:** waste-water quality, transformation processes, transportation processes, quality probe SQUID



## Obsah

1	ÚVOD .....	8
2	LITERÁRNA REŠERŠ .....	10
2.1	Meranie na sokovej sieti .....	10
2.1.1	Účel merania na stokovej sieti.....	10
2.1.2	Metodický postup merania na stokovej sieti .....	11
2.1.2.1	Priestorové a časové aspekty.....	11
2.1.2.2	Merané veličiny a odozvy .....	12
2.1.2.3	Presnosť merania .....	13
2.1.2.4	Spracovanie dát .....	14
2.2	Kvalita odpadových vôd s ohľadom na transportné a transformačné procesy..	15
2.2.1.1	Zložky prostredia stokového systému.....	15
2.2.1.2	Faktory ovplyvňujúce pôsobenie medzi jednotlivými zložkami prostredia .....	16
2.2.1.3	Transportné procesy látok v stokovom systéme.....	16
2.2.1.4	Transformácia látok v stokovom systéme.....	17
2.3	Mapovanie transformačných procesov v stokovom systéme .....	17
2.3.1	Senzor SQUID a jeho súčasti.....	18
3	METÓDY A NÁSTROJE.....	21
3.1	Testované úseky .....	21
3.1.1	Úsek 1 – Veleslavín .....	21
3.1.2	Úsek 2 – Podviní .....	22
3.1.3	Úsek 3 – Podolské nábřeží .....	23
3.1.4	Úsek 4 – Stromovka.....	24
3.1.5	Úsek 5 – Eden.....	25
3.2	Použití přístroje na meranie kvality vybraných parametrov .....	26



---

3.2.1	Kalibrácia referenčných sond .....	26
3.2.2	Kalibrácia senzoru SQUID .....	27
4	VÝSLEDKY .....	34
4.1	Výsledky z laboratórneho merania .....	34
4.1.1	Odozva senzoru SQUID na pohyb meranej kvapaliny .....	34
4.1.2	Závislosť meraných parametrov na teplote v štandardných roztokoch .....	35
4.1.3	Vývoj kvality vody vo vzorke odpadovej vody .....	40
4.2	Výsledky z terénneho merania .....	45
4.2.1	Výsledky z terénneho merania v úseku 1 – Veleslavín .....	46
4.2.2	Výsledky z terénneho merania v úseku 2 – Podviní.....	48
4.2.3	Výsledky z terénneho merania v úseku 3 – Podolské nábřeží .....	51
4.2.4	Výsledky z terénneho merania v úseku 4 – Stromovka.....	54
4.2.5	Výsledky z terénneho merania v úseku 5 – Eden.....	57
5	DISKUZIA .....	61
6	ZÁVER .....	63
7	POUŽITÁ LITERATÚRA.....	64
8	Zoznam obrázkov .....	66
9	Zoznam tabuliek .....	69
10	Zoznam príloh .....	69



# 1 ÚVOD

Aby stoková sieť optimálne plnila svoju funkciu, ktorou je odvádzaniu odpadových vôd, musí byť podrobená meraniu a monitoringu. S ohľadom na skutočnosť, že sa v prevádzke mestskej vodohospodárskej infraštruktúry kladie dôraz na monitorovanie kvality a kvantity predovšetkým na čistiarnach odpadových vôd, je veľká snaha venovať väčší priestor na riešenie problematiky v stokovej sieti. Monitoring a meranie na sokovej sieti sa predovšetkým sústreďujú na kvantitatívnu stránku, pričom naopak, kvalita odpadovej vody sa týka predovšetkým akútnych meraní. Krátkodobé a dlhodobé merné kampane sústreďujúce sa na prietokové charakteristiky, prípadne meranie hladiny spoločne s neodlúčiteľným monitoringom intenzity zrážok poskytujú podklady k efektívnej prevádzke siete a riadenie v reálnom čase, správne fungovaniu, k posúdeniu danej problematiky, ako podklad pre kalibráciu a verifikáciu v matematickom modelovaní a v neposlednom rade k návrhu riešenia určitého systému. Množstvo a povaha znečistenia odpadových vôd je odrazom charakteru odôvodňovaného územia. Splašková odpadná voda, ako jedna z hlavných zložiek mestskej odpadnej vody zložením odpovedá znečisteniu moči a fekáliám. Tie sú tvorené z 90 % organickými látkami, pričom na zvyšných 10% pripadajú látky anorganické. Vývoj kvality odpadnej vody v stokovej sieti je možné sledovať v čase. V menej osídlených častiach územia sú významné práve denné špičky kedy množstvo splaškovej vody výrazne stúpne a je možné pozorovať kvalitu a kvantitu v závislosti na čase. Naopak charakter znečistenia počas nočných hodín takmer odpovedá kvalite balastných vôd, ktoré sa do stokovej siete dostali predovšetkým v dôsledku jej netesností a majú charakter podzemnej vody. Priemyselné mestá alebo územia s priemyselnou výrobou prispievajú produkciou odpadnej vody k úplne inému charakteru odvádzaných vôd. Na rozdiel od splaškových vôd je charakter tých priemyselných veľmi rozmanitý a je odrazom priemyselnej aktivity na danom povodí. Ide predovšetkým o znečistenie prevažne organické a prevažne anorganické, pričom záleží na type závodu. Pod priemyslové odpadové vody spadajú aj odpadové vody z poľnohospodárstva produkované prevažne silážovaním a močovkou.

Aby sme dokázali správne posúdiť systém ako celok, je nevyhnutné brať ohľad na transportné a transformačné procesy v stokovej sieti a vplyv týchto procesov na kvalitatívne parametre, ktoré sú predmetom tejto práce. Deje prebiehajúce v stokovom





systeme sú funkciou nielen polohy ale aj času. Preto je dôležité správne popísať ako sa menia podmienky a na základe akých faktorov a vzájomných pôsobení. Ku zmenám môže dochádzať z globálneho hľadiska denne, týždenne alebo v závislosti na klimatických podmienkach. Aby sme mohli vyjadriť interakcie v priestore v nekonečne malom úseku prierezu stokovej siete, popíšeme ho štyrmi základnými fázami. Atmosféra, odpadová voda, biofilm a sediment. Vzájomné pôsobenie medzi týmito fázami v závislosti na dôležitých faktoroch určuje práve kvalitu, ktorá je predmetom nášho skúmania. Bližšie budú tieto procesy popísané v kapitole 2.2 .

Táto práca sa sústreďuje na získanie a vyhodnotenie vybraných kvalitatívnych parametrov pomocou experimentálnej sondy, ktorá je vo fáze testovania. Podstatou monitoringu, či už laboratórneho alebo terénneho, je posúdenie stability merania, vyhodnoteniam a prípadného využitia sondy v budúcich prevádzkových a iných činnostiach na stokovej sieti. Hlavnou myšlienkou tohoto merania z pohľadu využitia sondy v budúcnosti je možná detekcia prítoku balastných vôd do stokovej siete za minimálnych prietokov alebo predpoklad nevidovaných zaústení do kanalizačnej siete. Táto sonda bude mať v neposlednom rade jednoznačne veľký význam pri popise vývoja kvality odpadovej vody v čase a priestore. Meranie bude realizované na úsekoch vybraných kmeňových zberačoch pražskej stokovej siete za rôznych časových a priestorových podmienok a v vo vodohospodárskom laboratóriu na fakulte stavebnej ČVUT. Pre kalibráciu skúmanej sondy a posúdenie presnosti merania budú použité externé sondy v zložení pH sondy, sonda pre meranie oxidačno-redukčného potenciálu, teplotná sonda a sonda pre meranie vodivosti. Výsledky experimentu budú použité k celkovému posudku využitia experimentálnej sondy v praxi.



## 2 LITERÁRNA REŠERŠ

### 2.1 Meranie na sokovej sieti

Meranie na stokovej sieti je neodmysliteľnou súčasťou prevádzkovania stokovej siete a jej údržby v koncepte s celkovou infraštruktúrou. Ide o nevyhnutnú časť mestského odvodnenia a preto spadá do tejto oblasti veľká časť jej nákladov. Táto kapitola sa bude venovať niekoľkým aspektom v oblasti meraní. Predovšetkým sa zameriam na účel a postup pri meraní na stokovej sieti. Stručne zhrniem druhy meraní v súvislosti s priestorovými a časovými podmienkami. V závere kapitoly upozorním na presnosť merania a spracovanie dát.

#### 2.1.1 Účel merania na stokovej sieti

Predpokladom pre správnosť a fungovanie celkového merania, monitoringu a vyhodnotenia dát je nutnosť odborne porozumieť celkovej koncepcii, ktorá pod sebou zahŕňa viacero odvetví od mestského odvodnenia, cez hydrauliku a hydrologiu až po znalosť meracej techniky a softvéru pre spracovanie dát.

Aby sme dokázali popísať nutnosť a zámer merania, rozdeľujeme ho na štyri základné účely. Prvým účelom je nevyhnutné dlhodobé pozorovanie stavu a tendencií nazývané monitoring. Pomocou monitoringu dokážeme spraviť rozbor stávajúceho stavu a tým pádom posúdiť funkciu novo vybudovaných objektoch na pôvodnom systéme. Pre príklad použijem navýšenie hrany v dažďovo oddeľovači. Pred navýšením nevyhovoval na základe výšky prepadovej hrany riediaci pomer. Pomocou hladinomeru vo výpusti a prietokomeru na prítoku sme zistili prietokové charakteristiky a tým pádom aj potrebné navýšenie prepadovej hrany aby bola splnená funkcia v rámci legislatívy.

Ďalšou a neodmysliteľnou súčasťou dlhodobého monitoringu je plánovanie a dimenzovanie. Aby sme boli schopní správne navrhnuť rekonštrukciu prípadne nový objekt na stokovej sieti, sú nutné podklady niekoľkoročného sledovania dažďov a prietokových charakteristík predmetného povodia. V prípade, kedy sú tieto podklady k dispozícii, je nutné krátkodobé meranie, ktoré nám poskytne dáta pre kalibráciu a verifikáciu simulačného modelu. S týmto výstupom sa dá predpokladať chovanie systému. [1]



Třetím a nemenej důležitým účelem je kalibrace a verifikace parametrů simulačních modelů, které se používají pro výzkumné účely, kdy je nutné, aby byl popis procesů probíhajících v stokovém systému konkrétnější. Následně se tyto výsledky interpretují pomocí fyzikálních zákonů.

Aby systém odvodnění dokázal správně fungovat na základě jeho aktuálního řízení, je nutné aby sme měli k dispozici podklady k jednotlivým krokům. Sme schopný reagovat na podněty v případě kdy sú nám namerané dáta k dispozícií ihned. Pre tento prípad volíme techniku ktorá meria kontinuálne v čase a automaticky odosiela namerané hodnoty. Tento prípad je najvhodnejšie interpretovať na stále merné profily na kmeňových stokách, kedy sú namerané hodnoty odosielané každých 5 minút na dispečing. Ďalším príkladom môže byť riadenie biologického stupňa na ČOV, kedy je a základe nameraných koncentrácií dusíku a fosforu v nádrži optimalizovaný výkon dýchadiel. [1]

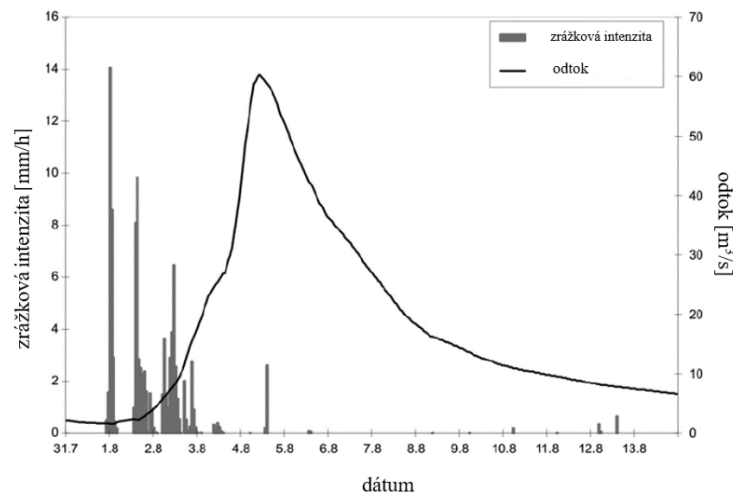
## 2.1.2 Metodický postup merania na stokovej sieti

Aby sme s najlepším výsledkom dosiahli cieľ merania, je nutné efektívne zvolit všetky nároky a nutnosti. Dôležitým je voľba techniky vzhľadom k druhu meranej vody a jej umiestnenie v naviazanosti na čas a priestor. Podstatou informáciou je požadovaná presnosť. Ďalším dôležitým aspektom je voľba časového kroku, rozsahu merania ale aj celková dĺžka obdobia. Je nutné vopred vedieť, či je potrebné mať dáta k dispozícií priebežne alebo až po skončení mernej kampane. Ako bolo naznačené na predchádzajúcej strane, investície na meranie zaberajú veľkú časť rozpočtu v mestskom odvodnení. Náklady sa pohybujú v rozmedzí od desiatok tisíc až po státisíce korún, pričom záleží na mieste merania, požitej technike a celkovému spracovaniu dát. [1]

### 2.1.2.1 Priestorové a časové aspekty

Aby sme dokázali dosiahnuť čo najpriaznivejšie výsledky merania, je dôležité ho efektívne naplánovať spoločne s ohľadom na organizačnú a finančnú stránku. Priestorová dynamika meraných veličín je hlavným vodítkom pre voľbu umiestnenia prístroja, pričom je nutné venovať pozornosť aj technickým podmienkam v mieste inštalácie. Voľba počtu merných profilov na stokovej sieti je daná bilanciou prítoku a charakteristickým znečistením odpadnej vody. Druhým dôležitým hľadiskom

je bilancia medzi zrážkovou výškou a prietokovými charakteristikami v systéme. Preto je nutné správne popísať priestorovú variabilitu zrážok.



Obrázok 1: Hydrogram zrážkovej intenzity a povrchového odtoku [13]

Počnosť meraní je závislá na potrebe presnosti a spoľahlivosti s ohľadom na možné antropogénne alebo prírodné súvislosti. Odporúčenie pre dĺžku časového kroku pri meraní zrážok je 1 minúta, kedy sa odhaduje chyba synchronizácie dažďomerov menej ako 30 sekúnd. Časový krok merania parametrov v stokovej sieti je daný výskytom zrážok. V bezdaždivom období postačí časový krok 30 minút, pričom za dažďa je nutné rozlíšenie 1 minúty. Časové intervaly merania sa odhadujú na základe predikcie, že dĺžka časového kroku má byť dvakrát menšia ako je interval, kedy dochádza k výraznej zmene meranej veličiny. Tému priestorovo-časových súvislostí pri meraní sa budem bližšie venovať v ďalšej podkapitole.

### 2.1.2.2 Merané veličiny a odozvy

Najčastejšie sa v meraní v stokovom systéme stretávam s veličinami vyjadrujúcimi množstvo vody ako napríklad rýchlosť prúdenia, prietok, výška hladiny alebo intenzita zrážok. V tejto práci sa bude klásť dôraz na fyzikálne a chemické veličiny charakterizujúce kvalitu vody ako sú teplota, vodivosť, pH, oxidačno-redukčný potenciál alebo obsah nerozpustených látok. Ďalej sa pri meraní na stokovej sieti stretávame s biologickými veličinami ako sú respirácia mikroorganizmov, počet jedincov rovnakého druhu atď.

Meranie začína od zdroja informácií, v našom prípade v odpadovej vode. Pre transformáciu meranej veličiny na elektrickú sa najčastejšie používa senzor, ktorý

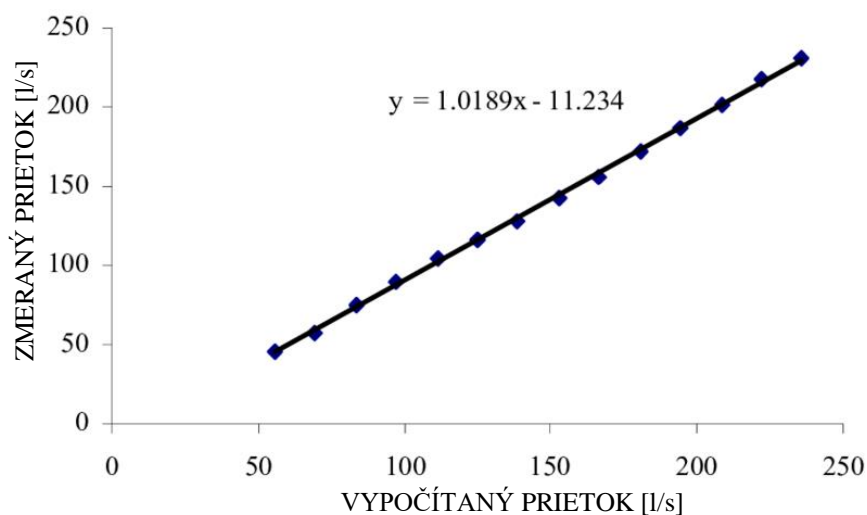


je v priamom styku s vodou alebo s prostredím, v ktorom meria. Sensory sú závislé na externom zdroji elektrickej energie pretože fungujú na princípe transformácie elektrickej veličiny na napätie alebo prúd pomocou amplitúdy, kmitočtu alebo fáze. Pri nutnosti zosilnenia elektrického signálu je nutné dbať na dostatočný odstup signálu od negatívneho vplyvu elektromagnetické poľa, zemných smyčiek a podobne. Pre spracovanie meriaceho signálu na analógový výstup je najjednoduchšie v prípade, kedy sa signál zobrazí priamo v prístroji alebo zapisovači. V druhom, komplikovanejšom, prípade sa zmerané hodnoty prenášajú do nadradeného počítača, ktorý dáta ďalej spracováva, najčastejšie digitalizuje pomocou analógovo - číslicovom modulu umiestnenom v počítači. V prípade, kedy je vzdialenosť medzi senzorm a počítačom príliš dlhá, napríklad v prípadoch in-situ, je signál po spracovaní v analógovo – číslicovom prevodníku prenášaný pomocou modemu a telefónnej linky prípadne iných telekomunikačných sietí do nadradeného počítača. Voľba spôsobu prenosu závisí na vzdialenosti, počtu a charakteru dát a v neposednom rade bezpečnosťou ich prenosu. V poslednom prípade ide o smart senzory, ktoré majú číslicové pedspracovanie signálu priamo v sebe a následne sa tieto údaje prenášajú skrz štandardizovanú priemyselnú zbernicu do riadiaceho počítača. [1]

### 2.1.2.3 Presnosť merania

Pri každom meraní dochádza k neistotám spôsobenými rôznymi faktormi. Aby sme dokázali výsledky merania upresniť, je nutné poznať všetky tieto podstatné faktory. Okrem neistôt spôsobenými vlastným prístrojom, teda jeho inštaláciou a začlenením do systému, berieme na zreteľ aj vplyv rušivých veličín a charakter prostredia. Na meranie zásadne pôsobí tlak, teplota, vlhkosť, elektromagnetické pole a iné. V prípade inštalácie tlakového senzoru je nutnosť dbať na zmeny meraných veličín spôsobených práve vzdutím vody. Ďalšími rušivými signálmi sú už spomínané zemné smyčky a iné rušivé signály. V určitých typoch prístrojoch sú súčasťou návodu k použitiu aj priamo určené neistoty, prípadne vzťahy pre ich určenie. Chyba merania je daná rozsahom prostredia v ktorom je prístroj nainštalovaný. Ide o percentuálne vyhodnotenie závislé na rozsahu (čím väčší rozsah merania, tým väčšia chyba). Aby sme čo najviac obmedzili chyby pri meraní je nevyhnutné prístroj správne nastaviť, pravidelne kalibrovat' a udržiavať. Kalibráciou je myslené zhotovenie kalibračnej krivky, ktorá vyjadruje vzťah medzi vstupným a výstupným signálom a slúži k oprave výstupných hodnôt pri ich spracovaní z predchádzajúceho a nasledujúceho obdobia. Krivky sa získavajú rôznym

spôsobom v závislosti na meranej veličine. Pokiaľ ide o fyzikálnu veličinu ako je výška hladiny, kalibruje sa priamo na mieste senzoru, pričom sa porovnáva skutočná hodnota zmeraná fyzicky na mieste a výstupná hodnota z prístroja. Pri chemických veličinách ide o porovnanie hodnôt nameraných v tzv. kalibračnom roztoku, ktorý má presnú hodnotu parametru a hodnoty zmeranej senzom. Kalibračná krivka je závislá na charaktere prostredia akým je tlak, teplota, znečistenie a podobne. Aby sme neistoty merania prebiehajúcich v mestskom odvodnení vyjadrili kompletne, je nutné okrajovo spomenúť aj neistoty spojené s reprezentatívnosťou merania. Sú nimi napríklad heterogenita merného profilu, rýchlo sa meniace podmienky v tomto profile spojené s koncentraciami látok a ich tokom. [1]



Obrázok 2: Kalibračná krivka [19]

#### 2.1.2.4 Spracovanie dát

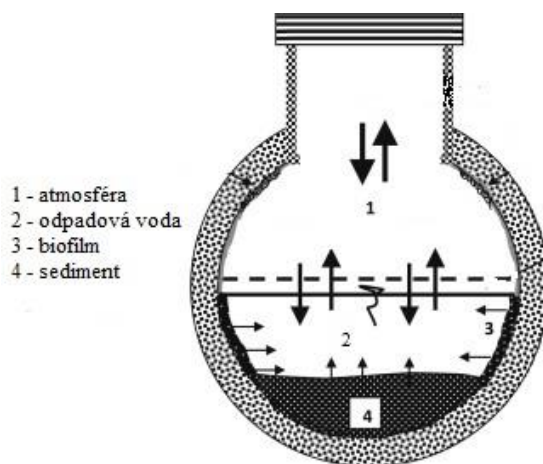
Účelom spracovania dát je odstránenie chýb vzniknutých pri meraní, teda zo surových dát získať sekundárne dáta, ktoré budú podkladom pre príslušný účel. Spracovanie prebieha v jednotlivých krokoch kedy prvý krokom je dôsledná kontrola správnosti kalibrácie, výpadku prístroja, prípadne prenosu dát. Nasleduje odstránenie dát vylúčené prvým krokom a nahradenie týchto dát vierohodnými hodnotami. Je veľmi dôležitá brať ohľad na celkový koncept odvodnenia, teda na súvislosti napríklad medzi zrážkovým úhrnom a výškou prepadu v dažďovom oddeľovači a iné. Ďalšie kroky sú pri spracovaní individuálne s ohľadom na účel merania.

## 2.2 Kvalita odpadových vôd s ohľadom na transportné a transformačné procesy

Porozumieť procesom, ktoré prebiehajú v stokovom systéme a majú vplyv na zloženie odpadovej vody je náročné. Skúmať tento systém ako biologický, chemický a fyzikálny reaktor priamo v teréne, kde je celý systém pomerne rozsiahly a zároveň miestami nedostupný je takmer nemožné. Naopak, v laboratórnych podmienkach je problém nasimulovať podmienky reálneho systému v súvislosti s okrajovými podmienkami akými sú zloženie odpadovej vody, biofilm alebo plynná zložka. V takomto reálnom systéme sa okrem spomínaných troch zložiek objavuje aj štvrtá zložka – sediment. Medzi týmito zložkami prebiehajú interakcie, od ktorých sa odvíja kvalita prostredia a sú zásadne ovplyvňované rôznymi faktormi.

### 2.2.1.1 Zložky prostredia stokového systému

Jednotlivé zložky prostredia sa vyznačujú vlastnosťami, ktoré sú podkladom pre vývoj kvality odpadovej vody. Plynná zložka alebo tzv. stoková atmosféra je významná z hľadiska aerácie odpadovej vody a tým prispieva k procesom v nej prebiehajúcich a v bezdaždivom období je to najväčší subsystem. Odpadová voda samotná je zdrojom znečistenia a aktívnej biomasy, ktorá sa sem dostáva fekáliami a zo stien stok. Biofilm, ako tretia zložka, je významný z hľadiska ochrany a udržiavania prostredia. Ide o tenkú vrstvu mikroorganizmov rôzneho druhu na vnútornej stene systému, ktorá okrem mechanických zmien odoberá živiny zo substrátu, ktorý ju obteká. Poslednom a v našom prípade najmenej dôležitou zložkou je sediment. Ide o nános organických a anorganických látok na dne stoky spôsobený zníženými rýchlosťami. [4]



Obrázok 3 : Zložky prostredia stokového systému [16]



### 2.2.1.2 Faktory ovplyvňujúce pôsobenie medzi jednotlivými zložkami prostredia

Interakcie medzi jednotlivými zložkami sú ovplyvňované faktormi ako sú fyzikálne vlastnosti typu rozmery, sklon alebo hydraulická drsnosť. Ďalej sú ovplyvňované hydraulickými podmienkami ako sú prietok splaškových vôd, množstvo balastných vôd alebo prietokové množstvá dažďového odtoku. Podmienky prostredia sú ďalším faktorom ovplyvňujúcim interakcie a tým je myslená teplota, okrajové podmienky, tlakové podmienky a podobne. Podstatným faktorom je zloženie odpadovej vody v zmysle biologickej odbúrateľnosti znečistenia alebo množstvo a frakcia nerozpustených látok. Nemenej dôležitými faktormi sú biologické, fyzikálne a chemické procesy, ktoré majú veľký vplyv na transformačné a výmenné procesy. [4]

### 2.2.1.3 Transportné procesy látok v stokovom systéme

Pohyb látok v stokovom systéme je vyjadrovaný matematickými modelmi, ktoré sú záložné na bilancii látky vo vybranom úseku. Ide o kombináciu rovníc vyjadrujúcich pohyb látky v odpadnej vode (advekčno – disperzná rovnica) a rovnica Saint – Venantová popisujúca pohyb odpadovej vody. Problém nastáva pri suspendovaných a sedimentovateľných látkach, kde je nutné zahrnúť množstvo sedimentu. Celkovo v systéme prebiehajú následné transportné procesy, ktoré priamo vplývajú na určitý rozsah frakcie:

- Hydrodynamika – spôsobuje pohyb vody v stoke
- Miešanie – ovplyvňuje všetky frakcie nerozpustených látok
- Advekcia - disperzia – platí pre suspendované a rozpustené látky o frakcii  $<0,63 \mu\text{m}$
- Transformácia – u biologicky rozložiteľných frakciách
- Sedimentácia a resuspendácia – postihuje suspendované a sedimentovateľné látky o frakcii  $0,63 \mu\text{m}$  až  $100 \mu\text{m}$
- Transport sedimentov ( $> 100 \mu\text{m}$ )

Ďalej prebiehajú v kanalizácií transporty látok medzi odpadnou vodou a biofilmom molekulárnou difúziou. V stokovej atmosfére prebieha výmena plynov s odpadnou vodou skrz vodnú hladinu.





#### 2.2.1.4 Transformácia látok v stokovom systéme

Najväčší vplyv na transformáciu látok v odpadovej vode má obsah rozpusteného kyslíku, teda hodnota oxidačno - redukčného potenciálu. Jeho obsah závisí predovšetkým na typu stoky, v ktorej odpadová voda prúdi.

V prípade gravitačných a tlakových prevzdušňovaných stok je kyslík v systéme prítomný a podmienky sú teda aerobné. V tomto prípade dochádza k rozmnoženiu heterotrofnej biomasy vo vode aj v biofilme na stenách stoky a tým k mikrobiálnym transformáciám odpadovej vody. Dochádza k spotrebe organického uhlíku a zníženiu ľahko biologicky odbúrateľného substrátu a vzniku biomasy, čo je veľmi priaznivé pre následné čistenie na čistiarni. V takýchto podmienkach je nutné kyslík dodávať skrz vodnú hladinu.

Anoxické podmienky nastávajú v tlakových stokách, kde je zvýšený obsah dusičnanov ale v systéme chýba kyslík. Obsah dusičnanov je v bežnom prípade pomerne malý, takže k týmto podmienkam dochádza len ojedinele.

Posledným prípadom sú gravitačné stoky s veľmi malým sklonom alebo pri úplnom naplnení, kedy nastávajú anaeróbne podmienky. Vtedy je obsah dusičnanov a kyslíku minimálny a dochádza k rôznym procesom. Tie prebiehajú pomerne pomaly a spotreba ľahko odbúrateľného substrátu mikroorganizmami je pomalšia ako procesy, ktoré v takýchto podmienkach prebiehajú. Toto môže byť opäť priaznivé pre biologický stupeň na čistiarni odpadových vôd. Anaerobné podmienky vyvolávajú procesy ako rozklad zložitých organických zlúčenín na ľahko biologicky odbúrateľné monomery, vyhnívanie, teda rozklad fermentovateľného substrátu na organické zlúčeniny alebo produkciu metanu či sírovodíku. [4]

### 2.3 Mapovanie transformačných procesov v stokovom systéme

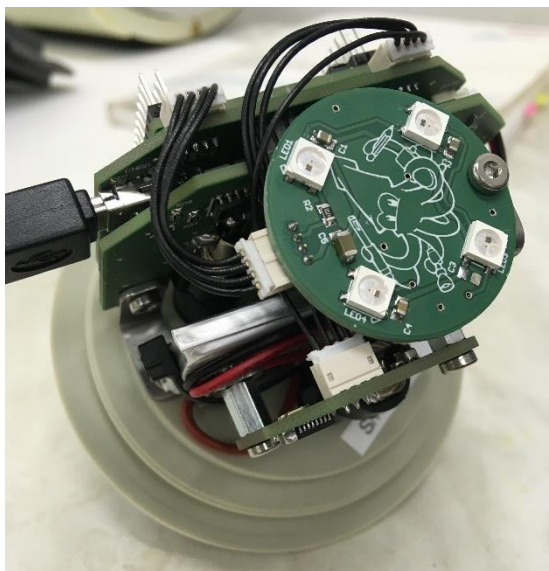
Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, stokový systém je predmetom transformácií, ktoré závisia od chemických vlastností a podmienok, ktoré s prostredím súvisia. Tieto procesy prebiehajú a menia sa od samotných domácností až po čistiarne odpadových vôd a zámerom mapovania je získať priebeh týchto transformácií a interpretovať ich na konkrétne situácie. Okrem rôznych ďalších odvetví je zaujímavé zamerať toto mapovanie na transport a transformáciu látok z oblasti epidemiológie,

případně iných chemických odvetví, ktorých látky putujú do stokového systému a smerujú na čistiareň odpadových vôd.

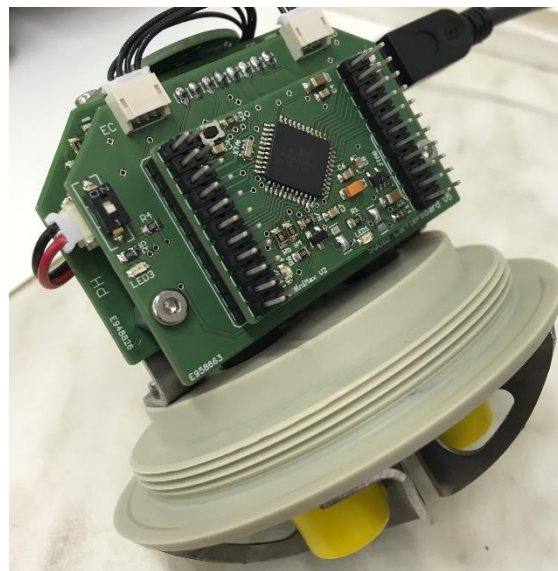
Pre tento účel získania priebehu transformácie chemických látok v stokovom systéme vznikol projekt, ktorý čiastočne odpovedá na otázky z tejto oblasti. Švajčiarsky federálny inštitút vodných vied a technológií EAWAG vyvinul pre tieto účely senzor, ktorý na základe merania kvalitatívnych parametrov ako sú teplota, pH, vodivosť a oxidačno-redukčný potenciál čiastočne popisuje vývoj látok v stokovom systéme.

### 2.3.1 Senzor SQUID a jeho súčasti

Podstatnou myšlienkou bolo zostaviť taký prístroj, ktorý dokáže s dostatočnou presnosťou zbierať dáta s ohľadom na úsporu miesta. Toto je pomerne náročná úloha, keďže kvalita merania senzorov závisí predovšetkým na prostredí v ktorom merajú a stokový systém je prostredie miestami stiesnené a výrazne agresívne. Nakoniec sa pristúpilo k snímačom používaných pre monitoring kvality vody v nádržiach určených pre chov rýb. Celkový dizajn senzoru SQUID bol navrhnutý s ohľadom na nutnosť ponoru sond počas celej doby transportu pomocou zníženého ťažiska senzoru. Všetky sondy sú chránené nerezovou mriežkou, ktorá obmedzí kontakt medzi sondou a plávajúcimi objektami v stokovom systéme. [14]



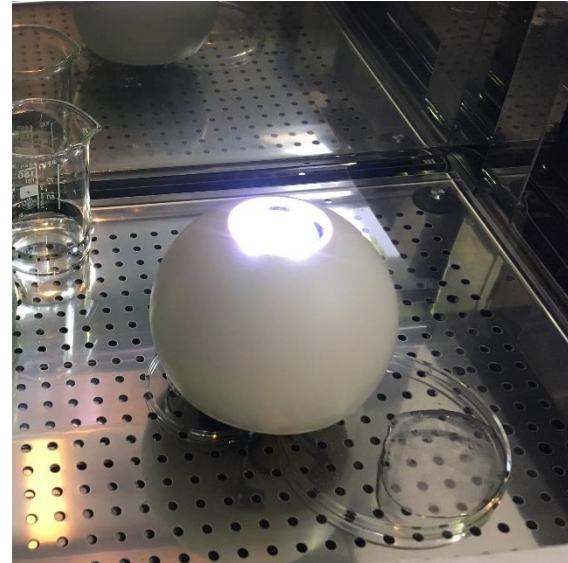
Obrázok 4: Registračná jednotka s diódami



Obrázok 5: Registračná jednotka so zapínaním



Obrázok 6: Sondy s krytkami



Obrázok 7: Sonda zapisuje dáta

Ďalšou nevyhnutnou súčasťou senzoru je registračná jednotka (obrázok 4), ktorá sa nachádza pod šrobovaciou plastovou kupulou. Tu je vložená micro SD karta, na ktorú sa zapisujú každých 10 sekúnd zaznamenané dáta. Na registračnej jednotke sa nachádzajú diódy (Obrázok 4), ktoré signalizujú stav batérie, nabíjanie alebo aktuálny zápis dát. Tieto diódy sú viditeľné skrz plastové sklíčko na vrchole kupole. Veľmi praktická je aj zvuková signalizácia zápisu dát a tak je v stoke senzor nie len vidieť ale aj počuť na pomerne dlhú vzdialenosť.

Senzor teda meria 4 parametre (Obrázok 8) a to teplotu (v strede), pH (vpravo hore), vodivosť (dole) a oxidačno-redukčný potenciál (vľavo hore). Všetky sondy a teplotné čidlo sú chránené nerezovou mriežkou, ktorá sa dá pri laboratórnych testoch odstrániť. Súčasťou všetkých troch sond je silikónová krytka (Obrázok 9), pričom pH a ORP so špongiou pre uchovávanie sond vo vyváženom prostredí pomocou roztoku KCL. Poslednou súčasťou samotného senzoru je gumové tesnenie okolo šróbovice uzatvárania, ktoré zabezpečuje zamedzenie vniku vody do registračnej jednotky.



Obrázok 8: Sondy senzoru SQUID [14]



Obrázok 9: Sondy s krytkou

Ako už bolo spomínané, senzor vyhodnocuje dáta každých 10 sekúnd, ktoré sú zapisované na micro SD kartu v registračnej jednotke. Po tom ako prebehne test sa senzor osuší a karta sa vyberie. Súčasťou príslušenstva je aj USB čítačka kariet, cez ktorú sa dáta automaticky otvoria do dátového súboru (.TXT) (Obrázok 10). Prvé dva stĺpce sú dátum a čas, kedy boli hodnoty zmerané. V ďalších štyroch stĺpcoch sú surové hodnoty a v ďalších sú hodnoty už skalibrované. Surové hodnoty, napríklad v prípade konduktivity, sú výsledkom merania impedančného spektrometra, čo funguje na princípe rozrušenia kvapaliny so signálom o hodnote 3 kHz periodickej vlny medzi hodnotami amplitúdy 0 a 3,3 V a výstup je teda hodnota závislá na konduktivite kvapaliny. [15]

```
*** SQUID Software Version: 2 ***
*** Serial Number: 17-010 ***

SENS.CFG OK. Calibrations:
Temp: aT: 0.06, bT: -2.60
pH: apH: -0.02, bpH: 15.46
ORP: aORP: 1.84, bORP: -1114.29
EC: aEC: 0.21, bEC: -57.66
Time, Traw, pHraw, ORPraw, EC_Rraw, EC_Iraw, T, pH, ORP, EC
2017-12-19 11:19:34, 315, 437, 682, 26, 0, 16.83, 7.55, 142.84, -52.32
2017-12-19 11:19:44, 319, 436, 685, 26, -2, 17.07, 7.56, 148.37, -52.30
2017-12-19 11:19:54, 252, 542, 318, -36, -6255, 12.94, 5.64, -528.12, 1228.14
2017-12-19 11:20:04, 253, 460, 310, -41, -6383, 13.00, 7.13, -542.87, 1254.46
2017-12-19 11:20:14, 253, 435, 307, -43, -6392, 13.00, 7.58, -548.40, 1256.31
2017-12-19 11:20:24, 255, 422, 305, -44, -6397, 13.13, 7.82, -552.08, 1257.34
2017-12-19 11:20:34, 253, 414, 304, -44, -6381, 13.00, 7.96, -553.93, 1254.05
2017-12-19 11:20:44, 253, 407, 305, -44, -6376, 13.00, 8.09, -552.08, 1253.02
2017-12-19 11:20:54, 253, 401, 304, -43, -6355, 13.00, 8.20, -553.93, 1248.70
2017-12-19 11:21:04, 254, 399, 303, -44, -6352, 13.07, 8.23, -555.77, 1248.09
```

Obrázok 10: Dáta zo senzoru

## 3 METÓDY A NÁSTROJE

### 3.1 Testované úseky

Vybrané úseky, na ktorých bol senzor SQUID testovaný sú súčasťou pražskej stokovej siete a odvodňujú rôzne časti Prahy. Všetkých päť úsekov bolo vybraných na základe ich významnosti a rôznorodej charakteristiky podľa zloženia odpadovej vody, objektov na sieti, rýchlostí a sklonov. Všetky úseky sú na jednotnej kanalizácii, pričom ide o hlavné kmeňové stoky A, D, F a K a hlavný zberač kmeňovej stoky K Solidarita. Všetky úseky sú priechodné alebo prielezné z dôvodu možného zadrhnutia senzoru vo vývare alebo nánose sedimentu. Vybavenie na obsluhu senzoru obsahuje dve pokusné plastové lopty, ktoré slúžia na overenie prietochnosti úseku. Z dôvodu ich netotožného tvaru a hmotnosti ku sonde SQUID boli pre pokus zvolené pomaranče, ktoré tvarom aj hmotnosťou odpovedajú senzoru. Pred púšťaním senzoru boli nimi všetky úseky úspešne otestované, pričom bol zmeraný orientačný čas ich doplavu. V období, v ktorom meranie senzorom prebiehalo nedochádzalo k výrazným dažďovým odtokom a preto sú merané parametre charakteristické pre splašky v konkrétnych úsekoch.

Tabuľka 1: Charakteristiky úsekov a pokusov

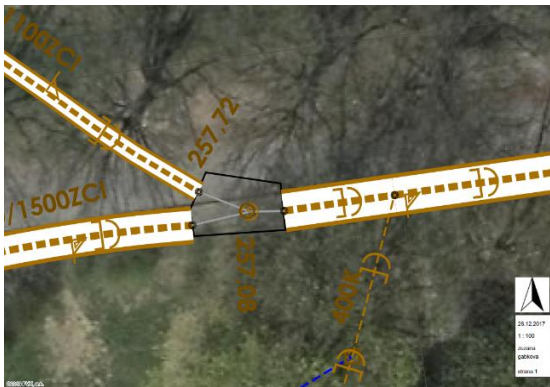
úsek č.	názov úseku	ID testu	dátum a čas merania	dĺžka úseku [m]	profil úseku	sklonové pomery [%]	priemerná rýchlosť [m/s]	Q <sub>24</sub> [l/s]
1	Veleslavín	201711301	30.11.2017 9:29:40 - 9:40:00	1774	HP 1400/1750 ZCI HP 1600/2000 ZK	25,1	2,86	159,6
2	Podviní	201711302	30.11.2017 12:31:30 - 13:16:20	2546	A 2030/300 ZCI VP 2200/3000 ZCI DN 3200 ZCI	0,73	0,95	300,2
3	Podolské nábreží	201712141	14.12.2017 17:34:40 - 17:53:50	624	DN 2400 B DN 2800 ZCI	0,57	0,54	310,4
4	Stromovka	201711303	30.11.2017 10:29:40 - 10:58:30	1692	A 1500/1700 ZCI VP 1800/2600 ZCI	0,32	0,98	254,2
5	Eden	201712142	14.12.2017 19:57:10 - 20:27:10	2320	A 2100/2625 ZCI HP 2200/2750 ZCI	5,16	0,78	57,8
		201712151	15.12.2017 01:01:40 - 01:36:30				0,90	
		201712152	15.12.2017 07:08:00 - 07:32:50				0,64	

#### 3.1.1 Úsek 1 – Veleslavín

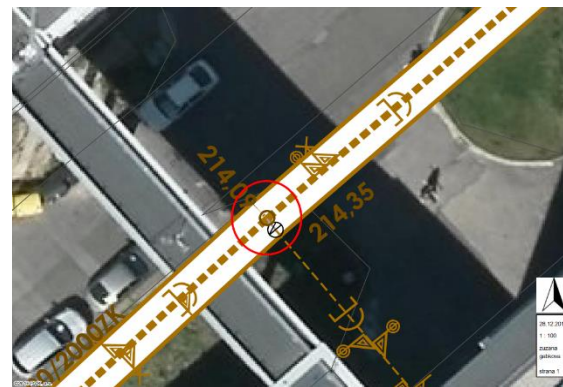
Prvý úsek začína v mestskej časti Veleslavín v ulici Zavadilova a po 1774 metroch končí v ulici Kolejní v kampuse Fakulty stavebnej ČVUT. Ide o kmeňovú stoku D, ktorá priamo ústi do Ústrednej čistiarny odpadových vôd Praha v Bubenči a v predmetnom úseku odvodňuje prevažne odpadové vody z domácností. Tento úsek bol



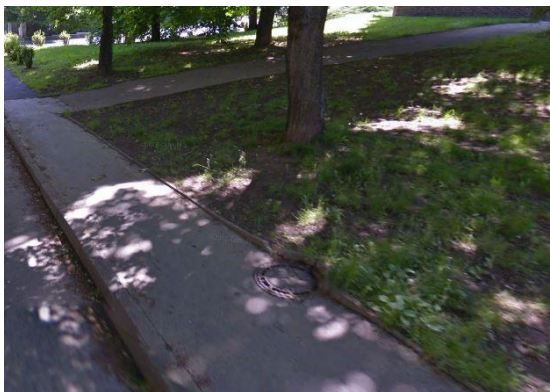
vybraný na základe veľkého počtu prípojek a komôr na pomerne krátkom úseku. Z tohoto dôvodu sa predpokladá výrazný vývoj kvalitatívnych parametrov na celom úseku. Táto časť stoky A je charakteristická pomerne veľkým sklonom, v priemere 25,1‰ a teda tiež vysokou priemernou rýchlosťou toku 2,86 m/s. Úsek začína spojnou komorou, kde sa do kmeňovej stoky HP 1200/1500 ZCI pripája stoka o dimenzii VP 600/1100 ZCI. Prvých 870 metrov úseku je voda odvádzaná hruškovým profilom HP 1400/1750 ZCI a po zvyšok úseku zväčšeným profilom HP 1600/2000 ZK. Stoka vedie takmer celým úsekom pod komunikáciou. Na úseku sa nachádza 5 spojných komôr a niekoľko väčších prípojek (viď príloha 2). Senzor bol odchytený v štandardnej šachte medzi budovami C a D fakulty stavebnej.



Obrázok 11: Výrez začiatku úseku 1 z ArcGIS [18]



Obrázok 12: Výrez konca úseku 1 z ArcGIS [18]



Obrázok 13: Povrch začiatku úseku 1 [17]



Obrázok 14: Povrch konca úseku 1

### 3.1.2 Úsek 2 – Podviní

Tento 2546 metrov dlhý úsek bol vybraný ako úsek reprezentujúci pomerne malé sklony a rýchlosti okolo 0,95 m/s o minimálnom počte objektov, ktoré by ovplyvňovali vývoj kvality odvádzanej odpadovej vody. Úsek, ktorý je súčasťou kmeňovej stoky F



je z veľkej časti razený keďže ide o pomerne členitý terén. Úsek sa začína za spadiskom neďaleko ulice Mezitraťová a končí vo vypínacej komore pár metrov od Podvinného mlynu. Vypínacia komora, ktorá uzatvára vybraný úsek bola vybraná z dôvodu jednoduchého prístupu a odchytenia senzoru. Zloženie odpadovej vody v prvej polovici úseku o dimenzii A 2030/2160 B je pravdepodobne konštantné keďže prvá spojná komora sa nachádza až po 1300 metroch. Predpokladá sa veľká mineralizácia v tejto časti z dôvodu balastných vôd presakujúcich do úseku. Druhá polovica úseku je tvorená profilmi VP 2200/3000 ZCI a DN 3200 ZCI (viď príloha 2). Na úseku sa nachádzajú len dve spojné komory a jedna prípojka preto sa nepredpokladá výrazný vývoj niektorého zo štyroch kvalitatívnych parametrov.



Obrázok 15: Výrez začiatku úseku 2 z ArcGIS [18]



Obrázok 16: Výrez konca úseku 2 z ArcGIS [18]



Obrázok 17: Povrch začiatku úseku 2



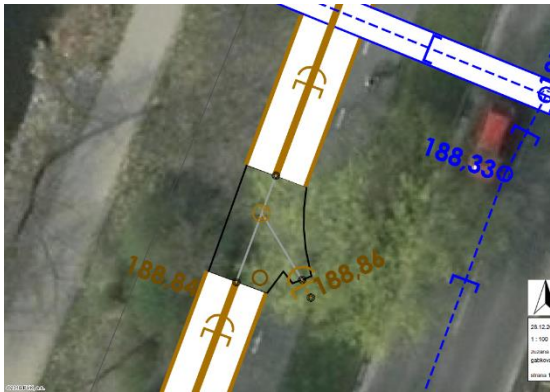
Obrázok 18: Povrch konca úseku 2 [18]

### 3.1.3 Úsek 3 – Podolské nábřeží

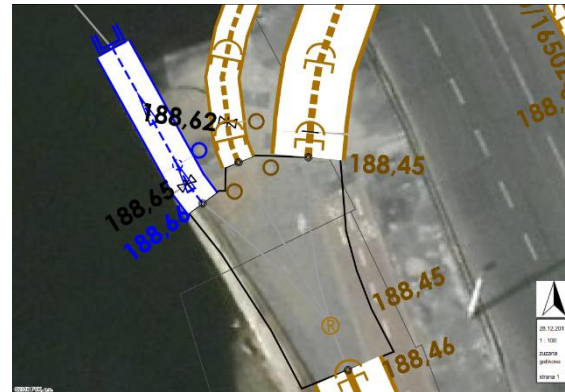
Idie o najkratší úsek z celého výberu, kedy jeho podstatou je vystihnúť váhu prítoku veľkého zberača do kmeňovej stoky na kvalitatívne parametre. Jedná sa o úsek razenej kmeňovej stoky K dlhý 624 metrov. Vybraná časť kmeňovej stoky vedie súbežne



s Vltavou Podolským nábrežím kde začíná v úrovni Podolskej vodárne a končí prístavom. Začiatkom úseku je spojná komora kde sa do kmeňovej stoky DN 2400 B pripája stoka DN 500 K. Po približne 220 m sa do ďalšej spojnej komory obdobne pripája DN 500 K. Asi 160 metrov pred koncom úseku do stoky bočný prítok DN 2000 ZCI, kde sa mení profil stoky na DN 2800 ZCI. Úsek je ukončený objektom dažďového oddeľovača a rozdeľovacej komory, pričom výpusť má dimenziu DN 1500 ZCI a ďalej pokračuje priebežná stoka DN 2800 ZCI a VP 1200/2000 ZCI.



Obrázok 19: Výrez začiatku úseku 3 z ArcGIS [18]



Obrázok 20: Výrez konca úseku 3 z ArcGIS [18]



Obrázok 21: Povrch začiatku úseku 3 [18]



Obrázok 22: Povrch konca úseku 3

### 3.1.4 Úsek 4 – Stromovka

Štvrtý úsek vedie pod tunelom Letná, Bubenčom a parkom Stromovka. Úsek kmeňovej stoky A začína výtokom zo zhybky spod Čechova mostu a pokračuje razenou stokou do prvej spojnej komory, kde sa profil kmeňovej stoky A 1500/1700 ZCI spája s VP 1200/2000 ZCI a VP 600/1100 ZCI. Úsek pokračuje profilom VP 1800/2600 ZCI až do Kráľovskej obory v parku Stromovka. Na úseku je okrem spomínanej spojnej komory asi po 1 kilometri druhá, kde je prítok VP 700/1250 ZCI. Ten do tejto komory



ústi zo zatvorenej komory a z tohto dôvodu by mal byť prítok z tejto komory nulový. Celková dĺžka je 1692 metrov s priemernou rýchlosťou 0,98 m/s.



Obrázok 23: Výrez začiatku úseku 4 z ArcGIS [18]



Obrázok 24: Výrez konca úseku 4 z ArcGIS [18]



Obrázok 25: Povrch začiatku úseku 4 [18]

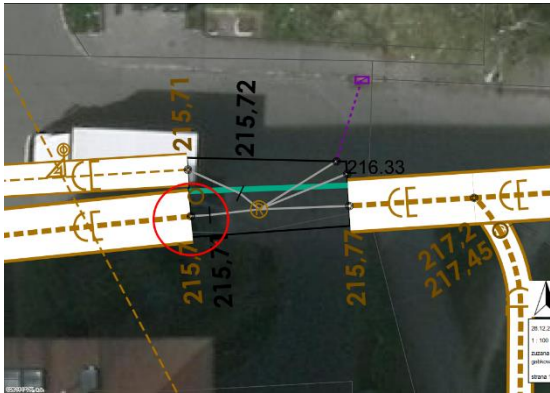


Obrázok 26: Povrch konca úseku 4

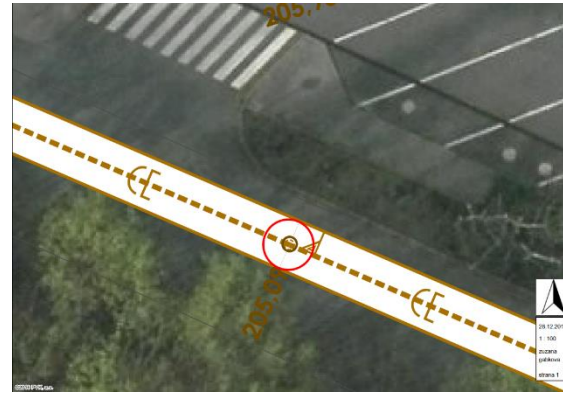
### 3.1.5 Úsek 5 – Eden

Posledný úsek bol vybraný za účelom merania denných maximálnych a nočných minimálnych prietokov. Pre toto testovanie bol po dlhej úvahe zvolený úsek zberača kmeňovej stoky A Solidarita v Strašniciach, ktorý je charakteristický tým, že odvodňuje veľkú časť tejto mestskej štvrťi a rozsiahli komplex futbalových ihrísk. Celkovo je úsek dlhý 2320 metrov, pričom necelá polovica úseku odvodňuje futbalové ihriská. Začiatok úseku je v rozdeľovacej komore v ulici Nosická, kde bude senzor vhoďený do stoky A 2100/2625 ZCI. Profil pokračuje až do spojnej komory kde sa pripája VP 500/875 ZCI odkiaľ stoka pokračuje ďalších 900 metrov profilom HP 2200/2750 ZCI. Úsek končí v štandardnej šachte pár metrov od parkoviska arény Eden. Meranie na tomto úseku prebehne celkovo tri krát pričom zámerom bolo zachytiť charakter znečistenia pri večernej špičke okolo ôsmej hodine večer a ranej špičke okolo siedmej hodiny ráno.

Posledné meranie prebehlo v noci o jednej hodine rannej, kedy prietoky dosahujú minimálnych hodnôt. V tomto prípade sa budú hodnotiť nie len výsledky samotné, ale aj pomer jednotlivých troch meraní.



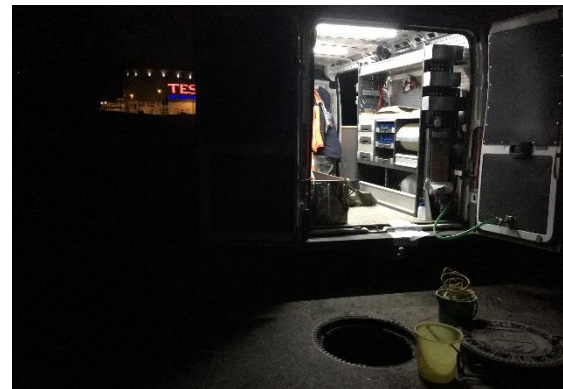
Obrázok 27: Výrez začiatku úseku 5 z ArcGIS [18]



Obrázok 28: Výrez konca úseku 5 z ArcGIS [18]



Obrázok 29: Povrch začiatku úseku 5 [17]



Obrázok 30: Povrch konca úseku 5

## 3.2 Použité prístroje na meranie kvality vybraných parametrov

Predmetom tejto diplomovej práce je testovanie kvalitatívnej sondy SQUID, ktorá bola výrobcom uvedená v roku 2017 a svojou podstatou je prvá svojho druhu. Aby boli výsledky tejto sondy reprezentatívne, je dôležité brať na zreteľ, že sonda meria s určitou nepresnosťou, ktorú je nutné určiť. K tomu je nevyhnutné použitie skalibrovaných referenčných sond, ktoré sú dôležité pre určenie odchýlky od skutočnej hodnoty.

### 3.2.1 Kalibrácia referenčných sond

Predmetná sonda SQUID, už ako bolo spomínané v 2. kapitole, meria štyri kvalitatívne parametre, pričom je nutné overiť presnosť merania každého z nich. Z tohto dôvodu boli použité 3 laboratórne sondy, ktoré boli vždy pred ich použitím skalibrované.

Prvou použitou sondou bola gélová pH sonda INTELLICA (Obrázok 31) od firmy HACH presnosťou  $\pm 0,02$  pH, ktorá bola kalibrovaná na tri štandardné pufre o hodnotách 4.01, 7.00 a 10.01 v laboratórnej kúpeli vyhriatej na  $25^{\circ}\text{C}$ . Obdobne bola kalibrovaná aj ORP sonda (Obrázok 32) na meranie oxidačno–redukčného potenciálu taktiež od firmy HACH. Konkrétne ide o robustnú sondu intelliCAL™ s presnosťou  $\pm 0,1$  mV, ktorá bola kalibrovaná 2 rôznymi štandardmi. Pre kalibráciu za účelom laboratórneho merania bol použitý Zobellov štandard, s ktorým bola sonda jednoduchým spôsobom skalibrovaná na hodnotu 221 mV. Druhý roztok bol určený pre následné meranie v redukčných podmienkach a to kondicioním povrchu ORP sondy. Poslednou použitou referenčnou sondou je sonda na meranie konduktivity Intellical (Obrázok 33) s presnosťou  $\pm 0,5\%$  rozsahu. Kalibračný roztok bol pre túto sondu zhotovený laboratórne a to namiešaním roztoku o koncentrácii 491 mg NaCl/l, čo predstavuje vodivosť  $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ . Referenčné sondy, ktoré boli použité pre vypracovanie tejto práce boli dodané fakultou, konkrétne katedrou zdravotného a ekologického inžinierstva spoločne s referenčnou sondou na meranie oxidačno-redukčného potenciálu zapožičanou firmou PVK, a.s. Aby bol výsledok čo najpresnejší, kalibrácia prebiehala za stálych teplotných podmienok vo vytemperovanej nádobe na  $25^{\circ}\text{C}$ , v ktorej bola voda zároveň premiešavaná medzidnom (Obrázok 34).



Obrázok 31: Referenčná pH sonda  
INTELLICAL [10]



Obrázok 32: Referenčná ORP sonda  
INTELLICAL™ [10]



Obrázok 33: Referenčná  
conductivity sonda [10]

### 3.2.2 Kalibrácia senzoru SQUID

V tomto prípade nejde o typickú kalibráciu, ako pri referenčných sondách, ktoré samy rozpoznávajú hodnotu štandardu a nastavujú sa na ňu. V prípade senzoru SQUID bola zisťovaná odchýlka nameranej hodnoty od hodnoty štandardu za stálych teplotných podmienok s kolísaním teploty  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$  vo vytemperovanom prostredí (Obrázok 35). Takéto meranie prebehlo dvakrát a to pred terénnym meraním a po ňom. Pre grafické



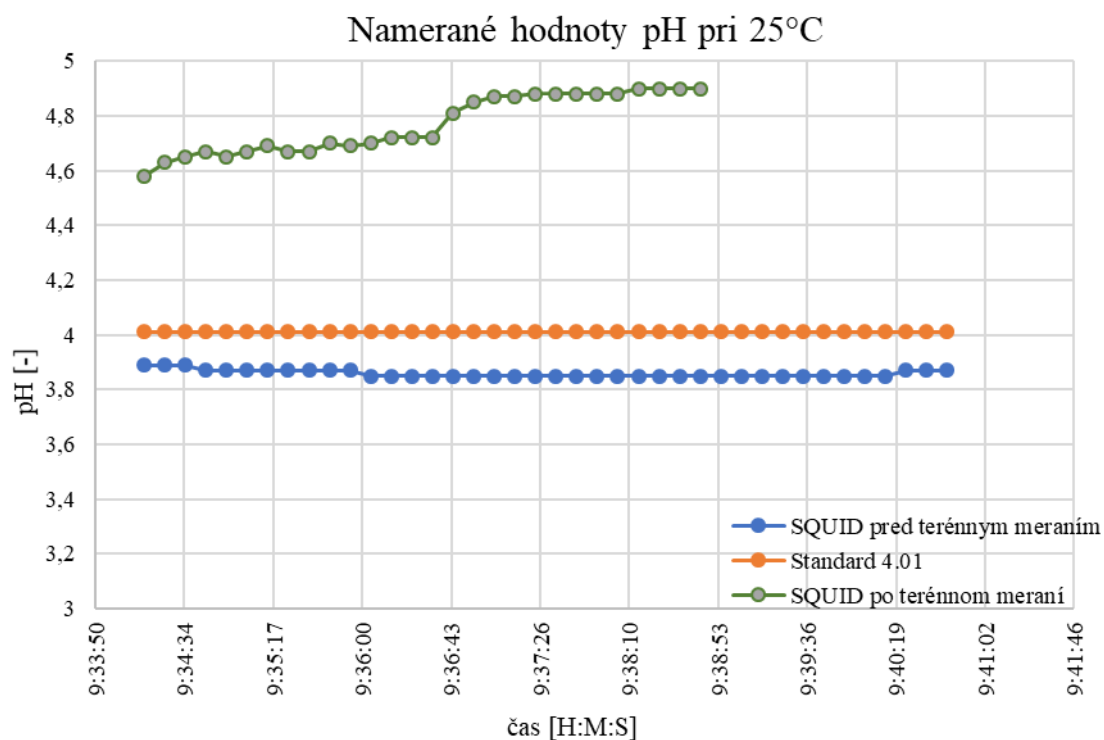
zobrazenie boli použité časy z merania pred terénnym testovaním. Použité kalibračné štandardy boli totožné s tými pre kalibráciu referenčných sond. Teplota nameraná senzorom SQUID sa v čase merania pohybovala v rozmedzí 24,6 – 25,2 °C.



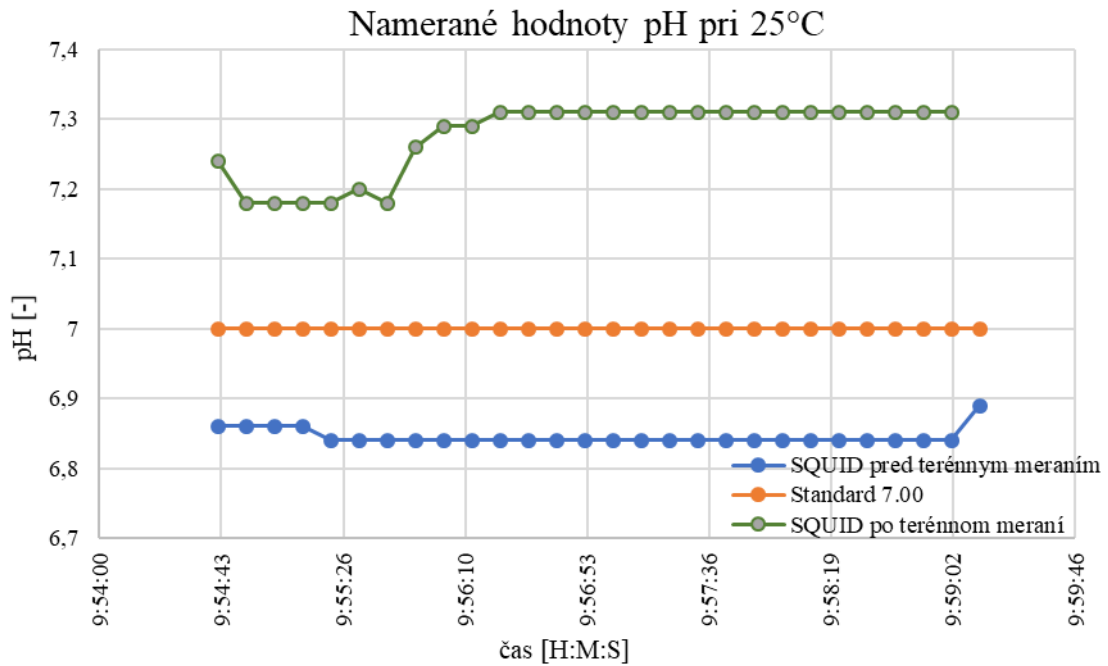
Obrázok 34: Vytemperovaný kúpeľ so štandardmi



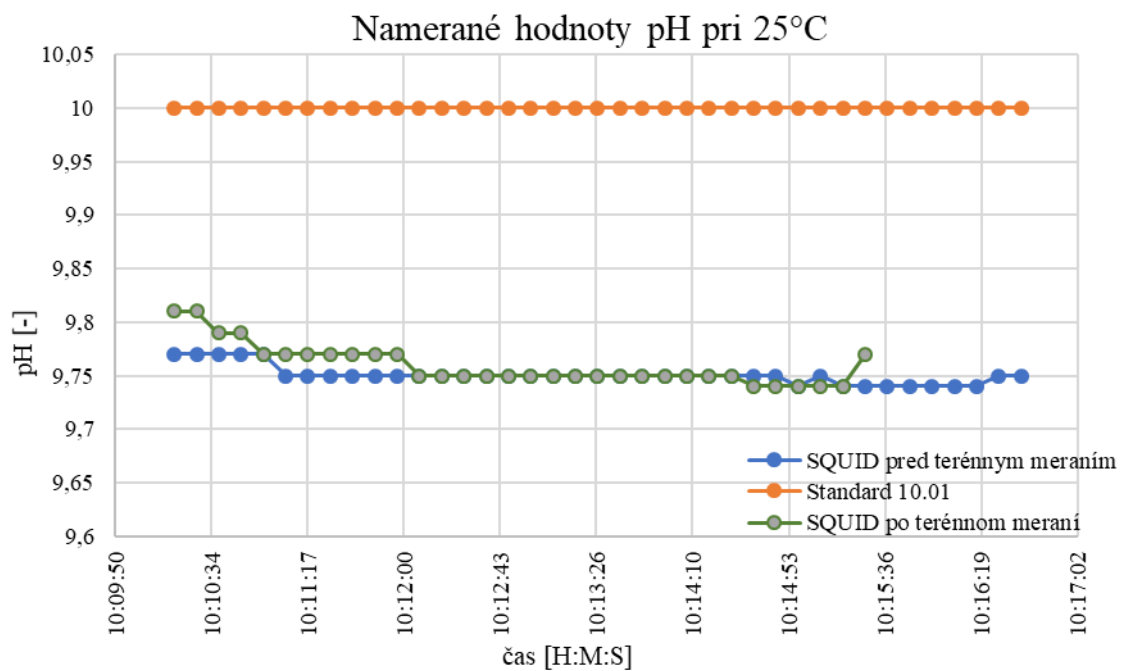
Obrázok 35: Vytemperovaný kúpeľ so štandardmi



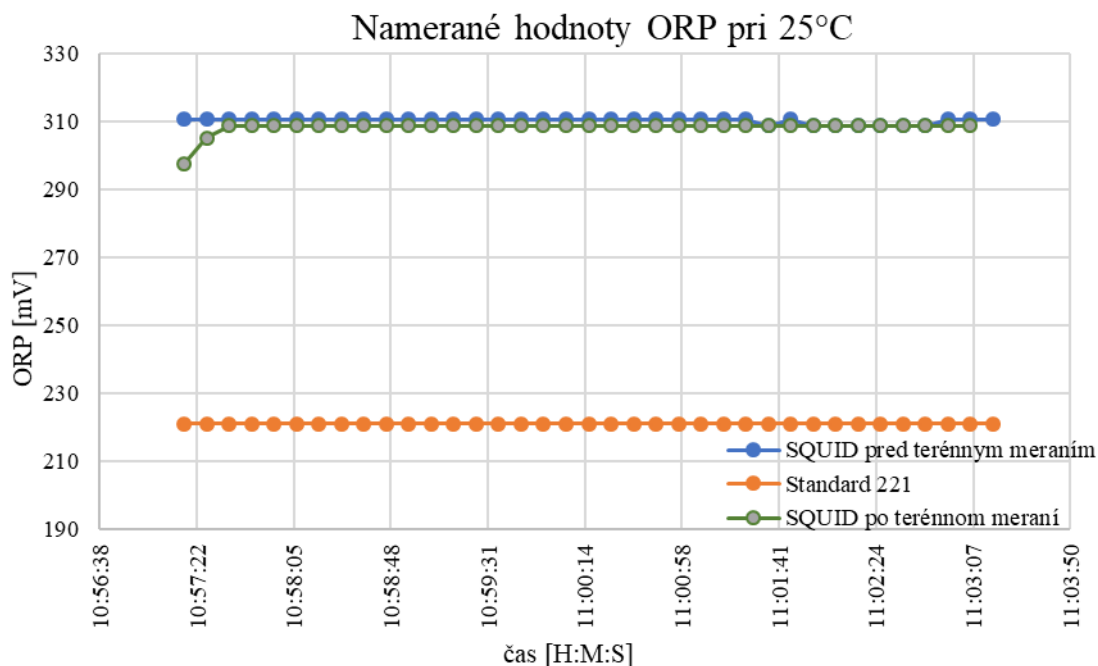
Obrázok 36: Priebeh pH v štandarde 4.01 pri 25°C



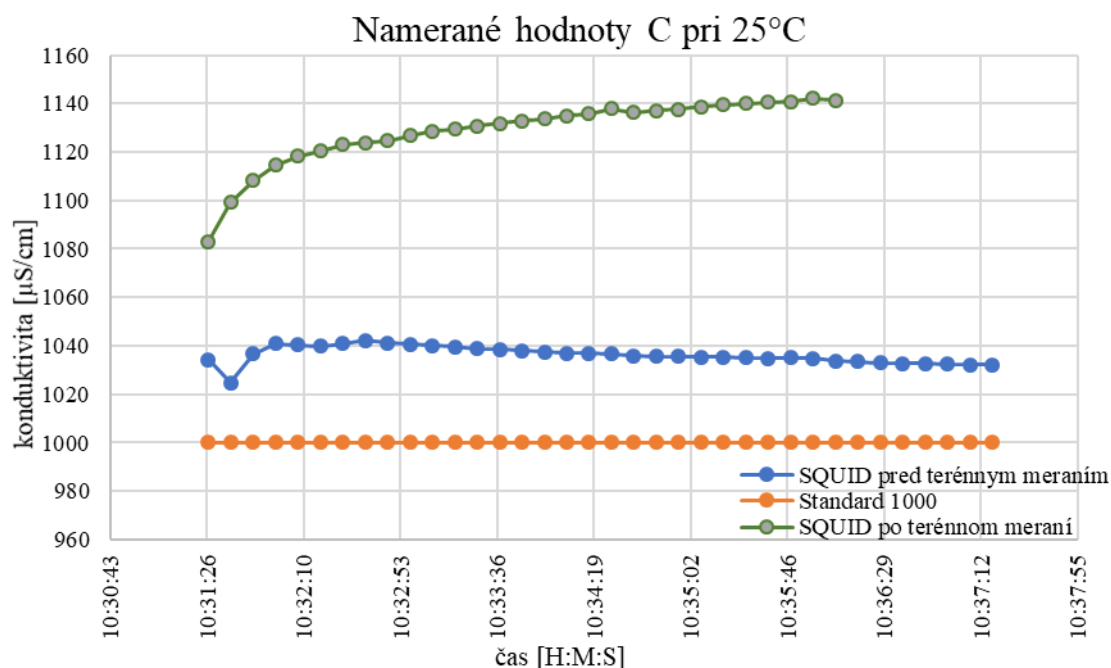
Obrázok 37: Priebeh pH v štandarde 7.00 pri 25°C



Obrázok 38: Priebeh pH v štandarde 10.01 pri 25°C



Obrázok 39: Priebeh ORP v štandarde 221mV pri 25°C

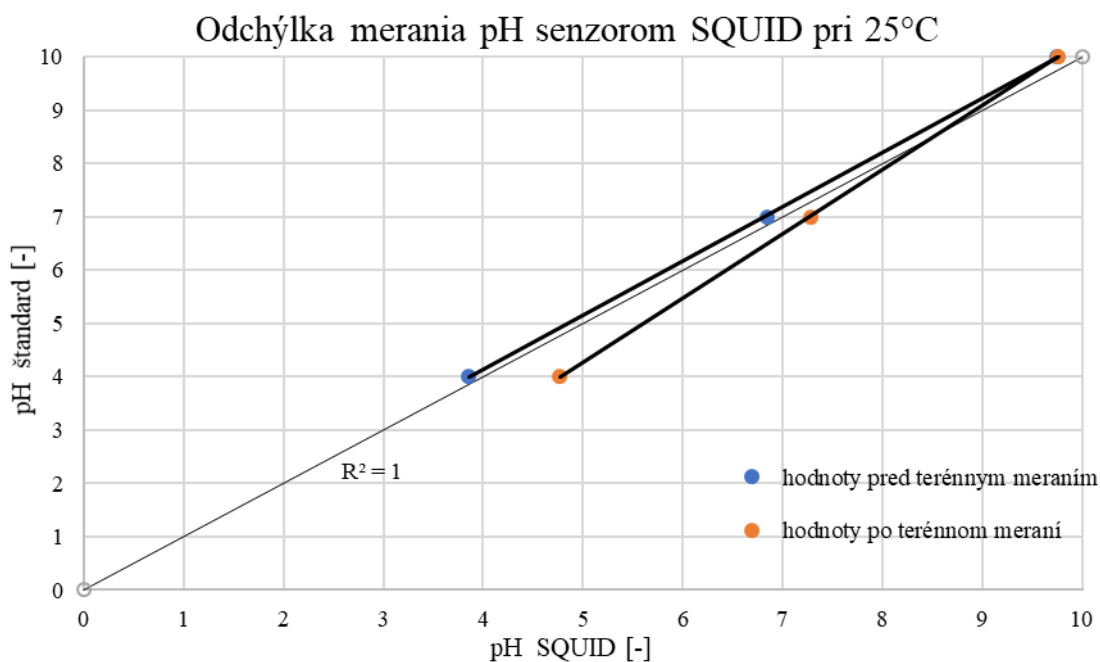


Obrázok 40: Priebeh vodivosti v štandarde 1000 μS/cm pri 25°C

Na základe takto nameraných hodnôt boli zistené odchýlky od hodnôt štandardných roztokov, ktoré sú viditeľné v grafoch. V meraní pred terénnym testovaním sa odchýlka pri prvej a druhej variante pH pohybuje okolo 0,16 a pri poslednej 0,25. V prípade vodivosti sa pohybuje odchýlka okolo 36,20 μS/cm. U oxidačno-redukčného

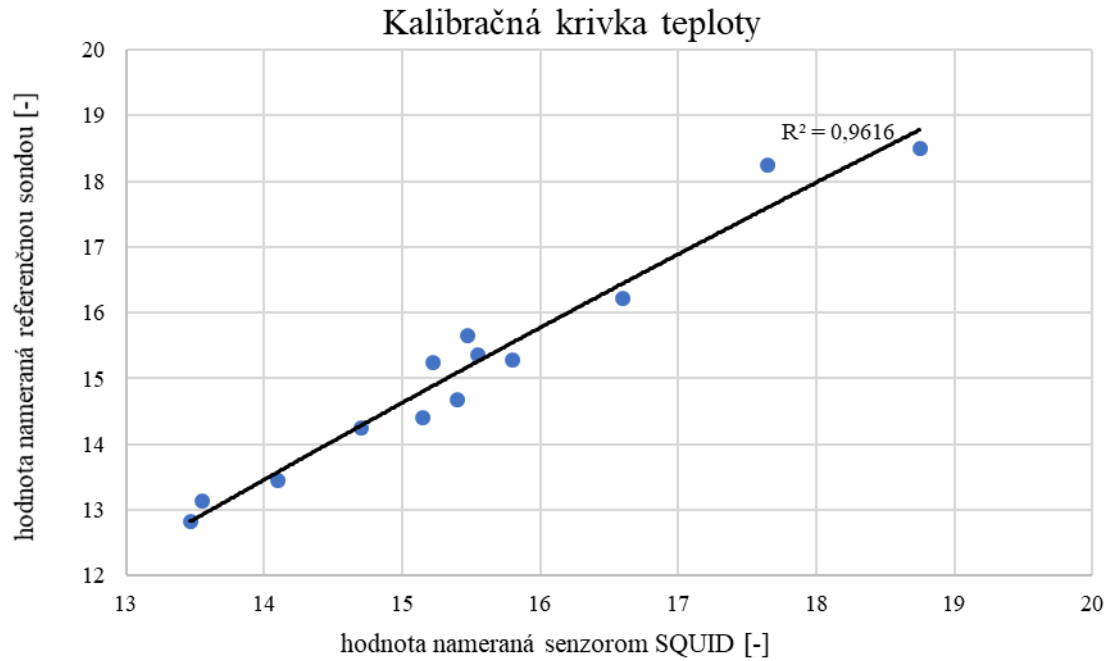
potenciálu je rozdiel skutočnej a nameranej hodnoty výrazne veľký a to 89,58 mV, čo predstavuje 40%.

V druhom prípade merania v štandarde o hodnotách pH 4.01, 7.00 a v prípade vodivosti sa odchýlka, a teda nepresnosť, násobne zväčšila. V prípade pH 10.01 a oxidačno-redukčného potenciálu je priebeh takmer totožný s hodnotami nameranými pred testovaním úsekov v teréne. Pre zobrazenie odchýlok pH nameraných senzorom SQUID od štandardných hodnôt bol zostavený graf (Obrázok 41).

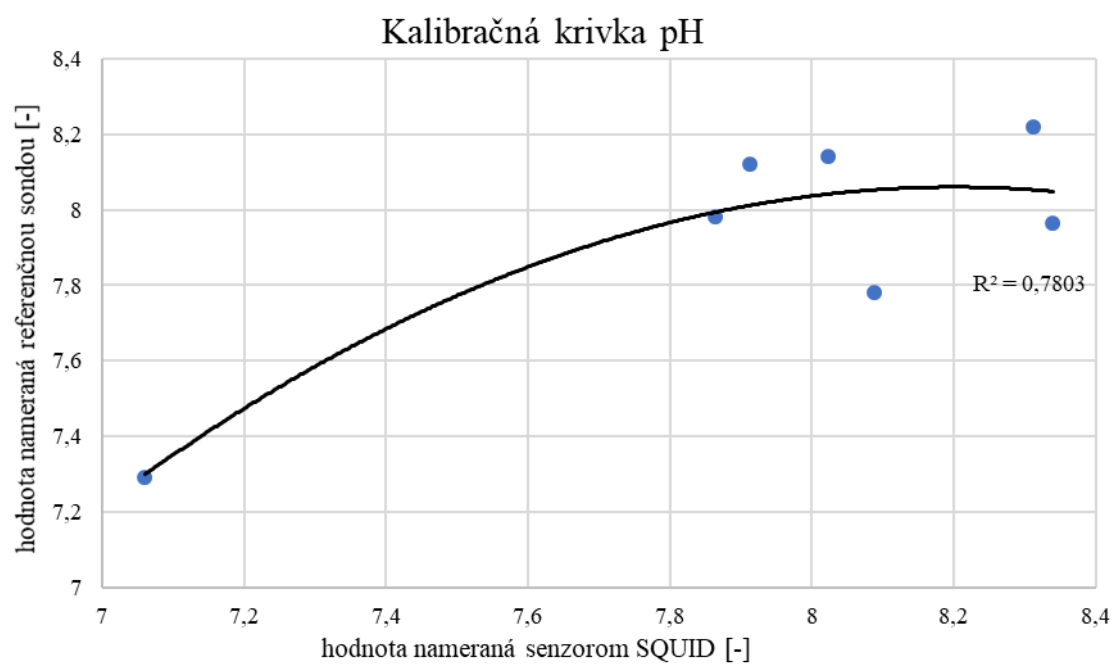


Obrázok 41: Odchýlka merania pH senzorom SQUID pri 25°C

Pri terénnom meraní boli za účelom konštrukcie kalibračnej krivky aplikované referenčné sondy na 2 – 3 minúty do odpadovej vody na začiatku a konci každého testovaného úseku. Týmto sa vytvorili ďalšie body, avšak nie pri konštantnej teplote 25°C, ale pri teplote odpadovej vody, ktorá sa pohybovala v rozmedzí 13-16°C. Teplota má v prípade pH, konduktivity a ORP významný vplyv, v prípade ORP to je faktor ovplyvňujúci hodnoty veľmi zásadne, preto nie je možné brať takto vypočítanú kalibračnú krivku ako reprezentatívnu. V prípade pH a konduktivity má teplota pomerne veľký vplyv na výsledné hodnoty, no nie v takej miere ako u ORP. Treba brať na zreteľ aj skutočnosť, že SQUID, na rozdiel oproti referenčným sondám, nemá automatickú teplotnú kompenzáciu, takže v prípade nasledovných štyroch grafov na ide o surové dáta.

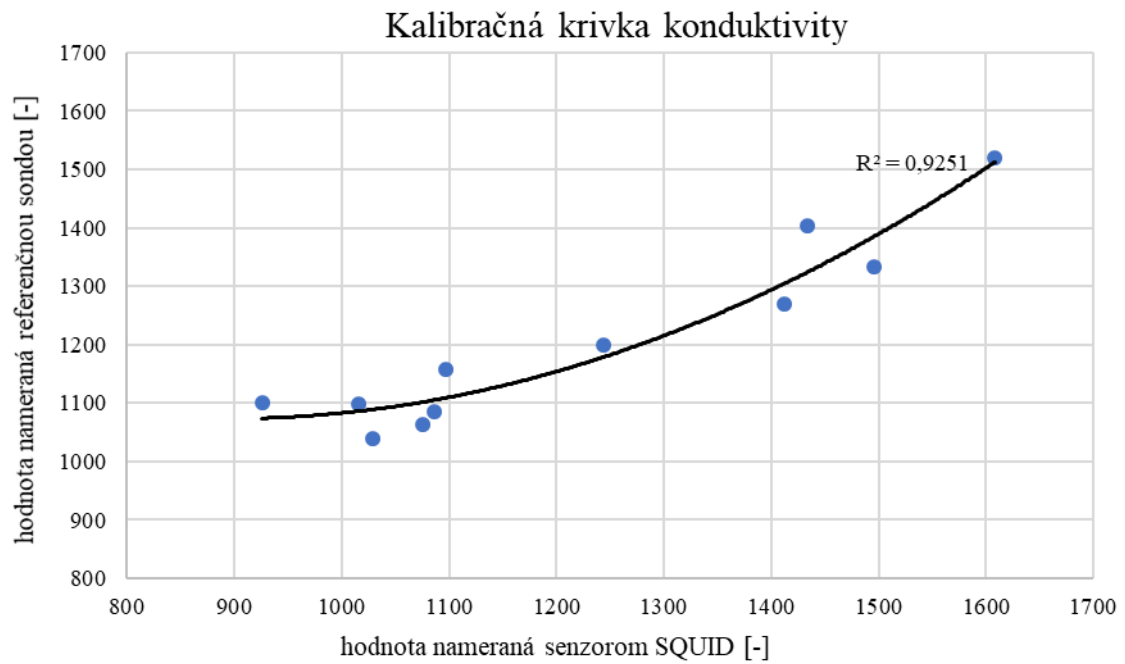


Obrázok 42: Kalibrační krivka teploty

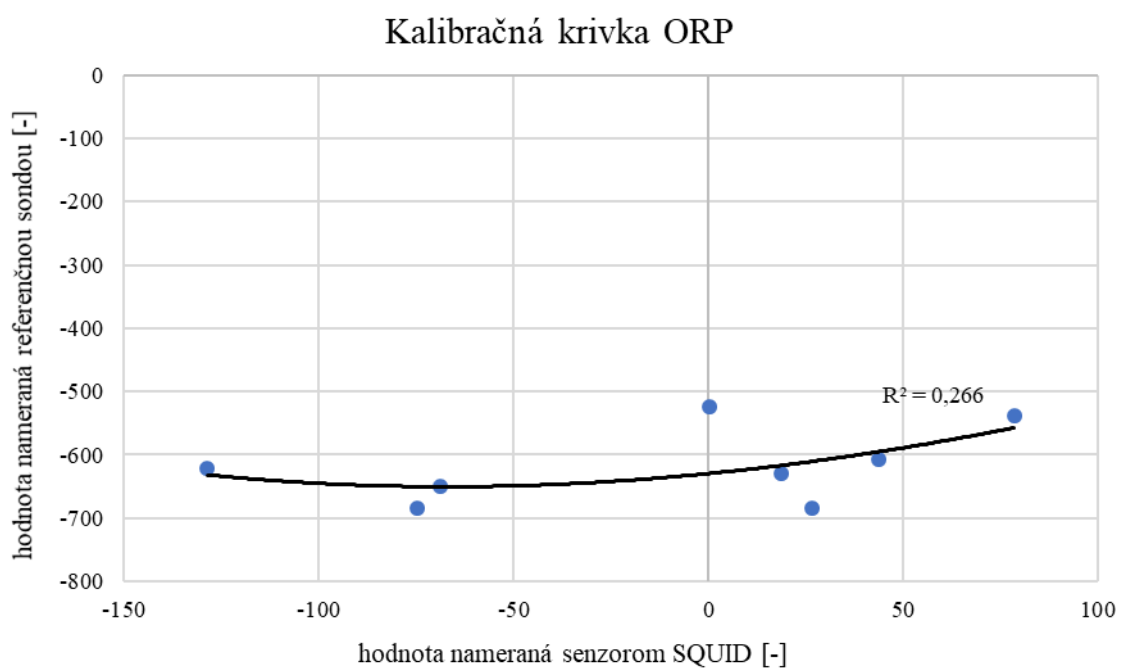


Obrázok 43: Kalibrační krivka pH bez korekcie teploty





Obrázok 44: Kalibrační krivka konduktivity bez korekcie teploty



Obrázok 45: Kalibrační krivka ORP bez korekcie teploty

## 4 VÝSLEDKY

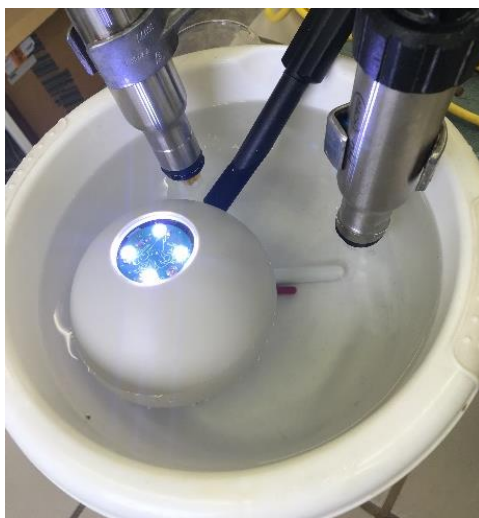
Hlavnou myšlienkou celého testovania bolo zistiť ako funguje táto experimentálna sonda, posúdiť presnosť nameraných dát, teda porovnať dáta získané meraním so senzorom SQUID s dátami získanými z referenčných sond a v neposlednom rade popísať takto získané informácie na väzbu prostredia, v ktorom boli bol senzor testovaný. Celkovo prebiehalo testovanie v rámci laboratória aj terénu úspešné až na výpadok pH sondy v senzore SQUID, ku ktorému došlo pri testovaní v teréne na úsekoch 1, 2 a 4, kedy pravdepodobne došlo k prerušeniu kontaktu medzi sondou a registračnou jednotou.

### 4.1 Výsledky z laboratórneho merania

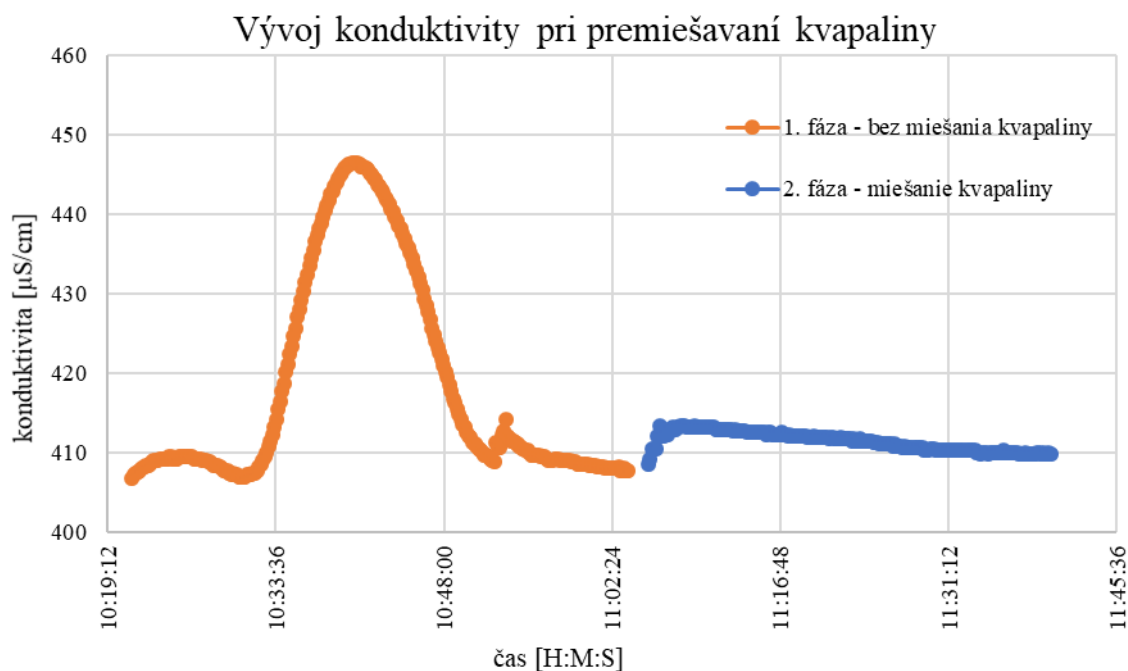
Prvých pár týždňov sa sonda testovala v chemickom laboratóriu na fakulte stavebnej aby sa zistila jej presnosť citlivosť na rôzne prejavy prostredia a na základe toho stanoviť predpoklad jej chovania v teréne.

#### 4.1.1 Odozva senzoru SQUID na pohyb meranej kvapaliny

Prvé testovanie sondy prebehlo za účelom zistenia reakcie sondy na pohyb meranej kvapaliny. Išlo o pokus kedy bola sonda vložená do nádoby s vodou, ktorá nebola v prvej fáze nijak premiešavaná a po určitej dobe bolo do tejto nádoby vložené magnetické miešadlo ako druhá fáza merania. Z výsledného grafu (Obrázok 47) je vidieť, že konduktivita, ako vybraný parameter, bola počas prvej fázy neustálená a po vložení miešadla sa jej hodnota ustálila takmer na konštantnú hodnotu.



Obrázok 46: Referenčné sondy ponorené do premiešavanej kvapaliny



Obrázok 47: Vývoj konduktivity po premiešavaní kvapaliny

#### 4.1.2 Závislosť meraných parametrov na teplote v štandardných roztokoch

Ďalším krokom k bližšiemu skúmaniu sondy bolo zistenie závislosti meraných parametrov, teda pH, oxidačno-redukčného potenciálu a konduktivity na teplote v štandardných roztokoch. Pre tento zámer boli použité buffre pre pH o hodnote 4.01, 7.00 a 10.01. Pre konduktivitu bol použitý už vopred namiešaný roztok NaCl o vodivosti 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a pre oxidačno-redukčný potenciál štandardný roztok ZoBell o hodnote 221 mV. Zásadným problémom pri tomto testovaní bol fakt, že teplotné čidlo senzoru SQUID nebolo v kontakte s kvapalinou (Obrázok 53) a preto teploty namerané týmto senzorom nemôžu byť použité pre vyhodnotenie. V každom prípade bola použitá aj jedna z referenčných sond, z ktorých má každá v sebe vbudované teplotné čidlo. Na základe hodnôt teploty, ktoré boli zmerané referenčnou sondou v priebehu 5 minút bol odvodený teplotný vývoj v nasledujúcich 5 minútach (v prvom prípade predchádzajúcich 5 minút), kedy bola daná sonda SQUID-u vložená do roztoku. Výsledky hodnôt zo senzoru SQUID sú zobrazované s teplotnou kompenzáciou aj bez nej.

Pre teplotnú kompenzáciu pH hodnôt nameraných senzorom SQUID bol použitý vzťah pre odchýlku, ktorá pri pričítaní k nameranej hodnote pH určí skutočnú hodnotu:

$$\Delta pH = (pH_m - 7) * \frac{(T_m - 25)}{10} * 0,03 \quad [11]$$



kde  $\Delta pH$  – odchýlka pH hodnoty zmeranej senzorem SQUID od skutočnej hodnoty [-]

$pH_m$  – hodnota pH zmeraná senzorem SQUID [-]

$T_m$  – teplota odvodená z priebehu hodnôt nameraných referenčnou sondou [°C]

Pre kompenzáciu konduktivity bol použitý vzťah:

$$C = C_m * (1 + \alpha * (t_{ref} - t_m)) \quad [12]$$

kde  $C$  – skutočná hodnota konduktivity [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]

$C_m$  – hodnota zmeraná senzorem SQUID [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]

$t_{ref}$  – referenčná teplota 25 [°C]

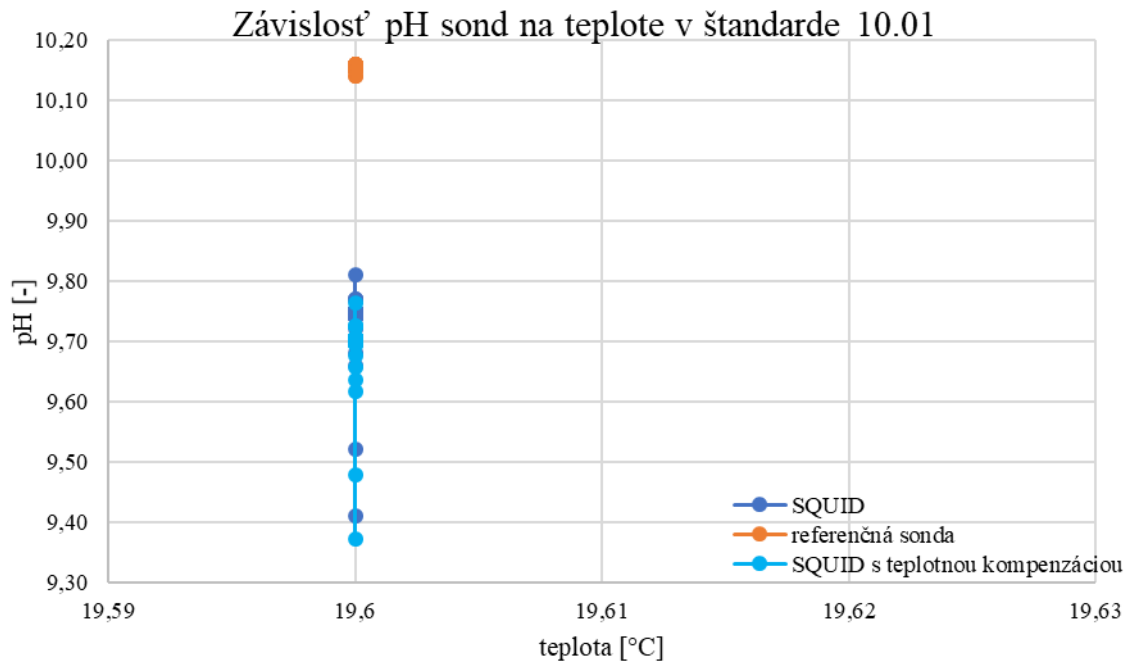
$t_m$  – teplota odvodená z priebehu hodnôt nameraných referenčnou sondou [°C]

Pre hodnoty oxidačno-redukčného potenciálu nebolo významné robiť teplotnú kompenzáciu, keďže jednotky, v ktorých sú hodnoty zo senzoru SQUID udávané nie sú totožné s jednotkami z referenčnej sondy, prípadne senzor meria nesprávne.

Meranie prebiehalo v poradí podľa Tabuľka 2.

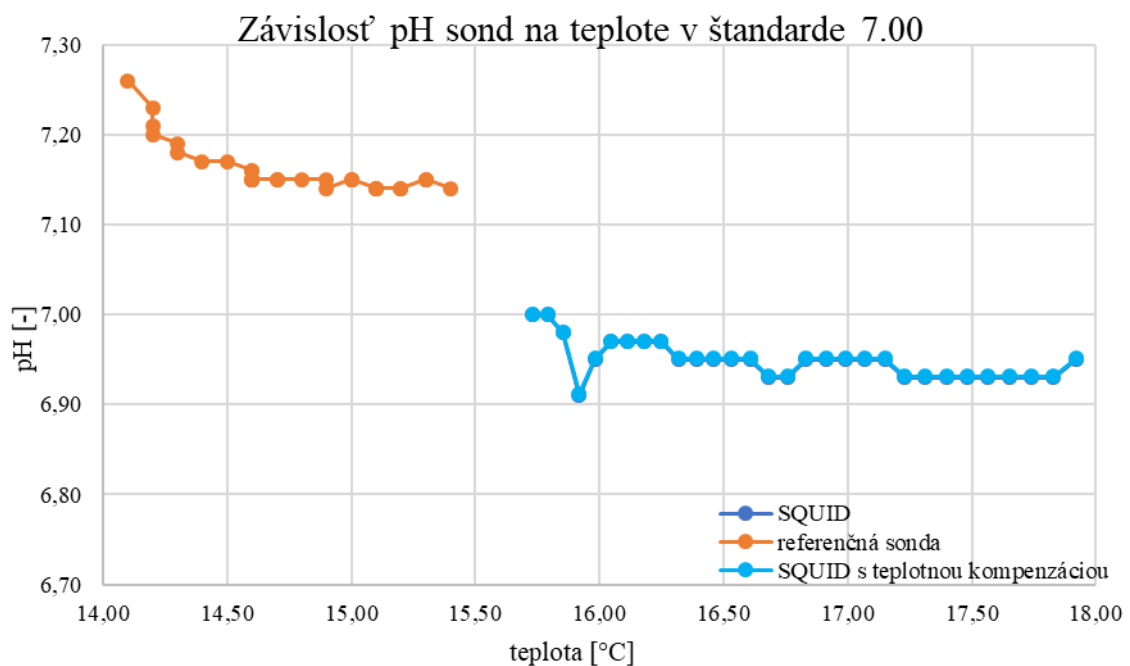
Tabuľka 2: Použité štandardy pre meranie závislosti parametrov na teplote

Parameter:	Roztok:		Sonda HACH	Sonda SQUID
	Názov:	Hodnota:		
pH [-]	Technical Buffer	10.01	14:06 - 14:11	14:00 - 14:05
	Technical Buffer	7.00	14:13 - 14:18	14:19 - 14:24
	Technical Buffer	4.01	14:26 - 14:31	14:32 - 14:37
ORP [mV]	ZoBell's Solution	221	15:08 - 15:13	15:24 - 15:29
vodivosť [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	roztok 491 NaCl/l	1000	15:00 - 15:38	



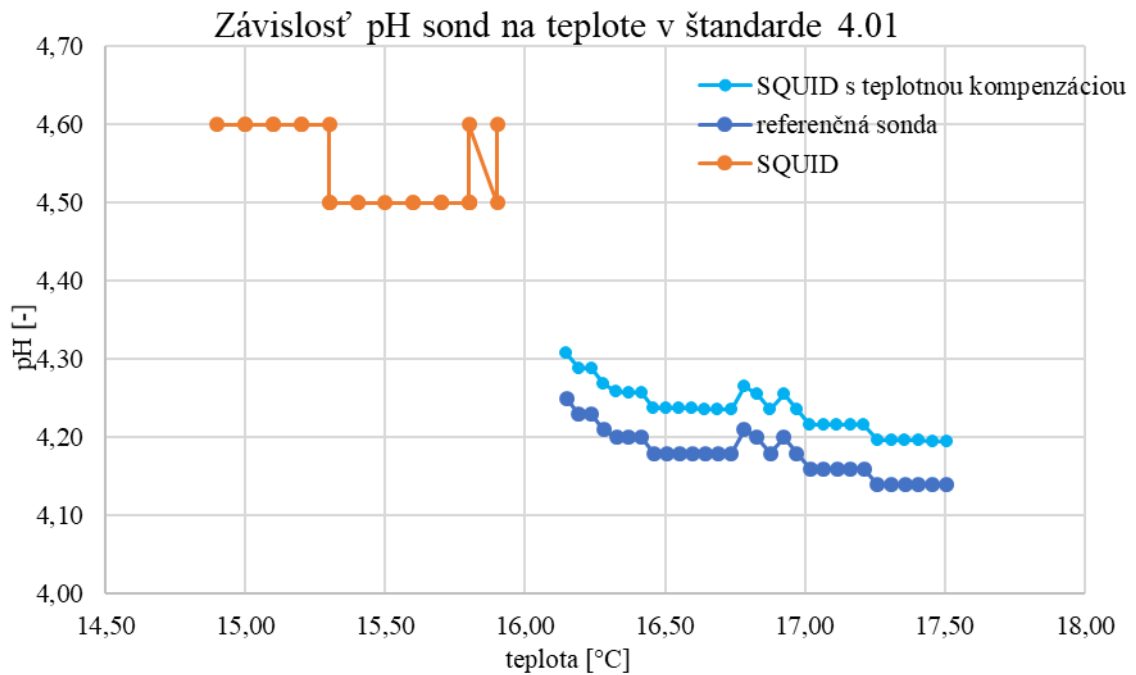
Obrázok 48: Závislosť pH sond na teplote v štandarde 10.01

Teplota prvého štandardného roztoku pH 10.01 sa pohybovala okolo 19,5 °C, čo predstavuje izbovú teplotu a to z toho dôvodu, že roztok nebol uskladnený v chlade. V prípade referenčnej sondy teploty kalibračného roztoku odpovedajú skutočne nameraným. V prípade SQUID-u ide o hodnotu odhadnutú na základe teploty roztoku keďže sa pohybuje v rozmedzí  $\pm 0,5$  °C.



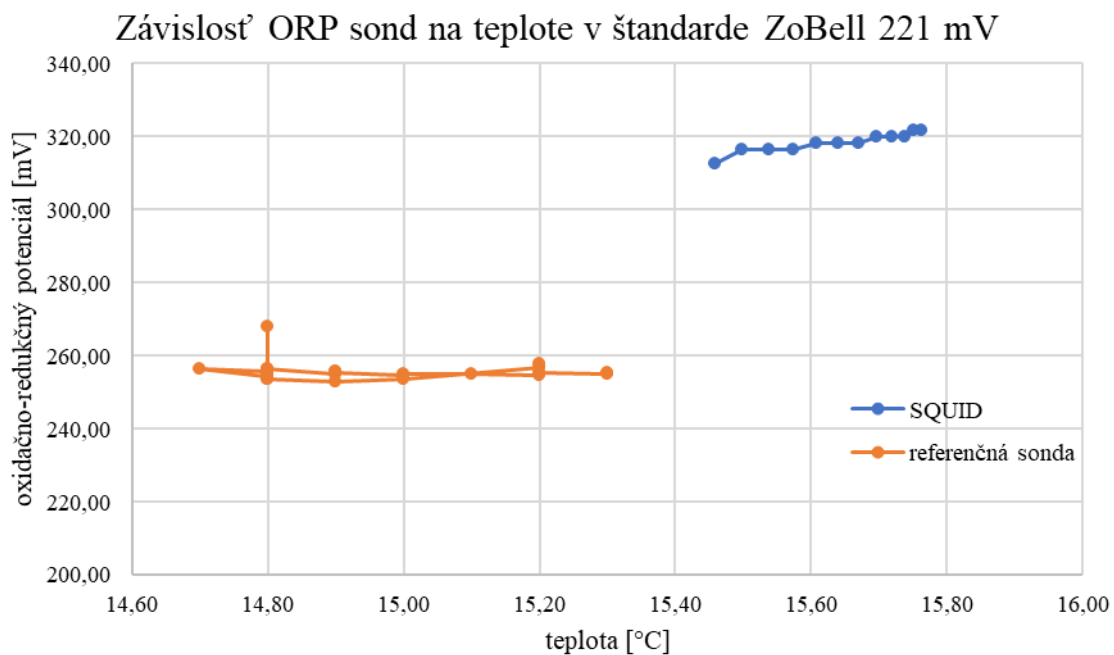
Obrázok 49: Závislosť pH sond na teplote v štandarde 7.00

V prípade kyslejšieho pH roztoku 7.01 sa vychádzalo zo závislosti teploty, ktorú namerala referenčná sonda. Roztok bol uskladnený v teplote  $+8^{\circ}\text{C}$  a s jeho manipuláciou pri izbovej teplote sa jeho teplota menila v závislosti na čase. Na základe toho bola odvodená polynomická rovnica 2. radu o spoľahlivosti 0,98. Pomocou tejto rovnice boli odvodené teploty zodpovedajúce nasledujúcim 5 minútam, kedy bol v roztoku ponorený SQUID.



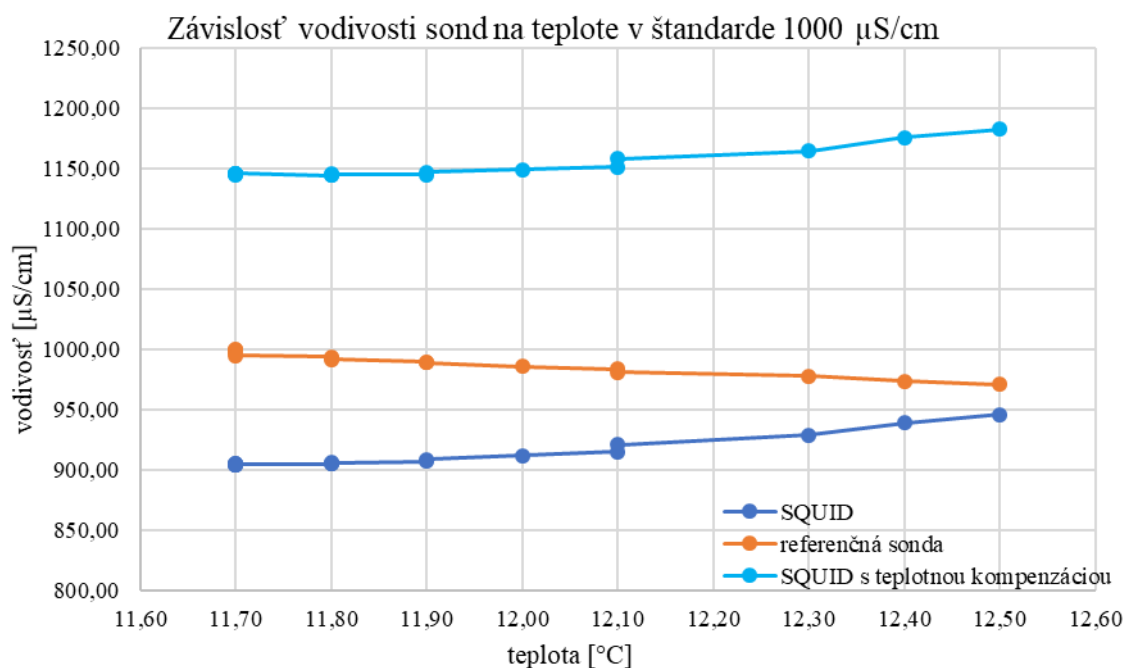
Obrázok 50: Závislosť pH sond na teplote v štandarde 4.01

Posledným pH štandardom je roztok 4.01. V tomto prípade bola, podobne ako v predchádzajúcom, odvodená polynomická rovnica 2. radu so spoľahlivosťou 0,96.



Obrázok 51: Závislosť ORP sond na teplote v štandarde 221 mV

Aj v prípade oxidačno-redukčného potenciálu sa postupovalo obdobne pričom sa tentokrát použila polynomická funkcia 3. radu o spoľahlivosti 0,90. Ide o relatívne nízku hodnotu spoľahlivosti z dôvodu neštandardného priebehu teploty nameranej referenčnou sondou. Tá s časom klesala a následne stúpala v rozmedzí  $\pm 0,6$  °C.

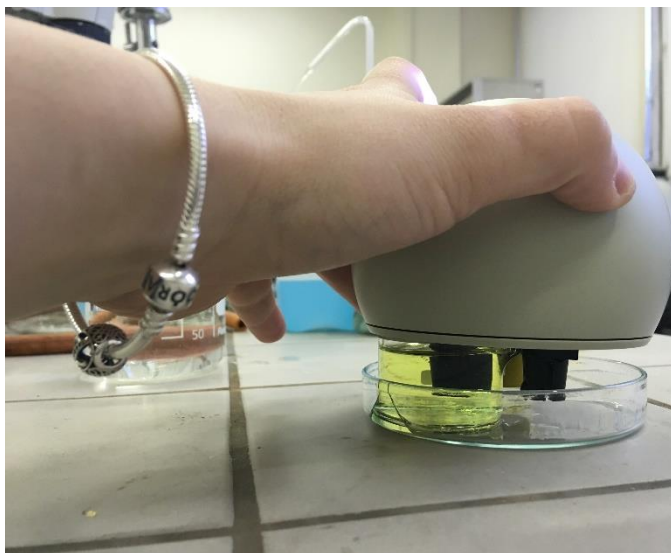
Obrázok 52: Závislosť vodivostných sond na teplote v štandarde 1000  $\mu\text{S/cm}$





V poslednom prípade sa konduktivita merala spoločne pre obe sondy.

Všetky použité kalibračné roztoky majú uvádzanú štandardnú hodnotu pri 25 °C. V našom prípade takáto teplota nebola ani pri jednom parametri dosiahnutá, preto sú namerané hodnoty senzorom SQUID aj referenčnou sondou s inou odchýlkou od štandardu ako v prípade merania vo vytemperovanej nádobe.



Obrázok 53: ORP sonda v ZoBell štandarde 221 mV



Obrázok 54: pH sonda v štandarde 7.00



Obrázok 55: Používané multimetre HQ40D od firmy HACH



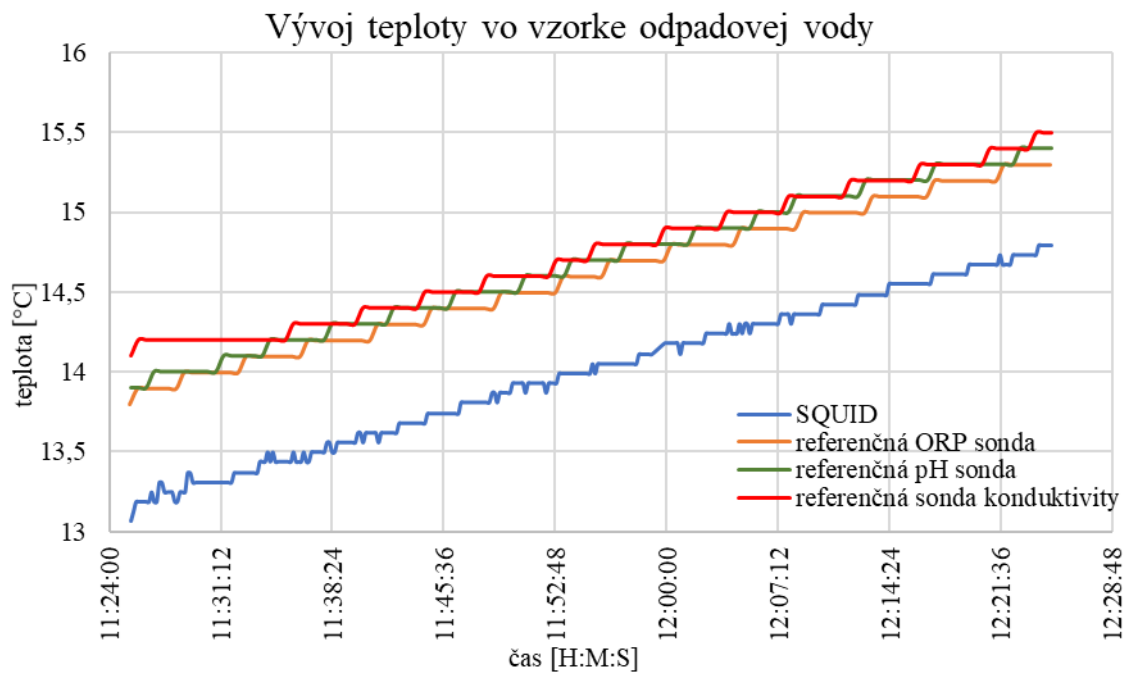
Obrázok 56: pH sonda v štandarde 7.00

### 4.1.3 Vývoj kvality vody vo vzorke odpadovej vody

Ďalšou časťou laboratórneho testovania kvalitatívnej sondy SQUID bol vývoj parametrov v odobratom vzorke odpadovej vody v priebehu jednej hodiny. Vzorka bola odobraná na Ústrednej čistiarni odpadových vôd v Prahe, konkrétne na odtoku

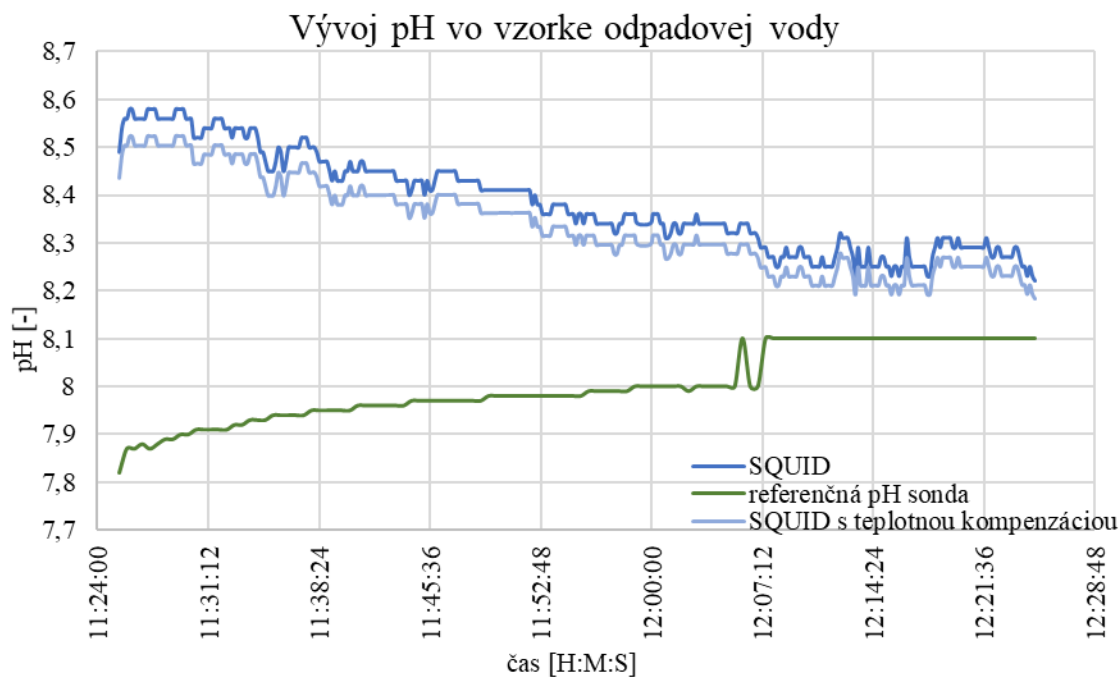


z česlovne, kde bola odpadová voda zbavená shrabkov. Vo vzorke o objeme 3 litre sa začalo merať asi po jednej hodine po odobratí zo žľabu na čistiarni pričom sa meralo nepretržite v rozsahu jednej hodiny s permanentným miešaním. Senzor SQUID zaznamenával kvalitu každých 10 sekúnd a referenčné sondy každých 30 sekúnd. Opäť bola nutná teplotná kompenzácia senzoru SQUID, keďže sa teplota odpadovej vody pohybovala v rozmedzí 13 – 15,50°C. Vývoj kvality je zrejмый z nasledovných grafov.



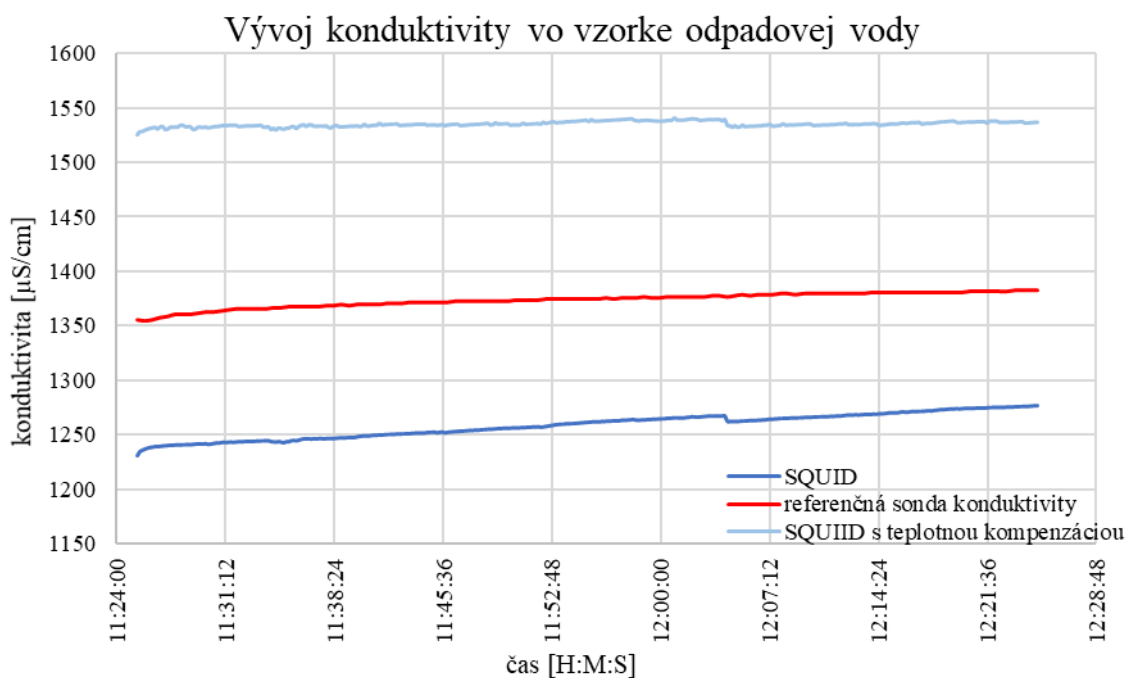
Obrázok 57: Vývoj teploty vo vzorke odpadovej vody

Teplota prirodzene rástla z dôvodu ohrievania približne 13°C odpadovej vody na izbovú teplotu. Priebeh tohto rastu je vo všetkých prípadoch približne konštantný.



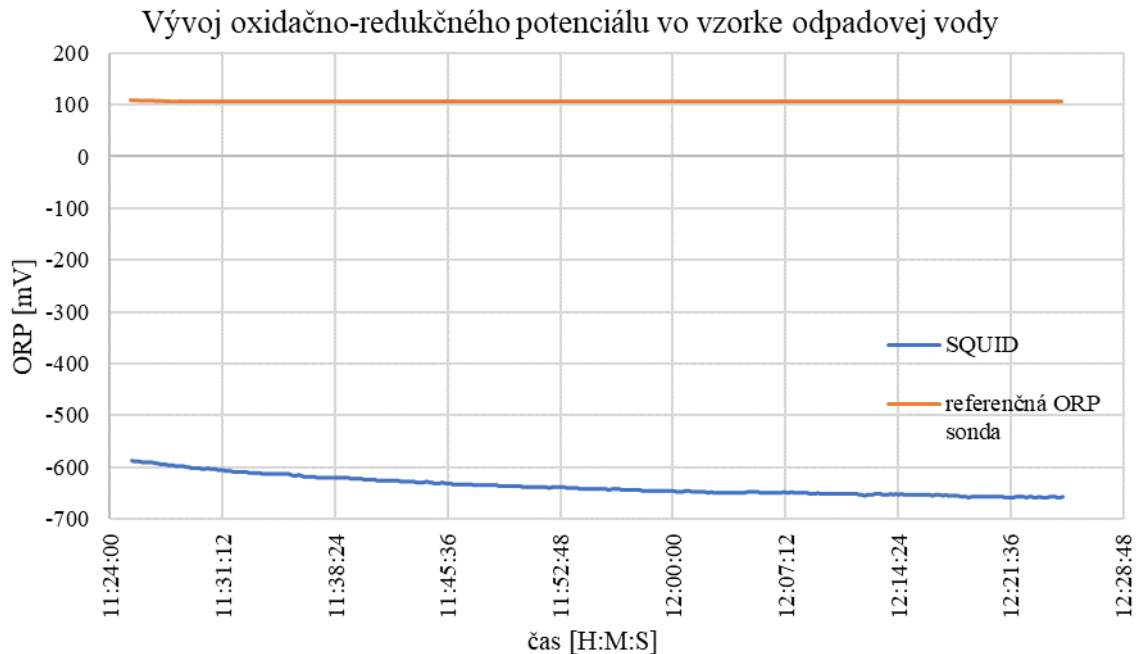
Obrázok 58: Vývoj pH vo vzorke odpadovej vody

V prípade pH je prekvapujúce, že vývoj nameraný senzorom SQUID klesá v rozmedzí 0,31 a, naopak, vývoj referenčnou sondou stúpa v rozmedzí 0,28. Je otázne prečo je to v oboch prípadoch rozdielne. Tento fakt môže byť spôsobený nedostatočným premiešavaním hladiny kde bola umiestnená sonda SQUID.



Obrázok 59: Vývoj konduktivity vo vzorke odpadovej vody

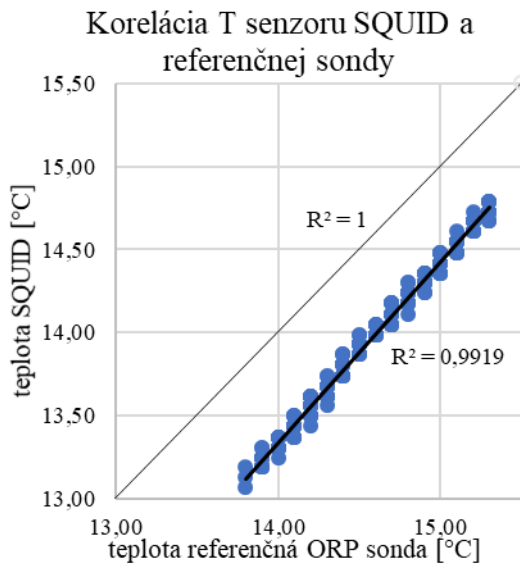
Z grafu je zjavné, že konduktivita sa vyvíjala v oboch prípadoch rovnako a to miernym stúpaním. Odchýlka medzi priebehom hodnôt nameraných sondami sa minimálne znižuje a v priemere dosahuje  $115 \mu\text{S}/\text{cm}$ .



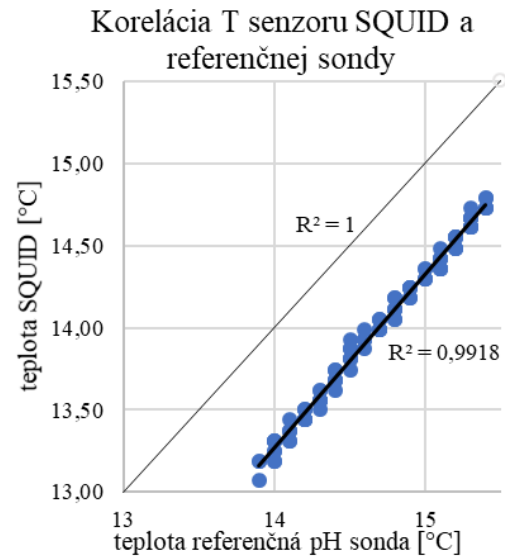
Obrázok 60: Vývoj ORP vo vzorke odpadovej vody

V poslednom prípade ide opäť o oxidačno-redukčný potenciál, ktorého hodnota sa v priebehu hodiny výrazne nezmenila. Referenčná sonda namerala pokles potenciálu o 3 mV a v prípade SQUIDU nie je možné určiť pokles, keďže nejde o mV ale o inú neznámu elektrickú veličinu, v ktorej SQUID meria.

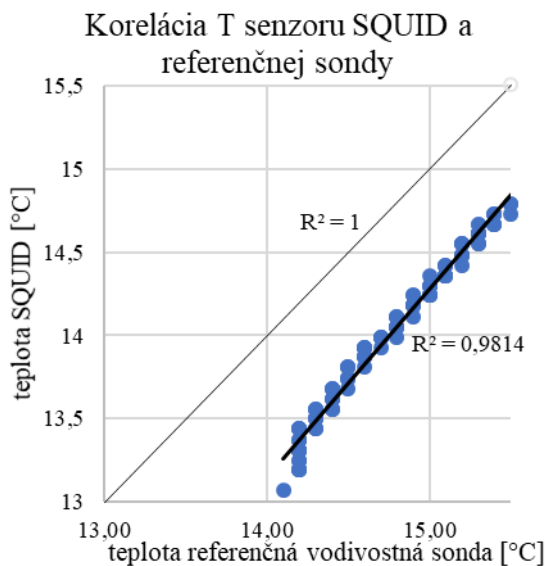
Druhou časťou vyhodnotenia kvalitatívnych parametrov je vynesenie hodnôt nameraných v rovnakom čase senzorom SQUID a referenčnou sondou a zistenie presnosti merania a odchýlku od ideálneho stavu.



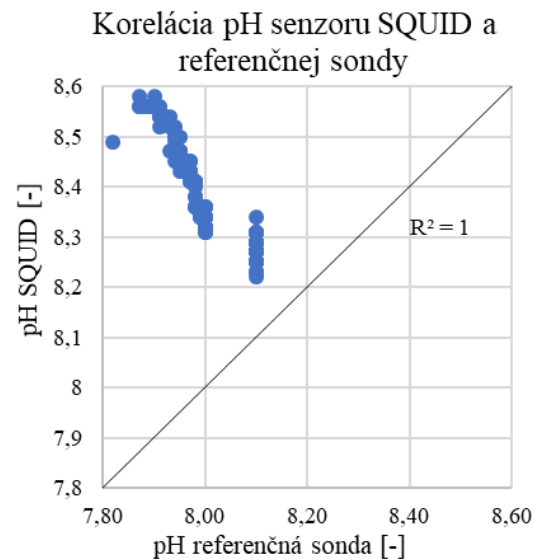
Obrázok 61: Korelácia teploty senzoru SQUID a referenčnej sondy



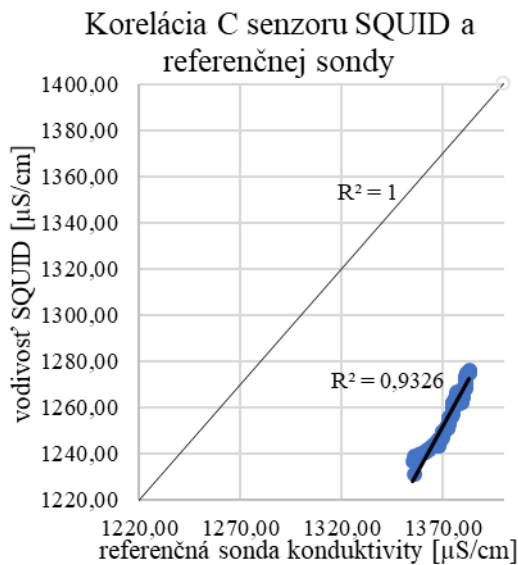
Obrázok 62: Korelácia teploty senzoru SQUID a referenčnej sondy



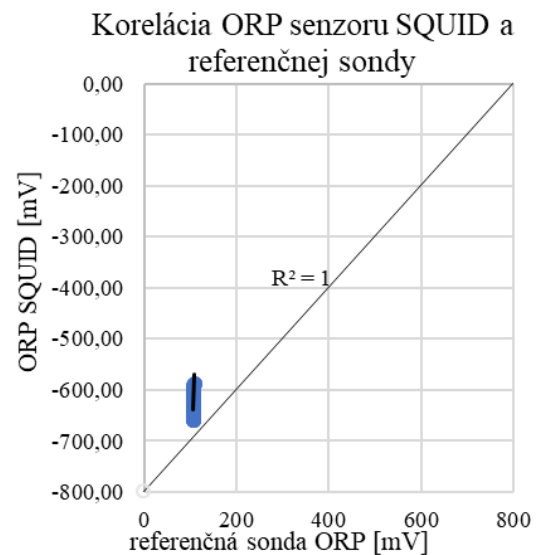
Obrázok 63: Korelácia teploty senzoru SQUID a referenčnej sondy



Obrázok 64: Korelácia pH senzoru SQUID a referenčnej sondy



Obrázok 65: Korelácia vodivosti senzoru SQUID a referenčnej sondy



Obrázok 66: Korelácia ORP senzoru SQUID a referenčnej sondy

## 4.2 Výsledky z terénneho merania

Druhou časťou testovania kvalitatívneho senzoru SQUID bol jeho aplikácia do reálneho stokového systému. Zámerom tohto merania bolo zistenie citlivosti sondy na zmeny prostredia v stokovom systéme a vývoj kvality odpadovej vody v čase. Celkovo prebehlo v teréne 7 meraní na 5 úsekoch, z ktorých mal každý iný charakter. V prípade prvých 4 úsekov išlo o zistenie odozvy sondy na zmeny akými sú spojná komory alebo prípojky, prípadne ako sa vyvíja kvalita bez dlhodobej zmeny na úseku. V každom prípade boli na začiatku aj na konci úseku aplikované do odpadovej vody referenčné sondy, ktoré merali hodnoty kvality v priebehu približne 3 minút. Takto získaná trojminútová časová bola spriemerovaná a vynesená do grafu ako referenčný bod na začiatku aj na konci úseku. V prípade 1., 2. a 4. úseku došlo k prerušeniu kontaktu pH sondy v senzore SQUID s registračnou jednotkou a z tohto dôvodu sú pre testy 201711301, 201711302 a 201711303 výsledky pH nereprezentatívne a vyradené z výsledkov. V každom grafe sú schematicky naznačené smerové pomery na konkrétnom úseku, teda šachty alebo komory, v ktorých dochádza k bočnému prítoku do hlavnej stoky. Vzhľadom ku skutočnosti, že rýchlosti a sklony nie sú na úsekoch konštantné, zmeny, ktoré sú zrejme z nameraných priebehov parametrov nie sú kompatibilné ku neznačným šachtám a komorám. Je nutné si uvedomiť meniace si sklon a rýchlosti toku, ktoré sú medzi



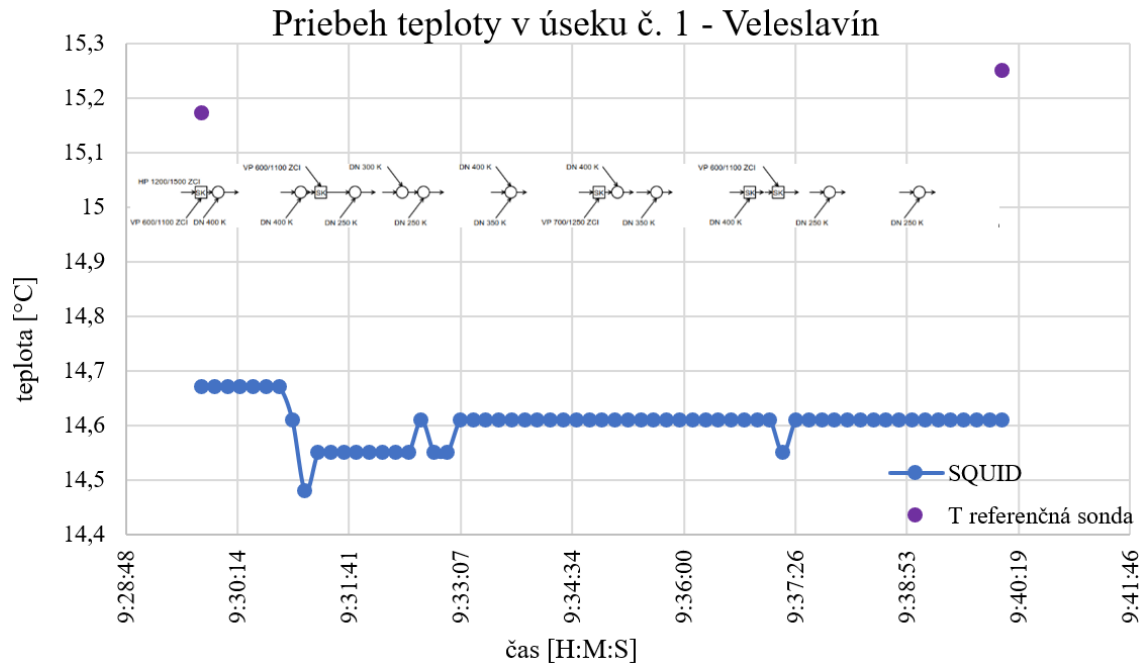
jednotlivými šachtami a interpretovať ich na význačný priebeh kvality. Celkový prehľad úsekov, ich charakteristík a časov meraní sú zrejme z Tabuľka 1.

Tabuľka 1: Charakteristiky úsekov a pokusov

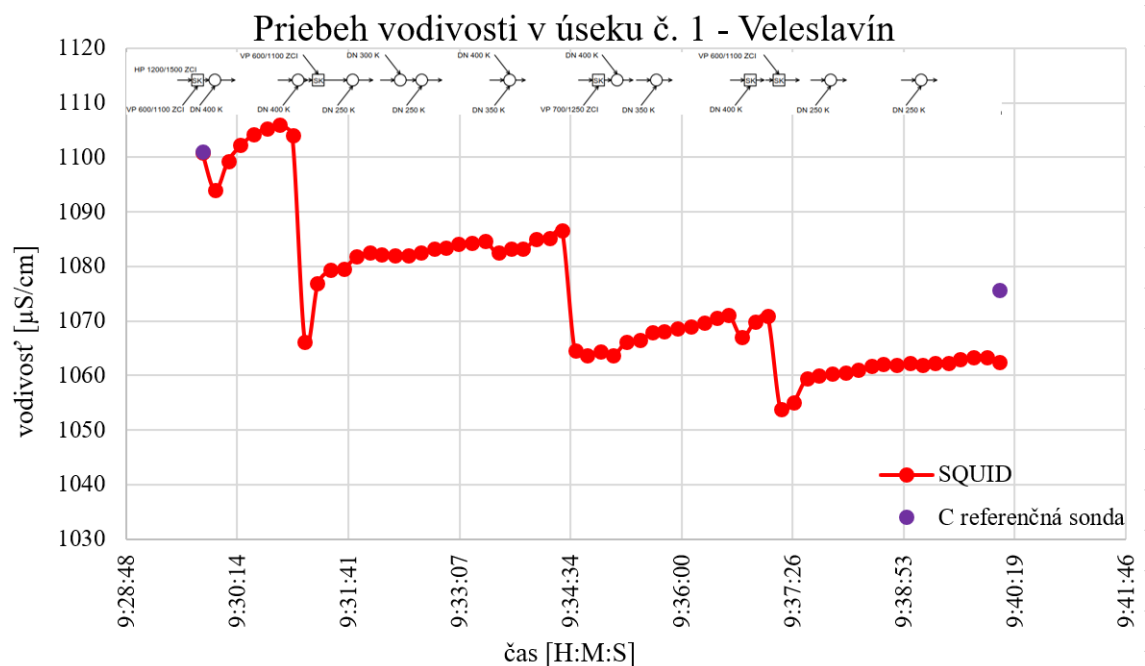
úsek č.	názov úseku	ID testu	dátum a čas merania	dĺžka úseku [m]	profil úseku	sklonové pomery [%]	priemerná rýchlosť [m/s]	Q <sub>24</sub> [l/s]
1	Veleslavín	201711301	30.11.2017 9:29:40 - 9:40:00	1774	HP 1400/1750 ZCI HP 1600/2000 ZK	25,1	2,86	159,6
2	Podviní	201711302	30.11.2017 12:31:30 - 13:16:20	2546	A 2030/300 ZCI VP 2200/3000 ZCI DN 3200 ZCI	0,73	0,95	300,2
3	Podolské nábřeží	201712141	14.12.2017 17:34:40 - 17:53:50	624	DN 2400 B DN 2800 ZCI	0,57	0,54	310,4
4	Stromovka	201711303	30.11.2017 10:29:40 - 10:58:30	1692	A 1500/1700 ZCI VP 1800/2600 ZCI	0,32	0,98	254,2
5	Eden	201712142	14.12.2017 19:57:10 - 20:27:10	2320	A 2100/2625 ZCI HP 2200/2750 ZCI	5,16	0,78	57,8
		201712151	15.12.2017 01:01:40 - 01:36:30				0,90	
		201712152	15.12.2017 07:08:00 - 07:32:50				0,64	

#### 4.2.1 Výsledky z terénneho merania v úseku 1 – Veleslavín

Prvým terénnym meraním bol úsek v pražských Dejviciach. Tak ako pri každom úseku bol aj do úseku 1 na skúšku spustený pomaranč, ktorým sa potvrdila prietoknosť úseku a priemerná rýchlosť. Pred púšťaním senzoru boli na 3 minúty vložené do odpadnej vody referenčné sondy za účelom spriemerovaného referenčného bodu. Obdobne to bolo aj na konci úseku, kde senzor SQUID doplával po 10 minútach. Pri vyhodnocovaní výsledkov z referenčných sond bol zistený výpadok ORP sondy na začiatku úseku a z tohto dôvodu nie sú hodnoty k dispozícii. Priebehy kvalitatívnych parametrov teplota, vodivosť a oxidačno-redukčný potenciál sú znázornené v nasledujúcich grafoch.



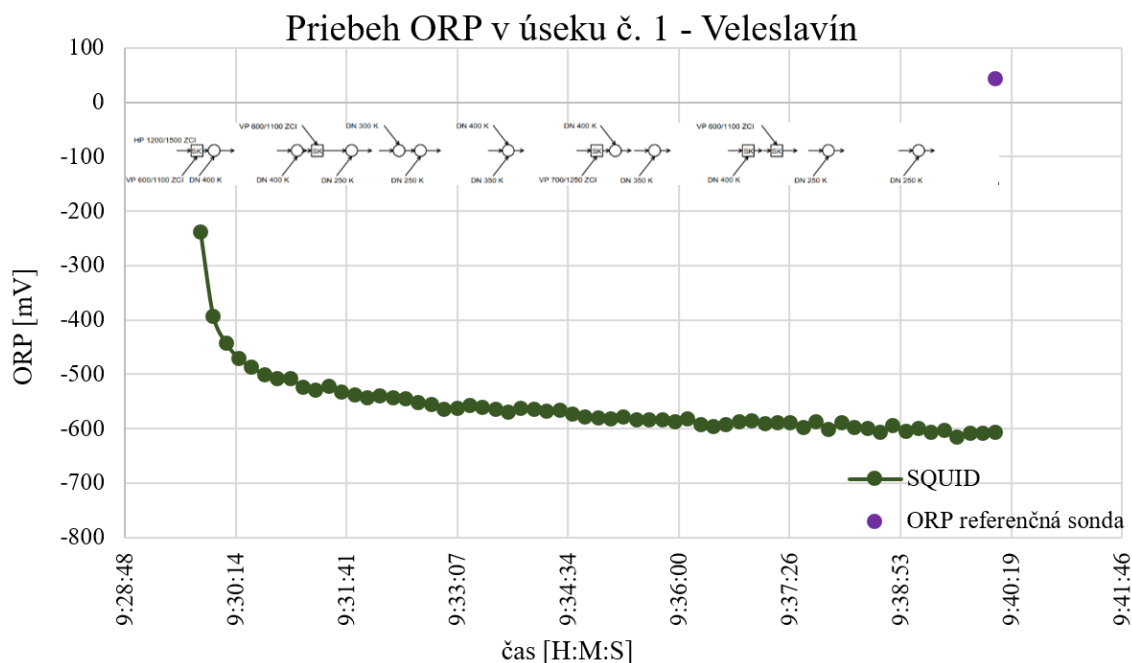
Obrázok 67: Vyhodnotenie testu 201711301 z hľadiska teploty



Obrázok 68: Vyhodnotenie testu 201711301 z hľadiska vodivosti

V prípade teploty aj vodivosti je priebeh zmien podobný. V čase 9:31:17 nastane v oboch prípadoch náhly pokles, ktorý nastane vplyvom prítoku VP 600/1100 ZCI v spojnej komore. Obdobná situácia nastane aj v čase 9:37:17, kde sa v spojnej komore pripája stoka rovnakej dimenzie VP 600/1100 ZCI. Ďalšia je zmena konduktivity, ktorá nastane v čase 9:34:34, kedy dochádza k poklesu o 3%, čo je pomerne málo ale

v celkovom koncepte ide o výraznú zmenu. V tomto mieste sa nachádza spojná komora s prítokom VP 700/1250 ZCI, ktorý avšak nijak neovplyvní teplotu. Žiadne ďalšie zmeny priebehu nie sú v tomto úseku zachytené.



Obrázok 69: Vyhodnotenie testu 201711301 z hľadiska ORP

Oxidačno-redukčný potenciál, ako posledný parameter vyhodnocovaný na tomto úseku, má klesavý priebeh ako je to u všetkých siedmich vyhodnoteniach. Odchýlka od referenčnej hodnoty na konci úseku je veľmi veľká a aj na základe tohto faktu, nie je tento priebeh reprezentatívny a použiteľný pre náš účel.

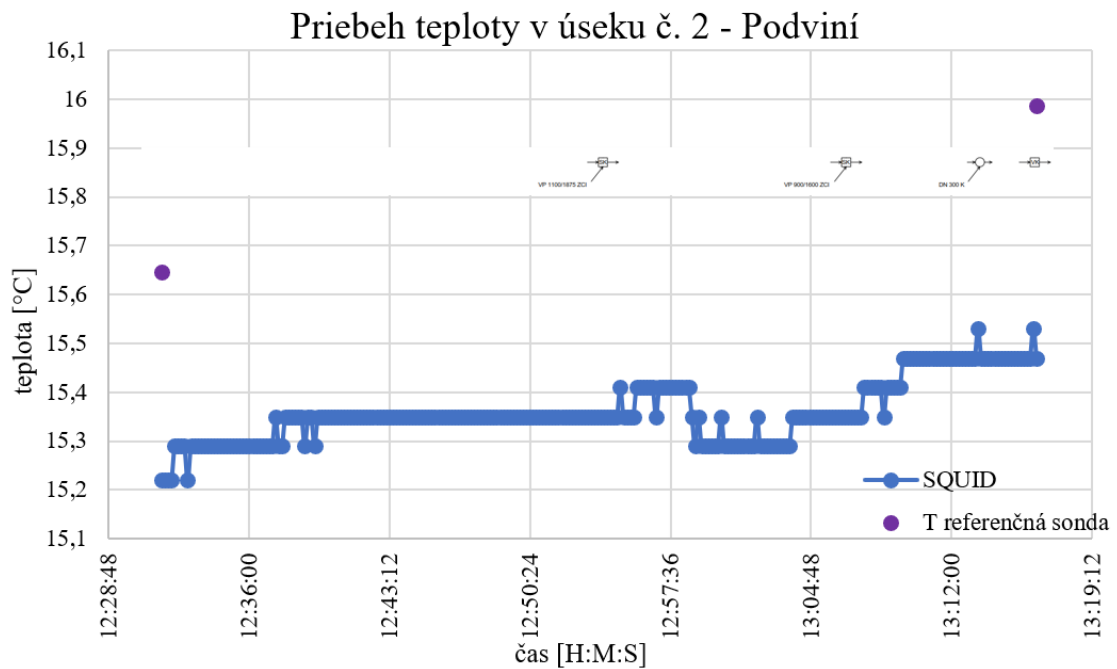
Úsek Veleslavín bol vybraný ako jeden s najväčším počtom prípojok a spojných komôr za účelom vyhodnotenia ich efektu na priebeh kvality v hlavnej kmeňovej stoke. Na základe tohto testu je možné detekovať prítoky na základe pomerne malej odchýlky kvality dopadovej hlavnej stoke, ktorá sa najvýraznejšie prejavuje práve u konduktivity.

#### 4.2.2 Výsledky z terénneho merania v úseku 2 – Podviní

Tento úsek je charakteristický razenou stokou s veľkej časti bez prípojok alebo bočných prítokov. Primárnym účelom výberu úseku Podviní bolo zachytiť zmenu, ktorá nastane v urbanizovanej časti povodia, ku ktorej dochádza asi v polovici úseku. Razená stoka je pomerne malého sklonu a veľkého profilu a tomu odpovedajú aj rýchlosti a čas

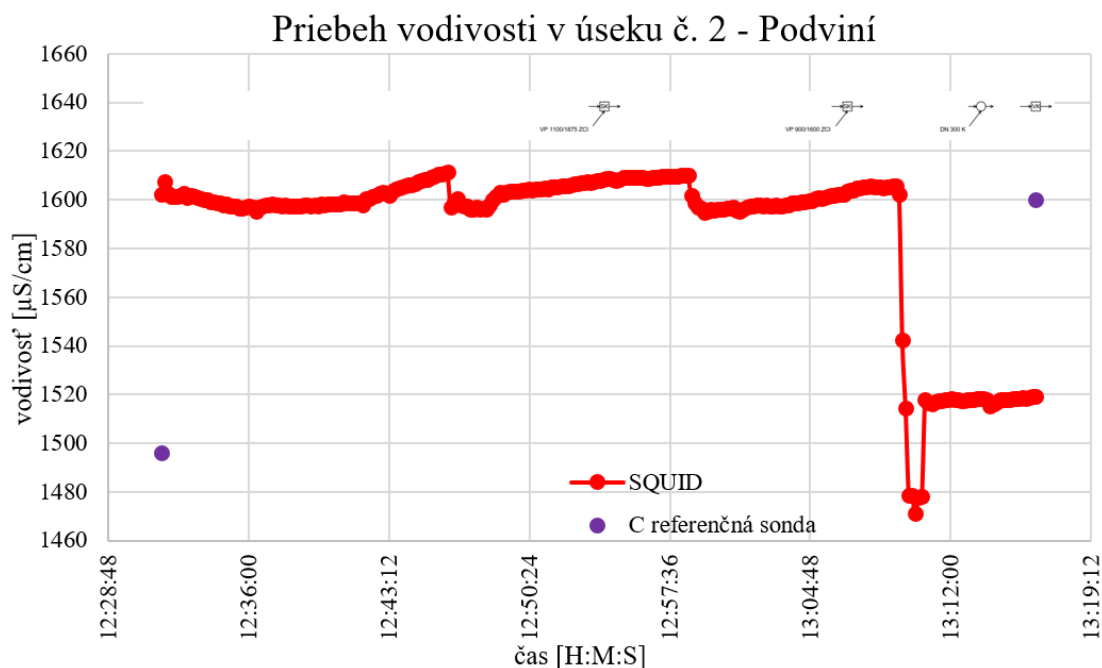


doplavu, ktorý bol asi 45 minút. Keďže ide o pomerne veľký úsek, schematický náčrt v grafe nie je dostačujúci a je vhodnejšie využiť za účelom interpretácie Prílohu č. 2.



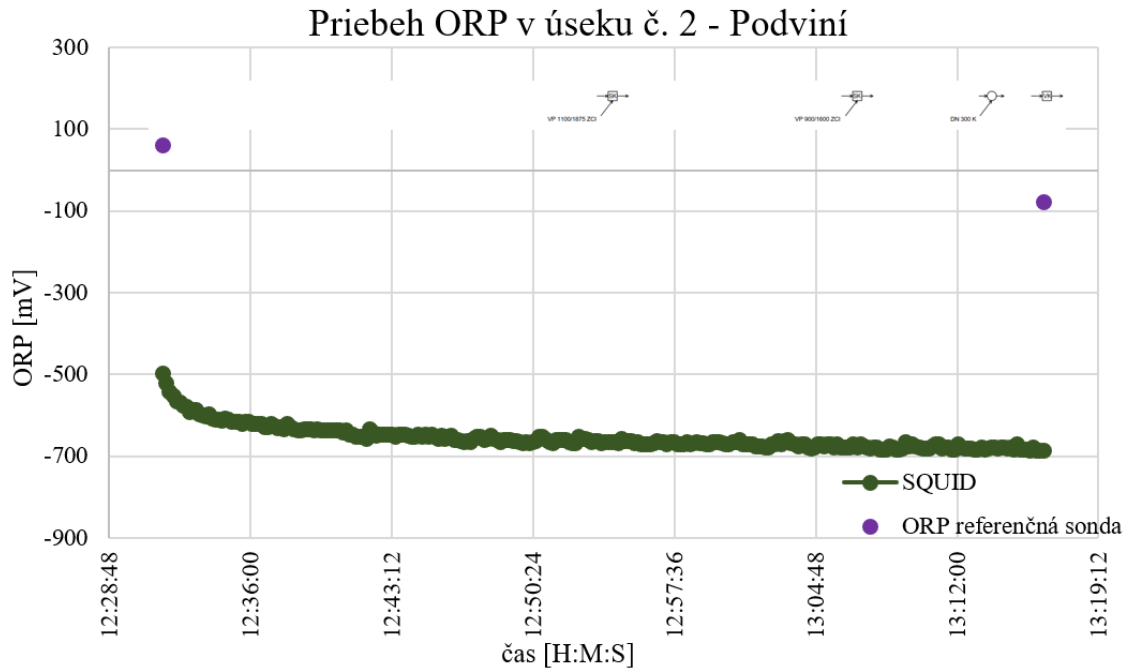
Obrázok 70: Vyhodnotenie testu 201711302 z hľadiska teploty

V prípade vyhodnotenia teploty na úseku Podviní nedochádza k výrazným zmenám, ktoré by mohli byť následkom konkrétnych bočných prítokov alebo prípojok do tejto kmeňovej stoky F. Teplota sa na úseku pohybuje v rozmedzí  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  a preto nie je možné prisudzovať akúkoľvek zmenu teploty určitej zmene na úseku.



Obrázok 71: Vyhodnotenie testu 201711302 z hľadiska vodivosti

Priebeh konduktivity je v tomto prípade pozvoľna stúpajúci až na menšie poklesy, ktoré môžu byť spôsobené prítokom balastu čistej vody, čo môže spôsobiť mierny pokles vodivosti. Zaujímavosťou je vysoká priemerná hodnota, ktorá sa pohybuje okolo 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , čo nie je úplne bežná hodnota pre odpadovú vodu splaškového charakteru. Takto vysoké hodnoty môžu byť odrazom prostredia, v ktorom je stoka razená. Prvá spojná komora, ktorá sa na úseku objavuje po 1300 metroch je komora spojná komora s prítokom VP 1100/1875 ZCI. V tejto časti úseku je pomerne veľký sklon a to 7 ‰ takže rýchlosti sú v týchto miestach väčšie ako v druhej polovici úseku. Na základe tohto faktu je pravdepodobne komorou na konci tohto úseku spôsobený pokles konduktivity v čase 12:46:22. Konduktivita v mieste na konci úseku výrazne klesne, v priebehu 1 minúty až o 8%. Ide o zmenu, ktorá je veľkou pravdepodobnosťou vyvolaná bočným prítokom VP 900/1600 ZCI v ďalšej spojnej komore. Mineralizovaná splašková voda s vyššou konduktivitou sa nariedi so splaškovou vodou z bočného prítoku, čo skokovo ovplyvní vývoj konduktivity.

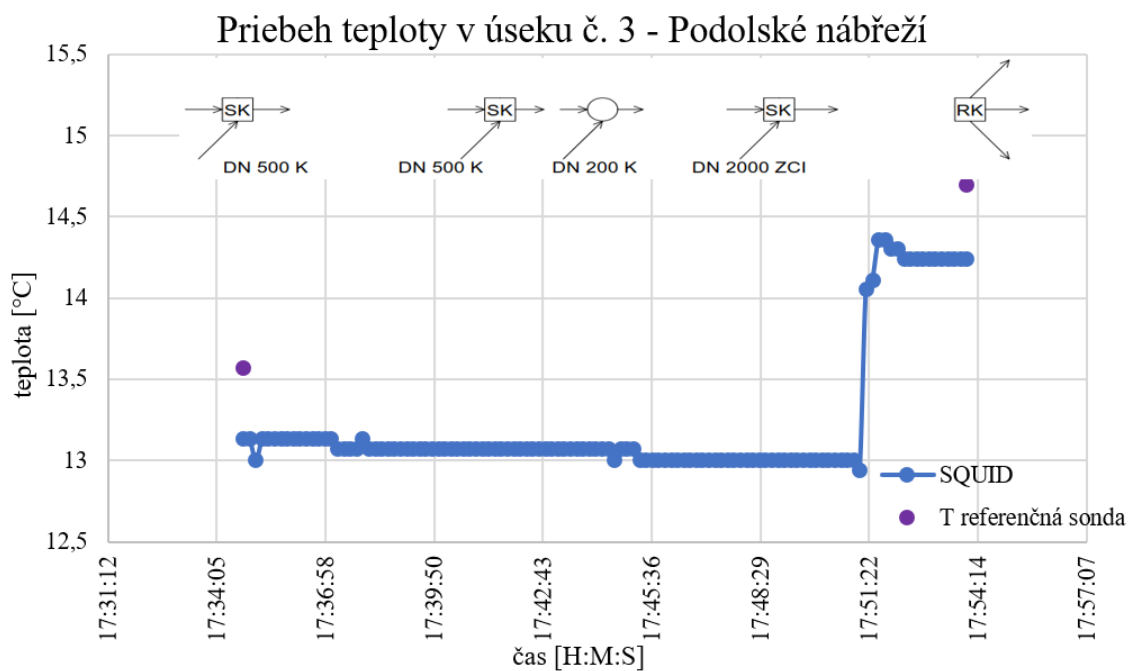


Obrázok 72: Vyhodnotenie testu 201711302 z hľadiska ORP

V prípade ORP ide o rovnaký prípad ako pri úseku Veleslavín a z rovnakých dôvodov nie je priebeh reprezentatívny a použiteľný pre náš účel.

### 4.2.3 Výsledky z terénneho merania v úseku 3 – Podolské nábřeží

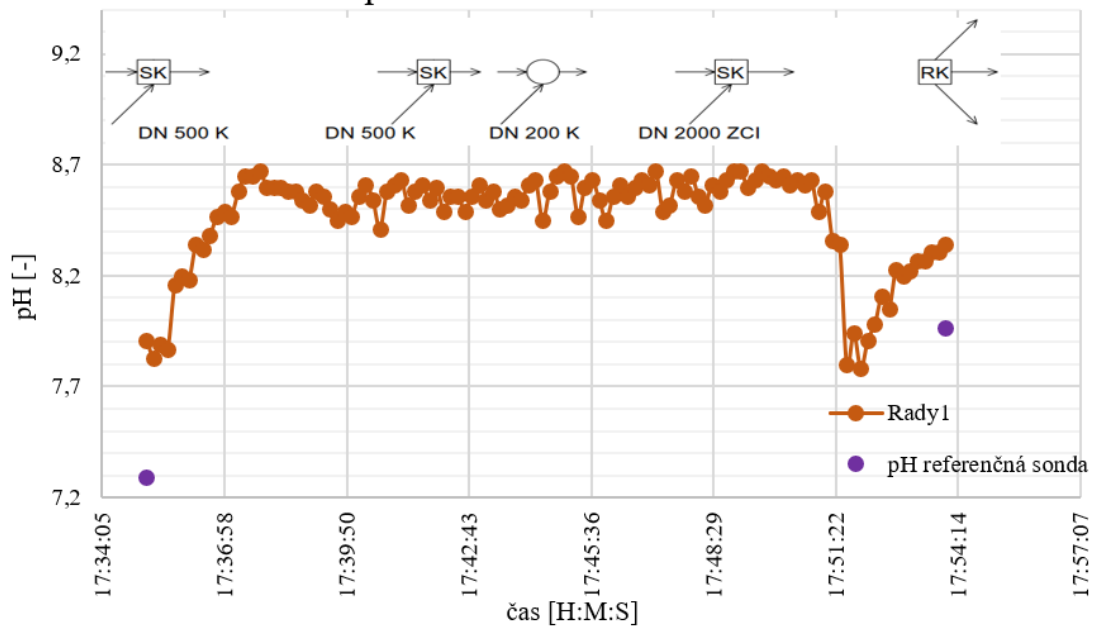
Tento úsek, ako najkratší zo všetkých vybraných, bol zvolený pre podstatný efekt spojnej komory, v ktorej sa pripája DN 2000 ZCI. Bočným prítokom priteká veľká časť odpadových vôd z Podolia a preto sa očakáva u priebehu kvality určitý odraz tejto skutočnosti. V grafoch sú opäť naznačené objekty na úseku, v ktorých môže dochádzať ku zmenám kvality. Pri meraní referenčnou ORP sondou na začiatku a na konci úseku došlo pravdepodobne k prerušeniu kontaktu medzi sondou a multimetrom a z tohto dôvodu nie sú hodnoty z tohto merania k dispozícii.



Obrázok 73: Vyhodnotenie testu 201712141 z hľadiska teploty

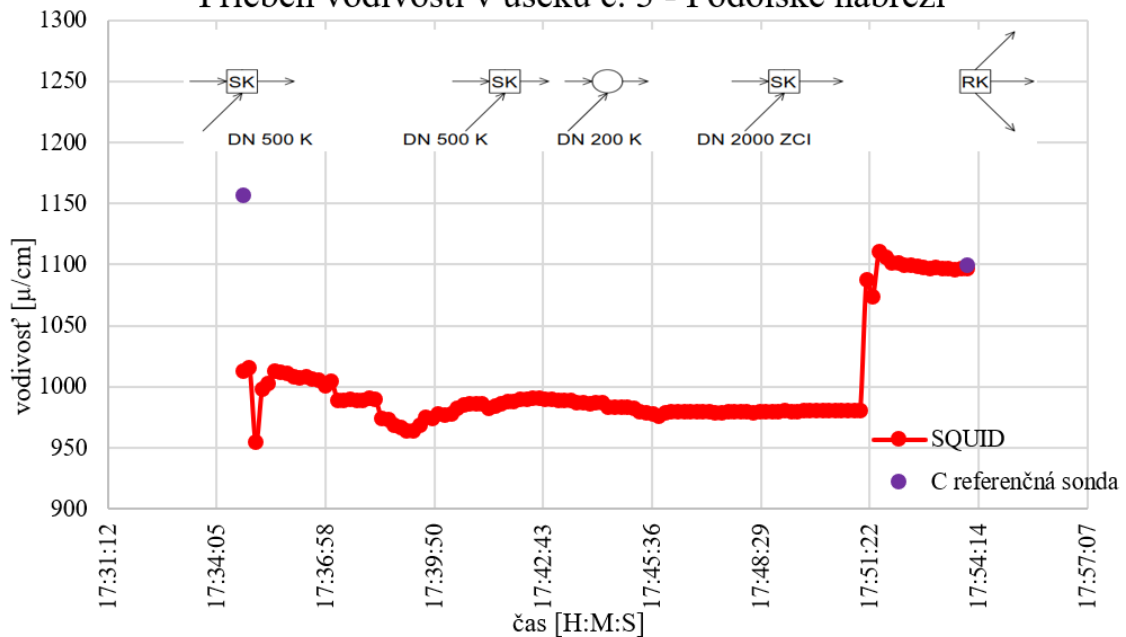
V prípade priebehu teploty sa v úseku nijak výrazne nemení a pohybuje sa s minimálnymi odchýlkami okolo 13°C. Z tohto dôvodu je otázne, či aj takéto malé zmeny ako sú zmeny ako  $\pm 0,1$  °C môžu byť spôsobené niektorým prítokom do úseku. S ohľadom na vzdialenosti šachiet a sklony medzi nimi by zmena teploty, ktorá nastane v polovici priebehu mohla zodpovedať prípoju DN 500 K. K výraznej kladnej zmene teploty o 1,3°C dochádza v spomínanej spojnej komore, kde dochádza k bočnému prítoku DN 2000 ZCI.

### Priebeh pH v úseku č. 3 - Podolské nábřeží



Obrázok 74: Vyhodnotenie testu 201712141 z hľadiska pH

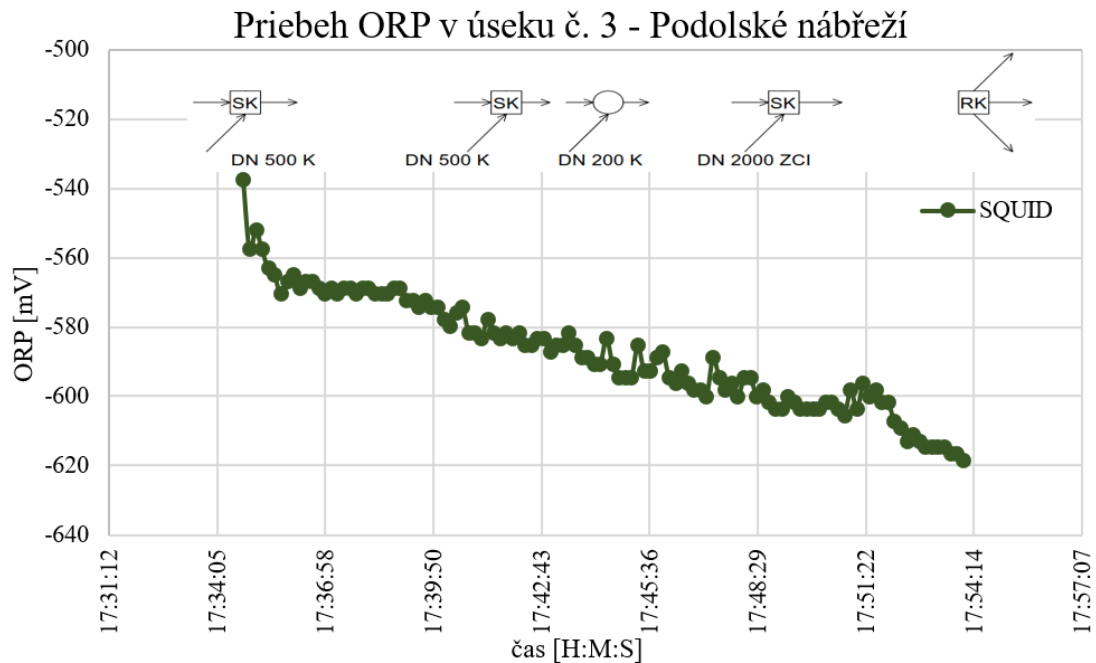
### Priebeh vodivosti v úseku č. 3 - Podolské nábřeží



Obrázok 75: Vyhodnotenie testu 201712141 z hľadiska vodivosti

Priebeh vývoja pH na začiatku má pomerne netypický charakter. Keďže referenčná sonda namerala podobnú hodnotu, vylučuje sa, že by šlo o chybu merania a pH sa skutočne v priebehu pol minúty ustáľuje z hodnoty pH 7,9 na 8,7. V ďalšom vývoji pH nie je možné detegovať prítok keďže sa pH nijak výrazne nemení. Ďalšia výrazná zmena nastáva až v spojnej komore ako je to aj u teploty. Konduktivita má takmer rovnaký

priebeh ako teplota vrátane odchýlky na začiatku úseku, ktorá je zapríčinená pravdepodobne vpúšťaním sondy, ktorá bola položená na hladinu v mieste tesne pred premiešaním odpadovej vody v hlavnej stoke s vodou z bočného prítoku DN 500 K.



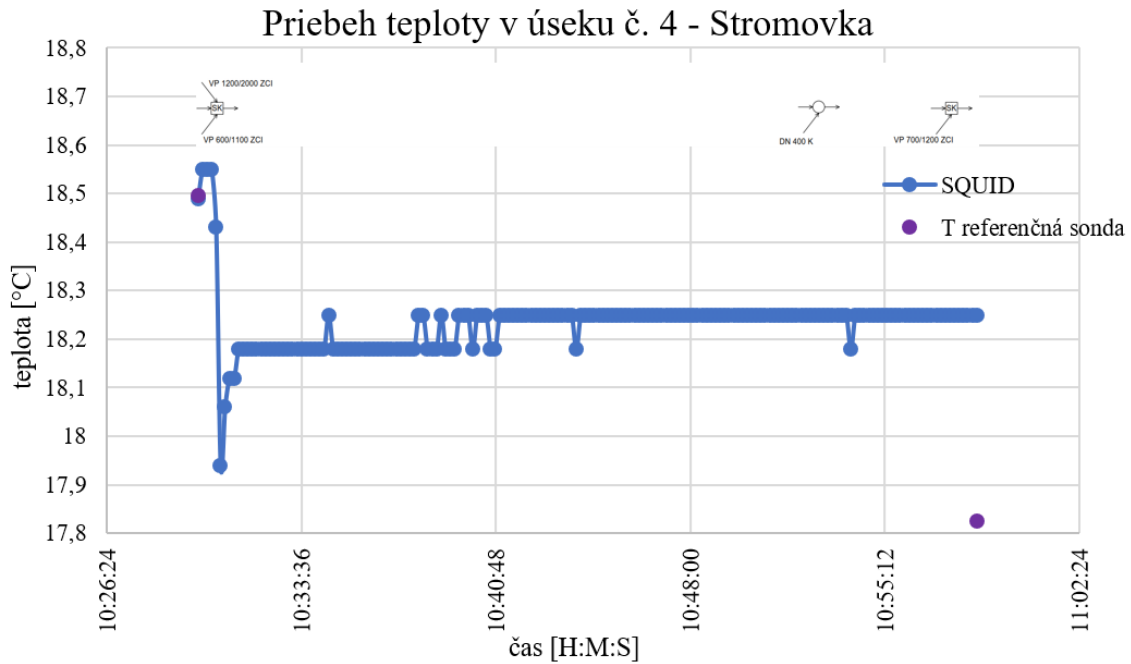
Obrázok 76: Vyhodnotenie testu 201712141 z hľadiska ORP

ORP má opäť podobný vývoj ako v predchádzajúcich prípadoch až na malú odchýlku v mieste spojenej komory. Opäť sa výsledky zo senzoru SQUID pohybujú v extrémne nízkych hodnotách ORP a preto nemôže ísť o jednotku mV.

#### 4.2.4 Výsledky z terénneho merania v úseku 4 – Stromovka

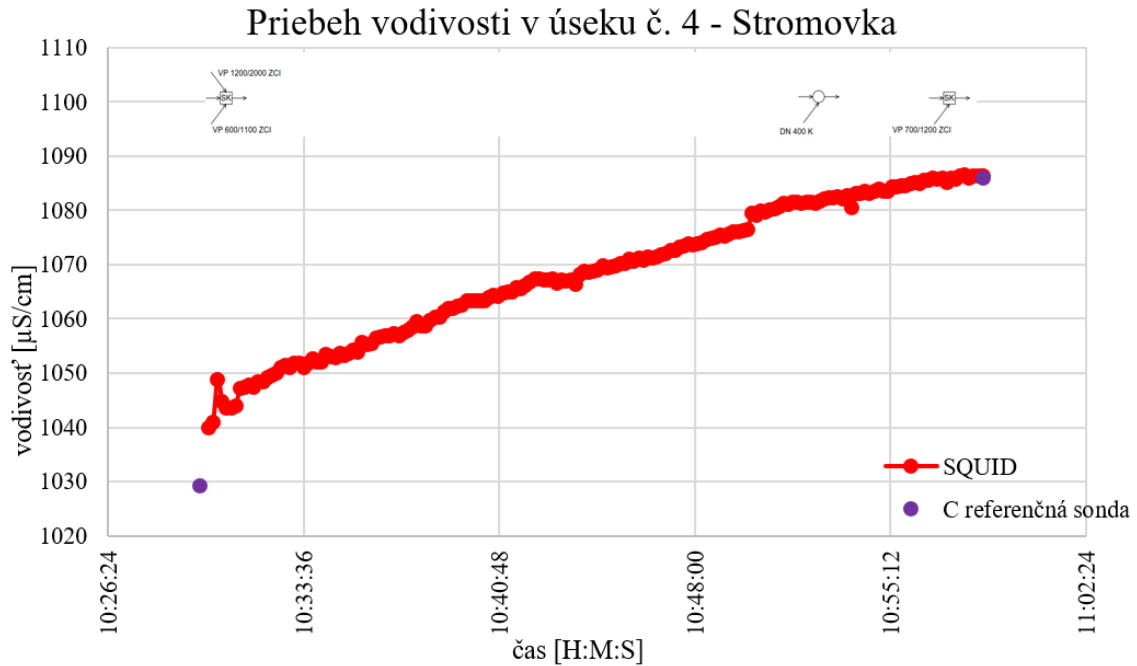
Úsek Stromovka je najstarší zo všetkých vybraných úsekov a bol zvolený na základe faktu, že odpadová voda preteká veľmi malým sklonom a nízkou rýchlosťou. Na úseku sa nachádzajú len dve spojnú komory, pričom jedna sa nachádza hneď na začiatku a pripájajú sa v nej dva bočné prítoky VP 1200/2000 ZCI a VP 600/1100 ZCI. Ďalšou spojnou komorou je komora tesne pred koncom úseku ale v tomto mieste by sa nemal do hlavnej kmeňovej stoky pripájať nijaký bočný prítok. Tretím spojným objektom je prípojka DN 400 K, ktorá odvádza časť Bubenču, no nepredpokladá sa jej významný vplyv na kvalitu v hlavnej kmeňovej stoke A.





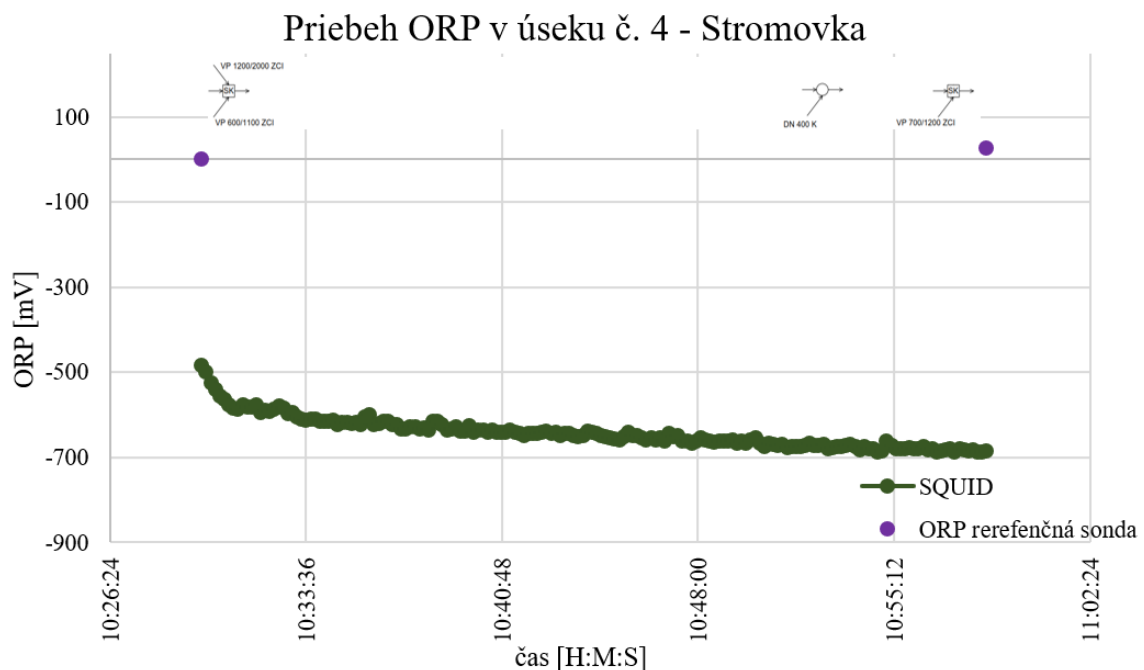
Obrázok 77: Vyhodnotenie testu 201711303 z hľadiska teploty

Tak ako sa predpokladalo, v mieste spojnej komory došlo ku skoku teploty a to o  $0,6^{\circ}\text{C}$ , čo bolo spôsobené chladnejším bočným prítokom do spojnej komory. Ďalej sa teplota nijak výrazne nevyvíjala a nedochádzalo ku skokom, ktoré by naznačovali nejakú formu vniku vôd do kmeňovej stoky A. Keď porovnáme graf teploty a graf vodivosti v čase 10:53:46 dôjde v oboch prípadoch k menšiemu poklesu. Na úseku Stromovka neboli sklony známe a preto je nemožné s určitosťou priradzovať zmeny konkrétnym objektom no v prípade tohto poklesu vy mohlo ísť o prípojkou DN 400 K.



Obrázok 78: Vyhodnotenie testu 201711303 z hľadiska vodivosti

Tak ako aj v prípade teploty sa spojná komora na začiatku prejavila aj v prípade konduktivity. Na základe zistenia, že konduktivita je zo všetkých skúmaných parametrov najcitlivejšia je jej vývoj v rámci celej dĺžky relatívne konštantný a hladký a nepredpokladajú sa nijaké výrazne vniky balastov alebo neregistrované zaústenia.

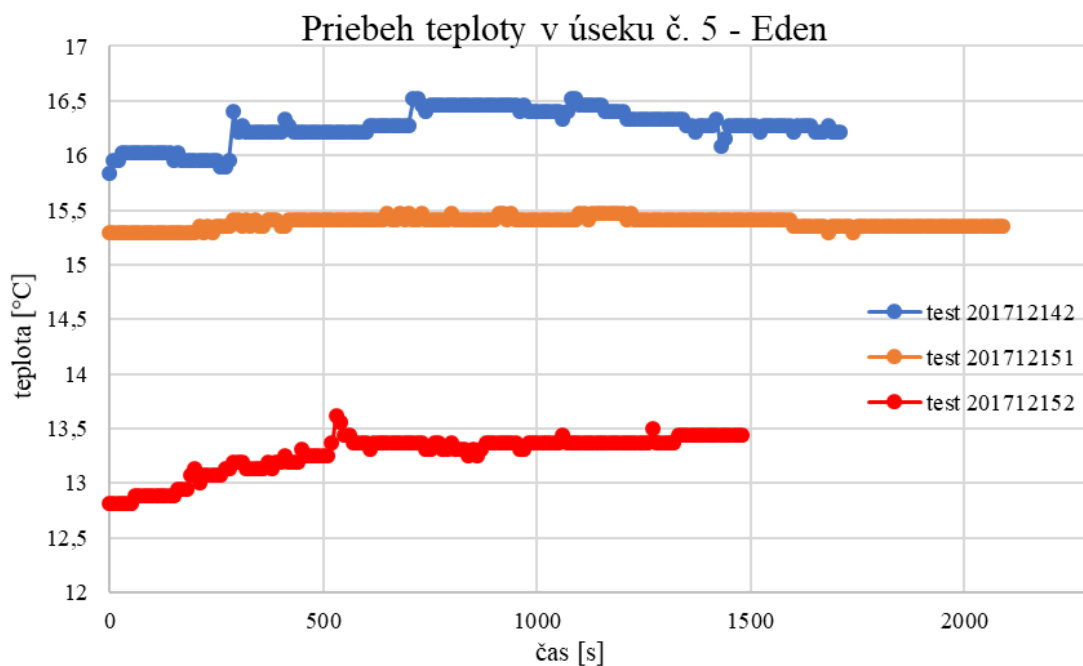


Obrázok 79: Vyhodnotenie testu 201711303 z hľadiska ORP

V prípade ORP je zas dôležité podotknúť, že tieto výsledky sú nereprezentatívne a priebeh je obdobný ako v predchádzajúcich prípadoch.

#### 4.2.5 Výsledky z terénneho merania v úseku 5 – Eden

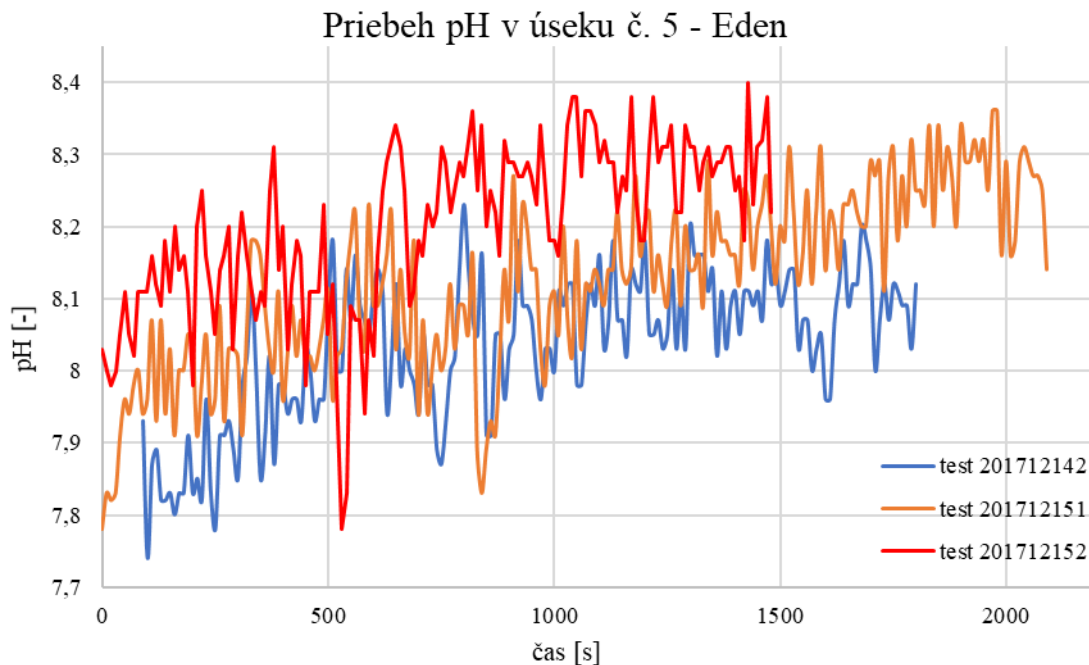
Posledný úsek Eden bol zvolený za účelom porovnania priebehu kvality v denných maximách  $Q_{\max}$  a nočných minimách  $Q_{\max}$ . Prietoky sa v čase prvého testu 201712142, ktorý prebehol v dobe večernej špičky o 20:00, pohybovali v rozmedzí 65 – 70 l/s a tomu odpovedali aj rýchlosti dotoku. Druhý test 201712151 začal o 01:00, pričom bol zachytený minimálny prítok 35 – 40 l/s a kvalita nočného odtoku. Posledné meranie 201712152 sa uskutočnilo ráno o 7:00 kedy sa prietok pohyboval opäť okolo 70 l/s. V tomto prípade bol dotok senzoru SQUID najrýchlejší s časom 25 minút. Všetky štyri parametre sa v rôznych časoch hodnotami výrazne líšili a to bolo zámerom tohto testu. Okrem zistenia rozdielov medzi rannou, večernou špičkou a nočným minimom bol zámerom testu aj jednotlivé vyhodnotenie pre každý test a parameter a to je obsahom prílohy č. 3.



Obrázok 80: Vyhodnotenie kvality na úseku 5 z hľadiska teploty

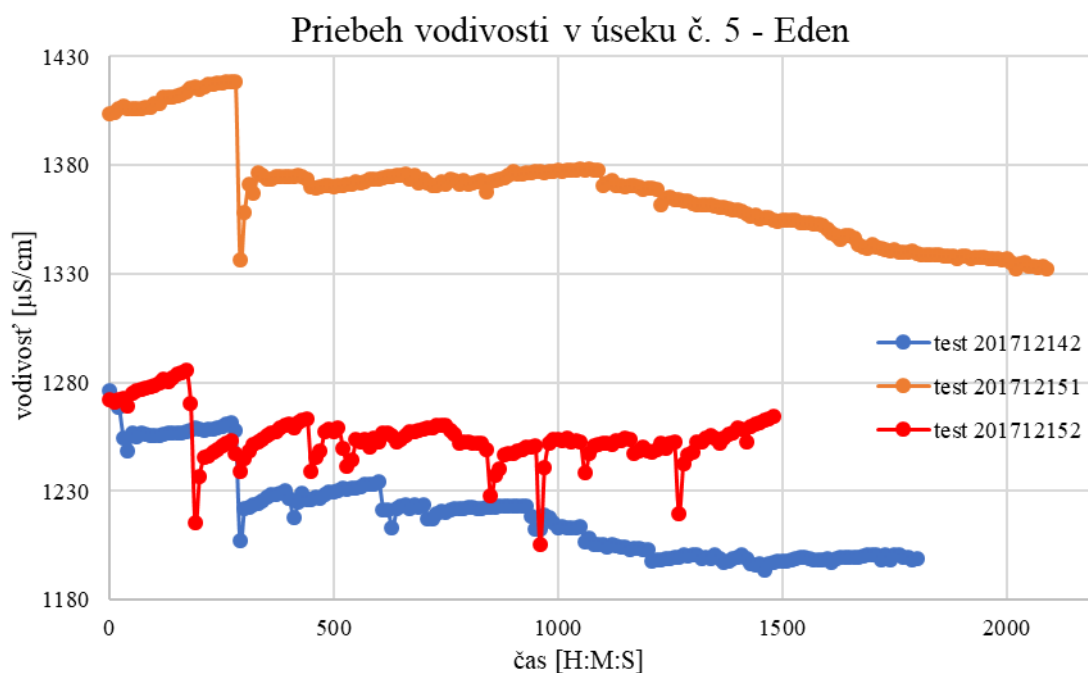
Spoločne s konduktivitou patrí teplota k najvýraznejším rozdielom hodnôt nameraných počas všetkých troch testov. Teploty za jednotlivé doby meraní odpovedajú presne hodnotám, ktoré by sa dali očakávať. V prípade testu 201712142, ktorý zachycuje večernú špičku sa teploty pohybujú najvyššie, okolo 15,3°C, čo je následkom večernej

hygieny obyvateľstva, kedy sú splašky zvedené prevažne z kúpeľní. O stupeň nižšia teplota bola nameraná v teste 201712151 a nakoniec v teste 201712152 úplne najnižšia. To je spôsobené ranými splaškami z toaliet znižujúcich priemernú teplotu v systéme.



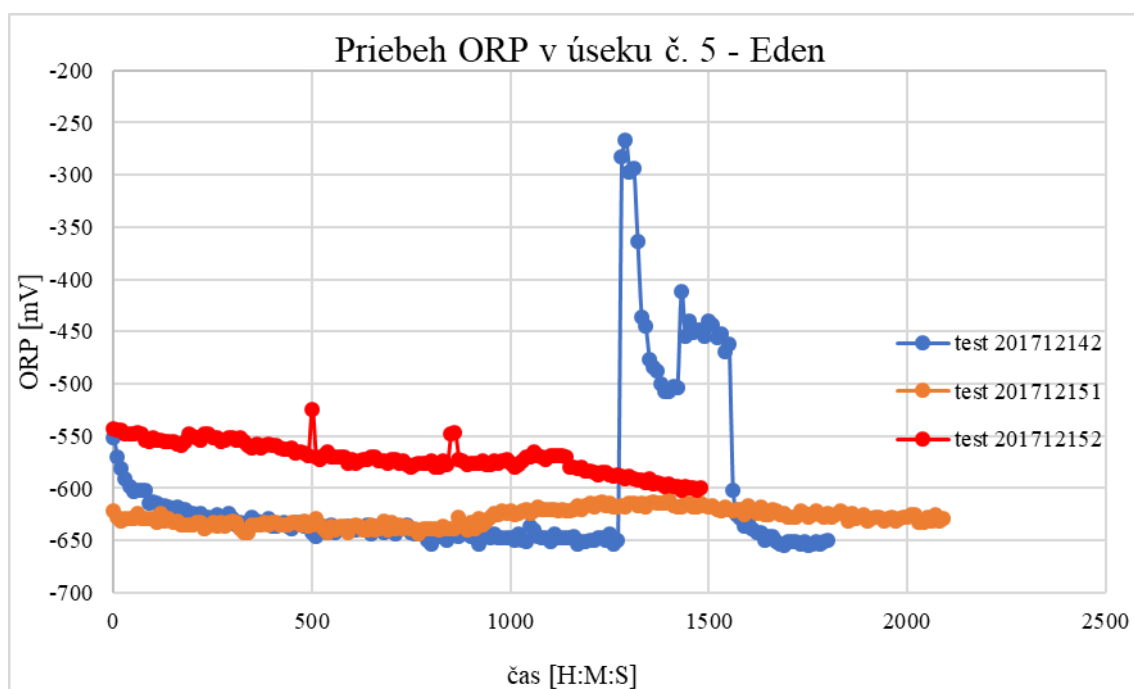
Obrázok 81: Vyhodnotenie kvality na úseku 5 z hľadiska pH

Hodnoty pH odpovedajú teplotám a platí vzťah klesania pH pri zvyšovaní teploty. To znamená, že pri poslednom meraní, kedy bola teplota najnižšia, je pH najvyššie. Vo všetkých troch prípadoch pH pomerne strmo stúpa, čo môže byť spôsobené priaznivými podmienkami v stokovej sieti a v prípade nočného minima až o pH 0,5.



Obrázok 82: Vyhodnotenie kvality na úseku 5 z hľadiska vodivosti

V rámci testovania troch stavov na úseku Eden je konduktivita najlepšie interpretovateľná na zmeny v súvislosti s objektami na stokovej sieti. V tomto prípade je však podstatné porovnať jej priebeh v troch rôznych situáciách. V prípade prvého testu 201712142 je priebeh typický a veľmi podobný predchádzajúcim úsekom. Výrazná zmena nastáva pri nočných minimách kedy sa hodnoty posúvajú o  $150 \mu\text{S}/\text{cm}$ , čo predstavuje asi 12%. Tento skokový nárast konduktivity môže byť spôsobený charakterom balastov s vysokým obsahom minerálov, ktoré môžu unikať do stokovej siete.

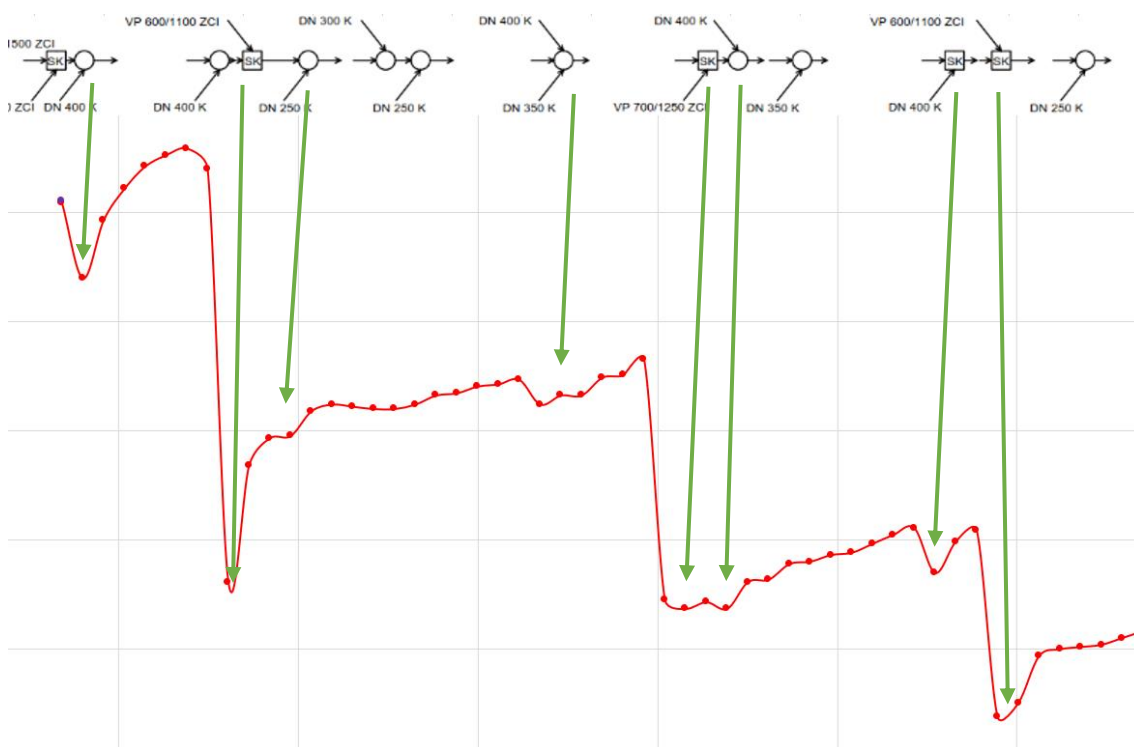


Obrázok 83: Vyhodnotenie kvality na úseku 5 z hľadiska ORP

Pribeh a hodnoty oxidačno-redukčného potenciálu sú obdobné ako pri ostatných úsekoch až na menšie odchýlky pri ranných maximách a výraznú 5 minútovú odchýlku pri večernom minime. S veľkou pravdepodobnosťou ide v obidvoch prípadoch o nepresnosť merania, prípadne výpadok keďže v danom mieste nie sú nijaké známe prítoky do zberača a zmeny sa u ostatných parametrov neprejavili.

## 5 DISKUZIA

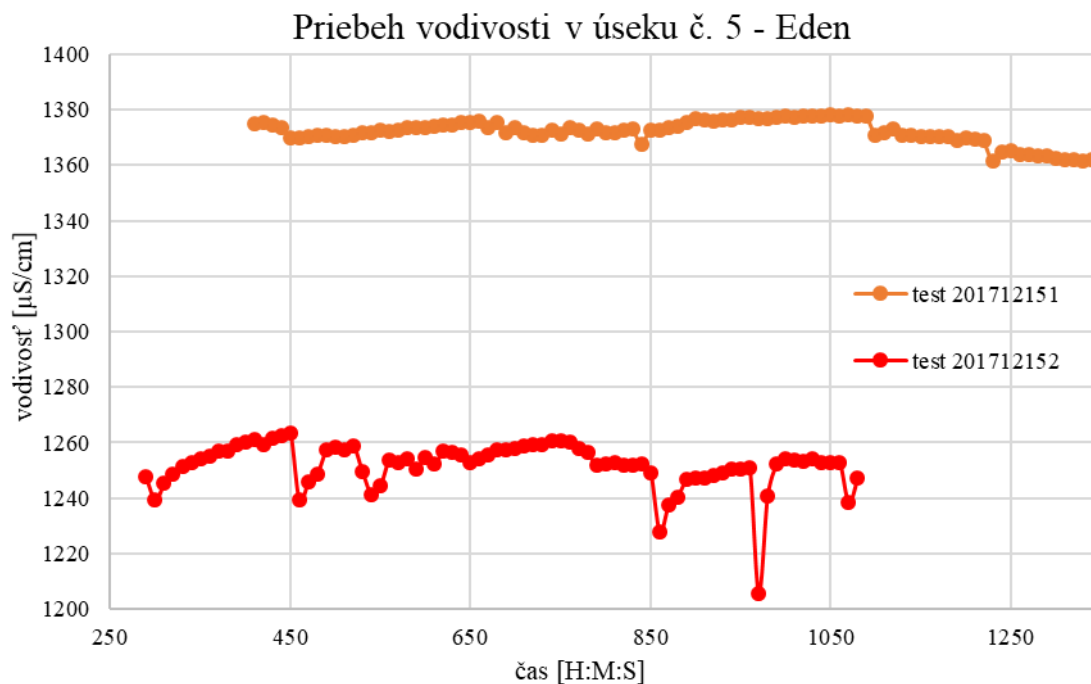
Zmeny v kvalite odpadovej vody prebiehajú bezpochyby aj v úsekoch s menšími prítokmi a zaústeniami a v grafickom zobrazovaní tohto priebehu je veľmi dôležité brať ohľad na mierku grafov a zobrazení. V našom prípade sa zobrazovali grafy vo veľmi malej mierke a v prípade malých prípojok ako DN 250 – 400 nebolo možné registrovať zmenu v priebehu kvality ľudským okom. V prípade zobrazovania priebehu kvalitatívnych parametrov, ktoré namerá senzor SQUID, konkrétne test 201711301, ktorý prebehol v úseku Veleslavín, sa priebeh konduktivity výrazne zmenil v troch bodoch. Keby si priebeh rozoberieme detailnejšie tak zistíme, že aj mnohé menšie zmeny v konduktivitě majú svoje opodstatnenie (Obrázok 84).



Obrázok 84: Detailný rozbor zmien v priebehu konduktivity a ich aplikácia na objekty úseku Veleslavín



V druhom rade je vhodné podotknúť fakt, že existuje určitá závislosť medzi rozptylom nameraných hodnôt a hodinou kedy je senzor testovaný. Na základe výsledkov z testu 201712151 a 201712152 na 5. úseku Eden. V prípade testu 201712151, ktorý prebehol počas nočných miním je rozptyl vo vybranej časti úseku  $16,46 \mu\text{S}/\text{cm}$  a v prípade druhého testu je na rovnakom úseku kolísanie v rozmedzí  $57,80 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Pre ukážku bola opäť vybraná konduktivita ako parameter najcitlivejší na zmeny. Z tejto myšlienky teda vyplýva, že v závislosti na čase merania počas 24 hodín je okrem priemernej hodnoty parametru rozdielny aj rozptyl hodnôt.



Obrázok 85: Rozdiel rozptylov vodivosti odpadovej vody v jednom úseku v závislosti na čase merania



## 6 ZÁVER

Transportné a transformačné procesy látok v odpadovej vode sú ťažko merateľné a vzhľadom na sofistikovanosť systému aj náročné na modelovanie. Kvalitatívna sonda SQUID vznikla za účelom popísať priebeh kvality v štyroch vybraných parametroch a tak čiastočne znázorniť jej vývoj v čase a priestore. Hlavným cieľom tejto práce bolo laboratórne a terénne otestovať sondu v spolupráci s referenčnými sondami a štandardnými roztokmi, zistiť presnosť merania a v neposlednom rade interpretovať výsledky. Po niekoľkých experimentoch v laboratóriu sa výsledky vyhodnotili so zistením, že sonda je v laboratórnych podmienkach celkom presná v prípade hodnôt pH a teploty, pri ktorých sú odchýlky od skutočných hodnôt v rozmedzí 1-5%. V prípade konduktivity merala sonda s väčšou nepresnosťou, v niektorých prípadoch aj 15%. Vyhodnotenie ORP je v prípade kvalitatívnej sondy SQUID veľmi nepresné. So znižovaním hodnoty ORP sa nepresnosť zvyšuje až dosahuje nereálnych hodnôt. Senzor pravdepodobne meria v jednotkách, ktoré nie sú kompatibilné s jednotkami štandardu alebo referenčných sond (mV). Terénne testovanie prebehlo v rôznych podmienkach a časoch a výsledky s úvahou hodnôt referenčných sond z terénneho merania sú až na hodnoty pH v porovnaní z laboratórnymi výsledkami výrazne nepresnejšie. Pozitívny prínos má zistenie, že sonda dokáže skutočne detegovať prítoky do testovaného úseku a to prednostne vodivosnou sondou, ktorá je významne citlivá na zmeny konduktivity v meranom prostredí. O niečo menej sa prejavili zmeny u teploty, kde ale bola detekcia možná už pri malých zmenách. Hodnoty pH boli pomerne konštantné a zmeny sa prejavovali len pri skutočne veľkých prítokoch. V poslednom rade oxidačno-redukčný potenciál, ktorého vyhodnotenia sú nepoužiteľné pre náš účel. Celkovo teda hodnotím senzor SQUID prínosný v zmysle posudzovania váhy kvality bočných prítokov na kvalitu v hlavnej stoke a v druhom rade na vyhľadávanie rozsiahlych netesností v súvislosti na základe zmien teploty a konduktivity. Pre zisťovanie presných hodnôt v čase a priestore nie sú výsledky dostatočne reprezentatívne. V tejto práci sa testovala verzia 2, ktorej interval meraní je 10 sekúnd a to je pomerne veľké rozpätie pre úseky s rýchlosťami okolo 2 m/s alebo viac. Priebeh kvality by sa výrazne upravil skrátením intervalu a detekcia by tak bola presnejšia a pre praktické účely využiteľná.



## 7 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] KREJČÍ, Vladimír. Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup. Brno: Noel 2000, 2003. ISBN 80-860-2039-8.
- [2] PITTER, Pavel. Hydrochemie. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-807-0809-280.
- [3] BUTLER, David a John W. DAVIES. Urban drainage. New York: E, 2 000. ISBN 978-041-9223-405.
- [4] HUISMAN, Jacco L. Transport and transformation processes in combined sewers. Zürich, Switzerland, 2001. Doctoral thesis. Technische Wissenschaften ETH Zürich. Vedoucí práce Willi Gujer.
- [5] Gruber, G., Winkler, S., Pressl, A. (2005). Continuous monitoring in sewer networks an approach for quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies. *Water Science and Technology*, 52 (12), pp. 215-223. Cited 27 times.
- [6] Schilperoort, R., Hoppe, H., De Haan, C., Langeveld, J. (2013). Searching for storm water inflows in foul sewers using fibre-optic distributed temperature sensing. *Water Science and Technology*, 68 (8), pp. 1723-1730.
- [7] Ort C.\* and Siegrist H.R. (2009) Assessing wastewater dilution in small rivers with high resolution conductivity probes. *Water Science & Technology* 59(8), 1593-1601
- [8] 7 th IWA Conference on Micropollutants and Ecohazards, 13-15 July 2011, Sydney, Australia. Presentation: A multi-tracer approach for assessing the influence of wastewater effluents in freshwater systems. (Williams M., Kumar A., Lawrence M., Ort C., Hambly A., Khan S., Kookana R.)
- [9] „Sewer-Ball“ – mapping the spatio-temporal distribution of wastewater parameters in sewers, A. Koller ,C. Ort ,C. Ebi, Eawag, Duebendorf, Switzerland



- [10] HQD Intellical elektrody | Hach Česká republika - Přehled | Hach [online]. [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <https://cz.hach.com/pristroje-hqd-elektrody-intellical/hqd-intellical-elektrody/family?productCategoryId=25113568060>
- [11] PH Measurement in industry [online]. [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <http://www.hyfoma.com/es/contenido/tecnologia/instrumentacion/analisis/ph-acidez/>
- [12] Temperature Compensation Algorithms for Conductivity | Analytic Expert [online]. [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <https://www.analyticexpert.com/2011/03/temperature-compensation-algorithms-for-conductivity/>
- [13] Hourly intensity of precipitation and flood runoff hydrograph from July.. [online]. [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/235967695\\_fig2\\_Fig-2-Hourly-intensity-of-precipitation-and-flood-runoff-hydrograph-from-July-31-1991](https://www.researchgate.net/figure/235967695_fig2_Fig-2-Hourly-intensity-of-precipitation-and-flood-runoff-hydrograph-from-July-31-1991)
- [14] Mapping environmental variables in sewers (TransDrugS) - Eawag [online]. [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <http://www.eawag.ch/en/departement/sww/projects/transdrugs/>
- [15] Home · eawag-squid/SQUID Wiki · GitHub [online]. [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <https://github.com/eawag-squid/SQUID/wiki>
- [16] Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks – A review - ScienceDirect [online]. [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830514000596>
- [17] Mapy Google [online]. [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@49.1750405,18.2556101,14z>
- [18] Archív PVK, a.s.
- [19] 2.1: Calibration curve for the fuel flow meter [online]. [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Figure-621-Calibration-curve-for-the-fuel-flow-meter\\_44707571\\_fig50](https://www.researchgate.net/figure/Figure-621-Calibration-curve-for-the-fuel-flow-meter_44707571_fig50)



## 8 Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Hydrogram zrážkovej intenzity a povrchového odtoku [13].....	12
Obrázok 2: Kalibračná krivka [19].....	14
Obrázok 3 : Zložky prostredia stokového systému [16].....	15
Obrázok 4: Registračná jednotka s diódami .....	18
Obrázok 5: Registračná jednotka so zapínaním .....	18
Obrázok 6: Sondy s krytkami .....	19
Obrázok 7: Sonda zapisuje dáta .....	19
Obrázok 8: Sondy senzoru SQUID [14].....	20
Obrázok 9: Sondy s krytkou .....	20
Obrázok 10: Dáta zo senzoru.....	20
Obrázok 11: Výrez začiatku úseku 1 z ArcGIS [18].....	22
Obrázok 12: Výrez konca úseku 1 z ArcGIS [18] .....	22
Obrázok 13: Povrch začiatku úseku 1 [17].....	22
Obrázok 14: Povrch konca úseku 1.....	22
Obrázok 15: Výrez začiatku úseku 2 z ArcGIS [18].....	23
Obrázok 16: Výrez konca úseku 2 z ArcGIS [18] .....	23
Obrázok 17: Povrch začiatku úseku 2 .....	23
Obrázok 18: Povrch konca úseku 2 [18] .....	23
Obrázok 19: Výrez začiatku úseku 3 z ArcGIS [18].....	24
Obrázok 20: Výrez konca úseku 3 z ArcGIS [18] .....	24
Obrázok 21: Povrch začiatku úseku 3 [18].....	24
Obrázok 22: Povrch konca úseku 3.....	24
Obrázok 23: Výrez začiatku úseku 4 z ArcGIS [18].....	25
Obrázok 24: Výrez konca úseku 4 z ArcGIS [18] .....	25



---

Obrázok 25: Povrch začiatku úseku 4 [18].....	25
Obrázok 26: Povrch konca úseku 4.....	25
Obrázok 27: Výrez začiatku úseku 5 z ArcGIS [18].....	26
Obrázok 28: Výrez konca úseku 5 z ArcGIS [18] .....	26
Obrázok 29: Povrch začiatku úseku 5 [17].....	26
Obrázok 30: Povrch konca úseku 5.....	26
Obrázok 31: Referenčná pH sonda INTELLICAL [10].....	27
Obrázok 32: Referenčná ORP sonda INTELLICAL™ [10] .....	27
Obrázok 33: Referenčná conductivity sonda [10].....	27
Obrázok 34: Vytemperovaný kúpeľ so štandardmi .....	28
Obrázok 35: Vytemperovaný kúpeľ so štandardmi .....	28
Obrázok 36: Priebeh pH v štandarde 4.01 pri 25°C.....	28
Obrázok 37: Priebeh pH v štandarde 7.00 pri 25°C.....	29
Obrázok 38: Priebeh pH v štandarde 10.01 pri 25°C.....	29
Obrázok 39: Priebeh ORP v štandarde 221mV pri 25°C .....	30
Obrázok 40: Priebeh vodivosti v štandarde 1000 µS/cm pri 25°C .....	30
Obrázok 41: Odchýlka merania pH senzorom SQUID pri 25°C.....	31
Obrázok 42: Kalibračná krivka teploty .....	32
Obrázok 43: Kalibračná krivka pH bez korekcie teploty .....	32
Obrázok 44: Kalibračná krivka konduktivity bez korekcie teploty .....	33
Obrázok 45: Kalibračná krivka ORP bez korekcie teploty .....	33
Obrázok 46: Referenčné sondy ponorené do premiešavanej kvapaliny.....	34
Obrázok 47: Vývoj konduktivity po premiešavaní kvapaliny .....	35
Obrázok 48: Závislosť pH sond na teplote v štandarde 10.01.....	37
Obrázok 49: Závislosť pH sond na teplote v štandarde 7.00.....	37
Obrázok 50: Závislosť pH sond na teplote v štandarde 4.01.....	38



Obrázok 51: Závislosť ORP sond na teplote v štandarde 221 mV .....	39
Obrázok 52: Závislosť vodivostných sond na teplote v štandarde 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ .....	39
Obrázok 53: ORP sonda v ZoBell štandarde 221 mV.....	40
Obrázok 54: pH sonda v štandarde 7.00.....	40
Obrázok 55: Používané multimetre HQ40D od firmy HACH .....	40
Obrázok 56: pH sonda v štandarde 7.00.....	40
Obrázok 57: Vývoj teploty vo vzorke odpadovej vody .....	41
Obrázok 58: Vývoj pH vo vzorke odpadovej vody .....	42
Obrázok 59: Vývoj konduktivity vo vzorke odpadovej vody .....	42
Obrázok 60: Vývoj ORP vo vzorke odpadovej vody.....	43
Obrázok 61: Korelácia teploty senzoru SQUID a referenčnej sondy .....	44
Obrázok 62: Korelácia teploty senzoru SQUID a referenčnej sondy .....	44
Obrázok 63: Korelácia teploty senzoru SQUID a referenčnej sondy .....	44
Obrázok 64: Korelácia pH senzoru SQUID a referenčnej sondy .....	44
Obrázok 65: Korelácia vodivosti senzoru SQUID a referenčnej sondy.....	45
Obrázok 66: Korelácia ORP senzoru SQUID a referenčnej sondy.....	45
Obrázok 67: Vyhodnotenie testu 201711301 z hľadiska teploty.....	47
Obrázok 68: Vyhodnotenie testu 201711301 z hľadiska vodivosti .....	47
Obrázok 69: Vyhodnotenie testu 201711301 z hľadiska ORP .....	48
Obrázok 70: Vyhodnotenie testu 201711302 z hľadiska teploty.....	49
Obrázok 71: Vyhodnotenie testu 201711302 z hľadiska vodivosti .....	50
Obrázok 72: Vyhodnotenie testu 201711302 z hľadiska ORP.....	51
Obrázok 73: Vyhodnotenie testu 201712141 z hľadiska teploty.....	52
Obrázok 74: Vyhodnotenie testu 201712141 z hľadiska pH.....	53
Obrázok 75: Vyhodnotenie testu 201712141 z hľadiska vodivosti .....	53
Obrázok 76: Vyhodnotenie testu 201712141 z hľadiska ORP .....	54





Obrázok 77: Vyhodnotenie testu 201711303 z hľadiska teploty.....	55
Obrázok 78: Vyhodnotenie testu 201711303 z hľadiska vodivosti .....	56
Obrázok 79: Vyhodnotenie testu 201711303 z hľadiska ORP .....	56
Obrázok 80: Vyhodnotenie kvality na úseku 5 z hľadiska teploty .....	57
Obrázok 81: Vyhodnotenie kvality na úseku 5 z hľadiska pH .....	58
Obrázok 82: Vyhodnotenie kvality na úseku 5 z hľadiska vodivosti.....	59
Obrázok 83: Vyhodnotenie kvality na úseku 5 z hľadiska ORP .....	60
Obrázok 84: Detailný rozbor zmien v priebehu konduktivity a ich aplikácia na objekty úseku Veleslavín .....	61
Obrázok 85: Rozdiel rozptylov vodivosti odpadovej vody v jednom úseku v závislosti na čase merania.....	62

## **9 Zoznam tabuliek**

Tabuľka 1: Charakteristiky úsekov a pokusov .....	22
Tabuľka 2: Použité štandardy pre meranie závislosti parametrov na teplote .....	37

## **10 Zoznam príloh**

- Príloha č. 1: Ortofoto situácie s vyznačenými úsekmi
- Príloha č. 2: Pozdĺžne rezy testovaných úsekov
- Príloha č. 3: Výsledky z terénneho merania v úseku 5 - Eden