

# BILAG 1

Metode, materialer og datagrundlag

---

|  |    |
|--|----|
| Bilag 1 – Metode, materialer og datagrundlag .....   | 1  |
| 1. Metode og materialer.....                         | 1  |
| 1.1. Opland .....                                    | 1  |
| 1.2. Opbygning af Rockflow filteranlæg .....         | 1  |
| 1.3. Prøvetagning .....                              | 2  |
| 1.4. Nedbørsmåling.....                              | 4  |
| 1.5. Flowmåling .....                                | 4  |
| 1.6. Analyseparametre.....                           | 5  |
| 2. Datagrundlag .....                                | 7  |
| 2.1. Vurdering af dokumentation og datakvalitet..... | 7  |
| 2.2. Regn- og afstrømningsdata .....                 | 8  |
| 2.3. Flowproportionale hændelsesmiddelprøver.....    | 9  |
| 2.4. Vurdering af fejlkilder - udløbsprøver .....    | 14 |
| 2.5. Vurdering af fejlkilder - indløbsprøver .....   | 14 |
| 2.6. Online målinger .....                           | 16 |
| 3. Referencer:.....                                  | 21 |

## Bilag 1 – Metode, materialer og datagrundlag

Der er gennemført en målekampagne på afstrømmet regnvand før og efter rensning i et magasin opbygget med Rockflow-elementer. Anlægget er beliggende på Risvang Allé, Århus, og modtager vand fra en større omfartsvej, Vejlbj Ringvej, med en estimeret årsdøgntrafik på 18.000 køretøjer/dag.

Formålet med målekampagnen var at indsamle dokumentation for renseseffekten i et Rockflow magasin. Rockflow elementerne var pakket ind i en tæt membran, så hele den rensede vandmængde blev ført til magasinets udløbsbrønd, hvorfra prøver blev udtaget. Den indsamlede dokumentation kan derfor anvendes i relation til både rensning inden nedsivning og rensning inden udledning.

Foruden at dokumentere renseseffekten blev online mållinger anvendt til løbende at overvåge anlæggets funktion. Formålet hermed var at afdække mulighederne for ved hjælp af online monitorering at kunne validere renseseffekten i andre Rockflow filteranlæg, som opbygges efter designanvisningerne angivet i vejledning fra WSP /1/ og driftes efter driftsanvisning på Rockflow hjemmeside /2/. Det er således hensigten, at disse vejledninger på sigt kan danne grundlag for, at der kan stilles funktionskrav til rensning af separat regnvand med Rockflow.

I nærværende bilag findes en gennemgang og kommentering af materialer og metoder anvendt i målekampagnens gennemførelse, samt præsentation og vurdering af baggrundsdata for den i hovedrapporten præsenterede dokumentation.

### 1. Metode og materialer

#### 1.1. Opland

Filteranlægget fra Rockflow er beliggende på Risvang Allé, Århus, og modtager vand fra en større omfartsvej, Vejlbj Ringvej, med en estimeret årsdøgntrafik på 18.000 køretøjer/dag (figur 1.1). Det samlede opland til filteranlægget udgør ca. 1 red. ha.



Figur 1.1. Oversigt over område, opland (grønt fremhævet t.h. fra SCALGO Live) og placering af Rockflow (sort omridset rektangel)

#### 1.2. Opbygning af Rockflow filteranlæg

Rockflow filteranlægget er skitseret i figur 1.2. Regnvandet fra oplandet føres til filteranlægget via en  $\varnothing 2000$  mm brønd. Fra et afløb i toppen af brønden ledes vandet videre til indløbsmanifolden. Brønden har tilløb relativt tæt på bunden, hvormed der ikke opnås den sandfangsfunktion, som oprindeligt har været tiltænkt.

Indløbsmanifolden fordeler vandet ind over Rockflow-elementerne via 7 indløbskanaler i toppen af magasinet. Herfra infiltrerer vandet mod bunden af magasinet, hvor det opsamles i drænrør og føres til en udløbsmanifold i forbindelsen med udløbsbrønden. Rockflow elementerne er pakket ind i en tæt membran, så hele den rensede vandmængde føres til magasinets udløbsbrønd.





*Figur 1.3. Placering af prøvetagning- og måleudstyr i indløbsmanifold (tv.) og udløbsbrønd (th.)*

Prøvetagerne var udstyret med hver en 10 L plastprøvedunk fra laboratoriet til opsamling af de udtagne delprøver. Delprøver blev udtaget via 3/8" vinyl sugeslange, som forinden var kalibreret ift. løftehøjde og delprøvevolumen. Indtag til sugeslange/prøvetager skete via rustfrit filter monteret i bunden af tilløb- og udløbsrør (ø200 mm). Den respektive placering i hhv. tilløb og udløb blev udvalgt med henblik på at udtage prøver, hvor strømmingen i videst muligt omfang kan formodes fuldt opblandet, samt med mindst mulig risiko for sedimentation omkring indtagsfilteret. Før og efter hver delprøvetagning kørte prøvetageren desuden en sekvens, hvor sugeslange og filter blev blæst igennem med luft.

Prøvetagere var programmeret til flowproportional prøveudtagning via input fra kontinuerte flowmålinger i ind- og udløb, såfremt de var aktiveret til prøvetagning. Aktivering skete manuelt på prøvetageren ved prognose om en nedbørshændelse, hvorfra der ønskedes prøveudtagning. I forbindelse med aktivering blev prøvetager udstyret med opladet batteri, og prøvetagningsprogram blev indstillet med følgende variable: antal delprøver, delprøvevolumen, akkumuleret flow mellem hver delprøve og maksimum prøvetagningstid.

Efter en regnhændelse med prøveudtagning blev 10 L prøvedunkene afhentet hurtigst muligt og erstattet af nye dunke fra laboratoriet (i enkelte tilfælde overhældt til mindre prøveemballage fra laboratorie, skyllet og stillet retur i prøvetagerne). I forbindelse med prøveafhentning blev prøveudtagningsrapport aflæst på hver prøvetager indeholdende: antal af delprøver udtaget, slut af prøvetagning, samt antal af evt. fejlede delprøveudtagninger, hvor sidstnævnte ville medføre kassering af prøven.

Dybde, hastighed og flow målt i ind- og udløb blev logget og præsenteret på hjemmeside. Ud fra disse data blev tidspunkt for hver enkelt delprøve beregnet og registreret, ligesom regnhændelsens massebalance blev beregnet, herunder hvor stor en del af hændelsen, der var dækket af prøvetagningen.

Prøvebeholderne (prøvetagerne) blev opbevaret mørkt og under terræn, men uden kølefunktion. Ved hjælp af online temperaturmålere blev temperaturudviklingen overvåget, indtil prøverne blev afhentet. Særligt tidfølsomme parametre blev fravalgt i analysepakken, hvis det ikke var muligt at afhente prøverne seneste dagen efter prøvetagningen.



## 1.4. Nedbørsmåling

Nærmeste SVK-regnmålere er anvendt til registrering af nedbør og forudgående tørvejrperioder: Egå Renseanlæg (ca. 4 km nord) og Åby Renseanlæg (4 km syd).

## 1.5. Flowmåling

Med henblik på flowproportional prøveudtagning blev der installeret flowmåler (Teledyne Isco 2150) i ind- og udløb til anlægget. Flowmåler blev installeret under hensyntagen ("respektafstand") til forstyrrelser i flowet fra rørindløb og -udløb, retningsændringer, ledningsfald mv., så der på bedste mulige vis blev målt, hvor hastighedsprofilen i strømmingen var fuldt udviklet.

Der blev anvendt doppler-princip, hvor den gennemsnitlige hastighed i strømmingen måles vha. ultralyd og det faseskift, som forårsages af partikler, hvirvler og/eller luftbobler i vandet. I kombination med en niveaumåling og kendskab til det vandførende tværsnitsareal beregnes flowet. Denne metode forudsætter således, at vandet ikke er for rent, dvs. at lyden kan reflekteres af noget i vandet, hvilket principielt kan blive et problem efter en renseløsning, hvor partiklerne er fjernet.

For måling af en hastighed i strømmingen kræves desuden en vis hastighed (gerne >0,1 m/s) og vanddybde i røret (ca. 2,5 cm ved den anvendte metode). Med henblik på at kunne måle (og udtage en prøve i øvrigt) inden for hele intervallet af tilløbs- og udløbsflow, blev der således etableret en lille "opstemning" ved begge rørs udløb for at sikre en permanent minimumsdybde i tilløbs- og udløbsrør (ø200 mm), men samtidig på en måde, så der ikke forekom sedimentation i rør og omkring flowmåler- og indtag til prøvetager, ligesom der fortsat var behov for en vis hastighed i strømmingen ved lave flows, hvormed den permanente dybde (strømningsarealet) ikke kunne være for stor. Flowmåleren blev programmeret til at sende en puls til prøvetageren for hver 0,5 m<sup>3</sup>, der passerede i hhv. ind- og udløb.

Efter installation af flowmålerne blev de "valideret" ved over en periode at sammenholde det akkumulerede, målte hhv. tilløb og afløb fra anlægget for et antal regnhændelser. Som det fremgår af tabel 1.1, var der en god overensstemmelse mellem det målte tilløb og afløb med afvigelser i størrelsesordenen 0-10 %, hvilket er at forvente for denne type af målinger.

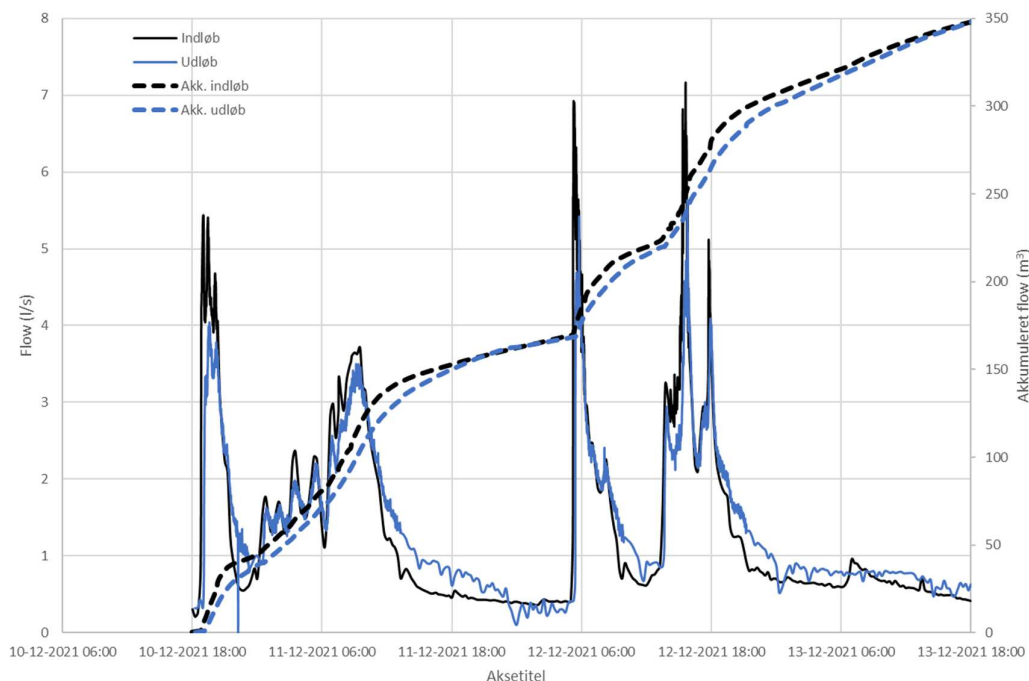
**Tabel 1.1. Validering af flowmålinger i ind- og udløb ift. akkumulerede vandmængder og målte regndybder ved nærliggende regnmålere. Desuden er den målte maks.tilledning valideret mod den tilhørende regnhændelses 10-minutters maksintensitet, idet koncentrationstiden for det ca. 1 ha. store opland er bestemt til ca. 10 min.**

| Dato (2021)   | Målt tilløb / målt afløb (m <sup>3</sup> ) | Forskel (%) | Regndybde målt v. Åby / Egå (mm) | Direkte afstrømning (m <sup>3</sup> ) | l <sub>max</sub> , 10 min (l/s/ha) | Målt maks.flow i tilløb (l/s) |
|---------------|--|-------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 18.11         | 25 / 28                                    | 11          | 0 / 0                            | 0                                     | -                                  | 1,9                           |
| 20.11         | 17 / 18                                    | 6           | 0,8 / 0                          | 0 - 8                                 | 7,1                                | 7,7                           |
| 26.11         | 20 / 20                                    | 0           | 5 / 0                            | 0 - 50                                | 18,9                               | 12,7                          |
| 26.11 - 27.11 | 56 / 58                                    | 3           | 3 / 2,8                          | 28 - 30                               | 7,0                                | 7,9                           |
| 27.11 - 28.11 | 94 / 93                                    | 1           | 5,2 / 5,4                        | 52 - 54                               | 18,6                               | 19,3                          |
| 28.11 - 29.11 | 108 / 109                                  | 1           | 5,2 / 5,8                        | 52 - 58                               | 14,4                               | 16,3                          |
| 30.11         | 33 / 29                                    | 12          | 1,4 / 1,8                        | 14 - 18                               | 6,8                                | 7,0                           |
| 10.12 - 13.12 | 349 / 349                                  | 0           | 8,6 / 8                          | 80 - 86                               | 5,6                                | 7,2                           |

Sammenholdes den akkumulerede afstrømning med regndybden i de tilhørende regnhændelser målt ved de nærliggende SVK-regnmålere bemærkes det imidlertid, at der måles et betydeligt større flow, end hvad den målte nedbørsdybde i oplandet burde give anledning til (direkte afstrømning). Det blev dog også konstateret, at der fra målekampagnens begyndelse indtil forår, var en mere eller mindre konstant

gennemstrømning i Rockflow-magasinet, fra hvad der formodes at være dræntilstrømning. Sammenlignes målinger for tilløb med regnhændelsernes varighed, ses desuden væsentligt længere afstrømningsforløb, end hvad regnafstrømningen fra oplandet i sig selv kan forklare, hvilket indikerer en nedbørspåvirket drænafstrømning.

Et eksempel på dette er vist i figur 1.4 for afstrømning i perioden 10.-13. december 2021, hvor der blev målt samme akkumulerede afstrømning i ind- og udløb (349 m<sup>3</sup>), hvilket er ca. 4 gange så meget, som den målte nedbør (8-8,6 mm) burde give anledning til fra oplandet på ca. 1 red. ha. Som det fremgår af figuren, er afstrømningen ca. 24 timer efter seneste nedbørshændelse fortsat på ca. 0,5 l/s.



Figur 1.4. Målt flow i ind- og udløb for perioden 10-12-2021 til 13-12-2021.

Som det fremgår af tabel 1.1 blev den målte maks.tilledning valideret mod den tilhørende regnhændelses 10-minutters maksintensitet, idet koncentrationstiden for det ca. 1 ha. store opland er bestemt til ca. 10 min. Der ses her en god overensstemmelse med en tendens til, at tilløbsflowet overestimeres en lille smule ift. regnafstrømningen. Det vil ligeledes være at forvente, såfremt en del af afstrømningen stammer fra dræn eller afstrømning fra grønne områder. Hertil bemærkes det dog, at regnmålerne er beliggende ca. 4 km fra oplandet, hvorfor der skal tages højde for lokale variationer i nedbøren, hvilket også ses i forskellen i målte regndybder ved de to målere.

## 1.6. Analyseparametre

Der er analyseret for følgende parametre med de angivne, akkrediterede analysemetoder og tilhørende detektionsgrænser. Analyserne er udført af firmaet Højvang Laboratorier.

| Parameter        | Analysemetode          | Detektionsgrænse | Relativ usikkerhed ( $U_{rel}$ ) med dækningsfaktor 2 (+/- i %) |
|------------------|------------------------|------------------|---|
| pH               | DS/EN ISO 10523:2012   | 2                | -   |
| Konduktivitet    | DS/EN 27888:2003       | 1 mS/m           | 6   |
| Klorid           | DS/EN ISO 10304-1:2009 | 0,5 mg/l         | 15  |
| Suspenderet stof | DS/EN 872:2005+M041    | 2 mg/l           | 10  |

|  |                                 |               |           |
|--|---------------------------------|---------------|-----------|
| Total N                                  | DS/EN ISO 11905-1:1998          | 0,05 mg/l     | 15        |
| Nitrit+Nitrat-N                          | DS/EN ISO 10304-1:2009          | 0,02 mg/l     | 10        |
| Ammonium+ammoniak-N                      | Hach Lange kit+M004             | 0,02 mg/l     | 10        |
| Total P                                  | DS/EN ISO 6878:2004+M011        | 0,01 mg/l     | 15        |
| Orthophosphat-P                          | DS/EN ISO 15681-2:<br>2005+M009 | 0,005 mg/l    | 15        |
| COD                                      | DS/ISO 15705:2006+M019          | 5 mg/l        | 15        |
| Biokemisk iltforbrug, BI5, mod.          | DS/EN 1899-1:2003+M017          | 0,5 mg/l      | -         |
| Jern, oplukket                           | DS 259:2003, DS/EN ISO          | 30 µg/l       | 20        |
| Arsen, oplukket                          | 15587-2:2003, DS/ EN ISO        | 0,3 µg/l      | 30        |
| Bly, oplukket                            | 17294-1:2007, DS/EN ISO         | 0,3 µg/l      | 10        |
| Cadmium, oplukket                        | 17294-2                         | 0,05 µg/l     | 20        |
| Kobber, oplukket                         |                                 | 1 µg/l        | 20        |
| Nikkel, oplukket                         |                                 | 0,5 µg/l      | 20        |
| Zink, oplukket                           |                                 | 3 µg/l        | 20        |
| Arsen, filtreret                         | DS/EN ISO 17294-1:2007,         | 0,02 µg/l     | 30        |
| Bly, filtreret                           | DS/EN ISO 17294-                | 0,02 µg/l     | 10        |
| Cadmium, filtreret                       | 2:2016+M013                     | 0,004 µg/l    | 20        |
| Kobber, filtreret                        |                                 | 0,08 µg/l     | 20        |
| Nikkel, filtreret                        |                                 | 0,04 µg/l     | 20        |
| Zink, filtreret                          |                                 | 0,2 µg/l      | 20        |
| Kulbrinter C6H6-C10, florisilrenset      | DS/EN ISO 9377-2:2001           | 25 µg/l       | 20        |
| Kulbrinter >C10-C25, florisilrenset      | mod.                            | 50 µg/l       | 20        |
| Kulbrinter >C25-C40, florisilrenset      |                                 | 100 µg/l      | 20        |
| Totalkulbrinter C6H6-C40, florisilrenset | Beregnet                        | -             | -         |
| Naphthalen                               | EPA 8270C:1996 mod              | 0,01 µg/l     | 30        |
| Acenaphthylen                            |                                 |               | 30        |
| Acenaphthen                              |                                 |               | 30        |
| Fluoren                                  |                                 |               | 30        |
| Phenanthren                              |                                 |               | 30        |
| Anthracen                                |                                 |               | 30        |
| Fluoranthen                              |                                 |               | 30        |
| Pyren                                    |                                 |               | 30        |
| Benz(a)anthracen                         |                                 |               | 30        |
| Chrysen + Triphenylen                    |                                 |               | 30        |
| Benz(b+j+k)fluoranthen                   |                                 |               | 30        |
| Benzo(a)pyren                            |                                 |               | 30        |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren                    |                                 |               | 30        |
| Dibenz(ah)anthracen                      |                                 |               | 30        |
| Benz(ghi)perylene                        |                                 |               | 30        |
| 1-Methylnaphtalen                        |                                 | 0,005 µg/l    | 30        |
| 2-Methylnaphtalen                        |                                 | 0,005 µg/l    | 30        |
| SUM 16 PAH'er                            | Beregnet                        |               | -         |
| DEHP                                     | DS/CEN/TS<br>16182:2012+M054    | 0,004 µg/l    | 50        |
| Escherichia coli (E.coli)                | DS/EN ISO 9308-<br>2:2014+MM001 | 10 MPN/100 ml | 0,25 (lg) |
| Coliforme bakterier                      | DS/EN ISO 9308-2:2014           | 10 MPN/100 ml | 0,25 (lg) |
| Enterokokker                             | ISO 7899-2:2000+MM0003          | 1 CFU/100 ml  | 0,11 (lg) |
| Turbiditet                               | Ponsel ODEON (online)           | -             | -         |
| Temperatur                               | I alle online sensorer          | -             | -         |
| Opløst ilt                               | Aquaread AP-2000 (online)       | -             | -         |
| Ledningsevne                             | Aquaread AP-2000 (online)       | -             | -         |



|                             |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|
| pH                          | Aquaread AP-2000 (online)                               | -   | - |
| Partikelstørrelsesfordeling | Laser-Diffraktion-<br>Spektroskopi &<br>Partikeltælling | (se kommentar<br>herom i<br>hovedrapport) | - |

## 2. Datagrundlag

### 2.1. Vurdering af dokumentation og datakvalitet

Den indsamlede dokumentation vurderes at imødekomme de krav/retningslinjer, der er opstillet for feltmålinger i den omtalte vejledning fra Teknologisk Institut. Imidlertid er der identificeret en række punkter i vejledningens retningslinjer, som efterlader et meget stort udfaldsrum for kvaliteten og sammenligneligheden af resultater på tværs af studier og teknologier. For en uddybning heraf henvises der til rapporten /3/, som indeholder en kommentering af vejledningen fra Teknologisk Institut.

I forbindelse med vurderingen af kvaliteten af det indsamlede datagrundlag bemærkes dog følgende:

Der er anvendt automatiske prøvetagere til prøvetagningen, hvilket generelt vurderes som den mest hensigtsmæssige metode sammenlignet med manuel prøvetagning, når der er tale om måling på afstrømmende regnvand. Brugen af automatiske prøvetagere skaber imidlertid en række udfordringer vedr. prøveafhentning samt materialevalg og hvordan kontaktfladerne i prøvetagerne løbende rengøres/udskiftes. Set i lyset af de øvrige usikkerheder, som influerer, når der arbejdes med karakterisering af regnvand er der på disse tre områder indgået kompromiser af praktiske hensyn.

*Prøveafhentning:* Det kræver en meget høj grad af fleksibilitet og ressourcer, hvis prøverne skal afhentes og leveres til laboratorie for igangsætning af analyser inden for 24-48 timer, hvilket mange akkrediterede analysemetoder foreskriver. For størstedelen af de 10 hændelser, som udgør datagrundlaget, gik der længere tid inden afhentning. De særligt tidsfølsomme laboratorieparametre, BOD og bakterier, blev fravalgt analysepakken, når afhentningstiden overskred 48 timer, mens de øvrige analyser blev foretaget, selvom denne fejlkilde må formodes at have påvirket resultaterne i et vist omfang varierende for hver enkelt parameter. På baggrund af afstrømmende regnvands generelle sammensætning, og eftersom prøverne efter udtag er opbevaret mørkt og køligt, vurderes det, at påvirkningen af prøvernes kortvarige henstand er af ganske begrænset omfang sammenlignet med de øvrige usikkerheder, som influerer, når der arbejdes med karakterisering af regnvand. Hertil bemærkes det i øvrigt, at samme fejlkilde har påvirket det datagrundlag, som er anvendt i vurderingen af våde regnvandsbassiners renseseffekt i /4/.

*Materialevalg:* Det blev besluttet at anvende vinylslange og plastdunke, selvom prøverne blev analyseret for PAH'er, hvilket ikke er i overensstemmelse med akkrediterede procedurer, da der kan ske en vis adsorption af opløste PAH'er til materialerne. Alligevel vurderes analyserne at være anvendelige med henblik på vurdering af rensningens effekt på PAH'er, idet der ses en ganske betydelig forskel i indholdet før og efter rensning. Ses isoleret på koncentrationerne i det rensede vand kan brugen af plastmaterialer have medført, at disse er en smule understimerede, men ikke i et omfang, som vurderes at påvirke det generelle billede, hvilket også skal ses i lyset af, at der i alle tilfælde ofte vurderes på PAH'er i regnvand i koncentrationer tæt på eller under analysemetodens detektionsgrænse.

*Rengøring/udskiftning af udstyr:* Ideelt set skal alle kontaktflader til prøvevolumenet udskiftes eller rengøres mellem hver regnhændelse. Det er imidlertid ikke praktisk muligt, når der er tale om permanente installationer under terræn, da det ville kræve en meget stor ressourcemæssig indsats. Der er i prøvetagerne anvendt ny eller rengjort prøveemballage mellem hver regnhændelse, mens øvrige kontaktflader til prøvevolumenet (filter, sugeslange, pumpe-slange) ikke er udskiftet og kun sporadisk overfladisk rengjort i løbet af målekampagnen. Den eventuelle påvirkning det kan have på datagrundlaget må forventes at være en vis afsmitning fra tidligere regnhændelser, hvilket vurderes af mindre betydning målekampagnens formål taget i betragtning.

## 2.2. Regn- og afstrømningsdata

Karakteristika for de regn- og afstrømningshændelser, der blev målt på, fremgår af tabel 2.1. Det har ikke været muligt at foretage samme validering af flowmålingerne, som præsenteret i tabel 1.1, hvilket skyldes, magasinets betydelige underdimensionering ift. det tilsluttede oplandsareal. Underdimensioneringen havde således, som det tidligere er beskrevet, den effekt, at filterets indløbskanaler relativt hurtigt efter opstart af målekampagnen blev tilstoppet, og der derfor forekom betydelig stuvning i indløbsmanifolden til magasinet. Det påvirkede flowmålingen i tilløbet, det medførte by-pass af magsinet for størstedelen af regnhændelserne, og det medførte et meget lavere udløbsflow end antaget, hvormed hastigheden (og dermed flowet) i udløbsstrømningen i lange perioder ikke kunne detekteres. Da stuvningen samtidig blev fundet at påvirke magasinets renseseffekt negativt, blev der etableret en vandbremsefunktion i tilløbet til indløbsmanifolden (fra hændelse 6 og frem), så tilløb større end magasinets kapacitet på 2-3 l/s blev by-passet magasinet.

Ovenstående forhold har samlet set medført, at det ikke er muligt at opstille massebalancer for de enkelte hændelser. I stedet er validiteten af flowmålingerne vurderet visuelt (afsnit 2.3), ligesom flowmålerne løbende blev tilset og kalibreret ved et antal "spandtest", dvs. tidsregistrering for fyldning af 20 L spand. Sidstnævnte viste i udløbet god overensstemmelse ved alle test, som blev foretaget løbende under målekampagnens gennemførelse, hvormed udløbsmålingen vurderes ganske pålidelig med det forbehold, at "halerne" i afstrømningsforløbene mangler grundet den (for) lave hastighed i strømningen (jf. afsnit 2.4). På indløbsmålingerne var det ikke muligt at undgå, at stuvningen i indløbsmanifolden påvirkede indløbsflowmålingens nøjagtighed, hvilket dog vurderes af mindre betydning for den indsamlede dokumentation for Rockflow magasinets renseseffekt (jf. afsnit 2.5).

**Tabel 2.1. Karakteristika for de 10 regn- og afstrømningshændelser, der blev indsamlet prøver fra**

| Hændelse nr. | Dato  | Regndybde (mm) | Intensitet, $I_{\max, 10 \text{ min}}$ (l/s/ha) | Intensitet, $I_{\max, 60 \text{ min}}$ (l/s/ha) | Forudgående tørvejsdøgn | Total antal delprøver ind / ud | Afstrømning mellem delprøver (pr. m <sup>3</sup> ) | Andel af målt afstrømning dækket af prøvetagning ind / ud (%) |
|--------------|-------|----------------|---|---|-------------------------|--------------------------------|--|---|
| 1            | 23-12 | 2,6 - 2,8      | 4,7   | 2,7   | 9,5                     | 34 / 35                        | 1  | 100 / 100   |
| 2            | 09-01 | 6 - 8          | 5,3   | 2,8   | 1                       | 80 / 80                        | 0,33   | 40 / 39   |
| 3            | 04-04 | 7 - 7,2        | 6,7   | 5,6   | 18                      | 44 / 25                        | 1  | 100 / 100   |
| 4            | 06-04 | 8,8 - 10       | 11,7  | 4,5   | 1                       | 50 / 41                        | 1  | 91 / 100  |
| 5            | 10-05 | 2,4 - 2,8      | 6,2   | 3,6   | 31,5                    | 50 / 9                         | 0,5  | 83 / 100  |
| 6            | 22-06 | Syntetisk      | 2   | 2   | -                       | 1 / 1                          | -  | -   |
| 7            | 22-06 | Syntetisk      | 2   | 2   | -                       | 1 / 1                          | -  | -   |
| 8            | 27-06 | 14,8 - 31,2    | 83,6  | 40,3  | 7,5                     | 28 / 17                        | 2  | 100 / 100   |
| 9            | 28-08 | 1,6 - 2,4      | 23,3  | 6,5   | 6,5                     | 25 / 17                        | 1  | 100 / 100   |
| 10           | 13-09 | 13,6 - 14,0    | 30  | 17,5  | 2,5                     | 35 / 33                        | 1  | 100 / 100   |

I tabel 2.2. fremgår det, hvordan de respektive hændelser er hhv. afhentet og igangsat til laboratorieanalyse.

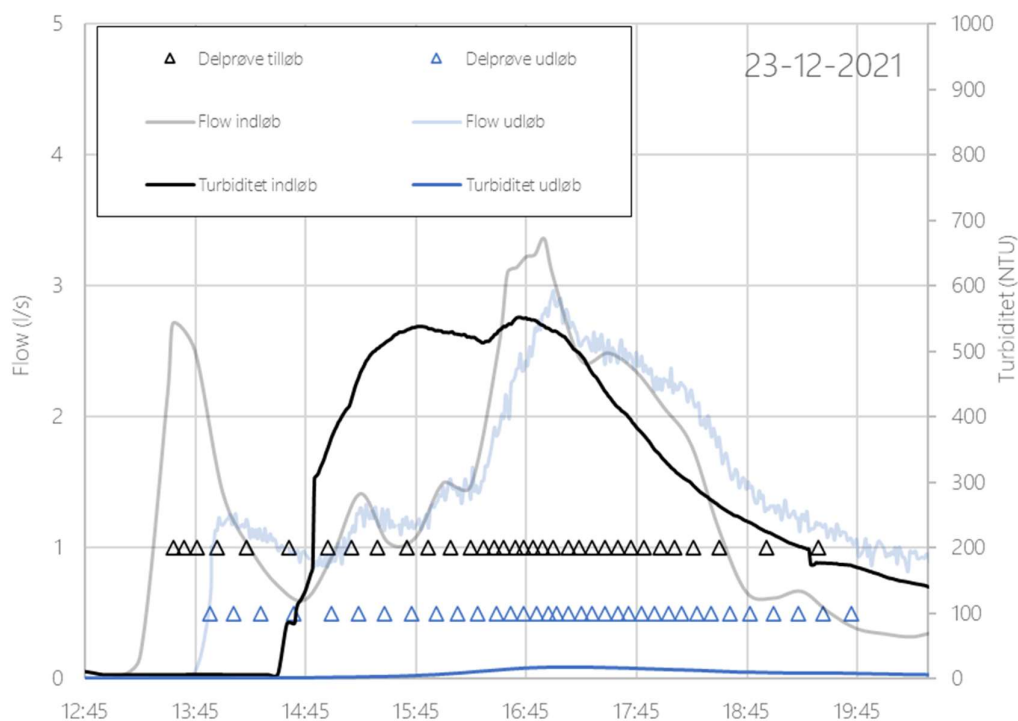
Tabel 2.2. Angivelse af tidspunkter for hhv. prøveafhentning og igangsætning af laboratorieanalyser for de indsamlede hændelser

| Hændelse nr. | Dato hændelse | Prøveafhentning | Igangsætning analyser |
|--------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| 1            | 23-12         | 30-12           | 30-12                 |
| 2            | 09-01         | 13-01           | 13-01                 |
| 3            | 04-04         | 05-04           | 06-04                 |
| 4            | 06-04         | 09-04           | 24-05                 |
| 5            | 10-05         | 11-05           | 12-05                 |
| 6            | 22-06         | 22-06           | 23-06                 |
| 7            | 22-06         | 22-06           | 23-06                 |
| 8            | 27-06         | 28-06           | 29-06                 |
| 9            | 28-08         | 29-08           | 29-08                 |
| 10           | 13-09         | 13-09           | 13-09                 |

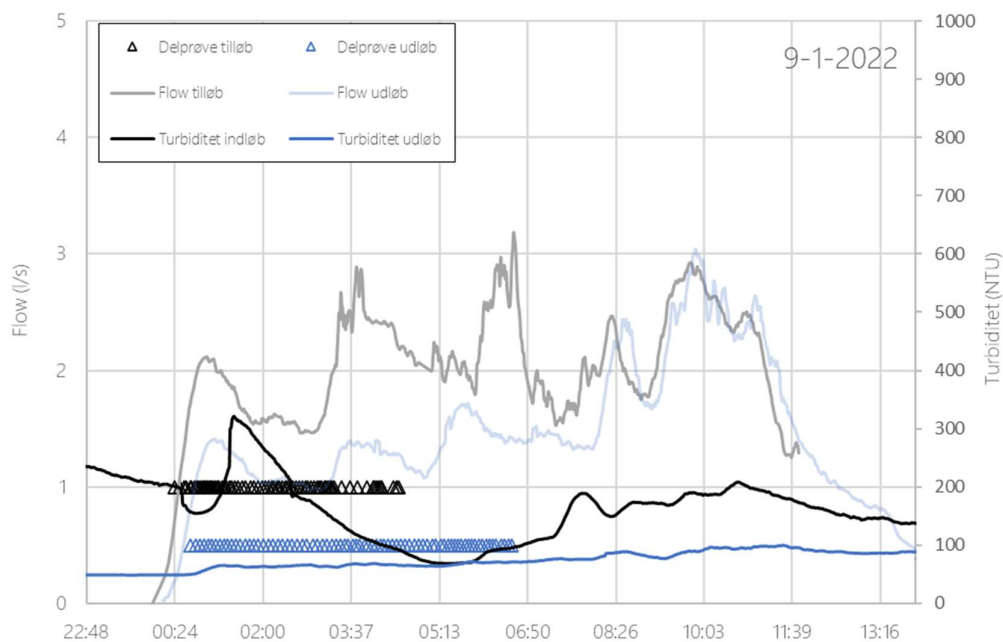
### 2.3. Flowproportionale hændelsesmiddelprøver

I det følgende er den målte afstrømning, turbiditet og tidspunkter for delprøveudtagning vist for hver enkelt af de indsamlede regnhændelser med henblik på at skabe et overordnet overblik over, hvad det er for data, som udgør datagrundlaget for de viste resultater.

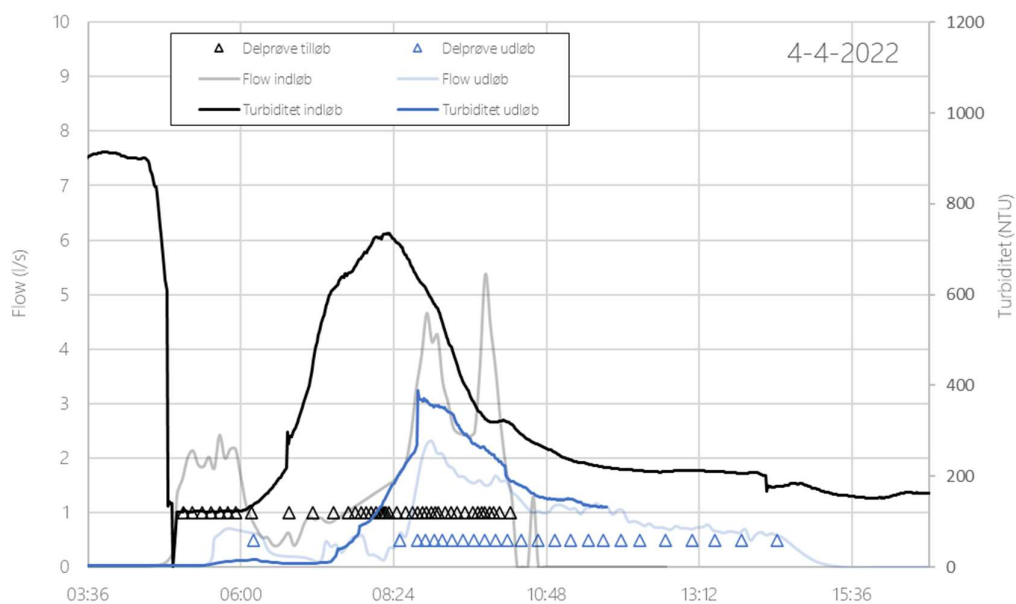
Bemærk, at der igennem afsnittet arbejdes med flere og varierende akseangivelser, idet regnhændelsernes varierende karakter ikke muliggør en systematisk, ensrettet figurvisning.



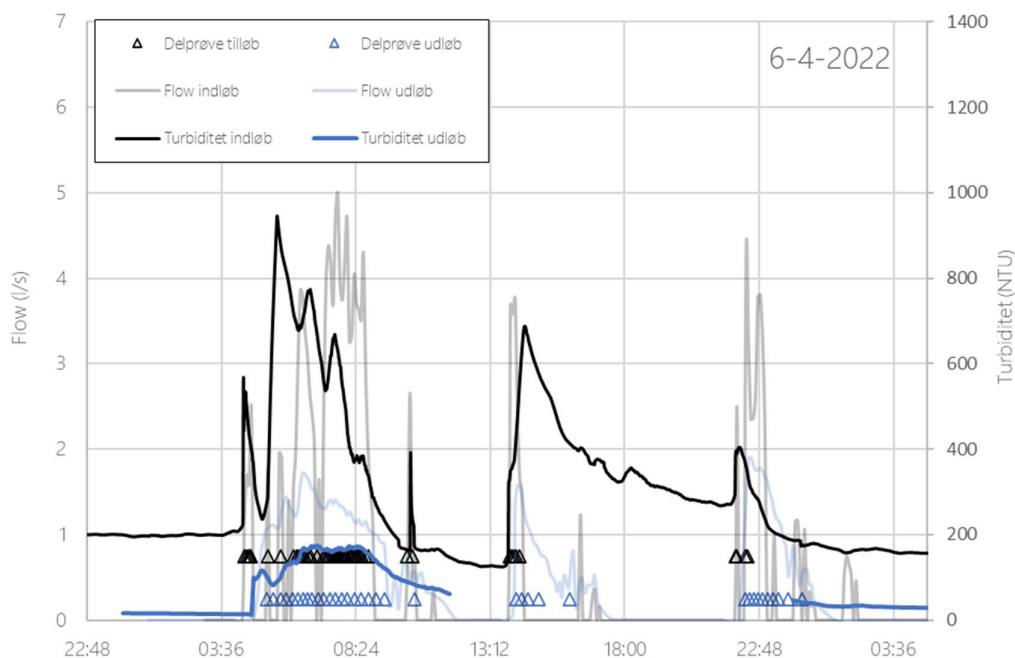
Figur 2.1. Målt flow og turbiditet i ind- og udløb samt angivelse af hver delprøvetagning, som udgør den analyserede hændelsesmiddelprøve udtaget 23-12-2021 (hændelse nr. 1) i hhv. indløb og udløb fra Rockflow.



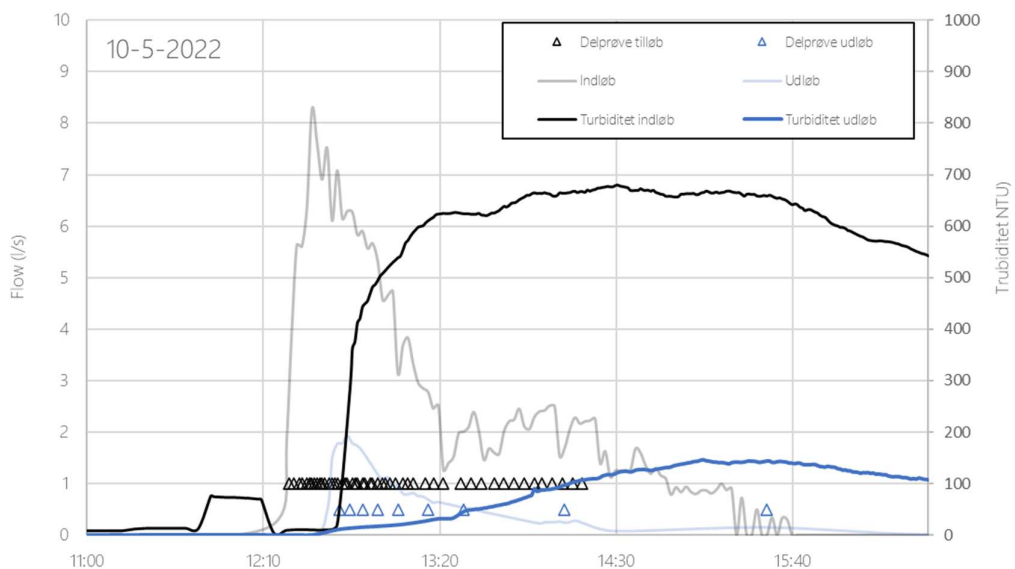
Figur 2.2. Målt flow og turbiditet i ind- og udløb samt angivelse af hver delprøvetagning, som udgør den analyserede hændelsesmiddelpøve udtaget 9-1-2022 (hændelse nr. 2) i hhv. indløb og udløb fra Rockflow.



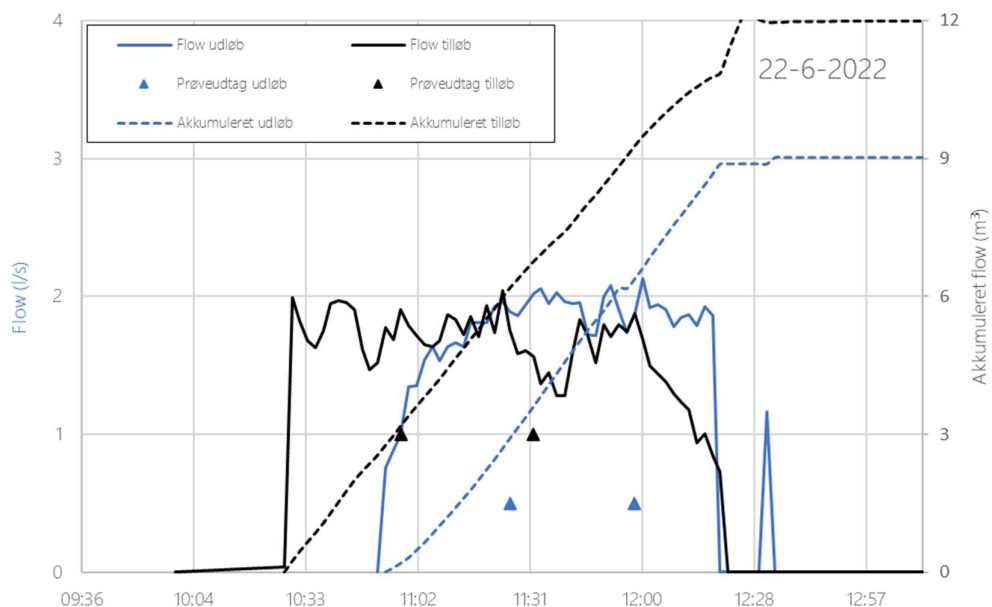
Figur 2.3. Målt flow og turbiditet i ind- og udløb samt angivelse af hver delprøvetagning, som udgør den analyserede hændelsesmiddelpøve udtaget 4-4-2022 (hændelse nr. 3) i hhv. indløb og udløb fra Rockflow.



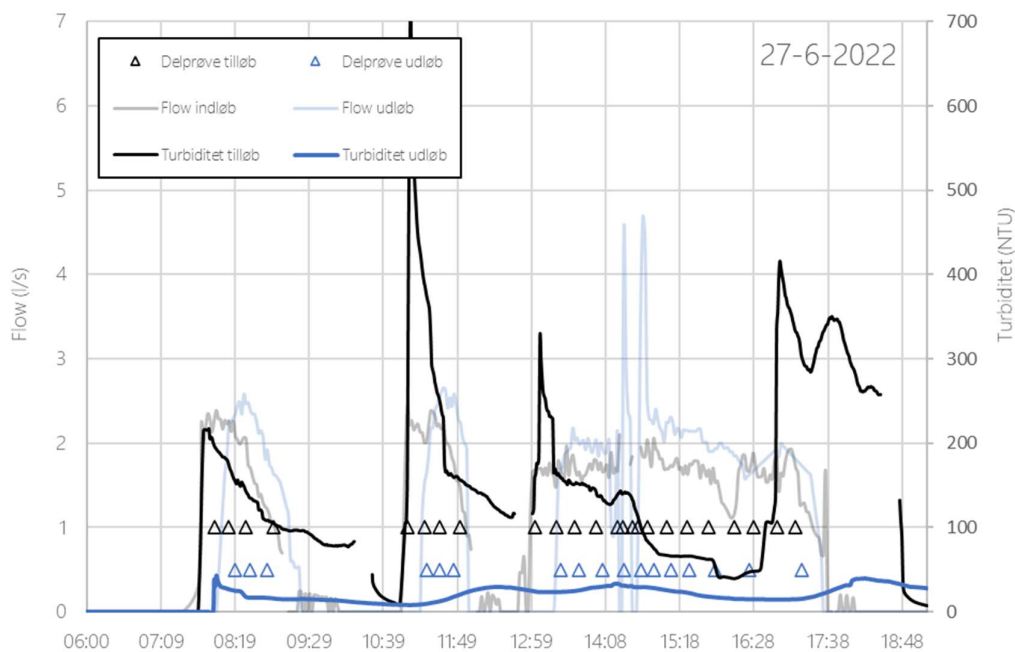
Figur 2.4. Målt flow og turbiditet i ind- og udløb samt angivelse af hver delprøvetagning, som udgør den analyserede hændelsesmiddelpøve udtaget 6-4-2022 (hændelse nr. 4) i hhv. indløb og udløb fra Rockflow.



Figur 2.5. Målt flow og turbiditet i ind- og udløb samt angivelse af hver delprøvetagning, som udgør den analyserede hændelsesmiddelpøve udtaget 10-5-2022 (hændelse nr. 5) i hhv. indløb og udløb fra Rockflow.

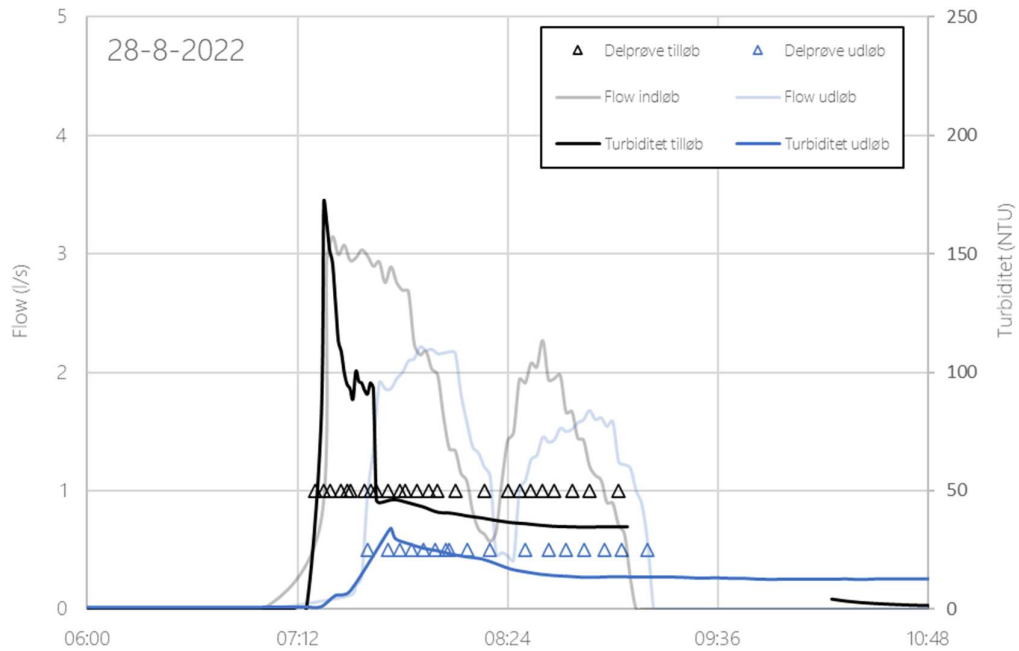


Figur 2.6. Målt flow og akkumuleret flow i ind- og udløb for prøver udtaget den 22-6-2022 (hændelse nr. 6 og nr. 7). Disse to hændelser er udtaget manuelt som en 10 L-prøve vha. prøvetagere over en periode på ca. 5 min og under tilledning af et konstant flow til indløbsbrønden.

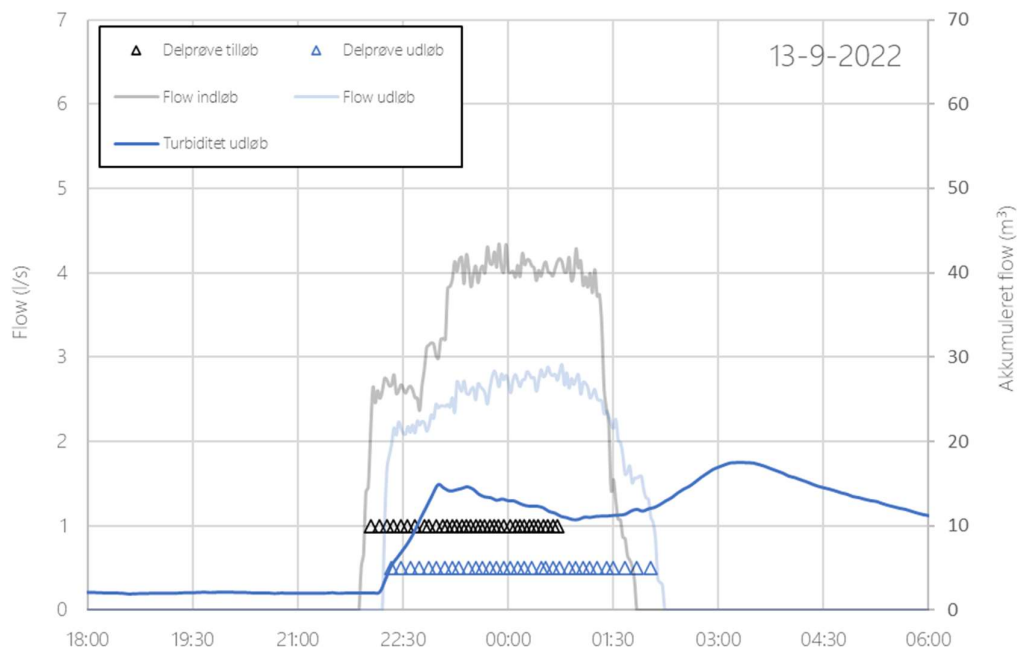


Figur 2.7. Målt flow og turbiditet i ind- og udløb samt angivelse af hver delprøvetagning, som udgør den analyserede hændelsesmiddelp prøve udtaget 27-6-2022 (hændelse nr. 8) i hhv. indløb og udløb fra Rockflow.





Figur 2.8. Målt flow og turbiditet i ind- og udløb samt angivelse af hver delprøvetagning, som udgør den analyserede hændelsesmiddelprøve udtaget 28-8-2022 (hændelse nr. 9) i hhv. indløb og udløb fra Rockflow.



Figur 2.9. Målt flow i ind- og udløb, målt turbiditet i udløb samt angivelse af hver delprøvetagning, som udgør den analyserede hændelsesmiddelprøve udtaget 13-9-2022 (hændelse nr. 10) i hhv. indløb og udløb fra Rockflow.

## 2.4. Vurdering af fejlkilder - udløbsprøver

Flowmålingerne i udløbet fra filteranlægget vurderes at være pålidelige, hvilket dermed også gælder den flowproportionale prøvetagning foretaget på det rensede vand. På samme tid er de indsamlede prøver udgjort af et relativt stort antal delprøver, som dækker stort set hele de respektive regn-/afstrømningshændelser. Analyseresultaterne er således et udtryk for hændelsesmiddel-koncentrationen i regnvandet efter rensning. Kun i et enkelt tilfælde (hændelse nr. 2) dækker delprøverne kun de første ca. 39 % af afstrømningsvolumenet (27 m<sup>3</sup> ud af ca. 70 m<sup>3</sup> nedbørshændelse). Umiddelbart kunne det forventes, at i et sådant tilfælde, og under en forudsætning af, at der forekommer et first-flush i det aktuelle opland inden for den første del af afstrømningen, vil koncentrationen i det udledte vand blive højere, end hvis hele regnafstrømningen var med. Hermed ville der være tale om en konservativ vurdering af den udledte koncentration efter rensning. For den konkrete hændelse indikerer den online målte turbiditet i udløbsvandet imidlertid, at i hvert fald indholdet af partikler i det udledte vand er stigende igennem hele regnhændelsen, hvilket videre indikerer, at de partikulære forureninger i det rensede vand kan være underestimerede i den konkrete hændelse.

I forlængelse af ovenstående fremhæves det, at den sidste del af afstrømningen i udløbet, dvs. halerne, for størstedelen af regnhændelserne ikke registreres af flowmåleren. Det skyldes en meget lav hastighed i strømningen, evt. i kombination med et lavt indhold af partikler i det rensede vand. Når flowet bliver så lavt, at signalet på flowmåleren forsvinder, udgør den resterende del af afstrømningen en relativt lav andel af den samlede afstrømning, at stofindholdet heri kun vil bidrage ganske lidt til hændelsesmiddelkoncentration. Denne fejlkilde vurderes derfor af mindre betydning. Desuden er stofindholdet i halen af et afstrømningsforløb ofte lavt, og i hvert fald lavere end en hændelsesmiddelkoncentration, hvormed de manglende delprøver herfra vil medføre en lille overestimering af den målte hændelsesmiddelkoncentration.

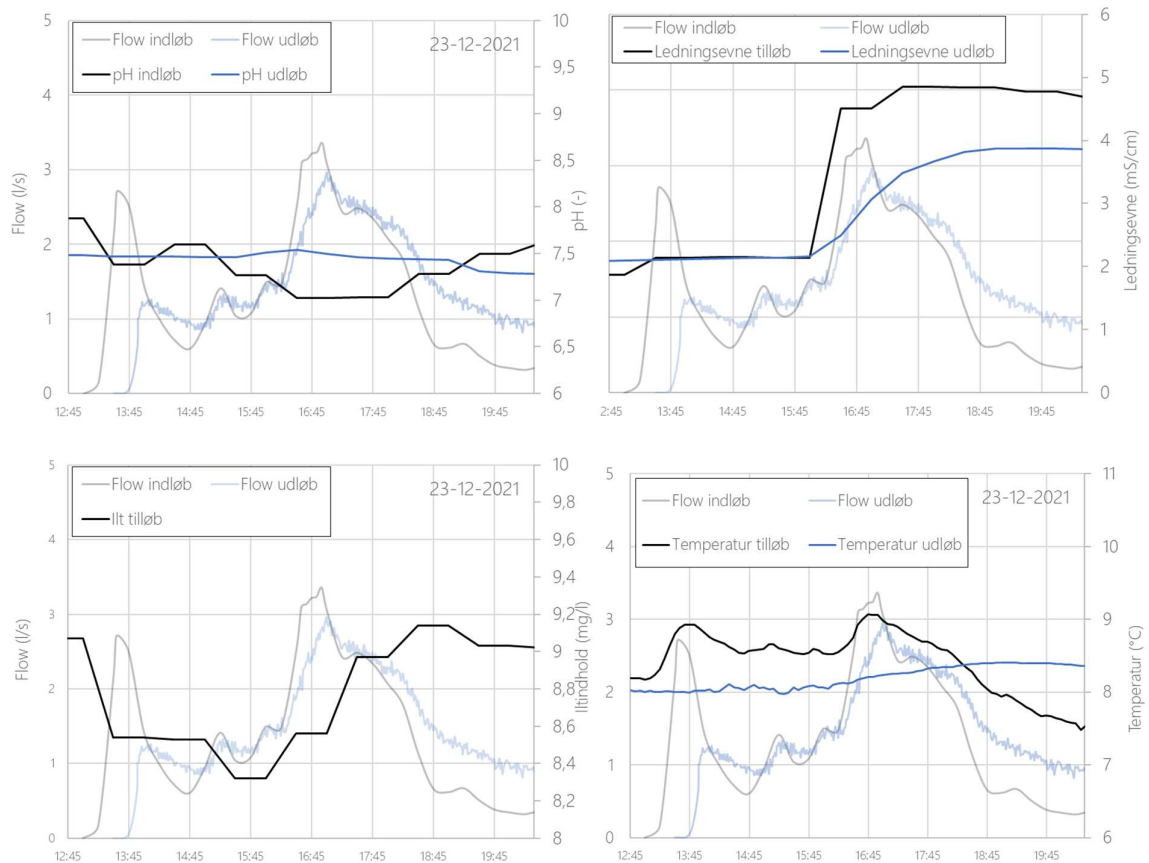
Rockflow filteranlægget blev i sin tid etableret som et fuld-skala demonstrationsanlæg, og det har sidenhen vist sig at være betydeligt underdimensioneret ift. det tilsluttede oplandsareal. Det har den effekt, at filterets indløbskanaler relativt hurtigt tilstoppes, hvormed der skal et større og større trykniveau i filterets indløbsmanifold til, for at drive vandet ind i filtermatricen, indtil indløbskanalerne spules. Når vandspejlet når et vist niveau på indløbssiden af anlægget by-passes vandet direkte til udløbsbrønden. Der blev i begyndelsen af målekampagnen konstateret en tydelig sammenhæng mellem trykniveau i indløbsmanifoldet og suspenderet stof (og turbiditet) i udløbet, hvilket indikerer, at der opstår en form for præferentiel strømning uden om filtermatricen, når indløbskanalerne tilstoppes. I juni 2022 blev der derfor etableret en regulering tilløbet til indløbsmanifoldet, som begrænsede tilløbsflowet til ca. 2-3 l/s, hvilket svarer til filteranlæggets designkapacitet, dvs. uden opstuvning, når indløbskanalerne netop er spulet rene. Effekten af denne regulering blev fundet at være meget betydelig, og der er således en vis sandsynlighed for, at koncentrationerne i udløbet for hændelse 3 og 4 er overestimerede, idet der her forekom en betydelig stuvning foran filteret. Med det sagt var det også for de to hændelser, der generelt blev målt de højeste koncentrationer i tilløbsvandet.

## 2.5. Vurdering af fejlkilder - indløbsprøver

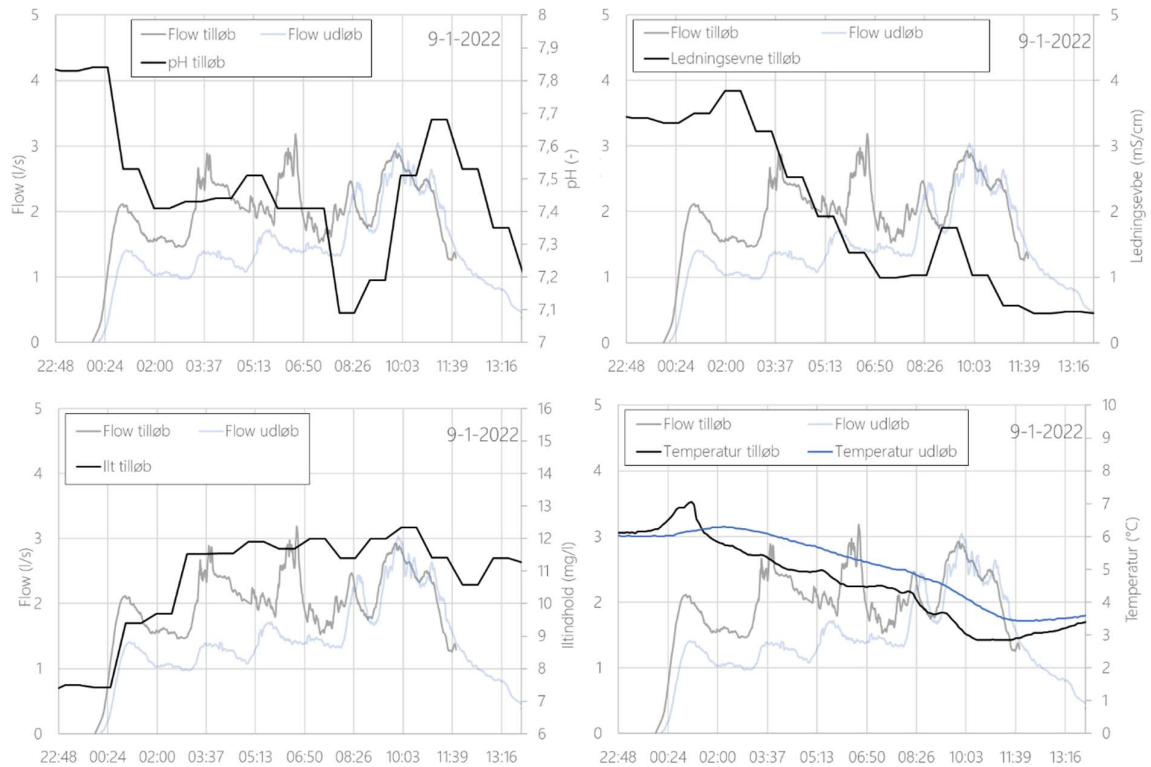
Det blev efter igangsætning af målekampagnen og kalibrering af flowmålerne i ind- og udløb konstateret, at den hyppige stuvning i indløbsmanifolden som følge af underdimensioneringen af anlægget, påvirkede flowmålingen i indløbet. I tilfælde af regnhændelser med stuvning er det målte tilløbsflow således betydeligt overestimeret, indtil tilløbsrøret er blevet fuldtløbende. Det vurderes at skyldes, at sensorens hastigheds- og niveaumåling ikke har været samhørende, dvs. niveaumåling har været påvirket af stuvningen i modsætning til hastighedsmålingen. Modsat har flowmåleren haft vanskeligt ved at detektere et flow i længere perioder, når tilløbsflowet har overskredet filterets (lave) kapacitet, men stadig har været så lavt, at den korresponderende hastighed i det fuldløbende ø200 mm tilløbsrør er blevet for lav til at kunne detekteres af flowsensoren.

De to påvirkninger er modsatrettede effekter på prøvetagningen, men usikkerheden/fejlen på flowmålingen i disse situationer (hændelse 2-4) har alt andet lige betydet, at prøvetagningen ikke er forløbet flowproportionelt, men snarere tidsproportionelt, hvormed det udtagne prøvevolumen ikke repræsenterer den samme del af afstrømningen som udløbsprøven, der er udtaget flowproportionalt. Overordnet set er der formentlig udtaget en relativt for stor andel af den første del af afstrømningsforløbet, hvilket muligvis har resulteret i overstimerede hændelsesmiddelkoncentrationer i tilløbet. Generelt er det dog vanskeligt at tale om flowproportionale prøver i en manifold med opstuvning, da tilløbsvandet vil blive opblandet inden det strømmer ind i filtermatricen, ligesom der for hændelse 3 forekom by-pass af filtermatricen i lange perioder. Ideelt set måles der i videst muligt omfang på den samme vandfraktion ind og ud ad filteret. Det vigtigste er imidlertid, at de forureningsparametre, der blev analyseret for, kunne påvises i ganske anseelige koncentrationer, hvormed den betydeligt lavere koncentration i det rensede vand fra de fejlbehæftede regnhændelser kan konkluderes at skyldes rensning, og ikke blot et lavt indhold i det afstrømmende regnvand. For disse hændelser skal der dog fortsat udvises nogen forsigtighed, hvis ind- og udløbsprøverne skal sammenlignes direkte. Ligeledes gælder det for samtlige af de analyserede regnhændelser, men primært de første 5 hændelser, at de målte hændelsesmiddelkoncentrationer for tilløbsvandet ikke kan relateres direkte til den specifikke regnhændelse. Det skyldes, at det afstrømmende regnvand ledes til indløbsmanifolden via en ø2000m-sandfangsbrønd med tilløb relativt tæt på bunden. Afhængende af regnhændelsens intensitet, varighed og dybde vil der således forekomme en vis resuspension af sedimenteret materiale i sandfangsbrønden, ligesom der, dog primært for de små regnhændelser (<1,5 mm), vil være en vis påvirkning forbundet med det vandvolumen (3-5 m<sup>3</sup>), som står i sandfangsbrønden fra den foregående regnhændelse. Sandfangsbrønden blev slamsuget i forbindelse med etableringen af reguleringen på tilløbet til indløbsmanifolden, hvilket formodes at forklare det betydelige fald i indholdet af suspenderet stof i hændelserne 8-10. Denne fejlkilde vedrører dog ikke den påviste renseseffekt i Rockflow-magasinet for de 10 hændelser, men derimod karakteriseringen af regnafstrømningen fra oplandet.

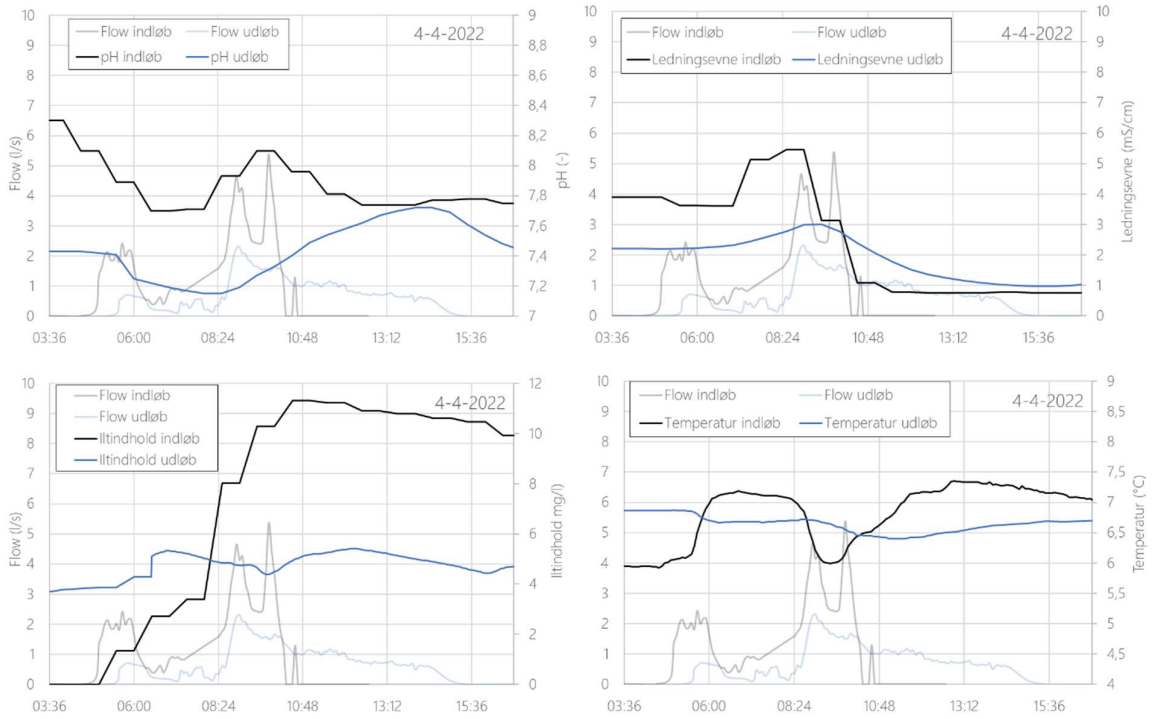
## 2.6. Online målinger



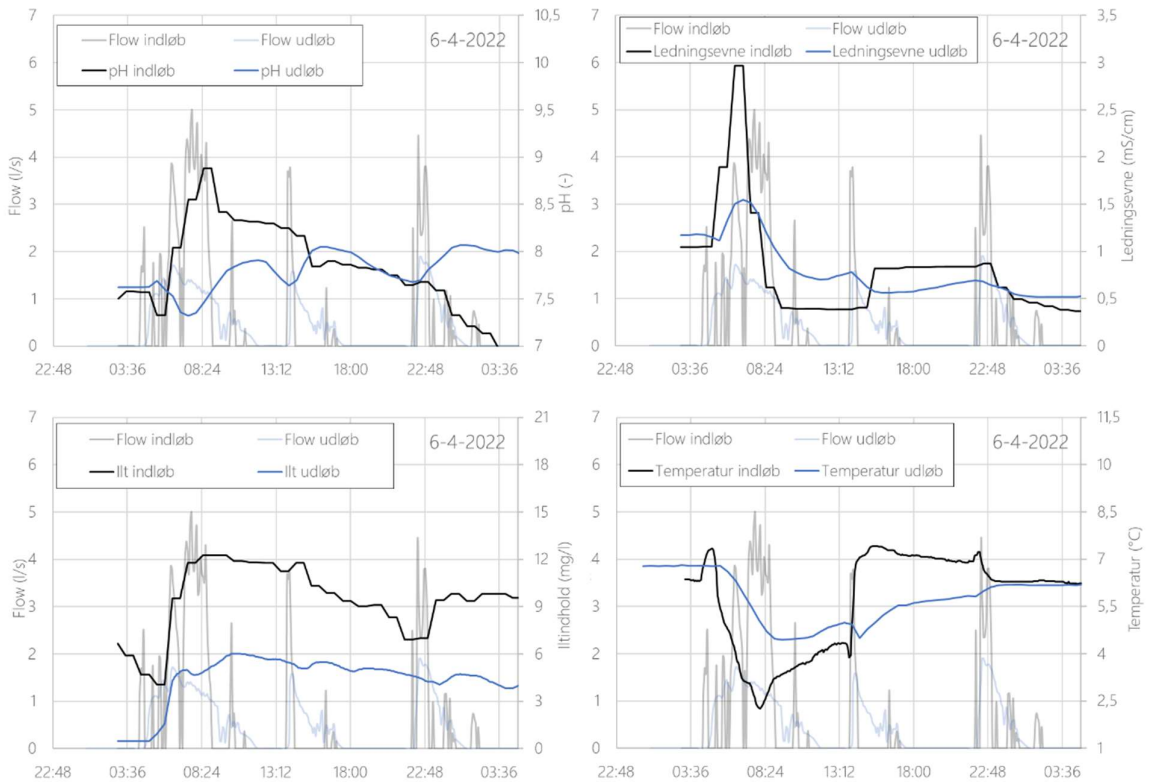
Figur 2.10 Målt pH, ledningsevne, iltindhold og temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelsen den 23-12-2021 (hændelse nr. 1). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb. Der var udfald på iltmåler i udløb under hændelsen.



Figur 2.11 Målt pH, ledningsevne, iltindhold og temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelsen den 9-1-2022 (hændelse nr. 2). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb. Der var udfald på pH-, ledningsevne- og iltmåler i udløb under hændelsen.

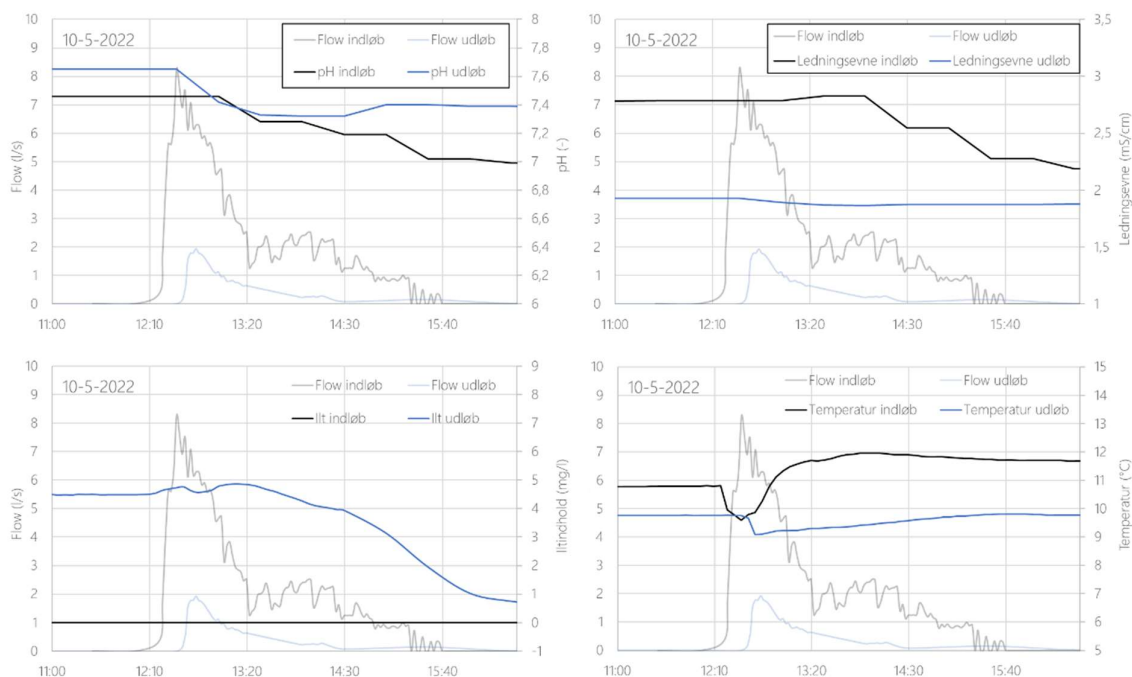


Figur 2.12 Målt pH, ledningsevne, iltindhold og temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelsen den 4-4-2022 (hændelse nr. 3). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb.

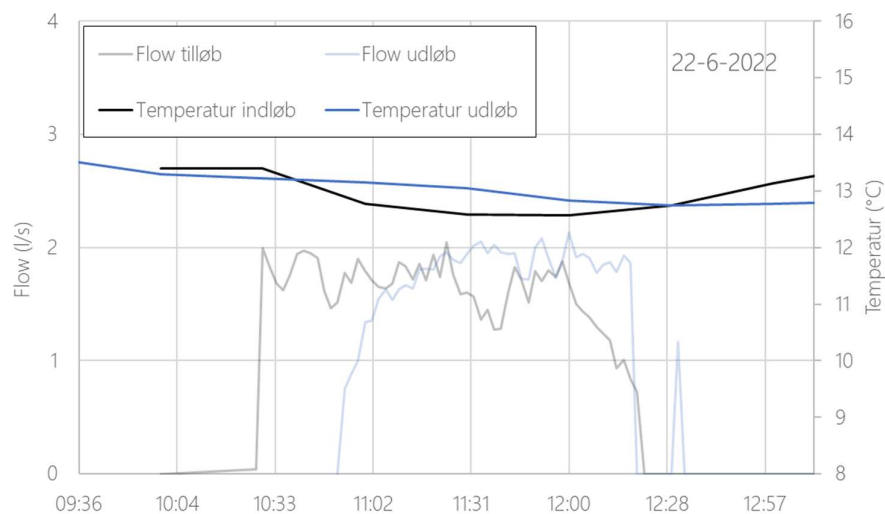


Figur 2.13 Målt pH, ledningsevne, iltindhold og temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelsen den 6-4-2022 (hændelse nr. 4). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb.

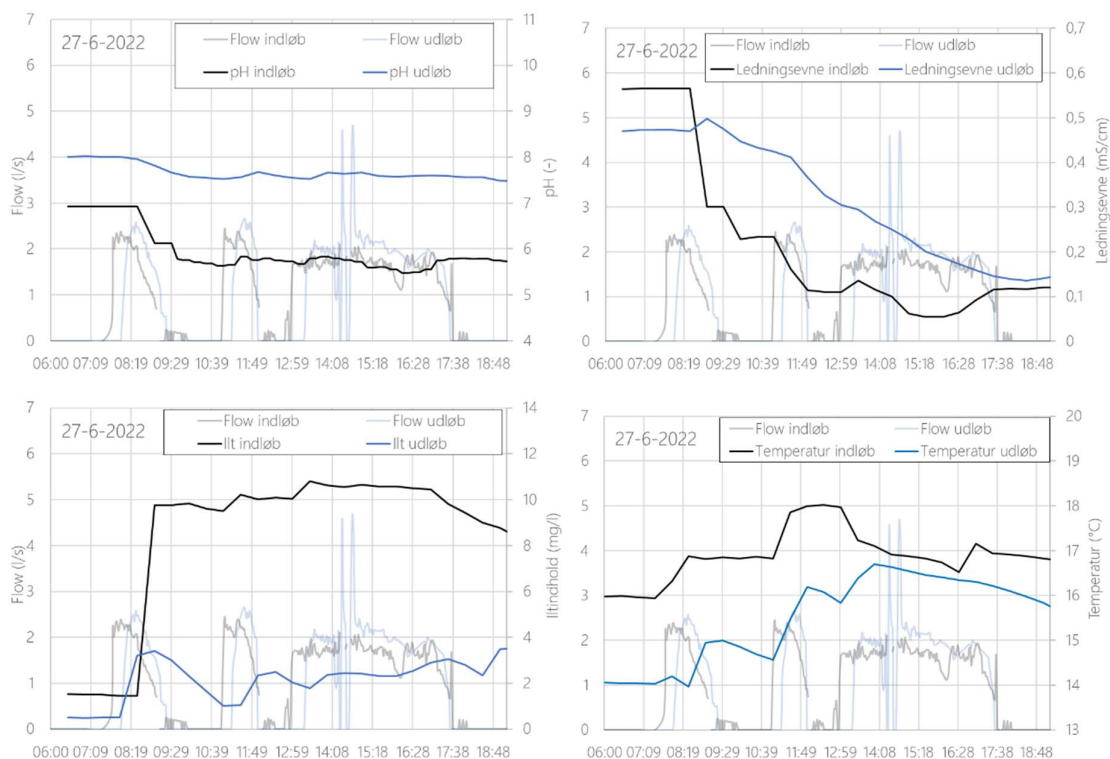




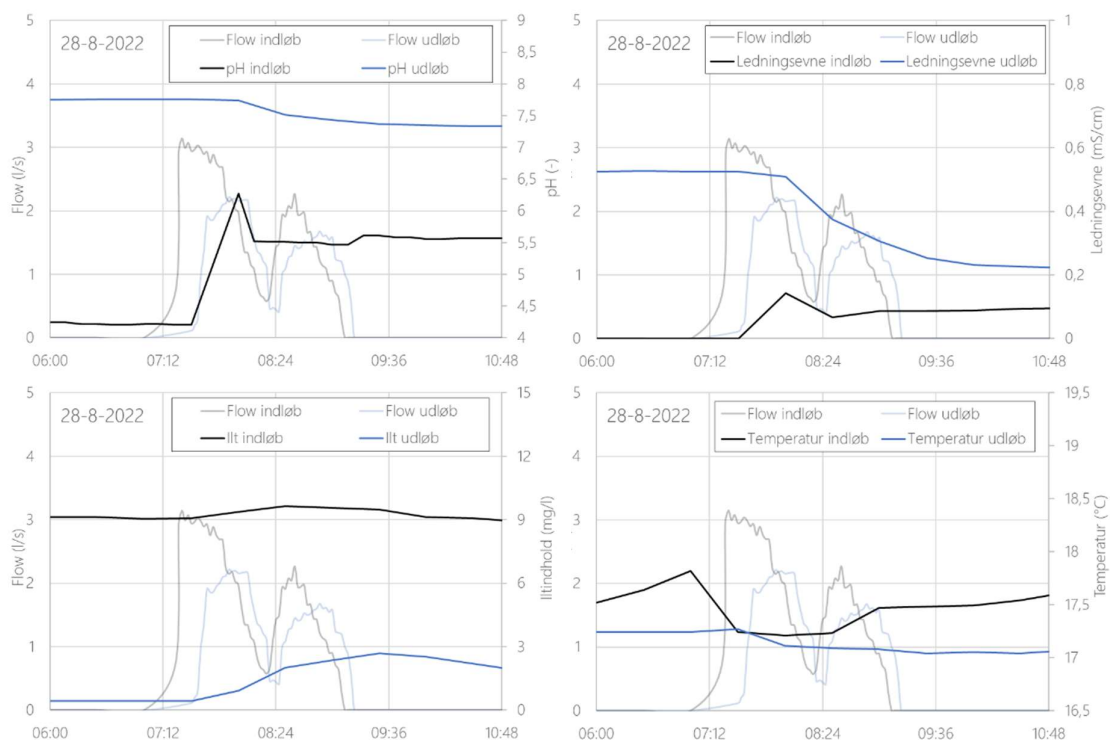
Figur 2.14 Målt pH, ledningsevne, iltindhold og temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelsen den 10-5-2022 (hændelse nr. 5). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb.



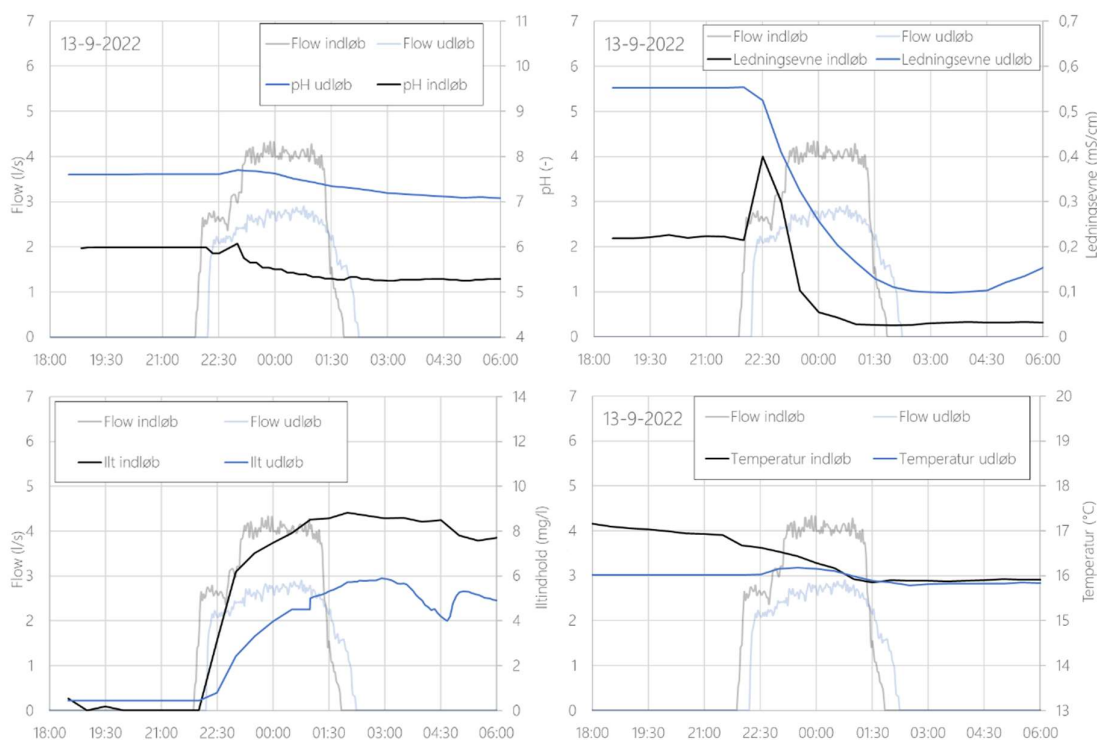
Figur 2.15 Målt temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelserne den 22-6-2022 (hændelse nr. 6 og 7). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb.



Figur 2.16 Målt pH, ledningsevne, iltindhold og temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelsen den 27-6-2022 (hændelse nr. 8). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb.



Figur 2.17 Målt pH, ledningsevne, iltindhold og temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelsen den 28-8-2022 (hændelse nr.9). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb.



Figur 2.18 Målt pH, ledningsevne, iltindhold og temperatur i ind- og udløb fra Rockflow for hændelsen den 13-9-2022 (hændelse nr. 10). Desuden er vist det målte flow i ind- og udløb.

### 3. Referencer:

- /1/: Anvendelse af rockflow til nedsivning, magasinering og rensning af regnvand. WSP. 2021.
- /2/: Inspektion og rensning af et Rockflow-system. Rockflow. 2022.  
[https://www.rockwool.com/syssiteassets/applications-and-products/rockflow/downloads/guides/inspection-and-cleaning-guideline-dk\\_web\\_RW-LF-HV-BS.pdf](https://www.rockwool.com/syssiteassets/applications-and-products/rockflow/downloads/guides/inspection-and-cleaning-guideline-dk_web_RW-LF-HV-BS.pdf)
- /3/: Vejledning – Testprocedure for renseløsninger til regnafstrømninger“. Projektnetværk Regn kvalitet der BAT'er. TI, 2021. <http://regnvandskvalitet-abc.teknologisk.dk/renseteknologier/>
- /4/: Våde bassiner til rensning af separat regnvand. Baggrundsrapport. Vollertsen et al. 2012.