



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Kvantifisering av næringsstoffer i avløpsnett

Quantifying nutrients in the sewer

Andreas Lindhjem
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som avslutning på mitt studie innen vann- og miljøteknikk på Fakultet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), våren 2017. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng.

Temaet for masteroppgaven er etter interesse fra Professor Harsha C. Ratnaweera ved NMBU om å utarbeide modeller for å kvantifisere næringsstoffer i avløpsnettene som ellers er vanskelige å måle.

Jeg vil gjerne takke Harsha C. Ratnaweera som hovedveileder. Jeg vil takke Natalia Sivchenko for hjelp med statistisk programvare og veiledning rundt databehandling samt hjelp på lab. Jeg ønsker også å takke Vladyslav Shotstak som har vært til god hjelp på laboratoriet og Xiaodong Wang for hjelp til bruk og hjelp med kalibrering av en del måleutstyr.

Jeg vil takke de ansatte på Solumstrand renseanlegg og spesielt Alexander Vedeler for god hjelp underveis vedrørende det praktiske oppsettet på renseanlegget. Jeg ønsker å takke Harald Darre Seip for godt samarbeid underveis; vi har samarbeidet om innhenting av vannprøver, laboratorieanalyser og mye faglig diskusjon. Jeg vil takke ROSIM AS for tilgang til og hjelp med online nedbørsdata.

Jeg vil også takke Heidi Tronsmoen for hjelp og støtte underveis.

Andreas Lindhjem

11.05.2017

Sammendrag

Denne masteroppgaven har sett på mulighetene til å kvantifisere total fosfor, ortofosfat og ammonium i avløpsnettene basert på statistiske modeller som bruker andre parametere det er lettere å måle online. Det er sett på avløpsvann fra Solumstrand rensedistrikt i Drammen kommune. Klimaendringer vil ifølge framskrivinger føre til mer intensiv nedbør og hyppigere nedbørhendelser. Dette skape problemer til et allerede overbelastet avløpsnett som følge av en stor andel fellesavløp. Resultatet er at mye overvann og spillvann går i overløp og slippes ut til resipienten. Det er vanskelig å forutse konsekvensene av dette da en ikke har gode metoder for å overvåke vannkvaliteten i avløpsnettene.

Prøvetaker og online sensorer har vært plassert inne på innløpet til Solumstrand rensesanlegg før rist for å måle ubehandlet avløpsvann lik det som finnes på nettet. Vannprøver ble hentet inn over fem 24timers perioder. Prøvene representerte tre ulike scenarier: hverdag tørrvær, hverdag nedbør og helgedag tørrvær. Følgende parametere ble målt: suspendert stoff, turbiditet, pH, konduktivitet, vannføring, temperatur, nedbør, total fosfor, ortofosfat og ammonium. Tidspunkt er registrert for alle målinger. Online data er hentet fra rensanleggets system Cactus SCADA, ROSIM AS sin skytjeneste regnbygge.no og den kontrollboksen Create MCC-2300. Vannprøver ble tatt med en ISCO 6712 Full-Size Portable Sampler. Data ble organisert og midlet ned til timesintervaller før statistiske analyser ble gjennomført.

Programvaren The Unscrambler X ble brukt til å kjøre prinsipalkomponentanalyse (PCA) og partial least square regression (PLSR) modeller. Analysen viste at generelle likninger ikke forklarte nok variasjon i datasettet til å kunne brukes. Det ble i midlertid funnet et godt potensial i å lage modeller for hver av scenarioene og hver av parametere. Med PLSR-analysen fikk en også redusert ned antall variabler i likningen slik at det ikke kreves å måle mange forskjellige parametere ute på nettet for å estimere vannkvalitet. Total fosfor ble beskrevet best av modellene med rundt 80% forklart variasjon. Ortofosfat lot seg kun modellere med akseptabel nøyaktighet for scenarier helgedag tørrvær med ca. 80% forklart variasjon. Ammonium lot seg modellere for to scenarier; hverdag og helgedag tørrvær med henholdsvis 78,5% og 72% forklart variasjon.

Opgaven konkluderer med at det er observert et daglig vedlikeholdsbehov for sensorene da disse lett samler filler. De statistiske analysene viser et godt potensial men det trengs et større datasett for å beregne mer robuste modeller. Det trengs også forsøk i felt for å kunne si med sikkerhet hvor godt det fungerer med online sensorer i avløpsrør ute på avløpsnettene.

Abstract

This master thesis has been looking at the possibilities to quantify total phosphorus, orthophosphates and ammonium in the sewers based on statistical models which use other, easy to measure online parameters. Wastewater from Solumstrand treatment district in Drammen municipality has been studied. Climate change will lead to more intensive and frequent rain events according to projections. This creates problems for an already overloaded sewage network because of a large part common drain. This results in a lot of both surface water and waste water overflowing into recipients. It is difficult to predict the consequences this causes as there is currently no good methods to survey the water quality in the sewers.

A water sampler and online sensors have been placed at the inlet before screens in Solumstrand treatment plant to measure untreated waste water as it would occur in the sewers. Water samples were collected five times over the course of twenty four hours. The samples represented three different scenarios: weekday dry weather, weekday rain and weekend dry weather. The following parameters were measured: suspended solids, turbidity, pH, conductivity, water flow, temperature, rain, total phosphorous, orthophosphate and ammonium. The time is registered for all measurements. Online data have been collected from the treatment plant's system Cactus SCADA, ROSIM AS's cloud service regnbyge.no and the controller box Create MCC-2300. Water samples were collected using an ISCO 6712 Full-Size Portable Sampler. Data was organised and averaged to one hour intervals before statistical analyses were conducted.

The software The Unscrambler X was used to run principal component analysis (PCA) and partial least square regression (PLSR) models. The analysis showed that general equations did not explain enough variation in the dataset to be usable. It was however found good potential in creating models for each of the scenarios and each parameter. With the PLSR analysis one was also able to reduce the number of variables in the equation so that one did not need to measure many parameters online in the sewers in order to estimate water quality. Total phosphorous was described best by the models with approximately 80% explained variation. Orthophosphates was only acceptably modelled for one scenario; weekend dry weather with about 80% explained variation. Ammonium was acceptably modelled by two scenarios; week day and weekend dry weather with about 78,5% and 72% explained variation each.

The thesis concludes that daily maintenance is required as the sensors collect rags from the waste water. The statistical analyses shows good potential but a bigger dataset is needed to calculate more robust models. There is a need to conduct experiments in the field as well in order to be able to say confidently weather or not online sensors in the sewers works.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag.....	II
Abstract	III
Figurliste	VII
Tabelliste	IX
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Solumstrand rensedistrikt	2
1.3 Regnbyge 3M.....	3
2. Teori.....	5
2.1 Parametere	5
2.1.1 pH	5
2.1.2 Ledningsevne	5
2.1.3 Ammonium (NH ₄ ⁺)	5
2.1.4 Total-fosfor og ortofosfat (Tot-P og PO ₄)	5
2.1.5 Turbiditet (TU)	5
2.1.6 Suspensert stoff (SS)	6
2.1.7 Vannføring	6
2.1.8 Nedbør.....	6
2.2 Statistikk og programvare	6
2.2.1 Prinsipalkomponentanalyse (PCA)	7
2.2.2 Partial least squares (PLS).....	8
2.3 Forurensningsforskriften	8
3. Metode	9
3.1 Utstyr	9
3.1.1 Overvåking.....	9
3.1.2 Sensorer.....	10
3.1.3 Prøvetaker	11
3.2 Programvare	12
3.3 Fremgangsmåte	12
3.3.1 Prøvetaking.....	13
3.3.2 Konservering av vannprøver.....	13
3.3.3 Online måling.....	13

3.3.4	Datainnsamling	15
3.3.5	Analyse av vannprøver	15
4.	Resultater	18
4.1	Nedbør	19
4.1.1	Nedbørmålere	19
4.1.2	Nedbørstrender for april	20
4.1.3	Innløpsmengde og nedbørmengde	22
4.2	Resultater fra prøvetaking	23
4.2.1	Hverdag tørrvær (05-06 og 25-26 april)	24
4.2.2	Hverdag våtvær (24-25 april).....	26
4.2.3	Helg tørrvær (02-03 og 29-30 april).....	27
4.3	Resultater fra statistiske analyser	29
4.3.1	PCA.....	29
4.3.2	PLSR - Trendlinjer.....	30
4.3.3	PLSR – Likninger	36
4.3.4	PLSR oppsummering	38
5.	Diskusjon.....	39
5.1	Utfordringer.....	39
5.1.1	Kalibrering og nøyaktighet	39
5.1.2	Tidsperspektiv.....	39
5.1.3	Datainnsamling og behandling	40
5.1.4	Uforutsette problemer	40
5.1.5	Værforbehold	40
5.1.6	Muligheter for måling i felt.....	41
5.2	Resultater	41
5.2.1	Nedbør.....	41
5.2.2	Vannprøver	42
5.2.3	Resultater fra online sensorer sammenlignet med labverdier.....	43
5.2.4	Statistisk modellering	45
5.3	Forslag til videre arbeid	45
6.	Konklusjon	46
7.	Referanser	47
	Vedlegg A.....	I
	Resultater fra vannprøver og online måling 02 – 03 april.....	II

Resultater fra vannprøver og online måling 05 – 06 april.....	III
Resultater fra vannprøver og online måling 24 – 25 april.....	IV
Resultater fra vannprøver og online måling 25 - 26 april.....	V
Resultater fra vannprøver og online måling 29 – 30 april.....	VI
Vedlegg B.....	VII

Figurliste

Figur 1-1 Historiske og beregnede fremtidige avvik fra gjennomsnittsverdier (1971-2000) for årstemperatur og årsnedbør i Buskerud fylke. Figuren er hentet fra Norsk klimaservicesenter (2017).	1
Figur 1-2 Flyfoto som viser analyseområdet brukt tidligere. Hentet fra Johansen og Moldekleiv (2016) side 4.	3
Figur 1-3 Overordnet idé, hentet fra Regnbygge-3M (2014)	4
Figur 2-1 PC2 står ortogonalt på PC1 og er rotert slik at den forklarer den nest største variasjonsretningen. Hentet fra (Eriksson et al. 2013, s. 40)	7
Figur 3-1 MCC-2300 multi-channel controller. Bildet er hentet fra instrumentets manual	9
Figur 3-2 Optiske sensorer brukt til måling av turbiditet og suspendert stoff. Foto: Andreas Lindhjem	10
Figur 3-3 Til venstre: Create pH-1110A plug-in pH sensor. Til høyre: CRD-2000 konduktivitetsensor. Hentet fra produktenes manualer.....	11
Figur 3-4 ISCO prøvetaker. Bildet til venstre viser prøvetakeren og bildet til høyre viser prøveflaskene når lokket er tatt av. Foto: Andreas Lindhjem	12
Figur 3-5 Festeanordning for online sensorer. Foto: Andreas Lindhjem.....	14
Figur 3-6 Sensorer for pH, turbiditet og temperatur til venstre. Kontrollbokser til høyre. Foto: Andreas Lindhjem	14
Figur 3-7 Kjemiske reaksjoner ved ammoniumsanalyse i Systeas Easychem. Hentet fra instrumentets manual.	16
Figur 4-1 Kart over Drammen som viser ROSIM sine nedbørmålere. Kartet er hentet fra regnbygge.no med tillatelse fra ROSIM. Bakgrunnskartet er topografisk norgeskart WMS levert av kartverket	19
Figur 4-2 Nedbørmålinger fra april måned for Drammen tingrett, Buskerud sykehus, Hotvetveien 100 og Austadveien 84	20
Figur 4-3 Nedbørmålinger fra april måned for Svelvikveien 171 (Solumstrand renseanlegg), Lammers gate 40, Fagerlibakken 1 og Gulsbogen skole.....	21
Figur 4-4 Nedbørmålinger fra april måned for Antirustsenteret og Sir price.....	22
Figur 4-5 Innløps- og nedbørmengde for Solumstrand renseanlegg 23 til 25 april 2017. Grønn linje viser vannmengde og blå linje viser nedbørmengde.	22
Figur 4-6 A: pH og konduktivitet 05-06 april. B: pH og konduktivitet 25-26 april. C: total fosfor, ortofosfat og ammonium 05-06 april. D: total fosfor, ortofosfat og ammonium 25-26 april.....	24
Figur 4-7 A: suspendert stoff og turbiditet 05-06 april. B: suspendert stoff og turbiditet 25-26 april. C: temperatur og mengde 05-06 april. D: temperatur og mengde 25-26 april.....	25
Figur 4-8 Alle parametre 25-26 april. A: pH og konduktivitet. B: total fosfor, ortofosfat og ammonium. C: suspendert stoff og turbiditet. D: temperatur og mengde.	26
Figur 4-9 A: pH og konduktivitet 02-03 april. B: pH og konduktivitet 29-30 april. C: total fosfor, ortofosfat og ammonium 02-03 april. D: total fosfor, ortofosfat og ammonium 29-30 april.....	27
Figur 4-10 A: suspendert stoff og turbiditet 02-03 april. B: suspendert stoff og turbiditet 29-30 april. C: temperatur og mengde 02-03 april. D: temperatur og mengde 29-30 april.....	28
Figur 4-11 Skårplott fra PCA analyse. Blå firkanter markerer timer det ikke har regnet mens røde rundinger markerer timer det har regnet.	29
Figur 4-12 Biplott fra PCA analyse. De blå prikkene "scores" er prøver mens de røde "loadings" representerer parametrene.	30
Figur 4-13 A: Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO ₄ . C: Trendlinjer for NH ₄	31
Figur 4-14 A: Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO ₄ . C: Trendlinjer for NH ₄	32
Figur 4-15 A: Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO ₄ . C: Trendlinjer for NH ₄	33

Figur 4-16 Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO4. C: Trendlinjer for NH4.....	34
Figur 4-17 Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO4. C: Trendlinjer for NH4.....	35
Figur 5-1 Nedføringsrør med sensorer etter nedbør. Foto: Andreas Lindhjem	41
Figur 5-2 pH lab, MCC-2300 og SCADA 05-06 april	43
Figur 5-3 Turbiditet lab og MCC-2300 05-06 april	44
Figur 5-4 Konduktivitet lab, MCC-2300 og SCADA 25-26 april	44

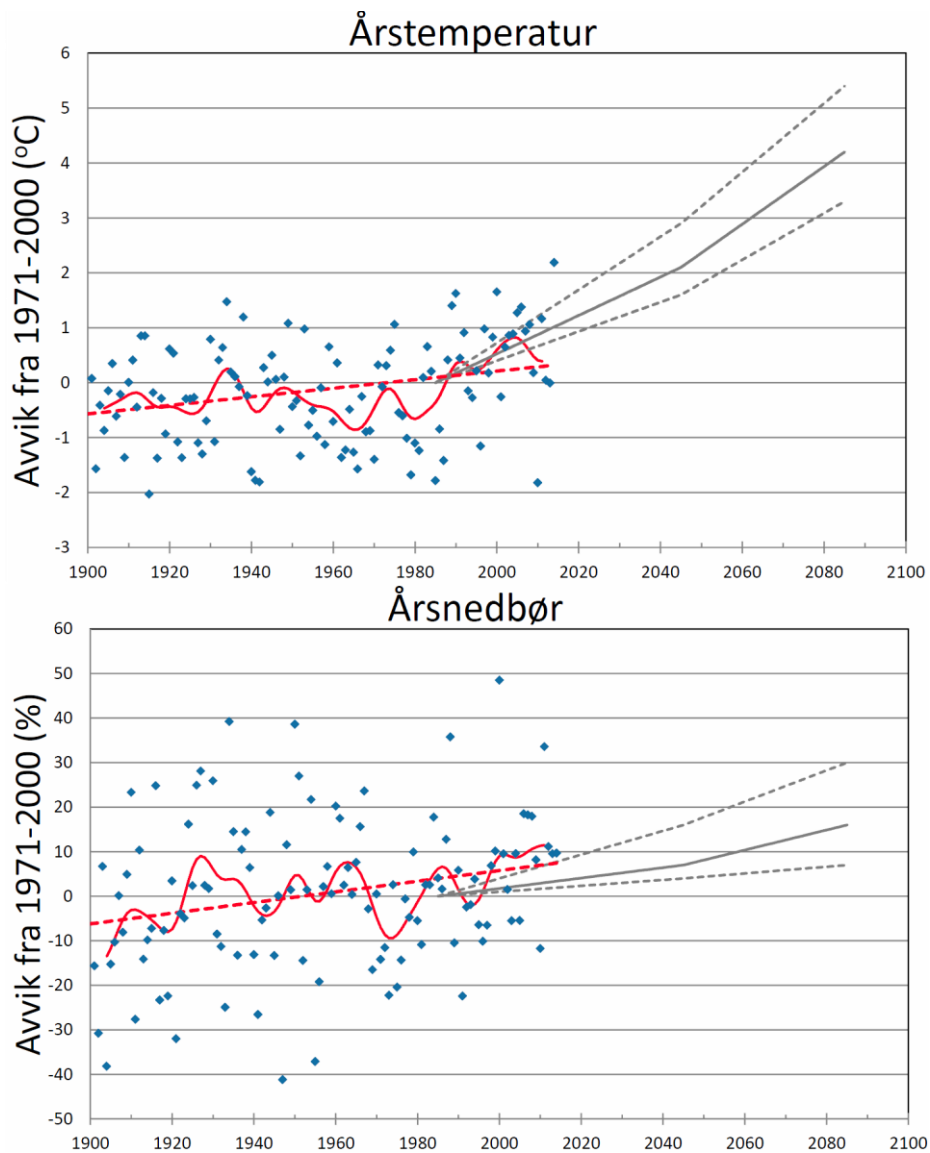
Tabelliste

Tabell 1 Resultater fra generelle likninger fra PLSR analyse	38
Tabell 2 Resultater fra likninger for ulike scenarioer fra PLSR analyse	38
Tabell 3 Verdier fra vannprøver og online måling 02-03 april	II
Tabell 4 Verdier fra vannprøver og online måling 05-06 april	III
Tabell 5 Verdier fra vannprøver og online måling 24 - 25 april.....	IV
Tabell 6 Verdier fra vannprøver og online måling 25 - 26 april.....	V
Tabell 7 Verdier fra vannprøver og online måling 29 - 30 april.....	VI

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Et endret klima har ført til registreringer av økende gjennomsnittstemperaturer globalt de siste hundre årene. Menneskelige utslipp av klimagasser har bidratt til dette. En konsekvens av klimaforandringer i Norge er hyppigere og mer intensiv nedbør. Dette fører igjen til større utfordringer knyttet til flom og forurensninger. Videre er økende urbanisering og utbygging av tette flater med på å ytterlig forverre problemet. Der andelen tette flater er høy vil ledningsnettene måtte tåle en proporsjonalt høyere belastning som følge av mangel på infiltrasjon til grunnen. I byer med fellesavløpssystem vil dette være et spesielt stort problem. Utbedring av infrastruktur i bykjerner er ofte uønsket på grunn av de store kostnadsmessige og praktiske utfordringene. Overvannshåndtering er et stadig viktigere tema i byer på grunn av klimautfordringene.



Figur 1-1 Historiske og beregnede fremtidige avvik fra gjennomsnittsverdier (1971-2000) for årstemperatur og årsnedbør i Buskerud fylke. Figuren er hentet fra Norsk klimaservicesenter (2017).

Figur 1-1 viser framskrivinger av temperatur og nedbør for Buskerud fylke. Blå prikker viser observerte avvik for enkeltår i perioden 1900-2014, stiplet rød strek er observert trend, mens rød kurve viser glattede 10-års variasjoner. Heltrukken grå strek og stiplede grå streker viser henholdsvis midlere, lav og høy modellberegning for høye klimagassutslipp.

Denne oppgaven bygger videre på tidligere oppgaver innenfor Regnbygge 3M prosjektet (det står mer om dette prosjektet i neste delkapittel. Hovedfokuset så langt har vært på modellering av vannmengder basert på nedbørsmålinger, terrengmodeller og modell av ledningsnett. Selv om dette arbeidet er viktig for å kunne kvantifisere mengden vann som går i overløp ved et gitt regnforløp er det fortsatt mye usikkerhet knyttet til vannkvaliteten. Denne oppgaven vil forsøke å kvantifisere vannkvaliteten ved hjelp av direkte og indirekte sensorer slik at en kan si noe om mengden fosfor og nitrogen som slippes ut til resipienten ved et gitt regnskyll. Dette vil kunne bidra til å innføre detaljerte utslippskrav for renseanlegg der en i dag har liten mulighet til å fokusere på kvaliteten på vannet som går i overløp, kun vannmengden.

I følge forurensningsloven skal kravet for renseeffekt "beregnes som årlig middelværdi av det som blir tilført renseanlegget." (Forurensningsforskriften § 12-8). Denne praksisen innebærer en ganske stor usikkerhet når det kommer til hva som faktisk går i overløp. Dette er fordi overløpshendelsene vil følge nedbørsmønsteret. Det er nærliggende å tro at mye av det som går i overløp er konsentrert i korte tidsperioder der det er intens nedbør. Ettersom klimaendringer vil føre til mer intense nedbørsbyger er det viktig å finne metoder for å kvantifisere hva som faktisk slippes ut til resipientene.

Utgangspunktet for kvantifiseringen har i denne oppgaven vært estimering av modeller basert på statistisk korrelasjonsanalyse av ulike målte parametere. Videre har modellene og parameterne blitt verifisert mot manuelle analyser på lab.

1.2 Solumstrand rensedistrikt

Solumstrand og Muusøya rensedistrikt renner ut ved i Drammenselva mot utløpet til Drammensfjorden. I følge Ødegaard et al. (2014) settes det vanligvis samme krav til utslipp til elvemunninger (som Solumstrand) som til ferskvann. Det betyr at utslipp typisk får høyere konsekvenser enn utslipp til sjøresipienter. Ettersom resipienten er brukt til rekreasjon er det ifølge forurensningsforskriften krav om 90% fjerning av fosfor og 90% fjerning av BOF (Forurensningsforskriften § 12-8). Generelt vil mengden fosfor og nitrogen kunne bidra til en potensiell algeoppblomstring liknende det man har sett tidligere i indre Oslofjord (NTB 2009).

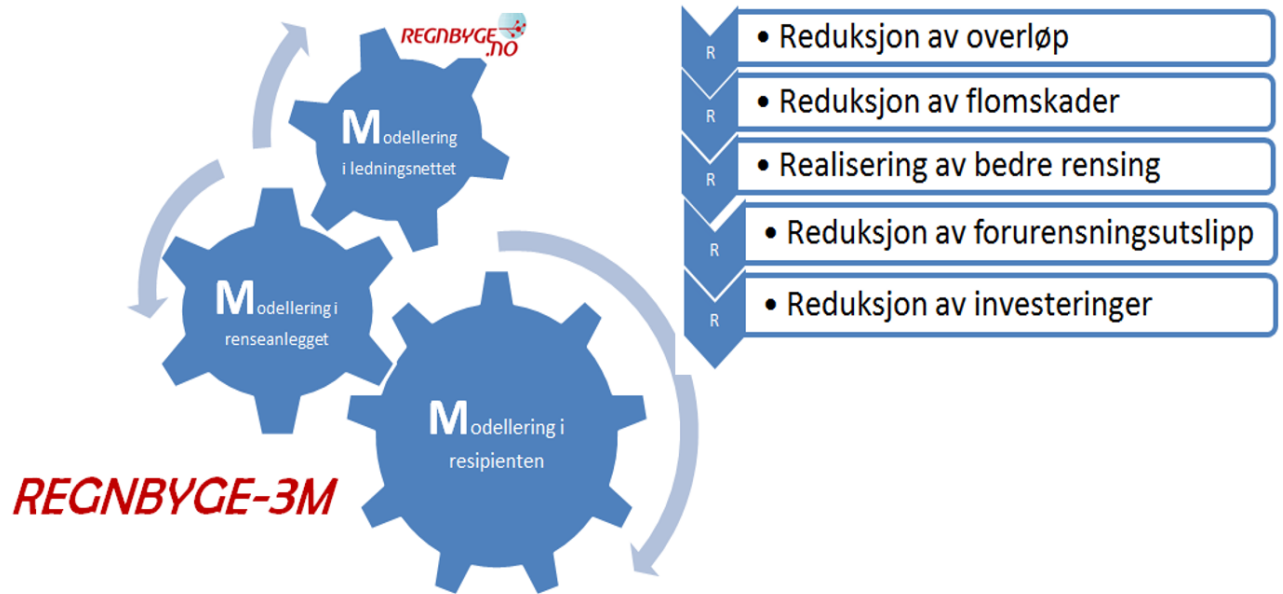


Figur 1-2 Flyfoto som viser analyseområdet brukt tidligere. Hentet fra Johansen og Moldekleiv (2016) side 4.

Figur 1-2 viser et analyseområdet brukt i programvaren ArcGIS i en tidligere masteroppgave. Området ble bestemt etter hvor vannskillene går. Dette området vil derfor gi en god indikasjon på nedbørsfeltet tilknyttet avløpsnett som går til Solumstrand rensesanlegg. En mer detaljert systemskisse av ledningsnett i Solumstrand rensedistrikt kan sees i vedlegg B.

1.3 Regnbyge 3M

Denne oppgaven er en del av forskningsprosjektet Regnbyge 3M. Prosjektet har som mål å redusere flom og forurensning i urbane områder uten store inngrep på eksisterende infrastruktur (Regionale Forskningsfond 2013).



Figur 1-3 Overordnet idé, hentet fra Regnbygge-3M (2014)

Mer detaljert dreier det seg om å redusere behovet for og kostnader knyttet til investering i infrastruktur ved helhetlig overvåkning, modellering og aktiv styring av avløpsstrømmene. Dette skal gjelde for ledningsnett, rensianlegg og resipient. Det ønskes å kunne predikere små intense byer med stor nøyaktighet for deretter å styre avløpsstrømmene på en slik måte at minst mulig går i overløp. Denne oppgaven kvantifiserer vannkvaliteten slik at en også kan kvantifisere effekten av styrte avløpsstrømmer på andre måter enn kun å se på vannmengde.

2. Teori

2.1 Parametere

2.1.1 pH

pH er et forholdstall som bestemmes av konsentrasjonen av H_3O^+ (ofte brukes den forenklete formen H^+) ioner i en løsning (Ødegaard et al. 2014). pH er også kjent som surhetsgraden. En pH-verdi på rundt 7 anses som nøytral, mens lavere verdier ned mot 1 er sure og høyere verdier opp mot 14 er basiske. pH er omvendt proporsjonal med konsentrasjonen av ionene, det vil si at dersom konsentrasjonen H^+ ioner øker, synker pH-verdien. Videre er det viktig å vite at pH-skalaen er logaritmisk. Det vil si at syrer pH med en enhet blir løsningen ti ganger surere. Under vises likningen som beskriver pH:

$$pH = -\log[H_3O^+] \quad (1)$$

2.1.2 Ledningsevne

Ledningsevne angir vannets saltinnhold. Enheten er $\mu S/cm$ og typisk verdi for avløpsvann er rundt 200 (Ødegaard et al. 2014). Ledningsevne er også kjent som konduktivitet. De vanligste saltene i vann er ionene i karbonatsystemet (HCO_3^- og CO_3^{2-}) men det foreligger også mange andre salter. I VA-teknikken er ledningsevnen hovedsakelig betydningsfull på grunn av korrosjon og avherding. I denne oppgaven brukes ledningsevne til å finne korrelasjoner med andre parametere.

2.1.3 Ammonium (NH_4^+)

Nitrogen er et viktig næringsstoff. Både fosfor- og nitrogenutslipp kan føre til eutrofiering. Nitrogen er i hovedsak vekstbegrensende for havresipienter (Kjensmo 2011). Denne oppgaven ser på konsentrasjoner av ammonium i avløpsvannet. Ammoniumionet (NH_4^+) oppstår når det skjer en reaksjon mellom ammoniakk (NH_3) og vann. Planter benytter ammoniakk som en viktig nitrogenkilde og det er derfor viktig å begrense forurensning til vassdrag (Norsk Vann). I denne oppgaven måles NH_4-N i mg/l, altså vekten av nitrogenatomene i forbindelsen.

2.1.4 Total-fosfor og ortofosfat (Tot-P og PO_4)

Fosfor er sammen med nitrogen et viktig næringsstoff. På grunn av dette er utslipp av fosfor til vassdrag uheldig da det kan føre til eutrofiering. Videre brukes fosfor i gjødsel som et vekstmiddel. Fosfor er en begrenset ressurs og dette sammen med eutrofieringspotensialet gjør at det er viktig å unngå utslipp av fosfor. I denne oppgaven måles vekten av fosforatomene det vil si at en måler mg/l av Tot-P-P og PO_4-P .

2.1.5 Turbiditet (TU)

Turbiditet er et mål på innholdet av meget små partikler (kolloider) i vann. Kolloider er partikler som har diameter mellom 0.01 og 1 μm (Ødegaard et al. 2014). Enheten for turbiditet er FTU (Formazine Turbidity Units) i henhold til ISO-standard. Denne enheten er identisk med NTU (Nephelometric Turbidity Units) som benyttes mye i USA og i drikkevannsforskriften (Drikkevannsforskriften 2003) og i denne oppgaven. Felles referanse for enhetene er interferensen av lys som passerer gjennom en løsning med 1 mg/l

silisiumoksid. Enheten kan dermed også skrives mg SiO₂/l. Mikroorganismer og organisk stoff er eksempler på stoffer som kan bidra til økt turbiditet. På folkemunne kan en si at turbiditet måler "grumsetheten" til vannet.

2.1.6 Suspendert stoff (SS)

Suspendert stoff er en parameter som angir mengden ikke-filtrerbare partikler. Det vil si partikler som er større enn 1-2µm. Suspendert stoff måles vanligvis ved å veie et filterpapir, filtrere en kjent vannmengde også tørke filterpapiret og veie det på nytt. Vektdifferansen delt på filtrert vannmengde gir da konsentrasjonen av total suspendert stoff. Denne er gitt som mg/l. En relatert parameter er total suspendert stoff (TSS). Her veies også de filtrerbare, kolloide partiklene ved hjelp av inndamping i stedet for filtrering. Dette er en mindre relevant parameter i avløpssammenheng da konsentrasjonen av suspendert materiale som regel dominerer over det oppløste (Ødegaard et al. 2014).

$$SS = \frac{\Delta m}{V} \quad (2)$$

Der SS er suspendert stoff, Δm er vektdifferansen (mg) og V er vannmengden (l).

2.1.7 Vannføring

Vannføring er gitt som volum vann forflyttet per tid. Det vil si at enheten blir m³/s eller kubikkmeter per sekund. Vannføring kan også defineres som tvernsnittsareal multiplisert med tid eller:

$$Q = Av \quad (3)$$

Der Q er vannføring (m³/s), A er areal (m²) og v er vannets hastighet (m/s).

2.1.8 Nedbør

Nedbør er gitt i enheten millimeter. Gitt at tettheten til vann er 1000 kg/m³ så vil 1mm tilsvare 1 liter per m². Nedbør er en sentral parameter i denne oppgaven da den er med på å påvirke både avløpsmengde og vannkvaliteten til avløpsvannet.

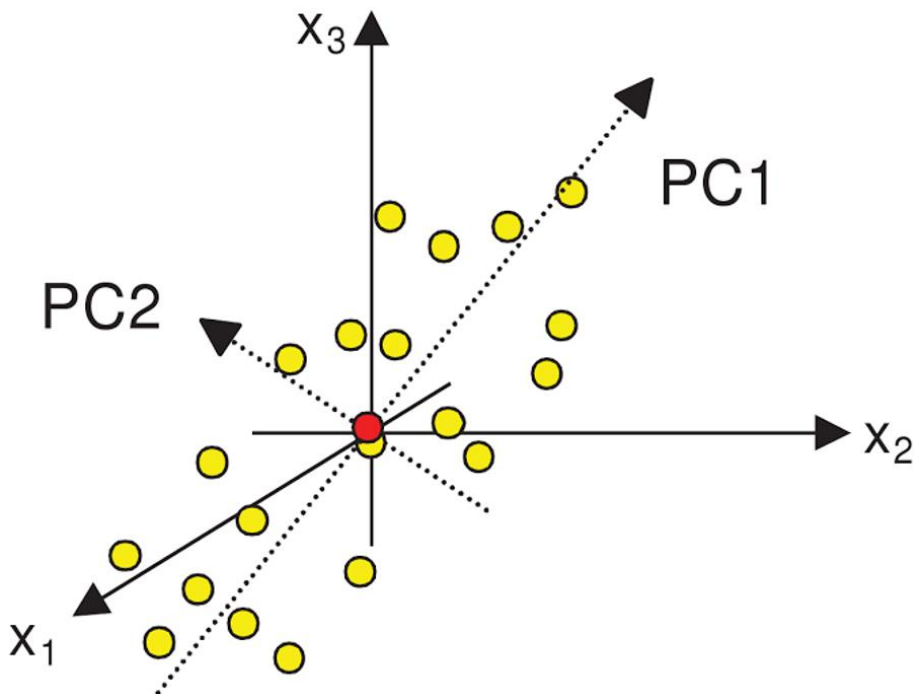
2.2 Statistikk og programvare

Det er benyttet multivariabel dataanalyse for å finne sammenhenger og generere modeller basert på data med mange variabler. Tidligere studier viser at prinsipalkomponentanalyse (PCA) kan brukes til å estimere parametere som forklarer variasjonen av andre parametere. Dermed kan man benytte parametere som er enkle å måle (f.eks. pH og vannføring) til å modellere andre parametere som er trege og dyre å måle online (f.eks. kjemisk oksygenforbruk og Tot-P) (Wang et al. 2017). Studiet viste at man i dette tilfellet kunne forklare mellom 80 og 90% av variasjonen i KOF og Tot-P med tre andre parametere.

2.2.1 Prinsipalkomponentanalyse (PCA).

Kort forklart er prinsipalkomponentanalyse (PCA) statistiske utregninger som erstatter vanlige forklarende parametere i et datasett med færre lineærkombinasjoner kalt prinsipalkomponenter (Härdle & Simar 2015). Fordelen med dette er at selv om en trenger alle variablene i et datasett for å forklare all variasjon så vil en ofte med kun få prinsipalkomponenter forklare mesteparten av variasjonen i datasettet. Før selve analysen blir parameterne gjerne vektet ulikt i forhold til hvordan de varierer. På denne måten vil ikke en variabel som varierer mellom 200-1000 (f.eks. SS) påvirke resultatet mye mer enn en som varierer mellom 1 og 5 (f.eks. $PO_4\text{-P}$). Analysen tar med andre ord høyde for at variablene har ulik størrelsesorden og variasjon (Eriksson et al. 2013).

Prinsipalkomponentene kan sees på som trendlinjer til dataene plassert i et mangedimensjonalt koordinatsystem. Hver variabel i datasettet representerer en akse i koordinatsystemet og prinsipalkomponentene danner linjer etter minste kvadraters tilpasning som viser den største variasjonen i datasettet. Etter skalering og sentrering slik at alle variablene har en forventning lik 0 kan prinsipalkomponentene beregnes. Forbehandlingen fører til at origo i koordinatsystemet er i gjennomsnittspunktet. Prinsipalkomponent 1 (PC1) har den retningen som beskriver den største variasjonen, PC2 den nest største også videre. Prinsipalkomponentene er ortogonale i forhold til hverandre (Eriksson et al. 2013). Observasjonene projiseres til PC-linjene og får nye koordinatverdier som kalles "scores" eller skårer. Etter dette kan en vise et skårplott med to prinsipalkomponenter som akser. Et slikt plott vil kunne vise grupper av observasjoner. Observasjoner som er nærme hverandre har liknende egenskaper i forhold til prinsipalkomponentene som utgjør aksene. Videre er det slik at jo lenger fra origo en observasjon er, jo mer påvirker denne observasjonen modellen. Videre kan skårplott brukes til å identifisere "outliers", det vil si observasjoner som skiller seg ut fra resten. Disse kan påvirke retningen på prinsipalkomponenten en del og bør derfor fjernes for å få en mest mulig representativ linje.



Figur 2-1 PC2 står ortogonalt på PC1 og er rotert slik at den forklarer den nest største variasjonsretningen. Hentet fra (Eriksson et al. 2013, s. 40)

2.2.2 Partial least squares (PLS)

Partial least square (PLS) er en utvidelse av PCA. PLS er en metode for multivariabel datamodellering. I PCA er modellen basert på en matrise (X) bygd opp av forklaringsvariabler. En PLS-analyse bruker også en annen matrise (Y) bestående av responsvariabler. Med andre ord ser PLS på sammenhengen mellom forklarings- og responsvariablene (Eriksson et al. 2013). PLSR står for partial least square regression der PLS utregningen brukes til å finne en lineær regresjonsmodell. Etter at modellen er kjørt blir det også utført kryssvalidering. En slik validering sier noe om hvor god modellen er. Denne utføres ved at en beregner flere modeller med et redusert datasett (valgt ut tilfeldig i denne oppgaven). Disse modellene predikerer verdiene til de utelatte dataene. Etter dette sammenlignes de predikerte med de faktiske verdiene. Dette vises i et plott som viser hvor stor feilmarginen er i forhold til hvor mange prinsipalkomponenter som er brukt. På denne måten får en vite hvor mange prinsipalkomponenter det er nødvendig å bruke. Ettersom PLSR tar hensyn til responsvariabler i tillegg til forklaringsvariabler er denne metoden godt egnet til å gi en modell som godt beskriver responsvariablen med få faktorer (tilsvarende prinsipalkomponenter) (MathWorks). PLSR gir koeffisienter som kan brukes til å lage en likning der hver koeffisient hører til en variabel slik at man kan løse for Y-parameteren.

2.3 Forurensningsforskriften

Det er hensiktsmessig å nevne at det finnes lover relevant for både overvann og spillvann i denne oppgaven. Dette er på grunn av sammenhengen mellom overvanns- og spillvannskvaliteten i områder med felles avløpssystem. Et slikt system fører som tidligere nevnt til at overvannskvaliteten og nedbørmengden i stor grad kan påvirke kvaliteten på, og mengden spillvann. Videre vil nedbørmønsteret også i stor grad kunne bestemme hvor mye som går i overløp. Dette er vist i senere i kapittel 4. Ettersom denne oppgaven dreier seg om overvann i avløpsnett er det mest nærliggende og ta med noen utdrag fra forurensningsforskriften. I kapittel 11 om generelle bestemmelser om avløp står det en formålsparagraf som sier at formålet "er å beskytte miljøet mot uheldige virkninger av utslipp av avløpsvann." (Forurensningsforskriften § 11-1). Forskriften definerer også avløpsvann som "Både sanitært og industrielt avløpsvann og overvann." (Forurensningsforskriften § 11-3). Med andre ord inkluderes overvann som en del av avløpsvannet også i lovteksten. Dette gir et bedre grunnlag for å se på sammenhengen mellom overvannsmengde og kvalitet på avløpsvannet. Videre beskrives det faktorer det skal tas særlig hensyn til ved dimensjonering, bygging, drift og vedlikehold av avløpsnett:

"a) avløpsvannets mengde og egenskaper, b) forebygging av lekkasjer, og c) begrensning av forurensning av resipienten som følge av overløp." (Forurensningsforskriften § 12-7).

Punkt c er av særlig interesse for denne oppgaven da en ønsker å kunne kvantifisere den faktiske vannkvaliteten på vannet som går i overløp.

3. Metode

I hovedtrekk har arbeidet bestått i å samle inn data fra vannprøver tatt med automatisk prøvetaker og med online sensorer som er beskrevet i kapitlene under. Videre er online målinger verifisert med vannprøvene som er analysert på lab. Programvaren The Unscramber X er brukt for å finne korrelasjoner mellom online målte parametere og verdier av total fosfor, ortofosfat og ammonium som er analysert på lab. Modeller ble så laget med programvaren for å estimere total fosfor, ortofosfat og ammonium som funksjon av færre parametere enn det var i det opprinnelige datasettet.

3.1 Utstyr

3.1.1 Overvåking

Det ble brukt en Create MCC-2300 Universal Multichannel Controller til å ta imot signaler fra målesensorer som deretter ble lastet ned på minnepinne. Kontrolleren skal kunne håndtere mer enn 12 ulike måleparametere simultant.



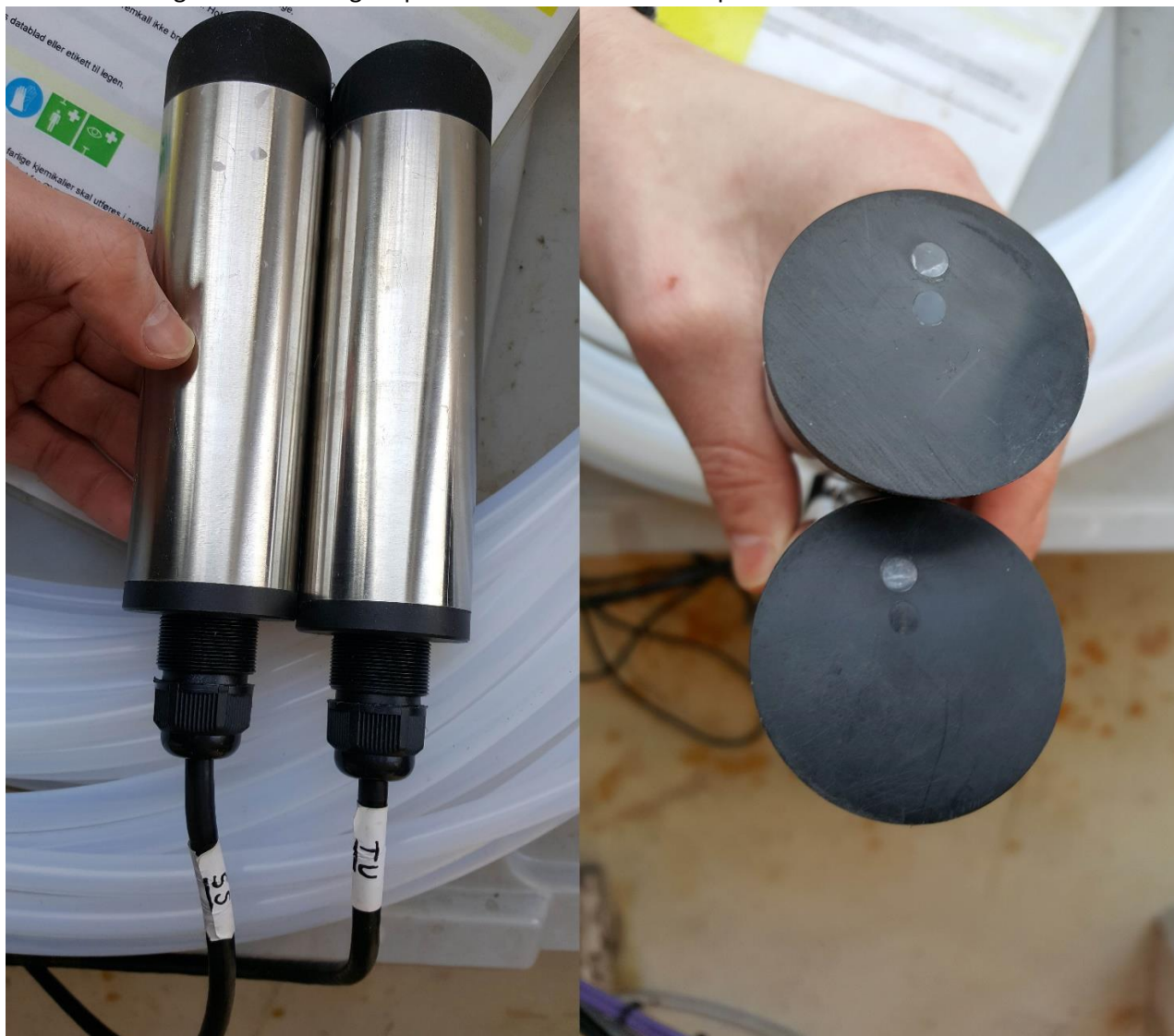
Figur 3-1 MCC-2300 multi-channel controller. Bildet er hentet fra instrumentets manual

I arbeidet med denne oppgaven tok kontrolleren imot måledata for følgende parametere: pH, konduktivitet, turbiditet og suspendert stoff. Turbiditet og suspendert stoff ble målt med analoge sensorer som gir en strøm på 4-20mA tilbake til kontrolleren som igjen regner om strømmenstyrken til en kalibrert tallverdi. pH og konduktivitet gir digitale signaler over RS-485 grensesnittet.

Solumstrand renseanlegg har et eget sensor- og overvåkningsanlegg. I innløpet finnes det sensorer for blant annet vannmengde, pH, konduktivitet og temperatur. Disse er koblet opp mot et eget system som heter Cactus SCADA. Her er data fra forbehandlingstrinnet hentet.

3.1.2 Sensorer

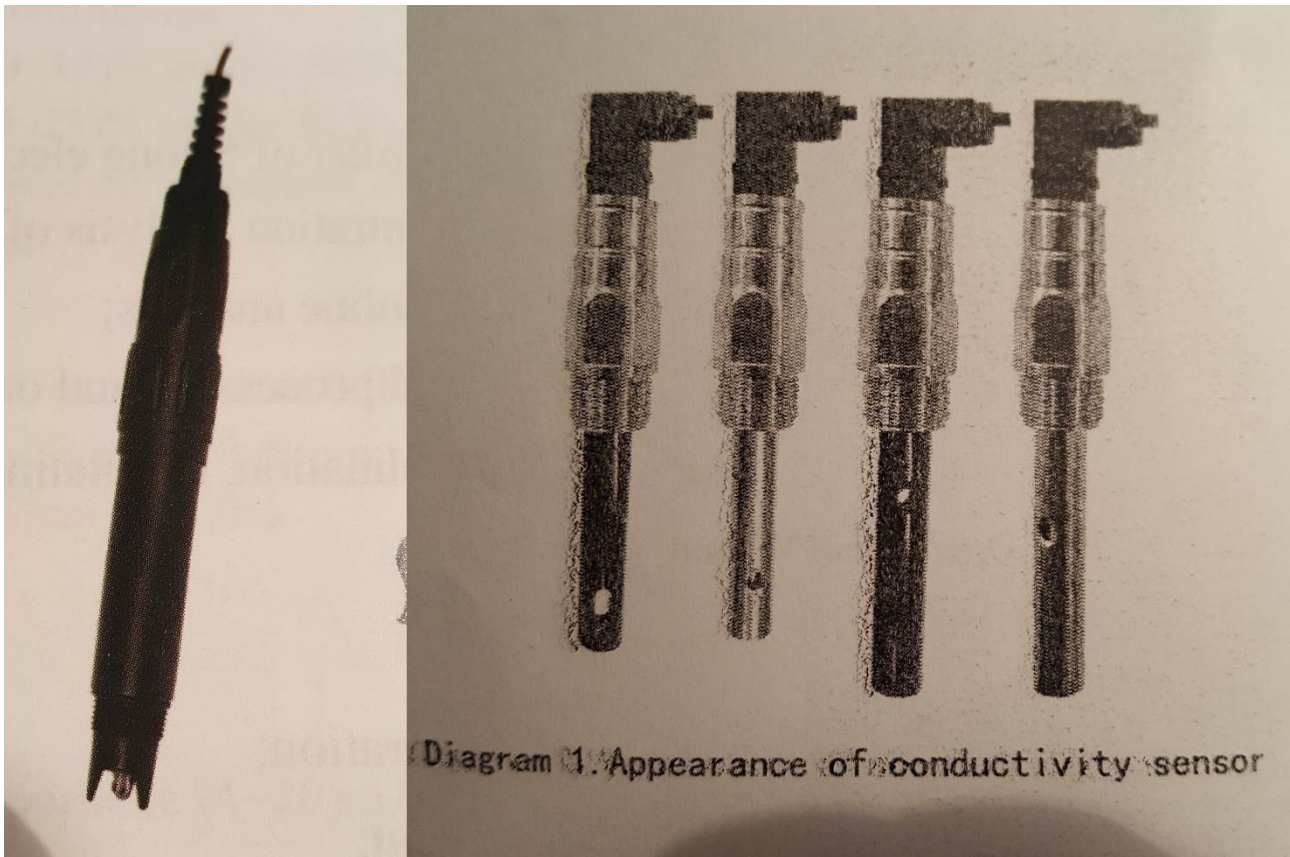
Til online måling av turbiditet og suspendert stoff ble det brukt optiske sensorer som vist under.



Figur 3-2 Optiske sensorer brukt til måling av turbiditet og suspendert stoff. Foto: Andreas Lindhjem

Mer informasjon om de optiske sensorene var gitt i kinesiske brukermanualer, så den informasjonen er ikke gjengitt her.

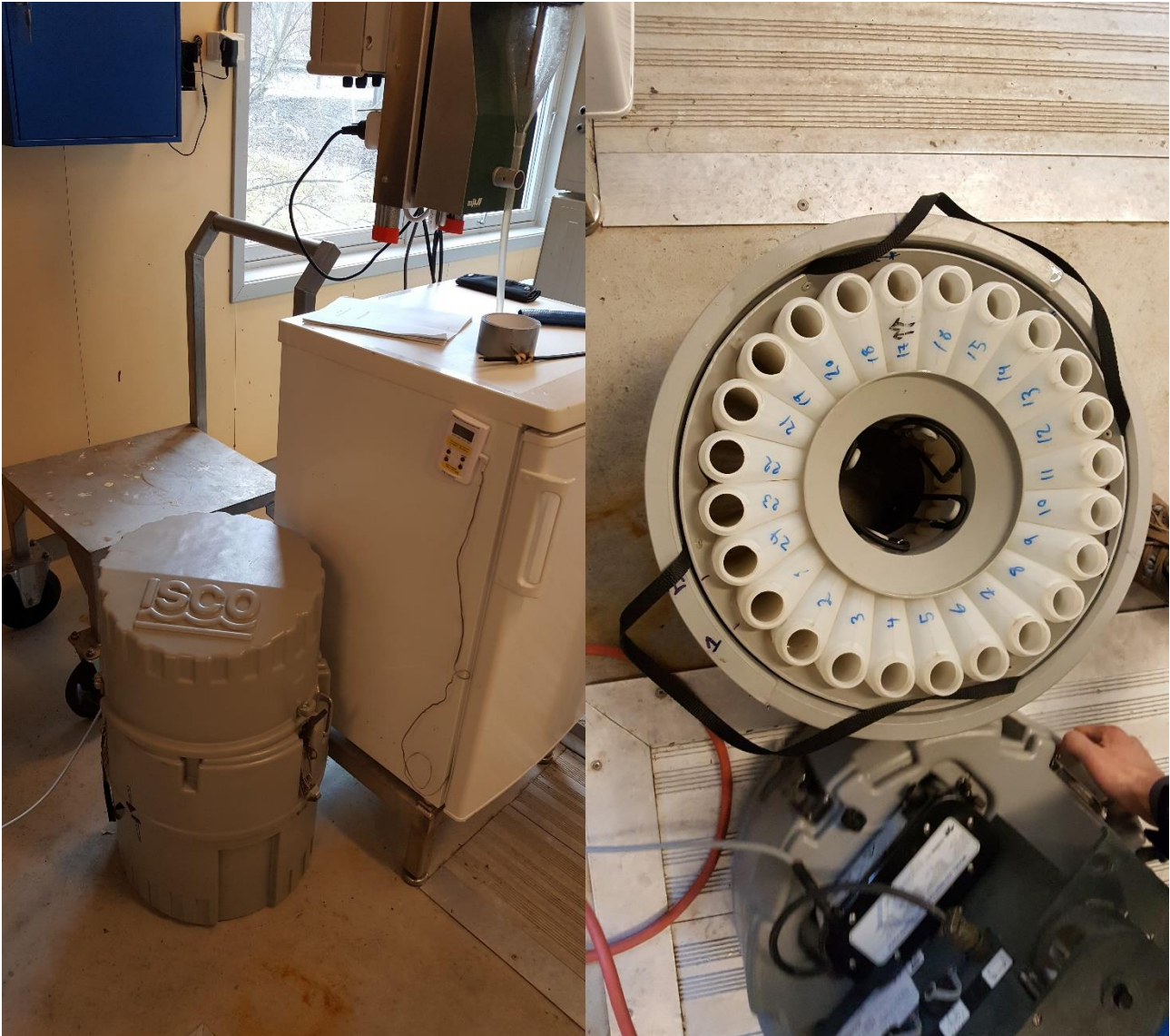
Til måling av pH ble det brukt en Create pH-1110A plug-in sensor. Sensoren gav et digitalt RS485 signal til kontrollboksen. Til måling av konduktivitet ble det brukt en CRD-2000 Digital Conductivity Sensor. Sensoren gav et digitalt RS485 signal til kontrollboksen.



Figur 3-3 Til venstre: Create pH-1110A plug-in pH sensor. Til høyre: CRD-2000 konduktivitetssensor. Hentet fra produktenes manualer

3.1.3 Prøvetaker

Vannprøver ble tatt med en ISCO 6712 Full-Size Portable Sampler. Dette er en mobil prøvetaker som har plass til 24 prøveflasker. Følgende innstillinger ble brukt på prøvetageren for å ta vannprøvene: 24 flasker på 500ml, 10 fot sugeslange, 20min mellom hver sampling, 3 samplinger per flaske, hver sample på 150ml, ingen forsinkelse fra man starter programmet. Dette gjør at hver prøveflaske inneholder 450ml spillvann fordelt på tre prøver tatt med 20 minutters mellomrom. Dette var for å få en representativ blandprøve fra hver time over et døgn.



Figur 3-4 ISCO prøvetaker. Bildet til venstre viser prøvetakeren og bildet til høyre viser prøveflaskene når lokket er tatt av. Foto: Andreas Lindhjem

3.2 Programvare

Microsoft Excel har blitt mye brukt for innsamling og organisering av data. Dette inkluderer midling og summasjon for å kompensere for forskjeller i tidsoppløsning. Det står mer om dette i kapittel 4.2, 5.1.3 og verdiene kan sees i vedlegg A.

The Unscrambler X ble brukt til statistiske analyser og modellering.

3.3 Fremgangsmåte

Dette delkapittelet tar for seg metodikken bak prøvetaking, online målinger og databehandling. På bakgrunn av målte verdier av pH, turbiditet, ledningsevne, vannføring, suspendert stoff, total-fosfor, orthofosfat, ammonium og tidspunkt for online målinger og prøvetaking har korrelasjoner blitt analysert for å lage prediksjonsmodeller.

3.3.1 Prøvetaking

Som nevnt tidligere ble det tatt vannprøver for å måle de samme parameterne som online målinger (ved unntak av nedbør, vannføring og temperatur). Prøvetakeren ble forhåndsprogrammert og ansatte på renseanlegget startet prøvetakeren et døgn før prøvene ble hentet.

Etter at prøvetakeren hadde fylt opp alle flaskene ble hver flaske ristet godt før prøver ble helt over på 250ml plastflasker. På denne måten sikret man å få gode blandprøver da det sedimenterte materiale ble blandet inn i vannet igjen. Dette ble ikke gjort for flaske 4-11 for den første prøvetakingen, dette kommer tydelig frem i resultatene. Plastflaskene ble merket slik at en visste hvem som var tatt når.

Harald Darre Seip har skrevet en beslektet oppgave parallelt med denne der han har benyttet to andre like prøvetakere plassert før og etter fellingstrinnet på renseanlegget. De samme parameterne ble målt. Til sammen ble det dermed hentet 72 vannprøver (3*24) per prøvetakingsdag.

3.3.2 Konservering av vannprøver

Vannprøvene måtte konserveres da ikke alle nødvendige analyseinstrumenter var tilgjengelige med en gang. pH, turbiditet, ledningsevne, suspendert stoff, ortofosfat og totalfosfor ble målt i løpet av 1-3 dager fra prøvene ble hentet. Prøvene ble holdt kjølig denne perioden slik det anbefales i Aquateam sin prosedyre om lagring og transport av vannprøver (Storhaug & Aquateam 2008). Dette er ikke optimalt da vannprøver i utgangspunktet ikke skal lagres kjølig mer enn et døgn for å unngå tap av flyktige stoffer (Rice et al. 2012). Etter at de innledende analysene var tatt ble prøvene dypfryst for konservering slik som også er anbefalt i SWECO sin instruks for prøvetaking (SWECO 2017). Unntaket var vannprøvene som ble tatt mellom 24-25 april. Disse ble liggende en uke før ammoniumsmåling og ikke fryst.

3.3.3 Online måling

Dette delkapittelet tar for seg målingene gjort av online sensorer, det vil si alle andre målinger enn vannprøvene. Det er benyttet ulike online sensorer som til sammen er koblet i 3 ulike systemer.

Nedbørsdata er hentet fra ROSIM sin nedbørsmåler som er plassert på renseanlegget i Svelvikveien 171. Dette er en fastmontert vippemåler som det ikke ble innhentet nærmere opplysninger om. Selve datainnsamlingen er beskrevet i delkapittelet under.

Alle andre online parametere ble målt inne på renseanlegget ved innløpet før rista. Som nevnt tidligere var dette for å få resultater som i størst mulig grad tilsvarer forholdene ute i spillvannsnettet.

Til kontrollerboksen MCC-2300 tatt med fra NMBU var det festet fire sensorer; pH, konduktivitet, suspendert stoff og turbiditet. Disse var forhåndstilkoblet og programmert til kontrollerboksen av Xiadong Wang på NMBU.

Kalibrering:

Selv om sensorene skulle være forhåndskalibrerte gav boksen målinger som ikke samsvarte med forventningene. Det ble derfor laget til to løsninger med bentonitt, et finkornet leiremineral. Turbiditet og konsentrasjon suspendert stoff ble så målt på lab og kalibrert for i felt.



Figur 3-5 Festeordning for online sensorer. Foto: Andreas Lindhjem

Temperatur, pH og konduktivitet fra anleggets eget system ble målt med to sensorer festet på stenger som er senkbare for å legge til rette for enkelt vedlikehold. Se Figur 3-6 under.



Figur 3-6 Sensorer for pH, turbiditet og temperatur til venstre. Kontrollbokser til høyre. Foto: Andreas Lindhjem

3.3.4 Datainnsamling

Data har blitt samlet fra flere ulike steder. Data fra vannprøvene ble manuelt inntastet for parameterne pH, turbiditet, konduktivitet og suspendert stoff. Data fra SYSTEAS ble lastet ned som tekstfiler. Tekstfilene ble så importert i Microsoft Excel. Dette gjeldt for Tot-P, PO₄ og NH₄. Data fra sensorene som var koblet til MCC-2300 kontrollerboksen ble lastet ned manuelt på en USB-minnepinne. Denne boksen gir Excel-filer rett ut, men de måtte bearbeides for å fordelt ulike parameterdata i ulike kolonner. Data fra renseanleggets systemer ble lastet ned på en lokal datamaskin som et Excel-dokument. Også disse dataene måtte bearbeides for å få riktige datoer/tidspunkt og parameterdata i riktige kolonner. Nedbørdata ble lastet ned som en tekstfil fra ROSIM AS sin database regnbygge.no. Nedbørsdata ble lastet ned med 5min oppløsning. Enheten er mm nedbør (l/m²). Også denne informasjonen kom som en tekstfil som ble importert i Microsoft Excel.

3.3.5 Analyse av vannprøver

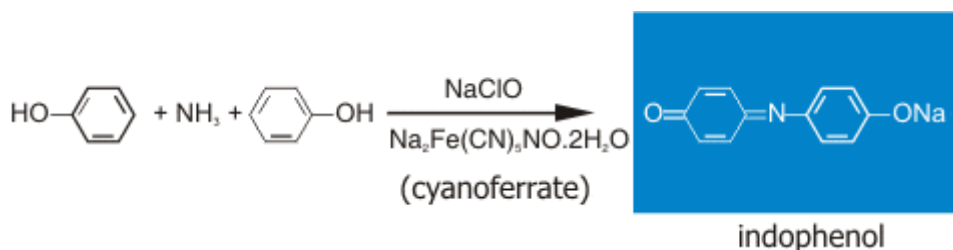
Vannprøvene ble analysert på laboratoriet i TF fløy 5 på NMBU. Under beskrives hvilke metoder som ble brukt for å måle ulike parameterne på vannprøvene. Analysene ble gjort av Harald Darre Seip og meg selv med mye hjelp fra Nataliia Sivchenko og Vladyslav Shostak. Alle 72 vannprøvene ble analysert om hverandre for å utnytte tiden på laboratoriet best mulig. Lagerløsningene som ble brukt i analysene gjort med Systema Easychem Plus ble laget av Vladyslav Shotstak. Informasjon om bruk av Systema Easychem Plus er hentet fra instrumentets manual.

Analyse av pH og ledningsevne

pH og ledningsevne ble målt samtidig med WTW ProfiLine pH3110 og ProfiLine Cond 3210. Sensorene ble rensert med destillert vann mellom hver gang de ble satt i en 250ml plastflaske med vannprøve. Sensorene lå i flasken til verdiene hadde stabilisert seg. Resultatene ble skrevet ned med tre gjeldene siffer for både pH og konduktivitet da verdiene varierte litt slik at det var lite hensiktsmessig å bruke flere gjeldende siffer.

Analyse av ammonium (NH₄⁺)

Ammonium ble målt med Systema Easychem Plus. Fremgangsmåten er hentet fra instrumentets manual (SYSTEAS 2010). Filtrert vannprøve ble brukt da dette instrumentet ikke klarer å måle riktig med partikler i vannet. Det blir tilsatt to arbeidsløsninger, R1 og R2 til filtrert vannprøve for å få frem en farge der transmisjonen korrelerer med konsentrasjonen av ammonium. Mer spesifikt reagerer vannprøven som inneholder ammonium først med hypokloritt slik at det omdannes til monokloramin. Dersom det er overflødig hypokloritt så vil monokloramin reagere med fenol, noe som gir indofenol blå som er proporsjonal med ammoniumkonsentrasjonen i prøven. Blåfargen blir forsterket ved tilsetning av Cyanoferrat (Na₂Fe(CN)₅NO₂O). Se figur 3-7 under. Absorbansen ble målt ved 660nm.



Figur 3-7 Kjemiske reaksjoner ved ammoniumsanalyse i Systea Easychem. Hentet fra instrumentets manual.

For å lage arbeidsløsningene ble det først laget andre lagerløsninger en kunne lagre kjølig til en trengte å lage mer arbeidsløsning.

Arbeidsløsning A (fenol) ble laget ved å blande 8,3g fenol med 3,2g natriumhydroksid og 80ml destillert vann. Etter at det var blandet ble løsningen fortynnet videre til 100ml.

Arbeidsløsning B (EDTA) ble laget ved å fortynne 5,0g dinatrium EDTA til 80ml med destillert vann, blande og fortynne videre til 100ml. Løsningen skal være stabil i to uker.

Arbeidsløsning C ble laget ved å blande 0,050g natrium-nitroferricyanid med 60ml destillert vann, blande og fortynne videre til 100ml. Denne løsningen går fra klar til mørk men dette påvirker ikke analyseresultatene da blankprøven blir påvirket i samme grad.

R1 bestod av en blanding av tre lagerløsninger. For å lage R1 ble 30ml fenol (lagerløsning A) tilsatt 30ml EDTA (lagerløsning B) og 40ml natrium-nitroferricyanid (lagerløsning C). Instrumentet ble kalibrert med standardløsninger med kjente ammoniumkonsentrasjoner på mellom 0 og 20ppm (mg/l).

R2 består av 2-3% natriumhypokloritt.

Analyse av total-fosfor (Tot-P) og ortofosfat (PO₄)

Både Tot-P og PO₄ ble målt med samme metode med Systea Easychem Plus. Forskjellen var at Tot-P målingene ble forbehandlet. Først ble 2,5ml ufiltrert prøve pipetert over i små glassflasker. Deretter ble 3,0ml kaliumperoksidsulfat (K₂S₂O₈) overført i de samme flaskene. Til slutt ble 75µl konsentrert svovelsyre tilsatt. Etter dette ble flaskene kokt ved 120°C i 45 minutter med Hach Lange LT200 tørr-termostat. Denne prosessen omdannet alt fosforet i vannprøven til ortofosfat. Denne prosessen brøt ned partiklene i prøven slik at den ikke trengte å filtreres før analyse.

Fosfat ble målt på filtrert prøve. Dermed ble kun løst PO₄ målt. For begge analysene ble det tilsatt to arbeidsløsninger, R1 og R2 til filtrert vannprøve for å få frem en farge der transmisjonen korrelerer med konsentrasjonen av PO₄. For å lage arbeidsløsningene ble det først laget andre lagerløsninger en kunne lagre kjølig til en trengte å lage mer arbeidsløsning.

Molybdat lagerløsning bestod av 4g ammonium molybdat først fortynnet til 75ml destillert vann, godt mikset også fortynnet videre til 100ml før det ble lagret på en lystett plastflaske.

Svovelsyre lagerløsning bestod av 14ml konsentrert svovelsyre fortynnet til 70ml med destillert vann. Man overførte sakte svovelsyren til destillert vann på grunn av den kraftige eksotermiske reaksjonen. Etter nedkjøling ble løsningen fortynnet videre til 100ml med destillert vann.

Antimon lagerløsning ble laget ved å fortynne 0,3g antimon-kaliumtartrat til 75ml destillert vann, blandet også fortynnet videre til 100ml med destillert vann.

R1 arbeidsløsning er fargereagensen som ble laget ved å blande 15ml molybdat lagerløsning med 50ml svovelsyre (fortynnet). Etter at dette hadde kjølt seg ned ble 5ml antimon lagerløsning tilført

R2 arbeidsløsning ble laget ved å fortynne 1,8g askorbinsyre i 40ml destillert vann. Instrumentet ble kalibrert med standardløsninger med kjente fosfatkonsentrasjoner på mellom 0.15 og 10ppm (mg/l).

Analyse av turbiditet

Turbiditet ble analysert på lab med et Hach 2100N IS Turbidimeter. Vannprøvene ble først godt ristet så ble noe av prøven helt over i glassflasken som går i turbidimeteret. Glassflasken ble så tørket av og ristet godt før en satte den i turbidimeteret og leste av verdien. En brukte den høyeste verdien som instrumentet gav. Dette ble gjort fordi verdiene sank etter hvert som partiklene i vannet sedimenterte. Glassflasken ble skylt med prøvevann fra den neste prøven før hver avlesing.

Analyse av suspendert stoff

Suspendert stoff ble analysert ved å dele vektdifferansen av et filterpapir før og etter filtrering av en kjent vannmengde. Først ble vekten fra 24 filterpapir registrert. Filtrene ble lagt på et brett som var nummerert slik at en hadde oversikt over hvilken vannprøve de ulike filterpapirene hørte til. Filterpapirene ble veid med en Mettler AT200 vekt. Etter veiing ble en kjent mengde vannprøve (som regel 50ml, se vedlegg) filtrert gjennom korresponderende filterpapir. Etter at 24 vannprøver var filtrert og lagt på brettet ble brettet plassert i et tørkeskap som holder litt over 100°C. Etter 45-60 minutters tørking ble brettet tatt ut og filterpapirene ble veid på nytt. Som nevnt i starten av avsnittet så ble konsentrasjonen av suspendert stoff kalkulert ved at man tok vektdifferanse dividert på vannmengde også ganget man med en koeffisient for å få enhetene til å gå opp. Se regneeksempel under:

$$SS = \frac{(0,0110g - 0,0100g)}{50ml} = \frac{0,0010g}{50ml} \times \frac{10^3 \frac{mg}{g}}{10^{-3} \frac{l}{ml}} = 20 \frac{mg}{l}$$

Ser en på dette eksemplet ser en at man kan ta vektdifferanse over volum og gange dette med 10^6 for å få ut riktig verdi.

4. Resultater

Resultatene presenteres her i den rekkefølgen som viser oppbygningen av sammenhengene. Først presenteres målingene fra prøvetakingsdagene som gir et bilde av datagrunnlaget for de statistiske analysene og modellene. Resultater fra statistiske analyser er så presentert. Dette viser korrelasjonene og sammenhengene som ligger bak modellene. Etter analyseresultatene presenteres modellene. Til slutt oppsummeres nøyaktigheten til de ulike modellene.

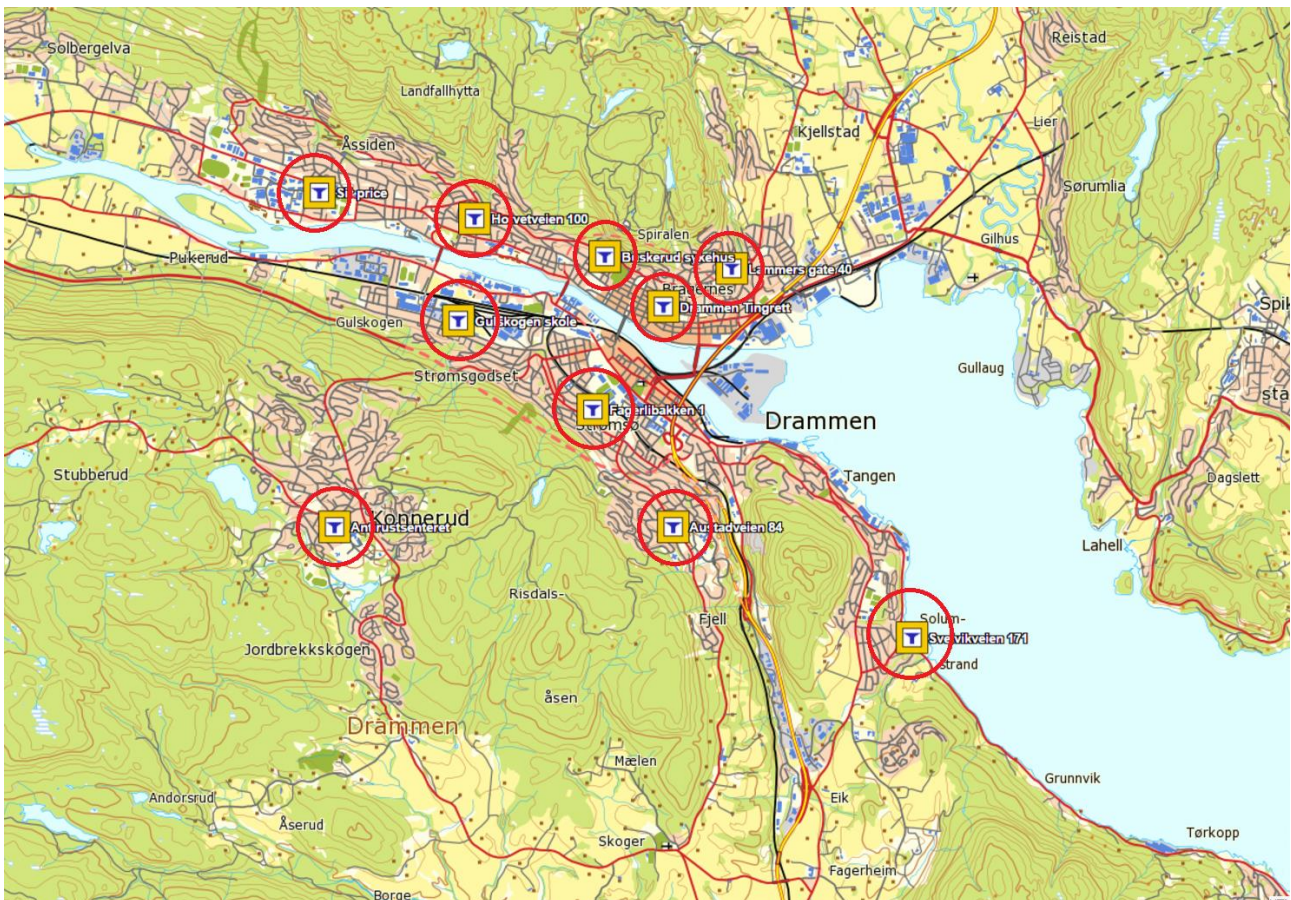
4.1 Nedbør

Dette avsnittet tar for seg nedbør som falt over Drammen og det aktuelle nedbørsfeltet april 2017. Generelt var det en relativt tørr måned med lite nedbør og det ble bare registrert en nedbørhendelse som samsvarte med prøvetaking (24-25 april).

4.1.1 Nedbørmålere

Denne oppgaven bruker data fra Rosim AS sin nedbørmåler som står på taket til Solumstrand renseanlegg i Svelvikveien 171. ROSIM har i tillegg til den på renseanlegget 9 andre nedbørmålere i Drammen:

- Antirustsenteret
- Austadveien 84
- Buskerud sykehus
- Drammen Tingrett
- Fagerlibakken 1
- Gulskogen skole
- Hotvetveien 100
- Lammers gate 40
- Sir price
- Svelvikveien 171



Figur 4-1 Kart over Drammen som viser ROSIM sine nedbørmålere. Kartet er hentet fra regnbygge.no med tillatelse fra ROSIM. Bakgrunnskartet er topografisk norgeskart WMS levert av kartverket

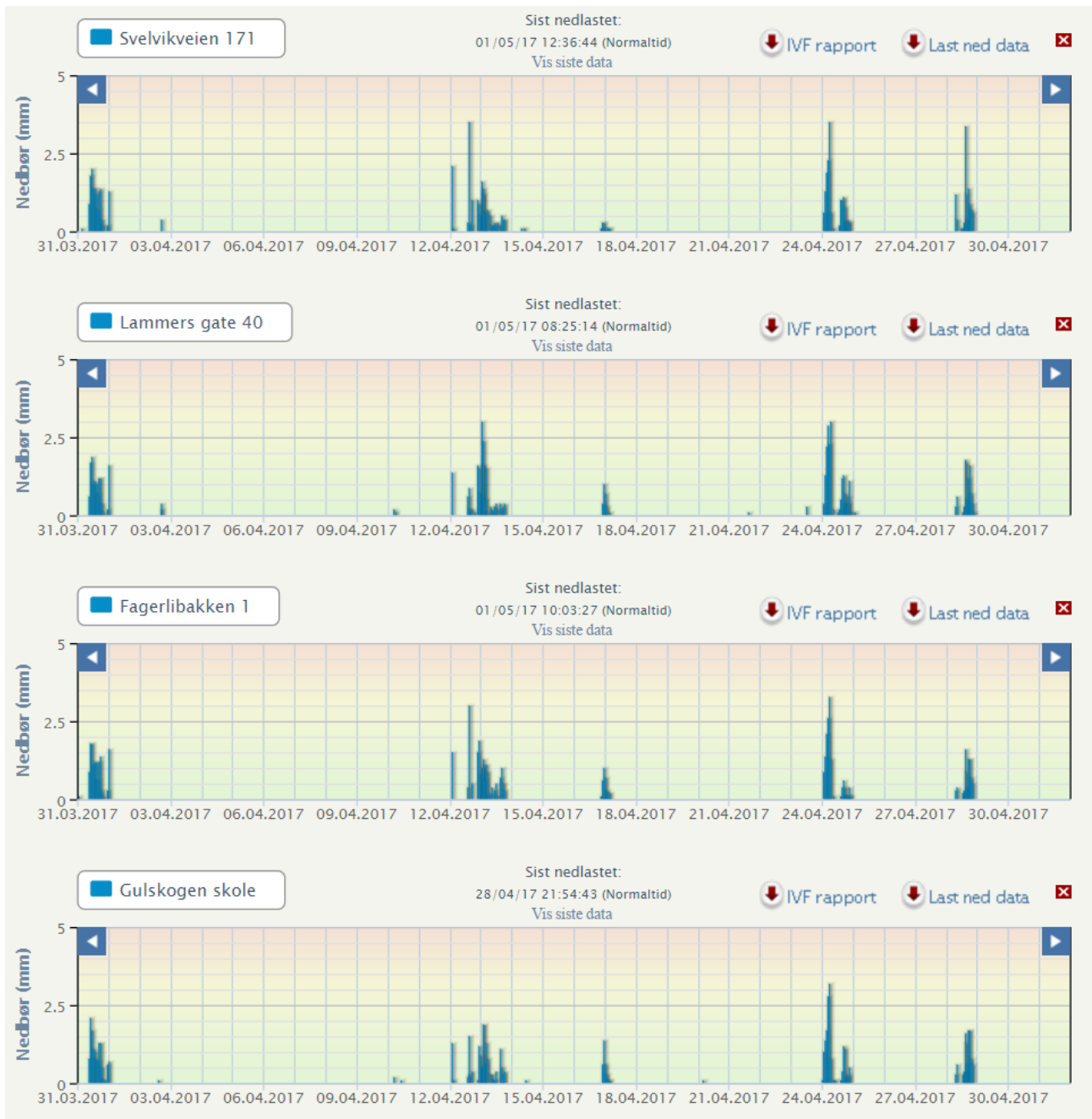
Kartet over i figur 4-1 viser Drammen by og prøvetakerne til ROSIM som er markert med røde sirkler. Målinger fra samtlige nedbørmålere er benyttet i månedsoversikten under, mens i alle andre resultater brukes kun målinger fra "Svelvikveien 171".

4.1.2 Nedbørstrender for april

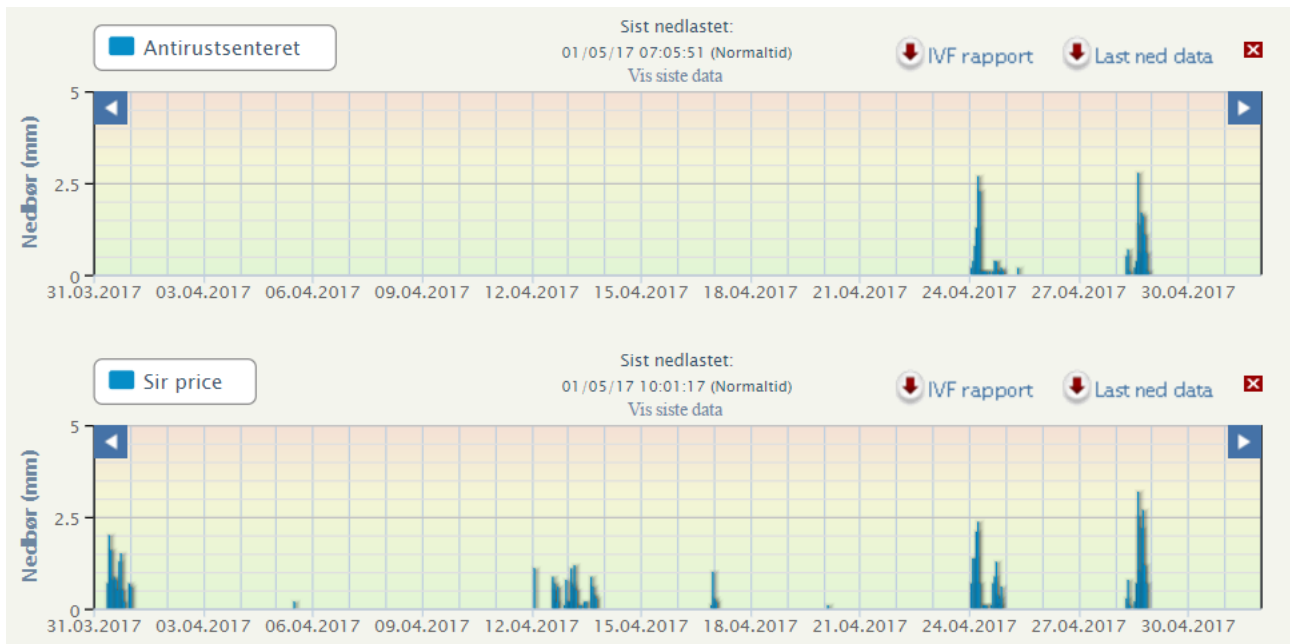
Under vises timesmålinger fra alle nedbørmålere for april måned (31.03.17 – 30.04.17).



Figur 4-2 Nedbørmålinger fra april måned for Drammen tingrett, Buskerud sykehus, Hotvetveien 100 og Austadveien 84



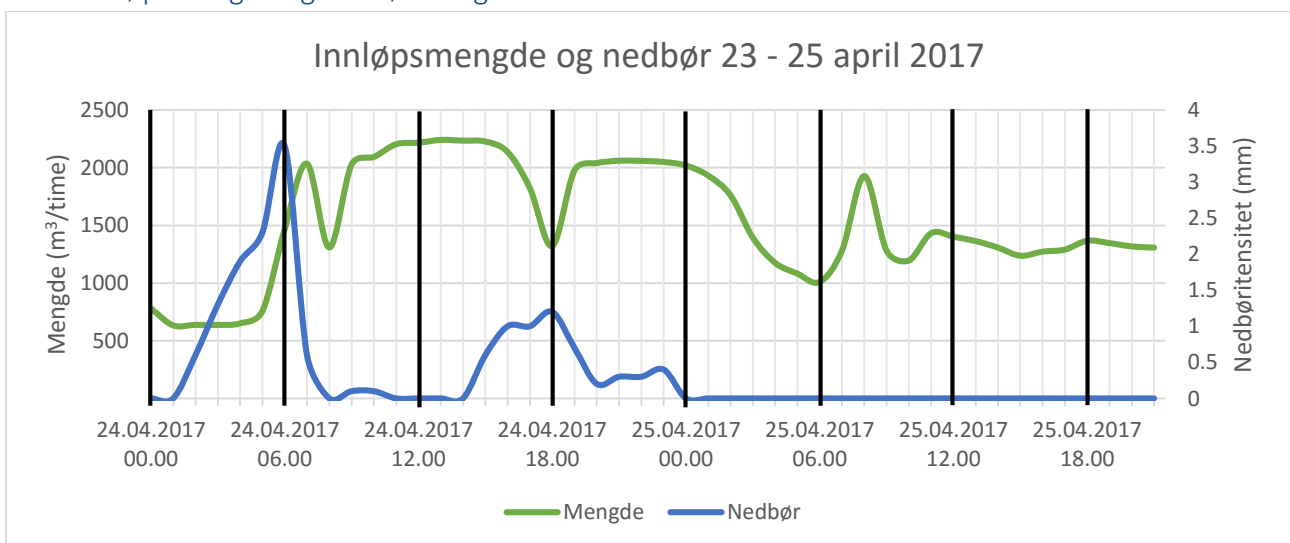
Figur 4-3 Nedbørmålinger fra april måned for Svelvikveien 171 (Solumstrand renseanlegg), Lammers gate 40, Fagerlibakken 1 og Gulsbogen skole



Figur 4-4 Nedbørmålinger fra april måned for Antirustsenteret og Sir price

Figur 4-2, 4-3 og 4-4 over viser godt samsvar mellom de ulike nedbørmålerne. Med unntak av målerne på Antirustsenteret og Buskerud sykehus viser de grafene de samme nedbørepisodene og ganske like intensiteter. Dette gir grunn til å stole på at måleren på taket til Solumstrand renseanlegg gir representative målinger. På kartet ser en at Antirustsenteret ligger på toppen av en høyde, dette kan forklare forskjellen i nedbør fra de andre målerne. Resultatene fra måleren på Buskerud sykehus er det vanskeligere å si noe om da denne ligger nærmere flere andre målere. Samsvaret mellom målerne for de fleste nedbørepisodene sier også at det dreier seg om større nedbørsskyer og ikke mindre regnbyger som forventes å ha et mye mer lokalt nedslag.

4.1.3 Innløpsmengde og nedbørmengde



Figur 4-5 Innløps- og nedbørmengde for Solumstrand renseanlegg 23 til 25 april 2017. Grønn linje viser vannmengde og blå linje viser nedbørmengde.

Som en ser på figur 4-5 over registrerer nedbørmåleren på taket til renseanlegget nedbør før vannmengden går opp. Dette er å forvente da det er noe oppholdstid i nedbørfeltet før vannet når renseanlegget.

4.2 Resultater fra prøvetaking

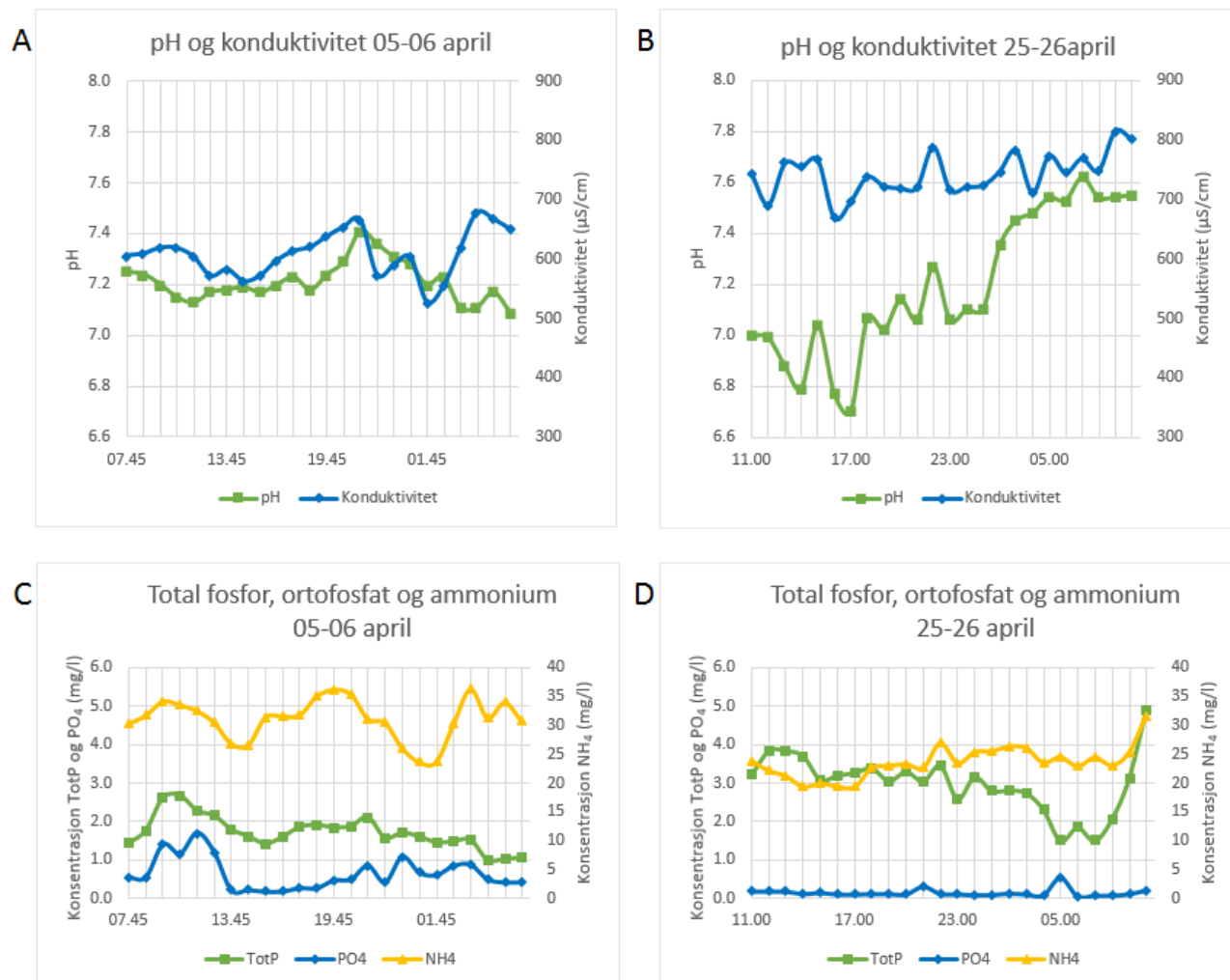
Dette delkapittelet presenterer resultater fra hvert prøvescenario, det vil si helgedag våtvær, hverdag tørrvær og hverdag våtvær (helgedag våtvær ble ikke målt). Alle verdier vist i dette delkapittelet er midlet som følge av at hver verdi representerer en blandprøve på en time. Fra online målere er følgende tidsoppløsning registrert:

- Prøvetaker – 20 min intervaller (3 prøver per flaske/time)
- MCC2300 – 10 min intervaller (6 verdier per time)
- SCADA – ca. 9 min (ca. 6 verdier per time) – Her ble alle verdier i hvert timesintervall midlet, f.eks. alle verdier mellom klokka 07:45 og 08:45.

Videre antas det at online verdier som er eksportert allerede er midlet utfra rådata med ukjent, finere oppløsning slik at disse timesverdiene vil representere et snitt av en kontinuerlig måling.

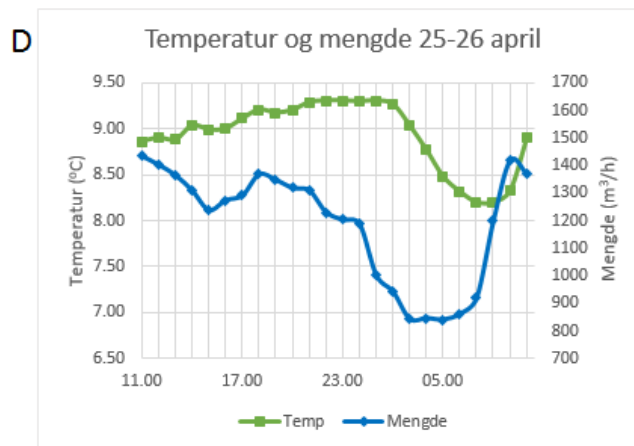
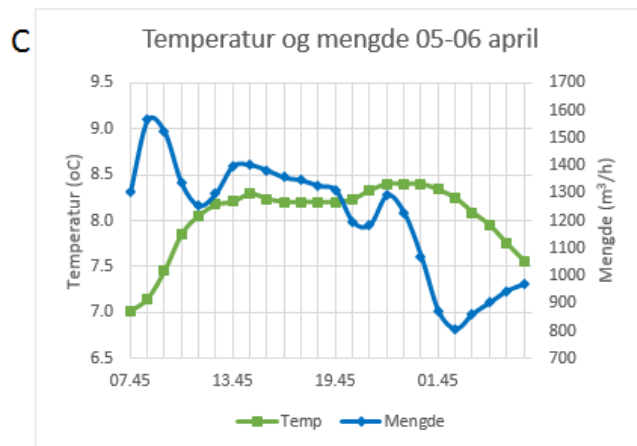
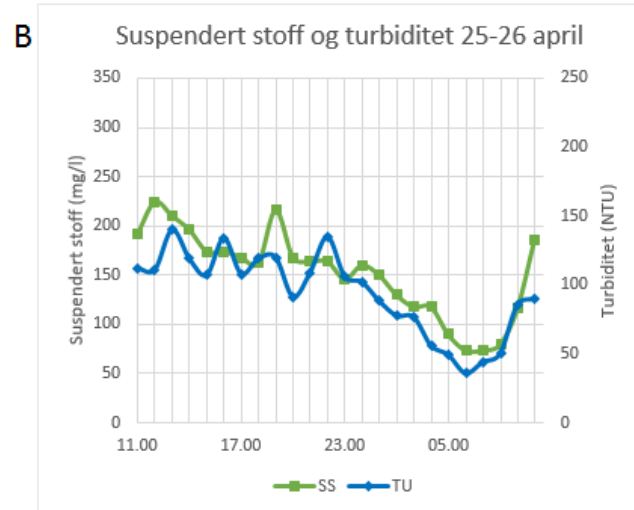
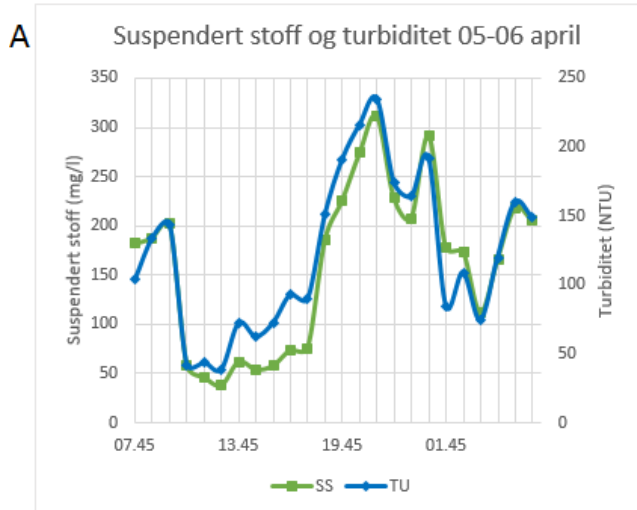
4.2.1 Hverdag tørrvær (05-06 og 25-26 april)

Under vises resultater fra 05 – 06 og 25-26 april. Dette var hverdager uten nedbør. Den 5. april startet prøvetakeren klokken 07:45 mens den startet klokken 11:00 den 25. april. Eventuelle trender i døgncurvene vil derfor se ut som de er forskjøvet på grafene når man sammenligner de ulike prøvedagene.



Figur 4-6 A: pH og konduktivitet 05-06 april. B: pH og konduktivitet 25-26 april. C: total fosfor, ortofosfat og ammonium 05-06 april. D: total fosfor, ortofosfat og ammonium 25-26 april.

Figur 4-6 viser pH, konduktivitet, total fosfor, ortofosfat og ammoniumsverdier for tørre hverdager. Y-aksene er holdt like for A-B og C-D for å enkelt kunne sammenligne verdiene. Som nevnt over har X-aksene samme størrelse men er forskjøvet på grunn av ulik oppstart av prøvetakere.

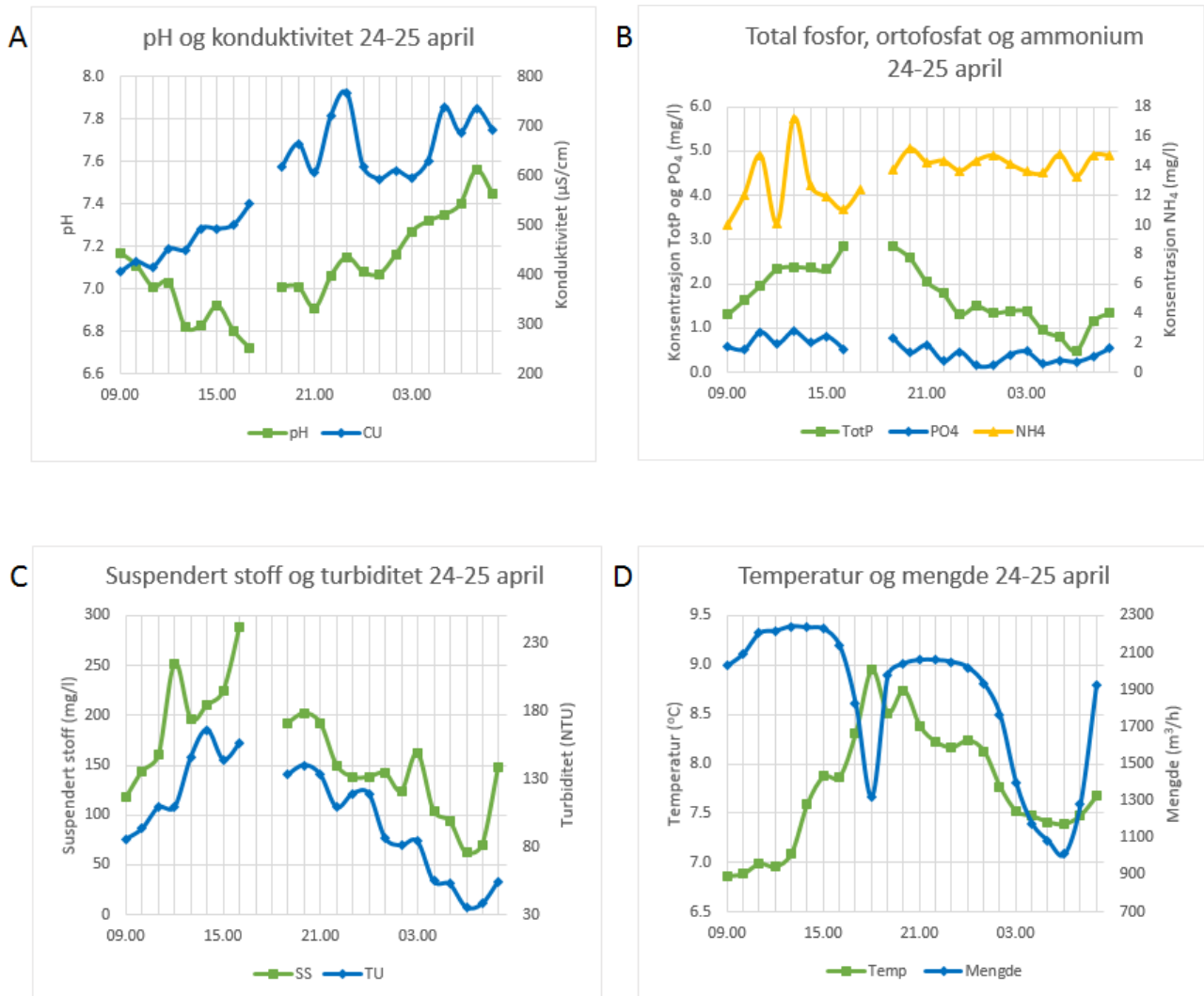


Figur 4-7 A: suspendert stoff og turbiditet 05-06 april. B: suspendert stoff og turbiditet 25-26 april. C: temperatur og mengde 05-06 april. D: temperatur og mengde 25-26 april.

Figur 4-7 suspendert stoff, turbiditet, temperatur og mengdeverdier for tørre hverdager. Y-aksene er holdt like for A-B og C-D for å enkelt kunne sammenligne verdiene. Som nevnt over har X-aksene samme størrelse men er forskjøvet på grunn av ulike oppstart av prøvetakere.

4.2.2 Hverdag våtvær (24-25 april)

Her er det kun et diagram fra hvert sett med parametere ettersom dette var det eneste prøvedøgnet med nedbør.

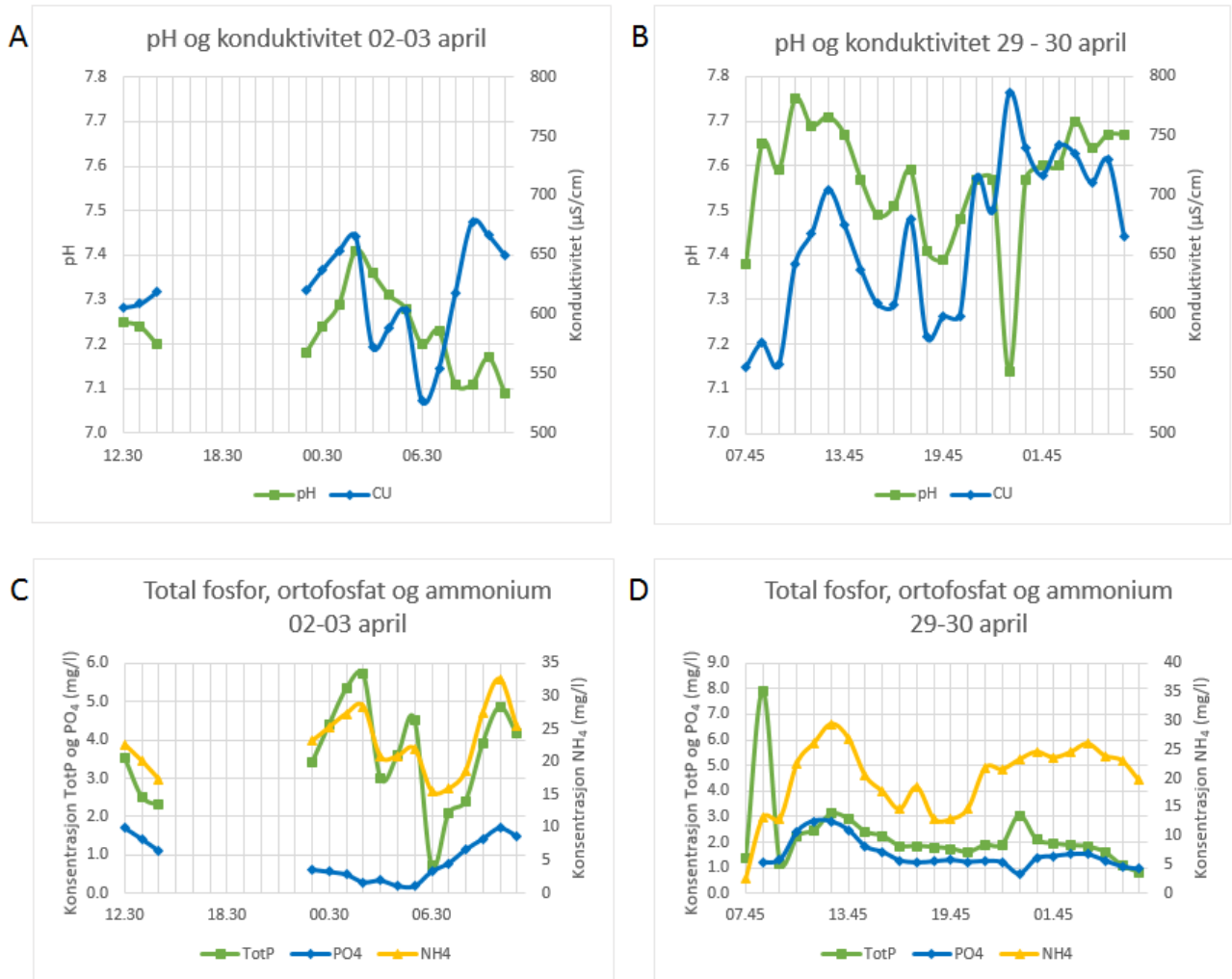


Figur 4-8 Alle parametere 25-26 april. A: pH og konduktivitet. B: total fosfor, ortofosfat og ammonium. C: suspendert stoff og turbiditet. D: temperatur og mengde.

Figur 4-8 over viser alle parametere for vått hverdag scenarioet. Det ble kun gjennomført en prøvedag med vått vær på grunn av vær- og tidsrestriksjoner. Hullene i grafene representerer avvikverdier som er fjernet. Dette er verdier som skilte seg mye ut fra resten.

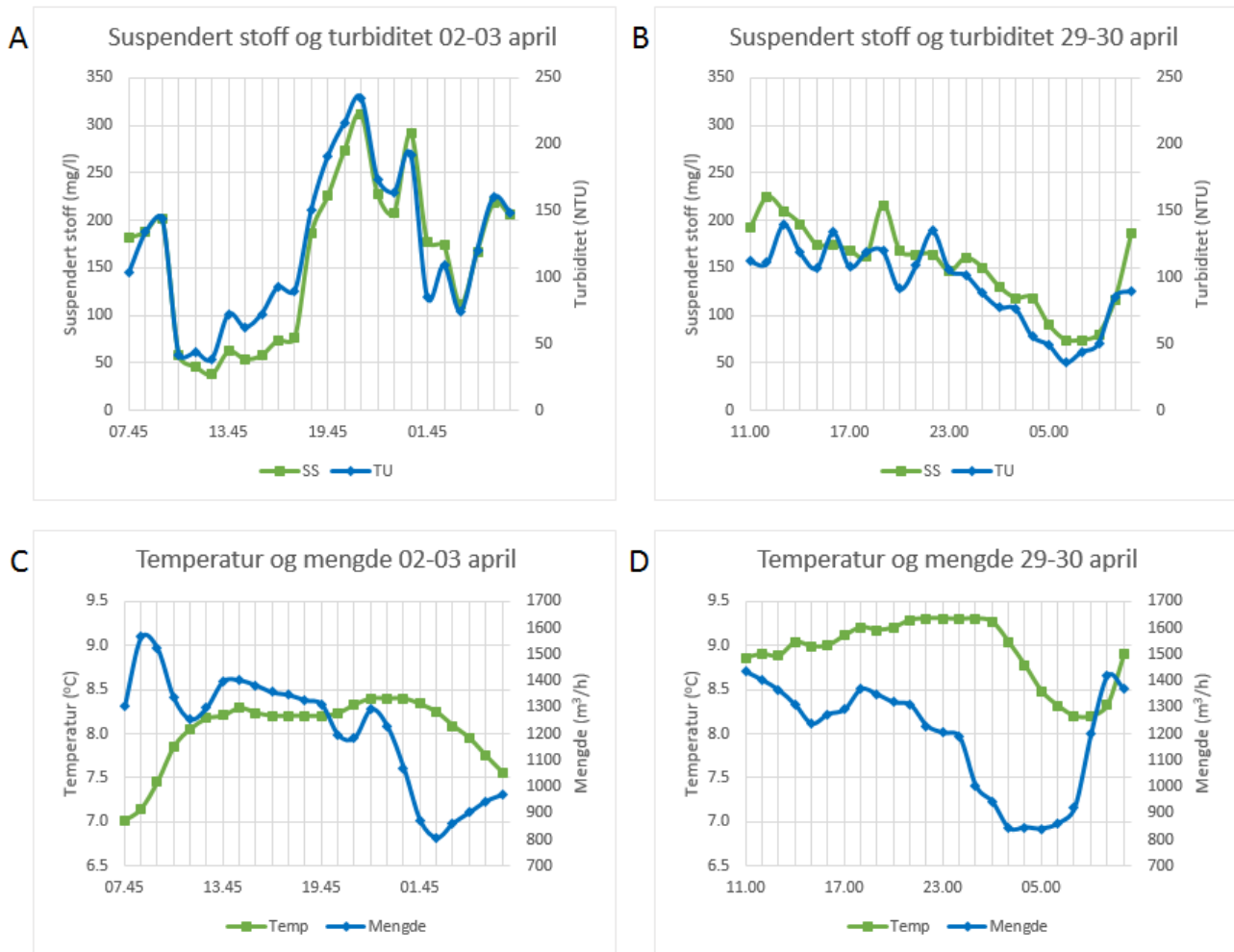
4.2.3 Helg tørrvær (02-03 og 29-30 april)

Under vises resultater fra første og siste prøvetaking som var henholdsvis 02-03 og 29-30 april. Målingene var tatt søndag til mandag og lørdag til søndag og representerer dermed helgeprøver.



Figur 4-9 A: pH og konduktivitet 02-03 april. B: pH og konduktivitet 29-30 april. C: total fosfor, ortofosfat og ammonium 02-03 april. D: total fosfor, ortofosfat og ammonium 29-30 april.

Figur 4-9 over viser viser pH, konduktivitet, total fosfor, ortofosfat og ammoniumsverdier for helg tørrvær. Hullene i grafene representerer avvikerverdier som er fjernet. Dette er verdier som skilte seg mye ut fra resten. Avvikene i plott A og C skyldes at prøve nr. 4 – 11 ikke var blandet som nevnt tidligere.



Figur 4-10 A: suspendert stoff og turbiditet 02-03 april. B: suspendert stoff og turbiditet 29-30 april. C: temperatur og mengde 02-03 april. D: temperatur og mengde 29-30 april.

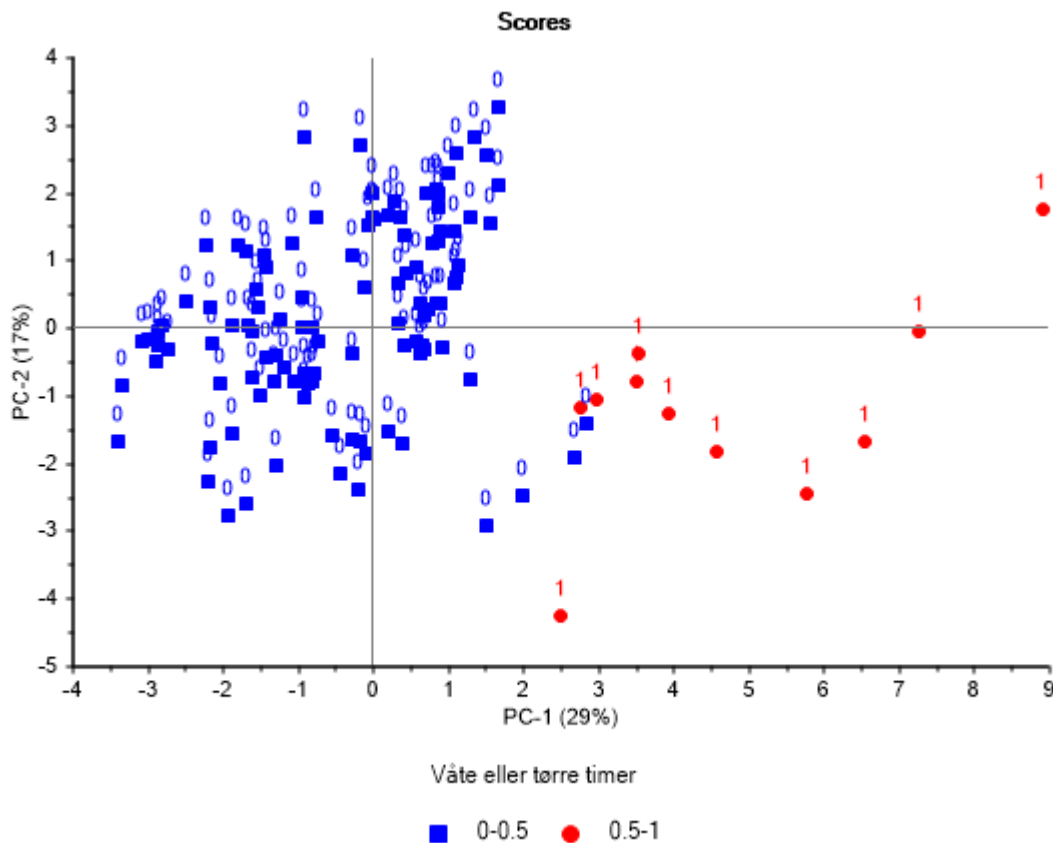
Figur 4-10 viser suspendert stoff, turbiditet, temperatur og mengdeverdier for helg tørrvær. Y-aksene er holdt like for A-B og C-D for å enkelt kunne sammenligne verdiene. Her er ikke avvikresultatene fjernet for A og C. Dette er gjort for å vise korrelasjonen mellom parameterne. Disse verdiene er allikevel ikke tatt med i de statistiske analysene.

4.3 Resultater fra statistiske analyser

I dette delkapittelet vises resultatene fra PCA og PLS analyser i gjort med programmet The Unscrambler. Resultatene fra PCA vises først, deretter vises resultater og modeller for de ulike situasjonene (våt- og tørrvær hverdag og tørrvær helg). Avviksresultater, såkalte outliers er fjernet fra målingene før analysene. Dette inkluderer prøve nr. 4-11 den 02 – 03 april som ikke var blandet før tapping samt noen andre høye og lave verdier som stakk seg ut. Det var lagt inn en "dummy"-parameter i datasettet der timer med nedbør over 0mm fikk verdien 1 mens de med 0mm nedbør fikk verdien 0. På denne måten kunne programmet regne utfra "våte" og "tørre" timer uten å ta hensyn til mengden.

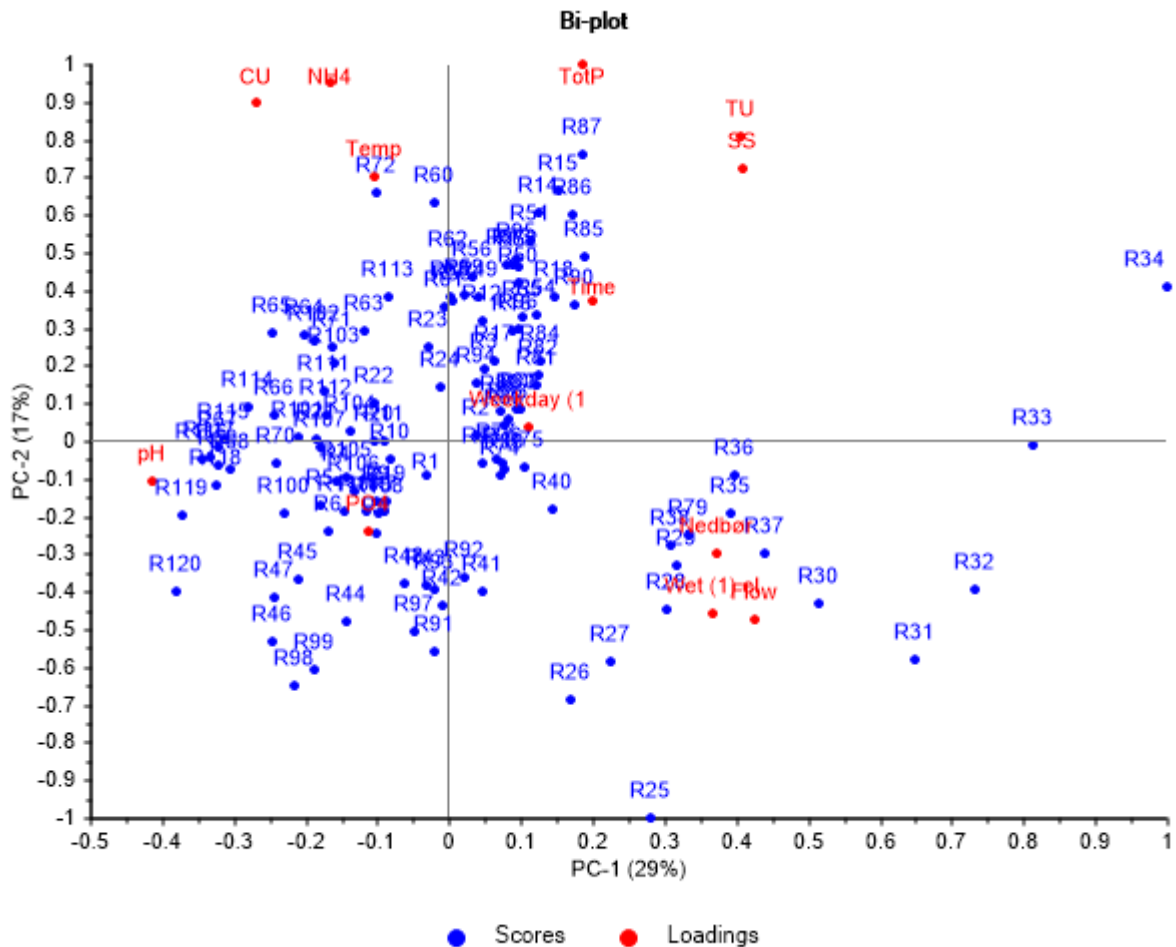
4.3.1 PCA

PCA ble kjørt for alle parametere alle dager. Denne analysen var for å se om dataene inneholdt informasjon om variasjoner i datasettet.



Figur 4-11 Skårplott fra PCA analyse. Blå firkanter markerer timer det ikke har regnet mens røde rundinger markerer timer det har regnet.

Figur 4-11 viser at datasettet inneholder informasjon om forskjellene på våte og tørre timer. Det vil si at modellen tar høyde for ulike variasjoner som følger av om det har regnet eller ikke.



Figur 4-12 Biplot fra PCA analyse. De blå prikkene "scores" er prøver mens de røde "loadings" representerer parameterne.

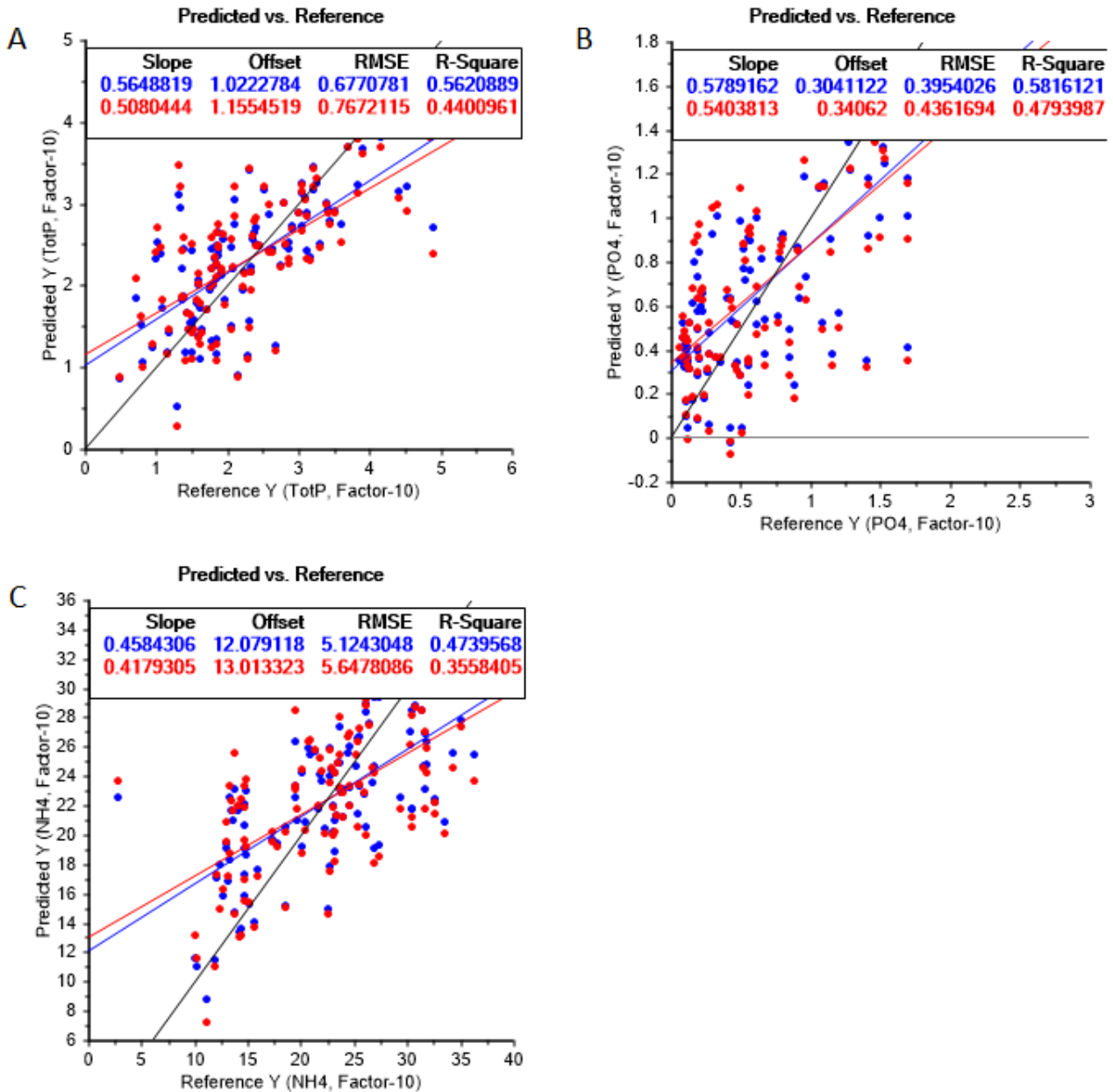
Ut fra figur 4-12 over kan en se at nedbør og vannføring "flow" korrelerer ved at de er nærme hverandre i diagrammet. Videre ser det ut til at disse parameterne er omvendt proporsjonale med konduktivitet, ammonium og temperatur. Det vil si at ved mye nedbør og dermed stor vannføring får en lavere temperatur, ledningsevne og ammoniumkonsentrasjon. Videre ser en blant annet at turbiditet og suspendert stoff korrelerer meget godt. Dette er også å forvente da disse parameterne er nært beslektet.

4.3.2 PLSR - Trendlinjer

PLSR analyse ble kjørt hver av responsvariablene (Tot-P, PO₄ og NH₄) og for alle dager og værtyper, tørre hverdager, våte hverdager og tørre helgedager. For alle dager/værtyper ble det kjørt analyse med alle tilgjengelige forklaringsvariabler og et begrenset, optimalisert sett. For de andre scenarioene ble det kun kjørt analyser for å finne et optimalt sett parameterer med tanke på å måle i felt. Det er videre gitt likninger for trendlinjene til de ulike analysene. I disse gjelder følgende: H = time nr, SS = suspendert stoff, TU = turbiditet, pH = pH, CU = konduktivitet, Q = mengde, T = temperatur, U = Uke/helgedag, N = nedbør og V = Våt/tørr dag.

Alle dager og værtyper, alle faktorer

Denne analysen ble gjennomført for å se på muligheten for en generell modell som kan benyttes på en parameter uavhengig av om det er vått vær, tørrvær, hverdag eller helgedag. Først vises resultatene dersom flest mulig faktorer (10) blir brukt. Dette viser hvor godt en generell likning vil kunne forklare all variasjonen i datasettet.

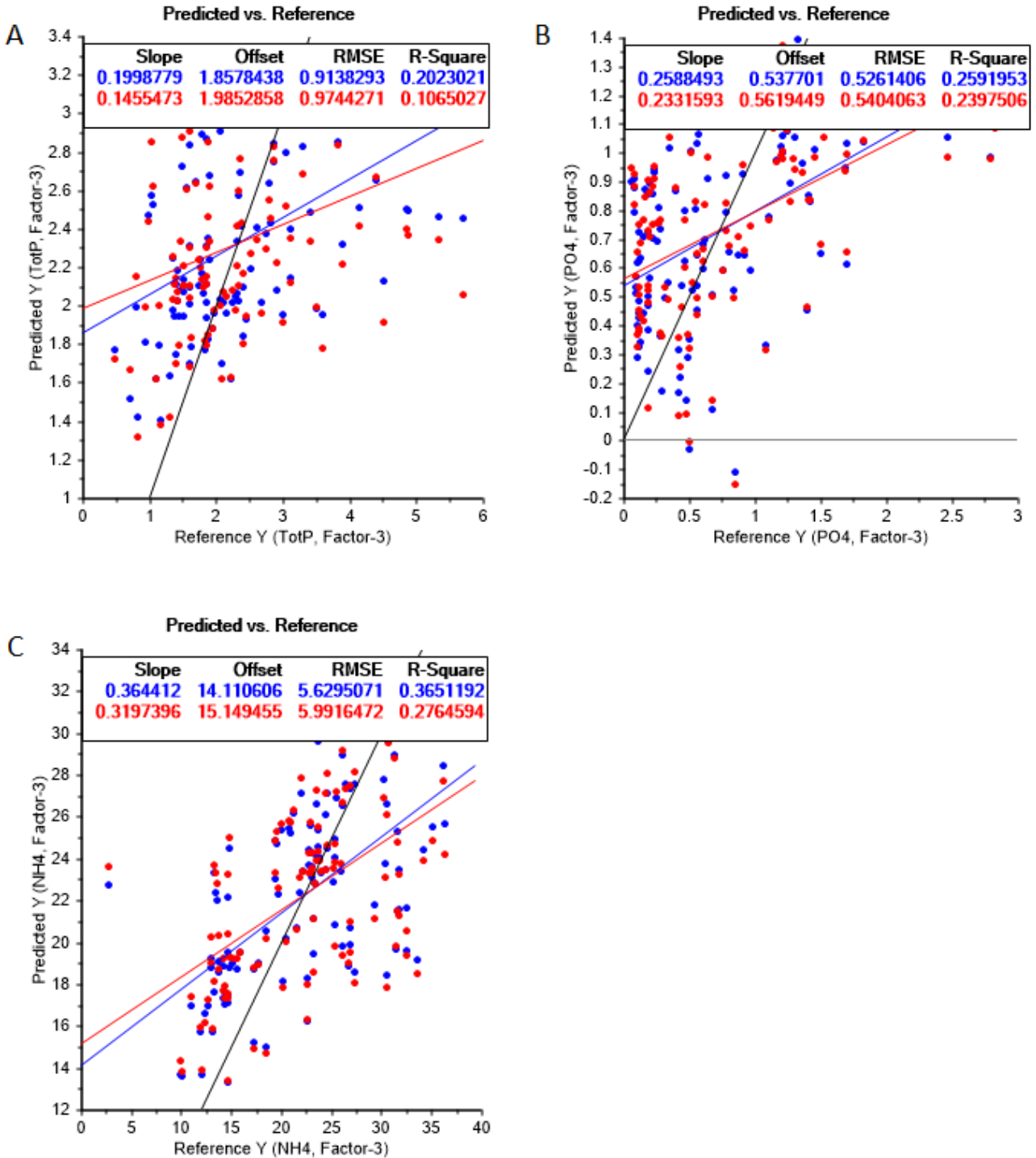


Figur 4-13 A: Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO₄. C: Trendlinjer for NH₄.

Figur 4-13 viser trendlinjer for total fosfor, ortofosfat og ammonium. Som en ser forklares henholdsvis 56, 58 og 47% av variasjonen med disse linjene. Videre vil samtlige trendlinjer overestimere lave konsentrasjoner og underestimere høye konsentrasjoner. Dette ser en fordi linjene er slakere en den sorte linjen som viser perfekt korrelasjon. Under gis likningene for de ulike responsparameterne:

Alle dager og væertyper, optimalisert

Denne analysen viser en optimalisert modell der det er forsøkt å fjerne flest mulig variabler mens man forklarer mest mulig data. For dette settet ble tre parametere fjernet. En brukte 3 faktorer, noe som forklarte 20-36% av variasjonen i datasettet. Under er trendlinjene for responsparameterne vist:

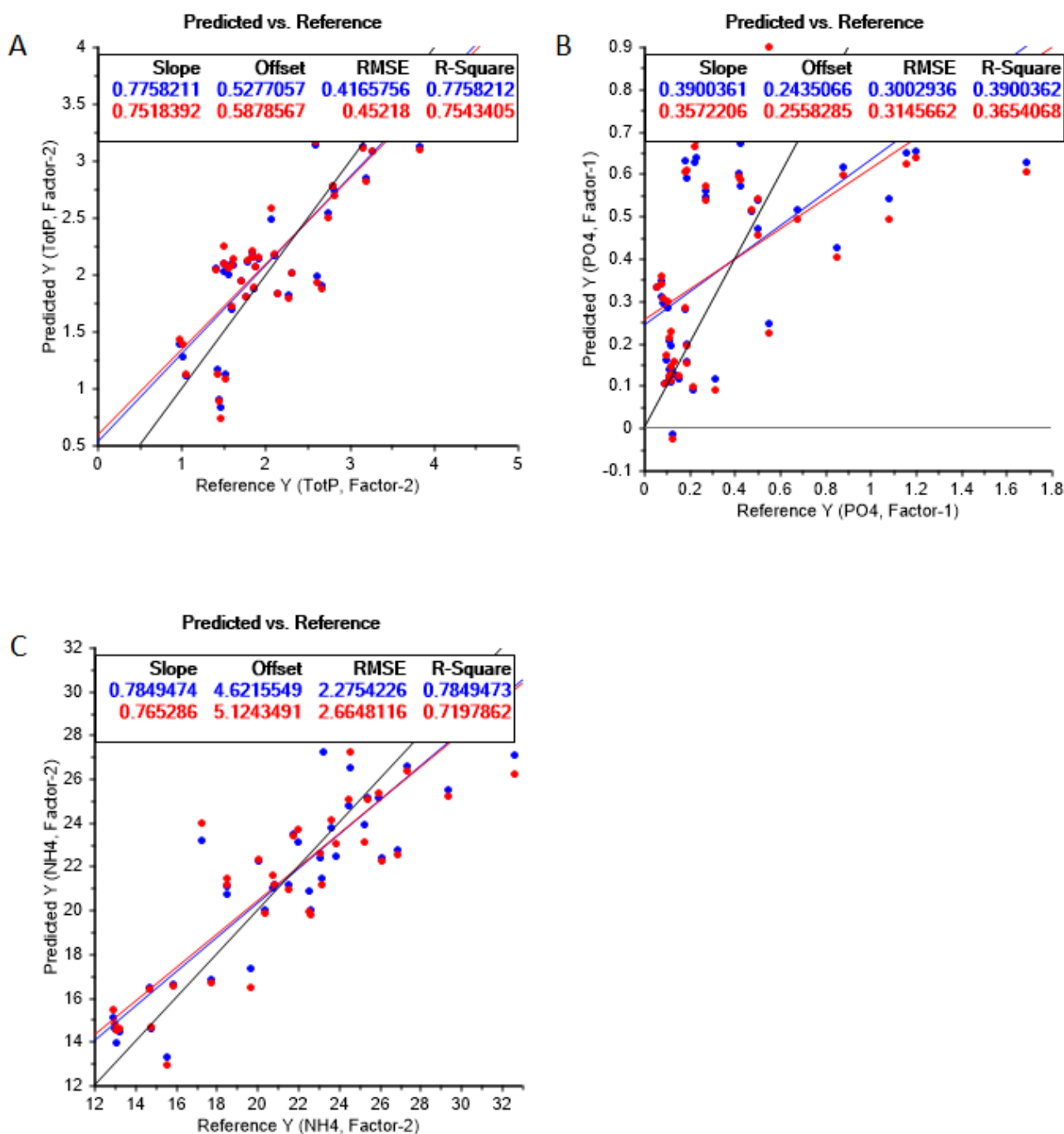


Figur 4-14 A: Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO4. C: Trendlinjer for NH4.

Figur 4-13 viser trendlinjer for total fosfor, ortofosfat og ammonium. Som en ser forklares henholdsvis 20, 26 og 37% av variasjonen med disse linjene. Trendlinjene sier her ganske lite om variasjonen.

Hverdag tørrvær, optimalisert

Denne analysen viser en optimalisert modell der det er forsøkt å fjerne flest mulig variabler mens man forklarer mest mulig data. Under er trendlinjene for responsparameterne vist:

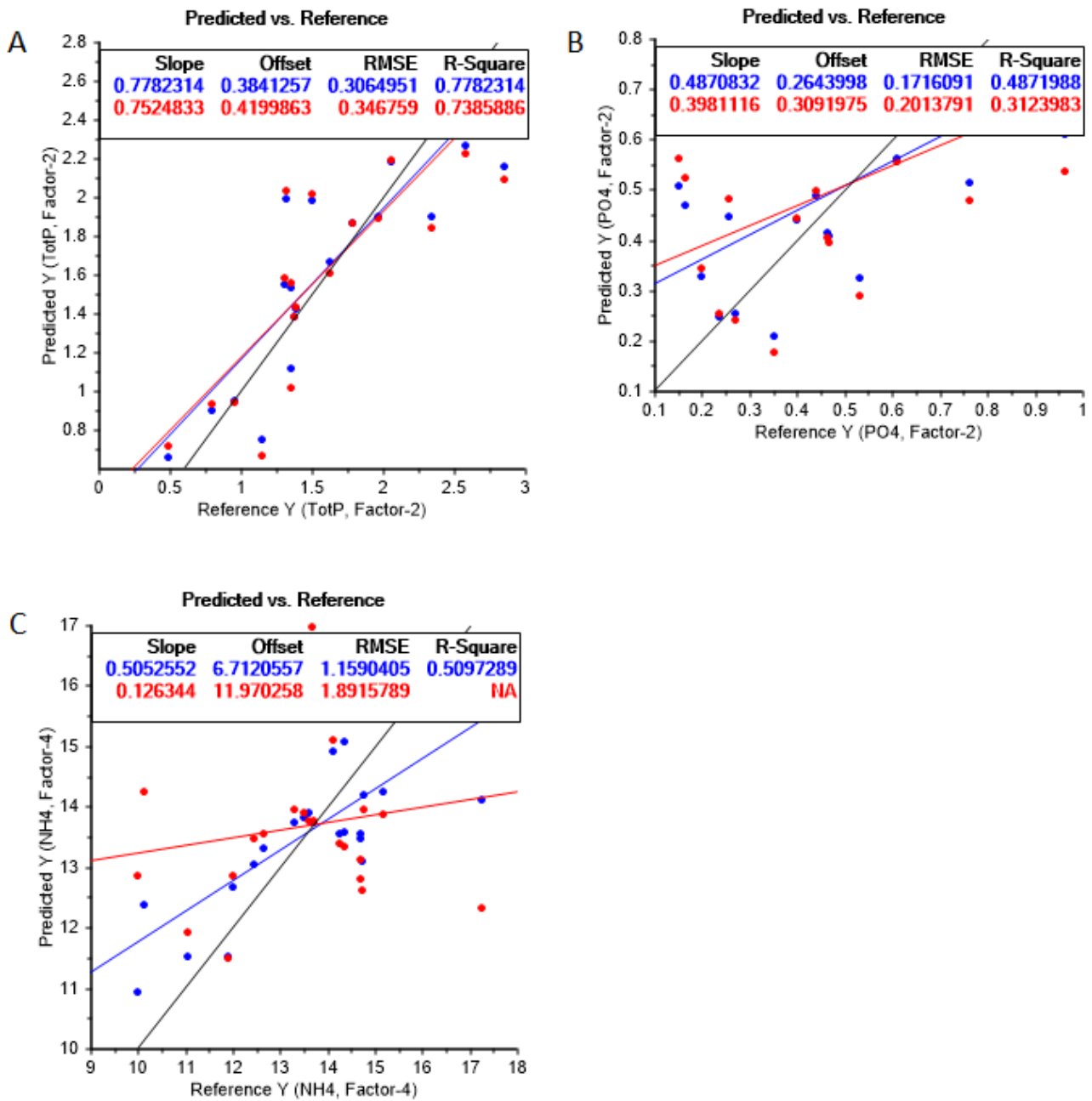


Figur 4-15 A: Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO4. C: Trendlinjer for NH4.

Figur 4-15 viser trendlinjer for total fosfor, ortofosfat og ammonium. Som en ser forklares henholdsvis 78, 39 og 79% av variasjonen med disse linjene. Trendlinjene til Tot-P og NH₄ viser god forklaring av variasjonen mens trendlinjen til PO₄ ikke forklarer variasjonen særlig godt.

Hverdag våtvær, optimalisert

Denne analysen viser en optimalisert modell der det er forsøkt å fjerne flest mulig variabler mens man forklarer mest mulig data. Under er trendlinjene for responsparameterne vist:

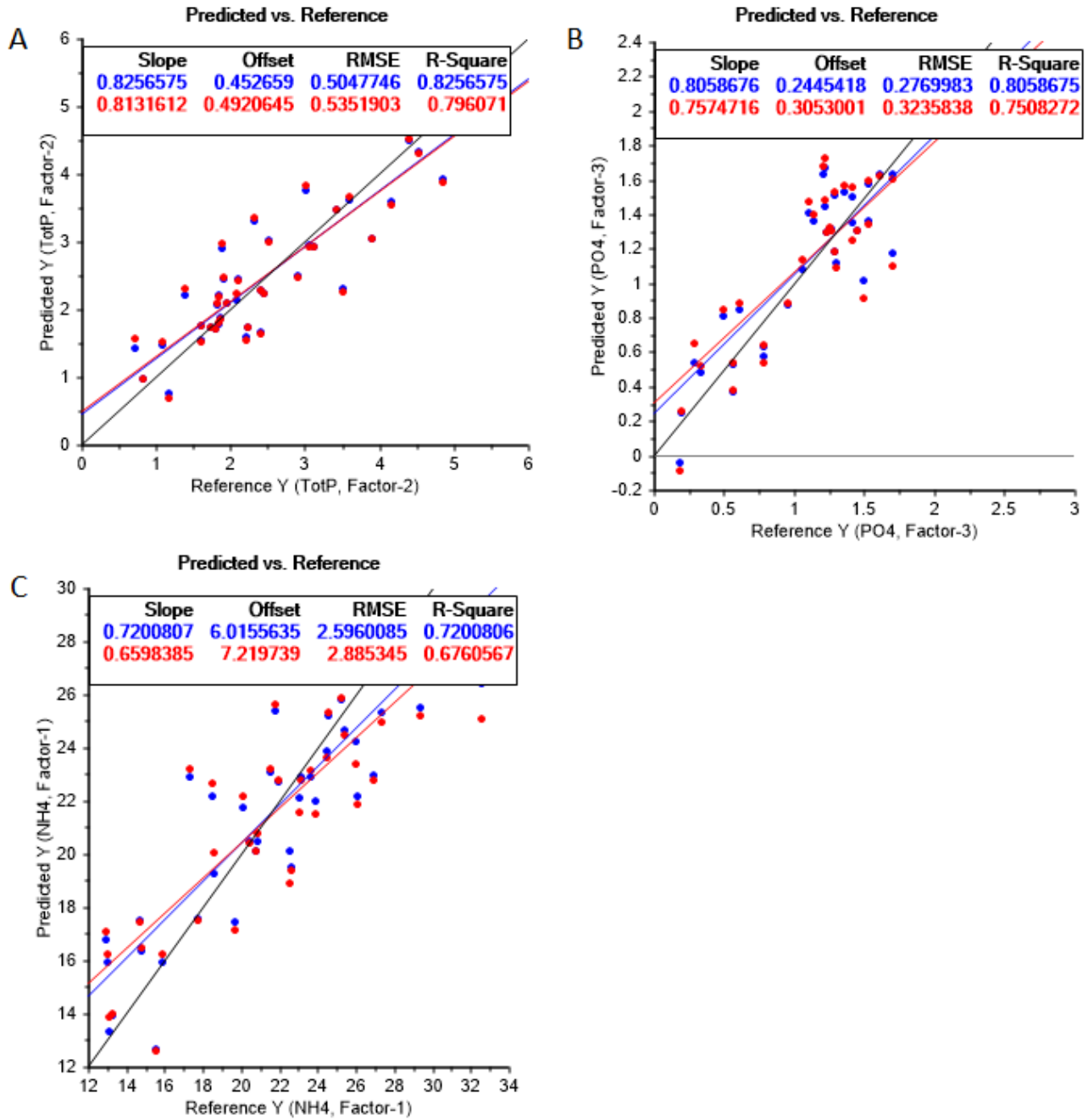


Figur 4-16 Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO₄. C: Trendlinjer for NH₄.

Figur 4-16 viser trendlinjer for total fosfor, ortofosfat og ammonium. Som en ser forklares henholdsvis 79, 49 og 51% av variasjonen med disse linjene. Trendlinjen til Tot-P viser god forklaring av variasjonen mens trendlinjene til PO₄ og NH₄ ikke forklarer variasjonen særlig godt.

Helg tørrvær, optimalisert

Denne analysen viser en optimalisert modell der det er forsøkt å fjerne flest mulig variabler mens man forklarer mest mulig data. Under er trendlinjene for responsparameterne vist:



Figur 4-17 Trendlinjer for Tot-P. B: Trendlinjer for PO4. C: Trendlinjer for NH4.

Figur 4-17 viser trendlinjer for total fosfor, ortofosfat og ammonium. Som en ser forklares henholdsvis 83, 81 og 72% av variasjonen med disse linjene. Med andre ord gir samtlige modeller god forklaringsprosent for dette scenarionet.

4.3.3 PLSR – Likninger

I dette delkapittelet presenteres likningene som er generert av de ulike modellene vist over. Likningene vil for hvert scenario og hver parameter beskrive den blå trendlinjen som viser den beregnede modellen.

Alle dager og værtyper, alle faktorer

$$\text{TotP} = 6,1161 + -0,0422H + 0,0033SS + -0,0064TU + -1,5792pH + 0,0051CU + 0,0011Q \\ + 0,3544T + -0,9486U + -0,2279N + -0,5770V$$

$$\text{PO}_4 = -6,0874 + -0,0079H + 0,0001SS + -0,0006TU + 0,818pH + -0,0023CU + 0,0005Q \\ + 0,2937T + -0,7398U + 0,3710N + -0,2190V$$

$$\text{NH}_4 = -19,3484 + 0,1613H + -0,0643SS + 0,1458TU + 3,9987pH + 0,0060CU + -0,0043Q \\ + 1,0853T + 4,3400U + -2,6868N + -5,8178V$$

Alle dager og værtyper, optimalisert

$$\text{TotP} = 4,6922 + 0,0109H + 0,0048TU + -0,8300pH + 0,0021CU + 0,0001Q + 0,1781T \\ + 0,1503U$$

$$\text{PO}_4 = -0,6537 + 0,0004H + -,0057TU + 0,3021pH + 0,0021CU + 0,0003Q + 0,0071T \\ + -0,2672U$$

$$\text{NH}_4 = -0,1196 + -0,0957H + 0,0636TU + 2,3868pH + 0,0135CU + -0,0081Q + -0,0665T \\ + 3,5750U$$

Hverdag tørrvær, optimalisert

$$TotP = -9,2943 + 0,0047CU + 0,0020Q + 0,721T$$

$$PO_4 = 3,5424 + -0,0028H + -0,0018CU + -0,2253T$$

$$NH_4 = -23,7565 + -0,2119H + 0,0477TU + 0,0135CU + 0,0026Q$$

Hverdag våtvær, optimalisert

$$TotP = -0,4347 + 0,0084TU + 0,0007Q$$

$$PO_4 = -15,6328 + -0,0238H + -0,0048TU + 1,62286pH + 0,0021Q + 0,3663T$$

$$NH_4 = 8,3150 + -0,0008H + -0,0030SS + -0,0014TU + 0,4328pH + 0,0023CU + -0,0002Q \\ + 0,2782T + -0,5822N + -0,3805U$$

Helg tørr, optimalisert

$$TotP = -3,3457 + 0,0233TU + 0,0053CU$$

$$PO_4 = 2,0536 + 0,0027H + 0,0012TU + -0,2126pH + -0,0004CU + 0,0001Q + -0,0186T$$

$$NH_4 = -28,4914 + 0,0501TU + 0,0636CU + 0,0028Q$$

4.3.4 PLSR oppsummering

Dette delkapittelet presenterer to tabeller som sammenligner hvor gode de ulike modellene er til å forklarer variasjonen i tilhørende datasett for hver responsvariabel. Tabellen er fargekodet for å raskt kunne skille gode og dårlige modeller.

Tabell 1 Resultater fra generelle likninger fra PLSR analyse

Scenario	Alle dager/værtyper		Alle dager/værtyper	
Inkluderte parametere	pH, TU, CU, SS, Temp, Mengde, Time nr, Regn, Våt/tørr, Hverdag/helg		pH, TU, CU, Mengde, Time nr, Temp, Hverdag/helg	
Antall prøvedøgn/vannprøver	5/120		5/120	
Antall faktorer	10		3	
Forklart variasjon	R2Cal%	R2Val2%	R2Cal%	R2Val2%
TP-P	56.21	44.01	20.23	10.65
PO4	58.16	47.94	25.92	23.98
NH4	47.40	35.58	36.51	27.65

Tabell 2 Resultater fra likninger for ulike scenarier fra PLSR analyse

Scenario	Tørr hverdag		Våt hverdag		Tørr helg	
Inkluderte parametere	Time nr, TU, CU, Mengde, Temp		pH, TU, Mengde, CU, Time, Temp		pH, TU, Mengde, CU, Time, Temp	
Antall prøvedøgn/vannprøver	2/48		1/24		2/48	
Antall faktorer	TotP = 2, PO4 = 1, NH4 = 2		TotP = 2, PO4 = 2, NH4 = 4		TotP = 2, PO4 = 3, NH4 = 1	
Forklart variasjon	R2Cal%	R2Val2%	R2Cal%	R2Val2%	R2Cal%	R2Val2%
TP-P	77.58	75.43	77.82	73.86	82.57	79.61
PO4	39.00	36.54	48.72	31.24	80.59	75.08
NH4	78.50	72.00	50.97	N/A	72.01	67.61

Som en ser fra tabell 1 og 2 gir de spesifikke likningene for de ulike scenarioene bedre resultater. Total fosfor har generelt de mest nøyaktige modellene som forklarer 75-82% av variasjonen avhengig av scenario. Ammonium gir gode likninger ved unntak av våt hverdag, her forklares kun ca. halvparten av variasjonen og kryssvalidering gav verdier under 0%, derav N/A i tabellen.

5. Diskusjon

5.1 Utfordringer

Det har vært mange utfordringer underveis med arbeidet til denne oppgaven. Delkapitlene under tar for seg utfordringer vedrørende kalibrering/nøyaktighet, tidsperspektiv, datainnsamling og uforutsette problemer.

5.1.1 Kalibrering og nøyaktighet

Å innhente nøyaktige data har vist seg å være vanskelig i denne oppgaven. Ettersom målinger har foregått i råkloakk før rist har det vært driftsmessig vanskelig å få representative verdier hele tiden da filler og annet noen ganger fester seg på sensorer og forstyrrer målingene. Videre skulle sensorene koblet til kontrollerboksen MCC-2300 være forhåndskalibrert. Det viste seg derimot at de prekalibrete verdiene ikke gav nøyaktige resultater med for høy pH, for lav konduktivitet og for høy suspendert stoff og turbiditet. Sensorene for turbiditet og suspendert stoff ble kalibrert med bentonittløsninger for å gi gode resultater. Det viste seg at etter en stund var verdiene fremdeles ikke riktige sammenlignet med labresultatene fra vannprøvene. Som nevnt over kan problemet være råkloakken som gir varierende, grove målinger og driftsmessige utfordringer.

De samme utfordringene gjaldt til en viss grad også for pH- og konduktivitetssensorene som var installert på renseanlegget fra før av. Mellom 02 og 06 april var pH ganske lav. Det viste seg senere ved samtale med en arbeider på renseanlegget at sensoren hadde blitt tildekket av en fille og gav derfor for lave verdier. Data fra renseanlegget viser at sensoren ble rensert både den 4. april og den 6. april før verdiene stabiliserte seg som normale. Nedbørmåleren har ikke vært kontrollert men det antas at denne gav god nøyaktighet. Dette er nevnt i kapittel 4.1.2.

Et annet usikkerhetsmoment var analysepersonell på laboratoriet. Som nevnt tidligere ble prøvene analysert av Harald Darre Seip og meg selv med hjelp fra to andre. Videre ble de ulike prøvesettene analysert om hverandre for å utnytte tiden vi hadde til rådighet. Dette betyr at flere personer har jobbet på samme prøvesett. Det antas at ulike personer vil analysere på litt ulik måte (runde opp eller ned på vekt, fylle litt ulik vannmengde i målebeger, etc.). Ulik analyse vil gi varierende verdier avhengig av hvem som gjør analysene. Det er vanskelig å si i hvor stor grad dette har påvirket resultatet men det bør nevnes.

5.1.2 Tidsperspektiv

Tiden har vært en annen utfordring gjennom arbeidet med denne oppgaven. Hovedsakelig har sene leveringstider av måle- og analyseutstyr utsatt hele prosessen så mye at det ikke har blitt igangsatt prøvetaking før begynnelsen av april. Dette har gitt utfordringer til tidsramme rundt oppgaveskriving og ikke minst feilsøking og kalibrering av feltutstyr. Ettersom det er en times kjøring til renseanlegget fra laboratoriet og et døgn for å ta et sett med vannprøver har det vært problematisk å få til flere rekalkibreringer. Dette har gitt noe unøyaktige målinger. Forsinket levering av labutstyr har også ført til at vannprøvene har måttet blitt konserverte med frysing. Dette skjedde fordi en opprinnelig ønsket å måle kjemisk oksygenforbruk med en maskin som hadde forsinket levering.

Relatert er problematikken rundt mengden med vannprøver. I tillegg til vannprøvene som er målt for å hente ut data til denne oppgaven har det vært to prøvetakere til på Solumstrand renseanlegg som har vært brukt av Harald Darre Seip i sin masteroppgave. Vi har av praktiske årsaker samarbeidet om innsamling av

vannprøver og analyse på lab. På grunn av mengden vannprøver for hver runde med prøvetaking (72 vannprøver, 24 for denne oppgaven og 48 for oppgaven til Harald) har labanalysene før frysing generelt tatt 2-3 dager. Selv om prøvene har vært lagret kjølig (4-8°C) før frysing antas det at det kan ha vært degradering av prøvene som sannsynligvis har påvirket ammoniumsmålingene.

Systea Easychem maskinen gav først tilsynelatende gode resultater for de første prøvesettene (02 – 03 april og 5 – 6. april) men etter hvert viste det seg vanskelig å få god kalibrering og maskinen målte ofte verdier som var utenfor måleområdet den var stilt inn for. I tillegg til å vanskeliggjøre de senere analysene gav dette også grunn til å tvile på nøyaktigheten til apparatet. Erfaring har vist at det tidligere også har gitt både gode og dårlige (unøyaktige) resultater (Seip 2017).

5.1.3 Datainnsamling og behandling

Datainnsamling har som tidligere nevnt bydd på utfordringer for denne oppgaven. På Solumstrand renseanlegg er de i en overgangsfase der de holder på å bytte datasystem. Det har ført til begrensede eksporteringsmuligheter fra datasystemet. En utfordring har vært å få ut data i tilfredsstillende oppløsning. Ønsket oppløsning var 10min tidsintervaller men tekniske problemer gjorde at den oppløsningen som var praktisk å hente ut i utgangspunktet var 25min tidsintervaller. Den 2. mai ble det ved en ny tur til renseanlegget oppdaget muligheter for å ta ut måledata med ca. 10min oppløsning. Videre er data fra kontrollerboksen satt til steg på 10min, altså ønsket oppløsning. For nedbørsdata var det begrensede valgmuligheter for tidsoppløsning og 5min tidsintervaller ble valgt da dette var den nærmeste verdien som var lik eller finere enn ønsket oppløsning. Generelt har en fin tidsoppløsning vært ønsket for å kunne si noe om korrelasjoner og trender for korte nedbørshendelser.

Ettersom det er samlet inn data fra ulike kilder med ulik tidsoppløsning vil ikke alle verdier være helt korresponderende i tid, dette er tatt høyde for ved å bruke funksjoner i Microsoft Excel som midler data mellom angitte klokkeslett, dermed spiller det ingen rolle om det for eksempel er 6 eller 7 målepunkter mellom to klokkeslett.

5.1.4 Uforutsette problemer

En misforståelse førte til at prøve nr. 4-11 på det første prøvetakingssettet (02-03 april) ikke ble ristet/blandet før de ble helt over i 250ml plastflasker. Dette førte til lave verdier for disse prøvene da mye partikulært stoff som hadde sedimentert ikke ble blandet inn i prøven.

En skulle etter planen ha målt kjemisk oksygenforbruk for alle prøvene med en Mantech PeCOD maskin. Sen levering av det som viste seg å være en defekt enhet førte til at disse analysene ikke kunne gjennomføres innenfor denne oppgavens tidsramme.

5.1.5 Værforbehold

Ettersom en ønsket å få med resultater fra fire ulike scenarioer (tørr hverdag, våt hverdag, tørr helgedag og våt helgedag) så har været vært av betydning. Dette sammen med tidsproblematikken (se delkapittel 5.1.2) førte til at det ikke var noen målinger som representerte våte helgedager. Videre er det kun samlet inn et sett med vannprøver som representerer hverdag våtvær da det var lite tid. En hadde ønsket minst to målinger fra hvert scenario for å øke sikkerheten til analysene.

5.1.6 Muligheter for måling i felt

Ettersom målingene gjort for denne oppgaven er inne på et renseanlegget og ikke i avløpsrør blir det vanskelig å si noe konkret rundt dette, men noen relevante observasjoner er gjort. For det første har sammensetningen av avløpsvannet gitt problemer i form av at sensorene har hatt lett for å samle filler, noe som påvirket resultatene.



Figur 5-1 Nedføringsrør med sensorer etter nedbør. Foto: Andreas Lindhjem

Figur 5-1 over viser oversiden av rørene sensorene var ført ned i etter en nedbørhendelse. Ved en annen anledning hadde det samlet seg så store filler på sensorene at innløpet måtte midlertidig stenges for at en kunne få løs fillene fra sensorene. I dette tilfellet kan problemet ha vært større enn nødvendig grunnet den bratte vinkelen rørene med sensorene har ned mot vannstrømmen. Med en slakere vinkel hadde kanskje mindre filler festet seg på sensorene. I et avløpsvannsrør må sensorer nødvendigvis bli festet til veggen av røret og noe opp langs siden. Her vil det også bli driftsmessige utfordringer ved å føre vekk ledning på en slik måte at den ikke samler filler. Det anbefales bruk av sensorer som er mest mulig strømlinjeformet for å minimere forstyrrelser i vannføringen. Filleoppsamling sammen med dannelse av biofilm vil føre til et behov for jevnlig manuelt vedlikehold. Dette blir praktisk krevende dersom det skal være mange målepunkter ute på nettet.

5.2 Resultater

Dette delkapittelet går gjennom resultatene som ble presentert i kapittel 4.

5.2.1 Nedbør

Som nevnt tidligere viser figurene 4-2, 4-3 og 4-4 at de fleste nedbørmålerne samsvarte godt. Dette indikerer at det har vært større regnværsskyer og ikke lokale regnbyger. Ser en spesifikt på regnskyllet som

er representert i prøvetakingen (24-25 april) så ble dette registrert av samtlige regnmålere. Det anses derfor som representativt å bruke nedbørmåleren på taket av renseanlegget (Svelvikveien 171) da den ikke skiller seg ut fra de andre. Hadde det vært lokale regnbyger så ville en kun ha sett disse på en eller noen få av grafene. Hvis dette hadde vært tilfelle hadde det vært vanskeligere å stole på nedbørmåleren på taket av renseanlegget. En burde i så fall ha hatt en eller flere nedbørmålere som representerte nedbørfeltet til avløpsnettet. Problematikken rundt lokale regnbyger tas opp da dette er sentralt i Regnbygge 3M prosjektet som denne oppgaven er relatert til. Det hadde vært ønskelig med flere målinger med nedbør enn et døgn for å få sikrere/bedre modeller.

Figur 4-5 viser innløps- og nedbørsmengdene for 24-25 april. Her ser en godt samsvar mellom nedbør og innløpsmengde. Videre ser en som nevnt i kapittel 4.1.3 at toppen på nedbørintensitetskurven er ca. 1 time før toppen på innløpskurven. Dette skyldes forsinkelse på grunn av vannets oppholdstid i nedbørfeltet. Størrelsen på nedbørfeltet og utformingen på ledningsnettet bidrar til dette. Selv om en kunne ha forsøkt å forskyve en av kurvene for å bedre matche hverandre i tid har dette ikke blitt gjort. Dette kunne potensielt ha ført til bedre korrelasjon mellom time nr, nedbørintensitet og innløpsmengde. Dette ble ikke gjort da det hadde vært en svært forenklet modell i tillegg til at det allerede har vært gjort grundig arbeid når det kommer til modellering av nedbørfeltet og ledningsnettet (Johansen & Moldekleiv 2016).

5.2.2 Vannprøver

Driftstall sammenlignet med vannprøver

Driftstall fra laben på renseanlegget hentet mellom 16 og 27 juni 2015 viser at totalt fosfor varierte mellom 1,32 og 8,79mg/l med et gjennomsnitt på 5,15mg/l (Wang et al. 2017). TotP verdiene for denne oppgaven varierte fra 0,49 til 7,92mg/l med et gjennomsnitt på 2,37mg/l. Verdiene er med andre ord noe lavere men ser plausible ut. Samtaler med Harald Darre Seip som har brukt samme analyseutstyr og metoder samt samme type prøvetaker indikerer at han har hatt mer problemer med høye fosfatverdier i forhold til TotP verdier. Dette gir grunn til å tro at metoden og/eller utstyret benyttet til fosforanalyse ikke har vært veldig nøyaktig.

For ortofosfat varierte verdiene fra 2015 fra 0,19 til 5,13mg/l med et gjennomsnitt på 1,91mg/l. Prøvene målt i forbindelse med denne oppgaven varierte mellom 0,06 til 2,82mg/l med et gjennomsnitt på 0,73mg/l.

Ammonium varierte i 2015 fra 15,63 til 65,82mg/l med et gjennomsnitt på 34,85mg/l. For denne oppgaven varierte ammonium fra 2,71 til 36,33mg/l med et gjennomsnitt på 22,20mg/l.

Ettersom både total fosfor, ortofosfat og ammonium viste gjennomsnittsverdier rundt halvparten så store som de registrert tidligere ved renseanleggets laboratorium tyder det på en systematisk feil i analysene gjort i denne oppgaven. Ettersom analysene av alle disse parameterne ble gjort med Systema Easychem instrumentet er det nærliggende å tenke at feilkilden er selve instrumentet eller bruken av det. For denne oppgaven er det derimot viktigere at de analyserte og målte parameterne varierer som normalt ettersom de statistiske analysene skalerer datasettet på forhånd slik at størrelsen til de ulike forventningsverdiene ikke spiller noen rolle. Noe av differansen i ammoniumkonsentrasjoner kan forklares med degradering av prøven som følge av mangel på konservering under lagring.

I juni 2015 varierte verdiene av suspendert stoff fra 72 til 456mg/l med et gjennomsnitt på 210mg/l. SS i denne oppgaven varierte fra 38 til 312mg/l med et gjennomsnitt på 158mg/l. Dette er også noe lavere enn tidligere målt, men nærmere og gir grunn til å tro at SS-verdiene i denne oppgaven har vært relativt gode.

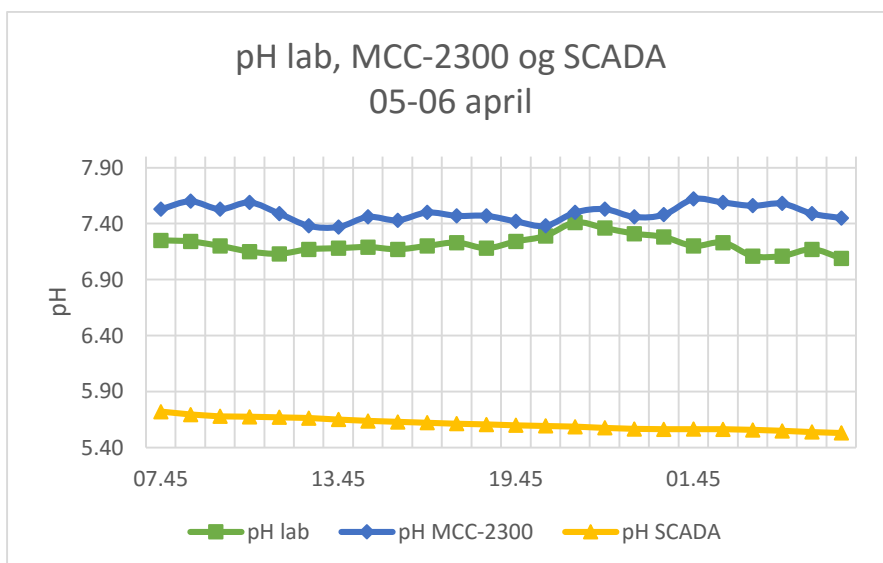
Talking av grafer fra de ulike scenarioene

Resultatene fra prøvene som representerer hverdag tørrvær tyder på at pH og konduktivitet korrelerer under disse forholdene. Konduktivitet for 25-26 april er ganske lav den første halvdel av grafen. Dette skyldes antakeligvis at det dagen før var en del nedbør. Dette har tynnet ut avløpsvannet som igjen har senket konduktiviteten. Ortofosfat ligger som forventet hele tiden under total fosfor.

Generelt for grafene ser det ut til at fosfor og mengde korrelerer godt. Det vil si at fosforkonsentrasjonen øker med økt vannmengde. Dette kan igjen tyde på at det er mer fosfor i overvannet enn i spillvannet. Alle grafene viser også at suspendert stoff og turbiditet korrelerer meget bra. Dette er å forvente da målingene er nært beslektet (måling av partikler og grumsethet). Videre ser det ut til at temperatur og mengde også korrelerer positivt. Dette er sesongvarierende da det antas at overvannet i sommerhalvåret er varmere enn i vinterhalvåret samtidig som spillvannet har relativt konstant temperatur.

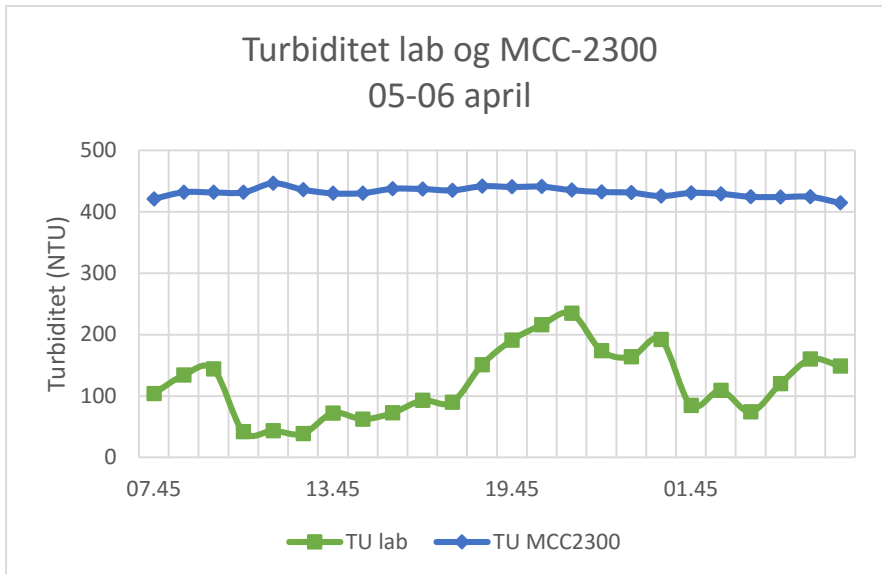
5.2.3 Resultater fra online sensorer sammenlignet med labverdier

Som nevnt tidligere har det vært en del problemer med kalibrering av sensorer i tillegg til at pH og konduktivetsmålerne på renseanlegget har tidvis vært preget av å samle filler. Under vises noen utvalgte grafer som sammenligner samme parameter med forskjellige målere for en gitt prøvedag. Her går det frem at variasjonen i noen tilfeller stemmer selv om kalibreringen er feil:



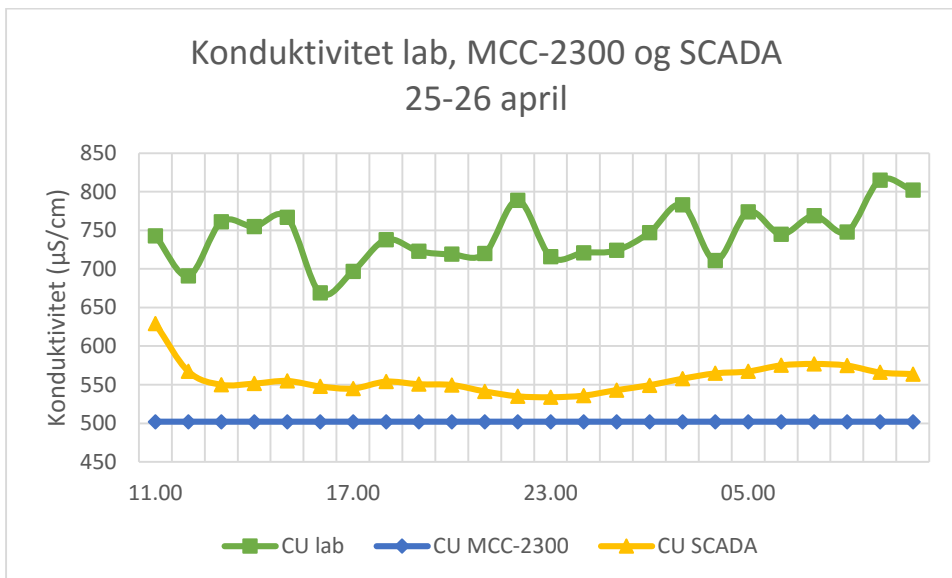
Figur 5-2 pH lab, MCC-2300 og SCADA 05-06 april

Figur 5-2 viser at pH varierer ganske likt for labverdier og de registrert med MCC-2300 kontrollboksen mens verdiene fra renseanlegget er lave på grunn av at det hadde samlet seg filler på sensoren.



Figur 5-3 Turbiditet lab og MCC-2300 05-06 april

Figur 5-3 viser en dårligere sammenheng. Her ligger verdiene til MCC-2300 både langt over de målt på lab, i tillegg til at variasjonen er minimal og derfor vanskelig å tolke. Det er usikkert hvorfor variasjonen er lav, men dette indikerer at en bør ta jevnlig vannprøver for å kontrollere online måling.



Figur 5-4 Konduktivitet lab, MCC-2300 og SCADA 25-26 april

Figur 5-4 viser nok en gang store forskjeller mellom resultater fra vannprøver og online måling. Denne gangen ser det ut til at målingene fra SCADA korrelerer med vannprøvene selv om verdiene konsekvent er en del lavere. Det er ingen variasjon fra sensoren koblet til MCC_2300 kontrollboksen i det hele tatt. Dette har skjedd for alle prøve dagene selv om det varierte hva verdien var for hver prøvedag. Det er ukjent hvorfor dette har skjedd.

5.2.4 Statistisk modellering

PCA

PCA analysen bekreftet mange av inntrykkene som ble dannet ved undersøkelse av grafene fra de ulike prøvedagene for ulike parametere. Bi-plottet (figur 4-11) viser blant annet at suspendert stoff og turbiditet er nært korrelert og at nedbør og vannmengde er nært korrelert som forventet. Videre viser skårplottet at modellen skiller godt mellom dager med og uten nedbør.

PLSR

PLSR analysene viste først og fremst at en generell likning ikke forklarer variasjonen godt nok og at en trenger flere likninger. Dette skyldes at variasjonen til de ulike responsvariablene (TotP, PO₄ og NH₄) forklares ulikt av de forskjellige forklaringsvariablene avhengig av om det er helg, hverdag, tørrvær eller våtvær. Derfor trenger en ulike likninger for hver responsvariabel og hvert scenario. Videre viste analysene at det varierte mye hvor mange forklaringsvariabler som var nødvendige i hvert tilfelle. Som nevnt tidligere er disse likningene optimaliserte for færrest mulig forklaringsvariabler samtidig som forklart variasjon (R²) har sunket minst mulig. Generelt sank R² med 5-10% for de optimaliserte modellene sammenlignet med om man skulle hatt med alle forklaringsvariablene.

Tabell 4-1 og 4-2 viser R² for hele datasettet (R²_{cal}) og kryssvalidering (R²_{val}). Fra tabell 4-2 går det tydelig frem at total fosfor er den responsvariablen som er best forklart av de tilhørende likningene med R²_{cal} omtrent lik 80% for alle tre scenarioer. Ammonium er også godt forklart av likningene som representerer tørr hverdag og tørr helg, men ikke våt hverdag. Ortofosfat lot seg også dårlig forklare for hverdag med nedbør. En grunn til dette kan være at det kun var et sett med vannprøver og online målinger fra dette scenarioet. Statistisk sett gir flere prøver alltid bedre modeller. Videre forklarte likningen for ortofosfat også lite variasjon for tørr hverdag.

5.3 Forslag til videre arbeid

Det skulle i utgangspunktet også måles kjemis oksygenforbruk (KOF) i denne oppgaven. Dette lot seg ikke gjøre da måleinstrumentet som kom sent til laboratoriet viste seg å være defekt i tillegg til å ha blitt levert sent. Det foreslås derfor at arbeidet fortsettes med å måle KOF på nye prøver. Formålet med dette er å kunne lage en virtuell sensor for konsentrasjonen av organisk materiale i avløpsvannet. Dette er nyttig for å kunne dokumentere hvor mye som går i overløp under kraftige regnbyger.

Videre anbefales det å kjøre mer av de samme målingene for å få et bedre datagrunnlag som igjen vil gi mer robuste modeller. Dette gjelder spesielt hverdag med nedbør der det kun ble tatt en prøveserie i forbindelse med denne oppgaven samt helg med nedbør som ikke er representert i denne oppgaven.

I tillegg anbefales det å gjøre relevante feltforsøk med sensorer montert i avløpsrør for å kunne undersøke vedlikeholdsbehovet for et slikt oppsett. På lenger sikt er det og interessant å kunne teste modellene ved å ta vannprøver av vann som går i overløp og sammenligne labverdier med beregnede verdier. Dette krever at man benytter avrenningsmodeller for å beregne hvor mye som går i overløp først (da får man "Q" til likningene).

6. Konklusjon

Oppgaven har sett på hvorvidt det er mulig å kvantifisere næringsstoffer i avløpsnett med modeller som indirekte eller virtuelle sensorer for parametere som er vanskelige å måle online (total fosfor, ortofosfat og ammonium). Konklusjonen inkluderer en praktisk del angående måling i felt og en teoretisk del som omhandler de statistiske modellene.

Det er vanskelig å si noe konkluderende om bruk av disse sensorene i felt av et par grunner; festeanordningen og spillvannskanalen var veldig forskjellig fra montering i et avløpsrør. Videre gav mange av online sensorene dårlige tall som følge av dårlig eller manglende kalibrering. En må derfor anta at online sensorer vil gi gode, kalibrerte verdier før de skal brukes i felt. Vedlikehold i felt er også en større utfordring både fordi det er vanskeligere å komme til sensorene enn om de står inne på et renseanlegg og fordi det stiller andre krav til værbestandighet til den umiddelbare infrastruktur og kontrollboks. Det kreves forsøk i felt for å kunne si med sikkerhet om dette vil fungere.

De statistiske analysene viser at det er mulig å indirekte måle verdier av næringsstoffer i avløpsvann med relativt få parametere som er enkle å måle med ca. 80% forklart variasjon. Dette gjaldt i hovedsak for total fosfor, men også ortofosfat for tørre helgedager og ammonium tørre hverdager og helgedager. En generell likning for alle scenarioer vil ikke kunne forklare nok variasjon. En bør benytte en bestemt likning avhengig av hvilken parameter en løser for (TotP, PO_4 eller NH_4), om det er hverdag eller helgedag og om det regner eller er tørrvær. Det betyr at det trengs et system som velger riktig likning basert på de gjeldene forholdene.

Generelt viser de statistiske modellene godt potensiale og det anbefales videre arbeid for å få dekket flere scenarioer samt utarbeide et større datagrunnlag for mer robuste modeller.

7. Referanser

- Drikkevannsforskriften. (2003). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann*.
- Eriksson, L., T. Byrne, Johansson, E., J. Trygg & Wikström, C. (2013). *Multi- and megavariable data analysis : basic principles and applications*. 3rd ed. utg. Malmö: Umetrics.
- Forurensningsforskriften. (2004). *Forskrift om begrenning av forurensning (forurensningsforskriften) av 01.juli 2004*.
- Härdle, W. K. & Simar, L. (2015). *Applied Multivariate Statistical Analysis*: Springer Berlin Heidelberg.
- Johansen, J. A. & Moldekleiv, H. J. S. (2016). *Utprøving av metodikker for modellering av overvann i et urbant område ved bruk av ArcGIS, MIKE21 og MIKE FLOOD: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi*. 197 s.
- Kjensmo, J. (2011). *Eutrofiering*. Store norske leksikon.
- MathWorks. *Partial Least Squares Regression and Principal Components Regression*. Tilgjengelig fra: <https://se.mathworks.com/help/stats/examples/partial-least-squares-regression-and-principal-components-regression.html?requestedDomain=www.mathworks.com> (lest 09.05).
- Norsk klimaservicesenter. (2017). Klimaprifil Buskerud - Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning. 8 s.
- Norsk Vann. *Ammonium*. VA ordbok: Norsk Vann. Tilgjengelig fra: <https://kurs.norskvann.no/mod/glossary/showentry.php?eid=813&displayformat=dictionary> (lest 14.04).
- NTB. (2009). Fraråder å bade i deler av Oslofjorden på grunn av algeoppblomstring. *Fredrikstad Blad*.
- Regionale Forskningsfond. (2013). *Helhetlig optimalisering ledningsnett og renseanlegg med overvåkning, modellering og styring for økonomiske og miljømessige besparelser: Regnbygge-3M*. Regionale offentlige prosjekt, mal for prosjektbeskrivelse. 10 s.
- Regnbygge-3M. (2014). *Overordnet idé*.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. & Clescer, L. S. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22 utg.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 1496 s.
- Seip, H. D. (2017). *Samtale om erfaringer med Systema Easychem Plus*.
- Storhaug, R. & Aquateam. (2008). Lagring og transport. 4 s.
- SWECO. (2017). Uttak av sekundærprøve, merking og konservering av prøve. 6 s.
- SYSTEAM. (2010). *Ammonia, by Discrete Analysis - Method EASY-NH3-350-01 rev 0*.
- Wang, X., Ratnaweera, H., Holm, J. A. & Olsbu, V. (2017). Statistical monitoring and dynamic simulation of a wastewater treatment plant: A combined approach to achieve model predictive control. *Journal of Environmental Management*, 193: 1-7.
- Ødegaard, H., Norheim, B. & Norsk Vann, B. A. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. utg. VA-teknikk. Hamar: Norsk Vann.

Vedlegg A

I dette vedlegget finnes resultater fra vannprøvene samt nedbørverdier. Resultater fra de ulike prøvedagene er gitt i hver sin tabell og alle relevante parametere er tatt med. Tabellene er fargekodet der data skiller seg ut for å gjøre de lettere å analysere.

Verdiene er hentet ved å midle målinger av ulik tidsoppløsning. Dette er gjort for å matche tidsintervallet mellom de enkelte vannprøvene (1 time fra 3*20min prøver). Det vil si at parameterne SS, TU, pH, CU, NH_4^+ , NO_3 , PO_4 og Tot-P er vist slik de er målt. Parameterne hentet fra MCC-2300 kontrollboksen er hentet med 10min oppløsning og dermed er snittet av 6 og 6 prøver tatt for å tilsvare vannprøvene. Parameterne hentet fra SCADA vist som de er i de tilfellene hvor prøvetakeren ble startet et helt klokkeslett. Dette er fordi data da ble hentet fra Gurusoft som gir ferdige timesverdier for hele klokkeslett. Der prøvetakeren ikke ble startet på et helt klokkeslett ble data eksportert manuelt fra renseanlegget midlet. Disse målingene hadde en oppløsning på ca. 9min (den faktiske oppløsningen varierte noe mellom ulike eksporterings). Nedbørdata er lastet ned med 5min oppløsning. Her er verdiene summert opp istedenfor å midle slik at en får akkumulert nedbør for hver time.

Resultater fra vannprøver og online måling 02 – 03 april

Tabell 3 Verdier fra vannprøver og online måling 02-03 april

Prøvenr.	Tid (en time fra klokkeslett)	SS (mg/l) lab	TU (NTU) lab	pH lab	CU (µS/cm) lab	NH4-N (mg/l) Systea	PO4-P (mg/l) Systea	TP-P (mg/l) Systea	pH MCC2300	CU (µS/cm) MC2300	SS (mg/l) MCC2300	TU (NTU) MCC2300	Temp (°C) SCADA	pH SCADA	(µS/cm) SCADA	Nedbør (mm) ROSIM	Mengde (m ³ /h) SCADA 12:00
1	12:30	182	104	7.25	606	22.55	1.70	3.51	7.52	359	612	459	7.14	6.59	580	0.00	1739
2	13:30	188	134	7.24	609	20.08	1.41	2.51	7.46	359	615	441	7.33	6.58	574	0.00	1729
3	14:30	202	144	7.20	619	17.29	1.10	2.31	7.43	365	621	444	7.50	6.55	569	0.00	1724
4	15:30	58	41.7	7.15	618	16.73	0.90	1.36	7.43	378	637	444	7.54	6.52	568	0.00	1706
5	16:30	46	43.6	7.13	603	16.22	0.69	1.13	7.45	378	621	445	7.56	6.48	567	0.00	1666
6	17:30	38	38.6	7.17	571	16.02	0.51	1.01	7.50	378	657	479	7.51	6.46	559	0.00	1648
7	18:30	62	72.3	7.18	582	19.24	0.43	1.31	7.51	378	653	484	7.54	6.44	561	0.40	1654
8	19:30	54	62.4	7.19	562	19.28	0.58	1.38	7.50	378	640	473	7.60	6.45	573	0.00	1649
9	20:30	58	72.5	7.17	572	19.31	0.43	1.50	7.51	378	676	488	7.51	6.43	572	0.00	1650
10	21:30	74	92.9	7.20	598	22.33	0.53	1.80	7.54	378	676	492	7.57	6.42	575	0.00	1661
11	22:30	76	89.8	7.23	613	23.98	0.51	1.87	7.51	378	629	458	7.61	6.40	587	0.00	1638
12	23:30	186	151	7.18	620	23.16	0.61	3.42	7.68	378	661	477	7.55	6.39	585	0.00	1578
13	00:30	226	191	7.24	638	25.23	0.56	4.40	7.59	378	705	492	7.44	6.38	581	0.00	1504
14	01:30	274	216	7.29	654	27.31	0.49	5.33	7.56	378	674	492	7.22	6.35	585	0.00	1434
15	02:30	312	235	7.41	666	28.41	0.29	5.71	7.53	378	660	484	7.06	6.34	604	0.00	1295
16	03:30	228	174	7.36	573	20.73	0.33	3.00	7.50	378	672	481	6.75	6.33	610	0.00	1235
17	04:30	208	164	7.31	589	20.84	0.20	3.60	7.49	378	685	483	6.54	6.32	604	0.00	1187
18	05:30	292	192	7.28	603	21.98	0.19	4.52	7.40	378	622	448	6.42	6.31	608	0.00	1169
19	06:30	178	84.9	7.20	527	15.58	0.56	0.72	7.43	378	607	441	6.33	6.30	612	0.00	1209
20	07:30	174	109	7.23	554	15.89	0.78	2.09	7.38	378	637	453	6.39	6.29	605	0.00	1338
21	08:30	112	74.4	7.11	618	18.54	1.14	2.41	7.47	378	661	522	6.63	6.27	595	0.00	1692
22	09:30	166	120	7.11	678	27.33	1.41	3.90	7.57	378	681	493	7.29	6.25	603	0.00	1692
23	10:30	218	160	7.17	667	32.58	1.70	4.85	7.51	378	642	475	7.57	6.21	623	0.00	1611
24	11:30	206	149	7.09	650	25.39	1.50	4.16	7.58	378	688	493	7.73	6.20	636	0.00	1559

Tabellen over viser resultatene fra 02-03 april. De røde cellene representerer data som er påvirket av annerledes prøvetaking. Prøve nr. 4-11 ble ikke mikset/blandet før de ble tappet over på prøveflasker. På grunn av dette fikk en ikke med mye suspendert stoff som hadde sedimentert og en fikk lavere verdier på mange av parameterne. Videre finnes ikke verdier for suspendert stoff fra SCADA i da denne sensoren ikke var fungerende på dette tidspunktet.

Resultater fra vannprøver og online måling 05 – 06 april

Tabell 4 Verdier fra vannprøver og online måling 05-06 april

Prøvenr.	Tid (en time fra klokkeslett)	SS (mg/l) lab	TU (NTU) lab	pH lab	CU (µS/cm) lab	NH4-N (mg/l) Sys tea	PO4-P (mg/l) Sys tea	TP-P (mg/l) Sys tea	pH MCC2300	CU (µS/cm) MC2300	SS (mg/l) MCC2300	TU (NTU) MCC2300	Temp (°C) SCADA	pH SCADA	CU (µS/cm) SCADA	SS (mg/l) SCADA	Nedbør (mm) ROSIM	Mengde SCADA (m ³ /h)
1	07:45	182	104	7.25	606	30.36	0.55	1.43	7.53	425	744	421	7.01	5.72	817	63	0.00	1303.03
2	08:45	188	134	7.24	609	31.77	0.55	1.77	7.6	425	813	432	7.14	5.69	810	77	0.00	1565.40
3	09:45	202	144	7.20	619	34.21	1.40	2.62	7.53	425	740	432	7.45	5.68	806	99	0.00	1523.35
4	10:45	58	41.7	7.15	618	33.55	1.16	2.68	7.59	425	748	432	7.85	5.68	814	110	0.00	1335.09
5	11:45	46	43.6	7.13	603	32.56	1.69	2.28	7.49	425	768	447	8.06	5.67	815	101	0.00	1254.73
6	12:45	38	38.6	7.17	571	30.50	1.20	2.15	7.38	425	714	436	8.18	5.66	819	123	0.00	1299.39
7	13:45	62	72.3	7.18	582	26.87	0.22	1.79	7.37	425	682	430	8.21	5.65	827	111	0.00	1398.93
8	14:45	54	62.4	7.19	562	26.66	0.23	1.61	7.46	425	684	431	8.30	5.64	833	114	0.00	1402.39
9	15:45	58	72.5	7.17	572	31.47	0.18	1.42	7.43	425	740	438	8.24	5.63	837	107	0.00	1383.44
10	16:45	74	92.9	7.20	598	31.61	0.19	1.60	7.5	425	722	437	8.21	5.62	843	124	0.00	1356.89
11	17:45	76	89.8	7.23	613	31.81	0.28	1.85	7.47	425	792	435	8.21	5.61	848	127	0.00	1347.01
12	18:45	186	151	7.18	620	35.08	0.27	1.91	7.47	425	1047	442	8.21	5.61	852	106	0.00	1326.67
13	19:45	226	191	7.24	638	36.23	0.48	1.84	7.42	425	1129	441	8.21	5.60	853	104	0.00	1310.96
14	20:45	274	216	7.29	654	35.44	0.50	1.87	7.38	425	1130	441	8.24	5.59	861	106	0.00	1195.03
15	21:45	312	235	7.41	666	31.15	0.85	2.11	7.5	425	1318	435	8.34	5.59	866	108	0.00	1185.21
16	22:45	228	174	7.36	573	30.50	0.42	1.57	7.53	425	1084	432	8.40	5.58	868	97	0.00	1293.02
17	23:45	208	164	7.31	589	26.11	1.08	1.70	7.46	425	1586	431	8.40	5.57	869	76	0.00	1226.78
18	00:45	292	192	7.28	603	23.66	0.67	1.60	7.48	425	1372	426	8.40	5.56	874	78	0.00	1067.82
19	01:45	178	84.9	7.20	527	23.74	0.61	1.45	7.62	425	1148	431	8.34	5.56	880	67	0.00	869.11
20	02:45	174	109	7.23	554	30.23	0.84	1.47	7.59	425	1217	429	8.25	5.56	888	64	0.00	806.06
21	03:45	112	74.4	7.11	618	36.33	0.88	1.52	7.56	425	1160	425	8.09	5.56	888	65	0.00	861.60
22	04:45	166	120	7.11	678	31.33	0.50	0.99	7.58	425	1116	424	7.95	5.55	894	57	0.00	902.18
23	05:45	218	160	7.17	667	34.01	0.42	1.02	7.49	425	1112	425	7.75	5.54	901	64	0.00	944.61
24	06:45	206	149	7.09	650	30.73	0.43	1.05	7.45	425	1088	414	7.56	5.53	914	56	0.00	969.59

Figuren over viser resultatene fra 05 – 06 april.

Resultater fra vannprøver og online måling 24 – 25 april

Tabell 5 Verdier fra vannprøver og online måling 24 - 25 april

Prøvenr.	Tid (en time fra klokkeslett)	SS (mg/l) lab	TU (NTU) lab	pH lab	CU (µS/cm) lab	NH4-N (mg/l) Sysstea	PO4-P (mg/l) Sysstea	TP-P (mg/l) Sysstea	pH MCC2300	CU (µS/cm) MC2300	SS (mg/l) MCC2300	TU (NTU) MCC2300	Temp (°C) SCADA	pH SCADA	CU (µS/cm) SCADA	SS (mg/l) SCADA	Nedbør (mm) ROSIM	Mengde SCADA (m ³ /h)
1	09:00	118	85.5	7.17	405	9.98	0.57	1.30	7.48	502	1164	285	6.86	7.02	362	90	0.10	2028
2	10:00	144	93.4	7.11	425	12.00	0.52	1.63	7.48	502	1168	284	6.89	7.03	348	98	0.00	2094
3	11:00	160	109	7.01	415	14.71	0.90	1.97	7.5	502	1206	283	6.99	7.05	358	116	0.00	2204
4	12:00	252	109	7.03	451	10.14	0.64	2.34	7.31	502	1200	287	6.96	6.86	328	146	0.00	2217
5	13:00	196	146	6.82	450	17.24	0.92	2.39	7.31	502	1161	292	7.09	6.86	347	146	0.00	2241
6	14:00	210	166	6.83	493	12.66	0.67	2.36	7.32	502	1164	292	7.60	6.89	367	138	0.20	2235
7	15:00	224	144	6.92	492	11.89	0.80	2.32	7.41	502	1214	288	7.87	6.96	364	150	1.00	2228
8	16:00	288	156	6.80	500	11.04	0.52	2.86	7.34	502	1192	304	7.87	6.92	368	203	1.00	2137
9	17:00	622	302	6.72	542	12.43	0.96	4.73	7.31	502	1366	317	8.31	6.79	508	336	1.10	1823
10	18:00	3232	351	6.36	810	14.32	3.64	30.30	7.06	502	4536	794	8.95	6.58	469	603	0.80	1322
11	19:00	192	133	7.01	618	13.71	0.76	2.86	7.53	502	1142	283	8.52	7.13	532	124	0.30	1977
12	20:00	202	140	7.01	664	15.16	0.44	2.58	7.5	502	1238	295	8.75	7.08	550	150	0.30	2041
13	21:00	192	133	6.91	605	14.24	0.61	2.05	7.42	502	1232	290	8.38	7.01	522	142	0.40	2061
14	22:00	150	109	7.06	720	14.34	0.26	1.79	7.42	502	1199	284	8.22	7.01	601	104	0.30	2060
15	23:00	138	119	7.15	766	13.67	0.46	1.32	7.43	502	1192	282	8.17	7.01	598	85	0.00	2050
16	00:00	138	119	7.08	617	14.36	0.15	1.50	7.41	502	1147	276	8.24	6.98	531	81	0.00	2020
17	01:00	142	86.3	7.07	593	14.70	0.16	1.35	7.42	502	1134	278	8.13	7.00	513	79	0.00	1932
18	02:00	124	80.9	7.16	610	14.13	0.40	1.39	7.5	502	1159	273	7.77	7.07	525	69	0.00	1762
19	03:00	162	83.9	7.27	596	13.61	0.47	1.37	7.52	502	1180	279	7.52	7.10	546	92	0.00	1395
20	04:00	104	54.6	7.32	629	13.51	0.20	0.95	7.55	502	1127	271	7.47	7.13	566	52	0.00	1177
21	05:00	94	52.5	7.35	737	14.76	0.27	0.79	7.56	502	1091	267	7.41	7.13	574	34	0.00	1083
22	06:00	62	35.6	7.40	687	13.29	0.24	0.49	7.62	502	1085	271	7.39	7.20	595	29	0.00	1012
23	07:00	70	38	7.56	734	14.69	0.35	1.15	7.71	502	1080	267	7.48	7.28	597	28	0.00	1284
24	08:00	148	54.5	7.45	692	14.70	0.53	1.35	7.71	502	1094	267	7.67	7.09	602	179	0.00	1928

Figuren over viser resultatene fra 24 - 25 april. De røde feltene markerer verdier so skiller seg ut. Dette skyllles antagelig filleoppsamling på sensorene og i prøvetakerinnsuget.

Resultater fra vannprøver og online måling 25 - 26 april

Tabell 6 Verdier fra vannprøver og online måling 25 - 26 april

Prøvenr.	Tid (en time fra klokkeslett)	SS (mg/l) lab	TU (NTU) lab	pH lab	CU (µS/cm) lab	NH4-N (mg/l) Sys tea	PO4-P (mg/l) Sys tea	TP-P (mg/l) Sys tea	pH MCC2300	CU (µS/cm) MC2300	SS (mg/l) MCC2300	TU (NTU) MCC2300	Temp (°C) SCADA	pH SCADA	CU (µS/cm) SCADA	SS (mg/l) SCADA	Nedbør (mm) ROSIM	Mengde SCADA (m ³ /h)
1	11:00	192	112	7.00	743	23.87	0.19	3.21	7.58	502	1184	290	8.86	7.09	629	307	0.00	1434
2	12:00	224	111	6.99	691	22.19	0.18	3.83	7.53	502	1178	288	8.90	6.53	567	143	0.00	1403
3	13:00	210	140	6.88	761	21.26	0.19	3.83	7.45	502	1191	292	8.88	6.45	550	135	0.00	1365
4	14:00	196	119	6.79	755	19.43	0.12	3.70	7.42	502	1196	280	9.04	6.34	552	118	0.00	1309
5	15:00	174	107	7.04	767	20.01	0.15	3.09	7.48	502	1172	281	8.99	6.42	555	103	0.00	1238
6	16:00	174	134	6.77	669	19.48	0.11	3.20	7.39	502	1153	280	9.00	6.32	548	95	0.00	1274
7	17:00	168	108	6.70	697	19.39	0.11	3.26	7.41	502	1191	282	9.11	6.41	545	90	0.00	1291
8	18:00	162	119	7.07	738	22.67	0.12	3.38	7.55	502	1164	282	9.21	6.31	554	86	0.00	1368
9	19:00	216	120	7.02	723	23.03	0.12	3.05	7.52	502	1144	283	9.17	6.21	551	87	0.00	1348
10	20:00	168	91.4	7.14	719	23.31	0.11	3.29	7.53	502	1194	276	9.21	6.20	550	95	0.00	1319
11	21:00	164	109	7.06	720	22.71	0.31	3.05	7.49	502	1129	286	9.29	6.19	541	106	0.00	1309
12	22:00	164	135	7.27	789	26.94	0.12	3.45	7.58	502	1145	277	9.31	6.17	535	113	0.00	1230
13	23:00	146	106	7.06	716	23.48	0.11	2.59	7.51	502	1138	278	9.31	6.16	534	109	0.00	1203
14	00:00	160	102	7.10	721	25.41	0.09	3.15	7.5	502	1129	281	9.30	6.15	536	101	0.00	1188
15	01:00	150	88.3	7.10	724	25.54	0.09	2.80	7.47	502	1184	279	9.31	6.13	543	104	0.00	1000
16	02:00	130	77.7	7.35	747	26.34	0.13	2.81	7.58	502	1123	278	9.26	6.11	549	109	0.00	941
17	03:00	118	76.7	7.45	783	26.09	0.11	2.74	7.62	502	1177	274	9.03	6.09	558	105	0.00	841
18	04:00	118	55.9	7.48	711	23.56	0.08	2.32	7.61	502	1151	274	8.77	6.08	565	100	0.00	845
19	05:00	90	49.3	7.54	774	24.53	0.55	1.51	7.61	502	1159	275	8.48	6.07	567	97	0.00	840
20	06:00	74	36	7.53	745	22.92	0.06	1.85	7.64	502	1146	274	8.32	6.06	575	98	0.00	860
21	07:00	74	44	7.62	769	24.47	0.08	1.51	7.68	502	1123	276	8.20	6.06	577	99	0.00	918
22	08:00	80	50.1	7.54	748	23.11	0.08	2.06	7.67	502	1093	277	8.21	6.07	575	97	0.00	1199
23	09:00	116	85.5	7.54	815	25.32	0.12	3.12	7.72	502	1142	275	8.33	6.09	566	92	0.00	1419
24	10:00	186	90	7.55	802	31.60	0.22	4.89	7.74	502	1195	281	8.90	6.11	564	90	0.00	1369

Figuren over viser resultatene fra 25 – 26 april.

Resultater fra vannprøver og online måling 29 – 30 april

Tabell 7 Verdier fra vannprøver og online måling 29 - 30 april

Prøvenr.	Tid (en time fra klokkeslett)	SS (mg/l) lab	TU (NTU) lab	pH lab	CU (µS/cm) lab	NH4-N (mg/l) Sys tea	PO4-P (mg/l) Sys tea	TP-P (mg/l) Sys tea	pH MCC2300	CU (µS/cm) MC2300	SS (mg/l) MCC2300	TU (NTU) MCC2300	Temp (°C)		pH		CU (µS/cm)		SS (mg/l) SCADA	Nedbør (mm) ROSIM	Mengde SCADA (m ³ /h)
													SCADA	SCADA	SCADA	SCADA					
1	07:45	152	112	7.38	556	2.71	-0.20	1.39	7.63	514	1230	277	7.37	7.19	402	32	0.00	998			
2	08:45	76	48.3	7.65	576	13.28	1.22	7.92	7.72	514	1157	273	7.52	7.26	406	33	0.00	1223			
3	09:45	84	48.7	7.59	558	13.06	1.32	1.17	7.77	514	1192	276	7.82	7.35	420	58	0.00	1400			
4	10:45	128	65	7.75	643	22.63	2.42	2.22	7.90	514	1251	280	8.25	7.46	450	68	0.00	1385			
5	11:45	144	87.3	7.69	668	26.11	2.82	2.46	7.87	514	1250	281	8.74	7.44	476	85	0.00	1378			
6	12:45	168	108	7.71	705	29.38	2.79	3.11	7.87	514	1229	284	9.01	7.44	489	82	0.00	1352			
7	13:45	188	96.5	7.67	675	26.91	2.46	2.90	7.76	514	1236	278	9.06	7.34	490	82	0.00	1325			
8	14:45	154	96.4	7.57	638	20.40	1.82	2.40	7.69	514	1200	279	9.09	7.26	484	76	0.00	1289			
9	15:45	132	79.6	7.49	609	17.71	1.61	2.24	7.65	514	1225	280	9.04	7.23	484	76	0.00	1211			
10	16:45	144	81.8	7.51	608	14.67	1.29	1.85	7.67	514	1213	280	9.04	7.26	492	73	0.00	1160			
11	17:45	132	83	7.59	680	18.50	1.21	1.85	7.68	514	1235	276	9.00	7.26	492	73	0.00	1176			
12	18:45	134	84.3	7.41	581	13.02	1.25	1.80	7.62	514	1181	280	8.99	7.19	485	69	0.00	1177			
13	19:45	124	81.2	7.39	599	12.93	1.30	1.74	7.61	514	1183	275	8.94	7.18	484	65	0.00	1112			
14	20:45	120	72.8	7.48	599	14.80	1.23	1.61	7.65	514	1196	274	9.00	7.23	491	67	0.00	1110			
15	21:45	124	105	7.57	715	21.80	1.27	1.88	7.69	514	1213	272	9.01	7.26	502	63	0.00	1130			
16	22:45	120	91.9	7.57	687	21.57	1.21	1.91	7.58	514	1217	278	8.99	7.19	514	62	0.00	1180			
17	23:45	144	90.9	7.14	786	23.23	0.78	3.05	7.55	514	1209	303	8.91	7.14	533	63	0.00	1147			
18	00:45	144	79.5	7.57	740	24.55	1.36	2.11	7.69	514	1207	336	8.92	7.27	551	63	0.00	958			
19	01:45	126	69.4	7.60	717	23.60	1.45	1.94	7.71	514	1181	339	8.84	7.30	567	58	0.00	829			
20	02:45	102	54.5	7.60	742	24.50	1.53	1.87	7.73	514	1175	366	8.57	7.32	568	46	0.00	880			
21	03:45	108	65.1	7.70	735	25.98	1.52	1.83	7.71	514	1191	368	8.39	7.31	568	46	0.00	972			
22	04:45	110	57.2	7.64	711	23.89	1.29	1.60	7.71	514	1209	406	8.21	7.32	576	43	0.00	854			
23	05:45	92	40.3	7.67	730	23.04	1.05	1.09	7.67	514	1163	596	8.11	7.28	578	29	0.00	776			
24	06:45	58	33.6	7.67	665	19.67	0.95	0.81	7.59	514	1185	408	7.93	7.21	575	18	0.00	703			

Figuren over viser resultatene fra 29 - 30 april. Det røde feltet viser en verdi unntatt fra analyse.

Vedlegg B

I dette vedlegget vises en systemskisse over Solumstrand rensedistrikt som viser områder hvor det finnes fellesledninger og separate ledninger. Skriften på skissen er relativt liten da skissen i utgangspunktet ble laget for utskrift større enn A4. Det viktigste å merke seg er rektangelet nede i høyre hjørne som er renseanlegget, de grønne ellipsene som viser områder med separat avløp og de lilla ellipsene som viser områder med felles avløp. Utfra skissen ser en at det er ganske mye felles avløp og mange felles overløp. Dette er viktig da nedbør vil ha potensiale til å føre en del spillvann ut til resipienter.



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway