



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Utvikling av soft sensorer for prediksjon av avløpsparametere

Development of soft sensors for prediction of
parameters in wastewater

Håkon Klem Hafnor
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven marker slutten på masterstudiet ”Vann- og miljøteknikk”. Oppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), i samarbeid med Asker Kommune og Rosim AS.

Arbeidet med masteroppgaven har bestått i analysering av avløpsprøver på et laboratorium, og bruk av statistisk verktøy til å utvikle modeller for prediksjon av ulike parametere. I den forbindelse ønsker jeg å takke biveileder Aleksander Hykkerud for opplæring i og hjelp med laboratoriearbeidet, samt opplæring i det statistiske verktøyet The Unscrambler® X.

Aleksander har gjennom hele masterarbeidet vært svært hjelpsom i alt fra teoretiske spørsmål til praktiske gjennomføringer på laboratoriet. I tillegg ønsker jeg å takke Somita Giri for et veldig godt samarbeid i forbindelse med analyseringen av avløpsprøvene på laboratoriet.

Jeg vil også rette en takk til hovedveileder Harsha Ratnaweera for presentering og forklaring av oppgaven, i tillegg til god veiledning gjennom masterperioden.

Til slutt vil jeg takke familien min for oppmuntring og støtte gjennom hele studieperioden på Ås.

Ås, 15/05-2018

Håkon Klem Hafnor

Sammendrag

Analysering av avløpsvann i lokale områder av et ledningsnett, er generelt svært lite utbredt i det kommunale avløpsnettet i Norge. En karakterisering av avløpsvannet i ledningsnettet vil kunne gi viktig informasjon om forholdene både i og utenfor ledningsnettet, men en rekke avløpsparametere er enten dyre eller tar for lang tid å måle. I denne oppgaven predikeres disse parameterne (kalt responsvariabler) ved å bruke prediksjonsvariabler, som på den andre siden er enkle og billige å måle. pH, konduktivitet, turbiditet og strømming ble brukt som prediksjonsvariabler, mens responsvariablene var ammonium, nitrat, ortofosfat, total fosfor, suspendert stoff og kjemisk oksygenforbruk.

For prediksjon av responsvariablene har det blitt utviklet soft sensorer. Soft sensorene er basert på resultater fra analysering av avløpsprøver, og resultater fra online sensorer og vannmengdemåler plassert i et avløpsrør på Vakås i Asker kommune. De statistiske analysemetodene PCA og PLSR ble brukt til evaluering av resultater, og estimering av statistiske modeller.

Resultatene i oppgaven har stort sett ligget innenfor et forventet område, og dermed gitt et godt utgangspunkt for estimering av modeller. På den andre siden har resultatene til en viss grad vært preget av variasjoner, noe som er forventet ved analyse av avløpsvann.

Av prediksjonsvariablene viste turbiditet seg å være en viktig prediksjonsvariabel for flere av responsvariablene. Prediksjonsprosessen er derfor avhengig av en presis turbiditetssensor med stabile resultater, som ikke var tilfellet i denne oppgaven.

Resultatene viste at det potensielt er gode muligheter for å oppnå gode prediksjoner av ulike parametere i lokale områder av et avløpsnett. Soft sensorene i oppgaven hadde stort sett R^2 -verdier fra 0.7-0.8, som er godkjent i forhold til oppgavens hensikt. De kategoriserte soft sensorene viste ikke en trend i å ha bedre prediksjon enn soft sensorene som inkluderte hele datasettet.

Abstract

The analysis of wastewater in local areas of a sewage system is not a common procedure in Norway. A characterization of the wastewater in the sewage pipes could provide important information about the conditions inside and outside of the pipelines, but a lot of the parameters in the wastewater is either expensive or takes too long measure. In this thesis, these parameters (also called response variables) are predicted using prediction variables, which on the other hand are simple and inexpensive to measure. pH, conductivity, turbidity and flow were used as prediction variables, while the response variables were ammonium, nitrate, orthophosphate, total phosphorus, suspended solids and chemical oxygen demand.

For the prediction of the response variables, soft sensors have been developed. The soft sensors are based on results from analysis of sewage samples, and results from online sensors and a flow meter located in a pipeline at Vakås in a municipality called Asker. The statistical analysis methods PCA and PLSR were used for evaluation of results, and estimation of statistical models.

The results have mostly been within an expected range, thus providing a good starting point for estimating models. On the other hand, the results have contained some unexpected variations, which are expected when analysing wastewater samples.

Out of the prediction variables, turbidity proved to be an important prediction variable for several of the response variables. The prediction process is therefore dependent on a precise and stable turbidity sensor, which in this thesis was not the case.

The results showed that there are potentially good opportunities for achieving good predictions of different parameters in local points of a sewage network. The soft sensor in the thesis had mostly R^2 values from 0.7-0.8, which were approved in relation to the purpose of the assignment. Based on the data set in the thesis, the categorized soft sensors did not show a better prediction than the soft sensors that included the entire data set.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	2
Sammendrag	4
Abstract.....	6
Figurliste	10
Tabelliste.....	11
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Område	2
1.3 Formål.....	3
2. Teori.....	4
2.1 Parameterdata	4
2.1.1 Vannmengde	4
2.1.2 Turbiditet.....	4
2.1.3 Konduktivitet.....	4
2.1.4 pH.....	5
2.1.5 Kjemisk oksygenforbruk (KOF)	5
2.1.6 Suspendert stoff.....	5
2.1.7 Nitrogenforbindelser	6
2.1.8 Fosforforbindelser	6
2.2 Målinger	6
2.3 Målinger i avløpsnettet.....	7
2.4 Multivariat analyse	8
2.4.1 Prinsipal Component Analysis (PCA)	9
2.4.2 Partial Least Squares Regression (PLSR).....	11
2.4.3 Kryssvalidering	11
2.4.4 Outlier detection	11
2.5 Error analyse.....	12
2.6 Soft sensorer	12
2.6.1 Soft sensorer i vannforekomster.....	14
3. Metode	16
3.1 Online vannkvalitetsmåling.....	16
3.2 Automatisk prøvetaker	17
3.3 Laboratorieanalyse	17
3.3.1 Manuelle metoder.....	18
3.3.2 SYSTEA Easychem Plus	19
3.4 Unøyaktigheter	21
3.5 Programvarer	22
3.6 Outlier detection	25
3.7 Fjerning av variabler.....	25
4. Resultater	26
4.1 Kategoriserte målinger	26
4.2 Online sensorverdier, vannmengdemåler og manuelle målinger	27
4.3 Korrelasjon mellom variabler.....	29
4.4 Fjerning av utliggere og variabler	29
4.5 Testing av modellene.....	31
4.5 PLSR-plott og ligninger	32
4.5.1 PLSR-plott.....	32
4.5.2 Likninger.....	39

5. Diskusjon	42
5.1 utfordringer og måleusikkerheter	42
5.1.1 utfordringer med laboratoriearbeidet	42
5.1.2 målingsusikkerheter	42
5.2 kategoriserte forskjeller	44
5.3 vurdering av online sensorer og vannmengdemåler	45
5.4 korrelasjon	46
5.5 statistiske modeller	46
6. Konklusjon	49
7. Referanser	50
Vedlegg A: Stock-løsninger og reagenser	52
Vedlegg B: Målingerresultater	54
Vedlegg C: Prediksjonstabeller.....	64

Figurliste

Figur 1: Oversikt over prøvetakingspunkt på Vakås med avgrenset nedbørsfelt (Sola 2018).....	2
Figur 2: Illustrasjon av in-line, on-line og off-line målinger. (Gebrain u.å.).....	7
Figur 3: Illustrasjon av prinsippkomponentplasseringer (Raschka 2015).....	10
Figur 4: Soft sensorers ulike grener (Kadlec & Gabrys 2009).....	14
Figur 5: pH-meter (Ponsel 2013c).....	16
Figur 6: Konduktivitetsmåler(Ponsel 2013a).....	16
Figur 7: Turbiditetsmåler (Ponsel 2013b).....	16
Figur 8: Prøvetakeren "Isco 3700C Compact Portable Sampler". Foto: H. K. Hafnor.....	17
Figur 9: pH meter (venstre) og konduktivitetsmåler (høyre). Foto: H. K. Hafnor.....	18
Figur 10: 2100N IS TURBIDIMETER. Foto: H. K. Hafnor.....	19
Figur 11: Plot fra prinsippkomponent analyse (CAMO 2014).....	22
Figur 12: "Predicted vs. Reference"-plott (CAMO 2014).....	23
Figur 13: Prediksjonsplott (CAMO 2014).....	24
Figur 14: Prediksjonstabell (CAMO 2014).....	24
Figur 15: Utsnitt av utliggerlisten i The Unscrambler® X.....	25
Figur 16: "Important variables"-plott med vektete verdier.....	25
Figur 17: Oversikt over vannføring under de forskjellige målingene. M1 = måling 1, M2 = måling 2 osv. "-H" = måling i helg.....	26
Figur 18: "Scores"-plott, hverdag=blå og helg=rød.....	27
Figur 19: Verdier fra online pH-sensor på Vakås (Rosim 2018).....	27
Figur 20: Verdier fra online konduktivitetssensor på Vakås (Rosim 2018).....	27
Figur 21: Verdier fra online turbiditetssensor på Vakås (Rosim 2018).....	27
Figur 22: Verdier fra vannmengdemåler på Vakås (Rosim 2018).....	28
Figur 23: "Correlation Loading"-plott av labverdier og sensorverdier for pH, konduktivitet og turbiditet.....	28
Figur 24: "Correlation Loadings"-plott av samtlige parametere.....	29
Figur 25: Modell før og etter fjerning av utligger (merket punkt).....	30
Figur 26: "Important variables"-plott for ammonium (alle målinger).....	30
Figur 27: Prediksjon av testsett for KOF, alle målinger.....	31
Figur 28: Prediksjon av testsett for KOF, tørrvær.....	31
Figur 29: Prediksjon av testsett for KOF, våtvær.....	31
Figur 30: Prediksjonstabeller til KOF: (f.v) alle målinger, tørrvær og våtvær.....	32
Figur 31: "Predicted vs. Reference"-plott for ammonium, alle målinger.....	33
Figur 32: "Predicted vs. Reference"-plott for ammonium, tørrvær.....	33
Figur 33: "Predicted vs. Reference"-plott for ammonium, våtvær.....	33
Figur 34: "Predicted vs. Reference"-plott for nitrat, alle målinger.....	34
Figur 35: "Predicted vs. Reference"-plott for nitrat, tørrvær.....	34
Figur 36: "Predicted vs. Reference"-plott for nitrat, våtvær.....	34
Figur 37: "Predicted vs. Reference"-plott for ortofosfat, alle målinger.....	35
Figur 38: "Predicted vs. Reference"-plott for ortofosfat, tørrvær.....	35
Figur 39: "Predicted vs. Reference"-plott for ortofosfat, våtvær.....	35
Figur 40: "Predicted vs. Reference"-plott for total fosfor, alle målinger.....	36
Figur 41: "Predicted vs. Reference"-plott for total fosfor, tørrvær.....	36
Figur 42: "Predicted vs. Reference"-plott for total fosfor, våtvær.....	36
Figur 43: "Predicted vs. Reference"-plott for suspendert stoff, alle målinger.....	37
Figur 44: "Predicted vs. Reference"-plott for suspendert stoff, tørrvær.....	37
Figur 45: "Predicted vs. Reference"-plott for suspendert stoff, våtvær.....	37
Figur 46: "Predicted vs. Reference"-plott for kjemisk oksygenforbruk, alle målinger.....	38
Figur 47: "Predicted vs. Reference"-plott for kjemisk oksygenforbruk, tørrvær.....	38
Figur 48: "Predicted vs. Reference"-plott for kjemisk oksygenforbruk, våtvær.....	38

Tabelliste

<i>Tabell 1: Unøyaktigheter i målingene.....</i>	<i>21</i>
--	-----------

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

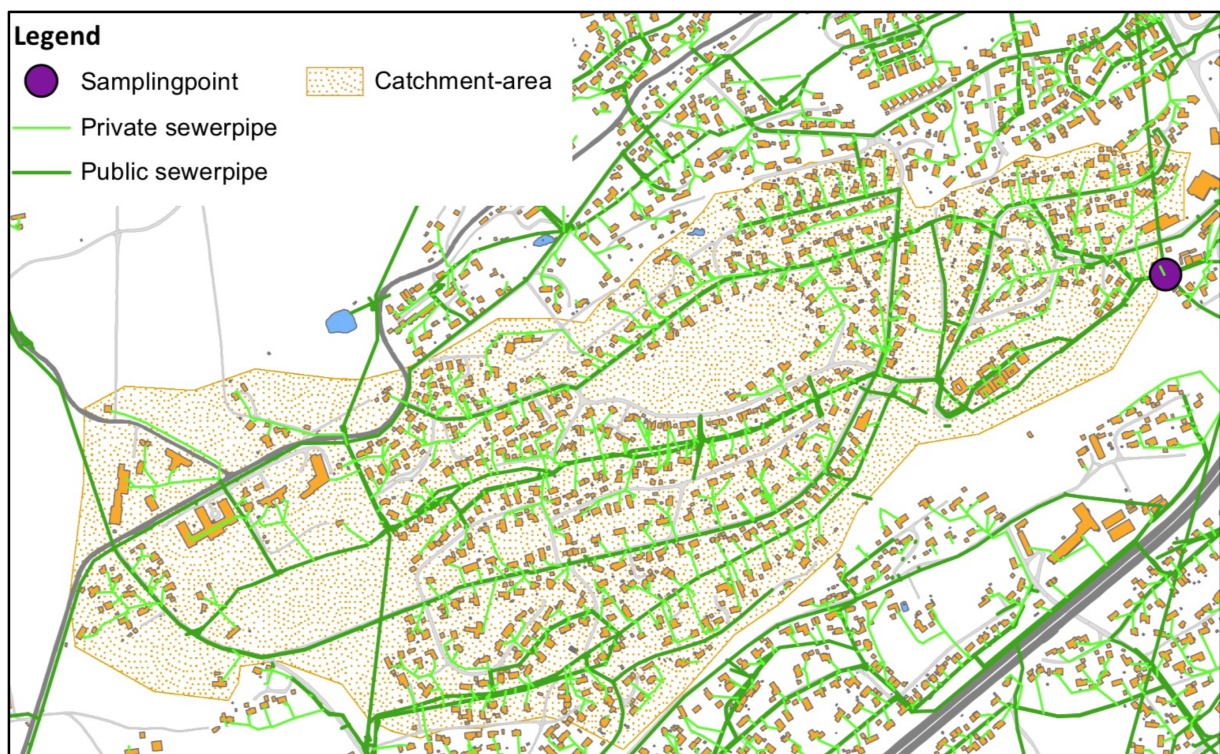
Håndtering av avløp vil alltid være en sentral del av et samfunn når det gjelder infrastruktur og med tanke på hygieniske forhold. I Norge er det 2700 kommunale eller interkommunale renseanlegg, som renser avløpet fra i overkant av 80 % av befolkningen (Eid 2016). Tilbake til 1850-årene startet utbyggingen av avløpsledningene som ligner dagens avløpsledninger, og i dag er den totale distansen på avløpsnett på hele 36 500 km (Eid 2016; Ødegaard 2014). Nettet fylles med avløpsvann fra blant annet husholdninger, næring og industri, og innholdet vil variere i henhold til hva slags type avløpsvann som strømmer inn i ledningsnett. Grunnet dårlig forfatning på en rekke avløpsledninger i Norge, trenger store mengder vann fra omgivelsene rundt inn i avløpsrørene. Dette vannet karakteriseres som fremmedvann, og i følge Lindholm og Bjerkholdt (2011) består avløpsvannet for over halvparten av renseanleggene av over 50 % fremmedvann. Konsekvensen av dette er blant annet kapasitetsproblemer i ledningsnett og forurensningsutslipp, samtidig som det fører til unødvendig store investerings- og driftskostnader.

Dagens analyse av avløpsvann gjøres som regel i innløpet eller utløpet til et renseanlegg, av det totale samlede avløpsvannet i et område. Analyse av avløpsvann i lokale områder av et avløpsnett er derimot en sjelden prosedyre. Av den grunn er det lite kunnskap om avløpsvannets sammensetning i perioden før avløpet er blitt ført til et renseanlegg. Bakgrunnen for denne oppgaven er derfor et ønske om å karakterisere avløpsvannet i lokale områder ute i ledningsnett. Karakteriseringen omhandler registrering av avløpets innhold, og mengden avløpsvann i det aktuelle strekket. Ved å se på avløpsvannets karakteristikk kan f.eks. eventuelle forurensningskilder enklere spores opp, renseanlegg kan få informasjon om forventet mengde avløp og konsentrasjon i en tidlig fase, og informasjonen kan gi et grunnlag for sammenligning av avløpsvanninnholdet i forskjellige deler av et område. Hovedhensikten med denne formen for avløpsanalyse er derimot å registrere inntrenging av fremmedvann i avløpsnett. En kontroll over avløpskvaliteten i ledningsnett vil kunne gi informasjon om hvilke områder i avløpsnett som har størst inntrenging av fremmedvann, og dermed basere utbedringen av ledningsnett på konkrete resultater fremfor antagelser om hvilke områder som bør prioriteres. Dette vil igjen føre til en økonomisk effektivisering av tiltak som gjøres i avløpsnett. Ved å ha metoder som kan kvantifisere fremmedvannmengder både før og etter

tiltak på ledningsstrekket, vil det i tillegg kunne gi svar på i hvor stor grad ulike tiltak i ledningsnettets har virket.

1.2 Område

Utgangspunktet for analyseringen av avløpsvannet i ledningsnettets fant sted i Asker kommune. Asker er en del av Akershus fylke, og har i overkant av 60 000 innbyggere (SSB 2017). Forskjellige sensorer og en mengdemåler ble satt ut i et avløpsrør i et lokalt område som heter Vakås, der det samles avløpsvann fra ca. 1900 innbyggere (Sola 2018).



Figur 1: Oversikt over prøvetakingspunkt på Vakås med avgrenset nedbørsfelt (Sola 2018).

1.3 Formål

Denne oppgaven er et delmål på vei mot etablering av en metode som kan kvantifisere fremmedvann i avløpsnett. Delmålet omhandler å utvikle soft sensorer til estimering av konsentrasjonen til ulike parametere i avløpsvannet. En rekke parametere i avløpsvannet er enten for dyre eller tar for lang tid å måle. En kontinuerlig overvåking av disse parameterne er dermed uaktuelt, til tross for at de kan gi viktig informasjon om tilstander rundt og i avløpet. Ved bruk av statistisk analyse for utvikling av soft sensorer vil det forhåpentligvis være mulig å bruke parametere som er enkle og billige å måle, til å predikere parameterne som er dyre eller tidkrevende og måle. Parameterne som skal predikeres gjennom den statistiske analysen kalles responsvariabler, og er i denne oppgaven: Ammonium (NH_4), nitrat (NO_3), ortofosfat (PO_4), total fosfor (TP), suspendert stoff (SS) og kjemisk oksygenforbruk (KOF). De andre parameterne som er hurtige, lette og billige å måle, blir i den statistiske analysen brukt som prediksjonsvariabler. I denne oppgaven er dette: pH, konduktivitet, turbiditet og vannmengde. Hovedformålet med denne oppgaven er derfor å utvikle soft sensorer til beregning av konsentrasjonen til responsvariablene, ved hjelp av prediksjonsvariablene.

Et annet formål med oppgaven er å basere utviklingen av soft sensorene på ulike forhold, med en forhåpning om at kategoriserte soft sensorer vil kunne gi bedre prediksjoner enn ikke-kategoriserte soft sensorer. De forskjellige kategoriene som målingene i denne oppgaven er delt inn i er: Tørrvær, våtvær, hverdag og helg.

2. Teori

Dette kapittelet tar for seg teorien bak de ulike parameterne i oppgaven, litt generelt om målinger i rør og målinger i avløpet, teorien bak oppgavens statistiske analyse, samt litt om begrepet error analyse. I tillegg forklares uttrykket soft sensor, og tilslutt nevnes litt om tidligere studiers resultater ved bruk av soft sensorer i vannforekomster.

2.1 Parameterdata

Gjennom arbeidet med masteroppgaven har det blitt registrert og målt en rekke forskjellige parametere, som presenteres i følgende delkapittel.

2.1.1 Vannmengde

I forbindelse med registrering av fremmedvannmengder i avløpsnett er måling av volumstrømning helt essensielt. Lekkasjer i rør eller inntrenging av fremmedvann vil forandre vannmengden i et ledningsnett, og vannmengden kan derfor gi en indikasjon på ledningsnettets tilstand. Måleapparatet som benyttes i ledningsnett på Vakås måler farten og høyden til avløpsvannet, og uttrykker volumstrømmen gjennom kontinuitetslikningen:

$$Q = A * V$$

der Q er volumstrøm, A er areal, og V er fart.

2.1.2 Turbiditet

Turbiditet måles i enheten NTU (Nephelometric Turbidity Units) eller FNU (Formazin Nephelometric Units), og gir en indikasjon på partikkelinnholdet i en vannprøve.

Turbiditetsmålingene skjer optisk, gjennom en registrering av hvor mye lys som blir spres eller absorberes fra en opprinnelig lysstråle. Spredningen og absorpsjonen av lyset skyldes konsentrasjonen av partikler, samt partiklenes størrelse og form. Kolloidalt og suspendert materiale som silt, leire, organisk og uorganisk materiale og mikroorganismer er vanlige komponenter som gir turbiditet i vannet (Rice et al. 2012).

2.1.3 Konduktivitet

Konduktivitet, også kalt spesifikk ledningsevne, er et mål på et stoff sin evne til å lede elektrisk strøm. Dette avhenger bl.a. av prøvens konsentrasjonen av og mobiliteten til ioner,

samt prøvens temperatur ved måling (Rice et al. 2012). Konduktivitet har enhet $\mu\text{S}/\text{cm}$, og kan blant annet brukes til å gi informasjon om: forurensningsmengder, sjøvannsinntrenging, eller hvorvidt en vannkilde kan brukes til irrigasjon eller ikke (Sneip 2017).

2.1.4 pH

pH defineres som $-\log[\text{H}^+]$ og måles for å finne surhetsgraden til en væske. Høy konsentrasjon av H^+ -ioner gir lav pH og en sur løsning, mens lav konsentrasjon av H^+ -ioner gir høy pH og en basisk løsning (Rice et al. 2012). pH er en hyppig målt parameter i analyse av vann og avløp. Dette skyldes at mange prosesser innen vann og avløp er avhengig av riktig pH-verdi for å fungere optimalt. Måling av pH er helt avhengig av hvilke vilkår og forhold målingen gjøres under, og verdien kan påvirkes av temperatur, trykk og væskestrøm (Fladberg 2013).

2.1.5 Kjemisk oksygenforbruk (KOF)

I avløpsvann skjer det en kjemisk nedbryting av organisk materiale. Nedbrytningen måles gjennom en KOF-analyse, og gir en indikasjon mengden organisk materiale i avløpet (Dihva 2012). En KOF-analyse regner ut konsentrasjonen av oksygen i forhold til forbruket av et oksidasjonsmiddel. For avløpsvann benyttes oftest oksidasjonsmiddelet kaliumdikromat (Ødegaard 2014). I et kommunalt avløp er den beregnede konsentrasjonen av KOF på mellom 400 og 240 mg/L for tørrvær, mens for våtvær (mye nedbør) er den beregnede konsentrasjonen på mellom 120 og 300 mg/L (Ødegaard 2014). Dette avhenger av kvaliteten på ledningsnett.

2.1.6 Suspendert stoff

Suspendert stoff (SS) er i likhet med turbiditet et mål for partikkelinnholdet i avløpsvann. Gjennom filtrering av avløpsvann gjennom et filterpapir, blir partiklene som er større enn filterpapirets lysåpning fanget opp. Etter påfølgende ovnstørking veies tørrstoffmengden på filteret, som representerer mengden suspendert stoff. SS er en grunnleggende kvalitetsparameter for kontrollering av avløpsrensaneanlegg, både når det gjelder dimensjonering av et anlegg, og under den daglige driften (Ødegaard 2014). Konsentrasjonen av suspendert stoff i kommunalt avløp er i følge Ødegaard (2014) på 140-233 mg/L for tørrvær, og 70-175 mg/L for våtvær.

2.1.7 Nitrogenforbindelser

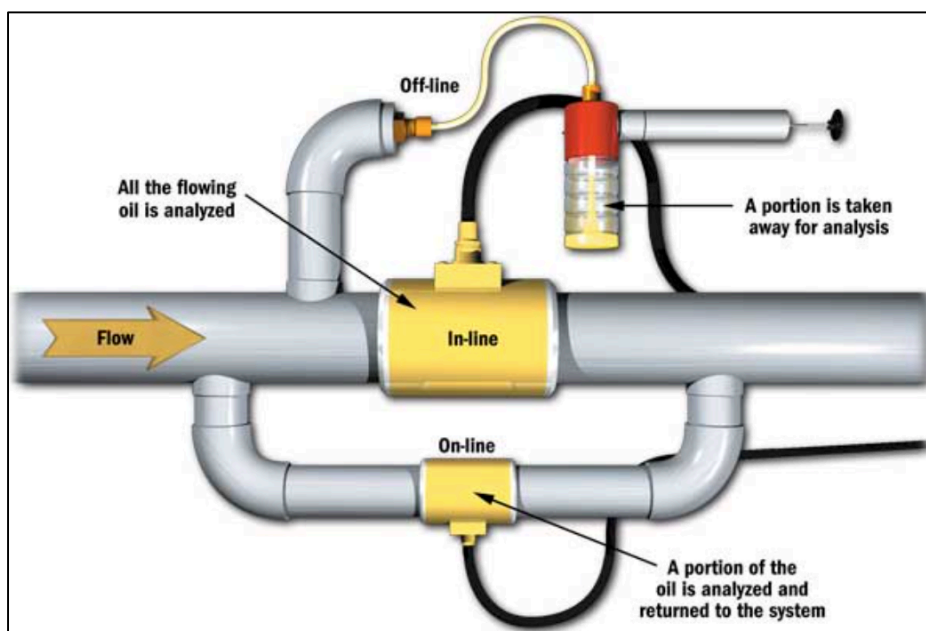
I avløpsvann opptrer nitrogen som enten organisk bundet eller uorganisk. Organisk bundet nitrogen kan være i formen urea som finnes i menneskets urin, mens uorganisk nitrogen kan befinne seg i formene ammonium (NH_4^+), nitritt (NO_2^-) eller nitrat (NO_3^-). Før avløpet blir behandlet er det i utgangspunktet lave konsentrasjoner av nitritt og nitrat, og størsteparten av nitrogenet befinner seg i formen ammonium eller som organisk bundet (Storhaug 2011). Skjer det derimot en nedbryting av ammonium i avløpsnett, vil ammoniumet omgjøres til nitrat gjennom en nitrifikasjonsprosess. I følge Bioscience (2016) inneholder et husholdningsavløp mellom 20 – 40 mg/L ammonium.

2.1.8 Fosforforbindelser

Fosfor er et grunnstoff som er en veldig vanlig parameter å finne i forskjellige vannforekomster. I avløpsvann opptrer fosfor som både organisk bundet og uorganisk, der uorganisk fosfor igjen deles inn i ortofosfat og polyfosfat. Ortofosfat (PO_4) befinner seg i oppløst form, og kan tas opp direkte av planter. Ved måling av fosfor gir organisk bundet og uorganisk fosfor tilsammen det som kalles total fosfor (TP). TP konsentrasjonen i avløpsnett i Norge avhenger av både vær og kvalitet på ledningsnett. For tørrvær ligger konsentrasjonen på mellom 3,6 - 6,0 mg/L, mens for mye nedbør ligger konsentrasjonen på 1,8 - 4,5 mg/L (Ødegaard 2014).

2.2 Målinger

I vann- og avløpsbransjen er målinger en sentral del av både kontrollering, informasjonssamling og drift av forskjellige prosesser. Målinger utføres både automatisk og manuelt, og kan karakteriseres som enten in-line, on-line eller off-line. In-line måling betyr at måleapparatet/sensoren er plassert midt i prosessens strømming, ved at målingen gjøres direkte i totalvolumet i det aktuelle målepunktet. Ved on-line måling utføres målingene til side for selve målepunktet, der det analyseres et utvalg av målepunktets totalvolum. Off-line målinger tar i likhet med online målinger utgangspunkt i et utvalg fra totalvolumet i målepunktet, men selve analysen skjer et annet sted. In-line og on-line målinger gir mulighet for en automatisk og kontinuerlig prosesskontroll, i motsetning til off-line målinger, som gjøres manuelt. Målinger kan også betraktes som ”online”. Online målinger vil si målinger som er koblet opp mot en ekstern enhet som sender de registrerte resultatene via nettet.



Figur 2: Illustrasjon av in-line, on-line og off-line målinger. (Gebrain u.å.)

2.3 Målinger i avløpsnett

For målinger i avløpsnett vil avløpsvannets strømning og konsentrasjon være i stadig forandring, både time for time og dag for dag. Likevel kan det registreres et dagsmønster i forhold til mengden avløp som strømmer igjennom avløpsnett. I renseanlegg kan det forventes en tydelig økt vannmengde fra avløpsnett i periodene 08-10 og 17-18, mens i ledningsnett vil selvfølgelig økningen skje i en noe tidligere tidsperiode (Ødegaard 2014). Når det gjelder bruk av måleapparat og sensorer i in-line målinger i avløpsvann, kan det være en utfordring på grunn av fare for at komponenter i avløpsvannet fester seg til måleutstyret. Slike tilfeller vil høyst sannsynlig påvirke resultatene, slik at kontrollering og eventuell rengjøring av måleutstyr vil være essensielt for å oppnå presise resultater.

Målingene i avløpet vil også være avhengig av forskjellige kategorier som tørrvær, våtvær, hverdag og helgedag. Under våtvær forventes det en større mengde inntrenging av fremmedvann i avløpsnett, som fører til en fortynnet partikkelkonsentrasjon i avløpet og høyere vannføring i avløpsnett enn ved tørrvær. Dermed er det naturlig å forvente lavere verdier i resultatene for parametere som relateres til partikkelinnhold under våtvær kontra tørrvær. For kategoriene hverdag og helgedag er det også forventet en viss forskjellen i avløpskarakteristikken. I hverdager er det en stor avløpsstrøm tidlig på morgningen (7-8

tiden) grunnet jobb- og skolestart, i motsetning til helgedager der strømmingstoppen med økt partikkelkonsentrasjon kommer noe senere ut på morgningen (9-10 tiden).

2.4 Multivariat analyse

Under forsøk og undersøkelser kan det samles store mengder data. Denne dataen vil inneholde mye informasjon som kan være utfordrende å organisere. Organiseringen kan gjøres gjennom statistiske analysemetoder, og i og med at datasettene består av informasjon i form av mange forskjellige variabler, går disse statistiske analysemetodene under begrepet ”multivariat analyse” (Johnson & Wichern 2007). Multivariat analyse kan også uttrykkes som metoder som brukes til å studere flere egenskaper ved et objekt (DSD 2009). Ved bruk av ulike statistiske metoder vil det være mulig å organisere og hente ut informasjon fra et slikt datasett, med et mål om å bruke forklaringsvariabler til og forklare en responsvariabel. De multivariate analysemetodene som blir benyttet i denne oppgaven er Prinsipal Component Analysis og Partial Least Squares Regression.

Andre statistiske begrep som brukes i denne oppgaven er korrelasjon, root-mean-square error (RMSE), varians og kovarians. Korrelasjon blir av Frøslie (2018) definerer som: ”Et statistisk mål på hvor mye to målbare størrelser henger sammen med hverandre”. Dette statistiske målet blir i mange statistiske analysemetoder uttrykt som R^2 , og har en verdi mellom 0 og 1. I denne oppgavens regresjon beskriver verdien hvor stor andel av responsverdien de forklarende variablene og regresjonslikningen klarer å forklare. Høy R^2 -verdi betyr god prediksjon av responsvariabelen. Root-mean-square error uttrykker en forskjell mellom observerte verdier, og verdier som er predikert av en modell. Disse forskjellene, hver for seg, kalles residualer, mens RMSE er en samlet gjennomsnittlig forskjell mellom observasjonene og modellens prediksjon. Varians er et mål på spredning i forhold til et gjennomsnitt av ett sett med observasjoner, mens kovarians er et mål på sammenhengen eller samvariasjonen mellom to variabler.

Matematisk kan varians, kovarians, korrelasjon og RMSE uttrykkes gjennom disse formlene:

$$Var(X) = E(X^2) - E(X)^2$$

$$Cov(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$$

$$Corr(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X) * Var(Y)}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2}$$

For varians, kovarians og korrelasjon representerer "X" og "Y" tilfeldige variabler, og "E(X)" og "E(Y)" er forventningsverdier (Hildebrand u.å.; Kurt 2015). I formelen for RMSE er "n" et uttrykk for antall prøver, og "e_i" er residualene (Chai & Draxler 2014).

2.4.1 Prinsipal Component Analysis (PCA)

For et datasett med mange variabler vil den totale oversikten inneholde store mengder informasjon som kan være vanskelig å tolke. PCA er en bilinear modelleringsmetode som gir et tolkbart bilde av den mest sentrale informasjonen til et datasett (CAMO 2014).

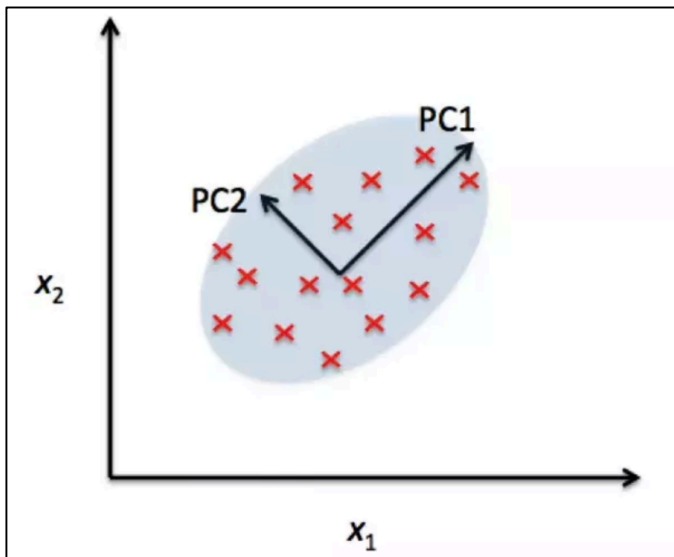
Analyseverktøyet benyttes for å finne kolinearitett i datasettet, som med andre ord kan beskrives som den lineare sammenhengen mellom uavhengige variabler (Liu et al. 2002; Wang et al. 2017). Samtidig klarer modelleringsmetoden å se bort i fra støy i datasettet, som i statistisk sammenheng er et uttrykk for tilfeldige uregelmessigheter som ikke følger noe mønster (CAMO 2014; Stephanie 2018). Ved prinsipalkomponentanalyse overføres informasjon fra de opprinnelige variablene til et mindre antall latente variabler som kalles prinsipalkomponenter (PC-er) (CAMO 2014). Prinsipalkomponentene er lineærkombinasjoner, og plotting av disse vil kunne gi informasjon om mønstre som likheter og forskjeller innad i datasettet.

PCA benytter matriser for forklare variasjonen i et datasett. En matrisemodell kan uttrykkes ved likningen:

$$X = TP^T + E$$

der T er "scores"-matrisen, P er "loadings"-matrisen og E er "error"-matrisen. Den første delen av modellen (TP^T), er den strukturelle delen, mens den andre delen "E" er error-verdien (CAMO 2014). Error-verdien forklarer hvor mye av variasjon som er uforståelig/vanskelig å modellere.

Ved utføring av prinsipalkomponentanalyse, er utfallet et antall prinsipalkomponenter som forklarer variasjonen i datasettet. Den første prinsipalkomponenten "PC-1" har den største forklaringsprosenten av modellen, og dekker dermed den største variasjonen i datasettet. PC-2 har den nest største forklaringsprosenten av modellen, og står alltid normalt på PC-1 (som vist i figur 3) (CAMO 2014). Hver prinsipalkomponent uttrykker en dimensjon, så geometrisk sett er det umulig å forestille seg et resultat med flere enn tre dimensjoner. En av utfordringene ved PCA er å velge hvor mange prinsipalkomponenter som er tilstrekkelig for å forklare variasjonen i datasettet.



Figur 3: Illustrasjon av prinsipalkomponentplasseringer (Raschka 2015).

2.4.2 Partial Least Squares Regression (PLSR)

PLSR er en statistisk metode som utvikler lineære regresjonsmodeller i formen $Y=f(X)$, som beskriver et forhold mellom et sett med uavhengige variabler (X) og et sett med avhengige variabler (Y). Formålet med metoden er å predikere Y ved bruk av X. PLSR kan betegnes som en kombinasjon mellom PCA og multiple linear regression (MLR) (Abdi 2003). PCA fanger opp den største variansen i et datasett X, mens MLR finner den største korrelasjonen mellom de lineære kombinasjonene til X og Y (Wise u.å.). PLSR kombinerer disse to metodene ved å maksimere kovariansen mellom de lineære kombinasjonene til X og Y (Wise u.å.).

2.4.3 Kryssvalidering

Kryssvalidering er en metode som brukes for evaluering modeller, og defineres av Hyndsgaard (2010) som: *”en måte å måle den prediktive ytelsen til en statistisk modell på.”*. Når en modell skal estimeres, baseres estimering på et kalibreringssett med et visst antall prøver. Ved kryssvalidering tilsidesettes en liten andel av prøvene i kalibreringssettet. Når modellen er kalibrert testes den mot de tilsidesatte prøvene, og residualene beregnes (CAMO 2014). Residualene representerer avviket mellom modellens predikerte verdier og verdiene til de tilsidesatte prøvene (Milhøj 2017). Denne prosessen gjentas helt til alle prøvene i kalibreringssettet er blitt satt til sides en gang, og på den måten blir alle prøvene brukt til både estimering og testing av modellen (CAMO 2014). På bakgrunn av beregningen av alle residualene kan modellens evne til å predikere nye verdier uttrykkes gjennom RMSE og korrelasjonsverdien R^2 .

2.4.4 Outlier detection

I et datasett med en stor mengde verdier vil det ofte være noen verdier som skiller seg ut fra de andre. Verdiene kan ligge langt utenfor forventet verdi, og følger ikke det som kan se ut som et mønster i datasettet. Disse observasjonene kalles ”outliers” (på norsk ”utliggere”), og vil være med på å påvirke en modell i en statistisk analyse. Outlier detection går ut på å finne disse verdiene, og tolke dem. I mange tilfeller skyldes utliggere feil i utstyr eller måleprosess, der verdiene teknisk eller fysisk sett ikke gir mening, og verdiene fjernes fra modellen. I andre tilfeller kan utliggere inneholde viktig informasjon fra enkelthendelser, som kan være med på å gi en bedre forståelse av en situasjon.

En måte å finne utliggere på, er visuelt. For oversiktlige og enkelte datasett vil dette være mulig, men for multivariate datasett er det utfordrende pga. den store mengden informasjonen slike datasett inneholder. Statistiske programvarer har derfor egne verktøy for outlier detection, som kan fjerne eventuelle utliggere automatisk. I PCA-analyse oppdages utliggere ved å plote F-residuals mot Hotelling's T^2 . F-residuals uttrykker avstanden en prøve har til modellen, mens Hotelling's T^2 viser i hvilken grad modellen klarer å beskrive prøven (CAMO 2014).

2.5 Error analyse

For alle målinger som gjøres, vil det alltid medføre noe usikkerhet. Måleapparat og målemetoder er aldri helt nøyaktige, så derfor er det viktig å undersøke hvor store usikkerhetene er, og om nødvendig/mulig redusere disse. Dette er grunnlaget bak error analyse, som Taylor (1997) definerer som *"studering og evaluering av usikkerhet i målinger"*. Ordet "error" kan i mange sammenhenger relateres til ordet feil eller bommert, men i vitenskapelig sammenheng er "error" knyttet til en usikkerhet i målinger som ikke er til å komme foruten (Taylor 1997).

Et måleapparat kan for eksempel ha en nøyaktighet på ± 1 . Det fører til at den endelige resultatverdien "X" kan uttrykkes slik:

$$X = x \pm 1 \quad (1)$$

der x uttrykker et resultat fra målingen, mens $x \pm 1$ er området resultatet ligger, medregnet unøyaktigheter i selve målingen.

2.6 Soft sensorer

Doraiswami og Cheded (2014) beskriver en soft sensor slik: *"En soft sensor kan i stor grad defineres som en programvarebasert sensor, og brukes i industrielle applikasjoner for å erstatte maskinvaresensorer, som er kostbare, vanskelige å vedlikeholde og til og med umulig å få tilgang til fysisk."* Grunnlaget for soft sensorer baseres på en mengde tilgjengelig data, som gjerne tilegnes gjennom overvåking og prosesskontroll i et system. Informasjonen blir strukturert gjennom statistiske verktøy, og matematiske likninger blir utviklet. Programvaren som baseres på en statistisk modell som bruker matematiske likninger til prediksjon, kalles en

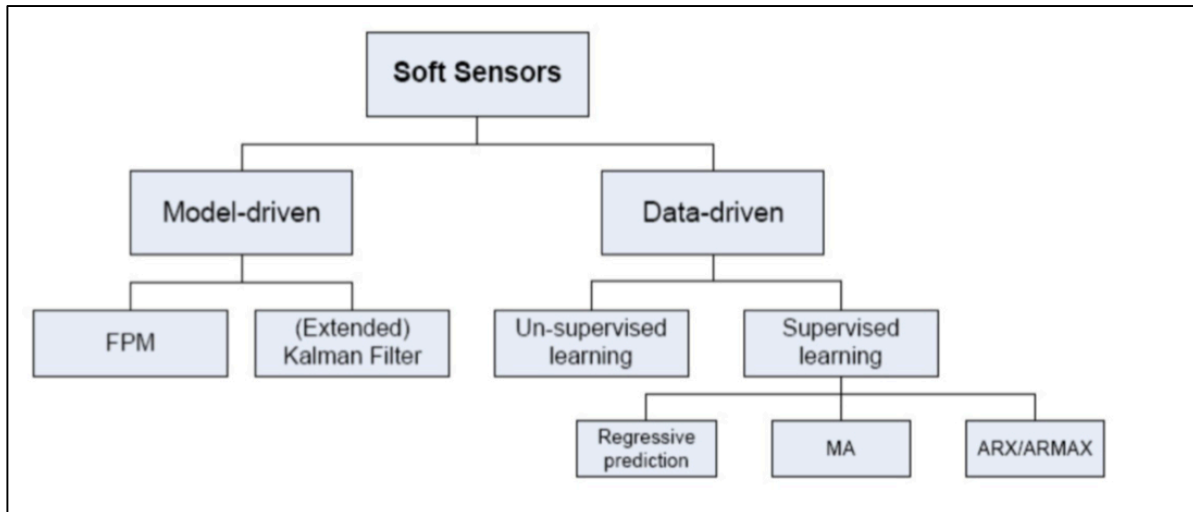
soft sensor. Begrepet ”soft sensor” kommer fra ordene ”software” og ”sensor”. Modellene består av en programvare, derav ordet ”software”, mens ordet ”sensor” skyldes likheten mellom resultatene fra modellene og maskinvarekomponentene (Kadlec et al. 2009). Soft sensorer er blitt mer og mer vanlig som en del av industrielle prosesser. Helsevesenet, luftfart, kontrollsystemer og gruvedrift er bare noen eksempler på steder der soft sensorer blir benyttet i dag (Doraiswami & Cheded 2014). Sensorene kan effektivisere ulike prosesser, og dermed også utnytte energibruken på en mer effektiv måte. Det oppnås en forbedring av industrielle prosesser, samtidig som tilleggs kostnadene er lave.

Innenfor soft sensorer er det to retninger: Modellbaserte og datadrevne sensorer.

Modellbaserte soft sensorer er basert på enten prinsippmodeller eller Kalman-filter.

Prinsippmodeller har likninger som forklarer prosessers fysiske og kjemiske bakgrunner, og bruker disse til å beregne aktuelle verdier. Ulempen med denne modellen er at de alltid baseres på at prosesser forgår under optimale forhold, og tar ikke eventuelle forstyrrelser i betraktning (Kadlec & Gabrys 2009). Kalman-filter metoden tar utgangspunkt i verdier fra instrumentelle målinger og utregnede verdier fra en modell, og beregner nye verdier med grunnlag på et kompromiss mellom de ulike målingene (Doraiswami & Cheded 2014).

Datadrevne modeller har sitt grunnlag i data som registreres i prosessene. Eksempler på slike modeller er: Artificial Neural Networks, Principal Component Regression og Neuro-Fuzzy Systems. Ved bruk av slike statistiske metoder for utvikling av soft sensorer kreves ingen teoretisk ekspertise. For å oppnå best mulig resultat vil det derimot være hensiktsmessig med kjennskap til prosesser innenfor datadrevne modeller i det praktiske arbeidet, som f.eks. utvelging av data og søking etter utliggere. Datadrevne modeller deles opp i ”un-supervised learning” og ”supervised learning”, på norsk ”ikke-veiledet læring” og ”veiledet læring”. Veiledet læring er den mest benyttede metoden, og blir brukt som grunnlaget for online sensorer som brukes til prediksjon. Ikke-veiledet læring brukes på den andre siden mer for prosessovervåking av soft sensorer. (Kadlec & Gabrys 2009)



Figur 4: Soft sensorers ulike grener (Kadlec & Gabrys 2009)

Soft sensorene som i denne oppgaven utvikles gjennom det statistiske metoden Principal Least Squares (PLS), baseres på datadrevne modeller og veiledet læring. Veiledet læring vil si at det utvikles en modell på bakgrunn av allerede kjente resultater. Grunnen til at det kalles veiledet læring er fordi svaret algoritmen skal predikere er kjent, men algoritmen trenger korrigeringer i hensyn til hvilken konklusjon den skal gi (Castle 2017). Som regel utvikles modellen fra et treningssett som representerer ca. 80-90 % av et datasett, mens de resterende prosentene utgir et testsett som modellen testes mot (Mathworks u.å).

2.6.1 Soft sensorer i vannforekomster

Et av bruksområdene til soft sensorer er for kvantifisering av parameterer i ulike vannforekomster, ofte med et formål om å kontrollere eller kartlegge vannkvaliteten i et område. I et studie av Lee et al. (2013) ble det utviklet soft sensorer for estimering av TP og total nitrogen (TN). Undersøkelsene fant sted i Daejeon-området i Sør-Korea, og ble gjort i en elv, en bekk, et fellessystem (både avløp og overvann) og i utløpet fra et avløpsanlegg. Multiple regression ble brukt for utviklingen av soft sensorene, og til akseptable estimeringer for utløpsvannet fra renseanlegget og vannet fra fellessystemet. I en annen undersøkelse (Ryberg 2006), ble det utført målinger for vannmengde, turbiditet og oppløst oksygen i en elv i Fargo North Dakota. Undersøkelsen viste til gode resultater for TSS og TP, med R^2 -verdier på henholdsvis 0,771 og 0,873, der turbiditet var en avgjørende faktor for den gode prediksjonen. I 2014 ble det publisert en ny artikkel, der arbeid fra Ryberg (2006) hadde blitt jobbet videre med. Dette ga et mye større sett med innsamlet data, og en bedre prediksjon av

de ulike parameterne. Sammenlignet med resultater fra den tidligere undersøkelsen, var R^2 verdiene for TSS og TP nå på henholdsvis 0,95 og 0,87 (Galloway 2014).

Som tidligere nevnt finnes det en rekke forskjellige statistiske metoder som kan brukes for å lage soft sensorer. I et studie av Abyaneh (2014) ble det benyttet både en Multiple Linear Regression (MLR) modell og en Artificial Neural Network (ANN) modell for prediksjon av BOD og COD i et avløpsrensaneanlegg. MLR er i likhet med PLSR basert på linear regresjon, mens ANN bruker nevraller til å danne et nettverk av informasjon (Dvergsdal 2017). Begge modellene viste til gode resultater i innløpet til avløpsanlegget, men ANN ga noe bedre prediksjonsverdier enn MLR. Prediksjonsvariablene i studiet var pH, temperatur og TSS, der pH var den parameteren som korrelerte mest med BOD og KOF. R^2 -verdiene for BOD og KOF var 0,83 og 0,81. (Abyaneh 2014)

3. Metode

I denne oppgaven har fremgangsmetoden bestått i følgende prosesser:

- Online vannkvalitetsmålinger ved hjelp av sensorer i avløpsnettets i Asker kommune
- Innsamling av avløpsprøver ved bruk av automatisk prøvetaker
- Laboratorieanalyse av avløpsprøvene
- Statistisk analyse i The Unscrambler® X av målte parametere

3.1 Online vannkvalitetsmåling

For å få en kontinuerlig oversikt over vannkvaliteten i et målepunkt på Vakås, ble det satt ut online sensorer for måling av pH, konduktivitet og turbiditet. Sensorene er plassert i selve avløpsstrømmen, og utfører dermed målingene in-line. Alle sensorene er utviklet av en fransk produsent for analyse og kontrollutstyr for vann, ved navn Ponsel. For måling av pH ble det benyttet en PHEHT-sensor, konduktivitet ble målt av en C4E-sensor, og for turbiditet ble det benyttet en nefelometrisk turbiditetsmåler. Produktene er designet for målinger som krever hurtig responstid, noe som er avgjørende for kontinuerlige målinger (Ponsel 2013a; Ponsel 2013b; Ponsel 2013c).



Figur 5: pH-meter (Ponsel 2013c).



Figur 6: Konduktivitetsmåler (Ponsel 2013a).



Figur 7: Turbiditetsmåler (Ponsel 2013b).

Like oppstrøms målepunktet til pH-, konduktivitet-, og turbiditetssensoren, ble det plassert et måleapparat for måling av vannmengde. Dagens metoder for måling av vannføring i ledningsnett er kostbare og fungerer dårlig i avløpsledninger med liten vannføring (Lindblad & Backö 2012). Derfor har Rosim utviklet et måleapparat som måler vannivå og vannføringshastigheten, slik at vannføringen for rør med mindre dimensjoner kan beregnes. Avløpsrøret mengdemåleren er plassert i har en diameter på 250 mm.

3.2 Automatisk prøvetaker

For prøvetaking av avløpsvannet på Vakås ble det benyttet en bærbar prøvetaker ved navn ”Isco 3700C Compact Portable Sampler”. Prøvetakeren har et robuste design som gjør det godt egnet for prøvetaking i utfordrende miljøer som for eksempel avløpsnett (ISCO 2013). Apparatet består av en pumpe, 24 prøveflasker (500 ml) og en programmeringsboks med en rekke forskjellige innstillinger. For prøvetakinger i denne oppgaven ble hver prøveflaske fylt opp med 450 ml avløpsvann hver time i 24 timer.



Figur 8: Prøvetakeren ”Isco 3700C Compact Portable Sampler”. Foto: H. K. Hafnor

3.3 Laboratorieanalyse

Avløpsprøvene fra Vakås ble tatt med til et laboratorium på Fløy 5 på Norges miljø- og biovitenskapelige Universitet. Der ble prøvene analysert gjennom manuelle metoder og ved bruk av analyseverktøyet Systema EasyChem Plus. Analysene som gjennomført ved bruk av Systema EasyChem Plus ble gjort i henhold til instrumentets manual ”EASYCHEM OPERATING MANUAL”.

3.3.1 Manuelle metoder

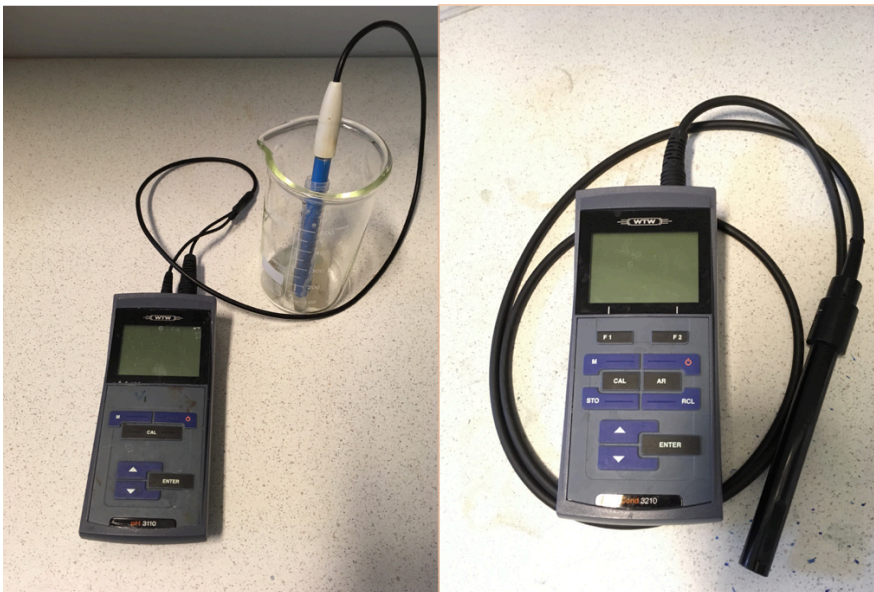
3.3.1.1 Suspendert stoff

For måling av suspendert stoff ble 24 avløpsprøver filtrert gjennom et filterpapir og overført til plastbokser. Avløpsprøvene ble ristet, og fra et totalvolum på 450 mL ble 50 mL filtrert. Filterpapiret som ble brukt hadde en lysåpning var 47 mm. Før filtreringen ble filterpapiret veid og vekten notert. Etter filtreringen ble filterpapirene tørket to timer i en ovn, og deretter veid på nytt for å kunne regne ut totalt suspendert stoff.

$$\text{Totalt suspendert stoff} = \frac{\text{filtervekt etter ovn (g)} - \text{filtervekt før ovn (g)}}{50 \text{ mL}} \times \frac{10^3}{10^{-3}} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.1.2 pH og konduktivitet

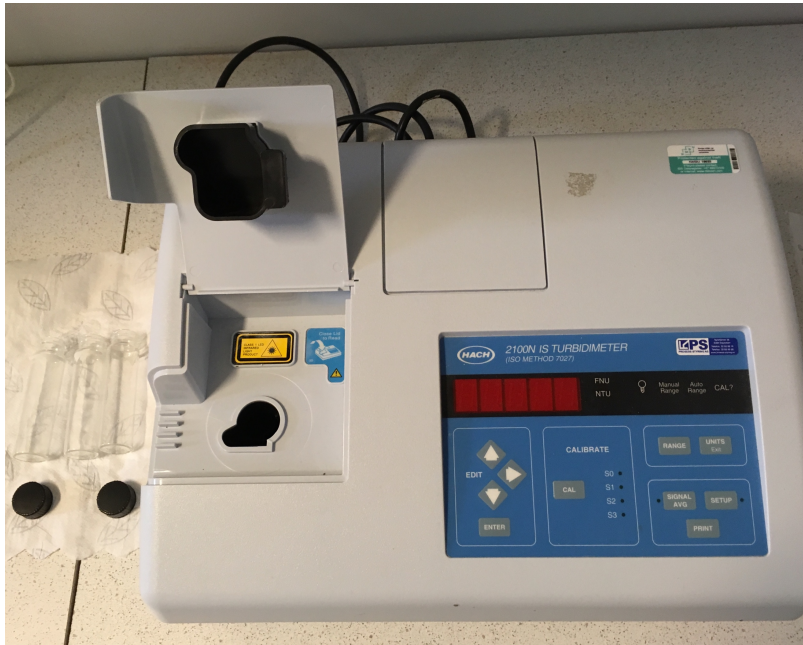
Måling av pH og konduktivitet ble gjort i de 24 prøveflaskene med 450 ml avløpsprøve. For måling av pH ble det brukt et pH-meter ved navn WTW pH 31000, mens for konduktivitet ble måleren WTW Cond 3210 benyttet. Målingene ble utført til samme tid, og apparatene var forhåndskalibrert av en laboratorieansvarlig. Verdiene ble registrert når måleapparatenes verdi stabiliserte seg, og mellom hver prøveflaske på 450 ml ble sensorene tørket forsiktig.



Figur 9: pH meter (venstre) og konduktivitetmåler (høyre). Foto: H. K. Hafnor

3.3.1.3 Turbiditet

Turbiditet ble målt ved bruk av måleapparatet "2100N IS TURBIDIMETER" fra Hach. Avløpsprøve fra prøveflaske ble ristet og overført til glassbeholder. Etter ett minutt i turbiditetsmåleren ble måleapparatets verdi registrert.



Figur 10: 2100N IS TURBIDIMETER. Foto: H. K. Hafnor.

3.3.1.4 Kjemisk oksygenforbruk

Måling av kjemisk oksygenforbruk ble utført ved bruk av HACH LANGE LCK 1014 prøveflasker, med en målingsrekkevidde fra 100-2000 mg/L O₂. KOF-målingen ble gjennomført i henhold til KOF-eskens bruksanvisning. 2,0 mL ufiltrert avløpsprøve ble tilsatt prøveflaske. Flaskene ble så varmet opp ved bruk av HACH LANGE LT200 varmeovn. Etter avkjøling av flaskene ble resultatet avlest fotometrisk ved bruk av spektrofometeret HACH LANGE DR 3900. For måling nr. 7 ble KOF-analysen av prøve nummer 5 til 21 utført med en annen målingsrekkevidde (15-150 mg/L).

3.3.2 SYSTEAEasychem Plus

Ammonium, nitrat, ortofosfat og total fosfor ble målt i et analyseverktøy som heter Systeaeasychem Plus, som blant annet kan utføre en rekke forskjellige analyser på samme vannprøve. Ved avløpsprøveanalyse ble avløpsprøvene overført til kyvetter, og plassert i måleapparatet. På forhånd ble det blandet til reagenser for de aktuelle parameterne, ut i fra

standarder beskrevet i maskinens tilhørende manualer. Parameterens reagenser ble plassert i egne beholdere i analysatoren. I vedlegg A er det en oversikt over reagensene som ble brukt til analysering av de forskjellige parameterne. For hver parameter ble det brukt en egen kalibrert metode, og alle analysene i Systeas EasyChem Plus ble gjort i henhold til anvisning i boka "Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater". Da analysene var i gang mikset maskinen avløpsprøven og reagensen automatisk, og beregnet konsentrasjon i prøven gjennom avlesning av prøvens optiske tetthet. Analysemetodene i Systeas EasyChem Plus er kolometriske, og resultatene ble lagret i tekstfilformat og videre overført til og organisert i Excel.

Metoden som ble benyttet for måling av nitrat i Systeas EasyChem Plus viste i noen tilfeller veldig varierende resultater. Derfor ble det kalibrert en ny metode, som ble benyttet fra M7 til M9. For ammonium ble fenol-typen i Stock A fra M1 til M6 byttet ut, og en ny metode ble brukt fra M7 til M9. I tillegg ble det fra M6 til M9 lagt med en standardløsning med kjent konsentrasjon (mg/L). Dette ble gjort for å validere resultatene fra avløpsprøvene.

3.3.2.1 Nitrogenforbindelser

Ved måling av ammoniumsinnholdet i avløpsprøvene reagerer prøvene først med hypokloritt slik at monokloramin dannes. Monokloramin reagerer med fenol og gir en mengde indofenolblått. Denne mengden er proporsjonal med konsentrasjonen av ammonium. For å tydeliggjøre blåfargen, intensiveres den ved å tilsette "nitroferricyanide". (EasyChem 2010).

Bestemmelse av nitratinnholdet i prøvene skjer gjennom en automatisert prosess, der en alkalisk løsning "hydrazine sulfat" med kobberkatalysator reduserer nitrat til nitritt. Under sure forhold dannes deretter et oppløselig fargestoff ved at prøven blir behandlet med "sulfanilamide". Det oppløselige fargestoffet måles kolorimetrisk. Sluttproduktet består av opprinnelig nitritt-ion mengde i tillegg til det som dannes fra nitraten. I resultatet trekkes nitrittverdiene trekkes fra resultatet for å få nitratverdiene. (EasyChem 2009a)

På grunn av fare for nitrifikasjon i avløpsprøvene var det ønskelig å måle konsentrasjonen av nitrogenforbindelsene i avløpsprøvene så fort som mulig. Det anbefales å måle ammonium og nitrat innen to døgn etter prøvetaking.

3.3.2.2 Fosforforbindelser

For måling av orto-fosfat lages løsningen ”antimony-1, 2-phosphorous”. Løsningen består av en blanding av svovelsyre, ammonium molybdate og antimony potassium tartrate. Dette mikses med avløpsprøven og askorbinsyre, slik at den totale løsningen reduseres til en blå ”heteropoly acid”. Konsentrasjonen av ortofosfat er proporsjonal med absorbansen til den blå løsningen. (EasyChem 2009b)

For totalt fosfor blandes 2,5 ml avløpsprøve med 100 µm svovelsyre og 3 ml 5 % peroxodi...sulfat. Blandingsprøvene varmes opp i 45 min på 120 grader, og overføres til kyvetter. Deretter kjøres prøvene gjennom det samme programmet som ortofosfat. Konsentrasjonen regnes ut ved:

$$\text{Konsentrasjon TP} = \frac{\text{Resultat Syste EasyChem Plus} \times 5,5 \text{ ml}}{2,5 \text{ ml}}$$

3.4 Unøyaktigheter

Ved måling av forskjellige parametere med bruk av forskjellige metoder, vil det alltid følge med en viss usikkerhet i målingen. Tabell 1 viser en oversikt over hvor nøyaktig de forskjellige måleapparatene er.

Tabell 1: Unøyaktigheter i målingene

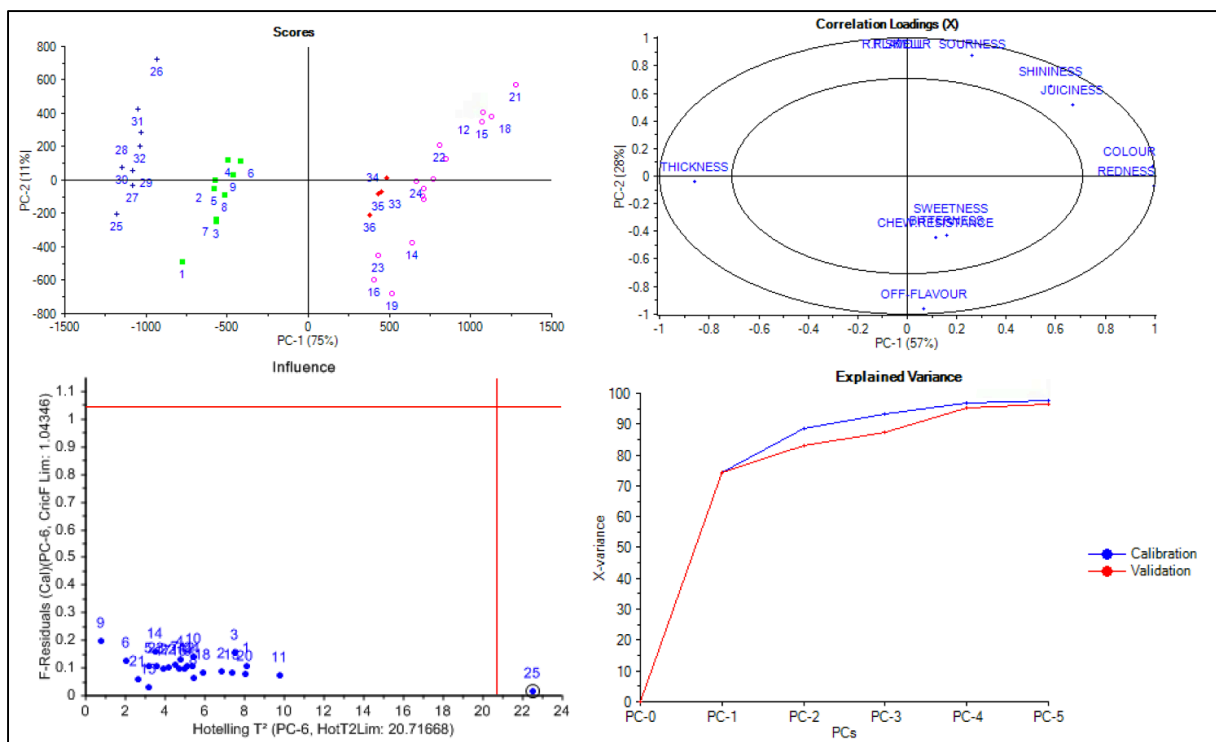
pH-meter	Laboratorium (2,00-20,00 enheter)	±0,01 pH
	Sensor (0-14 enheter)	±0,1 pH
Konduktivitetsmålere	Laboratorium (full skala)	±1 siffer
	Sensor (0-200 mS/cm)	±1 %
Turbiditetsmålere	LAB (0-1000 FNU/NTU)	±2 %
	Sensor (0-4000 NTU)	<5 %
Syste EasyChem Plus	Optisk (0-2.5 O.D)	±1 %
	Fortynnet (5-1000 µl)	±0,5 %

3.5 Programvarer

Resultatene fra online sensorene, Systeas EasyChem Plus og de manuelle metodene ble registrert og organisert i dataprogrammet Microsoft Office Excel.

For analysen og prediksjonen av avløpskomponentene ble den statistiske programvaren The Unscrambler® X benyttet. The Unscrambler® X er et program som inneholder en mengde forskjellige statistiske analyseverktøy, deriblant Principal Component Analysis (PCA) og Partial Least Squares Regression (PLSR) som ble brukt i denne oppgaven. PCA ble brukt til å finne korrelasjon og sammenheng mellom ulike parametere, mens PLSR ble bruk til prediksjon av ønskede responsvariabler.

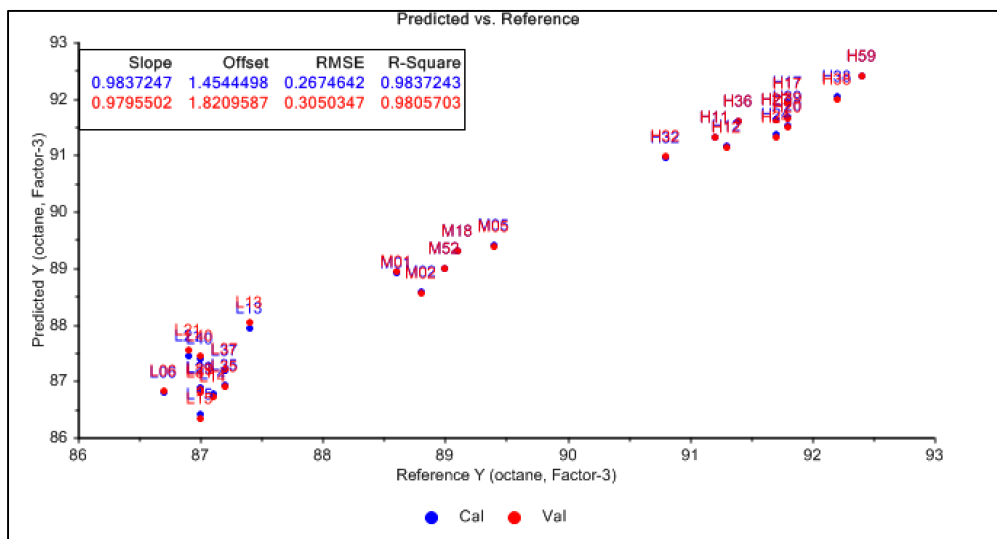
Resultatene fra PCA illustreres gjennom fire plott med navn ”Scores”, ”Correlation Loadings”, ”Influence” og ”Explained Variance”. ”Scores”- og ”Correlation Loadings”- plottene tar utgangspunkt i de to første prinsipalkomponentene, i og med at det er de som representerer den største variasjonen i datasettet.



Figur 11: Plot fra prinsipalkomponent analyse (CAMO 2014).

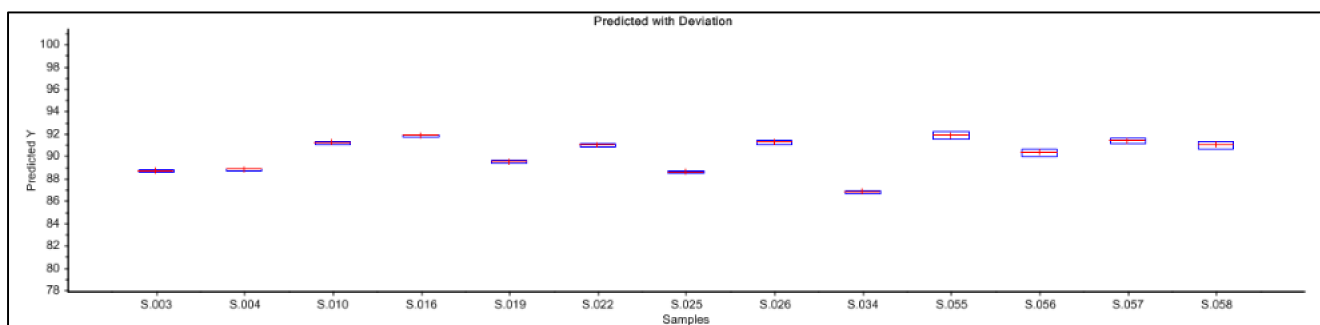
Scores-plottet viser spredningen til punktene i datasettet, og kan eventuelt gi et bilde av datasettet sitt mønster eller en struktur. Correlation Loadings plottet forklarer graden av korrelasjon mellom de forskjellige variablene. Variablene som korrelerer med hverandre ligger enten i nærheten av hverandre (positiv korrelasjon), eller motsatt i forhold til hverandre (negativ korrelasjon). Den ytre ellipsen og den indre ellipsen uttrykker henholdsvis 100 % og 50 % forklart varians. Influence plottet viser F-residuals versus Hotelling's T^2 statistikk, og brukes til å finne utliggere i datasettet. Det fjerde plottet Explained Variance beskriver hvor stor del av variansen i datasettet som prinsipalkomponentene klarer å forklare.

I likhet med PCA-analysen vises resultatene fra PLSR gjennom plott av scores, correlation loadings og explained varians. Det fjerde plottet til PLSR kalles "Predicted vs. Reference", og gir en oversikt over kalibrerte verdier plottet mot predikerte verdier (se figur 12). Plottet presenterer resultatet gjennom et stigningstall, en RMSE-verdi og en R^2 -verdi. Stigningstall og R^2 -verdier nærme 1,0 tilsier at modell har en god prediksjonsevne på nye verdier. RMSE-verdien uttrykker den forventede unøyaktigheten til prediksjonen.



Figur 12: "Predicted vs. Reference"-plott (CAMO 2014).

For å validere metodene som brukes i den statistiske analysen blir det (for både PCA og PLSR) utført kryssvalidering av datasettet. For å registrere hvor godt en modell klarer å predikere nye verdier, testes modellen opp mot et testset. Testsettet består av tilsidesatte verdier som ikke er med på å lage modellen. The unscrambler® X illustrerer prediksjonsevnen til en modell gjennom et plott og en prediksjonstabell.



Figur 13: Prediksjonsplott (CAMO 2014)

De blå boksene i plottet representerer den estimerte unøyaktigheten til prediksjonen i begge retninger, mens den røde vertikale streken er RMSE verdien til prediksjonen.

	Predicted	Deviation	Reference
S.003	88.64036	0.11717	88.60001
S.004	88.79848	0.11241	88.80000
S.010	91.17991	0.13267	91.20000
S.016	91.82616	0.12352	91.80000
S.019	89.47009	0.13694	89.00001
S.022	90.96852	0.15619	91.40000
S.025	88.56155	0.10481	88.60001
S.026	91.23926	0.19273	91.40000
S.034	86.79980	0.15996	87.10000
S.055	91.81163	0.37522	91.40000
S.056	90.30577	0.33784	90.30000
S.057	91.31907	0.25254	91.20000
S.058	90.98386	0.35042	91.00000

Figur 14: Prediksjonstabell (CAMO 2014).

Prediksjonstabellen består av prøvenummerene vertikalt nedover til venstre, og grupperingene ”Predicted”, ”Deviation” og ”Reference”. Verdiene under ”Predicted” representerer prediksjonsverdiene, ”Deviation”-verdiene uttrykker unøyaktigheten til prediksjonen, mens verdiene under ”Reference” er testsettets verdier.

Datsettene som brukes i den statistiske analysen i The Unscrambler® X kan inneholde ikke-lineære mønstre. For å kunne oppdage dette har prediksjonsvariablene på forhånd blitt kryssmultiplisert med hverandre, og multiplisert med seg selv. I selve analyseprosessen vektet alle variablene gjennom å dele parameterverdiene på parameterens standardavvik.

3.6 Outlier detection

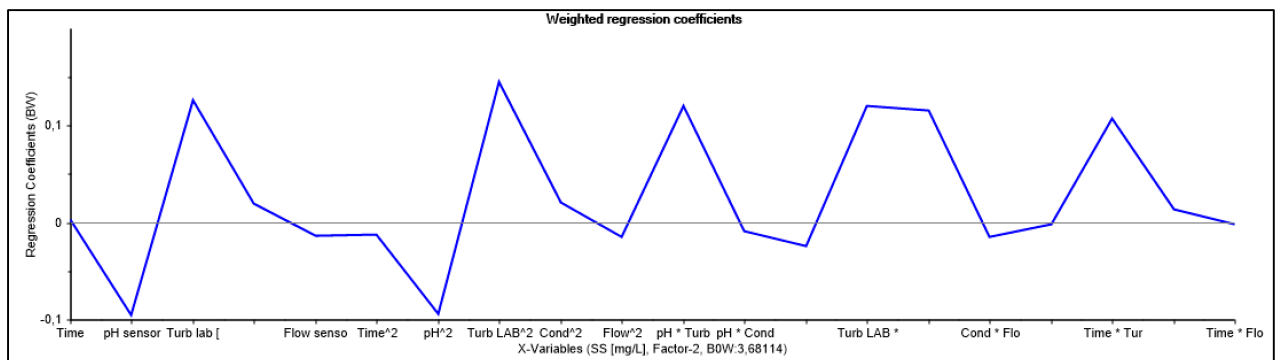
En viktig del av den statistiske analysen i oppgaven er å finne utliggere, slik at modellene som utvikles ikke baseres på målefeil eller andre verdier som ikke beskriver de reelle forholdene. Ved estimering av en modell, har The Unscrambler® X en metoden som registrerer aktuelle utliggere i en liste ("outlier list"). Prøvene i utliggerlisten representerer verdier som ligger langt utenfor forventet område og som har en stor påvirkning på modellen, eller verdier som modellen har vanskeligheter med å forklare. Figur 15 viser et eksempelutsnitt av denne listen:

Outlier list	Component	DW	Warning	Limit	Actual
	1	2	3	4	5
1	1	100	Sample 1 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	4,878911
2	2	100	Sample 1 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,347485
3	3	100	Sample 1 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,521183
4	4	100	Sample 1 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,369028
5	5	100	Sample 1 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	7,76966
6	6	100	Sample 1 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	6,689345
7	7	100	Sample 1 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	7,385882
8	3	100	Sample 23 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,008518
9	3	100	Sample 24 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,232548
10	3	100	Sample 25 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,039626
11	3	100	Sample 26 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,313681
12	2	100	Sample 33 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,100542
13	4	100	Sample 33 is far from the centre of the X-model and may have high influence	3	3,355902

Figur 15: Utsnitt av utliggerlisten i The Unscrambler® X.

3.7 Fjerning av variabler

For å nedskalere kompleksiteten til modellene, er det hensiktsmessig å fjerne variabler med liten påvirkning. The Unscrambler® X fremstiller påvirkningsgraden til en variabel gjennom et "Important variables"-plott:



Figur 16: "Important variables"-plott med vektete verdier.

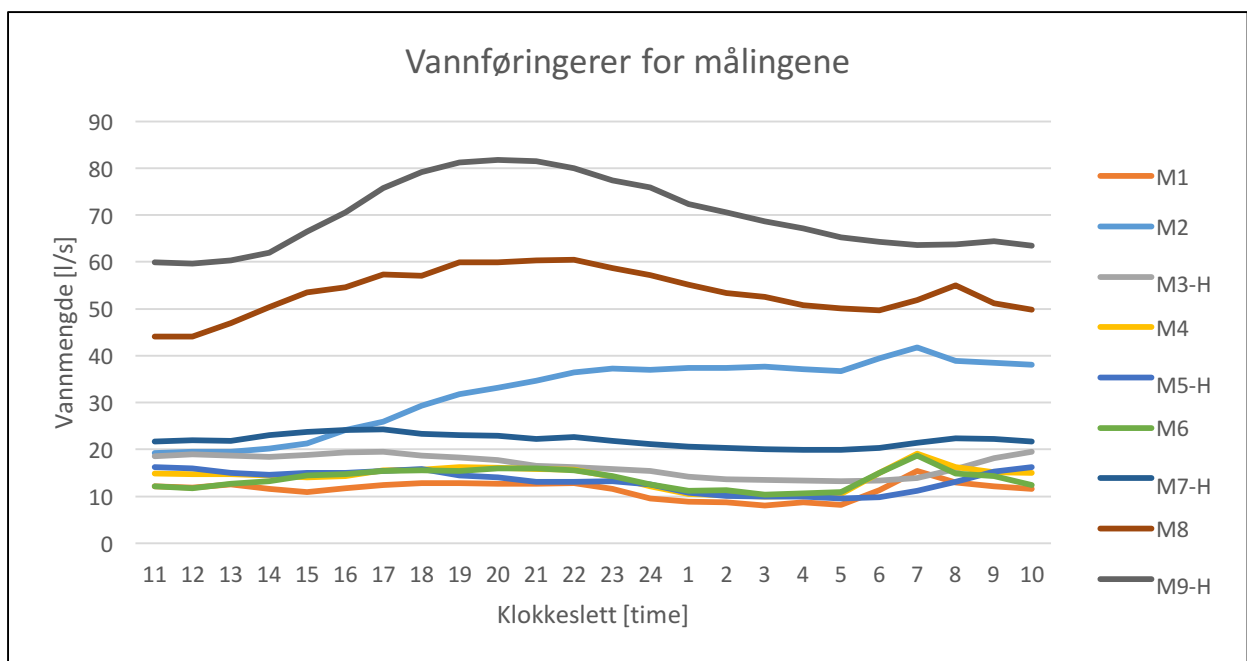
Variablene i nærheten av null har en lav påvirkning på modellen og kan vurderes og fjernes. Fjerning av enkelte variabler kan i mange tilfeller ikke bare gi en mindre kompleks modell, men også øke prediksjonsevnen til modellen.

4. Resultater

Dette delkapittelet omhandler resultater fra målinger, online sensorer og vannmengdemåler, samt resultater fra de statistiske analysene. Alle resultatverdiene fra oppgaven er listet opp i vedlegg B.

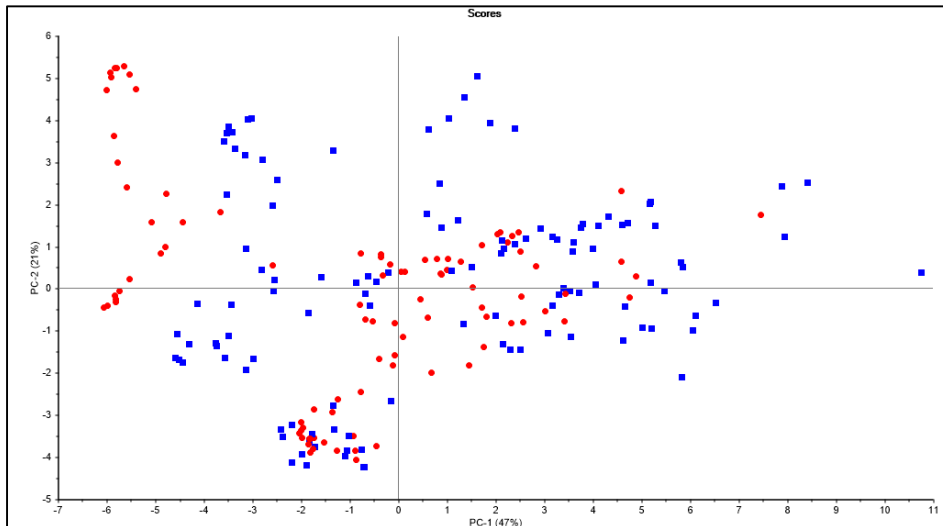
4.1 Kategoriserte målinger

Det ble i alt gjennomført ni prøvetakinger av avløpsvannet på Vakås. Prøvene ble delt opp i kategoriene tørrvær, våtvær, hverdag og helg. Kategorien våtvær skulle i utgangspunktet representere dager med regn, noe som ble vanskelig å få til pga. en lang vinter. Derfor ble varme dager med snøsmelting inkludert i våtværskategorien.



Figur 17: Oversikt over vannføring under de forskjellige målingene. M1 = måling 1, M2 = måling 2 osv. "-H" = måling i helg.

Fra figur 17 kan det observeres en økt vannføring i M2, M5, M7, M8 og M9, og disse målingene går under kategorien våtvær.

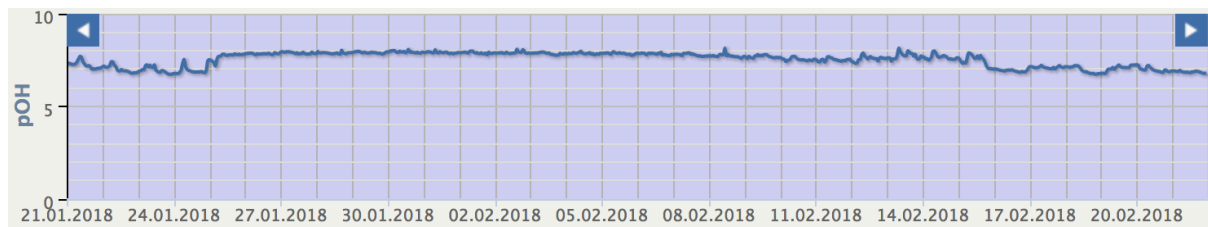


Figur 18: "Scores"-plott, hverdag=blå og helg=rød.

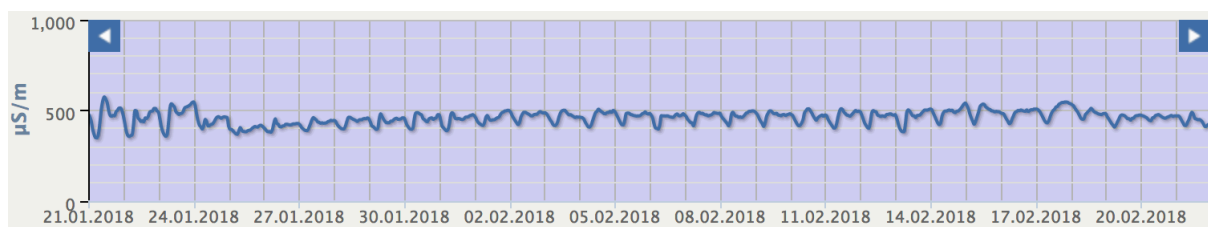
Figur 18 viser ikke noe tydelig mønster mellom målingene i hverdager og helgedager.

4.2 Online sensorverdier, vannmengdemåler og manuelle målinger

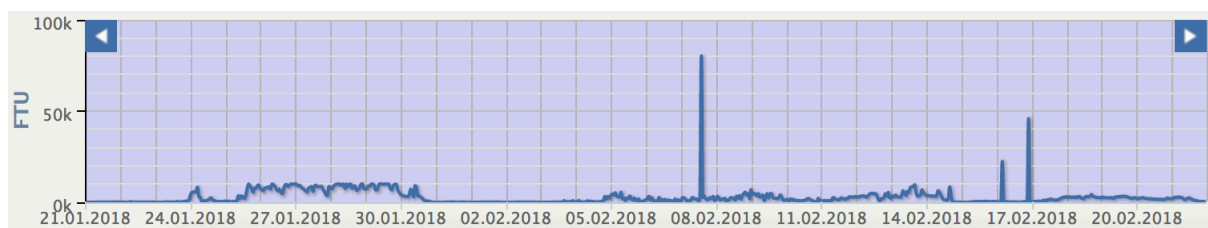
Resultatene fra de online sensorene og vannmengdemåleren ble hentet fra regnbyge.no.



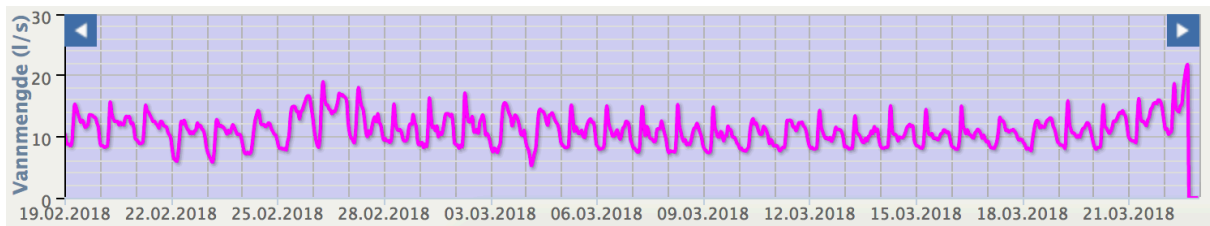
Figur 19: Verdier fra online pH-sensor på Vakås (Rosim 2018).



Figur 20: Verdier fra online konduktivitetssensor på Vakås (Rosim 2018).



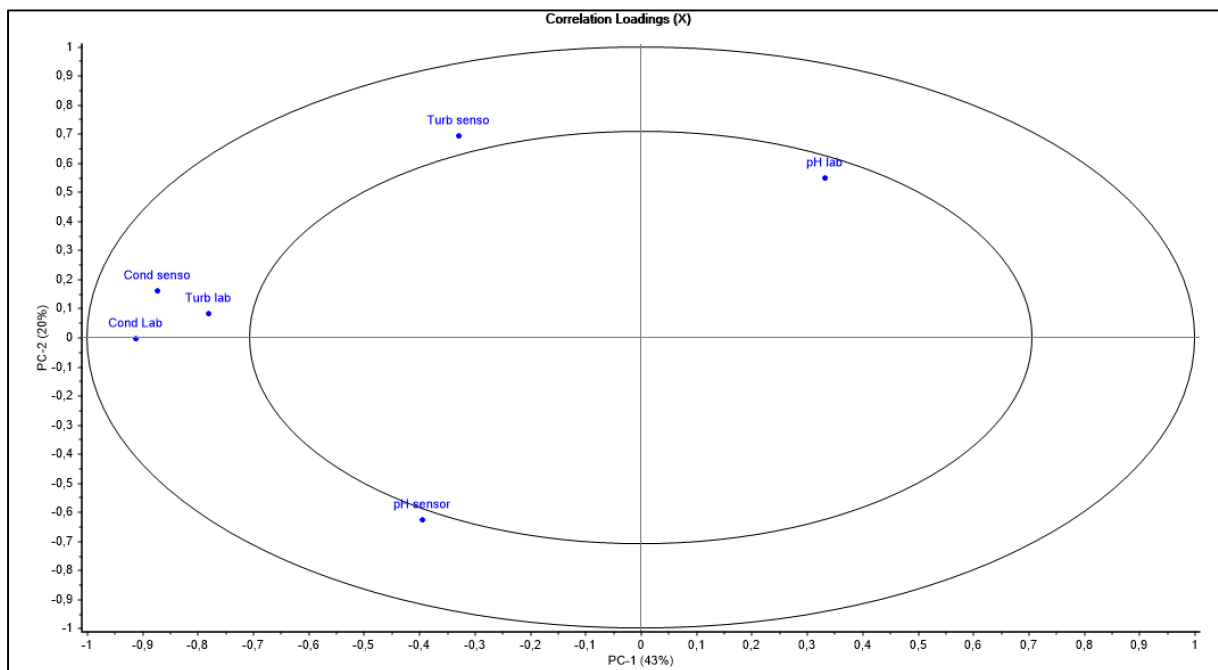
Figur 21: Verdier fra online turbiditetssensor på Vakås (Rosim 2018).



Figur 22: Verdier fra vannmengdemåler på Vakås (Rosim 2018).

Figurene overfor viser utsnitt av resultater fra online sensorene og vannmengdemåler. Konduktivitet og vannmengde følger et dagsmønster og er stabile i henhold til disse variasjonene. pH-verdiene varierer litt, mens turbiditetsverdiene varierer i stor grad og har ikke et fast mønster i resultatene.

For å registrere sammenhengen mellom verdiene fra manuelle målinger på laboratoriet og verdier fra de online sensorene, ble det utført en prinsipalkomponent analyse.

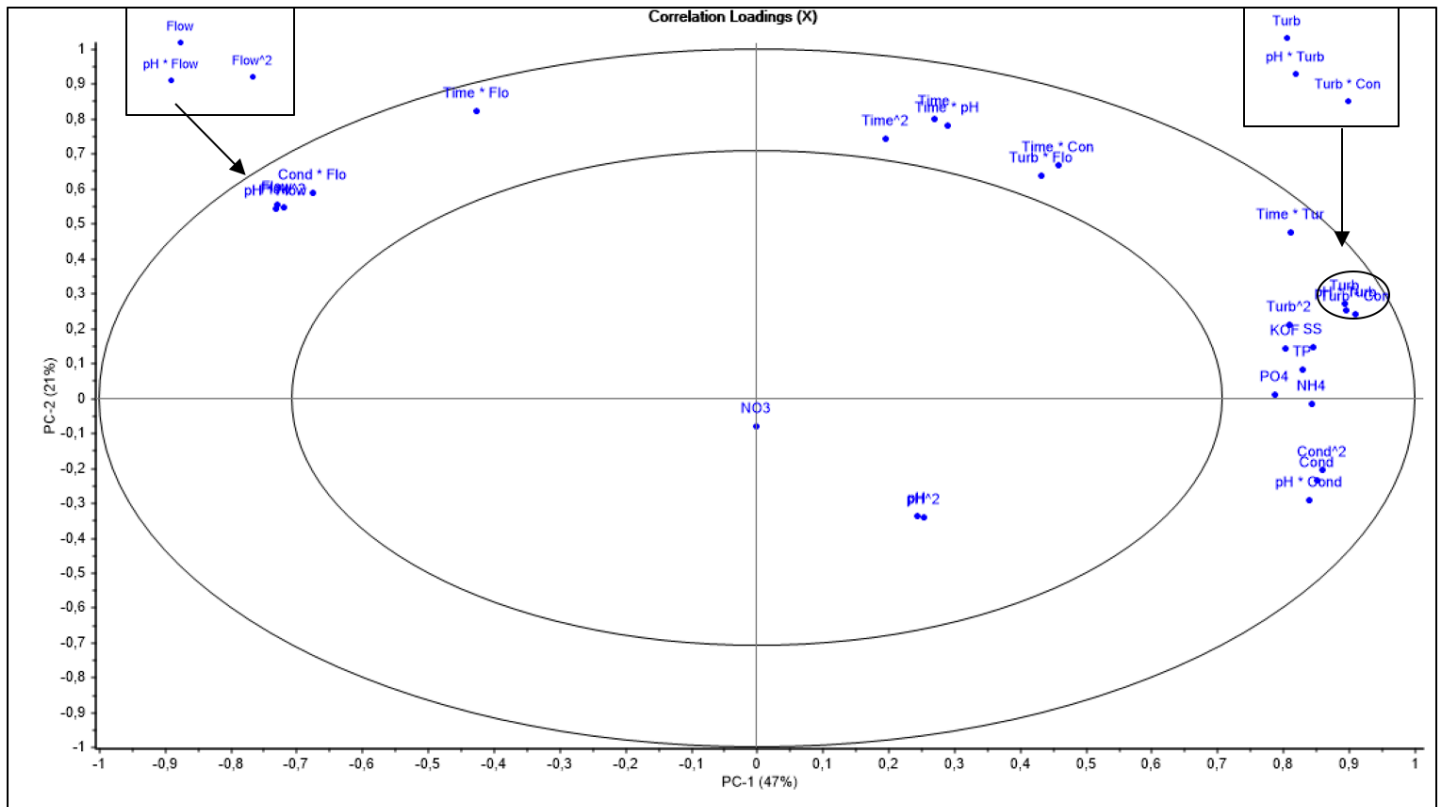


Figur 23: "Correlation Loading"-plott av labverdier og sensorverdier for pH, konduktivitet og turbiditet.

Plottet viser en god korrelasjon mellom lab og sensorverdier for konduktivitet. pH-sensor og pH-lab har er negativt korrelert, mens mellom turbiditetsvariablene vises det svært liten korrelasjon.

4.3 Korrelasjon mellom variabler

Eventuell korrelasjonen mellom de ulike parametere ble undersøkt ved å utføre en PCA av alle oppgavens parametere.

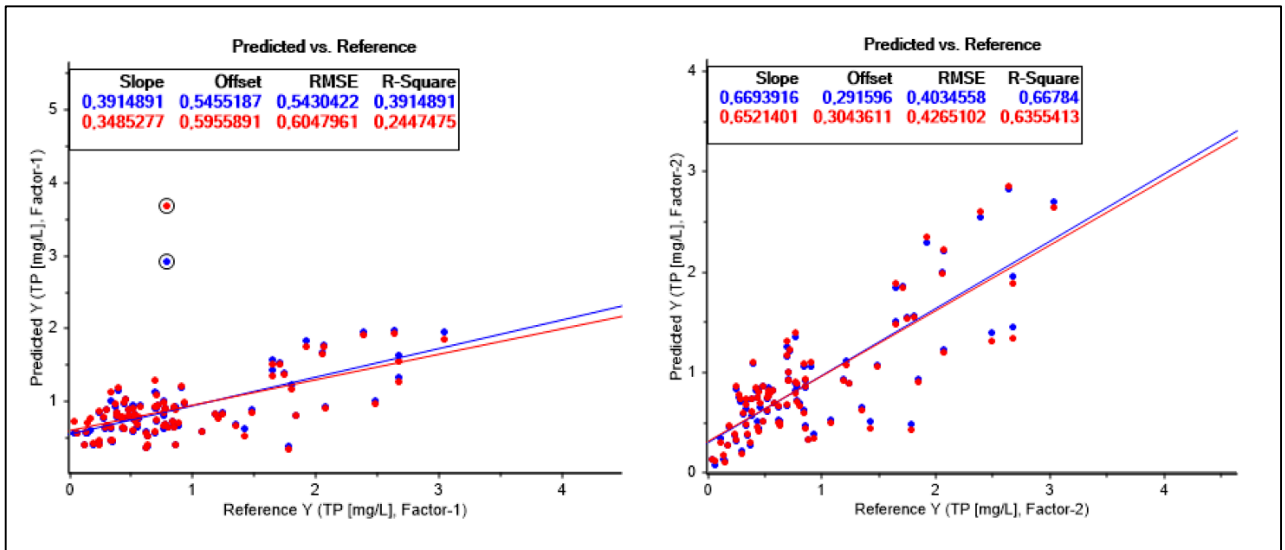


Figur 24: "Correlation Loadings"-plott av samtlige parametere.

Figur 24 viser et "Correlation Loadings"-plott med prediksjonsvariablene og responsvariablene i oppgaven. Parameterne som brukes til prediksjon er multiplisert med seg selv og hverandre for å kunne finne eventuelle ikke-lineære forhold i datasettet.

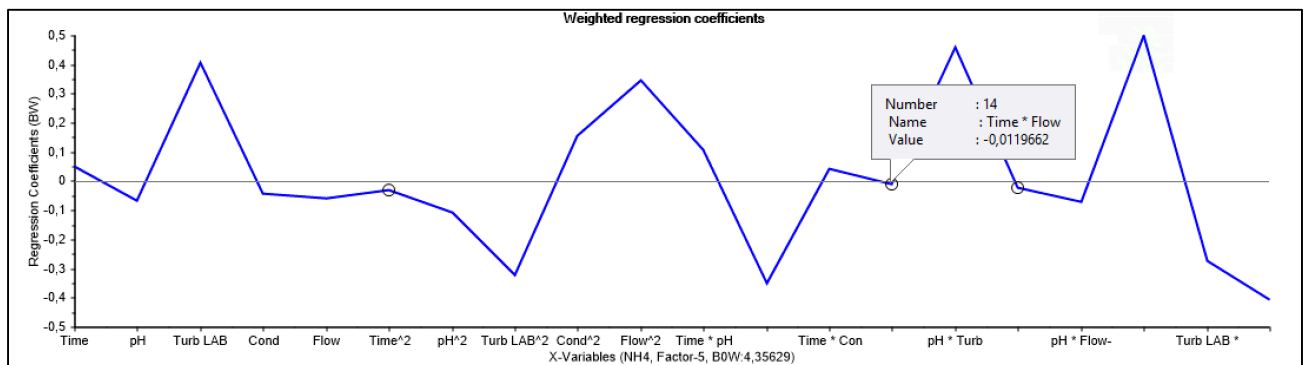
4.4 Fjerning av utliggere og variabler

Modellene som ble estimert ved hjelp av PLSR hadde i alle tilfeller utliggere. Utliggerne ble fjernet fra modellene slik at enkelte punkter i datasettet ikke hadde for stor påvirkning på resten av datasettet. Figur 25 gir et eksempel på hvordan fjerning av en utligger kan påvirke prediksjonen til en modell:



Figur 25: Modell før og etter fjerning av utligger (merket punkt).

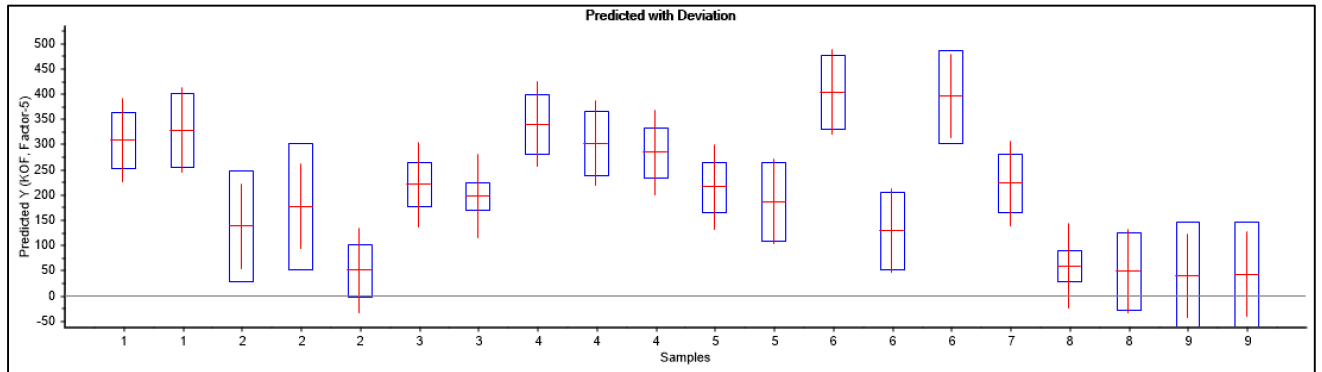
Gjennom den statistiske analysen ble det også fjernet parametere med svært lav eller dårlig påvirkning på modellen. Figur 26 viser et "important variables"-plott for modellen til NH_4 (alle målinger), der blant annet "Time²" og "Time*Flow" er potensielle variabler som kan fjernes fra modellen.



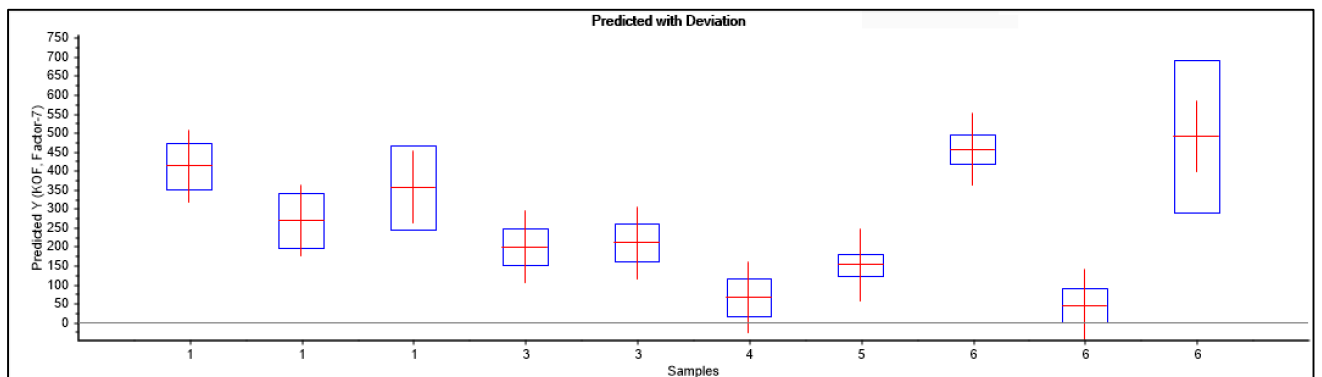
Figur 26: "Important variables"-plott for ammonium (alle målinger).

4.5 Testing av modellene

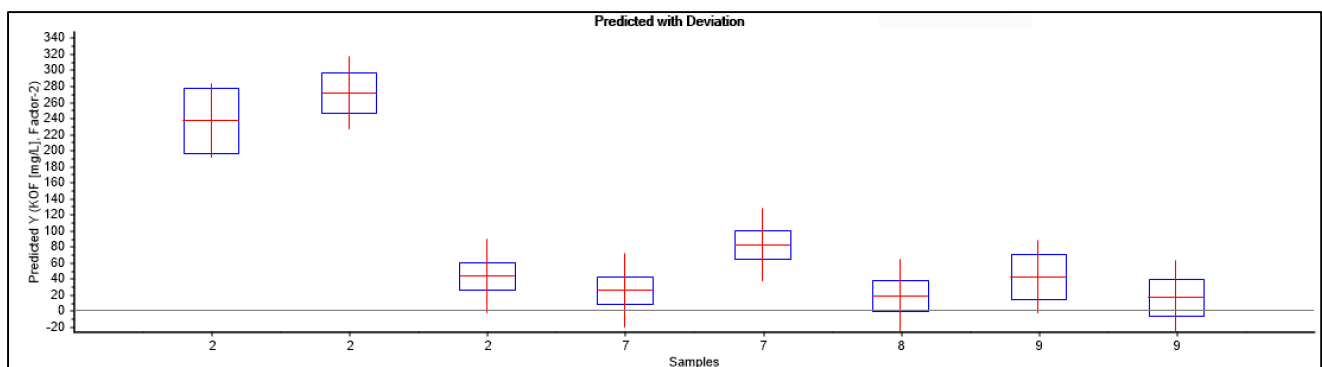
Etter modellestimeringen, testet modellene mot et testsett med verdier som på forhånd er satt til side. Figurene nedenfor viser prediksjonsplott og prediksjonstabeller for KOF i de forskjellige kategoriene:



Figur 27: Prediksjon av testsett for KOF, alle målinger.



Figur 28: Prediksjon av testsett for KOF, tørrvær.



Figur 29: Prediksjon av testsett for KOF, våtvær.

Predicted Y (KO)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (KO)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (KO)	Predicted	Deviation	Reference
1	306,8887	55,8506	394,0000	1	411,5064	61,3636	470,0000	2	236,2818	40,3654	234,0000
1	327,0652	73,1200	313,0000	1	267,5185	72,7025	235,0000	2	271,1022	25,3825	193,0000
2	136,3312	110,0988	125,0000	1	354,5379	110,9420	141,0000	2	42,6079	17,4565	44,1000
2	175,6812	124,8595	193,0000	3	197,7651	47,8251	99,5000	7	25,0241	17,0262	19,3000
2	48,6741	51,6319	60,7000	3	209,2028	49,9938	233,0000	7	81,6832	17,8402	181,0000
3	218,9461	43,4043	163,0000	4	65,2483	48,8833	53,0000	8	18,1435	19,0320	10,4000
3	196,5835	27,7839	130,0000	5	150,1562	29,5366	187,0000	9	41,8215	28,1794	25,0000
4	338,9001	59,0083	418,0000	6	454,5750	38,6407	333,0000	9	16,3700	23,2756	9,2200
4	301,0086	64,4206	159,0000	6	43,5064	44,7511	23,5000				
4	282,6486	48,8141	322,0000	6	488,9130	199,7564	600,0000				
5	214,3220	49,8317	107,0000								
5	184,9844	77,8879	447,0000								
6	402,4519	72,6281	336,0000								
6	127,8117	76,0532	107,0000								
6	394,1197	92,0993	485,0000								
7	221,5425	57,4515	220,0000								
8	58,0142	30,6172	76,8000								
8	47,7828	77,0730	60,3000								
9	38,1439	107,3954	26,1000								
9	41,3435	103,0334	9,2200								

Figur 30: Prediksjonstabeller til KOF: (f.v) alle målinger, tørrvær og våtvær.

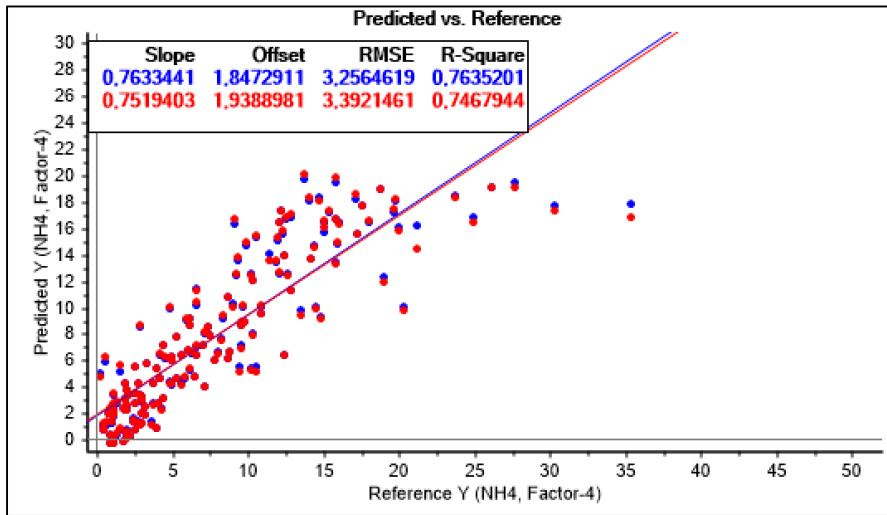
Figurene 27, 28, 29 og prediksjonstabellene i figur 30 uttrykker at våtvær-modellen gir den beste prediksjonen av de tre modellene.

4.5 PLSR-plott og ligninger

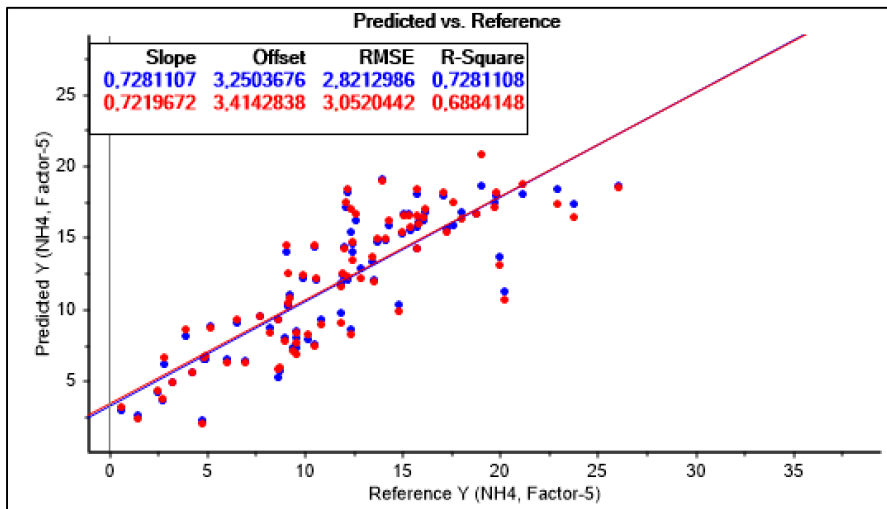
Gjennom den statistiske analysen ble det laget modeller for de ulike parameterne, med tre ulike datasett: alle målinger, tørrværsmålinger og våtværsmålinger. Prediksjonsverdiene til modellene vises gjennom et ”Predikted vs. Reference”-plott, mens de tilhørende likningene er kategorisert under alle plottene. Parameterne i likningene er vektet i forhold til parameterens standardavvik.

4.5.1 PLSR-plott

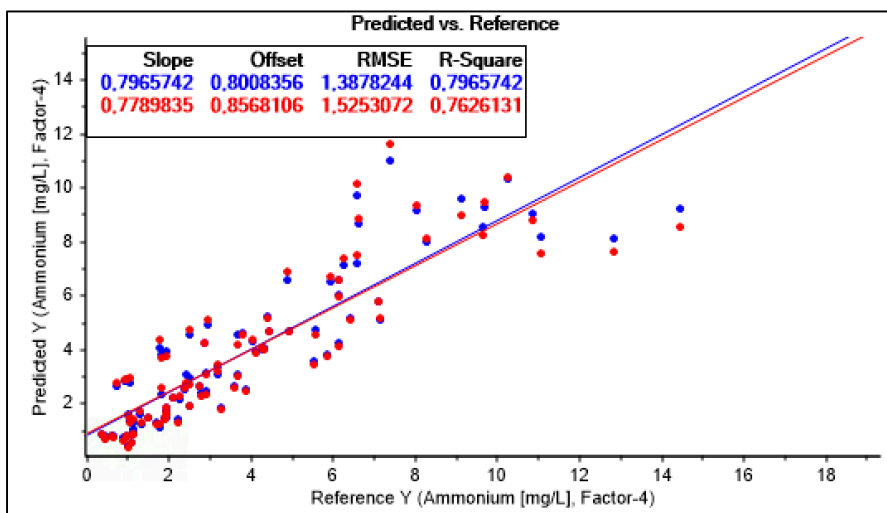
4.5.1.1 Ammonium



Figur 31: "Predicted vs. Reference"-plott for ammonium, alle målinger.

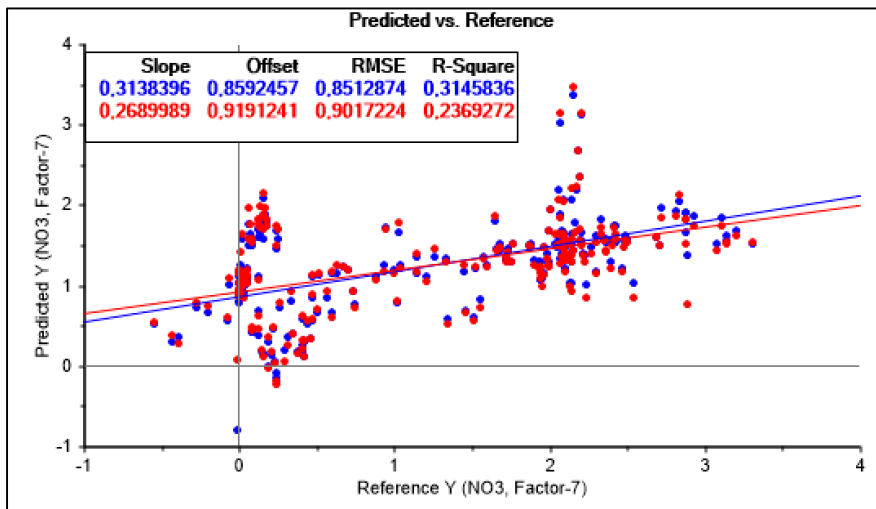


Figur 32: "Predicted vs. Reference"-plott for ammonium, tørrvæ.

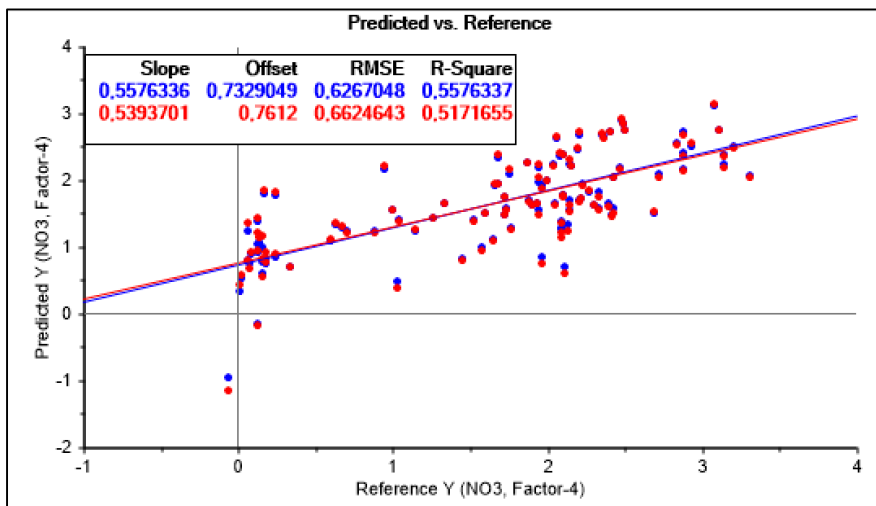


Figur 33: "Predicted vs. Reference"-plott for ammonium, våtvæ.

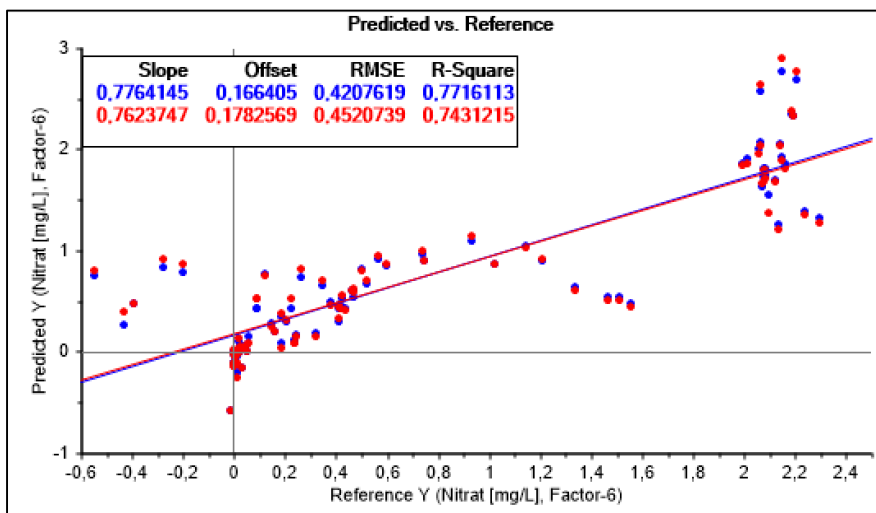
4.5.1.2 Nitrat



Figur 34: "Predicted vs. Reference"-plott for nitrat, alle målinger.

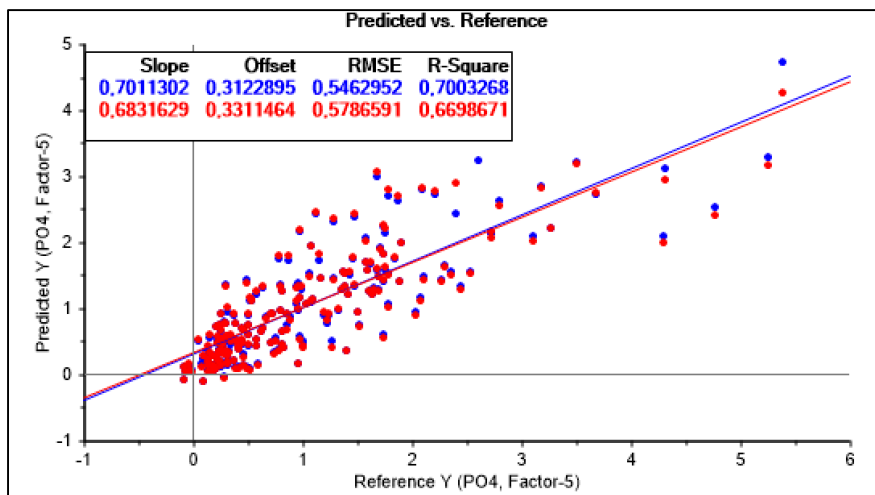


Figur 35: "Predicted vs. Reference"-plott for nitrat, tørrvær.

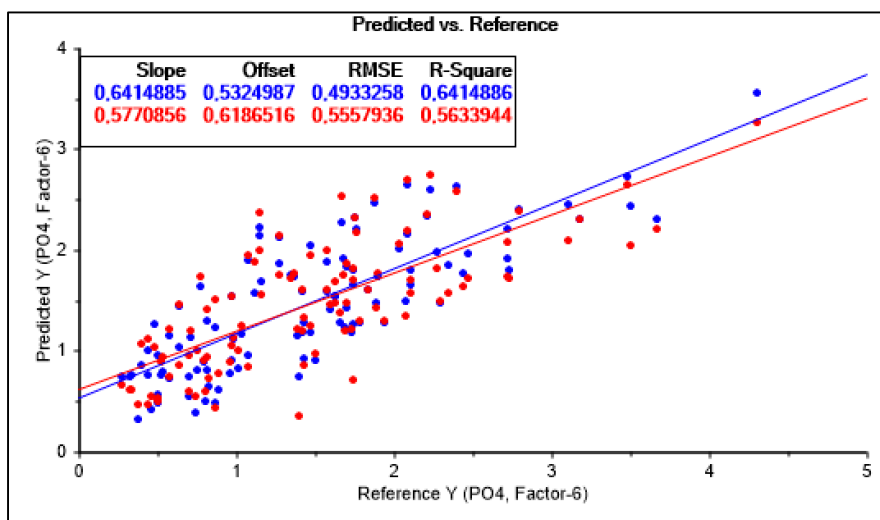


Figur 36: "Predicted vs. Reference"-plott for nitrat, våtvær.

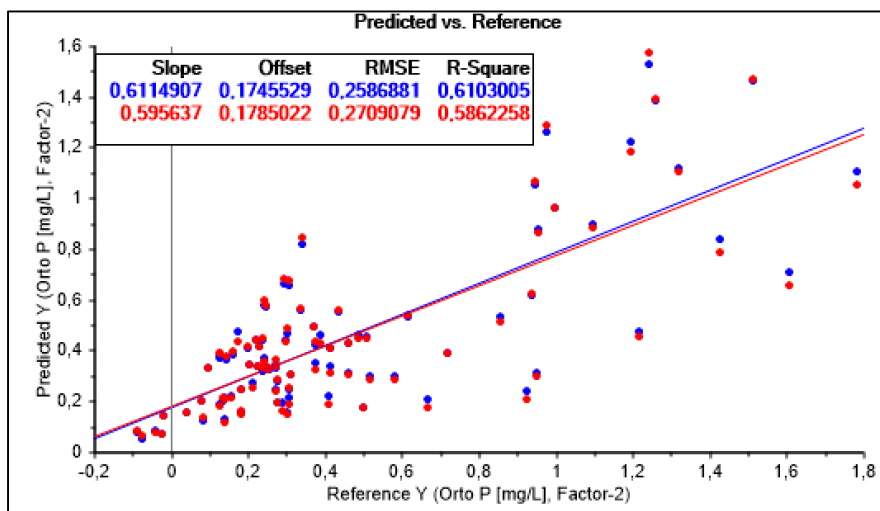
4.5.1.3 Ortofosfat



Figur 37: "Predicted vs. Reference"-plott for ortofosfat, alle målinger.

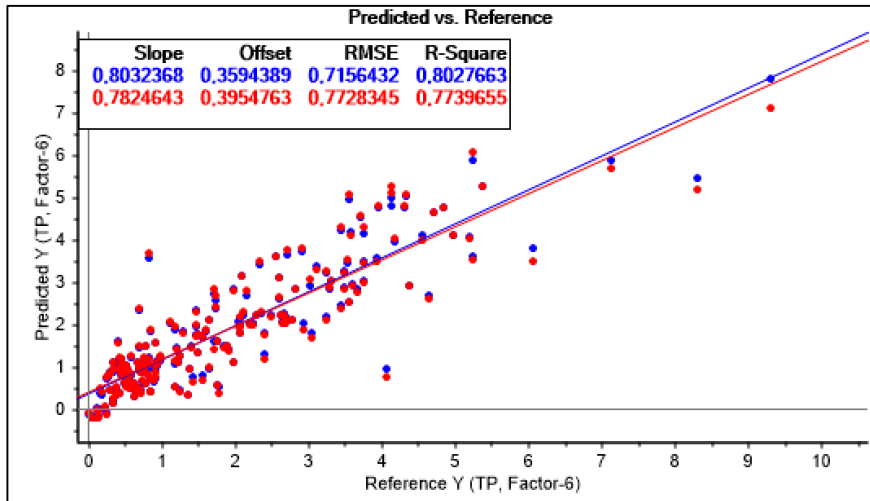


Figur 38: "Predicted vs. Reference"-plott for ortofosfat, tørrvæ.

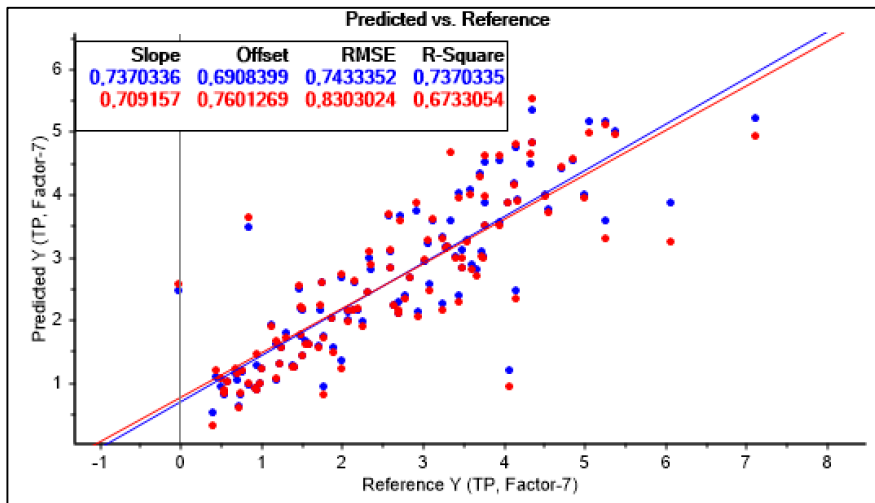


Figur 39: "Predicted vs. Reference"-plott for ortofosfat, våtvæ.

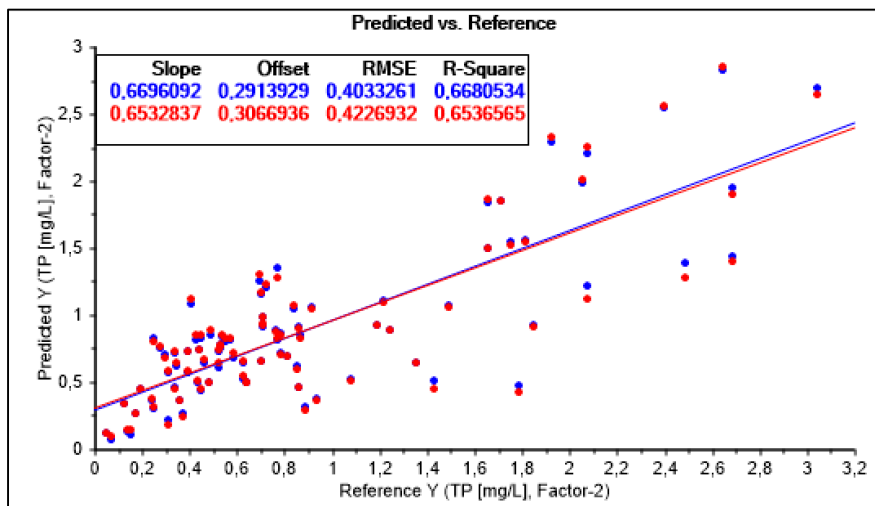
4.5.1.4 Total fosfor



Figur 40: "Predicted vs. Reference"-plott for total fosfor, alle målinger.

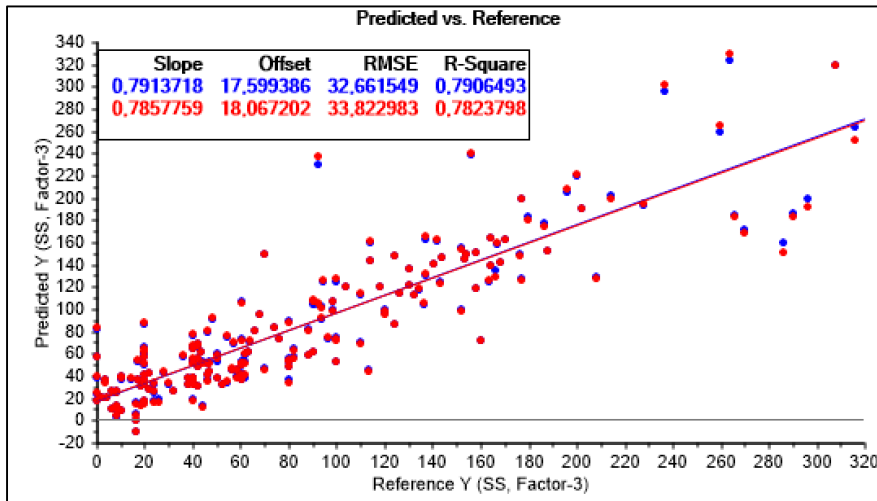


Figur 41: "Predicted vs. Reference"-plott for total fosfor, tørrvær.

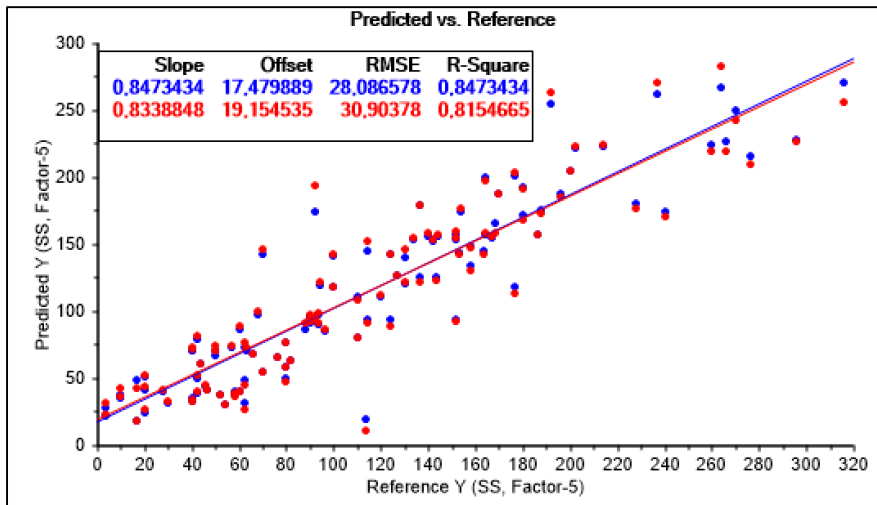


Figur 42: "Predicted vs. Reference"-plott for total fosfor, våtvær.

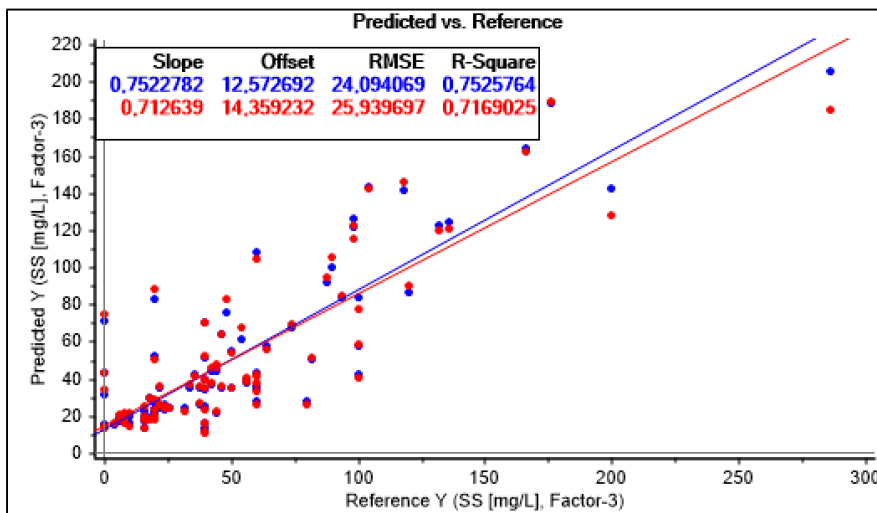
4.5.1.5 Suspendert stoff



Figur 43: "Predicted vs. Reference"-plott for suspendert stoff, alle målinger.

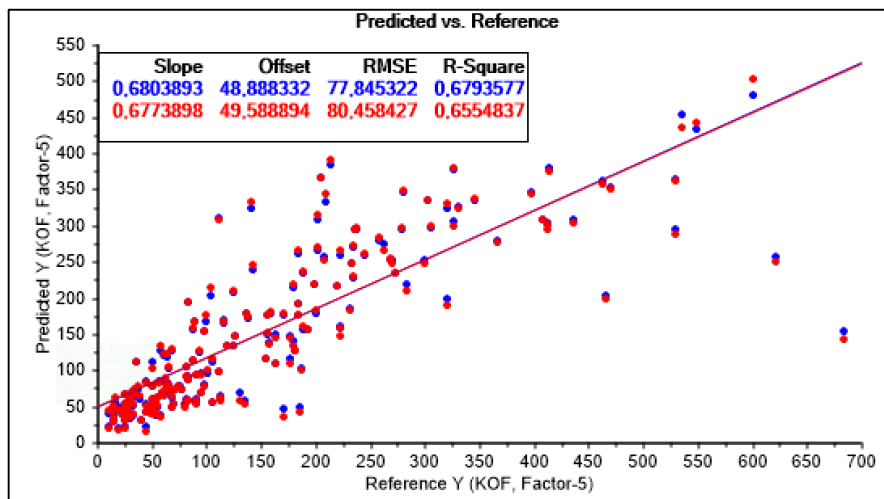


Figur 44: "Predicted vs. Reference"-plott for suspendert stoff, tørrvær.

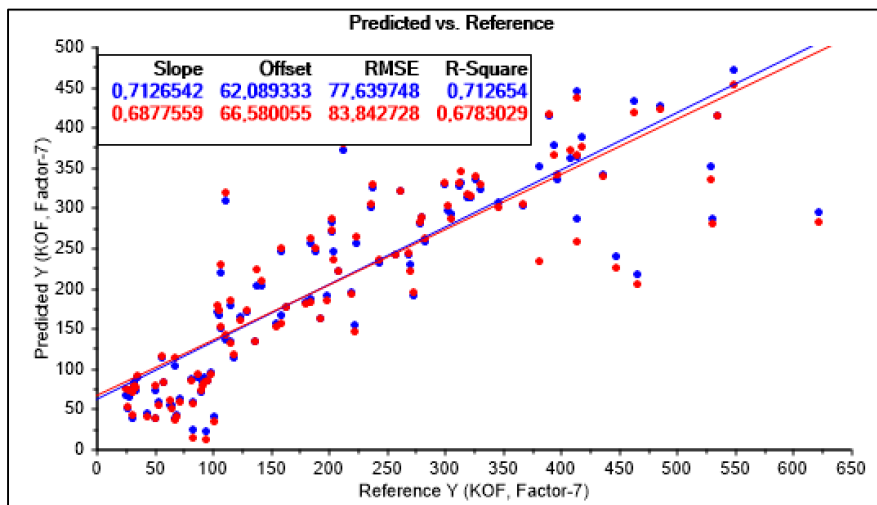


Figur 45: "Predicted vs. Reference"-plott for suspendert stoff, våtvær.

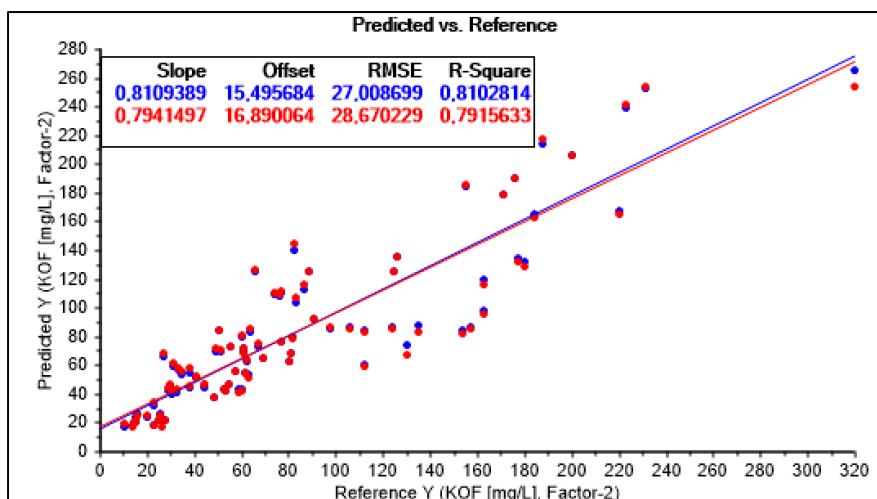
4.5.1.6 Kjemisk oksygenforbruk



Figur 46: "Predicted vs. Reference"-plott for kjemisk oksygenforbruk, alle målinger.



Figur 47: "Predicted vs. Reference"-plott for kjemisk oksygenforbruk, tørrvæ.



Figur 48: "Predicted vs. Reference"-plott for kjemisk oksygenforbruk, våtvæ.

4.5.2 Likninger

4.5.2.1 Likninger, alle målinger:

$$\begin{aligned} NH_4 = & 0,831 + 0,531Tu - 0,8640Tu^2 + 0,4038F^2 + 0,551pH * Tr + 0,6467Tu * C \\ & - 0,2642Tu * F - 0,535C * F \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} NO_3 = & -2,931 - 0,1864Ti + 0,1242pH - 0,1045Tu - 0,1539C + 0,1871F + 0,2376Ti^2 \\ & + 0,1327pH^2 - 0,2409Tu^2 + 0,3551C^2 + 1,7125F^2 + 0,055Ti * pH \\ & - 0,1104Ti * Tu + 0,0621Ti * C - 0,3360Ti * F - 0,0531pH * Tu \\ & - 0,0351pH * C - 0,0930pH * F + 0,0479Tu * C + 0,4847Tu * F \\ & - 1,6229C * F \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PO_4 = & 0,4794 + 0,5995Tu + 0,4404Ti^2 - 0,3277Tu^2 + 0,4784F^2 - 1,0401Ti * Tu \\ & - 0,3075Ti * F + 0,5840pH * Tu + 0,6976Tu * C - 0,4546C * F \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TP = & 1,7091 + 0,1041Ti + 0,6277Tu - 0,0399F + 0,1501Ti^2 - 0,3348Tu^2 + 0,39F^2 \\ & - 0,9232Ti * Tu + 0,1127Ti * C - 0,1906Ti * F + 0,6578pH * T \\ & - 0,2093pH * C - 0,0766pH * F + 0,7042Tu * C - 0,0631Tu * F \\ & - 0,3533C * F \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS = & 0,1062 + 0,1713Tu + 0,025C - 0,0237F - 0,0709Ti^2 + 0,1557Tu^2 + 0,0304C^2 \\ & - 0,013F^2 + 0,0921Ti * Tu - 0,0359Ti * C + 0,1691pH * Tu + 0,0173pH \\ & * C - 0,0282pH * F + 0,1656Tu * C + 0,1326Tu * F - 0,0333C * F \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KOF = & -0,3808 + 0,1678Ti - 0,3493Tu + 0,0174C + 0,026F - 0,2373Ti^2 \\ & - 0,2204Tu^2 + 0,0887C^2 + 0,2764F^2 + 0,0871Ti * Tu + 0,0787Ti * C \\ & + 0,3635pH * Tu + 0,0286pH * C + 0,0114pH * F + 0,3108Tu * C \\ & - 0,2245Tu * F - 0,2047C * F \end{aligned}$$

4.5.2.2 Likninger, tørrvær:

$$\begin{aligned}NH_4 = & 22,60 + 0,677Ti - 0,3625pH + 1,0172Tu - 1,0845Tu^2 + 1,1465pH * Tu \\ & - 0,0573Tu * C + 0,8597Ti * pH - 0,4408Ti * Tu - 0,3568Ti * C \\ & - 1,0506Ti * F\end{aligned}$$

$$NO_3 = -5,94 - 2,093Tu - 3,519F^2 - 0,5375pH * Tu + 3,618pH * F + 2,178Tu * F$$

$$\begin{aligned}PO_4 = & 6,471 + 0,3492Ti - 0,0461pH + 0,9075Tu - 0,0415C + 0,4399F + 0,6851Ti^2 \\ & - 0,1484pH^2 - 0,1266C^2 - 0,3795F^2 + 0,844pH * Tu - 0,1512pH * C \\ & + 0,3391pH * F + 0,5422Tu * C - 0,6242Tu * F + 0,2923Ti * pH \\ & - 1,099Ti * Tu + 0,3694Ti * C - 1,3658Ti * F\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}TP = & 2,14 + 0,4043Ti - 0,0055pH + 0,7925Tu - 0,1418C + 0,0151F - 0,2795Ti^2 \\ & - 0,0154pH^2 - 0,7473Tu^2 + 0,0871C^2 + 0,0537F^2 + 0,7546pH * Tu \\ & - 0,0274pH * C + 0,052pH * F + 0,724Tu * C + 0,0877Tu * F - 0,1317C \\ & * F + 0,4474Ti * pH - 1,1794Ti * Tu + 0,3243Ti * C - 0,5944Ti * F\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SS = & -0,7953 + 0,164Ti + 0,0242pH + 0,5888Tu - 0,0343C + 0,0480F + 0,0203pH^2 \\ & - 0,2552Tu^2 - 0,0245C^2 - 0,0813F^2 + 0,5829pH * Tu - 0,0153pH * C \\ & + 0,0431pH * F + 0,4659Tu * C - 0,0524Tu * F - 0,0451C * F \\ & + 0,1263Ti * pH - 0,5029Ti * Tu + 0,0767Ti * C - 0,2781Ti * F\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}KOF = & -0,8842 + 0,5393Ti + 0,7188Tu + 0,013C + 0,1201F - 0,9338Ti^2 \\ & - 0,0206pH^2 - 0,7163Tu^2 - 0,1451C^2 - 0,4325F^2 + 0,7424pH * Tu \\ & + 0,1141pH * C + 0,1351pH * F + 0,418Tu * C - 0,3507Tu * F \\ & + 0,4904Ti * pH - 0,3701Ti * Tu + 0,2642Ti * C - 0,1594Ti * F\end{aligned}$$

4.5.2.3 Likninger, våtvær:

$$\begin{aligned}NH_4 = & 4,61 - 0,0706pH + 0,2340Tu - 0,0239C - 0,0955F - 0,0692pH^2 - 0,0098C^2 \\ & + 0,0155F^2 + 0,287pH * Tu - 0,0381pH * C - 0,0793pH * F + 0,2137Tu \\ & * C - 0,2416C * F - 0,1099Ti * Tu\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}NO_3 = & 3,46 - 0,1051Tu - 0,4213C + 0,2843F - 0,052Tu^2 + 0,0242C^2 + 0,7588F^2 \\ & + 0,08pH * Tu + 0,0214pH * C + 0,2381pH * F + 0,0076Tu * C \\ & + 0,1171Tu * F - 0,7247C * F + 0,1794Ti * Tu - 0,1688Ti * F\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}PO_4 = & 6,26 - 0,149pH + 0,1138Tu - 0,0119F - 0,0125Ti^2 - 0,1487pH^2 + 0,1067Tu^2 \\ & - 0,0157F^2 + 0,1037pH * Tu - 0,0352pH * C - 0,0234pH * F \\ & + 0,1045Tu * C + 0,0914Tu * F - 0,01C * F + 0,0729Ti * Tu + 0,014Ti \\ & * C - 0,012Ti * F\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}TP = & 5,76 + 0,0035Ti - 0,1347pH + 0,1241Tu - 0,0071C + 0,0071F - 0,0093Ti^2 \\ & - 0,1343pH^2 + 0,1327Tu^2 - 0,0084C^2 + 0,0052F^2 + 0,116pH * Tu \\ & - 0,0457pH * C - 0,0036pH * F + 0,116Tu * C + 0,1057Tu * F \\ & + 0,0061C * F - 0,005Ti * pH + 0,0913Ti * Tu + 0,0087Ti * C\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SS = & 2,04 - 0,0486pH + 0,1455Tu - 0,0418pH^2 + 0,403Tu^2 + 0,1148pH * Tu \\ & + 0,1823Tu * C - 0,0881Tu * F + 0,0754Ti * Tu - 0,0536Ti * C\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}KOF = & 3,28 - 0,0849pH + 0,1318Tu + 0,0295C - 0,0173F - 0,084pH^2 + 0,1312Tu^2 \\ & + 0,0315C^2 - 0,0153F^2 + 0,1287pH * Tu + 0,0036pH * C - 0,0248pH \\ & * F + 0,1251Tu * C + 0,12Tu * F - 0,0156C * F + 0,0523Ti * C \\ & + 0,0211Ti * F\end{aligned}$$

5. Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres problemer oppstått i løpet av arbeidet, usikkerheter rundt de forskjellige målingene og resultatene, kategoriserte forskjeller, validering av prediksjonsvariablene, samt prediksjonsevnen til de ulike soft sensorene.

5.1 Utfordringer og måleusikkerheter

5.1.1 Utfordringer med laboratoriearbeidet

Det personlige utgangspunktet for arbeidet med avløpsprøvene på labben, var preget av lite erfaring og bakgrunnskunnskap. Dette gjaldt til en viss grad for de manuelle metodene, men spesielt for bruken av analyseverktøyet Systeas EasyChem Plus. Av den grunn var det mye prøving og feiling i analyseprosessene, som igjen ga en bratt læringskurve. Selv om analyser som ble gjort feil ble repetert, må det tas i betraktning at resultatene i oppgaven kan inneholde verdier som er påvirket av menneskelige feil.

5.1.2 Målingsusikkerheter

Som tidligere nevnt vil avløpsvannet i et område være i stadig forandring, og det kan opptre tilfeldigheter rundt utvalget som tas ut under prøvetakinger. Først og fremst er det usikkert hvor godt prøvevolumet på 450 mL klarer å representere de reelle forholdene i avløpet en gitt periode. Et eksempel på dette i denne oppgavens resultater er prøve nr. 1 i første måling (M1). Denne prøven bestod av en unormalt stor mengde partikler, som også vises i resultatene. Den høye konsentrasjonen i avløpet kan ha vært et spesialtilfelle akkurat i det tidspunktet prøvetakingen ble gjort, men det kan også være at partikkelinnholdet i avløpet hadde vært høyt i en lengre periode og at prøven dermed ga et godt bilde av avløpet. En annen mulighet er at det kan ha festet seg partikler i innsuget til prøvetakeren før prøvetakingstidspunktet. Som omtalt i metoddelen av oppgaven tas det ut flere utvalg fra prøveutvalget på 450 mL. Eksempelvis filtreres kun 50 mL av totalvolumet på 450 mL, som fører til at en rekke av analysene baseres på at denne mengden avløpsvann gir en god representasjon av avløpsvannet i et gitt tidspunkt. Det er vanskelig å spekulere i hvor mye dette påvirker resultatene, men det kan absolutt ha en påvirkning. Samtidig ble alle prøvene som det skulle tas et utvalg fra forhåndsristet, noe som gjorde at utvalget ga en bedre representasjon av prøven. Sett tilbake hadde det vært interessant og gjennomført en dobbel analyse av samme avløpsprøve (450

mL), slik at forskjeller i resultatene kunne blitt sammenlignet. Dette hadde gitt en indikasjon på hvor store tilfeldighetene rundt utvalgene i laboratoriearbeidet er.

Måling av ammonium er som tidligere nevnt ønskelig å gjøre innen to døgn. Første måling ble derimot gjort 5-6 dager etter prøvetaking, grunnet komplikasjoner ved bruk av Systeas EasyChem Plus. På den andre siden ga analysen resultater innenfor et forventet område, og ble dermed inkludert i datasettet som brukes i den statistiske analysen.

På grunn av misforståelser i de første målingene, ble analyse av TP gjennomført med filtrerte prøver istedenfor ufiltrerte. I og med at fosfor opptrer både organisk og uorganisk i avløpsprøver, ble de aktuelle målingene gjennomført på nytt med ufiltrerte avløpsprøver. Fosforinnholdet i avløpsprøver er ikke avhengig av tiden, så forsinkelsen av analysene skal derfor ikke ha hatt noe påvirkning på resultatet.

Validering av resultatene ved bruk av Systeas EasyChem Plus ble gjort ved å teste en standard med kjent konsentrasjon sammen med avløpsprøvene. Dette ble dessverre ikke gjort for de fem første målingene (M1 til M5). Resultatene fra disse målingene kan dermed ikke regnes som like pålitelige, men kan til en viss grad valideres ved å se om verdiene befinner seg innenfor forventet område. Et eksempel på verdier som ligger utenfor forventet område, er verdiene for ammonium i M5 (rundt 70 mg/L på dagen og 40-50 mg/L på natten). Dette er langt høyere enn forventet, og verdiene ble derfor utelukket fra estimering av modellen for tørrvær. De resterende resultatene fra M1 til M5 for ammonium og resten av parameterne, befant seg innenfor et forventet område, og ble dermed inkludert i modellestimeringsprosessen.

Metodene som ble brukt for analyse av ammonium og nitrat, ble som tidligere nevnt byttet ut med nye metoder fra M7 til M9. For å oppnå en kontinuitet i målingene, ville det vært hensiktsmessig å gjennomføre alle prøvene med samme metode. Samtidig var det nødvendig å forandre metodene, grunnet ustabiliteter i de tidligere brukte metodene. De nye metodene ga resultater som ikke svingte like mye i verdier, så hvis det hadde vært praktisk mulig, hadde det vært mest gunstig å bruke de nye metodene for alle målingene.

Som vist i tabell 1, vil det også alltid være usikkerheter knyttet til måleapparatene og Systema EasyChem Plus. Med tanke på variasjonene i avløpet og tilfeldighetene ved utvalg av avløpsprøvene, kan disse betraktes som små i forhold.

Hvis tilfeldighetene i avløpsvannet hadde vært for store, ville det vært vanskelig og sett noe mønster i prøvenes konsentrasjonsinnhold i løpet av en dag. I tillegg ville det vært en stor variasjon i parameterverdiene fra en prøve til en annen. Resultatene i denne oppgaven viser derimot som regel parameterverdier innenfor et forventet område med en forventet variasjonstrend. Dette gir en antydning om at tilfeldighetene i analysene ikke er så store at det blir vanskelig å stole på resultatene.

5.2 Kategoriserte forskjeller

De ulike prøvetakingene på Vakås ble som sagt tatt under kategoriene tørrvær, våtvær, hverdag og helgedag. En av utfordringene med å kategorisere målingene var å definere hva som kunne regnes som våtvær. I denne oppgaven betraktes våtvær som perioder med regn eller snøsmelting, der resultatene er økt vannføring i resultatene fra vannmengdemåleren. Forventningen til våtvær er altså at vannmengden i avløpsrørene skal øke på grunn av inntrenging av fremmedvann. Tilfellet i denne oppgaven var at våtværsdagene hadde en stor variasjon i vannføring, noe som skyldes at perioden med regn/snøsmelting vil være forskjellig fra dag til dag. Figur 17 viser denne variasjonen ved at M8 og M9 skiller seg ut med veldig høy vannmengde i avløpsrøret, mens M7 ligger kun noe høyere enn tørrværsdagene. For våtværsmålingene var det forventet at parameterne NH_4 , NO_3 , PO_4 , TP, SS, KOF og turbiditet skulle ha en fortennet konsentrasjon pga. økt fremmedvannmengde i avløpsrøret. Resultatene for disse parameterne svarer godt til forventningene, med unntak av nitrat-verdiene som ser ut til å variere uavhengig av kategoriene. Generelt var det vanskelig å se noe mønster i resultatene ved analysering av nitratinnhold i prøvene.

For kategoriene hverdag og helgedag er det fra "Scores"-plottet i figur 18 utfordrende å observere grupperinger mellom disse kategoriene. På grunnlag av dette ble det ikke laget egne modeller for disse kategoriene.

5.3 Vurdering av online sensorer og vannmengdemåler

Estimering av konsentrasjoner i avløpet er helt avhengig av at sensorene og vannmengdemåleren i avløpet viser gode og stabile resultater. Hvis ikke disse apparatene er til å stole på, forsvinner grunnlaget for estimeringen. PCA-plottet i figur 23 viser en oversikt over korrelasjonen mellom de online sensorene og de manuelle målinger av de samme parameterne på laboratoriet. Fra plottet kan det registreres en korrelasjon mellom sensor- og laboratoriemålingene for konduktivitet, i og med at parameterne ligger i samme område. Figur 20 viser at sensorverdiene for konduktivitet følger et dagsmønster og gir stabile resultater. Disse faktorene er med å vurdere konduktivitetssensoren og dens resultater som pålitelige.

I PCA-plottet kan det også observeres en viss negativ korrelasjon mellom sensor- og labverdiene for pH. Parameterne skal helst ligge i nærheten av hverandre, og det gir i utgangspunktet ikke så mye mening at pH-variablene er negativt korrelert. I tillegg ligger pH fra labben innenfor den indre ellipsen, som betyr at det er vanskelig å forklare den strukturelle variasjonen i resultatene. Som nevnt i teorien er pH-verdien avhengig av forholdene målingen tas under. Temperaturen, trykket og strømmingen vil være forskjellig på labben og i avløpsnett, noe som forklare noe av forskjellene i målingene. Figur 19 gir en indikasjon på at målingene til pH-sensoren gir nokså stabile resultater, noe som underbygges i resultatene fra målingene i oppgaven. På bakgrunn av dette betraktes pH-sensoren som pålitelig til bruk i den statistiske analysen.

De siste parameterne i figur 23, turbiditetsmåler fra lab og online turbiditetssensor, ligger et stykke fra hverandre i plottet, og har derfor en lav grad av korrelasjon mellom hverandre. En av årsakene til forskjellen kan observeres fra figur 21, der turbiditetssensoren i ledningsnett viser til store variasjoner i resultatene. Den online turbiditetssensoren har perioder med ekstremverdier, noe resultatene i oppgaven målinger underbygger. Mest sannsynlig skyldes variasjonene og ekstremverdiene komponenter i avløpet som fester seg til sensoren. På den andre siden er det perioder turbiditetssensoren viser til resultater innenfor et forventet området, som f.eks. i perioden fra ca. 31/01-18 til 03/02-18. Årsaken til de gode resultatene skyldes rengjøring av sensoren. På grunn av variasjonene til turbiditetssensoren, har ikke sensoren blitt brukt som prediksjonsvariabel i den statistiske analysen. Turbiditetsmåleren på laboratoriet ga derimot stabile resultater med forventet variasjon i løpet av et døgn, og erstattet derfor turbiditetssensoren som prediksjonsvariabel i det statistiske arbeidet.

Vannmengdemålingene i oppgaven kan i motsetning til de online sensorene ikke valideres gjennom sammenligninger med laboratorieverdier. Ut i fra vannmengderesultatene i målingene, og figur 22, kan det registreres en forventet dagsvariasjon i strømmingen. Disse variasjonene er i tillegg stabile fra dag til dag, og det er derfor god grunn til å stole på resultatene fra vannmengdemåleren.

5.4 Korrelasjon

For å lage soft sensorer med god prediksjonsevne, er det nødvendig med en korrelasjon mellom prediksjonsvariabler og responsvariabler. Fra figur 24 kan det registreres at NH_4 , NO_3 , PO_4 , SS og KOF befinner seg i samme området i plottet. De nærmeste predikasjonsvariablene i dette området er turbiditets- og konduktivitetsvariablene, som betyr at disse variablene kan være viktige for prediksjonen av de nevnte responsvariablene. Variablene SS og KOF ligger etter forventningene nærmest turbiditetsvariablene, i og med at disse variablene er tilknyttet partikler/organisk materiale. I tillegg kan det observeres en negativ korrelasjon mellom vannmengde og konduktivitet, som betyr at vannmengdevariablene også kan ha en god påvirkning på prediksjonen av responsparameterne på lik linje med konduktivitetsvariablene. NO_3 ligger innenfor den indre ellipsen nært sentrum av plote, som betyr at det er liten sammenheng mellom den strukturelle variasjonen i nitrat-verdiene og de andre variablene.

Som nevnt i teoridelen viste en tidligere undersøkelse at turbiditet var en viktig prediksjonsfaktor for SS og TP. Dette samsvarer godt med resultatene fra PCA-plottet i denne oppgaven. I en annen studie var pH en sentral variabel for prediksjon av KOF-verdier. PCA-plottet i figur 24 viser derimot ikke til noe tydelig korrelasjon mellom disse variablene i denne oppgaven.

5.5 Statistiske modeller

De statistiske modellene utviklet i oppgaven utgjør grunnlaget for soft sensorene til de forskjellige parameterne. Som nevnt tidligere i oppgaven har utviklingen av modellene bestått i å fjerne utliggere og variabler. For fjerningen av utliggere har veiledningen fra ”outlier list” i PLSR har vært et hovedgrunnlag. På grunn av et variert datasett listes det opp en rekke prøver som betraktes som utliggere, og fjerning av alle disse punktene ville ikke gitt en reell beskrivelse av det aktuelle datasettet. Derfor har fokuset vært på å fjerne verdiene i

utliggerlisten som har en klar advarsel om at de påvirker modellen i stor grad, samtidig som at de skiller seg fra de andre prøvene ut i PLSR-plott.

For fjerning av variabler har "Important-variables"-plottet fra PLSR vært en god veileder. I noen tilfeller ble det observert at enkelte variabler stod for den klart største forklaringen av responsvariabelen, og de resterende variablene kunne derfor utelukkes fra modellen. SS-modellene er eksempler på dette, der turbiditet og konduktivitet opptrer som de sentrale parametere.

Bakgrunnen for å lage modeller for tørrvær og våtvær var en forventning om at kategoriserte modeller ville gi en bedre prediksjon enn modeller uten kategoriseringer. I noen tilfeller viste dette seg å stemme, men for de fleste parameterne var modellen for alle målingene enten bedre enn, eller bedre enn én av de kategoriserte modellene. En av årsakene kan skyldes størrelsen på datasettene. De kategoriserte datasettene er selvfølgelig mindre enn det totale datasettet, og enkeltprøver i disse settene vil derfor påvirke modellene i større grad. Som nevnt i teoridelen viste en studie til bedre prediksjonsverdier etter å ha utvidet datagrunnlaget til soft sensorene. Utvikling av soft sensorer fra et større datasett ville høyst sannsynlig gi bedre predikasjonsverdier for alle modellene, men kanskje spesielt for de kategoriserte modellene.

Tilknyttet hver estimerte modell i oppgaven er det en R^2 -verdi, som forklarer hvor godt modellen er egnet til å predikere verdier. For målinger i et avløpsrenseanlegg bør ifølge Wang et al. (2017) en modell ha en R^2 -verdi på over 0,7. Hva som er en akseptabel prediksjonsnøyaktighet vil selvfølgelig være avhengig av formålet til modellen. Er formålet å kunne predikere helt nøyaktige konsentrasjoner av parametere i avløpet, vil 0,7 være for lavt. Hvis derimot formålet er å registrere mønster og å få en relativt presis konsentrasjonsberegning i avløpet (slik som i denne oppgaven), vil grensen på 0,7 være tilstrekkelig.

R^2 -verdiene i denne oppgaven ligger stort sett i området fra 0,7 til 0,8, som betyr at flesteparten av modellene kan brukes til prediksjon i avløpsnett. Den beste prediksjonsmodellen er SS-tørrvær, med en R^2 -verdi på 0,85. Til tross for høy R^2 -verdi, har modellen noe varierende prediksjonsresultater fra prediksjonstabellen i vedlegg C. Likevel er ikke prediksjonene så dårlig at et eventuelt mønster ikke ville vært synlig fra prediksjonen.

Andre gode modeller er TP-alle målinger og KOF-våtvær med R^2 -verdier på henholdsvis 0,80 og 0,81. Av dårligere resultater skiller NO_3 -alle målinger og NO_3 -tørrvær seg ut med $R^2=0,31$ og $R^2=0,55$. Disse resultatene var til en viss grad forventet på grunn av varierende NO_3 -resultater med lite strukturelt mønster i målingene, noe som underbygges i PCA-plottet i figur 24. På den andre siden har modellen for NO_3 -våtvær R^2 -verdi på hele 0,77. ”Predicted vs. Reference”-plottet til modellen viser derimot ikke noe tydelig grupperinger langs plottets regresjonslinje, så den gode prediksjonsverdien kan skyldes tilfeldigheter.

Som nevnt tidligere i oppgaven viste en tidligere studie gode resultater ved bruk av den statistiske analysemetoden ANN. For videre arbeid ville det derfor vært interessant å se forskjellen i prediksjonsresultater ved bruk av PLSR og ANN.

6. Konklusjon

Ut i fra resultatene i oppgaven, kan det konkluderes med at det er gode muligheter for å karakterisere avløpsvann i lokale områder av et ledningsnett. Riktig nok krever dette nøyaktige online sensorer og vannmengdemålere. Den online turbiditetssensoren i oppgaven hadde altfor varierende resultater, og kunne dermed ikke brukes som grunnlag for utvikling av soft sensorer. I og med at turbiditetsvariablene korrelerte godt med en rekke responsvariabler, vil det for videre arbeid være helt avgjørende at det oppnås stabile resultater fra turbiditetssensoren. De andre online sensorene og vannmengdemåleren viste stabile resultater.

Datasettene som dannet grunnlag for soft sensorene var i endel tilfeller preget av varierte verdier, der enkeltverdier hadde stor påvirkning på modellene. Et større datasett vil kunne utjevne noe av variasjonene i datasettene, og dermed gi statistiske modeller med mer presise prediksjoner.

Generelt viste soft sensorene for de forskjellige parameterne noe varierende prediksjonsresultater, men flesteparten av modellene hadde R^2 -verdier innenfor et akseptabelt område. Responsvariabelen NO_3 var derimot vanskelig å predikere. Modellene for SS-tørrvær, KOF-våtvær og TP-alle målinger hadde de høyeste R^2 -verdiene på henholdsvis 0,85, 0,81 og 0,80 mens modellen NO_3 -alle målinger hadde den laveste R^2 -verdien på 0,31. R^2 -verdiene til modellene og resultatene i prediksjonstabellen i vedlegg C, viser at de fleste modellene klarer å fange opp variasjoner i avløpet, i tillegg til å gi en grei konsentrasjonsestimering. De kategoriserte soft sensorene viste ikke noe trend i å ha noe bedre prediksjonsresultater enn soft sensorene for hele datasettet. Trolig ville et større datagrunnlag kunne gitt en tydeligere forbedring av disse modellene.

7. Referanser

- Abdi, H. (2003). Partial Least Squares (PLS) Regression. The University of Texas at Dallas.
- Abyaneh, H. (2014). Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12 (40).
- Bioscience. (2016). *Nitrification (Ammonia Oxidation) In Wastewater Treatment Plants*. Tilgjengelig fra: <https://www.bioscienceinc.com/wp-content/uploads/2016/03/Nitrification-Ammonia-Oxidation-in-Wastewater-Treatment-Plants-1.pdf> (lest 18.04.18).
- CAMO. (2014). *The Unscrambler® X*. 10.5 utg.
- Castle, N. (2017). *Supervised vs. Unsupervised Machine Learning*. Tilgjengelig fra: <https://www.datascience.com/blog/supervised-and-unsupervised-machine-learning-algorithms> (lest 09.05.18).
- Chai, T. & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci.*
- Dihva. (2012). *BOF, KOF, SS og andre parameter*. Tilgjengelig fra: http://dihva.no/akkreditert_pr_vetaking/fagsamlinger/content_2/text_9cc884e3-7c4b-47ec-8837-800ec9306f3d/1336549883612/kof_bof_ss_og_andre_parameter_08_05_12.pdf (lest 27.02.18).
- Doraiswami, R. & Cheded, L. (2014). ROBUST MODEL-BASED SOFT SENSOR: DESIGN AND APPLICATION. 47 (3): 5491-5496.
- DSD. (2009). *multivariat analyse*. Tilgjengelig fra: http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Matematik_og_statistik/Teoretisk_statistik/multivariat_analyse (lest 27.02.18).
- Dvergsdal, H. (2017). *nevralt nettverk*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/nevralt_netverk (lest 15.03.18).
- EasyChem. (2009a). *Nitrate*.
- EasyChem. (2009b). *Ortho-Phosphate*.
- EasyChem. (2010). *Ammonia*.
- Eid, G. (2016). *Avløp*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskvann.no/index.php/avlop/generelthttps://www.norskvann.no/index.php/avlop/generelt> (lest 12.04.18).
- Fladberg, E. (2013). *Perfeksjonèr pH-målingene!* Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/vaeskeanalyse-perfeksjoner-ph-malingene/218705> (lest 07.04.18).
- Frøslie, K. F. (2018). *korrelasjon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/korrelasjon> (lest 10.04.18).
- Galloway, J. (2014). Continuous Water-Quality Monitoring and Regression Analysis to Estimate Constituent Concentrations and Loads in the Red River of the North at Fargo and Grand Forks, North Dakota, 2003–12. *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2014–5064*.
- Hyndsight, R. J. (2010). *Why every statistician should know about cross-validation*. Tilgjengelig fra: <https://robjhyndman.com/hyndsight/crossvalidation/> (lest 20.04.18).
- ISCO. (2013). 3700 Portable Samplers.
- Johnson, R. & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6. utg.: Pearson Prentice Hall.

- Kadlec, P. & Gabrys, B. (2009). Soft sensors: where are we and what are the current and future challenges? . 42 (19): 572-579.
- Kadlec, P., Gabrys, B. & Strandt, S. (2009). Data-driven Soft Sensors in the process industry. *Computers and Chemical Engineering*, 33 (4): 795-814.
- Lee, E., Han, S. & Kim, H. (2013). Development of Software Sensors for Determining Total Phosphorus and Total Nitrogen in Waters. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10 (1): 219-236.
- Lindblad, U. & Backö, J. (2012). Undersøkningsmetoder for att hitta källorna till tillskottsvatten. *Rapport fra Svenskt Vatten Utveckling 13/2012*.
- Lindholm, O. G. & Bjerkholdt, J. T. (2011). Store fremmedvannmengder i norske avløpsrensaneanlegg.
- Liu, R. X., Kuang, J., Gong, Q. & Hou, X. L. (2002). Principal component regression analysis with SPSS. 71 (2): 141-147.
- Mathworks. (u.å.). *Supervised Learning*. Tilgjengelig fra: <https://se.mathworks.com/discovery/supervised-learning.html> (lest 09.05.18).
- Milhøj, A. (2017). *residual: Den Store Danske*. Tilgjengelig fra: <http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=150575> (lest 26.04.18).
- Ponsel. (2013a). C4E : CONDUCTIVITY/SALINITY: PONSEL MESURE – Group AQUALABO.
- Ponsel. (2013b). NEPHELOMETRIC TURBIDITY: PONSEL Mesure – GroupAqualabo.
- Ponsel. (2013c). PHEHT : PH, REDOX & TEMPERATURE: PONSEL Mesure – Group Aqualabo.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. & Clesceri, L. S. (2012). *Standard Methods – For the Examination of Water and Wastewater*. 22. utg.
- Ryberg, K. R. (2006). Continuous Water-Quality Monitoring and Regression Analysis to Estimate Constituent Concentrations and Loads in the Red River of the North, Fargo, North Dakota, 2003-05. *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5241*.
- Sneip, H. D. (2017). *Optimalisering av fellingsprosessen ved Solumstrand rensaneanlegg: Muligheter og utfordringer*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige Universitet.
- Sola, K. J. (2018). *kart over Vakåsområdet* (e-post til Kristin J. Sola 09.04.18).
- SSB. (2017). *Befolkning*. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/kommunefakta/asker> (lest 23.02.18).
- Stephanie. (2018). *Statistics How To*. Tilgjengelig fra: <http://www.statisticshowto.com/statistical-noise/> (lest 19.04.18).
- Storhaug, R. (2011). *Prøvetaking av avløpsvann og slam: Norsk Vann*.
- Taylor, J. R. (1997). *Error Analysis*. 2. utg.: University Science Books.
- 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. 193: 1-7.
- Wise, B. M. (u.å.). *Properties of Partial Least Squares (PLS) Regression, and differences between Algorithms*. Tilgjengelig fra: http://www.eigenvector.com/Docs/Wise_pls_properties.pdf (lest 12.04.18).
- Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg.: Norsk Vann.

Vedlegg A: Stock-løsninger og reagenser

Ammonium Stock-løsninger		
Stock A – Phenol	Stock B – EDTA	Stock C - Nitroferricyanide 0.05 %
Solid or Liquefied Phenol (88%), C ₆ H ₅ OH - 8.30 g Sodium hydroxide - 3.207 g DI vann - til 100 mL	Disodium EDTA - 5.0 g DI vann - til 100 mL	Sodium Nitroferricyanide - 0.05 g DI vann - til 100 mL
Stabil 2 uker	Stabil 2 uker	Stabil 1 uke

Ammonium reagenser	
R1	R2
Stock A Phenol - 6 mL Stock B EDTA - 6 mL Stock C Nitroferricyanide - 8 mL	Sodium hypochlorite 14 % - 17.90 mL DI vann - til 100 mL
Stabil 3 dager	Stabil 2 dager

Nitrat Stock-løsninger		
Cupric Sulfate Stock 0.05 %	Sodium Hydroxide NaOH 0.4N stock	Hydrazine Sulfate 0.6 % stock
Cupric Sulfate - 0.05 g DI vann - til 100 mL	Sodium hydroxide - 8 g DI water - til 500 mL	Hydraxine Sulfate - 0.6 g DI vann - til 100 mL
Stabil	Stabil	Stabil 1 uke

Nitrat reagenser		
R1	R2	R3
Cupric Sulfate Stock 0.05 % - 5 mL DI vann - til 100 mL	Hydrazine Sulfate 0.6 % stock - 20 mL Sodium Hydroxide NaOH 0.4N stock - til 100 mL	Sulfanilamide - 1.0 g Hydrochloric Acid, conc - 5 mL N-1-naphthylethylenediamine dihydrochloride - 0.1 g DI vann - til 100 mL
Stabil	2 dager	4 uker

Ortofosfat Stock-løsninger		
Molybdate Stock	Sulfuric Acid (5N) Stock	Antimony Stock
Sodium molybdate - 2.22 g DI vann - til 100 mL	Sulfuric Acid (Conc.) - 14 mL DI vann - til 100 mL	Potassium antimony (III) oxide tartrate trihydrate - 0.3 g DI vann - til 100 mL
Stabil	Stabil	Stabil 4 uker

Ortofosfat reagenter	
R1	R2
Molybdate Stock - 15 mL Sulfuric Acid (5N) Stock - 50 mL Antimony Stock - 5 mL	Ascorbic Acid - 1.810 g DI vann - til 100 mL
Stabil	Stabil

Vedlegg B: Målingeresultater

Måling 1

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
11	7.90	7.88	236	109.2	637	464	12.2	22.225	0.005	6.874	12.2078	526	979.0
12	7.50	7.75	120	89.0	588	456	11.9	21.162	-0.06	4.302	7.1214	316	548.0
13	7.60	7.74	68.6	75.5	584	452	12.6	1.316	0.239	2.721	4.1756	154	413.0
14	7.50	7.81	67.2	145.2	534	454	11.6	1.850	0.014	2.085	4.0524	240	394.0
15	8.00	7.78	78.3	103.5	636	470	11.0	27.603	0.08	3.266	5.203	270	470.0
16	7.79	7.81	61.9	104.5	567	486	11.7	19.793	0.071	1.699	3.1152	164	408.0
17	7.60	7.84	51.8	470.6	506	493	12.4	16.060	0.119	1.621	3.2912	158	262.0
18	7.70	7.78	114	997.8	565	495	12.8	17.585	0.126	3.106	4.554	260	535.0
19	7.40	7.68	89	277.4	569	457	12.9	13.997	0.012	1.151	3.5354	228	529.0
20	8.00	7.76	73	158.6	611	466	12.7	22.908	0.062	2.469	3.7312	152	313.0
21	7.70	7.79	71.5	84.3	533	468	12.7	17.128	0.079	1.677	3.0228	152	320.0
22	8.00	7.81	73.5	106.7	570	480	12.8	23.743	0.129	2.347	3.6696	142	346.0
23	8.20	7.78	52.9	82.9	595	481	11.6	24.879	0.13	2.526	3.5596	126	235.0
24	8.25	7.73	28	159.4	504	470	9.6	19.032	0.152	1.756	2.3518	90	138.0
1	8.40	7.65	17.2	61.9	454	427	8.9	14.838	0.181	0.965	1.5004	82	90.7
2	8.30	7.60	7.6	45.2	424	385	8.8	12.391	0.123	0.81	0.9812	58	67.7
3	8.30	7.60	4	34.2	429	364	8.0	10.168	0.178	0.702	0.8426	30	31.3
4	8.30	7.68	4.57	25.7	397	354	8.7	9.401	0.063	0.4	0.682	52	53.4
5	8.30	7.69	4.2	26.1	412	353	8.1	10.475	0.154	1.006	0.9416	42	51.3
6	8.40	7.77	22.3	63.9	521	383	11.4	20.250	0.243	2.073	3.2406	88	106.0
7	8.80	7.93	83	107.6	571	479	15.4	30.320	0.246	5.246	8.3072	290	141.0
8	8.80	8.01	57	359.4	588	552	13.0	35.286	0.165	4.766	6.0742	168	327.0
9	8.70	7.80	72.7	190.0	523	500	12.1	26.091	0.152	3.175	4.8532	164	209.0
10	8.50	7.83	52.3	113.7	451	453	11.7	18.042	0.13	1.571	2.5674	134	299.0

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
121	62.09	55696	215296	148.84	86.68	2596	5104	134.2	1859.68	3656.32	96.136	109504	2879.2	5660.8
144	60.06	14400	207936	141.61	93	1440	5472	142.8	930	3534	92.225	54720	1428	5426.4
169	59.91	4705.96	204304	158.76	100.62	891.8	5876	163.8	530.964	3498.48	97.524	31007.2	864.36	5695.2
196	61	4515.84	206116	134.56	109.34	940.8	6356	162.4	524.832	3545.74	90.596	30508.8	779.52	5266.4
225	60.53	6130.89	220900	121	116.7	1174.5	7050	165	609.174	3656.6	85.58	36801	861.3	5170
256	61	3831.61	236196	136.89	124.96	990.4	7776	187.2	483.439	3795.66	91.377	30083.4	724.23	5686.2
289	61.47	2683.24	243049	153.76	133.28	880.6	8381	210.8	406.112	3865.12	97.216	25537.4	642.32	6113.2
324	60.53	12996	245025	163.84	140.04	2052	8910	230.4	886.92	3851.1	99.584	56430	1459.2	6336
361	58.98	7921	208849	166.41	145.92	1691	8683	245.1	683.52	3509.76	99.072	40673	1148.1	5895.3
400	60.22	5329	217156	161.29	155.2	1460	9320	254	566.48	3616.16	98.552	34018	927.1	5918.2
441	60.68	5112.25	219024	161.29	163.59	1501.5	9828	266.7	556.985	3645.72	98.933	33462	908.05	5943.6
484	61	5402.25	230400	163.84	171.82	1617	10560	281.6	574.035	3748.8	99.968	35280	940.8	6144
529	60.53	2798.41	231361	134.56	178.94	1216.7	11063	266.8	411.562	3742.18	90.248	25444.9	613.64	5579.6
576	59.75	784	220900	92.16	185.52	672	11280	230.4	216.44	3633.1	74.208	13160	268.8	4512
1	58.52	295.84	182329	79.21	7.65	17.2	427	8.9	131.58	3266.55	68.085	7344.4	153.08	3800.3
4	57.76	57.76	148225	77.44	15.2	15.2	770	17.6	57.76	2926	66.88	2926	66.88	3388
9	57.76	16	132496	64	22.8	12	1092	24	30.4	2766.4	60.8	1456	32	2912
16	58.98	20.8849	125316	75.69	30.72	18.28	1416	34.8	35.0976	2718.72	66.816	1617.78	39.759	3079.8
25	59.14	17.64	124609	65.61	38.45	21	1765	40.5	32.298	2714.57	62.289	1482.6	34.02	2859.3
36	60.37	497.29	146689	129.96	46.62	133.8	2298	68.4	173.271	2975.91	88.578	8540.9	254.22	4366.2
49	62.88	6889	229441	237.16	55.51	581	3353	107.8	658.19	3798.47	122.122	39757	1278.2	7376.6
64	64.16	3249	304704	169	64.08	456	4416	104	456.57	4421.52	104.13	31464	741	7176
81	60.84	5285.29	250000	146.41	70.2	654.3	4500	108.9	567.06	3900	94.38	36350	879.67	6050
100	61.31	2735.29	205209	136.89	78.3	523	4530	117	409.509	3546.99	91.611	23691.9	611.91	5300.1

Måling 2:

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
10	7.83	6.95	31.9	651.4	478	414	19.3	11.074	0.223	1.426	2.684	94	125.0
11	7.54	6.92	34.9	846.1	511	417	19.5	9.640	0.087	1.095	1.749	88	126.0
12	7.50	6.89	44.3	1343.0	464	423	19.6	6.597	0.086	0.948	1.7094	98	184.0
13	7.50	6.87	31.4	1590.4	453	426	20.2	8.305	0.182	0.954	1.6566	100	180.0
14	7.54	6.86	65	2473.6	548	436	21.3	10.160	0.125	1.052	2.0922	114	234.0
15	7.86	6.86	45.2	1835.2	593	451	24.2	14.446	0.157	1.784	2.6818	136	171.0
16	7.60	6.86	45.7	895.0	502	462	26.0	10.869	0.234	1.318	2.0548	98	155.0
17	7.78	6.86	51.1	844.2	494	466	29.3	9.712	0.184	1.193	2.0746	104	200.0
18	7.35	6.87	67.4	368.7	450	461	31.8	7.392	0.143	1.24	2.6466	286	320.0
19	7.62	6.88	63.4	297.5	495	457	33.2	10.260	0.205	1.511	3.0448	176	231.0
20	7.44	6.83	50.9	507.8	444	462	34.7	6.626	0.236	0.975	1.9228	118	188.0
21	7.57	6.82	57	368.2	460	465	36.5	8.031	0.24	1.261	2.3958	166	223.0
22	7.60	6.98	66.1	325.6	453	464	37.2	6.868	0.293	0.934	2.1472	112	193.0
23	7.54	7.47	47.6	394.9	439	461	37.0	6.282	0.317	0.998	1.6544	132	176.0
24	7.55	7.52	25	682.0	402	415	37.3	3.671	0.408	0.434	0.913	50	73.8
1	7.66	7.48	19.2	270.3	402	396	37.5	2.533	0.411	0.298	0.4246	42	27.1
2	7.80	7.44	19.6	634.5	419	396	37.7	3.791	0.438	0.388	0.4862	44	60.7
3	7.76	7.36	13.1	548.3	399	387	37.1	1.964	0.417	0.231	0.275	22	33.0
4	7.72	7.18	11.5	171.0	405	379	36.8	1.774	0.421	0.175	0.2486	38	30.9
5	7.77	7.51	8.94	244.1	420	371	39.5	2.427	0.462	0.311	0.308	38	29.0
6	8.00	7.69	11.4	533.6	425	368	41.8	2.919	0.467	0.369	0.5104	46	44.1
7	7.74	7.71	27.3	391.8	448	387	38.8	6.436	0.467	1.217	1.8458	64	98.0
8	7.78	7.75	43.4	897.3	460	406	38.6	6.597	0.467	1.606	2.4882	90	177.0
9	7.76	7.82	39.1	3620.3	446	392	38.1	4.917	0.517	0.939	2.0768	120	163.0

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
100	48.3	1017.61	171396	372.49	69.5	319	4140	193	221.705	2877.3	134.135	13206.6	615.67	7990.2
121	47.89	1218.01	173889	380.25	76.12	383.9	4587	214.5	241.508	2885.64	134.94	14553.3	680.55	8131.5
144	47.47	1962.49	178929	384.16	82.68	531.6	5076	235.2	305.227	2914.47	135.044	18738.9	868.28	8290.8
169	47.2	985.96	181476	408.04	89.31	408.2	5538	262.6	215.718	2926.62	138.774	13376.4	634.28	8605.2
196	47.06	4225	190096	453.69	96.04	910	6104	298.2	445.9	2990.96	146.118	28340	1384.5	9286.8
225	47.06	2043.04	203401	585.64	102.9	678	6765	363	310.072	3093.86	166.012	20385.2	1093.84	10914.2
256	47.06	2088.49	213444	676	109.76	731.2	7392	416	313.502	3169.32	178.36	21113.4	1188.2	12012
289	47.06	2611.21	217156	858.49	116.62	868.7	7922	498.1	350.546	3196.76	200.998	23812.6	1497.23	13653.8
324	47.2	4542.76	212521	1011.24	123.66	1213.2	8298	572.4	463.038	3167.07	218.466	31071.4	2143.32	14659.8
361	47.33	4019.56	208849	1102.24	130.72	1204.6	8683	630.8	436.192	3144.16	228.416	28973.8	2104.88	15172.4
400	46.65	2590.81	213444	1204.09	136.6	1018	9240	694	347.647	3155.46	237.001	23515.8	1766.23	16031.4
441	46.51	3249	216225	1332.25	143.22	1197	9765	766.5	388.74	3171.3	248.93	26505	2080.5	16972.5
484	48.72	4369.21	215296	1383.84	153.56	1454.2	10208	818.4	461.378	3238.72	259.656	30670.4	2458.92	17260.8
529	55.8	2265.76	212521	1369	171.81	1094.8	10603	851	355.572	3443.67	276.39	21943.6	1761.2	17057
576	56.55	625	172225	1391.29	180.48	600	9960	895.2	188	3120.8	280.496	10375	932.5	15479.5
1	55.95	368.64	156816	1406.25	7.48	19.2	396	37.5	143.616	2962.08	280.5	7603.2	720	14850
4	55.35	384.16	156816	1421.29	14.88	39.2	792	75.4	145.824	2946.24	280.488	7761.6	738.92	14929.2
9	54.17	171.61	149769	1376.41	22.08	39.3	1161	111.3	96.416	2848.32	273.056	5069.7	486.01	14357.7
16	51.55	132.25	143641	1354.24	28.72	46	1516	147.2	82.57	2721.22	264.224	4358.5	423.2	13947.2
25	56.4	79.9236	137641	1560.25	37.55	44.7	1855	197.5	67.1394	2786.21	296.645	3316.74	353.13	14654.5
36	59.14	129.96	135424	1747.24	46.14	68.4	2208	250.8	87.666	2829.92	321.442	4195.2	476.52	15382.4
49	59.44	745.29	149769	1505.44	53.97	191.1	2709	271.6	210.483	2983.77	299.148	10565.1	1059.24	15015.6
64	60.06	1883.56	164836	1489.96	62	347.2	3248	308.8	336.35	3146.5	299.15	17620.4	1675.24	15671.6
81	61.15	1528.81	153664	1451.61	70.38	351.9	3528	342.9	305.762	3065.44	297.942	15327.2	1489.71	14935.2

Måling 3:

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
15	7.73	7.81	16	135.3	593	492	18.8	8.687	1.94	0.456	1.397	62	92.8
16	8.28	7.78	18.3	915.9	464	482	19.3	8.759	2.14	0.502	1.221	40	58.2
17	7.74	7.76	26.4	168.8	462	476	19.6	9.547	1.94	0.703	1.9008	42	98.1
18	7.88	7.77	99.7	368.2	556	477	18.7	11.947	1.96	0.863	2.3342	92	204.0
19	7.66	7.78	33.7	96.1	459	471	18.3	8.658	1.994	0.523	1.3024	66	137.0
20	7.56	7.87	30.4	463.0	461	466	17.7	9.010	2.081	0.527	1.485	76	116.0
21	8.04	7.83	44.5	236.5	533	461	16.5	11.876	1.869	0.981	2.706	152	180.0
22	7.92	7.82	45.4	938.9	507	465	16.3	10.593	2.039	0.711	1.8722	114	163.0
23	7.91	7.87	22.4	72.3	491	463	15.9	9.569	2.055	0.578	1.5554	80	118.0
24	8.16	7.85	15.8	218.8	495	464	15.4	9.555	2.208	0.815	1.7116	62	81.0
1	7.93	7.84	14.7	212.9	449	462	14.2	6.992	2.359	0.499	1.188	80	82.9
2	7.96	7.87	25.1	992.2	460	460	13.7	6.568	2.198	0.483	1.1264	96	68.0
3	8.31	7.85	11.9	153.9	445	453	13.6	4.210	2.355	0.44	0.7018	46	63.5
4	8.33	7.86	9.4	195.4	421	435	13.4	3.258	2.498	0.333	0.5874	58	71.2
5	7.83	7.91	8.4	64.1	404	423	13.2	2.496	2.487	0.269	0.4488	60	30.9
6	8.18	7.88	4.5	211.9	411	410	13.4	2.753	2.474	0.327	0.506	54	25.0
7	7.86	7.87	12.8	65.8	430	408	13.9	6.010	2.401	0.638	1.2518	70	55.8
8	8.46	7.90	36.4	836.9	518	418	15.8	10.331	2.197	1.38	4.6486	124	99.5
9	7.91	7.92	68	284.5	523	442	18.2	10.487	1.676	1.469	3.5904	188	223.0
10	7.75	7.98	63	589.2	487	466	19.5	9.890	2.099	0.964	2.7082	144	208.0
11	8.23	7.89	37.8	411.4	528	488	18.6	11.848	2.143	1.432	4.1492	124	130.0
12	8.10	7.85	53.6	375.9	531	495	19.0	11.448	1.99	1.462	4.3802	208	233.0
13	7.94	7.84	87	352.1	506	507	18.7	9.075	1.755	1.114	3.4474	196	280.0
14	7.66	7.86	42	136.8	504	500	18.4	9.182	1.939	0.961	2.3056	92	198.0

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
225	61	256	242064	353.44	117.15	240	7380	282	124.96	3842.52	146.828	7872	300.8	9249.6
256	60.53	334.89	232324	372.49	124.48	292.8	7712	308.8	142.374	3749.96	150.154	8820.6	353.19	9302.6
289	60.22	696.96	226576	384.16	131.92	448.8	8092	333.2	204.864	3693.76	152.096	12566.4	517.44	9329.6
324	60.37	9940.09	227529	349.69	139.86	1794.6	8586	336.6	774.669	3706.29	145.299	47556.9	1864.39	8919.9
361	60.53	1135.69	221841	334.89	147.82	640.3	8949	347.7	262.186	3664.38	142.374	15872.7	616.71	8619.3
400	61.94	924.16	217156	313.29	157.4	608	9320	354	239.248	3667.42	139.299	14166.4	538.08	8248.2
441	61.31	1980.25	212521	272.25	164.43	934.5	9681	346.5	348.435	3609.63	129.195	20514.5	734.25	7606.5
484	61.15	2061.16	216225	265.69	172.04	998.8	10230	358.6	355.028	3636.3	127.466	21111	740.02	7579.5
529	61.94	501.76	214369	252.81	181.01	515.2	10649	365.7	176.288	3643.81	125.133	10371.2	356.16	7361.7
576	61.62	249.64	215296	237.16	188.4	379.2	11136	369.6	124.03	3642.4	120.89	7331.2	243.32	7145.6
1	61.47	216.09	213444	201.64	7.84	14.7	462	14.2	115.248	3622.08	111.328	6791.4	208.74	6560.4
4	61.94	630.01	211600	187.69	15.74	50.2	920	27.4	197.537	3620.2	107.819	11546	343.87	6302
9	61.62	141.61	205209	184.96	23.55	35.7	1359	40.8	93.415	3556.05	106.76	5390.7	161.84	6160.8
16	61.78	88.36	189225	179.56	31.44	37.6	1740	53.6	73.884	3419.1	105.324	4089	125.96	5829
25	62.57	70.56	178929	174.24	39.55	42	2115	66	66.444	3345.93	104.412	3553.2	110.88	5583.6
36	62.09	20.25	168100	179.56	47.28	27	2460	80.4	35.46	3230.8	105.592	1845	60.3	5494
49	61.94	163.84	166464	193.21	55.09	89.6	2856	97.3	100.736	3210.96	109.393	5222.4	177.92	5671.2
64	62.41	1324.96	174724	249.64	63.2	291.2	3344	126.4	287.56	3302.2	124.82	15215.2	575.12	6604.4
81	62.73	4624	195364	331.24	71.28	612	3978	163.8	538.56	3500.64	144.144	30056	1237.6	8044.4
100	63.68	3969	217156	380.25	79.8	630	4660	195	502.74	3718.68	155.61	29358	1228.5	9087
121	62.25	1428.84	238144	345.96	86.79	415.8	5368	204.6	298.242	3850.32	146.754	18446.4	703.08	9076.8
144	61.62	2872.96	245025	361	94.2	643.2	5940	228	420.76	3885.75	149.15	26532	1018.4	9405
169	61.47	7569	257049	349.69	101.92	1131	6591	243.1	682.08	3974.88	146.608	44109	1626.9	9480.9
196	61.78	1764	250000	338.56	110.04	588	7000	257.6	330.12	3930	144.624	21000	772.8	9200

Måling 4:

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
11	7.30	8.14	82.2	2430.8	540	468	14.8	13.507	0.945	1.144	3.762	276.6667	418.0
12	7.37	7.73	72.9	2149.4	508	469	14.7	12.192	1.26	1.275	4.9874	136.6667	436.0
13	7.67	7.80	55	1158.8	590	462	14.8	17.275	1.654	1.737	3.2428	100	622.0
14	7.45	7.74	42.3	3344.9	517	465	14.5	14.122	1.674	1.697	2.5982	120	283.0
15	7.56	7.72	24.1	2250.5	520	461	14.1	13.528	2.15	1.031	1.4982	40	683.0
16	7.55	7.72	98.9	3649.2	631	466	14.3	19.682	1.447	1.75	3.7686	200	213.0
17	7.52	7.69	66.2	1711.3	550	475	15.5	15.036	1.9	1.572	2.6048	70	530.0
18	7.49	7.69	78.4	3828.2	565	485	15.7	15.350	1.596	1.837	3.4848	186.6667	302.0
19	7.59	7.68	60	4746.0	576	488	16.2	15.029	1.72	1.432	2.1604	130	258.0
20	7.85	7.67	65.8	5535.5	588	495	16.1	15.405	1.933	1.935	3.0778	126.6667	159.0
21	7.50	7.63	45.7	3887.4	565	495	15.9	12.429	2.097	1.468	2.1274	90	273.0
22	7.60	7.59	38.5	4796.0	556	497	15.7	12.066	2.1	1.685	2.2506	80	124.0
23	7.74	7.67	45.9	1925.0	547	497	14.2	14.349	2.207	1.887	2.6312	93.33333	142.0
24	7.62	7.70	32.1	6905.0	520	494	12.1	12.660	2.328	2.104	2.7786	60	184.0
1	7.75	7.67	13.3	4276.8	498	485	10.4	8.226	2.421	0.86	0.9438	20	101.0
2	7.73	7.58	6.5	4831.4	441	474	10.2	3.911	2.301	0.376	0.3938	113.3333	94.7
3	7.74	7.70	13.2	4624.5	458	455	10.0	5.221	2.409	0.882	0.9966	16.66667	95.5
4	7.80	7.65	2.78	3570.3	454	440	10.1	4.969	2.331	0.736	0.7304	16.66667	44.2
5	7.84	7.61	4	4788.2	452	428	10.5	5.302	2.365	0.776	0.7788	20	53.0
6	7.86	7.60	11.1	2805.5	490	412	15.0	7.734	2.465	1.736	1.9822	46.66667	33.5
7	7.84	7.71	53.3	3438.6	538	431	19.1	15.786	2.39	4.3	5.2558	130	104.0
8	7.87	7.73	53.7	3977.9	511	467	16.3	15.875	2.225	2.719	3.9446	163.3333	189.0
9	8.06	7.80	64	805.0	556	484	15.1	16.160	2.267	2.032	4.5034	180	322.0
10	7.71	7.73	60	3067.5	485	497	15.0	12.073	2.215	1.735	2.915	140	367.0

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
121	66.26	6756.84	219024	219.04	89.54	904.2	5148	162.8	669.108	3809.52	120.472	38469.6	1216.56	6926.4
144	59.75	5314.41	219961	216.09	92.76	874.8	5628	176.4	563.517	3625.37	113.631	34190.1	1071.63	6894.3
169	60.84	3025	213444	219.04	101.4	715	6006	192.4	429	3603.6	115.44	25410	814	6837.6
196	59.91	1789.29	216225	210.25	108.36	592.2	6510	203	327.402	3599.1	112.23	19669.5	613.35	6742.5
225	59.6	580.81	212521	198.81	115.8	361.5	6915	211.5	186.052	3558.92	108.852	11110.1	339.81	6500.1
256	59.6	9781.21	217156	204.49	123.52	1582.4	7456	228.8	763.508	3597.52	110.396	46087.4	1414.27	6663.8
289	59.14	4382.44	225625	240.25	130.73	1125.4	8075	263.5	509.078	3652.75	119.195	31445	1026.1	7362.5
324	59.14	6146.56	235225	246.49	138.42	1411.2	8730	282.6	602.896	3729.65	120.733	38024	1230.88	7614.5
361	58.98	3600	238144	262.44	145.92	1140	9272	307.8	460.8	3747.84	124.416	29280	972	7905.6
400	58.83	4329.64	245025	259.21	153.4	1316	9900	322	504.686	3796.65	123.487	32571	1059.38	7969.5
441	58.22	2088.49	245025	252.81	160.23	959.7	10395	333.9	348.691	3776.85	121.317	22621.5	726.63	7870.5
484	57.61	1482.25	247009	246.49	166.98	847	10934	345.4	292.215	3772.23	119.163	19134.5	604.45	7802.9
529	58.83	2106.81	247009	201.64	176.41	1055.7	11431	326.6	352.053	3811.99	108.914	22812.3	651.78	7057.4
576	59.29	1030.41	244036	146.41	184.8	770.4	11856	290.4	247.17	3803.8	93.17	15857.4	388.41	5977.4
1	58.83	176.89	235225	108.16	7.67	13.3	485	10.4	102.011	3719.95	79.768	6450.5	138.32	5044
4	57.46	42.25	224676	104.04	15.16	13	948	20.4	49.27	3592.92	77.316	3081	66.3	4834.8
9	59.29	174.24	207025	100	23.1	39.6	1365	30	101.64	3503.5	77	6006	132	4550
16	58.52	7.7284	193600	102.01	30.6	11.12	1760	40.4	21.267	3366	77.265	1223.2	28.078	4444
25	57.91	16	183184	110.25	38.05	20	2140	52.5	30.44	3257.08	79.905	1712	42	4494
36	57.76	123.21	169744	225	45.6	66.6	2472	90	84.36	3131.2	114	4573.2	166.5	6180
49	59.44	2840.89	185761	364.81	53.97	373.1	3017	133.7	410.943	3323.01	147.261	22972.3	1018.03	8232.1
64	59.75	2883.69	218089	265.69	61.84	429.6	3736	130.4	415.101	3609.91	125.999	25077.9	875.31	7612.1
81	60.84	4096	234256	228.01	70.2	576	4356	135.9	499.2	3775.2	117.78	30976	966.4	7308.4
100	59.75	3600	247009	225	77.3	600	4970	150	463.8	3841.81	115.95	29820	900	7455

Måling 5:

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
11	7.19	7.61	87	908.3	608	499	16.3	71.536	0.626	2.208	4.3252	176.6667	397.0
12	7.11	7.55	127	961.0	589	509	16.0	77.964	0.333	2.605	5.2558	236.6667	255.0
13	7.45	7.52	62	1293.6	564	509	15.0	71.322	0.704	1.892	3.7664	153.3333	236.0
14	7.11	7.52	53.4	1552.9	484	498	14.5	54.538	0.665	0.773	3.3066	143.3333	202.0
15	7.23	7.52	70.6	2102.7	537	485	15.0	60.680	0.596	1.073	0.836	166.6667	111.0
16	7.44	7.51	38.6	1737.5	484	469	15.1	52.896	0.999	0.633	1.4674	93.33333	466.0
17	7.57	7.49	59.4	1196.2	556	456	15.4	63.180	1.148	1.365	3.6058	136.6667	184.0
18	7.20	7.46	58.5	938.0	505	446	15.9	62.609	0.88	1.158	1.9844	176.6667	270.0
19	7.49	7.49	42.8	387.0	645	459	14.4	68.679	1.034	2.109	-0.0154	90	107.0
20	7.72	7.51	29.5	394.0	602	466	14.1	71.536	1.328	1.629	2.2022	56.66667	116.0
21	7.45	7.48	51.4	192.4	532	471	13.2	59.038	1.573	1.273	1.7402	110	269.0
22	7.55	7.49	25.2	2197.6	528	475	13.0	59.038	1.727	1.346	1.4806	50	193.0
23	7.69	7.55	27.3	865.5	566	468	13.3	61.038	1.882	2.435	2.9392	63.33333	222.0
24	7.68	7.53	31.8	846.3	555	475	12.5	55.395	2.091	2.268	2.6884	110	159.0
1	7.77	7.48	17	372.9	499	473	10.8	67.108	1.759	1.072	1.3992	20	65.2
2	7.83	7.40	19.4	1014.9	496	452	10.1	54.824	1.964	1.412	1.5972	43.33333	35.0
3	7.64	7.42	6.7	411.3	432	438	10.0	43.040	2.084	0.575	0.5412	20	68.5
4	7.72	7.53	4.17	975.7	448	425	10.0	43.683	2.139	0.828	0.7414	3.333333	27.3
5	7.76	7.54	7.06	481.1	450	414	9.6	44.825	2.126	0.748	0.77	10	32.0
6	7.87	7.39	4.86	1070.3	431	402	9.8	40.683	2.089	0.436	4.07	3.333333	91.0
7	7.85	7.48	17.4	410.0	488	405	11.2	49.325	1.986	2.025	2.4156	46.66667	187.0
8	7.84	7.68	38.7	2521.8	527	430	13.1	57.895	2.047	2.73	3.4122	100	447.0
9	8.20	7.69	72.5	2382.7	561	469	15.2	62.823	1.725	2.793	3.7114	170	238.0
10	7.74	7.62	80	1571.6	541	497	16.2	69.322	1.52	3.671	4.7234	180	331.0

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
121	57.91	7569	249001	265.69	83.71	957	5489	179.3	662.07	3797.39	124.043	43413	1418.1	8133.7
144	57	16129	259081	256	90.6	1524	6108	192	958.85	3842.95	120.8	64643	2032	8144
169	56.55	3844	259081	225	97.76	806	6617	195	466.24	3827.68	112.8	31558	930	7635
196	56.55	2851.56	248004	210.25	105.28	747.6	6972	203	401.568	3744.96	109.04	26593.2	774.3	7221
225	56.55	4984.36	235225	225	112.8	1059	7275	225	530.912	3647.2	112.8	34241	1059	7275
256	56.4	1489.96	219961	228.01	120.16	617.6	7504	241.6	289.886	3522.19	113.401	18103.4	582.86	7081.9
289	56.1	3528.36	207936	237.16	127.33	1009.8	7752	261.8	444.906	3415.44	115.346	27086.4	914.76	7022.4
324	55.65	3422.25	198916	252.81	134.28	1053	8028	286.2	436.41	3327.16	118.614	26091	930.15	7091.4
361	56.1	1831.84	210681	207.36	142.31	813.2	8721	273.6	320.572	3437.91	107.856	19645.2	616.32	6609.6
400	56.4	870.25	217156	198.81	150.2	590	9320	282	221.545	3499.66	105.891	13747	415.95	6570.6
441	55.95	2641.96	221841	174.24	157.08	1079.4	9891	277.2	384.472	3523.08	98.736	24209.4	678.48	6217.2
484	56.1	635.04	225625	169	164.78	554.4	10450	286	188.748	3557.75	97.37	11970	327.6	6175
529	57	745.29	219024	176.89	173.65	627.9	10764	305.9	206.115	3533.4	100.415	12776.4	363.09	6224.4
576	56.7	1011.24	225625	156.25	180.72	763.2	11400	300	239.454	3576.75	94.125	15105	397.5	5937.5
1	55.95	289	223729	116.64	7.48	17	473	10.8	127.16	3538.04	80.784	8041	183.6	5108.4
4	54.76	376.36	204304	102.01	14.8	38.8	904	20.2	143.56	3344.8	74.74	8768.8	195.94	4565.2
9	55.06	44.89	191844	100	22.26	20.1	1314	30	49.714	3249.96	74.2	2934.6	67	4380
16	56.7	17.3889	180625	100	30.12	16.68	1700	40	31.4001	3200.25	75.3	1772.25	41.7	4250
25	56.85	49.8436	171396	92.16	37.7	35.3	2070	48	53.2324	3121.56	72.384	2922.84	67.776	3974.4
36	54.61	23.6196	161604	96.04	44.34	29.16	2412	58.8	35.9154	2970.78	72.422	1953.72	47.628	3939.6
49	55.95	302.76	164025	125.44	52.36	121.8	2835	78.4	130.152	3029.4	83.776	7047	194.88	4536
64	58.98	1497.69	184900	171.61	61.44	309.6	3440	104.8	297.216	3302.4	100.608	16641	506.97	5633
81	59.14	5256.25	219961	231.04	69.21	652.5	4221	136.8	557.525	3606.61	116.888	34002.5	1102	7128.8
100	58.06	6400	247009	262.44	76.2	800	4970	162	609.6	3787.14	123.444	39760	1296	8051.4

Måling 6:

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
10	6.72	8.13	82	383.5	540	492	12.5	13.756	1.643	1.671	4.3472	266	463.0
11	6.70	8.12	98	381.1	656	479	12.2	32.005	1.03	3.475	5.06	192	336.0
12	7.30	7.90	90.3	406.7	540	474	11.8	15.775	2.71	2.087	4.1448	296	414.0
13	7.05	7.96	90.9	412.8	560	471	12.7	18.803	2.104	1.872	3.949	214	326.0
14	6.86	8.12	106	417.9	550	474	13.2	14.682	2.059	1.774	3.564	156	333.0
15	7.06	8.22	220	419.9	649	476	14.4	10.167	3.234	1.651	3.3462	136	381.0
16	7.30	8.04	138	418.9	560	479	14.8	15.153	2.54	2.395	4.1294	264	390.0
17	6.60	7.87	177	412.2	576	473	15.4	16.588	2.704	1.903	3.0646	150	314.0
18	6.26	7.90	67.9	391.7	598	461	15.5	15.775	3.302	2.293	3.7554	158	305.0
19	6.62	7.89	66.2	1021.5	549	466	15.4	12.449	2.425	1.589	3.4892	124	279.0
20	6.64	7.95	71.4	352.1	580	465	16.0	12.848	3.136	1.782	2.8314	114	202.0
21	6.40	7.95	56.4	348.2	581	464	15.9	12.230	3.138	1.73	3.443	94	244.0
22	7.38	7.94	42.6	336.5	561	470	15.5	9.265	3.198	1.383	2.0746	68	219.0
23	6.83	7.97	24.8	335.6	550	470	14.3	10.857	3.107	1.653	2.0702	62	155.0
24	6.66	7.96	18.9	325.5	540	470	12.6	9.160	2.831	1.419	1.7358	50	107.0
1	6.57	7.97	21.3	314.4	509	451	11.2	4.845	2.719	0.791	1.188	42	87.6
2	7.43	7.95	8.11	303.4	482	420	11.3	0.582	2.928	0.496	0.539	28	50.3
3	7.43	7.98	4.68	300.4	470	401	10.4	0.149	2.813	0.576	0.5962	14	23.5
4	6.62	7.97	5.4	296.6	502	403	10.6	1.475	2.875	0.804	0.9262	10	28.6
5	6.97	7.98	16.1	305.1	511	405	10.9	2.811	2.877	1.503	1.7666	40	111.0
6	7.70	7.97	5.89	317.4	500	417	15.0	4.792	3.076	1.401	1.7688	40	83.3
7	7.15	8.07	83.2	366.7	559	473	18.7	20.014	2.875	3.499	5.379	202	413.0
8	6.57	8.13	135	384.4	729	531	14.8	32.347	2.883	5.382	9.3082	308	600.0
9	6.30	8.02	94.9	365.7	547	519	14.3	12.368	2.682	2.228	4.3582	270	485.0

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
100	66.1	6724	242064	156.25	81.3	820	4920	125	666.66	3999.96	101.625	40344	1025	6150
121	65.93	9604	229441	148.84	89.32	1078	5269	134.2	795.76	3889.48	99.064	46942	1195.6	5843.8
144	62.41	8154.09	224676	139.24	94.8	1083.6	5688	141.6	713.37	3744.6	93.22	42802.2	1065.54	5593.2
169	63.36	8262.81	221841	161.29	103.48	1181.7	6123	165.1	723.564	3749.16	101.092	42813.9	1154.43	5981.7
196	65.93	11236	224676	174.24	113.68	1484	6636	184.8	860.72	3848.88	107.184	50244	1399.2	6256.8
225	67.57	48400	226576	207.36	123.3	3300	7140	216	1808.4	3912.72	118.368	104720	3168	6854.4
256	64.64	19044	229441	219.04	128.64	2208	7664	236.8	1109.52	3851.16	118.992	66102	2042.4	7089.2
289	61.94	31329	223729	237.16	133.79	3009	8041	261.8	1392.99	3722.51	121.198	83721	2725.8	7284.2
324	62.41	4610.41	212521	240.25	142.2	1222.2	8298	279	536.41	3641.9	122.45	31301.9	1052.45	7145.5
361	62.25	4382.44	217156	237.16	149.91	1257.8	8854	292.6	522.318	3676.74	121.506	30849.2	1019.48	7176.4
400	63.2	5097.96	216225	256	159	1428	9300	320	567.63	3696.75	127.2	33201	1142.4	7440
441	63.2	3180.96	215296	252.81	166.95	1184.4	9744	333.9	448.38	3688.8	126.405	26169.6	896.76	7377.6
484	63.04	1814.76	220900	240.25	174.68	937.2	10340	341	338.244	3731.8	123.07	20022	660.3	7285
529	63.52	615.04	220900	204.49	183.31	570.4	10810	328.9	197.656	3745.9	113.971	11656	354.64	6721
576	63.36	357.21	220900	158.76	191.04	453.6	11280	302.4	150.444	3741.2	100.296	8883	238.14	5922
1	63.52	453.69	203401	125.44	7.97	21.3	451	11.2	169.761	3594.47	89.264	9606.3	238.56	5051.2
4	63.2	65.7721	176400	127.69	15.9	16.22	840	22.6	64.4745	3339	89.835	3406.2	91.643	4746
9	63.68	21.9024	160801	108.16	23.94	14.04	1203	31.2	37.3464	3199.98	82.992	1876.68	48.672	4170.4
16	63.52	29.16	162409	112.36	31.88	21.6	1612	42.4	43.038	3211.91	84.482	2176.2	57.24	4271.8
25	63.68	259.21	164025	118.81	39.9	80.5	2025	54.5	128.478	3231.9	86.982	6520.5	175.49	4414.5
36	63.52	34.6921	173889	225	47.82	35.34	2502	90	46.9433	3323.49	119.55	2456.13	88.35	6255
49	65.12	6922.24	223729	349.69	56.49	582.4	3311	130.9	671.424	3817.11	150.909	39353.6	1555.84	8845.1
64	66.1	18225	281961	219.04	65.04	1080	4248	118.4	1097.55	4317.03	120.324	71685	1998	7858.8
81	64.32	9006.01	269361	204.49	72.18	854.1	4671	128.7	761.098	4162.38	114.686	49253.1	1357.07	7421.7

Måling 7:

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
11	7.08	7.84	53.3	658.0	521	467	21.7	9.125	0.054	0.34	1.8128	200	220.0
12	6.62	7.84	43.4	668.5	525	468	22.0	12.839	0.015	0.292	0.693	60	82.7
13	6.49	7.83	192	653.1	516	467	21.9	5.326	0.029	0.222	0.7898	60	193.0
14	6.54	7.85	23.8	659.5	519	466	23.1	4.404	-0.004	0.242	0.583	20	124.0
15	6.56	7.86	17.2	639.6	531	468	23.7	6.138	0.002	0.214	0.4818	60	51.1
16	6.57	7.85	20.5	607.5	526	463	24.1	4.927	0.002	0.256	0.5236	0	60.3
17	6.47	7.80	35.3	614.2	517	468	24.3	6.162	0.026	0.245	0.4048	20	88.6
18	6.38	7.83	30.9	608.8	511	469	23.3	6.158	0.022	0.371	0.704	40	86.8
19	6.40	7.81	20	595.3	511	466	23.1	4.447	0.006	0.204	0.3432	100	63.6
20	6.50	7.81	20.4	553.2	534	462	22.9	5.595	-0.005	0.377	0.462	60	154.0
21	6.44		11.1		500		22.3	1.986	-0.015	0.14	0.3058	0	44.4
22	6.58	7.84	13.9	536.0	528	468	22.6	5.855	-0.003	0.273	0.4488	60	81.0
23	6.57	7.85	11.7	469.9	534	469	21.8	5.546	0.029	0.667	0.9306	20	62.4
24	6.56	7.86	8.03	485.7	515	470	21.1	2.902	0.01	0.304	0.3718	0	34.6
1	6.70	7.89	10.9	519.9	511	469	20.6	1.840	0	0.04	0.1716	20	30.2
2	6.67	7.90	4.48	596.8	504	465	20.4	0.979	0	-0.043	0.1342	40	171.0
3	6.59	7.91	4.33	545.9	506	464	20.1	0.940	0.003	-0.089	0.0462	0	186.0
4	6.64	7.93	3.46	508.0	509	462	19.9	1.056	0.006	-0.029	0.1298	80	19.3
5	6.70	7.94	2.87	517.2	510	456	19.9	0.747	0.008	-0.077	0.066	40	15.2
6	6.55	7.94	4.16	538.2	513	451	20.4	1.060	0.018	-0.026	0.1518	40	15.8
7	6.52	7.91	12.3	505.0	527	449	21.4	4.123	0.037	0.501	0.8888	80	44.6
8	6.53	7.87	26	490.9	541	447	22.4	7.493	0.053	0.798	0.9218	160	181.0
9	6.51	7.87	31.3	477.3	522	458	22.3	5.963	0.047	0.51	0.8646	0	163.0
10	6.43	7.86	26.1	452.1	513	464	21.7	7.107	0.052	0.718	0.7854	100	157.0

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
121	61.47	2840.89	218089	470.89	86.24	586.3	5137	238.7	417.872	3661.28	170.128	24891.1	1156.61	10133.9
144	61.47	1883.56	219024	484	94.08	520.8	5616	264	340.256	3669.12	172.48	20311.2	954.8	10296
169	61.31	36864	218089	479.61	101.79	2496	6071	284.7	1503.366	3656.61	171.477	89664	4204.8	10227.3
196	61.62	566.44	217156	533.61	109.9	333.2	6524	323.4	186.83	3658.1	181.335	11090.8	549.78	10764.6
225	61.78	295.84	219024	561.69	117.9	258	7020	355.5	135.192	3678.48	186.282	8049.6	407.64	11091.6
256	61.62	420.25	214369	580.81	125.6	328	7408	385.6	160.925	3634.55	189.185	9491.5	494.05	11158.3
289	60.84	1246.09	219024	590.49	132.6	600.1	7956	413.1	275.34	3650.4	189.54	16520.4	857.79	11372.4
324	61.31	954.81	219961	542.89	140.94	556.2	8442	419.4	241.947	3672.27	182.439	14492.1	719.97	10927.7
361	61	400	217156	533.61	148.39	380	8854	438.9	156.2	3639.46	180.411	9320	462	10764.6
400	61	416.16	213444	524.41	156.2	408	9240	458	159.324	3608.22	178.849	9424.8	467.16	10579.8
441	na	123.21	na	497.29	na	233.1	na	468.3	na	na	na	na	247.53	na
484	61.47	193.21	219024	510.76	172.48	305.8	10296	497.2	108.976	3669.12	177.184	6505.2	314.14	10576.8
529	61.62	136.89	219961	475.24	180.55	269.1	10787	501.4	91.845	3681.65	171.13	5487.3	255.06	10224.2
576	61.78	64.4809	220900	445.21	188.64	192.72	11280	506.4	63.1158	3694.2	165.846	3774.1	169.433	9917
1	62.25	118.81	219961	424.36	7.89	10.9	469	20.6	86.001	3700.41	162.534	5112.1	224.54	9661.4
4	62.41	20.0704	216225	416.16	15.8	8.96	930	40.8	35.392	3673.5	161.16	2083.2	91.392	9486
9	62.57	18.7489	215296	404.01	23.73	12.99	1392	60.3	34.2503	3670.24	158.991	2009.12	87.033	9326.4
16	62.88	11.9716	213444	396.01	31.72	13.84	1848	79.6	27.4378	3663.66	157.807	1598.52	68.854	9193.8
25	63.04	8.2369	207936	396.01	39.7	14.35	2280	99.5	22.7878	3620.64	158.006	1308.72	57.113	9074.4
36	63.04	17.3056	203401	416.16	47.64	24.96	2706	122.4	33.0304	3580.94	161.976	1876.16	84.864	9200.4
49	62.57	151.29	201601	457.96	55.37	86.1	3143	149.8	97.293	3551.59	169.274	5522.7	263.22	9608.6
64	61.94	676	199809	501.76	62.96	208	3576	179.2	204.62	3517.89	176.288	11622	582.4	10012.8
81	61.94	979.69	209764	497.29	70.83	281.7	4122	200.7	246.331	3604.46	175.501	14335.4	697.99	10213.4
100	61.78	681.21	215296	470.89	78.6	261	4640	217	205.146	3647.04	170.562	12110.4	566.37	10068.8

Måling 8:

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
9	7.82	7.76	32.2	202.1	652	408	44.1	7.156	1.552	0.856	1.4894	74	83.4
10	7.71	7.75	25.4	177.1	450	395	44.1	2.867	1.463	0.22	0.7656	40	50.9
11	7.68	7.79	21.4	165.6	455	393	47.0	3.222	1.507	0.142	0.5302	36	67.1
12	7.83	7.73	20	162.8	442	385	50.4	3.201	1.339	0.126	0.5302	40	60.8
13	7.76	7.73	31.6	157.4	450	380	53.5	4.055	1.21	0.338	0.6996	46	76.2
14	7.75	7.70	36.5	150.5	432	375	54.7	2.961	1.14	0.308	0.7678	48	65.5
15	7.70	7.71	19.6	145.7	422	372	57.3	2.404	1.021	0.126	0.5698	42	55.1
16	7.71	7.69	31	143.4	459	368	57.1	4.299	0.929	0.244	0.7216	54	77.2
17	7.66	7.69	22.2	138.8	448	370	60.0	2.776	0.735	0.46	1.188	60	112.0
18	7.76	7.65	20	137.0	443	371	60.0	2.801	0.747	0.199	1.243	56	81.9
19	7.76	7.66	18.6	134.9	445	373	60.3	2.282	0.594	0.159	0.5346	34	76.8
20	7.95	7.67	23.2	128.6	460	374	60.4	3.595	0.562	0.485	0.7106	44	90.6
21	7.82	7.67	21	127.2	457	376	58.7	2.913	0.501	0.376	0.858	56	106.0
22	7.81	7.69	15.6	126.4	448	377	57.3	2.507	0.346	0.25	0.3916	18	49.3
23	7.80	7.71	11.1	125.2	443	380	55.1	1.954	0.378	0.182	0.3894	20	57.7
24	8.02	7.75	9.94	123.3	453	379	53.3	2.231	0.409	0.307	0.4312	18	40.7
1	7.97	7.77	6.77	122.5	452	376	52.6	1.702	0.265	0.182	0.242	8	20.0
2	8.10	7.78	5.83	124.4	445	369	50.8	1.057	0.12	-0.021	0.121	8	24.9
3	8.02	7.79	4.02	121.6	443	369	50.0	0.825	-0.078	-0.082	0.0198	2	10.4
4	7.99	7.79	7.09	121.2	453	366	49.7	1.309	-0.204	0.182	0.3542	6	25.6
5	7.99	7.78	4.37	120.7	454	366	51.8	1.132	-0.55	0.084	0.2486	4	14.9
6	7.99	7.74	10.6	121.1	457	369	55.0	1.964	-0.278	0.411	0.638	24	48.2
7	7.88	7.72	11.4	122.8	453	393	51.3	3.277	-0.396	0.926	1.0758	22	60.3
8	7.98	7.74	17	121.3	465	415	49.8	3.890	-0.435	0.952	1.353	60	112.0

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
81	60.22	1036.84	166464	1944.81	69.84	289.8	3672	396.9	249.872	3166.08	342.216	13137.6	1420.02	17992.8
100	60.06	645.16	156025	1944.81	77.5	254	3950	441	196.85	3061.25	341.775	10033	1120.14	17419.5
121	60.68	457.96	154449	2209	85.69	235.4	4323	517	166.706	3061.47	366.13	8410.2	1005.8	18471
144	59.75	400	148225	2540.16	92.76	240	4620	604.8	154.6	2976.05	389.592	7700	1008	19404
169	59.75	998.56	144400	2862.25	100.49	410.8	4940	695.5	244.268	2937.4	413.555	12008	1690.6	20330
196	59.29	1332.25	140625	2992.09	107.8	511	5250	765.8	281.05	2887.5	421.19	13687.5	1996.55	20512.5
225	59.44	384.16	138384	3283.29	115.65	294	5580	859.5	151.116	2868.12	441.783	7291.2	1123.08	21315.6
256	59.14	961	135424	3260.41	123.04	496	5888	913.6	238.39	2829.92	439.099	11408	1770.1	21012.8
289	59.14	492.84	136900	3600	130.73	377.4	6290	1020	170.718	2845.3	461.4	8214	1332	22200
324	58.52	400	137641	3600	137.7	360	6678	1080	153	2838.15	459	7420	1200	22260
361	58.68	345.96	139129	3636.09	145.54	353.4	7087	1145.7	142.476	2857.18	461.898	6937.8	1121.58	22491.9
400	58.83	538.24	139876	3648.16	153.4	464	7480	1208	177.944	2868.58	463.268	8676.8	1401.28	22589.6
441	58.83	441	141376	3445.69	161.07	441	7896	1232.7	161.07	2883.92	450.229	7896	1232.7	22071.2
484	59.14	243.36	142129	3283.29	169.18	343.2	8294	1260.6	119.964	2899.13	440.637	5881.2	893.88	21602.1
529	59.44	123.21	144400	3036.01	177.33	255.3	8740	1267.3	85.581	2929.8	424.821	4218	611.61	20938
576	60.06	98.8036	143641	2840.89	186	238.56	9096	1279.2	77.035	2937.25	413.075	3767.26	529.802	20200.7
1	60.37	45.8329	141376	2766.76	7.77	6.77	376	52.6	52.6029	2921.52	408.702	2545.52	356.102	19777.6
4	60.53	33.9889	136161	2580.64	15.56	11.66	738	101.6	45.3574	2870.82	395.224	2151.27	296.164	18745.2
9	60.68	16.1604	136161	2500	23.37	12.06	1107	150	31.3158	2874.51	389.5	1483.38	201	18450
16	60.68	50.2681	133956	2470.09	31.16	28.36	1464	198.8	55.2311	2851.14	387.163	2594.94	352.373	18190.2
25	60.53	19.0969	133956	2683.24	38.9	21.85	1830	259	33.9986	2847.48	403.004	1599.42	226.366	18958.8
36	59.91	112.36	136161	3025	46.44	63.6	2214	330	82.044	2856.06	425.7	3911.4	583	20295
49	59.6	129.96	154449	2631.69	54.04	79.8	2751	359.1	88.008	3033.96	396.036	4480.2	584.82	20160.9
64	59.91	289	172225	2480.04	61.92	136	3320	398.4	131.58	3212.1	385.452	7055	846.6	20667

Måling 9:

Time	pH lab	pH sensor	Turb lab [NTU]	Turb sensor [FTU]	Cond Lab [µm/cm]	Cond sensor [µm/cm]	Flow [l/s]	NH4 [mg/L]	NO3 [mg/L]	PO4 [mg/L]	TP [mg/L]	SS [mg/L]	KOF [mg/L]
10	7.40	7.59	26.4	143.2	469	314	60.0	4.350	2.084	0.615	1.2166	82	135.0
11	7.36	7.56	17.4	141.5	435	308	59.7	3.704	2.083	0.412	0.7832	46	80.1
12	7.35	7.51	11	142.1	425	303	60.3	1.834	2.12	0.225	0.3366	24	54.4
13	7.30	7.47	16.7	143.5	417	301	62.0	2.510	1.992	0.238	0.704	40	69.2
14	7.35	7.47	9.03	139.6	413	295	66.5	1.951	2.145	0.239	0.2926	16	30.9
15	7.17	7.45	9.45	138.0	400	294	70.6	1.022	2.063	0.094	0.44	20	38.2
16	7.27	7.48	9.16	134.6	397	288	75.8	1.343	2.189	0.46	0.5192	44	58.9
17	7.24	7.49	18.9	147.7	400	281	79.2	2.102	2.149	0.301	0.8404	50	130.0
18	7.29	7.52	12.6	155.4	385	282	81.2	1.125	2.206	0.271	0.4444	40	63.1
19	7.34	7.55	12.8	146.6	394	290	81.8	1.796	2.064	0.413	0.7722	26	37.8
20	7.36	7.54	12.4	140.1	395	301	81.4	1.127	2.185	0.27	0.5522	24	61.7
21	7.39	7.54	8.01	146.6	389	304	80.1	0.855	2.171	0.2	1.573	8	25.0
22	7.41	7.53	8.86	159.2	396	301	77.4	0.971	2.142	0.278	0.8096	16	29.8
23	7.45	7.55	7.26	166.5	394	310	75.8	1.118	2.074	0.307	0.8492	16	32.9
24	7.50	7.55	3.88	155.1	398	312	72.4	1.005	2.094	0.29	1.43	16	22.9
1	7.52	7.55	5.07	148.1	394	312	70.5	0.646	2.058	0.155	0.6226	10	26.1
2	7.56	7.56	4.43	148.9	399	313	68.7	0.600	2.009	0.137	0.6358	8	14.3
3	7.57	7.56	3.45	146.1	395	310	67.2	0.473	2.16	0.134	1.7864	8	14.0
4	7.57	7.56	3.23	154.7	398	314	65.3	0.388	2.077	0.079	0.8602	8	23.0
5	7.58	7.57	2.63	178.2	400	317	64.4	0.402	2.068	0.126	0.1936	10	10.1
6	7.60	7.56	1.61	251.3	404	323	63.6	0.504	1.953	0.215	0.3388	6	9.2
7	7.58	7.56	3.32	332.4	406	331	63.8	0.900	2.234	0.277	0.3366	6	27.8
8	7.53	7.55	10.4	401.6	417	343	64.4	1.514	2.294	0.581	0.7018	22	53.4
9	7.53	7.55	10.1	446.3	418	345	63.4	1.923	2.131	0.517	0.6226	32	52.4

Time^2	pH^2	Turb^2	Cond^2	Flow^2	Time * pH	Time * Turb	Time * Cond	Time * Flow	pH * Turb	pH * Cond	pH * Flow	Turb * Cond	Turb * Flow	Cond * Flow
100	57.61	696.96	98596	3600	75.9	264	3140	600	200.376	2383.26	455.4	8289.6	1584	18840
121	57.15	302.76	94864	3564.09	83.16	191.4	3388	656.7	131.544	2328.48	451.332	5359.2	1038.78	18387.6
144	56.4	121	91809	3636.09	90.12	132	3636	723.6	82.61	2275.53	452.853	3333	663.3	18270.9
169	55.8	278.89	90601	3844	97.11	217.1	3913	806	124.749	2248.47	463.14	5026.7	1035.4	18662
196	55.8	81.5409	87025	4422.25	104.58	126.42	4130	931	67.4541	2203.65	496.755	2663.85	600.495	19617.5
225	55.5	89.3025	86436	4984.36	111.75	141.75	4410	1059	70.4025	2190.3	525.97	2778.3	667.17	20756.4
256	55.95	83.9056	82944	5745.64	119.68	146.56	4608	1212.8	68.5168	2154.24	566.984	2638.08	694.328	21830.4
289	56.1	357.21	78961	6272.64	127.33	321.3	4777	1346.4	141.561	2104.69	593.208	5310.9	1496.88	22255.2
324	56.55	158.76	79524	6593.44	135.36	226.8	5076	1461.6	94.752	2120.64	610.624	3553.2	1023.12	22898.4
361	57	163.84	84100	6691.24	143.45	243.2	5510	1554.2	96.64	2189.5	617.59	3712	1047.04	23722
400	56.85	153.76	90601	6625.96	150.8	248	6020	1628	93.496	2269.54	613.756	3732.4	1009.36	24501.4
441	56.85	64.1601	92416	6416.01	158.34	168.21	6384	1682.1	60.3954	2292.16	603.954	2435.04	641.601	24350.4
484	56.7	78.4996	90601	5990.76	165.66	194.92	6622	1702.8	66.7158	2266.53	582.822	2666.86	685.764	23297.4
529	57	52.7076	96100	5745.64	173.65	166.98	7130	1743.4	54.813	2340.5	572.29	2250.6	550.308	23498
576	57	15.0544	97344	5241.76	181.2	93.12	7488	1737.6	29.294	2355.6	546.62	1210.56	280.912	22588.8
1	57	25.7049	97344	4970.25	7.55	5.07	312	70.5	38.2785	2355.6	532.275	1581.84	357.435	21996
4	57.15	19.6249	97969	4719.69	15.12	8.86	626	137.4	33.4908	2366.28	519.372	1386.59	304.341	21503.1
9	57.15	11.9025	96100	4515.84	22.68	10.35	930	201.6	26.082	2343.6	508.032	1069.5	231.84	20832
16	57.15	10.4329	98596	4264.09	30.24	12.92	1256	261.2	24.4188	2373.84	493.668	1014.22	210.919	20504.2
25	57.3	6.9169	100489	4147.36	37.85	13.15	1585	322	19.9091	2399.69	487.508	833.71	169.372	20414.8
36	57.15	2.5921	104329	4044.96	45.36	9.66	1938	381.6	12.1716	2441.88	480.816	520.03	102.396	20542.8
49	57.15	11.0224	109561	4070.44	52.92	23.24	2317	446.6	25.0992	2502.36	482.328	1098.92	211.816	21117.8
64	57	108.16	117649	4147.36	60.4	83.2	2744	515.2	78.52	2589.65	486.22	3567.2	669.76	22089.2
81	57	102.01	119025	4019.56	67.95	90.9	3105	570.6	76.255	2604.75	478.67	3484.5	640.34	21873

Vedlegg C: Prediksjonstabeller

Ammonium (f.v. alle målinger, tørrvær og våtvær):

Predicted Y (NH)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (NH4)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (Am)	Predicted	Deviation	Reference
1	18,2148	1,7378	1,8500	1	19,7931	3,0984	27,6030	2	12,0492	0,9671	10,1600
1	18,2338	1,2233	22,9080	1	18,2836	5,9027	24,8790	2	9,9207	1,5917	6,8680
2	9,6432	1,4574	11,0740	1	16,6791	5,3756	30,3200	2	2,9355	2,3415	2,9190
2	6,6250	4,8576	6,8680	3	11,2712	1,7803	10,3310	7	2,6848	0,7301	1,0560
2	3,5469	2,4937	3,7910	3	12,1854	4,5211	11,4480	7	5,8240	0,7890	7,4930
3	13,6941	1,3698	10,5930	4	7,9245	1,5363	5,3020	8	1,1221	1,4935	0,8250
3	11,6102	2,5175	11,8480	5	14,3932	3,0550		9	0,4570	2,6978	0,8550
4	18,0828	1,9218	13,5070	6	13,5535	3,9259	14,6820	9	0,6439	0,8173	0,5040
4	16,4448	2,2860	15,4050	6	1,9537	4,2215	0,1490				
4	16,7516	1,7102	16,1600	6	10,9467	9,8112	32,3470				
5	13,6624	1,0229									
5	13,3423	1,5658									
6	19,4966	1,6849	32,0050								
6	8,8704	1,2166	9,1600								
6	19,1784	3,2979	12,3680								
7	12,7833	1,4171	9,1250								
8	0,9891	1,9541	2,2820								
8	0,3726	5,8209	3,2770								
9	1,3465	1,5685	0,6460								
9	0,4010	4,1599	0,5040								

Nitrat (f.v. alle målinger, tørrvær og våtvær):

Predicted Y (NO)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (NO3)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (Nit)	Predicted	Deviation	Reference
1	1,5796	0,5928	0,0140	1	-0,1973	0,2680	0,0800	2	0,4551	1,1844	0,1250
1	1,5027	0,7143	0,0620	1	0,9299	0,1284	0,1300	2	0,3299	0,6071	0,2930
2	0,4537	0,6510	0,2230	1	1,9058	0,5588	0,2460	2	0,6854	0,3036	0,4670
2	0,2024	1,7076	0,2930	3	2,5242	0,1441	2,1970	7	-0,0749	0,4912	0,0060
2	0,5206	0,5836	0,4380	3	2,0741	0,6936	1,9900	7	0,1274	0,1748	0,0530
3	1,5168	0,3725	2,0390	4	1,8537	0,2602	2,3650	8	0,7293	0,3336	-0,0780
3	1,3033	0,4318	2,1430	5	1,3907	0,1316	1,9860	9	2,1186	0,6030	2,1710
4	1,7280	0,6594	0,9450	6	0,8878	2,1234	2,0590	9	1,4888	0,5424	1,9530
4	1,3039	0,6614	1,9330	6	2,3887	0,1861	2,8130				
4	1,4722	0,5286	2,2670	6	1,2421	2,9159	2,8830				
5	1,2604	0,3352	1,0340								
5	1,4787	0,6907	2,0470								
6	1,6547	0,4575	1,0300								
6	2,0410	0,9499	2,8310								
6	1,6067	0,8106	2,6820								
7	1,2139	0,7330	0,0540								
8	0,6738	0,4548	0,5940								
8	0,3542	0,6500	-0,3960								
9	2,2001	1,7280	2,0580								
9	1,0920	1,5936	1,9530								

Ortofosfat (f.v. alle målinger, tørrvær og våtvær):

Predicted Y (PO)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (PO)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (Ort)	Predicted	Deviation	Reference
1	2,0944	0,4807	2,0850	1	2,3540	1,2764	3,2660	2	1,4246	0,2756	1,0520
1	1,6493	0,6452	2,4690	1	1,9316	2,7398	2,5260	2	1,5080	0,3225	0,9340
2	1,1146	0,3366	1,4260	1	2,7228	0,5443	5,2460	2	0,2636	0,1954	0,3690
2	0,4547	0,6598	0,9340	3	1,6196	1,9234	1,3800	7	0,0611	0,2854	-0,0290
2	0,7382	0,3581	0,3880	3	1,1070	0,5313	1,4620	7	0,3775	0,2064	0,7980
3	1,3122	0,2789	0,7110	4	0,6236	0,2941	0,7760	8	0,1173	0,2073	-0,0820
3	1,3759	0,4466	1,4320	5	1,4438	2,2630	2,0250	9	0,2580	0,3836	0,2000
4	2,7113	0,2828	1,1440	6	2,5275	0,6540	1,7740	9	0,1768	0,1768	0,2150
4	1,5159	0,4328	1,9350	6	0,4278	0,3357	0,5760				
4	2,4433	0,3966	2,0320	6	3,8483	2,6222	5,3820				
5	1,3552	0,2972	2,1090								
5	1,6783	0,3867	2,7300								
6	3,1691	0,2738	3,4750								
6	1,4092	0,8759	1,4190								
6	3,4846	0,4750	2,2280								
7	1,7114	0,5355	0,3400								
8	0,0751	0,5353	0,1590								
8	0,0490	0,3803	0,9260								
9	0,4850	1,5266	0,1550								
9	-0,0323	0,7225	0,2150								

Total fosfor (f.v. alle målinger, tørrvær og våtvær):

Predicted Y (TP)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (TP)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (TP)	Predicted	Deviation	Reference
1	3,8222	0,4348	4,0524	1	4,0944	0,8752	5,2030	2	2,5790	0,4785	2,0922
1	3,0941	0,5456	3,7312	1	2,7675	0,9934	3,5596	2	2,8255	0,3777	2,1472
2	2,3099	1,0349	2,6840	1	5,0660	0,8868	8,3072	2	0,5284	0,2929	0,5104
2	1,2127	1,5010	2,1472	3	2,8111	0,6258	4,6486	7	0,0929	0,4702	0,1298
2	1,1939	0,5792	0,4862	3	3,0328	0,6206	4,3802	7	0,7015	0,3754	0,9218
3	2,1716	0,3301	1,8722	4	0,8706	0,5946	0,7788	8	0,2907	0,3223	0,0198
3	2,2055	0,6174	4,1492	5	1,9805	0,5205	2,4156	9	0,6617	0,6168	1,5730
4	4,6924	0,3347	3,7620	6	4,6566	0,4579	3,5640	9	0,4211	0,2275	0,3388
4	2,7140	0,5573	3,0778	6	0,7494	0,5217	0,5962				
4	4,0984	0,3558	4,5034	6	6,8172	1,5184	9,3082				
5	2,4274	0,2455	-0,0154								
5	2,9590	0,4951	3,4122								
6	5,5306	0,5087	5,0600								
6	1,8238	0,9010	1,7358								
6	5,7519	0,8794	4,3582								
7	2,9348	0,2258	1,8128								
8	0,3865	0,2700	0,5346								
8	0,1780	1,0479	1,0758								
9	0,7047	1,8981	0,6226								
9	0,2186	1,2341	0,3388								

Suspendert stoff (f.v. alle målinger, tørrvær og våtvær)

Predicted Y (SS)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (SS)	Predicted	Deviation	Reference	Predicted Y (SS)	Predicted	Deviation	Reference
1	146,7143	28,9027	240,0000	1	192,6181	23,3867	270,0000	2	197,8955	26,8503	114,0000
1	159,2597	40,2208	152,0000	1	125,7645	41,7821	126,0000	2	198,0949	34,9029	112,0000
2	76,5037	36,8803	94,0000	1	226,8061	10,7624	290,0000	2	26,7258	8,9099	46,0000
2	159,0177	65,7940	112,0000	3	112,4557	9,5703	124,0000	7	13,6947	15,4822	80,0000
2	56,8184	23,6434	44,0000	3	124,3656	22,9251	208,0000	7	57,1847	25,9300	160,0000
3	101,1147	21,1400	114,0000	4	23,9358	12,3510	20,0000	8	15,7655	11,7174	2,0000
3	97,1136	38,0114	124,0000	5	64,1992	29,8003	46,6667	9	18,6223	11,1072	8,0000
4	185,1756	17,7761	276,6667	6	248,0548	44,8284	156,0000	9	15,5151	24,4899	6,0000
4	149,5612	16,9675	126,6667	6	34,8808	36,8928	14,0000				
4	147,3641	26,2112	180,0000	6	339,4022	37,1182	308,0000				
5	96,0083	24,1774	90,0000								
5	91,2735	22,5601	100,0000								
6	218,7081	28,1822	192,0000								
6	45,8986	25,5183	50,0000								
6	219,5193	48,3795	270,0000								
7	127,3628	29,3310	200,0000								
8	41,5575	20,7954	34,0000								
8	36,5707	39,6693	22,0000								
9	14,6415	34,0308	10,0000								
9	7,3503	37,4044	6,0000								

KOF

Se resultater, side 32.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway