



**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTETET**

## **BACHELOROPPGAVE**

Studieprogram/studieretning:	(Vår/høst) semesteret, (år)
Biologisk kjemi	Høst 2023 Åpen / <del>Konfidensiell</del>
Forfatter: Silje Nærland	
Fagansvarlig ved UiS: Ilke Pala Ozkok  IVAR IKS Ekstern(e) veileder(e): Unni S. Lea	
Tittel på oppgaven:  Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling  Engelsk tittel:  Reduction of resource consumption for water treatment	
Studiepoeng: 20	
Emneord: Optimalisering, ATP, turbiditet, pH, TOC og oksygeninnhold.	Sidetall: 49 + vedlegg/annet: 62  Stavanger, (dato) 15.12.23

### SAMMENDRAG

#### Optimalisering av Alkalisk Filter

Denne rapporten gir en innsikt i hvordan ulike spyleoppsett påvirker vannkvaliteten i det alkaliske filteret gjennom analyser av turbiditet, TOC og ATP. Fire ulike spyleoppsett, et referanseoppsett og tre nye oppsett blir grundig evaluert og sammenlignet for å forsøke å optimalisere og forbedre oppsettet for spylingen av alkalisk filter.

#### Hovedfunn:

1. Oppsett 2 utmerker seg som det mest effektive spyleoppsettet, og det viser jevnt over beste resultater i flertallet av analysene.
2. Turbiditetsanalyser viser en betydelig fjerning av partikler og suspendert materiale ved bruk av Oppsett 2. Samtidig holdt turbiditeten seg forholdsvis lav ved overgang til ordinær drift.
3. TOC-nivåene etter spyling viser til den største nedgangen med Oppsett 2.
4. ATP-konsentrasjoner er jevnt over lave ved Oppsett 2.

#### Sparepotensial:

Bytting fra referanseoppsett til oppsett 2 gir en årlig tidsbesparelse på 8 timer i spyling samt og en ukjent reduksjon av strømforbruk.

#### Anbefalinger og Videre Forskning:

Oppsett 2 bør betraktes som referanse for optimal ytelse, men ytterligere forsøk anbefales for å validere av resultatene.

Finjusteringer av spyleoppsettet, med fokus på testing av kombinert spyling og lufting, bør utføres for videre optimalisering av vannbehandlingsprosessen.

#### Spylesyklus biologisk filter

I dette forsøket undersøkes endringer i ulike vannparametere ved innhenting av vannprøver over en lengre periode fra biologisk filter. Målet er å kartlegge og evaluere endringer i parameterne temperatur, oksygeninnhold, pH, ATP og turbiditet, samt analysere sammenhenger mellom dem. Resultatene vil bli presentert i grafer basert på gjennomsnittsverdier, og utviklingen av parameterne over tid vil bli analysert og diskutert. Dette forsøket gir en helhetlig forståelse av vannkvalitetens dynamikk og kan gi verdifull innsikt for optimalisering i vannbehandlingsprosesser.

#### Hovedfunn:

Turbiditet og Mikrobiell Aktivitet: Det ser ut til å være en korrelasjon mellom turbiditet og mikrobiell aktivitet (målt ved ATP). Lavere turbiditet i høst kan indikere økt effektivitet i filtreringen, men det krever nærmere analyse.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Oksygeninnhold og Temperatur: Den betydelige nedgangen i oksygeninnholdet kan være relatert til den høye vanntemperaturen. Biologiske reaksjoner kan ha akselerert ved høyere temperatur, krever ytterligere evaluering.

pH-stabilitet: pH-nivåene forble relativt stabile, indikerer en konsistent surhetsgrad gjennom sesongene, noe som er gunstig for biologiske prosesser.

Økningen i oksygenmålinger kan tilskrives temperaturvariasjoner.

Stabil ATP-utvikling antyder temperaturpåvirkning på biokjemiske prosesser, og alkalisk filter ble opprettholdt stabilt for pH.

Videre forskning og temperaturkorrigeringer anbefales.

Kontinuerlig overvåking og grundige studier gir innsikt i hvordan temperaturpåvirkning påvirker biofilterets langtidsytelse.

## FORORD

Jeg ønsker å uttrykke min dype takknemlighet for all støtte og hjelp jeg har mottatt fra ansatte ved IVAR IKS Langevatn i løpet av dette prosjektet. En spesiell takk går til Unni S. Lea, som har vært min veileder og en uvurderlig støtte gjennom hele prosjektet. Jeg vil også rette en takk til Silja Kristoffersen og Ragnhild Gislefoss Tveit for deres assistanse ved innsamling av vannprøver under spyling av det alkaliske filteret, for hjelpen med analysene for "en dag etter spyling" og for organiseringen for innsendinger av prøver til Eurofins.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke Robert Fuglestad for å ha tilpasset spyleprogrammet til de ønskede spyleoppsettene slik at det ble mulig å gjennomføre forsøket for optimalisering av alkalisk filter, og for utførelse av spyling av biofiltere til ønskede datoer. Bidraget har vært uvurderlig for gjennomføringen av dette prosjektet.

Takket være deres støtte og ekspertise har jeg vært i stand til å gjennomføre alle analyser. Deres veiledning har vært en avgjørende faktor for prosjektets suksess, og jeg er takknemlig for privilegiet av å ha jobbet sammen med et så dyktig og godt team.

Jeg håper at resultater og konklusjoner gitt ifra dette prosjektet kan bidra til ytterligere utvikling for optimalisering innenfor spylinger. Tusen takk for deres støtte og samarbeid.

*STAVANGER, desember 2023*

*Silje Nærland*

## INNHOLDSFORTEGNELSE

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTETET.....	1
BACHELOROPPGAVE.....	1
SAMMENDRAG .....	2
Optimalisering av Alkalisk Filter .....	2
Spylesyklus biologisk filter.....	2
<b>FORORD</b> .....	3
<b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b> .....	4
<b>FORKORTELSER:</b> .....	7
<b>1. INNLEDNING</b> .....	8
1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN .....	8
1.2 HVA GÅR OPPGAVEN UT PÅ.....	8
1.3 HVA SKAL UTFØRES .....	9
1.4 OPPBYGGING AV RAPPORT .....	11
<b>DEL 1 – OPTIMALISERING AV ALKALISK FILTER</b> .....	13
<b>2. TEORI</b> .....	13
2.1 Oversikt over Renseprosessen på IVAR, Langevatn .....	13
2.2 Turbiditet.....	14
Helseeffekter:.....	15
2.3 ATP.....	15
2.4 TOC .....	16
2.5 Alkalisk filter spyling.....	16
Spylingsprosedyre .....	17
Spyling .....	17
1. Filtrat .....	17
Ordinær Drift.....	17
2.6 Formler .....	17
<b>3. EKSPERIMENTELL</b> .....	18
3.1 - INNHENTING AV VANNPRØVER .....	18
Utstyr.....	18
Klargjøring for prøvetaking.....	18
Før spyling .....	18
spyling.....	18
1. Filtrat .....	19
Ordinær drift .....	19

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

1 dag etter spyling .....	20
3.2 – ATP .....	21
KJEMIKALIER: .....	21
UTSTYR: .....	21
PROSEDYRE: .....	21
Analyse av prøver .....	22
3.3 - TURBIDITET .....	23
UTSTYR: .....	23
PROSEDYRE: .....	23
3.4 - TOC .....	23
<b>4. RESULTATER OG DISKUSJON .....</b>	<b>24</b>
4.1 RESULTATER FRA SPYLING .....	24
Oppsett 1 .....	24
Oppsett 2 .....	25
Oppsett 3 .....	26
Oppsett 4 .....	27
Vurdering av resultater .....	29
4.2 Feilkilder: .....	31
Bruk av olabegere ved turbiditetsanalyser .....	31
Andre feilkilder .....	34
4.3 RESULTATER FØR OG ETTER SPYLING .....	34
Turbiditet .....	34
TOC .....	35
ATP .....	36
4.4 Sparepotensial .....	37
Oppsett 1: .....	37
Oppsett 2: .....	38
Oppsett 3: .....	38
Oppsett 4: .....	38
5. KONKLUSJON: .....	39
5.1 Hoved observasjoner: .....	39
5.2 Anbefalinger og Videre Forskning .....	39
<b>DEL 2 – SPYLESYKLUS BIOLOGISK FILTER .....</b>	<b>40</b>
<b>6. TEORI .....</b>	<b>40</b>
6.1 Biologisk filter .....	40
6.2 Parametere .....	41

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Oksygeninnhold:.....	41
ATP: .....	41
PH .....	41
Temperatur: .....	42
Turbiditet.....	42
<b>7. EKSPERIMETELL .....</b>	<b>43</b>
7.1 prosedyre for oksygennivå, temperaturmålinger og innhenting av vannprøver.....	43
Utstyrliste.....	43
Klargjøring for prøvetaking.....	43
Prosedyre for testing for oksygeninnhold og temperatur .....	43
7.2 PH-måling .....	44
Utstyrliste.....	44
Prosedyre.....	44
Kalibrering av pH-meter .....	44
Måling av pH.....	44
ATP.....	45
Turbiditet.....	45
<b>8. RESULTATER OG DISKUSJON .....</b>	<b>45</b>
Temperatur.....	46
PH-verdi.....	46
Oksygeninnhold.....	46
Turbiditet.....	47
ATP-nivåer .....	47
Sammenhenger og Mønstre.....	47
Generelle observasjoner: .....	47
Gjennomsnittlig Endring fra FBI INN til FBI UT (Høst): .....	48
FEILKILDER .....	48
<b>9. KONKLUSJON.....</b>	<b>49</b>
<b>10. REFERANSER.....</b>	<b>49</b>
<b>11. VEDLEGG:.....</b>	<b>50</b>

### FORKORTELSER:

FAL	Filter Alkalisk, etterfulgt av et nummerert filter.
Linje 200	Vannet splittes i to, og dette refererer til den ene forgreningen innen renseanlegget på IVAR. Den andre forgreningen er kalt Linje 100.
FBI	Filter Biologisk, etterfulgt av et nummerert filter.
FBI INN	Vann på vei inn til biologisk filter, dette er ikke filtrert enda.
ATP	Adenosintrifosfat
TOC	Totalt Organisk Karbon
OP	Oppsett, etterfulgt av nummerert oppsettnummer.
RLU	Relativ Lys Enhet
FNU	Formazine Nephelometric Unit

## 1. INNLEDNING

### 1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN

Vannbehandling spiller en avgjørende rolle i å sikre samfunnet tilgang til tilstrekkelig, trygt og høykvalitets drikkevann. IVAR, med sin visjon "et samfunn der ingenting går til spille," har satt søkelys på å optimalisere og forbedre sine renseprosesser og samtidig forbedre drikkevannets farge, lukt, smak og kvalitet. Dette prosjektet er en del av en større innsats for å utvikle nye metoder som reduserer ressursforbruket innen vannbehandlingen. Jeg håper at dette arbeidet kan bidra til en mer effektiv og bærekraftig vannbehandlingsprosess.

### 1.2 HVA GÅR OPPGAVEN UT PÅ

Som en del av et større prosjekt støttet gjennom teknologiutvikling, rettes det fokus mot å redusere ressursforbruket i vannbehandlingen. Spesielt er målet å redusere spylevannsmengden, tidsforbruket og strømforbruket ved å utforske ulike spyleoppsett. I del 1 i denne oppgaven testes det ut tre nye oppsett for spylesyklus for alkalisk filter. Disse vurderes og settes opp imot referanseoppsettet som er det oppsettet som brukes i dag. Samtidig vil oppgaven gi økt innsikt i hvordan ulike spyleregimer påvirker vannkvaliteten, målt gjennom analyser av ATP, TOC og spesielt turbiditet for alkaliske filtre.

Rapporten søker å svare på flere sentrale spørsmål: Finnes det et bedre oppsett for spyling enn det som brukes i dag hvor vannforbruket, strømforbruket og/eller tiden reduseres samtidig som vi får en lik eller høyere vannkvalitet? Hvordan påvirker forskjellige spyleregimer vannkvaliteten?

Rapporten vil gi innsikt i hvordan endringer i spyleregimet påvirker vannkvaliteten. Fire basseng er valgt ut, hvor hvert basseng testet med tre forskjellige spyleoppsett. Slik forsikres det at forskjeller i resultater oppstår på grunn av endret spyleregime og ikke grunner i forskjeller mellom bassenger. Gjennom grundige analyser og sammenligninger av resultatene fra ulike spyleoppsett og filtre, vil denne rapporten gi en helhetlig forståelse av hvordan vannkvaliteten påvirkes av spyleregimet. Målet er å bidra til mer effektiv vannbehandling og sikre høy kvalitet for drikkevannet fra IVAR.

I del 2 vil utviklingen av parametere for biologisk filter gjennom en spylesyklus bli fulgt opp. Utviklingen av parametere over tid diskuteres. Hvordan påvirker de forskjellige parametere hverandre? Hvordan utvikler disse parametere seg gjennom forskjellige årstider, og hva kan forklare de observerte endringene? Hvordan bør spylinger av filtrene settes opp?

Rapporten vil prøve å svare på disse spørsmålene for biologisk filter. Målet er å sikre best mulig vannkvalitet til enhver tid, og undersøke om det bør gjøres noen endringer av spylesyklusen for å opprettholde høyest mulig vannkvalitet til enhver tid.



## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### 1.3 HVA SKAL UTFØRES

For å oppnå målene i denne oppgaven vil følgende prosedyrer bli gjennomført:

Fire filtre vil bli spylt og driftet med en jevn vannmengde. Spylingen vil automatisk bli utløst etter omtrent 100 000 liter vann eller ved et høyt differansetrykk. Dette tilsvarer et intervall mellom spylinger på rundt 800 timer. For å unngå at bassengene automatisk går til spyling er det satt opp en plan, *tabell 1*, hvor det har gått ca. 680-750 timer, som gir intervaller på ca. 28-30 dager mellom spylinger for hvert basseng.

Tabell 1. Plan for spyledatoer for alkalisk filter.

basseng valgt	FAL	spyledato	spyledato	spyledato
basseng 1	214	30.08.2023	27.09.2023	25.10.2023
basseng 2	221	30.08.2023	05.10.2023	02.11.2023
basseng 3	211	18.09.2023	16.10.2023	13.11.2023
basseng 4	212	18.09.2023	16.10.2023	13.11.2023

Det vil bli testet tre nye spyleoppsett for alkalisk filter sammenlignet med dagens referanseoppsett. En oversikt over oppsettene er vist i *Tabell 2*. De nye oppsettene vil gi innsikt i hvilken effekt det er på vannkvaliteten ved å kombinere fylling av luft samtidig med vann ved oppstart, endring av spylelengde og endringer ved bruk av høyere vanntrykk under spyleprosessen.

Tabell 2: Oversikt over spyleprogrammer.

Oppsett 1	Oppsett 2	Oppsett 3	Oppsett 4
<b>Referansebasseng</b>			
3 min luft	450 l/s + luft samtidig i 3 min	3 min luft	3 min luft
3 min 450 l/s		1 min 450 l/s	3 min 700 l/s
9 min 900 l/s	9 min 900 l/s	9 min 900 l/s	5 min 1000 l/s

Vannprøver vil bli samlet inn under spyling, fra 1. filtrat og ved ordinær drift. Prøver vil også bli tatt før spylingen og en dag etter spylingen. Oversikten over hvilke parametere som vil bli testet for de forskjellige vannprøvene er vist i *Tabell 3*.

Tabell 3: Oversikt over parametere vi ønsker å teste for vann ut av filteret før og etter en spylesekvens og under spyling.

Parameter	Vann ut av filter før spyling	Vann ut av filter 1.dag etter spyling	1.filtrat og ordinær drift ( eget uttaksprogram)	Spylevann ( eget uttaksprogram)
Turbiditet	x	x	x	x
ATP	x	x		
TOC	x	x		

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Det vil testes om noen av disse oppsettene er et bedre egnet enn referanseoppsettet som brukes i dag. Forsøket vil bli gjentatt for å oppnå tre prøverunder med forskjellige oppsett for hvert basseng. En rullerende plan for hvilket spyleprogram som brukes i hvert basseng er implementert, og vist i *Tabell 4*.

Tabell 4: Rulleringen på spylingen skal utføres slik:

basseng 1	FAL214	oppsett 1	oppsett 4	oppsett 3
basseng 2	FAL221	oppsett 2	oppsett 1	oppsett 4
basseng 3	FAL211	oppsett 3	oppsett 2	oppsett 1
basseng 4	FAL212	oppsett 4	oppsett 3	oppsett 2

Når analyser av alle oppsettene for bassengene er gjennomført, vil resultater bli gjennomgått og analysert. Det vil bli utført en utregning av sparepotensial for hvert oppsett, hvor utregningen tar utgangspunkt i gjennomsnittlig antall spylinger fra tidligere år. Gjennom disse prosedyrene vil oppgaven gi en innsikt i hvordan forskjellige spyleregimer påvirker vannkvaliteten og muligens identifisere et mer effektivt spyleoppsett for å oppnå målet om redusert ressursforbruk og forbedret vannkvalitet.

For biologiske filtre vil temperaturendringer, oksygeninnhold, ATP, pH og turbiditet bli analysert gjennom spylesyklusen, som har en varighet på 1800 timer. Vannprøver vil bli tatt før og etter filtrering en dag etter spyling, 2 uker etter spyling, 5 uker etter spyling og 8 uker etter spyling for alle filtrene fra linje 200. *Tabell 5* viser en oversikt over hvilke biologiske filtre som skal analyseres i oppgaven og hvilke parametere som skal analyseres for hvert filter.

Tabell 5: Oversikt over biofiltere som ønskes testet og hvilke parametere filtrene skal testes for.

FBI	temperatur	oksygennivå	pH	ATP	Turbiditet
211	x	x	x	x	x
212	x	x	x	x	x
213	x	x	x	x	x
214	x	x	x	x	x
215	x	x	x	x	x
216	x	x	x	x	x
221	x	x	x	x	x
222	x	x	x	x	x
223	x	x	x	x	x
224	x	x	x	x	x
225	x	x	x	x	x
226	x	x	x	x	x
200 INN	x	x	x		

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Forsøket vil starte ved innhenting av vannprøver. Kraner vil bli brent av for fjerning av biologiske forurensninger og skal renne en stund før vannprøven tas. Analyse av temperatur og oksygen vil bli utført ved vannkranene. Det vil også tas vannprøve fra FBI200 INN for hver analysedag. Mål går ut på å få en oversikt over endringer av parameterne, og vurdere dem og sette dem opp mot hverandre. Vannprøvene vil tempereres for å sikre nøyaktige pH-målinger, og utstyr bli kalibrert og klargjort før analysestart.

Resultatene for analysene vil bli presentert gjennom grafer laget av gjennomsnittsverdier, hvor utviklingen av parameterne over tid vil analyseres og diskuteres.

Denne delen av oppgaven bygger videre på et forsøk utført tidligere. Jeg vil legge ved referanse for tidligere resultater, men resultater merket med «vår» er altså IKKE arbeid utført av meg under bacheloren. Arbeidet jeg skal utføre under bacheloren har en direkte sammenheng med disse og må tas med for å få et helhetlig bilde for utviklingen og sammenhengen mellom fulgte parametere.

### 1.4 OPPBYGGING AV RAPPORT

Denne rapporten består av to deler. Del en omhandler optimalisering av alkalisk filter, og del 2 omhandler spylesyklus for biologisk filter. I sammendraget på side 2, kan man lese oppsummeringen av hovedfunn og konklusjoner fra begge delene av prosjektet.

#### 1. SAMMENDRAG (side 2)

Gir en kort oversikt over formålet, hovedfunnene og anbefalingene fra rapporten.

#### DEL 1 – OPTIMALISERING AV ALKALISK FILTER

##### 2. TEORI

Gir en innføring i renseprosessen på IVAR, Langevatn.

Presenterer teoretiske konsepter som turbiditet, ATP, TOC, og alkalisk filter spyling.

##### 3. EKSPERIMENTELL

Beskriver hvordan vannprøver ble samlet inn og hvilket utstyr som ble brukt.

Detaljerer prosedyrene for analyse av ATP, turbiditet, og TOC.

##### 4. RESULTATER OG DISKUSJON

Presenterer og diskuterer resultatene fra spyleeksperimentene.

Identifiserer og diskuterer eventuelle feilkilder.

Vurderer sparepotensialet for hvert spyleoppsett.

##### 5. KONKLUSJON

Oppsummerer hovedobservasjoner fra spyleeksperimentene.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Gir konklusjoner basert på resultatene.

Presenterer anbefalinger for videre forskning og tiltak.

### DEL 2 – SPYLESYKLUS BIOLOGISK FILTER

#### 6. TEORI

Presenterer teori knyttet til det biologiske filteret og forteller om parametere

#### 7. EKSPERIMENTELL

Beskriver prosedyrene for målinger av oksygeninnhold, pH, temperatur, turbiditet, og ATP.

#### 8. RESULTATER OG DISKUSJON

Presenterer og diskuterer resultatene fra målingene av temperatur, pH, oksygeninnhold, turbiditet, og ATP-nivåer.

Identifiserer sammenhenger og mønstre i dataene.

Diskuterer eventuelle feilkilder.

#### 9. KONKLUSJON

Oppsummerer hovedfunnene fra det biologiske filteret.

Presenterer konklusjoner basert på resultatene.

Diskuterer feilkilder og gir anbefalinger for videre forskning.

#### 10. REFERANSER

Liste over kilder og referanser som ble brukt i rapporten.

#### 11. VEDLEGG

Eventuelle tilleggsmateriale og grafiske representasjoner.

## DEL 1 – OPTIMALISERING AV ALKALISK FILTER

### 2. TEORI

#### 2.1 Oversikt over Renseprosessen på IVAR, Langevatn

Drikkevannet gjennomgår en grundig behandlingsprosess for å sikre høy kvalitet. En oversikt av de forskjellige stegene vannet gjennomgår under renseprosessen på IVAR, Langevatn er illustrert i *Figur 1*.

Råvannet kommer inn i anlegget og fordeles over to linjer. Det tilsettes ozon i en delstrøm som deretter tilsettes hovedstrømmen som ledes over i et ozonkontaktkammer. Ozondosen som tilsettes justeres etter råvannskvaliteten slik at ozonet akkurat er brukt opp når det når slutten av kontaktkammeret. (Olsen, 2022)

Råvannet tilsettes slik ozon og ledes gjennom ozonkontaktkammeret. Her reagerer ozonet med fargemolekyler, spalter dem ned til mindre komponenter og desinfiserer samtidig vannet. Dette reduserer farge, lukt og smaken av vannet.

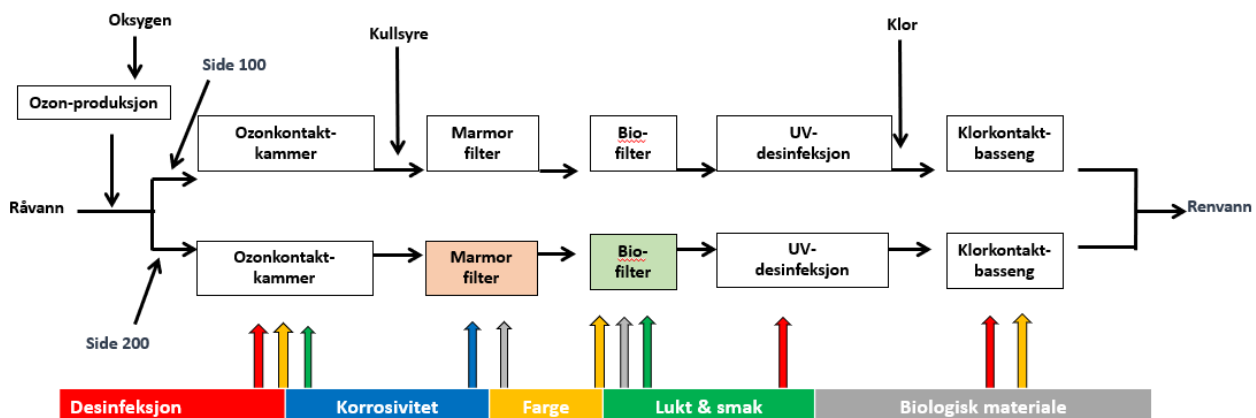
Etter ozonbehandlingen tilsettes vannet CO<sub>2</sub> for å senke pH-verdien. Deretter filtreres det gjennom marmorfilter/alkalisk filter. Den lave pH-en løser opp marmorsteinen, hever pH-verdien og alkaliserer vannet. Marmorfilteret fjerner også partikler og biologisk materiale.

Vannet filtreres videre gjennom et biofilter. Her blir de spaltede fargemolekylene fra ozontrinnet konsumert av bakterier. Biofilteret reduserer farge, lukt og smak, samtidig som det eliminerer biologisk materiale.

Vannet gjennomgår en desinfiserende behandling med UV-lys. Dette trinnet inaktiverer mikroorganismer, og sikrer dermed at vannet er trygt å konsumere.

Vannet blir til slutt tilsatt en liten mengde klor som en ekstra sikkerhets barriere.

Klorsystemet er i utgangspunktet en sikkerhet i tilfelle en av de andre hygieniseringstrinnene skulle falle ut. Dette trinnet er desinfiserende og reduserer samtidig fargen på vannet. (IVAR, 2018) Anlegget er bygget opp med to parallelle linjer med koblinger på tvers av linjene. Dette gir fleksibilitet i forhold til f.eks. vedlikehold. (Olsen, 2022)



*Figur 1. Oversikt over rensesystemet på IVAR, Langevatn. Hver pil indikerer hva som blir rensed for gitt rensesystem. Del 1 omhandler optimalisering av marmorfilter/alkalisk filter. Del to omhandler biofilteret..*

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Denne delen av oppgaven ble gjennomført i det alkaliske filteret ved IVARs vannbehandlingsanlegg på Langevatn på 200 siden. Alkalisk filter består av flere bassenger fylt med marmor for stabilisering av vannets kjemiske sammensetning og gir vannet en bufferkapasitet. Spesiell oppmerksomhet ble rettet mot de tre sentrale vannkvalitetsparametere: turbiditet, ATP og TOC. Disse parameterne gir innsikt i vannets renhet og kvalitet gjennom de ulike stadiene av renseprosessen.

### 2.2 Turbiditet

Turbiditet er et mål for uklarheten i vannet, hovedsakelig bestemt av finpartikulært materiale som sand, leire, jern og andre suspenderte partikler. Årsaker til turbiditet i norske vannkilder inkluderer algevekst, breslam, utfelte jern- og manganhydroksider, samt erosjonsprodukter. (*Turbiditetsmåling | Prosess-Styring*, u.å.)

Måleenheten FNU (Formazine Nephelometric Unit) brukes i dette forsøket. Grenseverdi i samsvar med norske forskrifter er på 4,0 FNU for drikkevann. (*Labora • Grenseverdier Parameterne i Drikkevann • Labora*, u.å.) Turbiditet skal reduseres gjennom vannbehandlingen slik at de fastsatte grenseverdier ikke overskrides.

Denne rapporten tar ikke hensyn til denne grenseverdien, ettersom vannet videre skal gjennom flere renseprosesser etter alkalisk filter. Lave turbiditetsmålinger ved ordinær drift vil fortsatt bli vektlagt og sett på som best ettersom høy turbiditet kan føre til en redusert desinfeksjonseffekt videre i renseprosessen.

Tekniske aspekter som misfarging, smaks- og luktproblemer, og korrosjon kan oppstå ved høy turbiditet. Drikkevannsforskriften angir "akseptabel for abonnentene" som grenseverdi, og en verdi for turbiditet på 1,0 FNU anbefales for ferdig renset vann. IVAR produserer vann med turbiditet på under 0,1 FNU (*Vannkvalitet - IVAR*, 2018), som er langt innenfor grenseverdien. Grunnen til at en egen og lavere grenseverdi er satt for vannbehandlingsanlegg, er at det må medregnes med en økning i turbiditet av vannet gjennom ledningsnettets som følge av korrosjon og slam i rørene. Tekniske aspekter som trykkstøt og kraftig tapping kan føre til at løsning av slam eller utfelling av jern-, mangan- eller aluminiumhydroksider i ledningsnettets. Dette kan forårsake smaks- og luktproblemer, misfarging av sanitærutstyr, problemer med klesvask, og kan indikere korrosjon i ledningsnettets. Høy turbiditet gir dårlig estetisk utseende for vannet og kan forårsake tekniske problemer som rørtilstopping og gi skade på utstyr. Kvalitetskravene for turbiditet er dermed delvis basert på bruksmessige hensyn og delvis for hygieniske årsaker.

Turbiditet er en indikatorparameter som gjør det mulig å overvåke koagulering og filtreringseffektiviteten i vannbehandlingsanlegget. Turbiditet er en grunnleggende indikator for vannkvalitet, og høye verdier er uakseptable i drikkevannsbehandling.

Det indikerer om vannbehandlingsprosessen gir en tilstrekkelig hygienisk barriere i vannbehandlingsanlegget. Dermed er turbiditet en viktig indikator for å opprettholde vannkvalitet og sikre at vannet er egnet til forbruk.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### Helseeffekter:

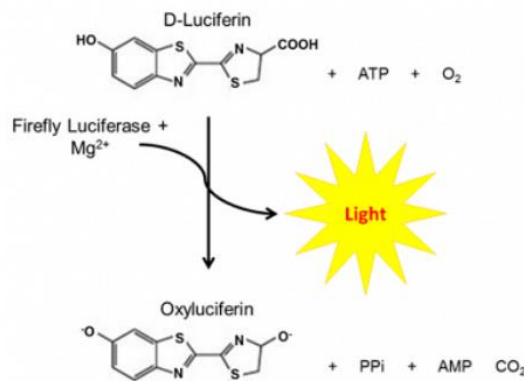
Turbid vann utgjør vanligvis ingen helsemessige problemer ved konsum, med mindre det høye nivået skyldes oppblomstring av toksinproduserende alger. Høy turbiditet kan føre til redusert desinfeksjonseffekt ved klorering, ozonering og UV-bestråling og kan derfor ha en indirekte helsemessig betydning. (Susanne Hyllestad et al., 2021)

### 2.3 ATP

ATP, eller adenosintrifosfat, ble bestemt som indikator for biologisk aktivitet i vannet.

ATP fungerer som en energibærer og er til stede i alle levende celler. Måling av ATP gir informasjon om tilstedeværelsen av mikrobiell biomasse, og gir et grunnlag for å vurdere den biologiske aktiviteten i vannet. ATP-målinger gir et øyeblikksbilde av den mikrobielle aktiviteten i vannet, og vi kan dermed se på hvordan forskjellige spyleoppsett påvirker den biologiske aktiviteten i vannet. ATP konsentrasjonen kan dermed benyttes som til en tilnærming for bakteriekonsentrasjon under og etter vannbehandling.

ATP-målinger måles i Relative Lys Enheter (RLU) ved hjelp av et luminometer. RLU er en måleenhet for lysintensiteten som skapes når ATP reagerer med enzymet luciferase, da denne reaksjonen produserer lys. Målingene gir et indirekte estimat av mengden ATP tilstede i prøven. (Susanne Hyllestad et al., 2021)



Figur 2. Illustrasjon av reaksjon mellom ATP og luciferase, bilde er hentet fra (Co.KG, 2023)

Under prøvetakingen brukes en flaske med tiosulfat for å nøytralisere kloren i vannet. Ved å nøytralisere kloren skapes et miljø i prøven som er mer representativt for forholdene i vannkilden. Dette bidrar til å oppnå et mest mulig korrekt bilde av det faktiske biologiske materiale og dets aktivitet i vannet. Kloren kan påvirke biologiske organismer, og nøytraliseringen bidrar til å bevare integriteten til det biologiske materialet i prøven.

Det er viktig å være oppmerksom på at det kan forekomme forskjeller innenfor samme prøve, da det er mulig å få "klumper" med biologisk materiale i ett uttak og ikke i det neste. For å minimere slike variasjoner er det nødvendig å sørge for at prøvene blir grundig vendt

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

og homogenisert før testing. Dette sikrer et mest mulig nøyaktig estimat av biologisk materiale i prøven.

Den beskrevne prøvetakingsprosedyren, som inkluderer bruk av flasker med tiosulfat, er dermed avgjørende for å sikre at prøvene gir pålitelige og representative resultater når den biologisk aktivitet i vannkilden blir vurdert.

### 2.4 TOC

TOC, totalt organisk karbon, er en viktig parameter for vurdering av organisk forurensning i vann. Den måler mengden karbon bundet til organiske forbindelser, inkludert humusstoffer og andre organiske stoffer fra ulike kilder som jordbruks- og industriutslipp, samt organisk materiale produsert av alger i vannet. Mye organisk material i vann kan fremme biologisk vekst som kan påvirke vannbehandlingen og kvaliteten på drikkevannet.

Klorering av vann med høyt innhold av organisk stoff gir vann med høyt fargetall. Høyt fargetall i norske overflatevannkilder skyldes normalt høyt innhold av humus. Dette kan resultere i ubehagelig lukt og smak på drikkevannet.

Humus i drikkevann kan redusere virkningsgraden av desinfeksjonsprosesser. Spesielt vil humusholdig vann føre til rask svekking av strålingsintensiteten ved UV-stråling. Ozon vil også inaktiveres ved at det organisk stoff oksiderer, hvor humus som er delvis nedbrutt ved oksidasjon vil kunne øke slamdannelsen i filterene og føre til oftere spylinger. Grenseverdi for TOC er satt til «Ingen unormal endring» i Drikkevannsforskriften. Labora oppgir en grenseverdi for TOC på 5,0 mg/l. (*Labora • Grenseverdier Parameterne i Drikkevann • Labora, u.å.*)

Organiske stoffer fra jordbruks- og industriavløp kan inneholde pesticider, og ved klorering av vannet kan de danne helseskadelige stoffer. Algeprodusert organisk materiale kan også være helsemessig farlig på grunn av dannelse av algetoksiner. Akvatisk humus har ingen kjente direkte helseeffekter, men kan gi dårlig smak og lukt på vannet ved klorering. (Susanne Hyllestad et al., 2021)

TOC er en sentral parameter for å evaluere organisk forurensning i vannkilder, og gir en innsikt over den generelle mengden av organisk materiale i vannet. Lave verdier er avgjørende for å opprettholde god drikkevannskvalitet og unngå uønsket mikrobiell vekst.

### 2.5 Alkalisk filter spyling

Spyling er en avgjørende prosess i drikkevannsfiltreringssystemer for å bevare filterets effektivitet og sikre at levert vann forblir rent og sikkert. På IVAR er spyling av det alkaliske filteret automatisert og trigges enten etter 800 timers drift eller når differansetrykket i filteret når en kritisk verdi. Differansetrykket øker gradvis med partikkeloppbygging i



## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

filtermassen, og for å unngå korte filtersykluser, er det essensielt å holde filteret så rent som mulig.

### Spylingsprosedyre

Før spyling tømmes bassenget for vann, slik at det bare dekker marmor- og partikkelmassen. Sluser endres for å forhindre at spylevannet blander seg med rent drikkevann. Det forurensede spylevannet sendes til en lagune utenfor anlegget. Spylingen utføres med en kombinasjon av luft og vann for optimal spyleeffekt.

### Spyling

En luftsluse under bassenget muliggjør kontinuerlig luftgjennomstrømning. Luftbobler løfter filtermassen og bidrar til frigjøring av avsatte partikler. Unntatt oppsett 2 ventes det med vannfylling til luftingen er fullført etter tre minutter.

Bassenget spyles og fylles opp med vann under ønsket trykk over et bestemt antall minutter. Vannprøver tas fra samlerennene når vannstanden tillater det.

#### 1. Filtrat

Ved 1. filtrat spyles vann gjennom filteret fra undersiden og opp til bassenget. Vannet som brukes her er gjenbrukbart og ledes til et eget kammer. Dette vannet gjenbrukes som spylevann ved neste marmorspyling. Etter hvert stilles filterfunksjoner seg tilbake til vanlig drift med en jevn vanngjennomstrømning. Marmor og gjenværende sedimenter faller tilbake til bunnen av bassenget.

Det kan ta en stund før all filtermassen legger seg, og parametere er høye og lite representative for effekt av oppsett umiddelbart etter spyling. Parametertesting utføres derfor en dag etter spyling når en større andel av partiklene har fått lagt seg.

### Ordinær Drift

Antall liter vann som passerer gjennom filteret etter 1. filtratspyling telles. Etter 100 m<sup>3</sup> vann går systemet over til ordinær drift. Slus til samlerør for vann etter alkalisk filter åpnes, og vannet ledes videre til biofilteret for ytterligere rensing.

## 2.6 Formler

- Gjennomsnitt for resultater fra analyser beregnes ved bruk formel 1:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (\text{formel 1}) \quad (\text{«Gjennomsnitt», 2023})$$

hvor  $\bar{x}$  er gjennomsnittet,  $x_i$  er individuelle resultater og  $n$  er totalt antall prøver.

- Utregninger av vannforbruk finnes ved formel 2:

$$\text{vannforbruk } m^3 = \frac{(\sum_{i=1}^N \text{Vannstrøm fra kilde } i) \times t}{\text{konverteringsfaktor}} \quad (\text{formel 2})$$

Hvor konverteringsfaktor for l til m<sup>3</sup> = 1000,  $t$  = tid i minutter,

- Formel for utregning av ATP gjøres ved formel 3:

$$\text{Total ATP} = \text{ATP}_k \times \text{Volum av prøve hvor } \text{ATP}_k = k \times L \quad (\text{formel 3})$$

*ATP<sub>k</sub> er ATP-konsentrasjonen i prøven, k er kalibreringskonstant og L = lysutslipp*

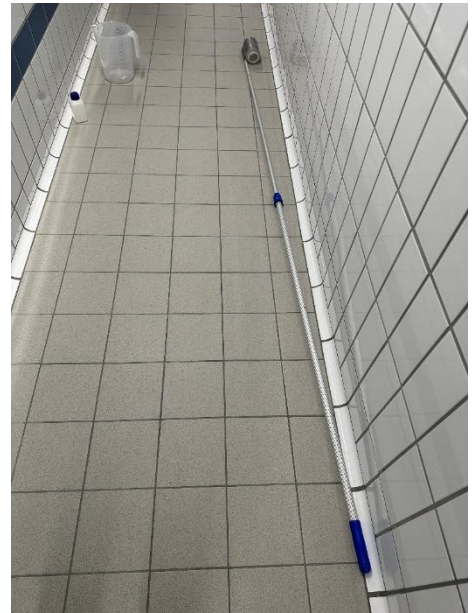
## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### 3. EKSPERIMENTELL

#### 3.1 - INNHENTING AV VANNPRØVER

##### Utstyr

- Flasker med tiosulfat (rød kork)
- Eurofins egne flasker
- Vannfast tusj
- Gassbrenner
- Handlevogn for lettere transport av prøver
- Stang med flaske på enden (*Bilde 1*)
- Stort samlebeger
- Sterile flasker til oppsamling av vannprøver



*vannprøver fra basseng.*

##### Klargjøring for prøvetaking

- Det ble opptelt hvor mange flasker det ble nødvendig å klargjøre for hver analysedag.
- Hver flaske ble markert etter hvor i spylingen vannprøven ble tatt ifra og hvilket minutt den ble tatt ifra.
- Det ble også klargjort flasker til vannprøver hvor det ble 3 for før spyling og 3 flasker til en dag etter spyling. Her ble det benyttet tre forskjellige flasker med hvert sitt formål. En steril flaske ble klargjort for analyse av turbiditet, en flaske med tiosulfat for analyse av ATP og en av eurofins egne flasker til innsending av prøve.

##### Før spyling

- Før innhenting av vannprøver ble relevant kran tilhørende basseng som senere ble spylt, oppvarmet til metallet lett ble rødt med gassbrenner slik at alt av forurensinger ble fjernet.
- Kranen ble skrudd på, først kraftig før den raskt ble stilt ned slik at vannet ble rennende i en jevn og tynn stråle.
- Kranen ble stående på slik at vannet fikk renne minst 20 ganger igjennom kranen.
- En flaske med rød kork, som indikerte den inneholdt tiosulfat, ble fylt delvis opp..
- Flasken til eurofins ble fylt opp helt til topps.
- En sterilisert flaske med blå kork ble fylt helt opp for senere testing av turbiditet.
- Samlede flasker ble fraktet til labben. Hvor flasken med rød kork og flasken til eurofins ble oppbevart i kjøleskap.

##### spyling

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

- Alle klargjorte og ferdig markerte flasker ble samlet i en handlevogn, og fraktet til basseng til spyling.
- Spylingen ble utført slik oversikten over oppsett ble vist.
- Ved spyling ble det tatt ut prøver ifra rennen i bassenget for hvert minutt spylingen pågikk ved hjelp av en stang med en flaske på enden. (*Bilde 1*)
- Vann samlet i flasken ble videre helt over til et stort samlebeger, hvor det videre ble helt over til riktig markert flaske.

### 1. Filtrat

- Vannprøver for 1. filtrat ble tatt nede ved kranene.
- Aktuell kran ble brent ren (*Bilde 2*) før prøvetaking, og satt på slik at vann ble rennende konstant i en fin stråle.
- Start for telling av tid ble satt på da vannmålermaskinen ved kranen startet å telle.
- Det ble tatt ut prøver etter 1, 5, 10, 15 og 20 minutter fra 1. filtrat.
- Alle prøver ble samlet i handlevognen med riktig markering for hvor og når prøven ble tatt.



*Bilde 2. Brenning av kran*

### Ordinær drift

- Innhentning av prøvet til ordinær drift ble tatt ved samme kran som 1. filtrat. Kran ble aldri tatt av mellom overgang fra 1. filtrat til ordinær drift.
- Start av tid for ordinær drift ble satt på når sluser til samlerør for relevant kran ble åpnet.
- Det ble innhentet prøver for ordinær drift ved 0, 3, 6, 9 og 12 minutter inn i ordinær drift.
- Alle prøver ble samlet i handlevognen med riktig markering for hvor og når prøven ble tatt. (*Bilde 3*)
- Alle prøver som ble hentet inn ble analysert samme dag på laben.

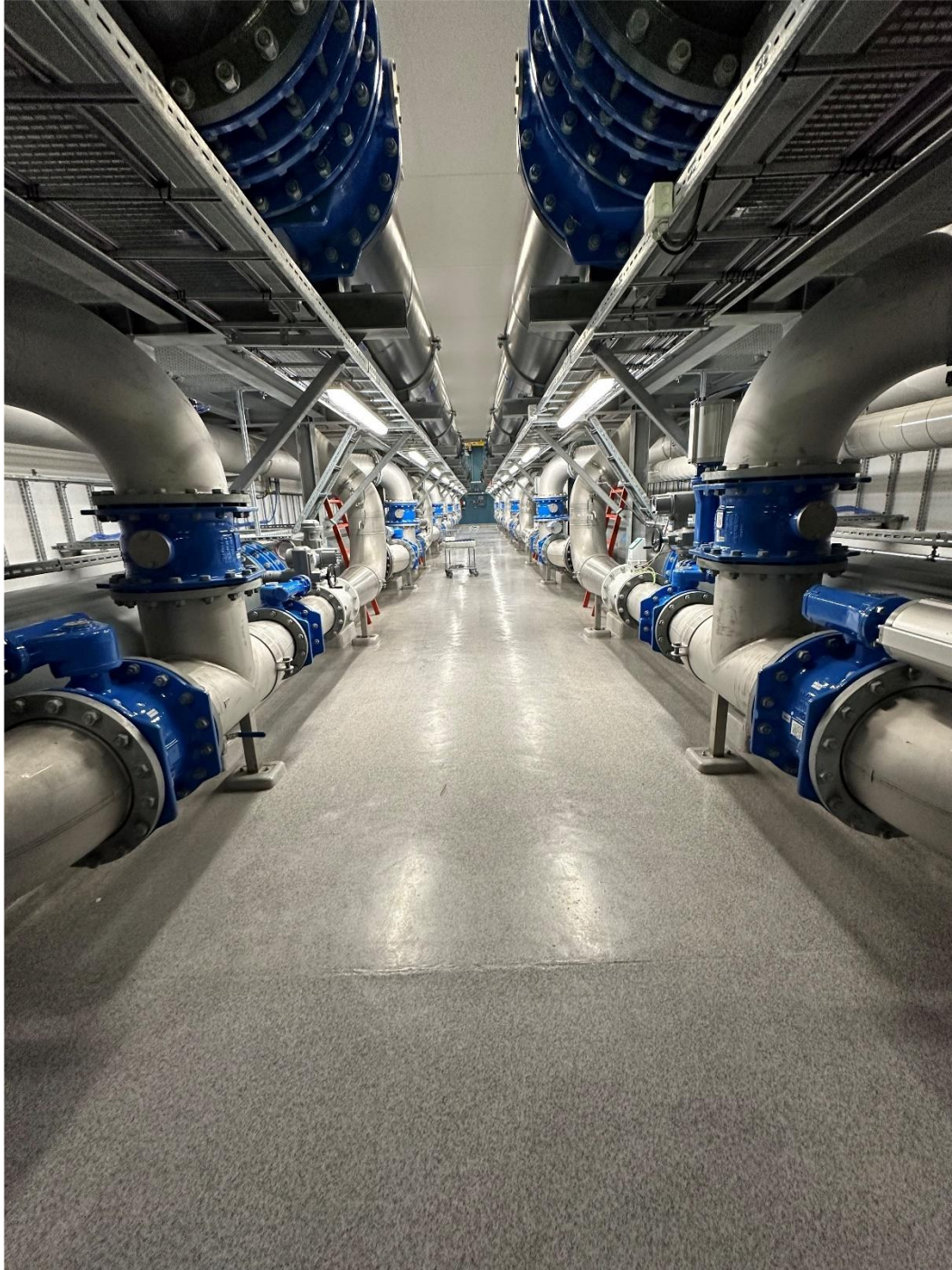


*Bilde 3. Handlevogn med prøver hentet inn fra spyling, 1. filtrat og ordinær drift*

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### 1 dag etter spyling

- Dagen etter spyling ble det samlet inn tre nye vannprøver.
- Fremgangsmåten ble den samme som fremgangsmåte og flasker brukt ved innhenting av prøver «før spyling».



*Bilde 4. Her ser man alle samlerør og kraner hvor prøveuttak ble utført for Alkalisk filter linje 200. FAL211 – 216 befinner seg på venstre side, FAL 221 – 226 til høyre.*

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### 3.2 – ATP

Prosedyre er fra: Luminultra Technologies QGA™ test kit med instrument Photonmaster™ Luminometer (Whalen, 2013)

#### KJEMIKALIER:

- Luminase (ferdig tillaget buffer + enzym)
- UltraCheck1
- Ultralyse7
- Ultralute reagenstuber

#### UTSTYR:

- PhotonMaster Luminometer (*Bilde 5*)
- Analyserør
- 50 ml sterile sprøyter
- Filter til sprøyter (porestørrelse på 40 µm)
- Pipette (1 ml og 100 µL)
- Pipettespisser (1 ml og 100 µL)
- Samlebeger
- Vannprøve
- Hansker

#### PROSEDYRE:

##### Før analyse:

- Benkeplaten ble vasket med sprit, reagenser ble romtemperert og ny luminase ble tillaget dersom det var lite igjen eller standard resultatet ble på under 5000 RLU under kontroll av luminaseaktivitet. Hansker ble alltid brukt.

##### Tillaging av Luminase:

- Tillaging av luminase ble gjort ved bruk av kjemikalier medfølgende i Luminultra Technologies QGA™ test kit.
- Det ble brukt hansker og innsider av rør og korker ble unngått.
- 1 rør buffer-løsning ble tilsatt 1 rør frysetørket luminase enzym.
- Blandingen ble stående i minst 5 minutter før analysestart, og ble aldri oppbevart over 30°C i 1-2 timer.

##### Kalibrering av instrument

- Instrumentet ble kalibrert før analyse for hver prøveserie.
- Instrumentet ble slått på med gul knapp, og ble klargjort for test ved to trykk på grønn knapp.
- I et analyserør ble det tilsatt 2 dråper UltraCheck1 og videre tilsatt 100 µL Luminase.
- Det ble sjekket at blandingen var uten luftbobler før analyserør forsiktig ble rotert 5 ganger før den umiddelbart ble satt over til luminometeret.
- $RLU_{ATP1}$  ble lest av. Dersom RLU-verdien ble på under 5000 ble det tillaget ny luminase og kalibreringen ble startet på nytt.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### Analyse av prøver

#### Filtrering

- Vannprøve som ble analysert ble vendt 12 ganger for å få en homogen prøve.
- Stempelet fra den 50 ml sprøyten ble tatt ut før filteret ble satt på sprøyten.
- 50 ml vann fra vannprøve ble helt over til sprøyten.
- Stempelet ble satt på igjen og presset ned slik at prøven ble filtrert med en hastighet på rundt 3-5 ml per sekund som tilsvarer 12-20 sekunder til sprøyte ble tømt.
- Stempelet ble presset så langt ned at hele vannprøven gikk igjennom, men ikke så hardt at filteret ble tørt.
- Vannet som gikk igjennom filteret, ble samlet i et samlebeleg og ble senere kastet.

#### Frigivelse av ATP

- 9 ml UltraLute prøverør ble funnet frem og åpnet.
- Filteret ble skrudd av sprøyten og ble plassert på toppen av UltraLute prøverøret.
- Stempelet på sprøyten ble tatt ut, og sprøyten ble festet tilbake på filteret.
- 1 ml UltraLyse7 ble pipettert til sprøyten.
- UltraLyse7 løsningen ble presset gjennom filteret inn til UltraLute prøverør ved hjelp av stempelet. Løsningen ble presset igjennom til det ble dannelse av luftbobler ifra filteret.

#### Analyse av prøve

- UltraLute prøverør ble lukket og vendt 12 ganger for oppnåelse av en homogen løsning.
- Ett nytt analyserør ble funnet frem, hvor 100 µL av UltraLute løsning og 100 µL luminase ble pipettert over til analyserøret.
- Prøven ble sjekket for luftbobler og ble forsiktig rotert 5 ganger.
- Analyserøret ble umiddelbart satt over til luminometeret, hvor  $RLU_{ATP1}$  videre ble avlest.



Bilde 5. Photonmaster™ Luminometer brukt under analyse av ATP

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### 3.3 - TURBIDITET

#### UTSTYR:

- 002 – Turbidimeter HACH 2100N (*Bilde 6*)
- Runde glass kyvetter tilhørende turbidimeteret
- Linsepapir
- Destillert vann
- Hansker

#### PROSEDYRE:

##### Før analyse

- Turbidimeteret ble slått på ved å trykke på knappen på baksiden av instrumentet.
- Turbidimeteret ble stående på i minst 30 minutter før analysestart, slik at lampen i apparatet ble varmt og det ble gitt ut riktige målinger.
- Det ble alltid brukt hansker ved håndtering av kyvetter.

##### Kalibrering av instrumentet

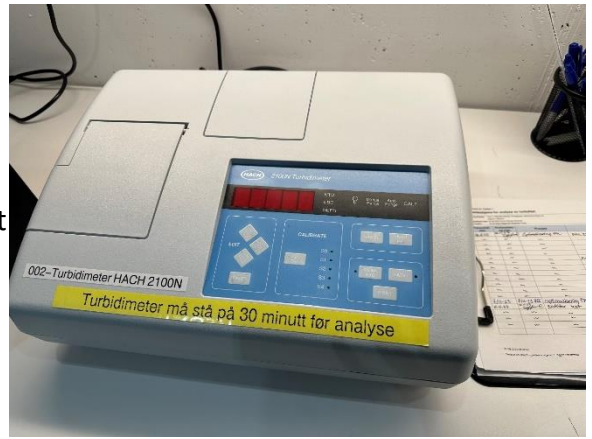
- Kyvette ble funnet frem og sjekket for urenheter.
- Den ble først spylt 3 ganger med destillert vann før den ble fylt opp til streken på kyvetten med destillert vann.
- Linsepapir ble brukt på kyvetten for å fjerne alt av urenheter på glasset.
- Kyvetten med destillert vann ble plassert inn i turbidimeteret, hvor pilen på kyvetten ble sentrert mot oppmerket punkt i turbidimeteret.
- Resultater for destillert vann på mellom 0,040 og 0,050 ble ansett som riktige. Ble resultatene annerledes, ble punkter for kalibrering gjentatt.

##### Analyse av prøver

- Vannprøven ble vendt 14 ganger før bruk til analyse for å oppnå en homogen prøve.
- Før hver gang en vannprøve ble analysert, ble kyvetten spylt 3 ganger med destillert vann, etterfulgt av 3 spylinger med aktuell prøve.
- Kyvetten ble fylt opp med vannprøve til oppmerket strek på kyvetten.
- Linsepapir ble brukt for å tørke bort vann og andre forurensinger før kyvetten ble plassert inn i turbidimeteret.
- Resultater ble avlest ved noe stabilitet av resultater på turbidimeteret.
- Det ble passet på at resultater ble avlest ved homogen prøve, før urenheter i vannprøven fikk lagt seg til bunn.
- Ved analyse av vannprøver ifra spyling ble det høyeste resultatet innen 3 sekunder notert. Her ble det tatt hensyn til de store partiklene i prøvene som raskt sank til bunns for å få et mest mulig riktig resultat.

### 3.4 - TOC

- Vannprøve ble sendt til eurofins for analysering, ettersom nødvendig analyseinstrument for analysen ikke fantes hos IVAR.
- Vannprøver ble markert og holdt kjølig før innsending for analyse til eurofins.



Bilde 6. Turbidimeter brukt til analyse av turbiditet

## 4. RESULTATER OG DISKUSJON

### 4.1 RESULTATER FRA SPYLING

#### Oppsett 1.

Dette er referanseoppsett som ble brukt for spyling av alkalisk filter ved oppstart av dette prosjektet. Filter spylt med OP1 ble luftet i 3 min. Filteret ble deretter spylt vann i 3 min med en hastighet på 450 l/s og til slutt i 9 min vannhastighet på 700 l/s. Se kap. 2.5 for nærmere forklaring.

Analysen utført gjennom prosjektet ga følgende gjennomsnittlige resultater vist i *tabell 6* for turbiditet i OP1. Diagram for utvikling av alle spylinger er vist i *figur 3*.

- Spylevann

Startverdien er på 367 og synker gradvis til 9. Dette gir et informativt grunnlag for analysen av nye oppsett, og kan gi indikasjoner på om suspenderte stoff som spyles ut fra filteret avtar over tid eller det er vannet som blir renere.

- 1. filtrat

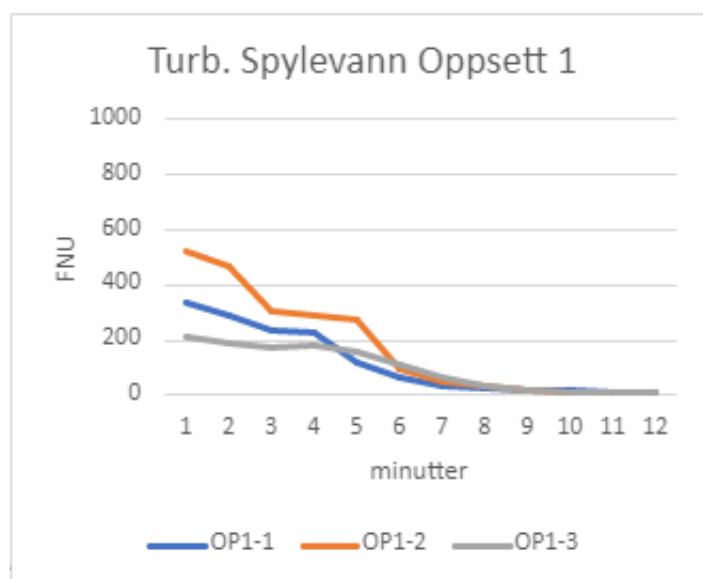
Starter på 0,18 og synker noe før FNU øker til 0,23. Dette kan tyde på at vannet blir klarere i løpet av forsøket, med en viss økning mot slutten. Prøvene er tatt etter filtrering i kraner.

- Ordinær drift

Starter på 0,27 og øker gradvis til 0,39. Her er det en økning i FNU-verdien under ordinær drift, noe som går imot ønsket for lavest mulig FNU-verdi. Dette indikerer at noe utløser en endring i vannet slik det blir mer uklart ved overgang til ordinær drift.

Tabell 6. Gjennomsnittlig FNU OP1

prøve ifra	min	OP1
Spylevann	1	367
	2	315
	3	238
	4	233
	5	182
	6	93
	7	51
	8	30
	9	18
	10	13
	11	10
	12	9
1. filtrat		O1
	1	0,18
	5	0,17
	10	0,17
	15	0,18
20	0,23	
ordinær drift		O1
	0	0,27
	3	0,32
	6	0,35
	9	0,38
	12	0,39





## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### Oppsett 2.

I filter spylt med OP2 ble lufting og spyling med 450 l/s kombinert. Dette ga et spyleregime med 3 min lufting og spyling ved 450 l/s. Luft ble slått av og filteret ble videre spylt i 9 min med en vannhastighet på 700 l/s.

Analyser utført gjennom prosjektet ga følgende gjennomsnittlige resultater vist i *tabell 7* for turbiditet i OP2. Diagram for utvikling av alle spylinger er vist i *figur 4*.

- Spylevann

Starter på 586 og synker gradvis til 10. Oppsettet får ut store mengder suspendert stoff under spyling. FNU ender lavt som indikerer effektiv rensing av vann

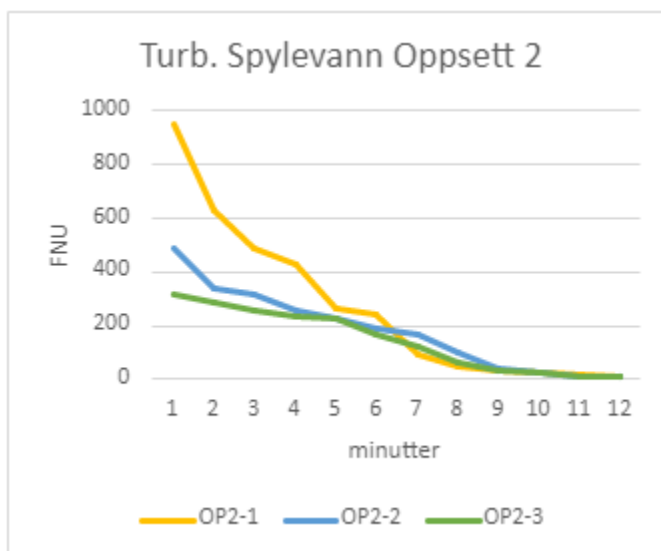
- 1. filtrat

Starter på 0,17 og øker gradvis til 0,25. En økning her kan tolkes som en gradvis forverring i klarhet av vannet gjennom filtreringen.

- Ordinær drift

Starter på 0,30 og øker gradvis til 0,38. Her er det igjen en økning i FNU-verdien ved overgang til ordinær drift.

Samlet sett ser er resultatene for spylevann og 1. filtrat svært gode. Oppsettet får ut store mengder suspenderte stoffer gjennom spylingen. Imidlertid er det igjen en økning i FNU-verdien både ved 1. filtrat og under ordinær drift, noe som kan kreve nærmere undersøkelse for hva som forresaker økningen for å oppnå ønsket vannkvalitet. Grafen i figur 4 viser en jevn nedgang av FNU under spyling.



Figur 4. Oversikt for utvikling av turbiditet for OP2 gjennom spyling

Tabell 7. Gjennomsnittlig FNU OP2

prøve ifra	min	OP2
Spylevann	1	586
	2	419
	3	354
	4	306
	5	240
	6	197
	7	127
	8	71
	9	37
	10	22
	11	14
	12	10
1. filtrat		OP2
	1	0,17
	5	0,19
	10	0,19
	15	0,22
	20	0,25
ordinær drift		OP2
	0	0,30
	3	0,33
	6	0,35
	9	0,36
	12	0,38

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### Oppsett 3.

Spyleoppsett OP3 består av 3 min med lufting, 1 min med 450 l/s og 9 min spyling med en vannhastighet på 700 l/s.

Analyser utført gjennom prosjektet ga følgende gjennomsnittlige resultater vist i *tabell 8* for turbiditet i OP3. Diagram for utvikling av alle spylinger er illustrert i *figur 5*.

- Spylevann

Starter på 392 og synker gradvis til 6. Lignende resultater som i OP1, men har en kortere spyleintervall.

- 1. filtrat

Starter på 0,17 og øker gradvis til 0,21. Her observeres det også en svak, gradvis forhøyning av FNU gjennom 1. filtrat.

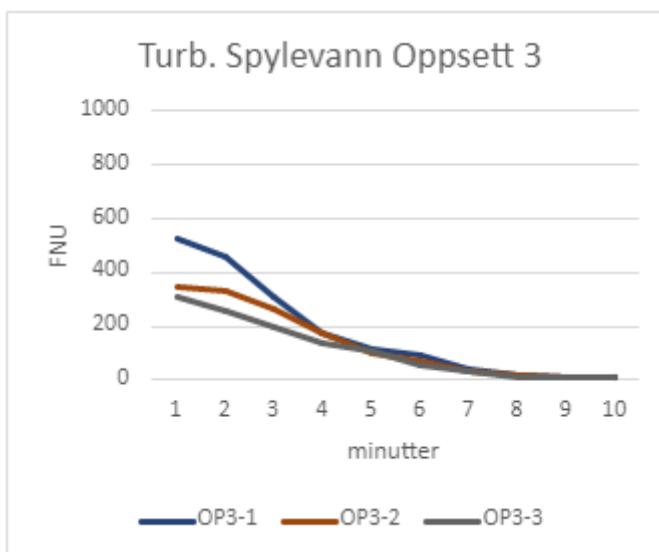
- Ordinær drift

Starter på 0,23 med en økning til 0,26. Holder seg relativt stabil.

Tallene her kan ved første øyekast se bra ut, men det tas forbehold om at spylelengden er betraktelig kortet ned. Oppsettet klarer dermed ikke å få ut en stor mengde suspendert stoffer gjennom spylingen.

Det observeres en svært svak økning i FNU-verdi ved 1. filtrat og under ordinær drift. Resultater i ordinær drift er lavere enn ved tidligere oppsett. Jo lavere resultater i ordinær drift, jo bedre. For mer informasjon om ønskede resultater se kapittel 2.2.

Graf for OP3 (*figur 5*) viser en fin og jevn nedgang av FNU under spyling, med lignende startpunkter som oppnådd ved OP1.



Figur 5. Oversikt for utvikling av turbiditet for OP3 gjennom spyling

Tabell 8. Gjennomsnittlig FNU OP3

prøve ifra		OP3
Spylevann	1	392
	2	349
	3	257
	4	162
	5	106
	6	74
	7	35
	8	17
	9	10
	10	6
	11	
	12	
1. filtrat		OP3
	1	0,17
	5	0,17
	10	0,16
	15	0,18
	20	0,21
ordinær drift		OP3
	0	0,23
	3	0,26
	6	0,27
	9	0,26
	12	0,26

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### Oppsett 4.

OP4 består av 3 min lufting, 3 min spyling med vannhastighet på 700 l/s og 5 min spyling med en hastighet på 1000 l/s.

Analyser utført gjennom prosjektet ga følgende gjennomsnittlige resultater vist i *tabell 9* for turbiditet i OP4. Diagram som viser utvikling av alle spylinger er illustrert i *figur 6*.

- Spylevann

Starter på 726 og synker gradvis til 44. Her spyles det ut masse partikler, men FNU er høy ved overgang til 1. filtrat

- 1. filtrat.

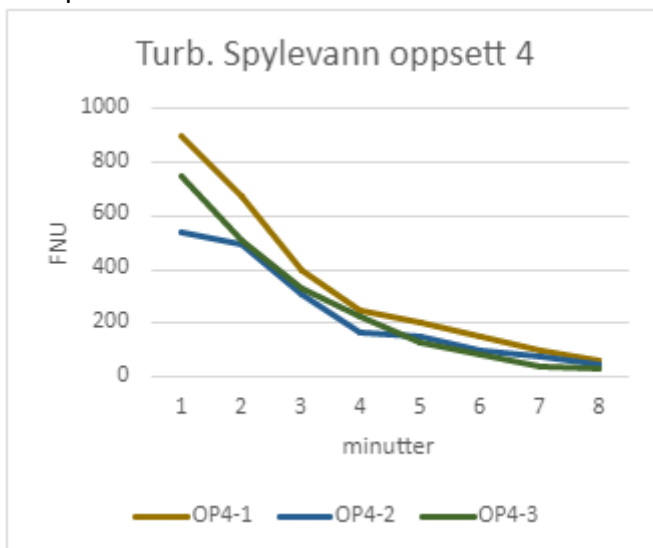
Starter på lavt på 0,17 og øker gradvis før FNU verdien hopper til 0,59. Dette kan indikere at det er frigjort partikler ikke setter seg raskt etter spyling, og vannet blir mer uklart.

- Ordinær drift

Starter på 0,70, øker gradvis til 0,83. Holder seg relativt stabilt. Dette kan tyde på at suspenderte stoffer fortsatt ligger i vannet ved omstilling til ordinær drift.

Det observeres svært høy FNU-verdi i slutten av 1. filtrat og under ordinær drift. Resultater for ordinær drift er mye høyere enn ved tidligere oppsett.

Graf for OP4 (*figur 6*) viser en jevn men sen nedgang av FNU under spyling. Dette oppsettet produserte de høyeste startpunktene.



Figur 6. Oversikt for utvikling av turbiditet for OP4 gjennom spyling

Tabell 9. Gjennomsnittlig FNU OP4

prøve ifra		OP4
Spylevann	1	726
	2	557
	3	343
	4	213
	5	157
	6	108
	7	71
	8	44
	9	
	10	
	11	
	12	
1. filtrat		OP4
	1	0,17
	5	0,19
	10	0,20
	15	0,23
	20	0,59
ordinær drift		OP4
	0	0,70
	3	0,79
	6	0,81
	9	0,84
	12	0,83

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Tabell 10. Viser resultater for alle turbiditetsmålinger tatt ved spyling av alkalisk filter. Volum, total FNU og gjennomsnitt er utregnet for hver del ved bruk av formler fra teoridel. Gjennomsnittlig FNU/m<sup>3</sup> er også utregnet for spylevann.

prøve ifra	minutter	OP1-1	OP1-2	OP1-3	OP2-1	OP2-2	OP2-3	OP3-1	OP3-2	OP3-3	OP4-1	OP4-2	OP4-3
Spylevann	1		525	208	954	491	314	524	345	308	895	538	745
	2	337	470	186	631	340	286	460	333	253	672	491	508
	3	290	304	171	487	315	259	310	261	199	393	310	327
	4	238	287	184	427	255	236	173	176	137	249	165	225
	5	227	271	157	263	230	227	114	96	109	199	147	126
	6	118	98,5	114	241	187	163	91,9	72,8	56,8	149	95	81,4
	7	65,6	52,6	65,3	90,1	170	120	43,1	34,4	28,8	99,5	73,9	40,2
	8	34,2	31,5	35,7	49,5	100	62,6	19,4	19,6	12,6	57,2	42,8	33,4
	9	23,9	19	15,5	32,5	42,4	35,3	9,43	11,1	9,36			
	10	18,2	13,1	13,1	25,6	20,9	20,9	4,16	6,92	7,47			
	11	14	11,2	9,43	18,5	11,9	11,1						
	12	10	8,64	8,13	11,2	10,4	9,68						
1. filtrat	Volum	540000	567000	567000	567000	567000	567000	513000	513000	513000	426000	426000	426000
	Total FNU	1376	2092	1167	3230	2174	1745	1749	1356	1121	2714	1863	2086
	Snitt av 3 runder - Total FNU												
	FNU/m3	2,55	3,69	2,06	5,70	3,83	3,08	3,41	2,64	2,19	6,37	4,37	4,90
	Snitt / oppsett			2,77			4,20			2,75			5,21
		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3
	1	0,176	1,27	0,176	0,172	1,52	0,172	0,166	0,489	0,175	0,16	0,338	0,168
	5	0,171	1,13	0,178	0,197	1,83	0,175	0,165	0,516	0,169	0,17	1,12	0,187
	10	0,165	0,757	0,177	0,179	0,708	0,198	0,16	1,35	0,167	0,184	0,739	0,196
	15	0,166	1,2	0,198	0,182	1,73	0,248	0,173	0,715	0,182	0,23	0,593	0,227
20	0,188	1,41	0,266	0,216	1,12	0,291	0,191	0,451	0,223	0,332	2,01	0,585	
ordinær drift	Volum (m3)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Total FNU	0,866	5,767	0,995	0,946	6,908	1,084	0,855	3,521	0,916	1,076	4,8	1,363
	Snitt uttak 1 og 3			0,9305			1,015			0,8855			1,2195
		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3
	0	0,215	1,87	0,319	0,23	0,705	0,363	0,203	0,385	0,256	0,208	1,92	0,704
	3	0,26	0,826	0,371	0,267	1,39	0,399	0,208	0,501	0,309	0,197	0,864	0,787
	6	0,307	1,14	0,392	0,29	0,538	0,405	0,217	0,354	0,323	0,203	0,821	0,814
	9	0,336	1,2	0,42	0,32	1,61	0,404	0,216	0,431	0,313	0,226	0,715	0,841
	12	0,348	1,24	0,431	0,374	1,54	0,393	0,219	0,808	0,301	0,282	1,11	0,833
		Volum											
	FNU	0,2932	1,2552	0,3866	0,2962	1,1566	0,3928	0,2126	0,4958	0,3004	0,2232	1,086	0,7958
	Snitt 1 og 3			0,3399			0,3445			0,2565			0,7958

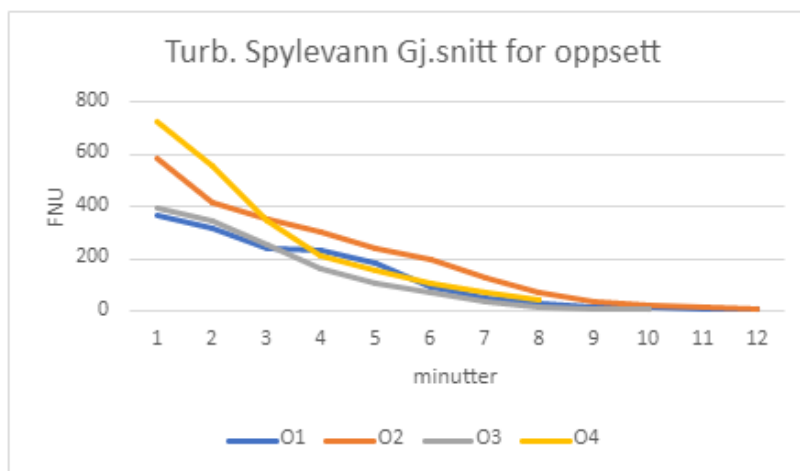
# Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

## Vurdering av resultater

Resultatene ble utregnet og hentet ifra *tabell 10* hvor gjennomsnittlig total FNU ble utregnet ved hjelp av (*formel 1*). Resultater ble satt inn i *tabell 11* for å få en helhetlig og god oversikt. Diagrammer ble plottet mot oppnådde gjennomsnittsverdier for hvert oppsett hvor resultater ble delt inn i spyling, 1.filtrat og ordinær drift. Et optimalt spyleoppsett vil få ut mest mulig grums ut under spyling og ved 1. filtrat, en høyere total FNU-verdi indikerer en større mengde urenheter fjernet under spyling. Lavere total FNU-verdi innen ordinær drift indikerer at det ble rent og trygt vann sendt videre ut i anlegget.

Tabell 11. Gjennomsnittlig total FNU oppnådd i oppsettene. De to beste resultatene for hver del av spylingen er uthevet i grønt

		Oppsett 1	Oppsett 2	Oppsett 3	Oppsett 4
Spylevann	Total FNU	1545	2383	1409	2221
1. filtrat	Total FNU	0,9305	1,015	0,8855	1,2195
Ordinær drift	Total FNU	0,3399	0,3445	0,2565	0,7958

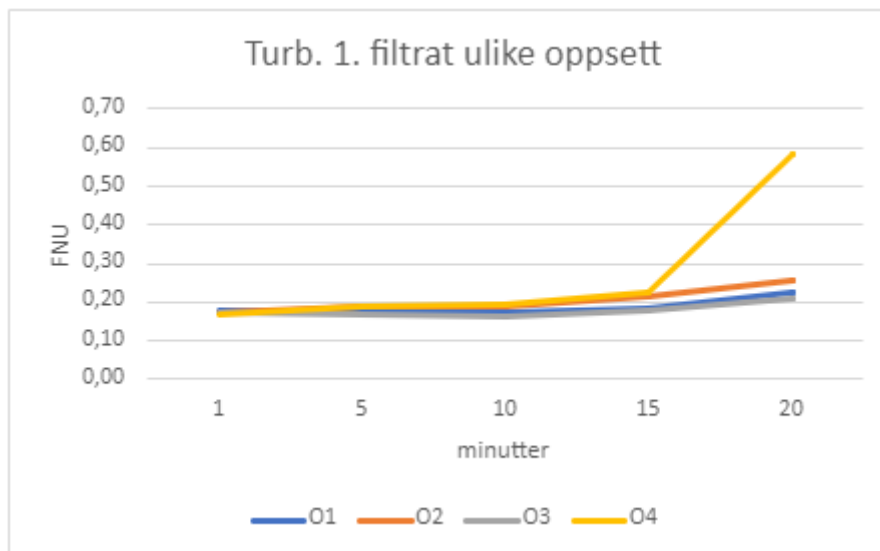


Figur 7. Gjennomsnittlig utvikling i FNU ved spylevann for alle oppsett

### Spylevann:

- Oppsett 2 og Oppsett 4 presterer bedre i fjerning av urenheter i spylevann sammenlignet med Oppsett 1 og Oppsett 3.
- Oppsett 2 skiller seg ut som det oppsettet med høyest total FNU, samtidig som det ender på en lav FNU verdi ved slutten av spylevann. Det anses dermed som det mest effektive oppsettet for rensing av spylevann i alkalisk filter.

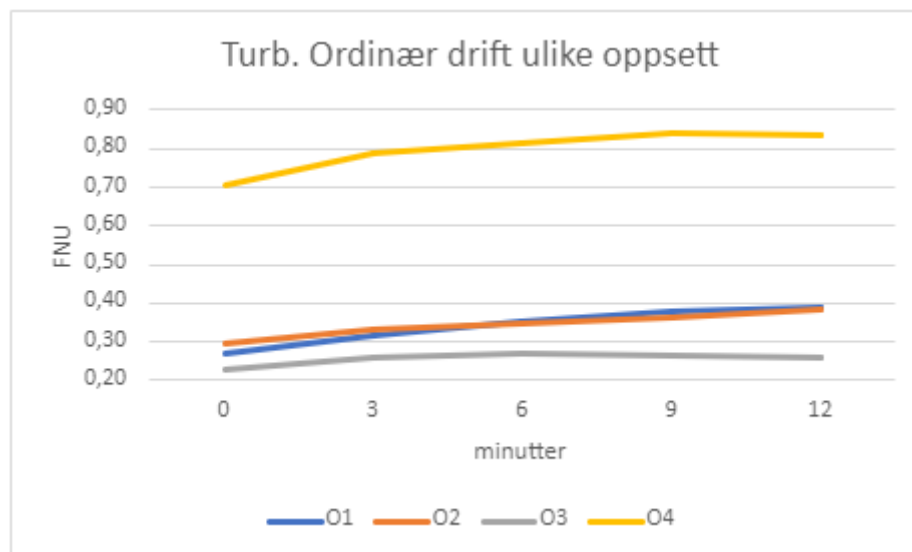
## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling



Figur 8. Gjennomsnittlig utvikling i FNU ved 1. filtrat for alle oppsett

### 1. Filtrat:

- Oppsett 2 og oppsett 4 får mest grums ut av 1. filtrat.
- Oppsett 3 har den laveste gjennomsnittlige total FNU gjennom 1. filtrat.
- Oppsett 4 har den høyeste snittverdien, noe som indikerer høy effektivitet for fjerning av sedimenter ved første filtrat, men skiller seg negativt ut ved forhøyede FNU målinger rett før overgang til ordinær drift.



Figur 9. Gjennomsnittlig utvikling i FNU over tid ved ordinær drift for alle oppsett.

### Ordinær drift:

- Lave FNU-verdier er ønskelig ved ordinær drift.
- Oppsett 3 presterer best ved ordinær drift.
- Oppsett 1 gir også lave FNU verdier tett etterfulgt av Oppsett 2.
- Oppsett 4 har betydelig høyere total FNU sammenlignet med de andre oppsettene.
- Grunn for hvorfor FNU parametere øker ved skifte til ordinær drift er ukjent.

### Samlet vurdering:

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

- Forskjellene mellom Oppsett 1 og Oppsett 2 i ordinær drift er små og innenfor måleusikkerhet, noe som betyr at de ikke er signifikante. Oppsett 2 utmerker seg ved å fjerne mest grums under spyling, samt mye grums i 1. filtrat.
- og med likeverdige verdier som referanseoppsett for ordinær drift.
- Oppsett 3 har den laveste turbiditeten ved ordinær drift, men får ut minst sedimenter både i spylevann og 1. filtrat. Dette oppsettet er dermed ikke mer effektivt enn oppsett 1, og skrinlegges.
- Oppsett 4 viser blandede resultater med varierende effektivitet i ulike faser av filteringsprosessen. Dette oppsettet skrinlegges på grunn av de høye verdiene for ordinær drift.

Ut ifra resultatene fra spyling ser oppsett 2 foreløpig mest lovende ut.

### 4.2 Feilkilder:

#### Bruk av olabegere ved turbiditetsanalyser

For alle spylinger fremhevet i lilla i *tabell 10* ble det brukt olabegere for analyse av turbiditet. Det ble gitt beskjed litt inn i forsøket om å heller benytte disse til innhenting av vannprøver ved spyling av alkalisk filter. Olabegere ble videre brukt til innsamling av vannprøver under spyling i forsøk 2 for alle oppsett.

Olabegere ble først brukt i forsøk 2 for oppsett 4. De merkelig høye og hoppende resultatene resulterte til mistanke av forurensning av marmor i vannet, og det ble tiltenkt at oppsett 4 ikke var et egnet oppsett for spyling siden oppsettet også spylte ut marmor fra filtrene. Det ble dermed ikke noen videre reaksjon ettersom det fantes en teori for hendelsen.

Olabegerne ble deretter benyttet i forsøk 2 for oppsett 1, det originale spyleoppsettet. Det ble observert lignende resultater som ved forrige forsøk. Jeg reagerte på disse resultatene og begynte å stille spørsmål ved om problemet kunne ligge i olabegerne og ikke for spyleoppsettet.

Ettersom jeg opplevde disse utfordringene, tok jeg kontakt med ansatte på IVAR for å diskutere mulige årsaker til resultatene. Det ble gitt beskjed om at det var lite sannsynlig at problemene oppsto fra olabegerne, og det ble anbefalt å fortsette å bruke dem til innhenting av vannprøver. Hovedteori hvor det ble marmor forurensning i vannprøvene ble stående.

Tredje gang olabegerne ble brukt, ved innsamling og analyse av prøver for forsøk 2 i oppsett 2 og oppsett 3, ble de samme merkelige resultatene gjentatt. Den pågående problematikken med uforklarlige verdier førte til en beslutning om å gjennomføre en rekke eksperimenter for å avklare om utfordringene lå i eventuell forurensning fra marmor eller om resultatene skyldtes bruken av olabegere.

Tre forskjellige tester ble utført. I forsøkene ble «liten» olabeger testet mot flasker med blå kort som ble brukt tidligere i forsøket kalt «stor». Følgende forsøk og resultater kom frem:

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### Intervall test

5 olabegere og 5 flasker med blå kork ble markert annenhver med nummer fra 1 til 10. Det ble hentet inn vannprøver fra FAL211, med ca. 10 sekunders intervall mellom innhenting av hver vannprøve. Vannprøvene ble deretter vendt 14 ganger og ble analysert i turbidimeteret. Her ble det testet for om det var store forskjeller i analyseresultat mellom flaskene. Forsøket ble gjentatt flere ganger for å utelukke andre teorier og mulige usikkerheter som kunne forårsake store forskjeller i resultater, som f. eks at forskjeller i resultater grunner en tilfeldig forurensning med sediment klump. Resultater for intervalltesten kan leses i *tabell 12*.

Tabell 12. Resultater i FNU fra Intervalltest.

prøver tatt med 10 sekund intervall	Turbiditet
1 - liten	0,681
2 - stor	0,299
3 - liten	0,704
4 - stor	0,301
5 - liten	0,696
6 - stor	0,289
7 - liten	0,772
8 - stor	0,295
9 - liten	0,609
10 - stor	0,286

Det ble funnet store forskjeller mellom resultater for liten og stor beholder. Det ble tidligere følt at resultater for olabegerne ble høyere ved uforsiktig vending av vannprøven. Det ble bestemt å ta en ristetest, hvor flaske med blå kork og et olabeger ble fylt med vann hvor hver flaske ble testet for turbiditet 2 ganger. En gang etter vanlig vending 14 ganger, og en gang etter kraftig risting. Resultater for denne testen kan observeres i *tabell 13*.

Tabell 13. Resultater i FNU for riste-test. Her ble samme vannprøve analysert 2 ganger.

	vanlig vending	ristet sterkt
9 - liten	0,609	4,71
10 - stor	0,286	0,287

Det ble ingen endring mellom målinger fra stor flaske ved denne metoden. Samme forsøk med bruk av olabegere ble det observert en gigantisk endring i turbiditeten. Det ble diskutert videre hva som kunne forårsake disse resultatene. Skyldes disse endringene dannelse av luftbobler, oppløst stoff eller forurensninger fra olabegeret? Kan det være en produksjonsfeil i batchen som ble brukt?

Forhandler av olabegerne ble kontaktet, og det ble avtalt å hente olabegere fra andre batcher for testing av hypotese om produksjonsfeil. Det ble tilsendt 3 andre olabegere fra



## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

andre tre andre batcher for testing. Ved analyse av siste tilsendte olabeger ble det bestemt å ta en ristetest på denne også. *Tabell 14* viser resultater oppnådd fra dette forsøket.

*Tabell 14. Batchtest av olabeger og en ristetest av Tilsendt 3. Resultater oppgitt i FNU*

FAL211	TURBIDITET	
OLABEGER	Vanlig vending	ristet sterkt
original	0,513	x
Tilsendt 1	0,672	x
Tilsendt 2	0,712	x
Tilsendt 3	0,584	5,73

Hypotese for at endringene skyldtes feil i batch ble forkastet.

Det ble bestemte at hypotese hvor olabegerne inneholder urenheter skulle testes. Hypotesen ble testet ved grundig spyling hvor begeret ble ristet godt med prøvevann 6 ganger før påfyll av vann for analyse. Hypotese omhandlende om begerets utforming produserer luftbobler i vannet ved vending eller risting ble også undersøkt og testet. Resultater for hypotesetestene er oppgitt i *tabell 15*.

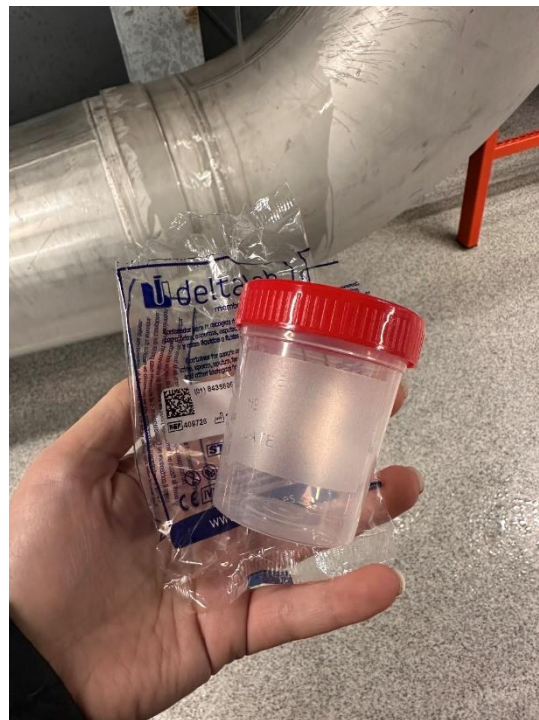
*Tabell 15. Spyletest og luftbobletest ved kraftig risting. Resultater i FNU*

Spylt/ristet grundig 6 ganger før prøvetaking.	Turbiditet
Vending	0,274
Kraftig risting	2,25

Her ble det normale resultater ved vanlig vending. Hypotese om forurensning i olabegerne forkastes ikke.

Ved kraftig risting ble det observert små partikler i vannprøven da kyvetten ble holdt foran lys. Disse så ut som de forsiktig fløt oppover, en indikasjon på at det enten er små luftbobler eller små, lette partikler i vannprøven etter risting. Turbiditeten økte fortsatt etter kraftig risting. Konkluderte med at økningen mest sannsynlig skyldes dannelse av luftbobler.

Konkluderer med at olabegerne ikke er egnet for pålitelig turbiditetsmålinger på grunnlag av potensiell forurensning og en utforming som genererer luftbobler. Dette har betydelige implikasjoner for påliteligheten av resultatene som ble gitt i forsøkene hvor olabegerne ble brukt. Ut ifra dette, ble resultater hvor olabegerne ble brukt for 1. filtrat og ordinær drift sett bort ifra. Det ble bestemt



*Bilde 7. Olabeger brukt i forkastede analyser*

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

å beholde resultater for spylevann, ettersom turbiditeten i disse forsøkene ble såpass store at den mulige forskjellen i resultater grunnet olabegeret ble lite signifikant

### Andre feilkilder

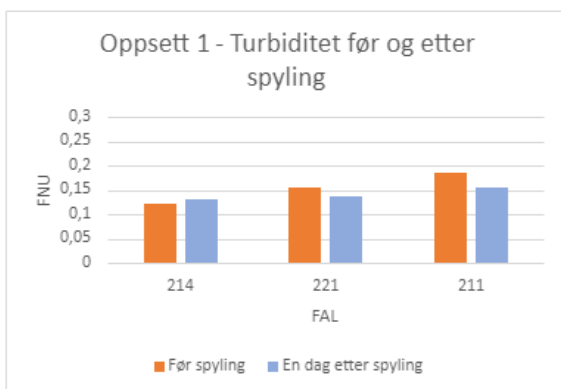
Resultater fra spyling 1, oppsett 4, for 1. filtrat og spyling ble også forkastet. Det ble komplikasjoner etter spyling, da slusen for råvann ikke ble åpnet etter spyling. Dette førte til at bassenget ble tømt for vann uten påfyll av råvann, som resulterte til tomt basseng og upålitelige resultater. Grunnlaget for vurdering av oppsett 4 for 1. filtrat og ordinær drift ble dermed kun basert på resultater fra spyling 3.

For få eller manglende data hvor utvalget kanskje ikke er representativt. Menneskelige feil ved manuell datainnsamling og analyse. Ujevn prøvetaking

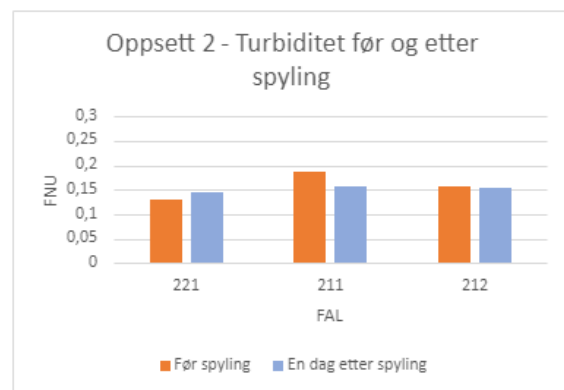
Oversikt over forkastede resultater av analyser for spyling er illustrert i *tabell 10* enten ved fargekode med forklaring eller at resultater og beregninger er krysset ut.

### 4.3 RESULTATER FØR OG ETTER SPYLING

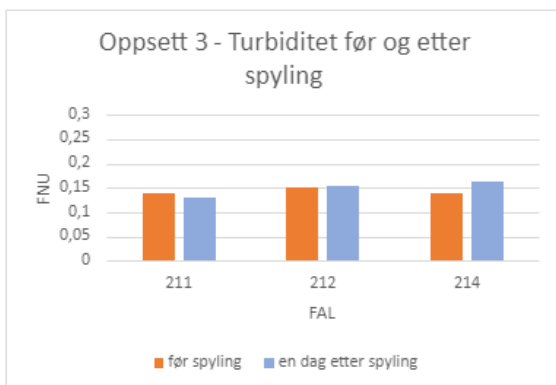
#### Turbiditet



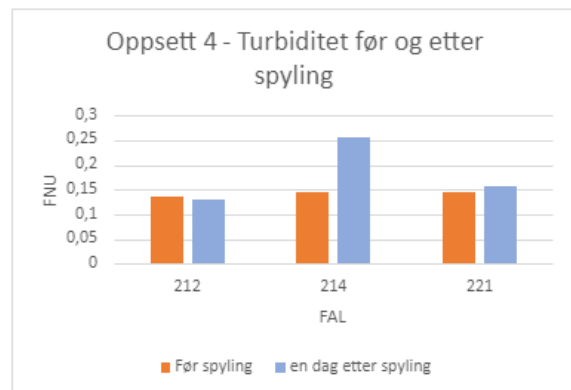
Figur 10. Turbiditet før og etter spyling for filter oppsett 1



Figur 11. Turbiditet før og etter spyling for filter oppsett 2



Figur 12. Turbiditet før og etter spyling for filter oppsett 3



Figur 13. Turbiditet før og etter spyling for filter oppsett 4

Tabell 16. Oversikt over gjennomsnittlig turbiditet for hvert oppsett før spyling og en dag etter spyling.

Oppsett	gjennomsnittlig FNU før spyling	Gjennomsnittlig FNU en dag etter spyling
---------	---------------------------------	--

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

1	0,154	0,140
2	0,158	0,152
3	0,143	0,150
4	0,142	0,182

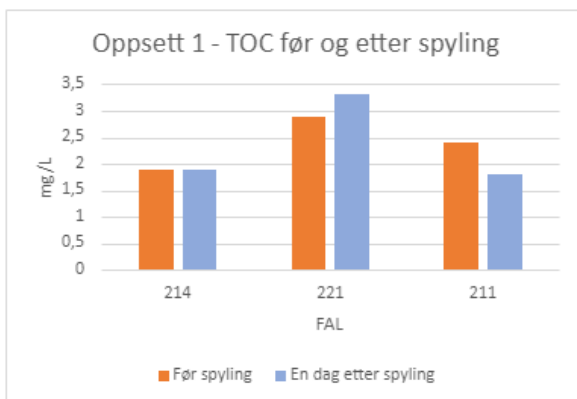
Oppsett 1 viste de beste resultatene når det gjaldt FNU-verdier, fra før spyling til en dag etter spyling. Den observeres sterkest forbedring av turbiditet etter spylingen med dette oppsettet.

I Oppsett 2 ble det også observert en reduksjon i turbiditet en dag etter spyling sammenlignet med nivåene før spyling, noe som viser at dette oppsettet også gir en positiv effekt på vannkvaliteten.

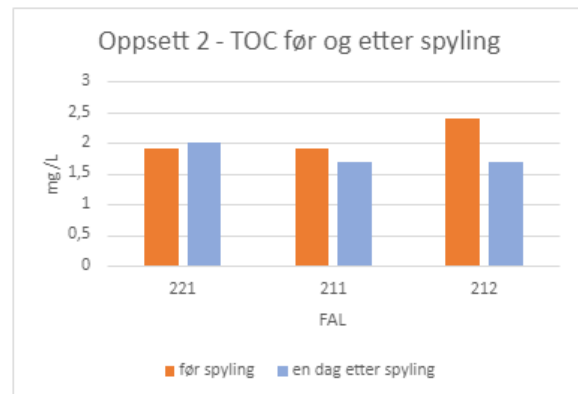
Derimot ga oppsett 3 og 4 en økning av turbiditet en dag etter spyling i vannet.

Dette kan mulig forklares ved at det tar tid før partikler og grums som ble røsket opp under spylingen får tid til å sette seg igjen. Det burde derimot være en forbedring av turbiditet ved vurdering av nytt oppsett en dag etter spyling.

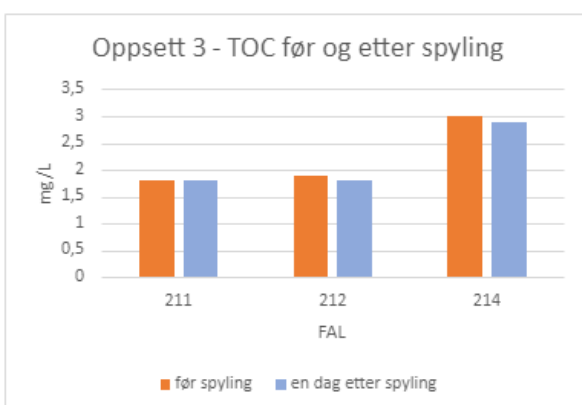
### TOC



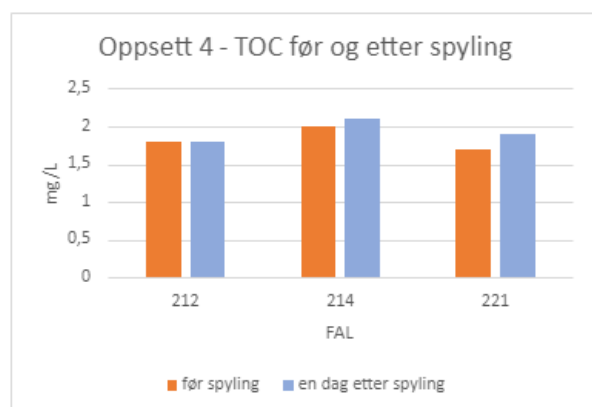
Figur 14. TOC før og etter spyling for filter oppsett 1



Figur 15. TOC før og etter spyling for filter oppsett 2



Figur 16. TOC før og etter spyling for filter oppsett 3



Figur 17. TOC før og etter spyling for filter oppsett 4

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Tabell 17. Gjennomsnittlig TOC i mg/L for hvert oppsett før spyling og en dag etter spyling

Oppsett	gjennomsnitt TOC før spyling	Gjennomsnitt TOC en dag etter spyling
1	2,4	2,3
2	2,1	1,8
3	2,2	2,2
4	1,8	1,9

Det ble en forbedring av TOC med 0,1 mg/L for referanseoppsett 1.

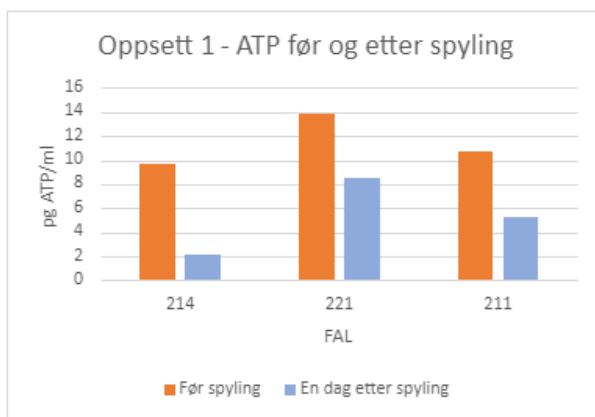
Oppsett 2 senket gjennomsnittlig TOC i vann med hele 0,3 mg/L.

Oppsett 3 ble det ingen endring av totalt organisk karbon.

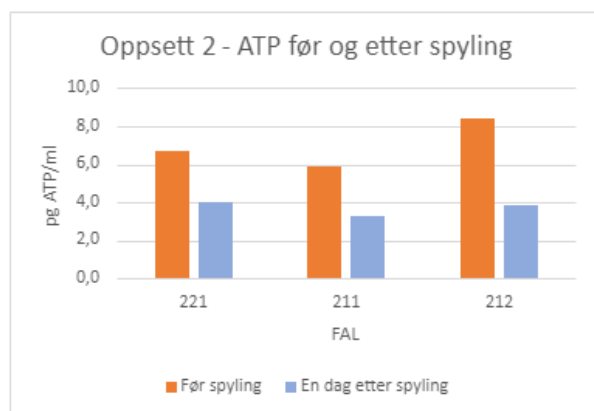
Oppsett 4 økte gjennomsnittlig TOC i vannet.

Lave verdier av TOC er avgjørende for å opprettholde en god drikkevannskvalitet for unngåelse av uønsket mikrobiell vekst.

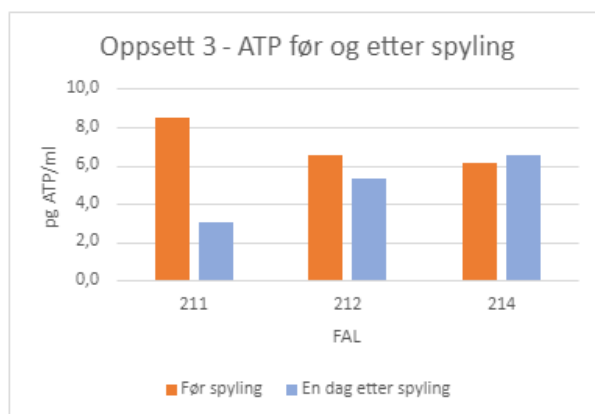
### ATP



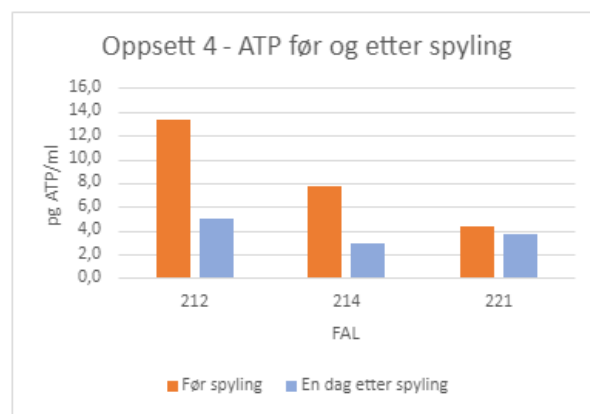
Figur 18. ATP før og etter spyling for filter oppsett 1



Figur 19. ATP før og etter spyling for filter oppsett 2



Figur 20. ATP før og etter spyling for filter oppsett 3



Figur 21. ATP før og etter spyling for filter oppsett 4

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Tabell 18. Gjennomsnittlig pg ATP/ml før spyling og en dag etter spyling for alle oppsett.

Oppsett	Gjennomsnittlig pg ATP/ml før spyling	Gjennomsnittlig ATP/ml en dag etter spyling
1	11,4	5,3
2	7,0	3,7
3	7,1	5,0
4	10,6	4,0

ATP konsentrasjonen benyttes som til en tilnærming for bakteriekonsentrasjon under og etter vannbehandlingen.

For alle fire oppsettene ser vi en nedgang i gjennomsnittlig ATP-konsentrasjon fra før spyling til en dag etter spyling. Det vises her at det alkaliske filteret har en god, funksjonell biologisk aktivitet og renses vannet for en del biologisk materiale under alle spylesykluser og bidrar til en reduksjon av biologisk material i vannet.

Reduksjonen i ATP-konsentrasjon indikerer at det alkaliske filteret opprettholder en funksjonell biologisk aktivitet gjennom spylesyklusene.

Sammenligningen av gjennomsnittlige ATP-verdier gir et inntrykk av hvordan de ulike spylesyklusene påvirker den biologiske aktiviteten. Lavere verdier etter spyling tyder på effektiv fjerning av biologisk materiale. En lavere ATP-konsentrasjon en dag etter antyder en lavere bakteriekonsentrasjon og gir dermed bedre vannkvalitet.

Oppsett to oppnådde den laveste gjennomsnittlige ATP konsentrasjon i dette forsøket.

Oppsettet som oppnådde størst endring før spyling til en dag etter spyling ble derimot oppsett 4, tett etterfulgt av oppsett 1.

### 4.4 Sparepotensial

#### Oppsett 1:

I oppsett 1, originalt spyleoppsett, ble det brukt totalt 3 minutter med lufting, 450 l/s vann i 3 min og 700 l/s i 9 minutt.

Dette gir et forbruk på 459000 l vann per spyling. Hver spyling tar 15 minutter fra start til slutt.

Ut ifra en rapport jeg fikk tilsyn i ifra IVAR, ble det estimert at bassengene ifra 200 siden ble spyllt rundt 160 ganger årlig.

Originalt forbruk finnes ved bruk av *formel 2*:

$$\left(3 \times \frac{450l}{s} + 9 \times \frac{700l}{s}\right) \times 60 = 459000l \times 160 = 73440000l \div 1000 = 73440m^3$$

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Dette gir et årlig forbruk på 73 440 m<sup>3</sup> vann brukt for spyling av alkalisk filter.

### Oppsett 2:

Oppsett 2 har samme forbruk av vann som ved oppsett 1, men har en innsparing på tid ved en mer effektiv spyling.

$$\frac{3 \text{ min} \times 160}{60} = 8 \text{ timer}$$

Vannforbruket er det samme for begge oppsettene.

Oppsett 2 har en årlig tidssparing på 8 timer, med en mer effektiv spylingstid.

Det påpekes at det også er en potensiell reduksjon i strømforbruk, men detaljer for denne reduksjonen er ikke spesifisert.

### Oppsett 3:

I oppsett 3 ble

$$\left( \frac{450l}{s} + 9 \times \frac{700l}{s} \right) \times 60 = 405000l \times 160 = 64800000l \div 1000 = 64800m^3$$

$$73,440m^3 - 64,800m^3 = 8,640m^3$$

Oppsett 3 vil gi en årlig vannbesparelse på 8,640 kubikkmeter sammenlignet med Oppsett 1. Her er det også en årlig tidsbesparelse på 8 timer.

### Oppsett 4:

$$\left( 3 \times \frac{700l}{s} + 5 \times \frac{1000l}{s} \right) \times 60 = 426000l \times 160 = 68160000l \div 1000 = 68160m^3$$

$$73,440m^3 - 68,160m^3 = 5,280m^3$$

Oppsett 4 gir en årlig vannbesparelse på 5,280 kubikkmeter sammenlignet med Oppsett 1, med en tidsbesparelse på 10,67 timer årlig.

Samlet sett gir alle oppsettene muligheter for miljøinnsparinger, enten gjennom redusert vannforbruk, strømbesparelser eller mer effektiv bruk av tid.

Det var ønsket å drifte beste resultat mot dagens spyleprogram for å teste hvor lenge en kunne drifte før ny spyling måtte foretas. Dette ble det dessverre ikke tid til, men det er noe IVAR selv vil teste ut utenom oppgaven. De kan da se om nytt spyleoppsett gir en forbedring av tid mellom hver spyling på spyleprogrammet, eller om det blir færre differansetrykk spylinger som igjen fører til et større totalt sparepotensial.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### 5. KONKLUSJON:

Tabell 19. Oversikt over hvilke oppsett som hadde de beste resultatene i denne oppgaven. Jo mørkere grønn, jo bedre resultat. Rødt felt setters for dårligst resultat.

beste resultater for	Oppsett 1	Oppsett 2	Oppsett 3	Oppsett 4
Spylevann				
1. filtrat				
ordinær drift				
Turbiditet				
TOC				
ATP				

Resultatene fra forsøkene gir verdifull innsikt i effekten på vannkvalitet ved ulike spyleoppsett i det alkaliske filteret. Basert på analysene for turbiditet, TOC og ATP-konsentrasjoner har vi evaluert og sammenlignet de fire ulike spyleoppsettene: Oppsett 1, Oppsett 2, Oppsett 3 og Oppsett 4.

Resultatoversikten i Tabell 19 tydeliggjør at Oppsett 2 presterer best i flertallet av analysene, og det har heller ingen dårlige resultater.

#### 5.1 Hoved observasjoner:

Basert på en sammensatt vurdering for optimalt spyleoppsett for spylevann, 1. filtrat til ordinær drift viser Oppsett 2 seg som det mest effektive spyleoppsettet for å oppnå best mulig rensing av filter og høyest mulig vannkvalitet for alkalisk filter.

Turbiditet: Oppsett 2 viser gjennomgående lavere turbiditet etter spyleprosessen, noe som indikerer effektiv fjerning av partikler og suspendert materiale.

TOC: Oppsett 2 gav størst nedgang for TOC-nivåer en dag etter spyling.

ATP: Alle oppsettene viser en nedgang i gjennomsnittlig ATP-konsentrasjon etter spyleprosessen, men Oppsett 2 skiller seg ut med jevnt lave verdier.

Bytting av spyleoppsett til oppsett 2 gir 8 timer årlig sparepotensiale i tid for spylingen og en ukjent reduksjon i strømforbruk..

#### 5.2 Anbefalinger og Videre Forskning

Ut ifra alle resultater fra forsøkene, gav totalt sett oppsett 2 de beste resultatene for vannkvalitet i alkalisk filter. Oppsett 2 ga veldig gode resultater i 4 av 6 forsøk, fikk ingen dårlige resultater og vinner ved sammenligning med oppsett 1.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Oppsett 2 bør betraktes som ny referanse for optimal ytelse, men det kan være nyttig å utføre ytterligere forsøk for å validere resultatene gitt i denne oppgaven.

Det anbefales å utføre finjusteringer av spyleoppsettet med tanke på testing av spyling sammen med lufting for ytterlig forståelse og for optimalisering av vannbehandlingsprosessen.

Det er essensielt å forstå de spesifikke filtreringsutfordringene knyttet til hvert oppsett for å oppnå ønsket vannkvalitet. Spesiell oppmerksomhet bør rettes mot å få en forståelse for hva som skjer med ATP målinger ved overgangen fra 1. filtrat til ordinær drift.

## DEL 2 – SPYLESYKLUS BIOLOGISK FILTER

### 6. TEORI

#### 6.1 Biologisk filter

Biologiske filtre spiller en avgjørende rolle i vannbehandlingssystemer ved å bidra til fjerning av organisk materiale og mikrobiell forurensning. Disse filterene benytter seg av mikroorganismer, som for eksempel bakterier og alger, som introduseres i filteret gjennom biofilm dannelse. Biofilmen gir en plattform der mikroorganismene kan feste seg, og bidrar til å rense vannet gjennom biologiske prosesser som brytes ned organisk materiale. Dette reduserer farge, lukt og smak, samtidig som biologisk materiale elimineres

Biofilm dannelse spiller en avgjørende rolle i funksjonen av biologiske filtre ved IVAR. De små, porøse filtermediene vist i *bilde 8* er den anvendte plattformen vekst av biofilm i biofilteret. Biofilmen dannes når bakterier festes til disse faste overflatene og resulterer i et tett voksende teppe av bakterier. Biofilmen er ofte festet sammen av polymere stoffer. Innenfor biofilteret fungerer denne biofilmen som et substrat, der mikroorganismer utfører nedbrytning av organisk materiale gjennom aerobe prosesser. Biofilmen utgjør dermed en nøkkelkomponent i biofiltreringssystemet. I denne oppgaven skal det utforskes hvordan ulike parameterne påvirker hverandre og bidrar til den generelle biologiske aktiviteten i filteret. (Lönn-Stensrud, 2023)

*Bilde 8 Disse filtermediene er svært porøse og gir en god grobunn for dannelse av biofilmer.*





## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Overvåking og kontroll av parametere som oksygennivå, pH, turbiditet og tilstedeværelse av mikroorganismer er nødvendige for å sikre optimal ytelse av biologiske filtre. For biologiske filtre vil temperaturendringer, oksygeninnhold, ATP, pH og turbiditet bli analysert gjennom spylesyklusen. Spylingscykluser er en del av den regelmessige driftssyklusen for biologiske filtre. Periodiske spylingsprosesser fjerner akkumulert slam og opprettholder effektiviteten til filterne. Varighet mellom spylinger for biofilterne er på 1800 timer. Spyling er en avgjørende prosess i drikkevannsfiltreringssystemer for å bevare filterets effektivitet og sikre at levert vann forblir rent og sikkert. På IVAR er spyling av biologisk filter utført etter en produksjonstid på 1800 timer.

### 6.2 Parametere

#### Oksygeninnhold:

Oksygeninnholdet i vann er avgjørende for aerobe prosesser. Biofilteret er avhengig av oksygen for å støtte mikrobiell vekst og nedbrytning av organisk materiale. For å opprettholde oksiderende forhold og unngå uønskede effekter som lukt og smak er et tilstrekkelig oksygeninnhold essensielt.

Inntak av vann med lavt oksygeninnhold har ingen direkte helsemessige effekter. Dersom oksygen-fattig vann går direkte ut på ledningsnettet, øker imidlertid faren for at organisk materiale skal forbruke alt oksygenet, og det kan oppstå anaerobe forhold. Dette kan føre til lukt- og smaksulemper og til korrosjon. (Susanne Hyllestad et al., 2021)

#### ATP:

Målinger av adenosintrifosfat (ATP) gir verdifull innsikt i den mikrobielle aktiviteten i vannet og spiller en avgjørende rolle i optimaliseringen av prosessene ved et vannbehandlingsanlegg. ATP fungerer som en energibærer og er til stede i alle levende celler, derfor gir målinger av ATP informasjon om tilstedeværelsen av mikrobiell biomasse.

ATP-målinger utføres vanligvis i Relative Lys Enheter (RLU) ved hjelp av et luminometer. RLU er en måleenhet for lysintensiteten som produseres når ATP reagerer med enzymet luciferase, og denne reaksjonen fører til produksjon av lys. Målingene gir et indirekte estimat av mengden ATP tilstede i vannprøven, og dermed gir de et øyeblikksbilde av den mikrobielle aktiviteten. (Susanne Hyllestad et al., 2021)

I biologiske filter er det en viktig sammenheng mellom ATP-målinger og oksygeninnholdet i vann. Lavt oksygeninnhold kan påvirke den aerobe prosessen i biofilteret, som er avhengig av tilgang til oksygen for å støtte mikrobiell vekst og nedbrytning av organisk materiale. Redusert oksygeninnhold kan dermed føre til lavere ATP-produksjon, da den aerobe prosessen er nøkkelen til ATP-dannelsen.

#### PH

pH-målinger gir verdifull informasjon om surhetsgraden i vannet. Grenseverdi for pH-verdien fra drikkevannsforskriftens tiltaksgrenser er mellom 6,5 og 9,5. I merknaden heter det at vannet ikke skal være korrosivt. (Susanne Hyllestad et al., 2021)

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Kalibrering av pH-måleinstrumentene med hjelp av standardløsninger er en nødvendig praksis for sikring av nøyaktige pH-målinger. Ved å bruke standardløsninger som inneholder kjente pH-verdier, kan man korrigere og kalibrere måleinstrumentet. Ved IVAR måtte denne kalibreringsverdien ligge på over 95% før oppstart av analyser.

Ved opprettholdelse for riktig pH-nivå kan man sikre at mikrobielle prosesser i biofilteret fungerer optimalt, som er essensielt for nedbrytningen av organisk materiale gjennom aerobe prosesser og opprettholdelse av en sunn biofilm.

### Temperatur:

Generelt sett kan temperaturskjeller påvirke hastigheten av kjemiske, biologiske og fysiske reaksjoner i vannet. Det vil bli sjekking for sammenhenger mellom temperatursvingninger og parameterne pH, oksygeninnhold, turbiditet, og ATP. Dette kan bidra til en større innsikt i hvordan temperaturskjeller påvirker vannkvaliteten og de biologiske filterprosessene. Det kan også bidra til å identifisere eventuelle sesongbaserte endringer og optimalisere driftsforholdene i vannbehandlingssystemet.

### Turbiditet

Turbiditet er et mål for uklarheten i vannet. Måleenheten for turbiditet er angitt som FNU (Formazine Nephelometric Unit). Det refererer hovedsakelig til mengden finpartikulært materiale som svever rundt. I vannbehandling er turbiditet en viktig parameter ettersom høye verdier kan påvirke vannets kvalitet og helsemessige egenskaper.

Selv om turbidit vann vanligvis ikke utgjør helseproblemer ved konsum, kan høye nivåer ha en indirekte negativ innvirkning ved reduksjon av desinfeksjonseffekten. Det er fastsatte grenseverdier for turbiditet i henhold til norske forskrifter, og vannet bør ikke ha en turbiditet som overstiger 4,0 FNU for å sikre at vannet oppfyller disse standardene.

Turbiditet er dermed en viktig indikator for å opprettholde vannkvalitet og sørge for at vannet er trygt til forbruk. (kap. 2.2, turbiditet)

### 7. EKSPERIMETELL

#### 7.1 prosedyre for oksygennivå, temperaturmålinger og innhenting av vannprøver

##### Utstørliste

- Sterile flasker til prøvetaking
- Vannfast tussj
- Gassbrenner
- Kjølebag for lettere transport av prøver
- Litermåler
- Multi 3430 – pH, temperatur, oppløst oksygen og konduktivitetsmåler.
- FDO - 925 – elektrode til bruk temperatur og målinger av oppløst oksygen.
- Penn og papir

##### Klargjøring for prøvetaking

- Det ble opptelt hvor mange flasker det ble nødvendig å klargjøre for hver analysedag.
- Flaskene ble markert med vannfast tussj etter hvilket biologisk filter vannprøven ble tatt ifra, med tilhørende filternummer «FBIXXX» (Filter Biologisk, nummer).
- Det ble også hentet ut vannprøver fra kran merket «FBI200 INN». Prøver tatt herifra ble ikke filtrert gjennom biofilteret. Disse prøvene ble brukt som grunnlag til sammenligning endringen vannet går igjennom under biofilterprosessen.
- Klargjorte flasker ble plassert i kjølebag, og fraktet ned til biofilter prøveuttaks plass.
- Før innhenting av vannprøver ble relevant kran tilhørende biologisk filter brent av med gassbrenner for fjerning av forurensinger.
- Kranen ble skrudd på, først kraftig før den raskt ble stilt ned igjen, slik vannet ble rennende i en tynn stråle.
- Kranen ble stående på slik at vannet fikk renne minst 20 ganger igjennom.
- Sterilisert flaske med blå kork ble fylt helt opp for senere testing av pH, ATP og turbiditet. Det er viktig å minimere vannprøvens eksponering for luft for å unngå uønskede endringer av pH-verdi som kan skje ved interaksjon med atmosfærisk karbondioksid.

##### Prosedyre for testing for oksygeninnhold og temperatur

- FDO – 925 ble festet på Multi 3430.
- Litermåleren ble spylt med rennende vann en gang før den fyltes opp.
- Multi 3430 ble slått på med knapp, og logget inn til riktig oppsett.
- FDO – 925 elektroden ble plassert oppi litermåleren.
- Ved stabilt resultat ble resultatet avlest.
- Temperatur for vann kommer opp ved siden av resultat for oksygeninnhold.
- Alle resultater ble notert på medbragt papir.
- Kran for biofilteret ble slått av og alle innhentede prøver ble tatt opp til lab for analyse.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### 7.2 PH-måling

#### Utstysrliste

- Vannprøve
- Sentix 980 – elektrode
- Multi – 3430 - pH, temperatur, oppløst oksygen og konduktivitetmåler.
- Elektrodestativ
- Magnetrorer
- Plastbegere
- Buffere for kalibrering av elektrode med pH 4,01 – 7,00 – 10,01

#### Prosedyre

- Vannprøver ble Temperert i vannbad før analysestart for å sikre nøyaktige pH-målinger.
- Arbeidsbenk ble vasket over med sprit, og elektrodestativ og magnetrorer ble funnet frem.
- Sentix elektroden ble festet på Multi maskin, og videre festet til elektrodestativet. Vær forsiktig ved håndtering av Sentix 980-elektroden for å unngå skader eller forurensning som kan påvirke målingene.

#### Kalibrering av pH-meter

- Apparatet ble skrudd på
- «Menu/Enter» ble trykket på 2 ganger
- Beskyttelseshette for elektrode ble tatt av, og deksel for påfyllingsåpning ble dratt opp.
- Niva av KCl i elektroden ble kontrollert og ble etterfylt dersom det ble nødvendig
- Elektroden ble skylt med rensset vann og tupp av elektroden ble tørket forsiktig av uten å påføre elektroden noen form for statisk elektrisitet
- Elektrode ble senket ned i buffer nr. 1 med pH 4.01.
- Elektroden ble stående en liten stund i buffer uten kalibreringsstart, dette bidrar til bedre stabilitet for sensoren.
- Kalibreringen ble startet ved å trykke på «CAL». Hver buffermåling aktiveres ved å trykke på «Menu/Enter» knappen.
- Kalibreringen indikerte ferdig resultat ved pipelyd.
- De neste bufferne ble funnet frem og analysert ved å trykke på «Menu/Enter» knappen.
- Kalibreringen er ferdig ved resultater for slope verdi er høyere enn 95%. Hvis slope verdien ble lavere gjentas kalibreringen på nytt.

#### Måling av pH

- Elektroden ble skylt med rensset vann og tupp av elektroden ble tørket forsiktig av uten å påføre elektroden noen form for statisk elektrisitet
- Et lite plastbeger ble fylt halvveis opp med vannprøve.
- Elektroden ble senket ned i vannprøven, og magnetrorer ble slått på.
- Resultat ble avlest ved stabil måling.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### ATP.

Prosedyre for ATP kan er lik som, og kan leses i kapittel 3.2 (side 21-22, del 1)

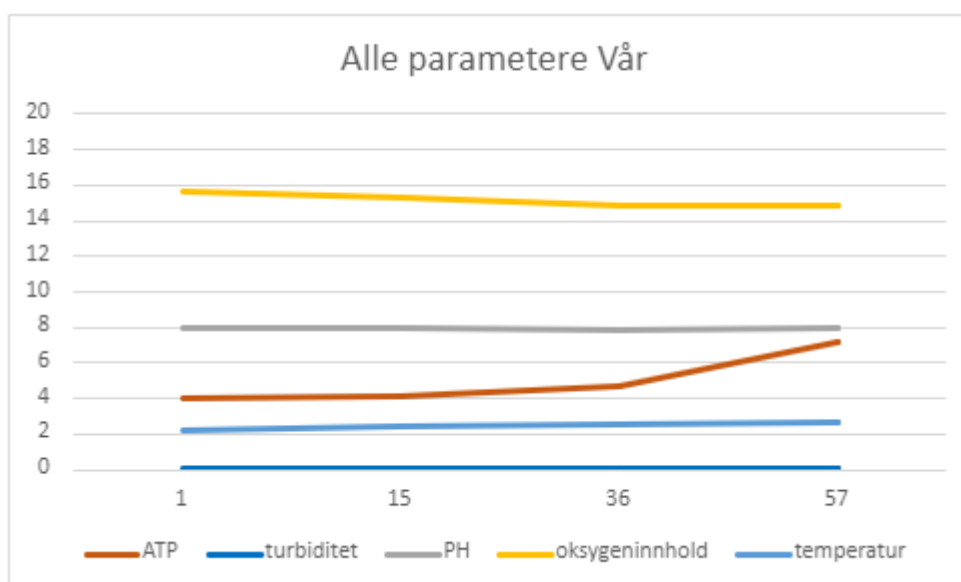
### Turbiditet

Prosedyre for turbiditet er lik som, og kan leses i kapittel 3.3, (side 23, del 1)

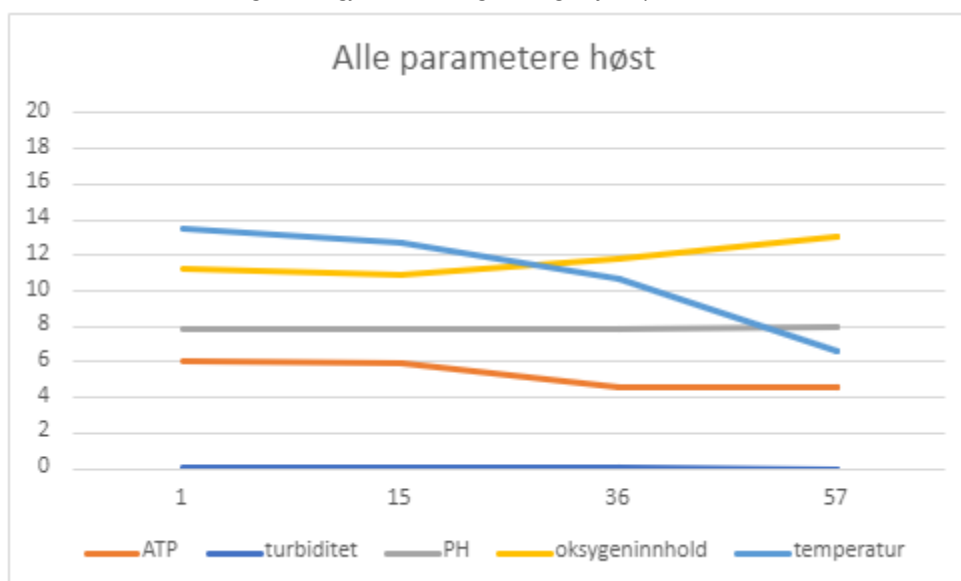
## 8. RESULTATER OG DISKUSJON

Denne oppgaven bygger videre på et forsøk utført tidligere. Resultater merket med «vår» er altså IKKE arbeid utført av meg under bacheloren. Arbeidet jeg skal utføre under bacheloren har en direkte sammenheng med disse og må tas med i betraktning for å få et helhetlig bilde for utviklingen og sammenhengene mellom de fulgte parametere.

Tabell 20. Samling av alle gjennomsnittlige biologisk filterparametere - vår

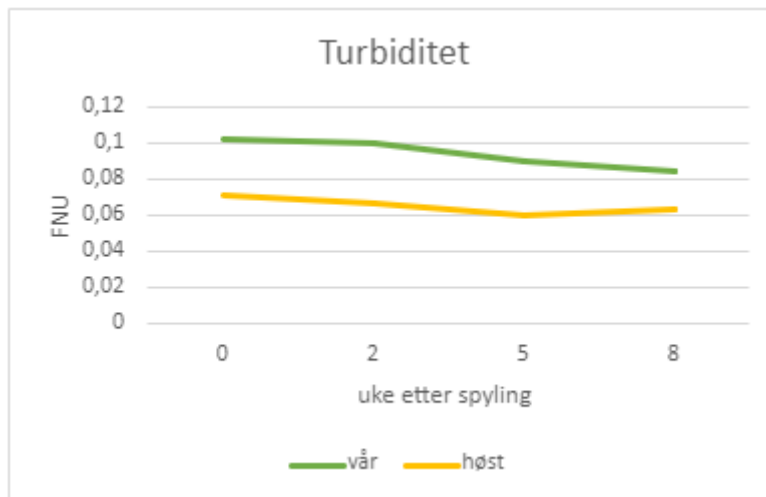


Tabell 21. Samling av alle gjennomsnittlige biologisk filterparametere - høst

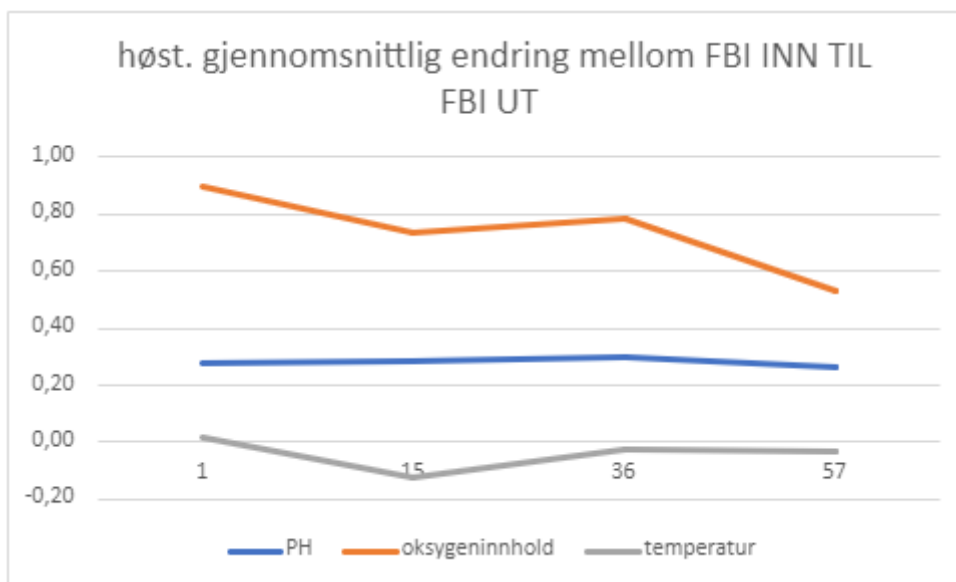


## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Tabell 22. Tabell for turbiditet ved vår og høst.



Tabell 23. Gjennomsnittlig endring av vann da den går gjennom filteret



### Temperatur

Det observeres en sammenheng av temperatur og oksygeninnhold. På høsten har nedgangen i temperatur senket oksygeninnholdet, antakelig grunnet lavere biologisk aktivitet.

### PH-verdi

pH-verdiene holder seg stabile gjennom hele spylesyklusen, noe som tyder på at det alkaliske filteret gjør en god jobb med å hindre uønsket korrosjon, og vannet har en god nok bufferkapasitet for å motstå endringer gjennom biofilteret.

### Oksygeninnhold

Nedgangen i oksygeninnholdet kan skyldes temperaturpåvirkning, endringer i biologisk aktivitet eller andre miljøfaktorer.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

### Turbiditet

Reduksjonen i turbiditet fra vår til høst antyder forbedret fjerning av partikler. Kan det grunnes i forskjellige biologiske sammensetninger mellom høst og vår eller værendringer som utgjør disse forskjellene?

Mindre turbiditet er positivt for vannets utseende viser til en bedre filtreringseffektivitet.

### ATP-nivåer

Økningen i ATP-nivåer om våren tyder på økt biologisk aktivitet eller tilførsel av organiske stoffer. Nedgangen i ATP-nivåer om høsten kan skyldes endringer i miljøforhold, vannkvalitet eller nedsatt biologisk aktivitet.

Ingen direkte sammenheng ble observert mellom oksygenmålinger og ATP-mengde, ved spekulasjoner om temperaturpåvirkning ved prøvetaking.

### Sammenhenger og Mønstre

Ser ut til å være en kobling mellom temperatur og biologisk aktivitet, som deretter påvirker oksygeninnhold, turbiditet og ATP-nivåer.

### pH-målinger:

Små endringer i pH gjennom spylesyklusen lå innenfor usikkerhetsområdet. Alkalisk filter opprettholdt tilfredsstillende bufferkapasitet.

### Generelle observasjoner:

#### Turbiditet

Vår: Gjennomsnitt

0.0975

Høst: Gjennomsnitt

0.0655

Det er en nedgang i turbiditet fra vår til høst, noe som indikerer en potensiell forbedring i filtreringseffektiviteten. Dette kan skyldes endringer i biologisk aktivitet eller filterdrift.

#### ATP:

Vår: Gjennomsnitt

4.988

Høst: Gjennomsnitt

5.3

ATP-nivåene har økt fra vår til høst. Dette kan indikere økt mikrobiell aktivitet i filteret i løpet av høstsesongen.

#### pH:

Vår: Gjennomsnitt

7.9145

Høst: Gjennomsnitt

7.9

pH-nivåene forblir relativt stabile mellom sesongene, indikerer konsistent surhetsgrad i vannet. Dette er positivt for den biologiske filtreringsprosessen.

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Oksygeninnhold:

Vår: Gjennomsnitt

15.436

Høst: Gjennomsnitt

11.48

Det er en betydelig nedgang i oksygeninnholdet fra vår til høst.

Temperatur:

Vår: Gjennomsnitt

2.448

Høst: Gjennomsnitt

10.875

En markant økning i vanntemperaturen fra vår til høst. Dette kan påvirke hastigheten av biologiske og kjemiske reaksjoner i vannet, og det bør tas i betraktning ved vurdering av filtertelse.

Gjennomsnittlig Endring fra FBI INN til FBI UT (Høst):

PH:

Gjennomsnittlig endring:

0.2875

Det er en moderat økning i pH fra inntak til utløp. Dette kan være påvirket av biologiske reaksjoner i filteret.

Oksygeninnhold:

Gjennomsnittlig endring:

0.72

Økningen i oksygeninnhold fra inntak til utløp er positiv og indikerer biologisk aktivitet og oksygenering under filtreringen.

Temperatur:

Gjennomsnittlig endring:

-0.0425.

Temperaturfallet fra inntak til utløp kan påvirke biologiske reaksjoner, men effekten kan være begrenset.

### FEILKILDER

Feilkilder i målingene og prøvetakingsprosedyrene kan potensielt påvirke resultatene og tolkningen av studien. Nøyaktigheten til måleinstrumentene, som pH-meter og luminometer, er avgjørende, og eventuelle feil i kalibreringen kan resultere i unøyaktige data.

Prøvetakingsprosedyrene spiller også en vesentlig rolle. Eksponeringen for luft under prøvetaking kan potensielt påvirke resultatene, spesielt for parameterne som oksygeninnhold og pH-verdier. En grundig kalibrering og standardisering av prøvetakingsprosedyrene er derfor essensiell for å sikre konsistente og nøyaktige resultater.



## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Temperaturvariasjoner ved prøvetaking kan også være en betydelig feilkilde. Lav temperatur gjør det vanskelig å måle pH, og det kan dannes tåke på glasset i kyvetten ved analyse av turbiditet som kan gi feil resultater. Det er viktig å registrere temperaturen nøye, da den kan påvirke parametere som oksygeninnholdet i vannet. Temperering av vannprøver før måling er en god strategi for å minimere denne feilkilden.

Studien av biofilterets ytelse ga følgende viktige funn:

### 9. KONKLUSJON

Det er tydelige sesongmessige variasjoner i parametrene, og endringene fra inntak til utløp indikerer påvirkning av biofiltreringsprosessen. Det er nødvendig med ytterligere undersøkelser for å forstå årsakene til endringene og vurdere behovet for justeringer i filterdriften for å oppnå optimal vannkvalitet.

Hovedfunn og Sammenhenger:

Turbiditet og Mikrobiell Aktivitet: Det ser ut til å være en korrelasjon mellom turbiditet og mikrobiell aktivitet (målt ved ATP). Lavere turbiditet i høst kan indikere økt effektivitet i filtreringen, men det krever nærmere analyse.

Oksygeninnhold og Temperatur: Den betydelige nedgangen i oksygeninnholdet kan være relatert til den høye vanntemperaturen. Biologiske reaksjoner kan ha akselerert ved høyere temperatur, krever ytterligere evaluering.

pH-stabilitet: pH-nivåene forble relativt stabile, indikerer en konsistent surhetsgrad gjennom sesongene, noe som er gunstig for biologiske prosesser.

Økningen i oksygenmålinger kan tilskrives temperaturvariasjoner.

Stabil ATP-utvikling antyder temperaturpåvirkning på biokjemiske prosesser, og alkalisk filter ble opprettholdt stabilt for pH.

Videre forskning og temperaturkorrigeringer anbefales.

Kontinuerlig overvåking og grundige studier gir innsikt i hvordan temperaturpåvirkning påvirker biofilterets langtidsytelse.

### 10. REFERANSER

Co.KG, B. T. G. &. (2023). *ATP Measurement*. Berthold Technologies GmbH & Co.KG.

<https://www.berthold.com/en-us/bioanalytic/knowledge/glossary/atp-measurement>

Gjennomsnitt. (2023). I *Wikipedia*.

<https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Gjennomsnitt&oldid=23935567>

IVAR. (2018, januar 30). *Langevatn vannbehandlingsanlegg—IVAR*.

<https://www.ivar.no/langevatn/>

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

*Labora • Grenseverdier parameterne i drikkevann • Labora.* (u.å.). Labora. Hentet 11.

desember 2023, fra <https://labora.no/grenseverdier-parameterne-drikkevann/>

Lönn-Stensrud, J. (2023). Biofilm. I *Store medisinske leksikon*. <https://sml.snl.no/biofilm>

Olsen, T. (2022, august 23). *IVAR: Fremragende drikkevann basert på rensing med ozon* |

*VANytt.no*. <https://www.vanytt.no/?p=21556>

Susanne Hyllestad, Vidar Lund, & Carl Fredrik Nordheim. (2021, mars 19). *Kjemiske og fysiske*

*stoffer i drikkevann*. Folkehelseinstituttet.

[https://www.fhi.no/sm/drikkevann/stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-](https://www.fhi.no/sm/drikkevann/stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/)

[i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/](https://www.fhi.no/sm/drikkevann/stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/)

*Turbiditetsmåling | Prosess-Styring.* (u.å.). Prosess-Styring AS. Hentet 11. desember 2023, fra

<https://www.prosess-styring.no/turbiditet>

*Vannkvalitet—IVAR.* (2018, mai 31). <https://www.ivar.no/vannkvalitet/?aid=6189>

Whalen, P. (2013). *At LuminUltra, we are committed to providing high quality test kits to*

*anyone that needs fast and reliable results about the microbiological characteristics*

*of any process.*

Skoog, D. A., mfl. (2022) *Fundamentals of Analytical Chemistry 10E*, USA: Brooks/Cole

### 11. VEDLEGG:

[..\IVAR-FBI biofilter Prøver praksis vår2023.xlsx](#)

Tabell 24 Rådata for spyling av alkalisk filter oppsett 1

<b>Oppsett 1</b>
<b>Referansebasseng</b>
3 min luft
3 min 450 l/s
9 min 900 l/s

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Uttak og analysedato		30.08.2023	05.10.2023	13.11.2023
prøve ifra	minutter	FAL214 + 30 sek	FAL221	FAL211
Spylevann	1	-----	525	208
	2	337	470	186
	3	290	304	171
	4	238	287	184
	5	227	271	157
	6	118	98,5	114
	7	65,6	52,6	65,3
	8	34,2	31,5	35,7
	9	23,9	19	15,5
	10	18,2	13,1	13,1
	11	14	11,2	9,43
	12	10	8,64	8,13
1. filtrat	1	0,176	1,27	0,176
	5	0,171	1,13	0,178
	10	0,165	0,757	0,177
	15	0,166	1,2	0,198
	20	0,188	1,41	0,266
ordinær drift	0	0,215	1,87	0,319
	3	0,26	0,826	0,371
	6	0,307	1,14	0,392
	9	0,336	1,2	0,42
	12	0,348	1,24	0,431

Tabell24 Rådata for spyling av alkalisk filter oppsett 2

<p><b>Oppsett 2</b></p> <p>3 min luft 450 l/s + luft til vann når renne 9 min 900 l/s</p>	<p>prøve tatt utfor renne</p>
	<p>ble glemt å sette på oversikt over vann som gikk igjennom, ble satt over til OD litt tidlig (etter 20 min, da forrgie tok rundt 24 min samme dag).</p>

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Uttak og analysedato		30.08.2023	16.10.2023	13.11.2023
prøve ifra	minutter	FAL221	FAL211	FAL212
Spylevann	1	954	491	314
	2	631	340	286
	3	487	315	259
	4	427	255	236
	5	263	230	227
	6	241	187	163
	7	90,1	170	120
	8	49,5	100	62,6
	9	32,5	42,4	35,3
	10	25,6	20,9	20,9
	11	18,5	11,9	11,1
	12	11,2	10,4	9,68
1. filtrat	1	0,172	1,52	0,172
	5	0,197	1,83	0,175
	10	0,179	0,708	0,198
	15	0,182	1,73	0,248
	20	0,216	1,12	0,291
ordinær drift	0	0,23	0,705	0,363
	3	0,267	1,39	0,399
	6	0,29	0,538	0,405
	9	0,32	1,61	0,404
	12	0,374	1,54	0,393

Tabell 25 Rådata for spyling av alkalisk filter oppsett 3

Oppsett 3
3 min luft
1 min 450 l/s
9 min 900 l/s

Uttak og analysedato		18.09.2023	16.10.2023	25.10.2023
prøve ifra	minutter	FAL211	FAL212	FAL214
Spylevann	1	524	345	308
	2	460	333	253
	3	310	261	199

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

	4	173	176	137
	5	114	96	109
	6	91,9	72,8	56,8
	7	43,1	34,4	28,8
	8	19,4	19,6	12,6
	9	9,43	11,1	9,36
	10	4,16	6,92	7,47
1. filtrat	1	0,166	0,489	0,175
	5	0,165	0,516	0,169
	10	0,16	1,35	0,167
	15	0,173	0,715	0,182
	20	0,191	0,451	0,223
ordinær drift	0	0,203	0,385	0,256
	3	0,208	0,501	0,309
	6	0,217	0,354	0,323
	9	0,216	0,431	0,313
	12	0,219	0,808	0,301

Tabell 26 Rådata for spyling av alkalisk filter oppsett 4

Oppsett 4
3 min luft
3 min 700 l/s
5 min 1000 l/s

Uttak og analysedato		18.09.2023	27.09.2023	06.11.2023
prøve ifra	minutter	FAL212	FAL214	FAL221
Spylevann	1	895	538	745
	2	672	491	508
	3	393	310	327
	4	249	165	225
	5	199	147	126
	6	149	95	81,4
	7	99,5	73,9	40,2
	8	57,2	42,8	33,4

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

1. filtrat	1	0,16	0,338	0,168
	5	0,17	1,12	0,187
	10	0,184	0,739	0,196
	15	0,23	0,593	0,227
	20	0,332	2,01	0,585
ordinær drift	0	0,208	1,92	0,704
	3	0,197	0,864	0,787
	6	0,203	0,821	0,814
	9	0,226	0,715	0,841
	12	0,282	1,11	0,833

sluse for råvann ble ikke åpnet. basseng måtte fylles på nytt før O.D. resultater for 1.filtrat er dermed fra vann uten påfyll av råvann. O.D. resultater er tatt 10 min etter basseng ble fylt på nytt.

det ble brukt olabegere i disse forsøkene.

Tabell 27 Rådata turbiditet alkalisk filter - før spyling og en dag etter spyling.

### Før spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	Turbiditet
30.08.2023	oppsett 1	214	0,122
30.08.2023	oppsett 2	221	0,131
18.09.2023	oppsett 3	211	0,139
18.09.2023	oppsett 4	212	0,135
27.09.2023	oppsett 4	214	0,145
05.10.2023	oppsett 1	221	0,155
16.10.2023	oppsett 2	211	0,186
16.10.2023	oppsett 3	212	0,151
25.10.2023	oppsett 3	214	0,138
06.11.2023	oppsett 4	221	0,145
13.11.2023	oppsett 1	211	0,186
13.11.2023	oppsett 2	212	0,156

### En dag etter spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	Turbiditet
31.08.2023	oppsett 1	214	0,130
31.08.2023	oppsett 2	221	0,145
19.09.2023	oppsett 3	211	0,131
19.09.2023	oppsett 4	212	0,130
28.09.2023	oppsett 4	214	0,257
06.10.2023	oppsett 1	221	0,136

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

17.10.2023	oppsett 2	211	0,157
17.10.2023	oppsett 3	212	0,155
26.10.2023	oppsett 3	214	0,163
07.11.2023	oppsett 4	221	0,158
14.11.2023	oppsett 1	211	0,154
14.11.2023	oppsett 2	212	0,153

Tabell 28 Rådata TOC alkalisk filter - før spyling og en dag etter spyling.

### Før spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	TOC
31.08.2023	oppsett 1	214	1,9
31.08.2023	oppsett 2	221	1,9
20.09.2023	oppsett 3	211	1,8
20.09.2023	oppsett 4	212	1,8
28.09.2023	oppsett 4	214	2,0
06.10.2023	oppsett 1	221	2,9
18.10.2023	oppsett 2	211	1,9
18.10.2023	oppsett 3	212	1,9
25.10.2023	oppsett 3	214	3
08.11.2023	oppsett 4	221	1,7
15.11.2023	oppsett 1	211	2,4
15.11.2023	oppsett 2	212	2,4

### En dag etter spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	TOC
31.08.2023	oppsett 1	214	1,9
31.08.2023	oppsett 2	221	2,0
20.09.2023	oppsett 3	211	1,8
20.09.2023	oppsett 4	212	1,8
28.09.2023	oppsett 4	214	2,1
06.10.2023	oppsett 1	221	3,3
18.10.2023	oppsett 2	211	1,7
18.10.2023	oppsett 3	212	1,8
26.10.2023	oppsett 3	214	2,9
08.11.2023	oppsett 4	221	1,9
15.11.2023	oppsett 1	211	1,8
15.11.2023	oppsett 2	212	1,7

Tabell 29 Rådata med utregning av ATP for alkalisk filter - før spyling og en dag etter spyling.

Uttak	Analysert	Prøve	Std (RLU)		Råvann	Råvann
		FAL	avlest (RLU)	volum analysert	avlest (RLU)	pg ATP/ml
30.08.2023	30.08.2023	214	18852	50	918	9,7
30.08.2023	30.08.2023	221	18852	50	629	6,7

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

31.08.2023	31.08.2023	214	17769	50	190	2,1
31.08.2023	31.08.2023	221	17769	50	356	4,0
18.09.2023	18.09.2023	211	17186	50	733	8,5
18.09.2023	18.09.2023	212	17186	50	1147	13,3
19.09.2023	19.09.2023	211	18483	50	283	3,1
19.09.2023	19.09.2023	212	17522	50	435	5,0
27.09.2023	27.09.2023	214	18305	50	711	7,8
28.09.2023	28.09.2023	214	17189	50	255	3,0
05.10.2023	05.10.2023	221	16372	50	1130	13,8
06.10.2023	06.10.2023	221	17929	50	760	8,5
16.10.2023	16.10.2023	211	16174	50	475	5,9
16.10.2023	16.10.2023	212	16174	50	531	6,6
17.10.2023	17.10.2023	211	18749	50	309	3,3
17.10.2023	17.10.2023	212	18749	50	498	5,3
25.10.2023	25.10.2023	214	17409	50	536	6,2
26.10.2023	26.10.2023	214	13061	50	428	6,6
06.11.2023	06.11.2023	221	18009	50	391	4,3
07.11.2023	07.11.2023	221	18233	50	341	3,7
13.11.2023	13.11.2023	211	16099	50	867	10,8
13.11.2023	13.11.2023	212	16099	50	676	8,4
14.11.2023	14.11.2023	211	16867	50	443	5,3
14.11.2023	14.11.2023	212	16867	50	326	3,9

Tabell 30 Rådata av ATP for alkalisk filter - før spyling og en dag etter spyling.

### Før spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	ATP
30.08.2023	oppsett 1	214	9,7
30.08.2023	oppsett 2	221	6,7
18.09.2023	oppsett 3	211	8,5
18.09.2023	oppsett 4	212	13,3
27.09.2023	oppsett 4	214	7,8
05.10.2023	oppsett 1	221	13,8
16.10.2023	oppsett 2	211	5,9
16.10.2023	oppsett 3	212	6,6
25.10.2023	oppsett 3	214	6,2
06.11.2023	oppsett 4	221	4,3
13.11.2023	oppsett 1	211	10,8
13.11.2023	oppsett 2	212	8,4

### En dag etter spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	ATP
31.08.2023	oppsett 1	214	2,1
31.08.2023	oppsett 2	221	4,0
19.09.2023	oppsett 3	211	3,1



## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

19.09.2023	oppsett 4	212	5,0
28.09.2023	oppsett 4	214	3,0
06.10.2023	oppsett 1	221	8,5
17.10.2023	oppsett 2	211	3,3
17.10.2023	oppsett 3	212	5,3
26.10.2023	oppsett 3	214	6,6
07.11.2023	oppsett 4	221	3,7
14.11.2023	oppsett 1	211	5,3
14.11.2023	oppsett 2	212	3,9

Tabell 31. Alkalisk filter; før og etter spyling

### Før spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	Turbiditet
30.08.2023	oppsett 1	214	0,122
30.08.2023	oppsett 2	221	0,131
18.09.2023	oppsett 3	211	0,139
18.09.2023	oppsett 4	212	0,135
27.09.2023	oppsett 4	214	0,145
05.10.2023	oppsett 1	221	0,155
16.10.2023	oppsett 2	211	0,186
16.10.2023	oppsett 3	212	0,151
25.10.2023	oppsett 3	214	0,138
06.11.2023	oppsett 4	221	0,145
13.11.2023	oppsett 1	211	0,186
13.11.2023	oppsett 2	212	0,156

### En dag etter spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	Turbiditet
31.08.2023	oppsett 1	214	0,130
31.08.2023	oppsett 2	221	0,145
19.09.2023	oppsett 3	211	0,131

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

19.09.2023	oppsett 4	212	0,130
28.09.2023	oppsett 4	214	0,257
06.10.2023	oppsett 1	221	0,136
17.10.2023	oppsett 2	211	0,157
17.10.2023	oppsett 3	212	0,155
26.10.2023	oppsett 3	214	0,163
07.11.2023	oppsett 4	221	0,158
14.11.2023	oppsett 1	211	0,154
14.11.2023	oppsett 2	212	0,153

Tabell 32. Alkalisk filter; før og etter spyling

### Før spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	TOC
31.08.2023	oppsett 1	214	1,9
31.08.2023	oppsett 2	221	1,9
20.09.2023	oppsett 3	211	1,8
20.09.2023	oppsett 4	212	1,8
28.09.2023	oppsett 4	214	2,0
06.10.2023	oppsett 1	221	2,9
18.10.2023	oppsett 2	211	1,9
18.10.2023	oppsett 3	212	1,9
25.10.2023	oppsett 3	214	3
08.11.2023	oppsett 4	221	1,7
15.11.2023	oppsett 1	211	2,4
15.11.2023	oppsett 2	212	2,4

### En dag etter spyling

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

Analysedato	Oppsett	FAL	TOC
31.08.2023	oppsett 1	214	1,9
31.08.2023	oppsett 2	221	2,0
20.09.2023	oppsett 3	211	1,8
20.09.2023	oppsett 4	212	1,8
28.09.2023	oppsett 4	214	2,1
06.10.2023	oppsett 1	221	3,3
18.10.2023	oppsett 2	211	1,7
18.10.2023	oppsett 3	212	1,8
26.10.2023	oppsett 3	214	2,9
08.11.2023	oppsett 4	221	1,9
15.11.2023	oppsett 1	211	1,8
15.11.2023	oppsett 2	212	1,7

Tabell 33. Alkalisk filter; før og etter spyling

Uttak	Analysert	Prøve	Std (RLU)		Råvann	Råvann
		FAL	avlest (RLU)	volum analysert	avlest (RLU)	pg ATP/ml
30.08.2023	30.08.2023	214	18852	50	918	9,7
30.08.2023	30.08.2023	221	18852	50	629	6,7
31.08.2023	31.08.2023	214	17769	50	190	2,1
31.08.2023	31.08.2023	221	17769	50	356	4,0
18.09.2023	18.09.2023	211	17186	50	733	8,5
18.09.2023	18.09.2023	212	17186	50	1147	13,3
19.09.2023	19.09.2023	211	18483	50	283	3,1
19.09.2023	19.09.2023	212	17522	50	435	5,0
27.09.2023	27.09.2023	214	18305	50	711	7,8
28.09.2023	28.09.2023	214	17189	50	255	3,0
05.10.2023	05.10.2023	221	16372	50	1130	13,8
06.10.2023	06.10.2023	221	17929	50	760	8,5
16.10.2023	16.10.2023	211	16174	50	475	5,9
16.10.2023	16.10.2023	212	16174	50	531	6,6
17.10.2023	17.10.2023	211	18749	50	309	3,3
17.10.2023	17.10.2023	212	18749	50	498	5,3

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

25.10.2023	25.10.2023	214	17409	50	536	6,2
26.10.2023	26.10.2023	214	13061	50	428	6,6
06.11.2023	06.11.2023	221	18009	50	391	4,3
07.11.2023	07.11.2023	221	18233	50	341	3,7
13.11.2023	13.11.2023	211	16099	50	867	10,8
13.11.2023	13.11.2023	212	16099	50	676	8,4
14.11.2023	14.11.2023	211	16867	50	443	5,3
14.11.2023	14.11.2023	212	16867	50	326	3,9

Tabell 34. Alkalisk filter; før og etter spyling

### Før spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	ATP
30.08.2023	oppsett 1	214	9,7
30.08.2023	oppsett 2	221	6,7
18.09.2023	oppsett 3	211	8,5
18.09.2023	oppsett 4	212	13,3
27.09.2023	oppsett 4	214	7,8
05.10.2023	oppsett 1	221	13,8
16.10.2023	oppsett 2	211	5,9
16.10.2023	oppsett 3	212	6,6
25.10.2023	oppsett 3	214	6,2
06.11.2023	oppsett 4	221	4,3
13.11.2023	oppsett 1	211	10,8
13.11.2023	oppsett 2	212	8,4

### En dag etter spyling

Analysedato	Oppsett	FAL	ATP
31.08.2023	oppsett 1	214	2,1
31.08.2023	oppsett 2	221	4,0
19.09.2023	oppsett 3	211	3,1

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

19.09.2023	oppsett 4	212	5,0
28.09.2023	oppsett 4	214	3,0
06.10.2023	oppsett 1	221	8,5
17.10.2023	oppsett 2	211	3,3
17.10.2023	oppsett 3	212	5,3
26.10.2023	oppsett 3	214	6,6
07.11.2023	oppsett 4	221	3,7
14.11.2023	oppsett 1	211	5,3
14.11.2023	oppsett 2	212	3,9

Tabell 35. Biologisk filter parametere.

### Temperatur

uke etter spyling	0	2	5	8
Dag etter spyling				
<b>FBI UT</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>57</b>
<b>211</b>	14,1	14,5	12,3	7,1
<b>212</b>	14,1	14,5	12,2	7
<b>213</b>	13,4	14,3	13,8	9,4
<b>214</b>	13,3	14,2	13,7	9,3
<b>215</b>	13	9,3	6,1	3,3
<b>216</b>	13,0	9,3	6	3,3
<b>221</b>	14,1	14,4	12,2	7
<b>222</b>	14,1	14,4	12,2	7
<b>223</b>	13,1	9,3	6	3,4
<b>224</b>	13,0	9,3	6	3,4
<b>225</b>	13,3	14,2	13,7	9,3
<b>226</b>	13,3	14,2	13,7	9,3
<b>gjennomsnitt</b>	13,5	12,7	10,7	6,6

### Oksygeninnhold mg/L

uke etter spyling	0	2	5	8
Dag etter spyling				
<b>FBI UT</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>57</b>
<b>211</b>	10,61	10,28	11,33	12,76

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

<b>212</b>	10,60	10,27	11,32	12,78
<b>213</b>	12,12	10,72	10,76	11,78
<b>214</b>	11,95	10,6	10,68	11,78
<b>215</b>	11,06	11,8	13,39	14,38
<b>216</b>	11,05	11,78	13,42	14,39
<b>221</b>	10,63	10,29	11,32	12,74
<b>222</b>	10,57	10,24	11,27	12,75
<b>223</b>	11,05	11,82	13,39	14,34
<b>224</b>	11,05	11,79	13,47	14,33
<b>225</b>	12,09	10,67	10,76	11,8
<b>226</b>	11,97	10,63	10,78	11,76
<b>gjennomsnitt</b>	11,23	10,9	11,8	13,0

### PH

uke etter spyling	0	2	5	8
Dag etter spyling				
<b>FBI UT</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>57</b>
<b>211</b>	7,82	7,86	7,82	7,93
<b>212</b>	7,84	7,83	7,82	7,95
<b>213</b>	7,89	7,89	7,86	7,92
<b>214</b>	7,83	7,88	7,83	8
<b>215</b>	7,86	8	7,97	7,94
<b>216</b>	7,86	8,03	8,02	8,04
<b>221</b>	7,87	7,81	7,82	8,04
<b>222</b>	7,87	7,83	7,84	8
<b>223</b>	7,85	8,04	8,04	8,03
<b>224</b>	7,84	8,03	8,03	8,05
<b>225</b>	7,86	7,87	7,86	8
<b>226</b>	7,85	7,90	7,83	8
<b>gjennomsnitt</b>	7,85	7,9	7,9	8,0

### Turbiditet

uke etter spyling	0	2	5	8
Dag etter spyling				
<b>FBI UT</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>57</b>
<b>211</b>	0,073	0,058	0,058	0,058
<b>212</b>	0,070	0,064	0,06	0,063
<b>213</b>	0,075	0,06	0,064	0,063
<b>214</b>	0,070	0,066	0,061	0,073
<b>215</b>	0,064	0,064	0,054	0,064
<b>216</b>	0,067	0,064	0,057	0,071

## Reduksjon av ressursforbruk til vannbehandling

<b>221</b>	0,081	0,069	0,062	0,069
<b>222</b>	0,072	0,062	0,067	0,061
<b>223</b>	0,063	0,065	0,061	0,061
<b>224</b>	0,065	0,07	0,06	0,058
<b>225</b>	0,079	0,085	0,06	0,066
<b>226</b>	0,078	0,073	0,063	0,064
<b>gjennomsnitt</b>	0,071	0,067	0,061	0,064

### ATP

uke	0	2	5	8
Dag etter spyling				
<b>FBI UT</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>57</b>
<b>211</b>	5,6	6,7	2,6	5,2
<b>212</b>	6,7	5,4	3,7	3,4
<b>213</b>	8,8	7,2	5,4	4,0
<b>214</b>	7,5	5,8	5,9	4,8
<b>215</b>	4,8	4,0	4,6	6,8
<b>216</b>	3,6	6,7	3,1	7,1
<b>221</b>	6,9	7,4	5,6	3,2
<b>222</b>	5,9	8,3	6,0	3,4
<b>223</b>	5,3	4,8	2,6	4,0
<b>224</b>	6,3	6,0	4,1	3,1
<b>225</b>	6,5	4,7	4,6	4,1
<b>226</b>	5,4	4,2	7,0	5,8
	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>57</b>
<b>gjennomsnitt</b>	6,1	5,9	4,6	4,6