



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Drøfting av oppgradering av avløpsrenseanlegget på Mongstad raffineri – med fokus på slamhåndtering

Discussion of upgrading the wastewater treatment
plant at Mongstad refinery – with focus on sludge
management

Aslak Molaug Seines
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne gradsoppgaven er skrevet i forbindelse med mitt masterstudium i vann- og miljøteknikk. Jeg har vært heldig som har fått muligheten til å kunne arbeide sammen med Equinor, og ta del i oppgraderingen av avløpsrensaneanlegget til Norges største oljeraffineri på Mongstad.

Jeg ønsker å takke hovedveilederen min på NMBU, Arve Heistad, som tilrettela for at oppgaven kunne bli gjennomført på kort varsel.

Videre ønsker jeg å takke veilederen min fra Equinor, Stine Randmæl, som har brukt av sin tid til å hjelpe meg med masteroppgaven.

Spesiell takk til Marit Molaug, som gjorde dette mulig.

En siste takk til Cecilie Borgen som dyttet meg gjennom mastertåka.

Sammendrag

Nasjonalt er det blitt mer fokus på forurensning fra avløp til resipienter. Det foregår en innstramning av utslippskrav i Bergen, og industrien må følge etter. Norges største oljeraffineri ligger på Mongstad i Alver kommune og eid av Equinor. Krüger jobber med en konseptløsning til oppgradering av avløpsrenseanlegget på Mongstad, da anlegget allerede er utdatert. Målet med denne gradsoppgaven har vært å komme med forslag til denne konseptløsningen, med fokus på slamhåndtering. Resultatene indikerer at konseptløsningen vil uten tvil tilfredsstille dagen rensekraft for TOC og Tot-P, men konseptet burde implementere nitrifikasjon, for å eliminere risiko for Tot-N. Kompostering av avløpsslam er på vei ut, og verdien av gjødselprodukt fra avløpsslam minker. Det kan derfor være lurt å prøve en kombinasjon av biogass for så pyrolyse av bioresten. Forslag til videre arbeid kan være å igangsette pilotprosjekt for foreslått slamhåndteringen.

Abstract

Nationally, there has been more focus on pollution from wastewater to recipients. There is a tightening of emission requirements in Bergen, and the industry must follow suit. Norway's largest oil refinery is located at Mongstad in Alver municipality and owned by Equinor. Krüger is working on a concept solution for upgrading the wastewater treatment plant at Mongstad, as the plant is already outdated. The goal of this thesis has been to come up with proposals for this concept solution, focusing on sludge management. The results indicate that the concept solution will no doubt meet current treatment requirements for TOC and Tot-P, but the concept should implement nitrification, to eliminate risk for Tot-N. Composting of sewage sludge is on its way out, and the value of fertilizer product from sewage sludge is decreasing. It may therefore be a good idea to try a combination of biogas and then pyrolysis of the bio residue. Suggestions for further work may be to initiate a pilot project for the suggested sludge management.

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|-----|
| Forord..... | I |
| Sammendrag | II |
| Abstract | III |
| Innholdsfortegnelse | IV |
| 1. Introduksjon | 1 |
| 1.1. Bakgrunn..... | 1 |
| 1.2. Mongstad | 1 |
| 1.3. Oppgavens omfang og begrensninger..... | 2 |
| 2. Teori..... | 3 |
| 2.1. Generell vannrensning | 3 |
| 2.1.1. Forbehandling..... | 3 |
| 2.1.2. Primærrensning | 3 |
| 2.1.3. Sekundærrensning | 3 |
| 2.1.4. Tertiærrensning..... | 4 |
| 2.1.5. MBBR – Moving bed biofilm reactor | 4 |
| 2.2. Slam | 6 |
| 2.2.1. ACTIFLO..... | 6 |
| 2.3. Slamprosessering | 7 |
| 2.3.1. Kompostering | 7 |
| 2.3.2. Biogass | 7 |
| 2.3.3. Pyrolyse av slam | 7 |
| 3. Metode | 9 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2. | Informasjonssamling..... | 9 |
| 3.3. | Prosjekt | 9 |
| 4. | Resultat | 10 |
| 4.1. | Vannkvaliteten..... | 10 |
| 4.2. | Nåværende renseprosess..... | 10 |
| 5. | Diskusjon | 16 |
| 5.1. | Drøfting av resultater | 16 |
| 5.1.1. | Konseptløsning med teoretisk rensegrad | 16 |
| 5.1.2. | Slamhåndtering | 16 |
| 5.2. | Drøfting av metode..... | 17 |
| 5.3. | Forslag til videre arbeid | 17 |
| 6. | Konklusjon | 19 |
| 7. | Referanser | 20 |
| | Figurliste..... | 21 |
| | Tabelliste | 22 |

1. Introduksjon

1.1. Bakgrunn

Nasjonalt er det blitt mer fokus på forurensning knyttet til avløpsvann, og påvirkningen det har på miljøet rundt. Spesielt akvakultur. Utslippskravene skjerpes og både industri, kommunale og private renseanlegg må utbedres for å tilfredsstille kravene. Konsekvensene av urensset avløpsvann er nødt til å bli tatt alvorlig for å sikre miljøet. Slippes for mye næringsstoffer ut i resipienten fører det ofte til eutrofiering. Dette innebærer stor vekst av organisk materiale, som ved endt syklus forbruker oksygen. I store mengder over lengre tid kan dette medføre oksygenfrie forhold på bunnen av resipienten. Man ser i dag at Oslofjorden er i ferd med å dø ut på grunn av forurensning, og er blitt ett skrekk eksempel. (Equinor, 2022a; Myhrer, 08.10.2021) Det har per dags dato nesten ikke vært utslippskrav på nitrogen og fosfor for Mongstad i Alver kommune, da kravet har ligget på respektive 90- og 25-tonn i kalenderåret. (Miljødirektoratet, 2022) Bergen øker kravene og industrien er nødt til å følge etter.

1.2. Mongstad

Norges største oljeraffineri ligger på Mongstad i Alver kommune, Equinor refining AS. Anlegget ble bygd i perioden 1972-1975, og ble utvidet i 1989 til en raffineringskapasitet på 12 millioner tonn råolje per år. Mongstad oljeraffineri produserer 230 tusen fat olje hver dag. Anlegget mottar olje direkte fra flere oljefelt i Nordsjøen i lange rør, samt diverse oljetankere som kommer til havnen. Mongstad har et kjemisk-biologisk vannrenseanlegg som ikke kommer til å tilfredsstille de nye kravene, eller den hydrauliske belastningen som ventes i fremtiden. Anlegget er derfor nødt til å utbedres.

Avløpsvannet Mongstad mottar er en lett oljeholdig vannløsning, samt noe sjøvann fra borreprosessen. Dette kommer fra forskjellige plattformer, båter, lagre i fjellet, og drens vann fra området. Oljen har først blitt separert i et Dissolved Air Flotation (DAF) anlegg. Fokuset i oppgaven er området etter DAF anlegget. Raffineriet mottar årlig 4,5 millioner m³ vann som

skal renses, utløpet går ut i et sikringsbasseng før det slippes ut til Fensfjorden. (Equinor, 2022b)

Figur 1 Oversikt over raffineri anlegget på Mongstad, området sirklet i blått er arealet for avløpsrensaneanlegget. (Equinor, 2022a)



1.3. Oppgavens omfang og begrensninger

Problemstilling

Vannrensaneanlegget på Mongstad tilfredsstillers ikke dagens krav, og behov, og må oppgraderes. Anlegget er overbelastet og mangler nødvendige rensetrinn. Målet med oppgaven er å identifisere mulige forbedringstiltak for Mongstads nye vannrensaneanlegg, ved å kartlegge tilgjengelig teknologi.

Begrensninger

- Prosjektets økonomiske lønnsomhet er ikke vurdert, grunnet manglende data.
- Teorien om de ulike renseprosessene er kort beskrevet, og oppgavens fokus har vært håndtering av anleggets slamprodukt.

2. Teori

2.1. Generell vannrensning

Vannrensning er krevende, og må vannet må gjennom flere prosesser før det kan anses som rensset. Forbehandling, primær(mekanisk), sekundær (biologisk og-, eller kjemisk), tertiær (fjerning av næringsstoffer). All utslipp fra avløpsanlegg må tilfredsstillere forurensningskrav etter norsk lov. (lovdata)

2.1.1. Forbehandling

Forbehandling brukes til å fjerne uønskede objekter i vannet som kan skape problemer senere i renseprosessen. Eksempler kan være kverner, rist, sand- og fettfang. (Ødegaard, 2014)

2.1.2. Primærrensning

Primærrensning eller mekanisk rensning er ment for å fjerne større partikler. Dette gjøres enten gjennom filtrering av siler eller sedimenteringsbasseng. Mekanisk rensing leverer ikke god nok rensegrad i seg selv, da små partikler og oppløste næringsstoffer ikke vil bli fjernet. Primærrensning brukes derfor vanligvis som enda et forbehandlingstrinn før videre rensning. (Ødegaard, 2014)

2.1.3. Sekundærrensning

Sekundærrensning er bruk av kjemi eller biologi til å fjerne slam partikler og organisk stoff i vannet.

Kjemisk felling er en metode der man utnytter spenningsrekken, og at de fleste partikler i en vannløsning er negativt ladet, kolloidal løsning. Det tilsettes fellingskjemikalier, koagulant, vanligvis basert på jern, aluminium eller klor, og partiklene i løsningen vil dermed reagere med kjemikalierne, flokkulering og danne større partikler, fnokker, som lettere sedimenterer, eller kan filtreres bort. Det er viktig med riktig pH og alkalitet i løsninger for at partiklene og koagulant skal kunne bindes. Ved feil pH vil rensegraden gå ned, da kjemikalierne vil danne mindre gunstige bindinger. Forbruket av kjemikalier og slamproduksjonen i renseprosessen vil bli for høy.

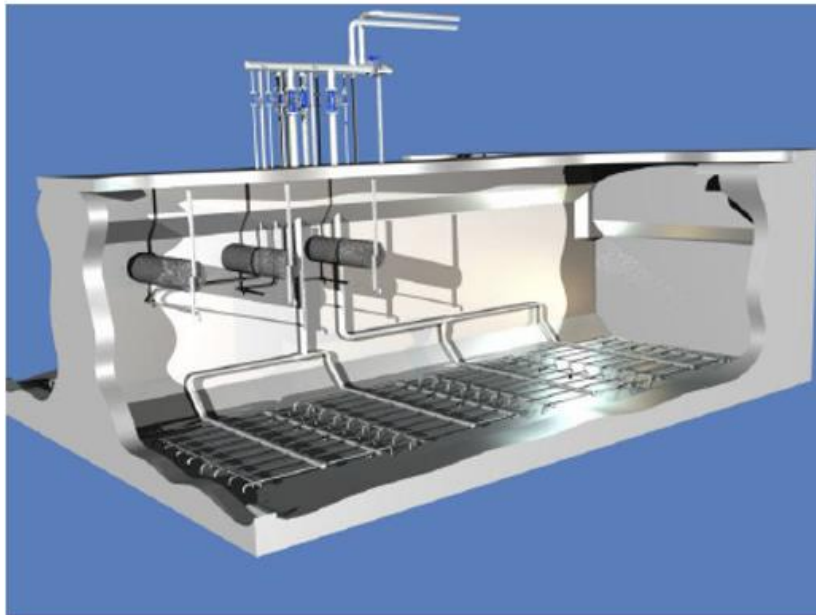
Biologisk rensning er at partikulære og løste stoffer omdannes av mikroorganismer til biologisk slam. Mikroorganismene kan flyte fritt i løsningen som fnokker, dette kalles aktivt slam, eller produsere biofilm på overflater i tanken, i en biofilmreaktor. For at den biologiske rensingen skal være mest mulig effektiv er riktig pH, temperatur, og næringsstoffer, nødvendig for at mikroorganismene skal trives. Er det mangel på næringsstoffer, må disse tilsettes for at bakteriene skal overleve.(Ødegaard, 2014)

2.1.4. Tertiærrensning

Fjerner næringsstoffene, fosfor og nitrogen ved hjelp av kjemisk og/eller biologisk rensning, i Norge er det vanligst med kjemisk felling for fosfor og biologisk rensing for nitrogen gjennom nitrifikasjon og denitrifikasjon. (Ødegaard, 2014)

2.1.5. MBBR – Moving bed biofilm reactor

Biofilmreaktorbasert bevegelig bæremateriale er et prinsipp som kombinerer aktivt slam og biofilm ved å tilsette små elementer av plast (Figur 3), med fasong for å kunne dekke størst mulig overflate. Mikroorganismene lager biofilm på plastelementene og løsningen røres rundt ved rotor eller lufttrykk. (Figur 2) Dette bidrar til god kontakt mellom mikroorganismene, partiklene og næringsstoffene man ønsker å fjerne i løsningen. Vannet siles ut, mens biomediet holdes på plass i tanken. En stor fordel ved bruk av MBBR er at man står fritt til å velge slamseparasjonsmetode. Slamseparasjonsalternativer i MBBR-anlegg er sedimentering, koagulering og sedimentering, koagulering og flotasjon, koagulering og sandfiltrering, koagulering og mikrosiling, og membranfiltrering. (Ødegaard, 2014)



Figur 2 viser oppbygging av en generell aerob MBBR med silsystem og lufteystem(Equinor, 2022a)



Figur 3 viser et eksempel på plast elementer som brukes i et MBBR anlegg uten og med biofilm. (Equinor, 2022a)

Tabell 1: vann og avløpsteknikk, hallvard ødegaard (Ødegaard, 2014)

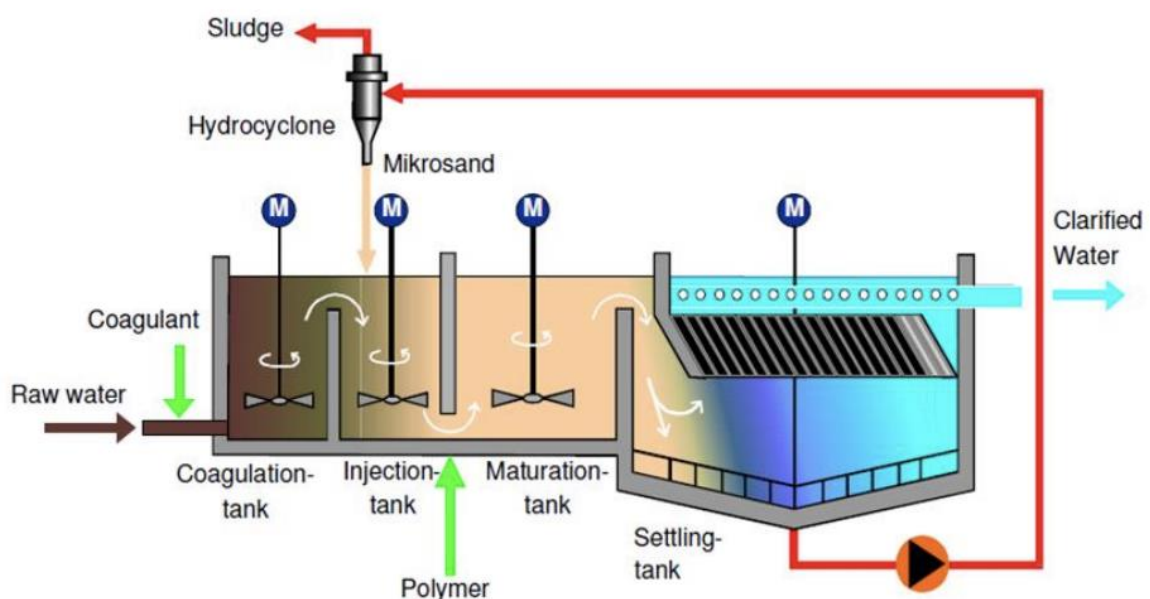
| Rensemetode | | Renseeffekt | | | |
|-------------|---------------------|-------------|--------|---------|---------|
| | | SS % | BOF5 % | Tot P % | Tot N % |
| Primær | Mekanisk | 50 | 20 | 15 | 10 |
| Sekundær | Kjemisk | 90 | 75 | 85 | 30 |
| | Biologisk | 85 | 90 | 45 | 30 |
| Tertiær | Kjem/biol m P | 95 | 95 | 95 | 30 |
| | Kjem/biol med P + N | 95 | 95 | 95 | 80 |

2.2. Slam

Etter renseprosessene vil man stå igjen med masse av biologisk materiale og/eller kjemiske forbindelser. Denne massen kalles slam. Slammet er nødt til og separeres fra renseprosessen, samt håndteres på en forsvarlig måte. Slammet inneholder ofte store mengder vann, og det kan være lurt å avvanne slammet gjennom tørking, hydrosyklon eller presse, for å minske volum og vekt. Vannet fra slammet blir sendt tilbake til renseprosessen. (Ødegaard, 2014)

2.2.1. ACTIFLO

Actiflo er en kompakt slamseparasjonsmetode som utnytter mikrosand til å hjelpe sedimenteringen av fnokkene. Koagulant doseres ved innløpet og en mikser blander løsningen, slik at doseringen spres jevnt. I tank nummer to tilsettes mikrosand som har en effektiv størrelse på $130\mu\text{m}$, og blandingen mikses slik at sanden blander seg med fnokkene. Mellom tank to og tre doseres det polymer som binder fnokkene og sanden sammen til enda større partikler. De store partiklene havner så i sedimenteringstanken hvor de synker til bunn som slam. Sjansen for krypslam er minimert av de skrå lammelleplatene. Platene fungerer som en glatt barriere mellom utløp og bunn av sedimenteringstanken. I bunn av sedimenteringstanken er det en slampumpe som pumper blandingen av sand og slam til en hydrosyklon. Her skiller vann og sand fra slammet. Slammet blir sendt videre, mens vannet og sanden blir tilsatt tilbake i prosessen. Over tid vil sanden brytes for ned og må skiftes. Forbruket er estimert til $5\text{-}10\text{g per m}^3$. Prosessen er vist i (Figur 4). (Veolia, 2014)



Figur 4 viser konseptet til Actiflo (KrügerVeolia, 2022)

2.3. Slamprosessering

2.3.1. Kompostering

Kompostering er nedbryting av slammet med tilførsel av oksygen. Ettersom den aerobe prosessen bakteriene utfører ved nedbryting av organisk stoff utvikler varme, kan temperaturen i kompostmassen stige mellom 40 og 70°C. Slammet kan da stabiliseres og eventuelt hygieniseres, og brukes som gjødsel (Ødegaard, 2014)

2.3.2. Biogass

Ved produksjon av biogass fortynnes slammet til en 5-6% TS før det sendes til råtnetanker hvor bakterier under anaerobe forhold bryter ned det organiske stoffet i slammet. Produktene av prosessen er metangass med høy brennverdi, CO₂, vann og en restbiomasse. Selv om et av produktene i prosessen er CO₂ anses prosessen som karbon-nøytral på grunn av opptak av samme mengde under produksjon av det organiske stoffet. Dette innebærer at energien rundt prosessen kommer fra en klima-nøytral kilde, transport, hygienisering og stabilisering. Nøkkelen til bærekraftig biogassproduksjon ligger i hva som skjer med bioresten. Det mest vanlige er å bruke det som gjødsel. (Miljødirektoratet, 2020)

2.3.3. Pyrolyse av slam

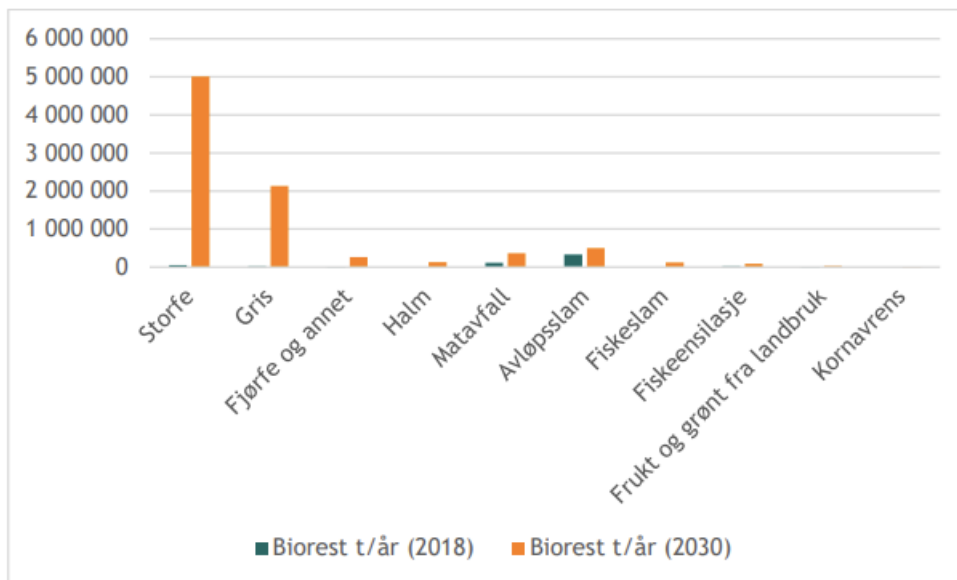
Pyrolyse er en prosess der organisk materiale varmes opp til 300 – 800 °C i en inert atmosfære. (UIO, 2022) Den høye temperaturen spaltes lengre molekylkjeder til kortere kjeder. Avhengig av temperaturen og oppholdstiden dannes kull- og oljeforbindelser. Innholdet av mulige næringsstoffer i massen som pyroliseres vil utgjøre en del av forbindelsene i produktene som dannes. En studie fra Kundu et. Al (2020) viser at pyrolyse kan bryte ned PFOA og PFOS i biomassen. (*Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation*, 2023)

Ved pyrolyse av eksempelvis fosforrikt slam kan man produsere kull- og oljeforbindelser rikt på fosfor. Dette kan i sin tur benyttes som tilsatsmateriale til gjødsel. En rekke selskaper, forskningsinstitutter og universiteter har gått sammen og startet det svenske prosjektet «Testbed Ellinge». (Olsen, 2021) Prosjektet setter opp et pilotanlegg, og har som mål å produsere gjødsel fra slammet fra kommunale vannrenseanlegg i Sverige. Dersom de lykkes kan dette bli en alternativ kilde til fosfor i gjødsel, og det har i tillegg fordelen at det binder opp karbonet fra slammet. (Gustavsson, 2023)

Produksjon av biogass og pyrolyse av slam kan kombineres i bruk. Biomassen kan benyttes i et anlegg til produksjon av metangass. Andelen av biomassen som dør skilles ut, og sendes til tørking og pyrolyse. Metangassen som blir produsert i biogassdelen av anlegget benyttes til å dekke deler av energien som behøves for å tørke og pyrolisere slammet. (research, 2023)

2.4. Gjødning

Gjødning produsert av avløpslam har flere krav enn andre avfallstyper. Dette er på grunn av mulig innhold av tungmetaller og andre forurensninger som kan være skadelig for naturen. Fosforet i slammet er ofte sterkt bundet til fellingskjemikalierne, og kan være mindre tilgjengelig enn i andre typer gjødning. Mengden biorest kommer til å øke betraktelig til 2030 (Figur 5). Skal biorestene etter gassproduksjon brukes til gjødning vil det bli en overproduksjon av gjødning etter dagens arealbruk. (Miljødirektoratet, 2020)



Figur 5 Estimert biorest i 2030 fra ulike avfallstyper sammenlignet med data fra 2018 (Miljødirektoratet, 2020)

2. Metode

2.5. Felttur

Det ble utført en felttur til Bergen sammen med nøkkelpersoner fra Equinor i prosjektet, for å høre på erfaringer fra lokale kommunale renseanlegg. Turen gikk til Ytre Sandviken avløpsrenseanlegg som er ett av fire i kommunen. Det ble diskutert rundt slamhåndtering og hvordan kommunen sender slammet sitt til det kommunale biogassanlegget.

Det ble utført et besøk på Mongstad raffineri hvor et møte for eventuelt fremtidig arbeid og informasjonsdeling ble planlagt, med NMBU og Mongstad. Videre fulget, en guidet tur i anlegget av en prosessoperatør.

2.6. Informasjonssamling

Det er blitt samlet inn informasjon for oppgaven gjennom intervjuer med blant annet professor ved NMBU Arve Heistad, driftsledere på Mongstad og vann spesialisten i Equinor, og den kommunale vann og avløpssektoren i Bergen. Gjennom intervjuene, møtene og feltturen er, ny teknologi, nåværende tilstand, ønsker, krav, begrensninger knyttet til areal, og erfaring fra drift av aktuelle rensemetoder blitt kjent. Det er også utført en lett fordykning i faglitteratur.

2.7. Prosjekt

Metoden som ble valgt er egnet til å gi en indikasjon på hva som kan være gode løsninger, men det foreligger ikke nok faktaopplysninger til å trekke endelige konklusjoner.

3. Resultat

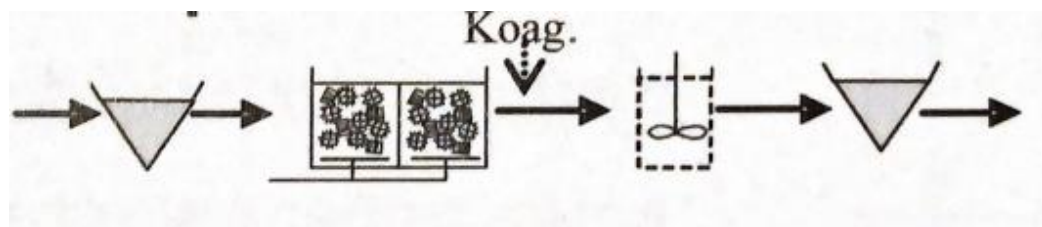
2.8. Vannkvaliteten

Vannkvaliteten som avløpsrenseanlegget skal håndtere er presentert i tabellen under. AVR står for avløpsrenseanlegg, BVR står for ballas vann rensing, og MTDA står for Mongstad terminal delt ansvar. Dette er vann fra forskjellige kilder som går til samme renseanlegg. (Tabell 2)

Tabell 2 Vannkvalitet fra forskjellige kilder inn til renseanlegget (Equinor, 2022a)

| Parameter | AVR | BVR | MTDA |
|--|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Oil outlet IAF, mg/l | <5-100 (average <30) | <1-50 (average <10) | |
| BTEX inlet, mg/l | <15-40 | <5-30 ⁴ | <20-30 |
| BTEX outlet IAF, mg/l | <1-5 | <1-10 | - |
| H ₂ S inlet, mg/l | <5-20 | <1-30 | <5-50 |
| Phenol inlet, mg/l | 50-100 | <1 | <1-5 |
| Phenol outlet IAF, mg/l | 50-400 ¹ | <1 | - |
| Chloride, mg/l ⁶ | <50-250 | 8000-19000 | 7000-20000 |
| Conductivity, mS/m | 10-80 | 3500-5000 | 3000-5500 |
| Calcium, mg/l ⁷ | <10 | <15 | <1000-2000 |
| Oil density ⁵ g/cm ³ | 0.7-0.9 | 0.7-0.9 | 0.7-0.9 |
| Phosphorus, mg/l | <1-6 ² | <1 | 5-100 (average <10) |
| Temperature, °C | 29-40,5°C ³ | Not measured, likely <10°C | Can be heated up to ~20 °C |
| pH | 6.5-8 | 6-6.5 | 6-6.5 |
| COD/TOC ratio | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| COD/BOD ratio ² | 1.6 | 1.9 | 2.0 |

2.9. Nåværende renseprosess



Figur 6: Flytskjema for MBBR prosess med fosforfjerning (Ødegaard, 2014)

Mongstad avløpsrenseanlegg (Figur 6) består av en MBBR, med rist og sandfang som forbehandling. Vannkvaliteten inn i anlegget har nesten ikke fosfor og det må derfor tilsettes i

løsningen. På grunn av skummende oljerester tilsettes skumdemper i MBBR, men det hender at skummet renner over. Etter MBBR tilsettes jernklorid som koagulant, slammet flokkuleres og separeres. Deretter går vannet til et sikringsbassen før det ledes til resipienten Fensfjorden på om lag 50 meters dyp via diffusor som sikrer primærfortynning på 100-200 ganger. Slammet sendes til en slampresse og oppnår en tørrstoffverdi på ca. 16 %. Slammet oppbevares i tanker, dekanteres, for så og sendes til SafeClean i Sløvåg for kompostering. Avløpsanlegget er dobbelt for sikkerhet ved eventuell kortslutning og av praktiske driftsårsaker. Vannet fra oljefeltene har høye verdier av kalsium, dette skaper utfordringer for plast elementene som til tider forkalkes og synker til bunn, dette fører til økt vedlikeholdsbehov. (KrügerVeolia, 2022)

2.10. Utslippstillatelse

Nåværende utslippstillatelse for avløpsanlegget på Mongstad raffineri. (Tabell 3)

Tabell 3 Nåværende utslippstillatelse for Mongstad avløpsrensaneanlegg (Libe Aranguren & Viken, 2023)

Utslippsbegrensningene gjelder ved utslippspunkt BA-7365 (sikringsbasseng).

| Utslippskomponent | Utslippsgrenser ¹⁾ | | | Gjelder fra |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------|---------------------|----------------|
| | Konsentrasjon mg/l ²⁾ | Midlingstid | Mengde | |
| Hydrokarboner (HOI) | 2,5 | uke | 2,5 tonn/kalenderår | 10.09.2019 |
| TSS | 50 | uke | 50 tonn/kalenderår | 10.09.2019 |
| TOC | 50 | uke | 100 tonn/kalenderår | 1. januar 2022 |
| Nitrogen-totalt | 25 | uke | 90 tonn/kalenderår | 1. januar 2022 |
| Fenolindex | 1 | uke | 250 kg/kalenderår | 10.09.2019 |
| Fosfor-totalt | 7 | uke | 25 tonn/kalenderår | 10.09.2019 |
| Pb | 0,005 | år | - | 10.09.2019 |
| Cd | 0,002 | år | - | 10.09.2019 |
| Ni | 0,05 | år | - | 10.09.2019 |
| Hg | 0,0005 | år | - | 10.09.2019 |
| BTEX (benzen) ³⁾ | 0,003 | år | - | 10.09.2019 |

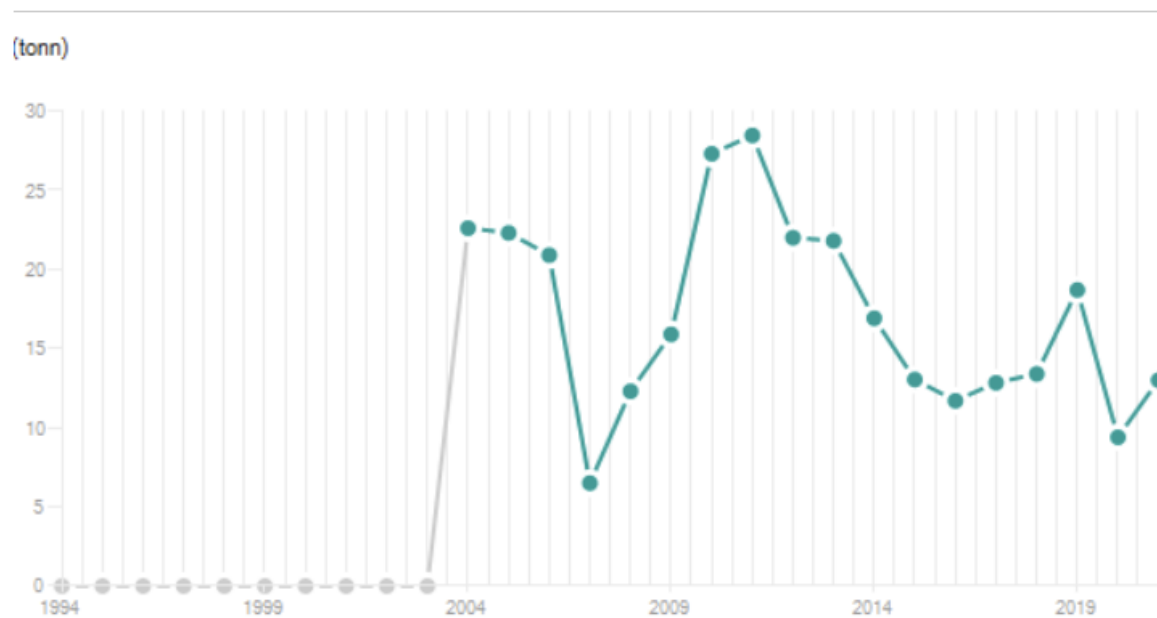
1) Grensene gjelder ikke ved opp- og nedkjøring, lekkasjer, funksjonsfeil på anlegget ("malfunctions"), plutselig driftsstans og nedleggelse av virksomheten.

- 2) Grenseverdiene gjelder uforynnnet avløpsvann. Det er tatt utgangspunkt i en årlig vannmengde på ca. 4 mill. m³. Årlig vannmengde skal rapporteres i egenkontrollrapporten
- 3) Virksomheten skal måle innhold av stoffene benzene, toluene, etylbenzen og xylene, men grensen gjelder kun benzen.

Det kommer innstramminger for TOC, men det er fremdeles ikke noe spesielt krav til fjerning av fosfor eller nitrogen.

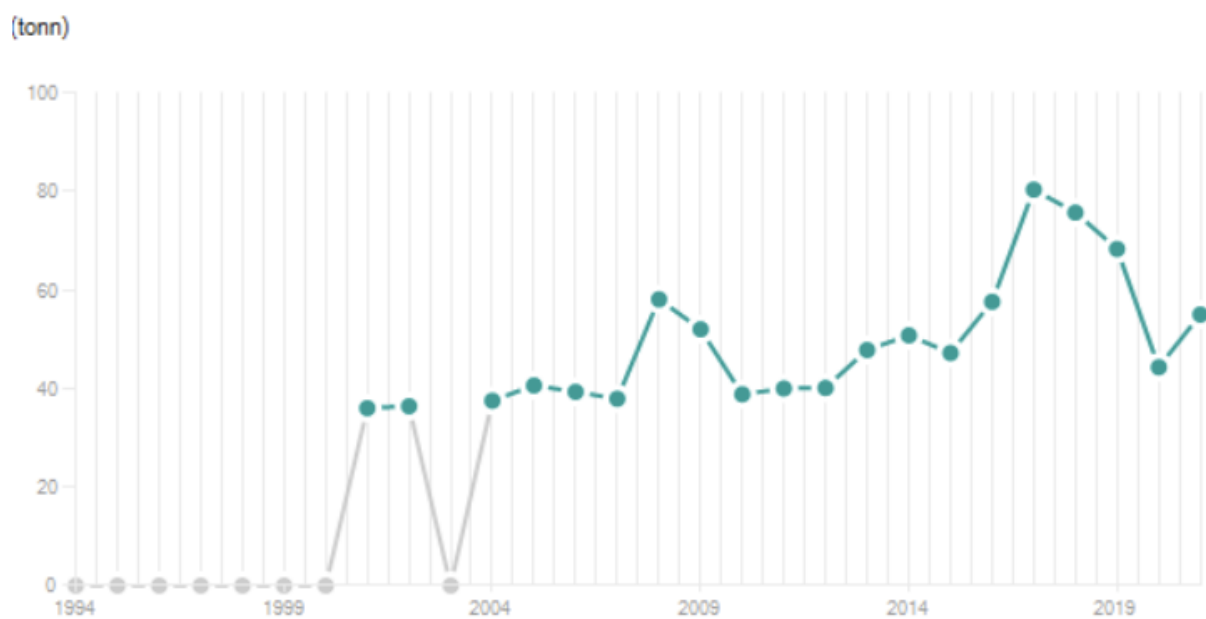
2.11. Utslipp fra Mongstad

Det nåværende rensenanlegget håndterer dagens fosfor utslipp, med unntak av to måleserier. (Figur 7)



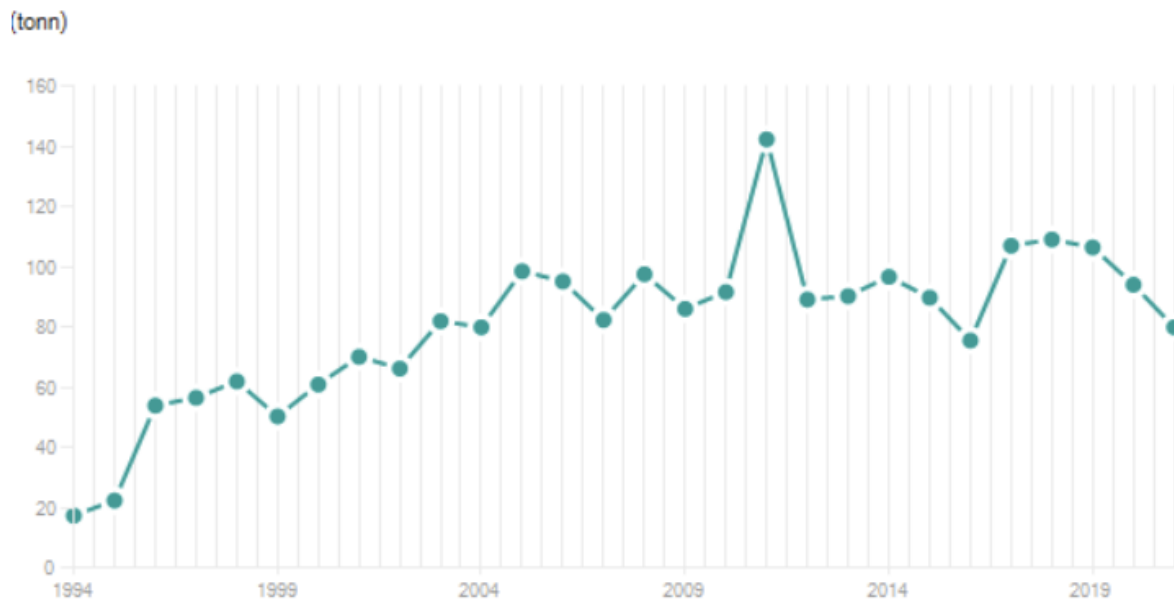
Figur 7 Antall tonn total fosfor, Tot-P som slippes ut i Fensfjorden. (Miljødirektoratet, 2022)

Det nåværende rensenanlegget håndterer dagens nitrogen utslipp (Figur 8)



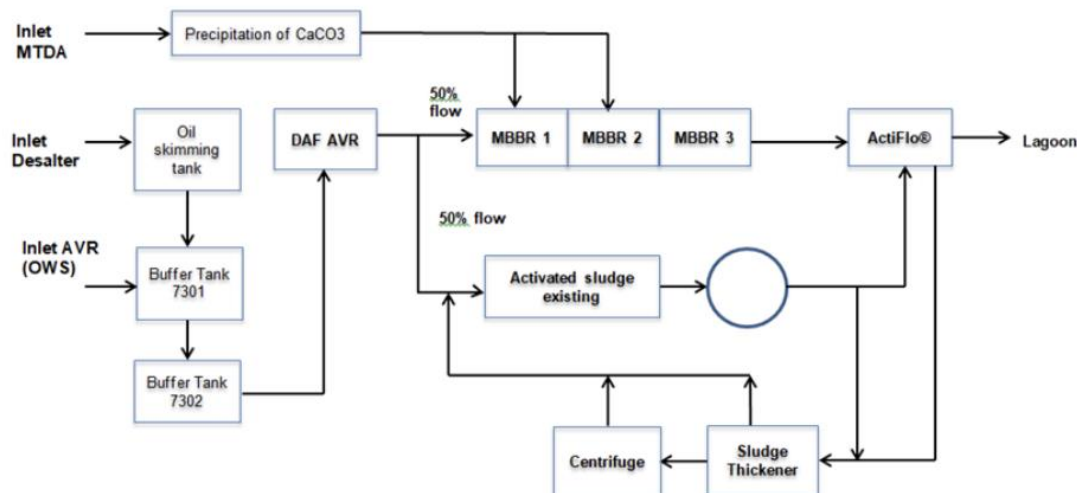
Figur 8 Antall tonn total nitrogen, Tot-N som slippes ut i Fensfjorden (Miljødirektoratet, 2022)

Det nåværende rensanlegget håndterer dagens totale organisk karbon utslipp, med unntak av måleserien i samme periode som ved fosfor. (Figur 9)



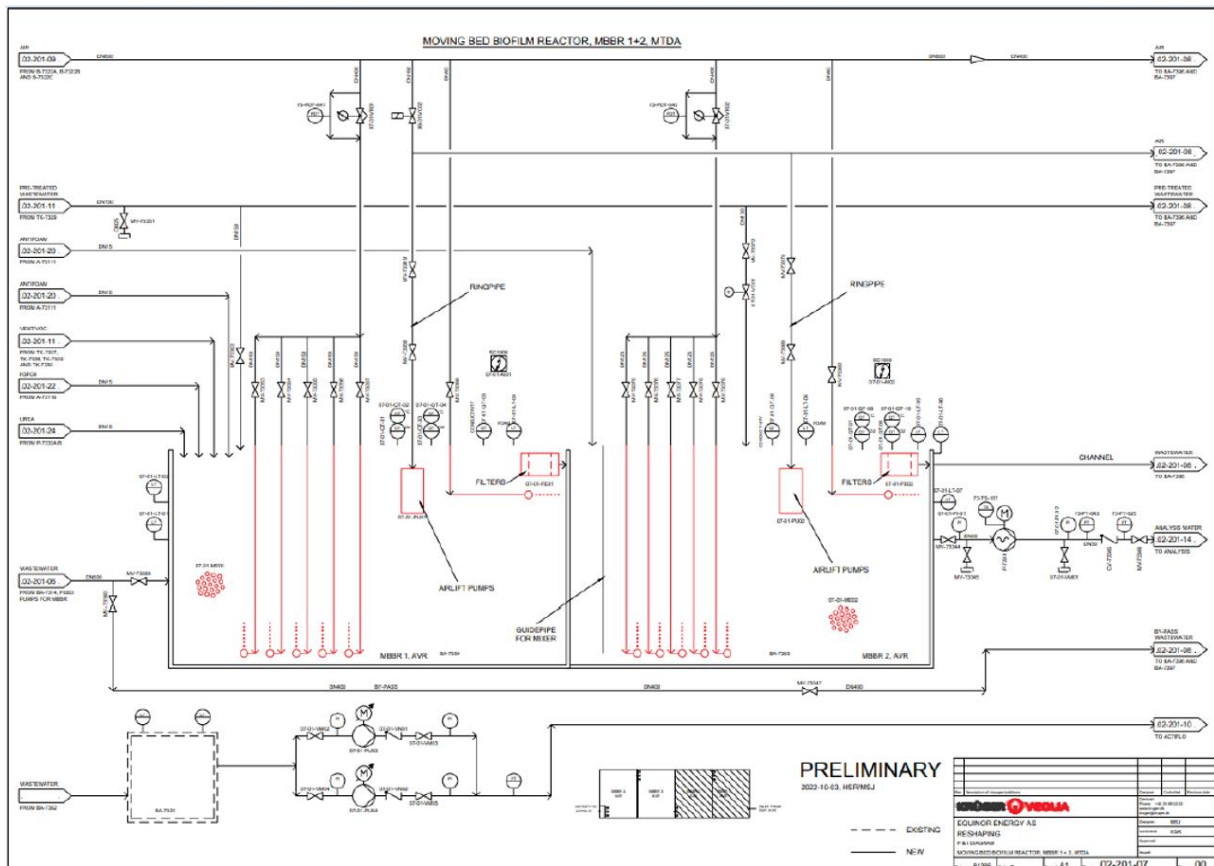
Figur 9 Antall tonn total organisk karbon, TOC som slippes ut i Fensfjorden (Miljødirektoratet, 2022)

2.11.1. Fremtidig løsning utviklet av Krüger

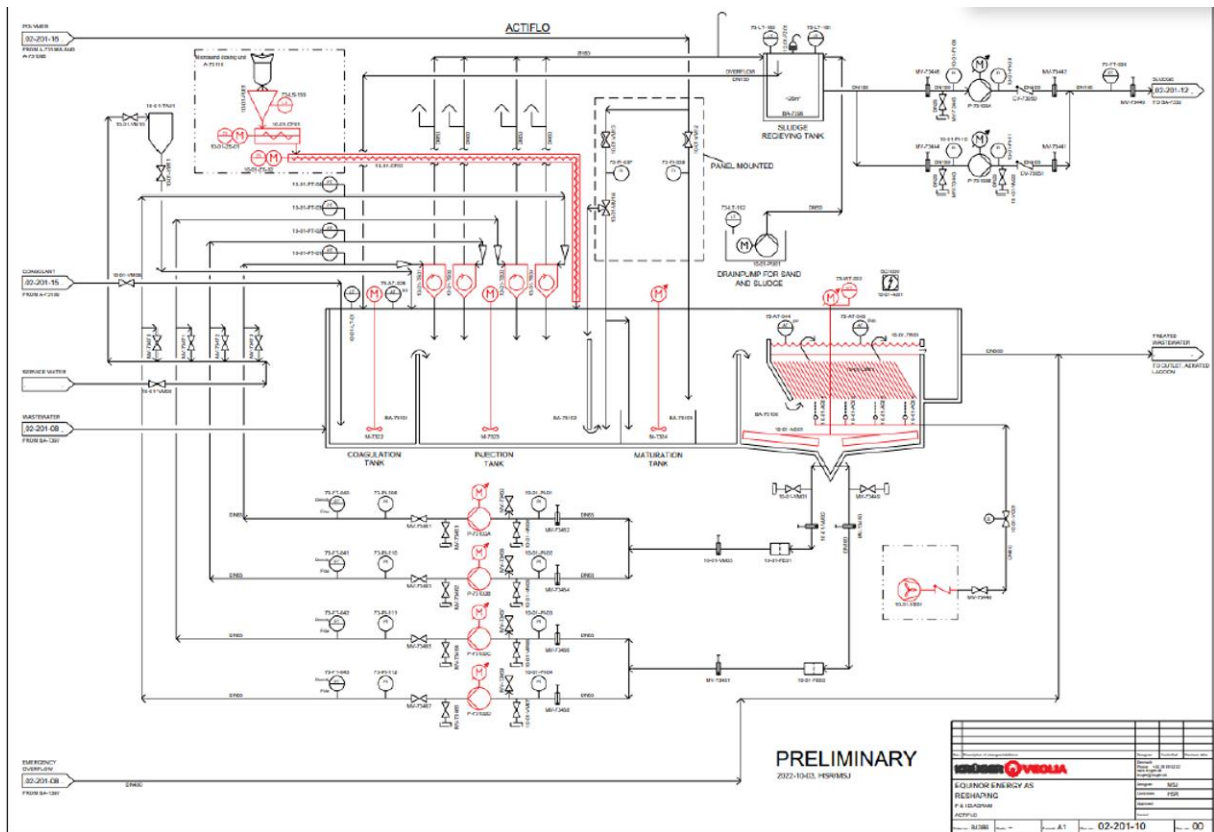


Figur 10 Flytskjema av mulig løsning (KrügerVeolia, 2022)

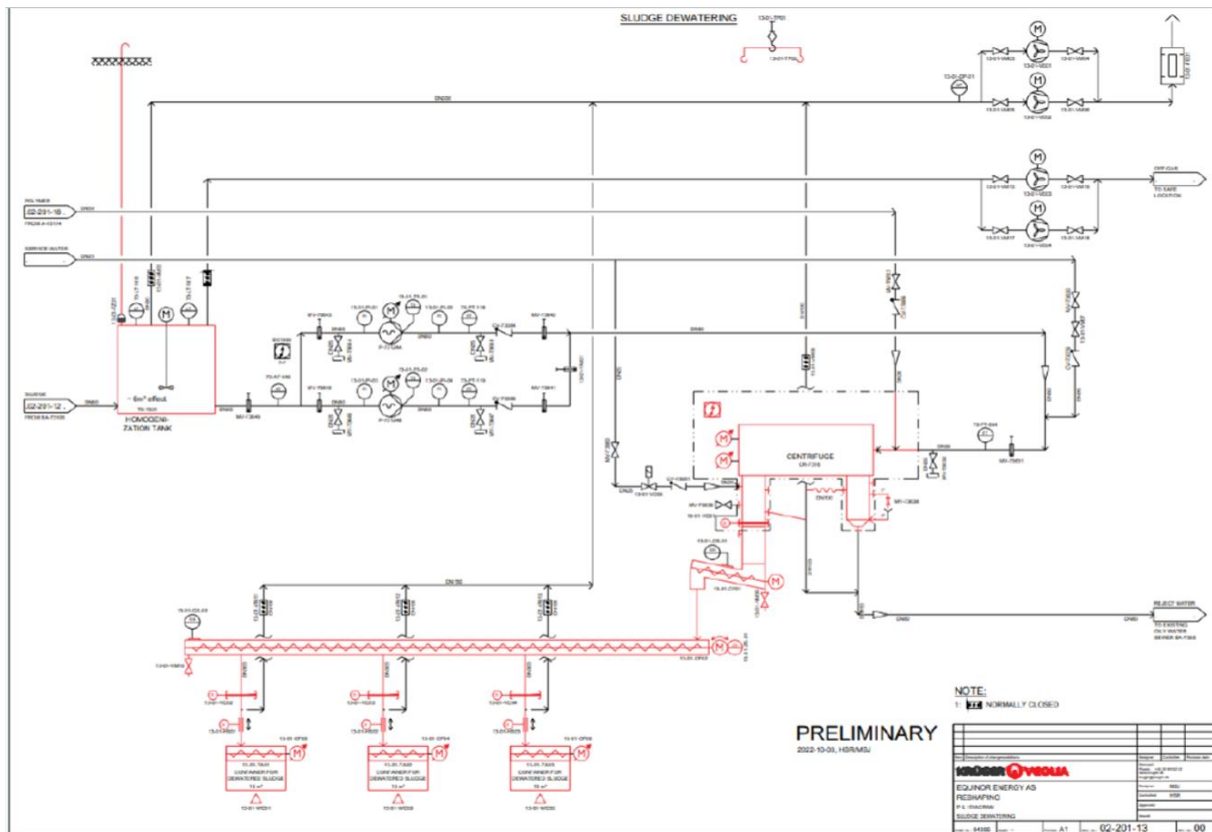
I den mulige løsningen (Figur 10) er lagt inn en forfellingstank av kalsium for å løse forkalkningsproblemet. Mongstad har valgt å øke den hydrauliske kapasiteten ved å installere flere MBBR, det mulighet for å implementere nitrifikasjon i anlegget skulle det bli nødvendig. (Figur 11) samt en Actiflo (Figur 12). Slamfortykningen skjer nå ved hjelp av sentrifuge. (Figur 13)



Figur 11 Detaljbilde av tenkt løsning for MBBR tankene (Equinor, 2022a)



Figur 12 Detaljbilde av tenkt løsning for Activiflo (Equinor, 2022a)



Figur 13 Detaljbilde av tenkt løsning for slamsentrifugen (Equinor, 2022a)

2.12. Slamresultater

Etter sentrifugen vil slammet ha en 20 % TS.

Verdier fra Krüger estimerer at den nye slammengden produsert i anlegget vil være på 706tonnSS/år. Equinor ønsker å fortsette å sende slammet til kompostering.

Det nærmeste Biogassanlegget ligger i Bergen, og selv om det opererer på 60 %

4. Diskusjon

2.13. Drøfting av resultater

2.13.1. Konseptløsning med teoretisk rensegrad

Konseptløsningen vil nok kunne tilfredsstillere dagens og kommende krav til TOC og Tot-P rensning, men ettersom den nye løsningen ikke har nitrifikasjon i utgangspunktet kan rensningen av Tot-N bli mangelfull, skulle kravene endres. Dette er basert på tabell 1 som viser at rensegraden på 30 % av Tot-N forblir, med mindre man implementerer nitrifikasjon.

2.13.2. Slamhåndtering

Basert på informasjonen om strengere gjødselkrav vil det være en risiko å fortsette med kompostering av slammet. Markedet for avfallsgjødsel kan bli mettet med tanke på økt mengde biorest fra andre avfall med færre krav. Det er også begrenset spredningsareal for gjødselen og hvis det skal bli en klimagevinst er nok ikke en satsning på eksport realistisk. Avløpsslammet kan da i fremtiden bli tilnærmet verdiløs i sammenheng med jordforbedring, med mindre man klarer å redusere kjemikaliebruken og redusere tungmetaller og andre farlige stoffer.

Med tanke på biogass vil det være krevende å bruke kapasiteten til Bergens biogass anlegg med tanke på avstandene mellom raffineriet og plasseringen av biogass anlegget. Flere og flere avløpsanlegg bygger sine egne biogassanlegg da energigevinsten ofte kan være større enn mengden brukt i produksjon. Det kan heller da være mer gunstig å gå inn i en avtale med en mindre aktør for utbygging av et mer lokalt anlegg. Det egentlige problemet ligger i bioresten som faller fremdeles under avløpsslam. Hva gjør man med den?

Pyrolyse er en svært energikrevende prosess da høy temperatur må holdes over lengre tid. Det er også lite utprøvd i Norge og vil være veldig kostbart. Pyrolyse ville rense de farlige stoffene i avløpsslammet, samt fange CO₂ og næringsstoffene i biokullet. Biokullet kan dermed brukes som filtermasse i pyrolyse prosessen eller som jordforbedringsmiddel. Det er en voldsom økonomisk risiko å bygge et slikt anlegg i stor skala for noe man ikke er sikker på at skal driftes i lang tid fremover.

Hovedproblemet er at man står igjen med et restprodukt det kan være vanskelig å utnytte fullt ut fra kun en metode. En løsning kunne vært å kontakte en aktør for å bygge et lokalt

biogassanlegg for avløpsslammet, og bygge et mindre pyrolyseanlegg for bioresten. Det vil kanskje være en energigevinst fra biogassanlegget slik at pyrolyseprosessen blir litt billigere, samt biokullet kan brukes som filtermasse i prosessen, eller som jordforbedringsmiddel.

2.14. Drøfting av metode

Det at oppgaven baserer seg på en konseptløsning gjør det vanskelig å komme med en konkret konklusjon om konseptet vil innfri nødvendig renskrav.

Manglende data om sammensetning av avløpsslam fra konseptløsningen, samt tungmetaller, gjorde det vanskelig å utvikle en god empirisk metode. Disse manglene vanskeliggjorde utregninger rundt slamhåndtering, med tanke på biogass og pyrolyse.

2.15. Forslag til videre arbeid

Opparbeide et lite pilotprosjekt for eventuelle masterstudenter for å teste de forskjellige slamhåndteringene.

Når endelig løsning for oppgradering av det øvrige vannrenseanlegget er bestemt, bør det utføres en reevaluering av de tilgjengelige metodene for håndtering av slam. Dersom forutsetningene som er lagt til grunn i dette studiet ikke stemmer med den endelige anleggsutformingen, må konseptløsningen korrigeres.

Det bør utarbeides en analyse av den økonomiske kosten til de ulike alternativene som er lagt frem. I kostanalysen bør det sjekkes ut om den tilgjengelige mengden slam, og sammensetningen av denne påvirker lønnsomheten til de forskjellige metodene for å håndtere slammet. De ulike metodene for håndtering av slam har ulik sammensetning av produksjonsutstyr og maskiner. Det bør derfor innhentes tilbud på utstyret og maskinene fra flere leverandører. Prisestimatene fra tilbudene benyttes i kostanalysen. Basert på innhentet informasjon kan det settes opp en «return of investment» for de alternative løsningene, slik at den økonomiske gevinsten for prosjektet kan evalueres.

Innhenting av tilbud kan gi en indikasjon på hvor kommersielt tilgjengelig de ulike løsningene er. God kommersiell tilgjengelighet kan øke sannsynligheten for suksessfull gjennomføring av prosjektet, men utnytter kanskje ikke de nyeste oppdagelsene i feltet.

Mindre kommersiell tilgjengelighet kan bety at løsningen ikke er velprøvd, som kan medføre usikkerheter rundt hvilke resultater som kan oppnås. Det positive ved mindre velprøvde løsninger er at de ofte drar nytte av nyere fremskritt i teknologi og forskning.

Ved innhenting av tilbud kan man hente inn estimerte leveringstider. Med denne informasjonen kan det settes opp en tidslinje for gjennomføring av de ulike alternativene. Tidslinjen for gjennomføring kan være avgjørende dersom sluttresultatet av prosjektet av ulike grunner er tidskritisk for selskapet.

Det bør også vurderes å gjennomføre en LCA-analyse av de mulige løsningene i prosjektet. Da muliggjør man at de miljøvurderingene som gjøres har grunnlag i vitenskapelig metode.

5. Konklusjon

Basert på resultatene vil konseptløsningen av Mongstad avløpsrensaneanlegg tilfredsstillende rensekravene for TOC og Tot-P per dags dato. Det er litt usikkerhet rundt Tot-N og det anbefales å implementere nitrifikasjon fra start. For slamhåndteringen foreslås det med tanke på usikkerheten rundt avløpsslam som biorest og gjødselprodukt, og installere et mer lokalt biogassanlegg og et mindre pyrolyseanlegg. Dette vil gi den beste miljøbesparelsen da usikkerheten rundt avløpsslammet er minimert.

6. Referanser

Litteraturliste

- Equinor. (2022a). *MTDA JS Skipermøte WWTP technical workshop*. MTDA JS Skipermøte WWTP technical workshop.
- Equinor. (2022b). *PM762-PMS-052-001_02_Facility description*. PM762-PMS-052-001_02_Facility description.
- Gustavsson, D. (2023). *Research and development for circular management of plant nutrients in the food and farming system: Swedenwaterresearch*. Tilgjengelig fra: <https://www.swedenwaterresearch.se/en/projekt/testbed-ellinge>.
- KrügerVeolia. (2022). *Proces note to Equinor*. Proces note for Feed Study for new wwtp on old and new site.
- lovdata. *Forskrift om begrensnng av forurensning (forurensningsforskriften) Del 4. Avløp*: lovdata.no.
- Miljødirektoratet. (2020). *Virkemidler for økt bruk og produksjon av biogass*. Miljødirektoratet.
- Miljødirektoratet. (2022). *Mongstad raffineri*. Miljødirektoratet (red.). norskeutslipp.
- Myrner, N. (08.10.2021). Oslofjorden er døende: - ingenting some tyder på at the går bedre.
- Olsen, T. (2021). *Bygger pilotanlegg for tørking og pyrolyse av slam: VAnytt*. Tilgjengelig fra: <https://www.vanytt.no/?p=19680>)
- research, s. w. (2023). *Testbed Ellinge - drying, pyrolysis and productification of sewage sludge*: swedenwaterresearch. Tilgjengelig fra: [\(https://www.swedenwaterresearch.se/en/projekt/testbed-ellinge-drying-pyrolysis-and-productification-of-sewage-sludge/ \)](https://www.swedenwaterresearch.se/en/projekt/testbed-ellinge-drying-pyrolysis-and-productification-of-sewage-sludge/).
- Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation*. (2023). European commision.
- UIO. (2022). *Pyrolyse*. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/p/pyrolyse.html>
- Veolia. (2014). *Actiflo carb*. Nettsiden: Veolia.
- Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*, b. 2: Norsk vann.

Figurliste

| | |
|---|----|
| Figur 1 Oversikt over raffineri anlegget på Mongstad, området sirklet i blått er arealet for avløpsrensaneanlegget.(Equinor, 2022a) | 2 |
| Figur 2 viser oppbygging av en generell aerob MBBR med silsystem og lufteystem(Equinor, 2022a)..... | 5 |
| Figur 3 viser et eksempel på plast elementer som brukes i et MBBR anlegg uten og med biofilm. (Equinor, 2022a)..... | 5 |
| Figur 4 viser konseptet til Actiflo (KrügerVeolia, 2022)..... | 6 |
| Figur 5 Estimert bioest i 2030 fra ulike avfallstyper sammenlignet med data fra 2018(Miljødirektoratet, 2020) | 8 |
| Figur 6: Flytskjema for MBBR prosess med fosforfjerning(Ødegaard, 2014) | 10 |
| Figur 7 Antall tonn total fosfor, Tot-P som slippes ut i Fensfjorden. (Miljødirektoratet, 2022) | 12 |
| Figur 8 Antall tonn total nitrogen, Tot-N som slippes ut i Fensfjorden (Miljødirektoratet, 2022)..... | 12 |
| Figur 9 Antall tonn total organisk karbon, TOC som slippes ut i Fensfjorden (Miljødirektoratet, 2022) | 13 |
| Figur 10 Flytskjema av mulig løsning (KrügerVeolia, 2022) | 13 |
| Figur 11 Detaljbilde av tenkt løsning for MBBR tankene (Equinor, 2022a)..... | 14 |
| Figur 12 Detaljbilde av tenkt løsning for Actiflo (Equinor, 2022a)..... | 14 |
| Figur 13 Detaljbilde av tenkt løsning for slamsentrifugen (Equinor, 2022a) | 15 |

Tabelliste

| | |
|--|----|
| Tabell 1: vann og avløpsteknikk, hallvard ødegaard (Ødegaard, 2014) | 5 |
| Tabell 2 Vannkvalitet fra forskjellige kilder inn til renseanlegget(Equinor, 2022a) | 10 |
| Tabell 3 Nåværende utslippstillatelse for Mongstad avløpsrenseanlegg (Libe Aranguren & Viken, 2023)..... | 11 |



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway