

# Energieffektivisering av avløpsrenseanlegg i Kvernevik og Ytre Sandviken

Ivar Petter Seljehaug

Kristine J. Hjørungdal

Sofie M. E. Bjelland

Bacheloroppgave i Energiteknologi  
Bergen, Norge 2019



BERGEN  
KOMMUNE





# Energieffektivisering av avløpsrenseanleggene i Kvernevik og Ytre Sandviken i Bergen Kommune

Ivar Petter Seljehaug  
Kristine J. Hjørungdal  
Sofie M. E. Bjelland

Institutt for Maskin- og Marinfag  
Høgskulen på Vestlandet  
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet  
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap  
Institutt for maskin- og marinfag  
Inndalsveien 28  
NO-5063 Bergen, Norge

*English title:* Energy efficiency of wastewater treatment plants in  
Kvernevik and Ytre Sandviken in Bergen municipality, Norway

Forfatter(e), studentnummer: Ivar Petter Seljehaug h182404  
Kristine J. Hjørungdal h180263  
Sofie M. E. Bjelland h182416

Studieprogram: Energiteknologi  
Dato: Mai 2019  
Rapportnummer: IMM ÅR-M76  
Veileder ved HVL: Norbert Lümmen HVL ansatt  
Oppdragsgiver: Bergen Kommune, Vann- og avløpsetaten  
Oppdragsgivers referanse: Kristine Akervold

Antall filer levert digitalt: 6 stk

## Forord

Denne rapporten er skrevet av tre studenter i forbindelse med avsluttende utdanning for studieretningen Energiteknologi ved Institutt for Ingeniør- og maritime fag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Hovedtemaet for bacheloroppgaven omhandler energifaget. Oppgaven er skrevet på vegne av Bergen Kommune, Vann- og Avløpsetaten og ekstern veileder Kristine Akervold.

Vi vil takke vår veileder fra IMM, Norbert Lümmen, for god hjelp, støtte og oppfølging underveis med utarbeidelsen av rapporten. Han har bidratt med viktig kunnskap, veiledet oss i riktig retning og hele veien vært tilgjengelig for å svare på spørsmål. Vi vil også takke Kristine Akervold for denne muligheten vi har fått til å skrive oppgave for deres etat. Sammen med Kristine Akervold har vi også fått god hjelp fra Hilde Eide Hatland. Både Kristine og Hilde har gitt oss tilgang til det vi trenger av dokumenter og data, og svart på spørsmål vi har hatt til oppgaven. Vi vil også nevne Sigbjørn Velle som har stilt opp på kort varsel og gitt oss god hjelp med å tolke datamaterialet. Takket være god støtte og hjelp sitter vi alle igjen med kunnskap om et interessant felt vi ikke hadde stor kjennskap til tidligere, noe som var målet for oppgaven.

## Sammendrag

Fokuset på å kunne utnytte ressurser i større grad, og oppnå et sirkulærøkonomisk system er veldig stort i dag. Avløpsrensaneanlegg er en svært energikrevende prosess, og har stort potensiale for å energieffektiviseres ytterligere. I denne rapporten blir det sett på to av Bergen Kommunes største avløpsrensaneanlegg. Det er anleggene i Ytre Sandviken og Kvernevik. Det ene er et biologisk anlegg og det andre et biologisk-kjemisk rensaneanlegg. Renseprosessene til anleggene har blitt beskrevet ved hjelp av bilder og tekst for å få en grundig forståelse av alle delprosessene som inngår fra innløpsvannet kommer inn i anleggene, til det slippes ut igjen. Videre har det blitt gjort beregninger for å estimere energibehovet til ulike deltrinn i anleggene. Beregningene har blitt sett i sammenheng med nedbørsmengden for samme periode, temperatur og sekundærrensekraft om å rense 70% BOF og 75% KOF. Her har det blitt gjort funn som indikerer at hovedrensetrinnene for begge anleggene har store energibehov. I begge anleggene er hovedrensetrinnene tilknyttet kompressorsystemer, og et fellestrekk for kompressorsystemene til begge anleggene er at de har veldig stort energibehov. Mye tyder på at de burde få en oppgradering eller eventuelt optimaliseres for å senke energibehovet. Det har også fremkommet overraskende resultater som viser at store deler av det totale energibehovet ikke medgår til selve rensesprosessene, men går til driften av bygget i og rundt avløpsrensaneanleggene. Blant annet går store deler av energikonsumet til ventilasjon og varmeanlegg.

Rapporten problematiserer årsaker til at avløpsrensaneanleggene har stort rensbehov, hvor forbrukerne og de politiske lovgivningene rundt har stor påvirkning til hvordan rensesprosessene utføres. Den viser også til utviklingen fra å se på slam som noe som burde forkastes, til at det i dag blir anvendt som en energiressurs ved hjelp av et biogassanlegg som holder til i Rådalen, et stykke utenfor Bergen Sentrum. Ved å anvende slam på nytt følger også Bergen Kommune sirkulærøkonomiens prinsipper om å holde en ressurs så lenge som mulig i omløp.

## **Abstract**

The focus on utilizing resources to a greater extent, and achieving a circular economic system is very large today. Wastewater is a very energy-intensive process and have great potential for further energy efficiency improvement. This study focuses on two of Bergen Municipality's largest wastewater treatment plants. One is a biological plant and the other a biological-chemical treatment plant. The cleaning processes of the plants have been described by means of pictures and text in order to get a thorough understanding of all the sub-processes that are included in the inlet water coming into the plants, until the treated water is released again. Furthermore, calculations have been made to estimate the energy requirement for various sub-processes in the plants. The calculations were conducted in the context of the precipitation for the same period, temperature and secondary cleaning requirements to clean 70% BOD and 75% COD. It was discovered that the main cleaning steps for both plants consume large amounts of energy. In both plants, the main cleaning steps are associated with compressor systems, and a common feature of the compressor systems for both plants is that they have very high energy requirements. There are many indications that they should be upgraded or possibly optimized to lower their energy needs. Surprising results have also emerged, which show that much of the total energy requirement does not go to the actual cleaning processes, but goes to the operation of the building in and around the wastewater treatment plants. For example, large parts of the energy consumption goes to ventilation and heating systems.

The report discusses the reasons why the wastewater treatment plants have a large need for cleaning, where the consumers and the political legislation around them have a great influence on how the cleaning processes are carried out. It also points to the development from looking at sludge as something that should be rejected, to the fact that today it is used as an energy resource by means of a biogas plant that is located in Rådalen, some distance outside Bergen city centre. By reusing the sludge, Bergen Municipality also follows the circular economy's principles of keeping a resource in circulation for as long as possible.





## Innhold

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
Abstract.....	5
Nomenklatur.....	11
1. Innledning .....	13
2. Metode .....	13
2.1 Teoretisk fremgangsmåte.....	13
2.1.1 Utfordringer knyttet til beregningsmetoder.....	14
2.2 Avløpsrensaneanlegg .....	14
2.2.1 Mekanisk rensing.....	14
2.2.2 Biologisk rensing.....	15
2.2.3 Kjemisk rensing.....	15
2.3 BOF og KOF .....	15
2.4 Energikrevende industri.....	16
2.5 Miljødirektoratet.....	16
2.5.1 Nye krav og Vannforskriften .....	17
2.5.2 Endringer i 2014 .....	17
2.5.3 Det norske VA-nettet.....	17
2.6 Fremgangsmåten .....	18
3. Oppbygging av avløpsrensaneanlegg .....	19
3.1 Avløpsrensaneanlegget i Kvernevik.....	19
3.1.1 Grovrister.....	19
3.1.2 Sand- og fettfang .....	20
3.1.3 Biologisk rensetrinn.....	21

3.1.4	Sedimentering .....	21
3.1.5	Slamfortykker .....	22
3.1.6	Sentrifuge .....	23
3.1.7	Slamsilo .....	23
3.2	Avløpsrensaneanlegget i Ytre Sandviken .....	24
3.2.1	Grovrist .....	24
3.2.2	Sand- og fettfang .....	25
3.2.3	Luftebasseng.....	26
3.2.4	Kjemisk rensetrinn.....	26
3.2.5	Slamfortykker .....	27
3.2.6	Sentrifuge .....	28
3.2.7	Slamsilo.....	28
4.	Resultat.....	29
4.1	Resultater fra Ytre Sandviken.....	29
4.2	Resultater fra Kvernevik.....	33
5.	Diskusjon .....	42
5.1	Biogassanlegget i Rådalen.....	42
5.1.1	Biogassproduksjon.....	42
5.2	Samfunn .....	42
5.2.1	Holdningsendring .....	43
5.3	Sammenligning av Ytre Sandviken og Kvernevik i sin helhet .....	43
5.4	Biologisk eller biologisk-kjemisk renseprosess? .....	46
5.4.1	Sammenligning av blåsemaskinene .....	50
5.5	BOF og KOF energibehov i forhold til andre anlegg .....	51
5.6	Energibehov i andre lands avløpsrensaneanlegg .....	52
	Strømkostnad .....	53

5.7	Andre rensaneanlegg i Norge .....	54
5.7.1	IVAR .....	54
5.7.2	Tomasjord avløpsrensaneanlegg.....	55
5.8	Potensialet for energigjenvinning fra slam .....	55
5.8.1	Selvforsyning med energi fra slam .....	56
6.	Tiltak .....	57
6.1	Belysning.....	57
6.2	Varmegjenvinning .....	57
6.3	Primærslammetoden .....	57
6.4	Optimalisering av anlegget .....	57
6.5	Senke temperaturen i bygget .....	58
6.6	Øke effektiviteten på kompressorsystemene.....	58
7.	Konklusjon .....	59
8.	Videre arbeid .....	60
	Referanser .....	61
	Liste over Figurer .....	67
	Liste over Tabeller .....	69



## Nomenklatur

VA - vann og avløp

PE - Personekvivalenter (tilsvarer én person)

BOF - Det biologiske oksygenforbruket

BOF<sub>5</sub> - Et mål på mengden organisk materiale som er tilgjengelig for biologisk nedbrytning i det aktuelle tidsrommet (5 dager)

KOF - Det kjemiske oksygenforbruket

Aerobe – Prosess som foregår i et oksygenrikt miljø

Anaerobe – Prosess som foregår i et oksygen- og nitratfritt miljø.

Eutrofiering - En prosess i innsjøer o.l. hvor planteproduksjonen øker pga. tilførsel av næringsstoffer

MBBR – Moving Bed Biofilm Reactor

Tilsats - tilsetning; tilslag, særlig i kjemi og teknikk

Ristgods - større søppelkomponenter som separeres fra innløpsvannet ved hjelp av rister.

$Q_{\text{maksdim}}$ ,  $Q_{\text{maks}}$ . Norsk vann rapport definerer disse begrepene slik [1]:

$Q_{\text{dim}}$  - dimensjoneringsparameter for anleggets dimensjonerende kapasitet regnet i m<sup>3</sup> per time. Den består av bidragene fra sanitærvløp, infiltrasjon og bedriftsavløp summert sammen.

$Q_{\text{maksdim}}$  - Største timetilrenning som skal kunne behandles i alle trinn i renseanlegget. Bestemmes ut ifra hvor stor andel den totale tilrenningen over året som kreves behandlet i anlegget.

$Q_{\text{maks}}$  - Tilrenning utover  $Q_{\text{maksdim}}$ , bør minst gjennomgå forbehandling.



## 1. Innledning

Det har blitt avdekket avløpssystemer på Bryggen i Bergen allerede fra 1100-tallet. Systemet den gang bestod av utgravede veiter og trerenner som ledet avløpsvannet direkte ut i Vågen. Opp gjennom årene har det oppstått nye bosettingsmønstre og levestandarden til den norske befolkning har stadig økt. Urbanisering gjør at behovet for god håndtering og rensing av avløpsvann stadig øker [2]. En av utfordringene med å bygge optimale avløpsrensaneanlegg er variasjon i innløpsmengden som kommer av nedbør og forbrukere. Norsk Institutt for vannforsyning (NIVA) og Norges Byggforskningsinstitutt (Byggforsk) har gjort målinger som viser at gjennomsnittsfbruket ligger på 150-200 liter vann per person, per dag [3, s37]. Før vann og avløps skal kunne slippes ut i vassdrag, fjorder og marine farvann, må stoffer som kan føre til algeoppblomstring og tap av oksygen fjernes.

I 2004 ble EUs avløpsdirektiv (Urban Waste Water Directive fra 1991 [4]) vedtatt innført i Norge ved forurensingsforskriften. Da Bergen Kommune fikk ny utslippstillatelse fra Fylkesmannen, Lars Sponheim [5], i 2010, ble det for første gang stilt krav om sekundærrensing (se avsnitt 2.3) av avløpsvannet i kommunen. Et høyere rensekraft fører også til en mer krevende renseprosess som tenkelig vil føre til økt energibehov for avløpsrensaneanleggene. Dagens avløpsrensaneanlegg består i hovedsak av tre hovedprosesser: mekanisk, kjemiske og biologiske rensetrinn. Ved å kombinere disse renseprinsippene oppnås det i dag en mye høyere renseeffekt enn hva det ble gjort tidligere når annen teknologi ble brukt.

I henhold til sirkulærøkonomiens prinsipper er det å separere og gjenvinne materialer og energi fra slam optimalt. Forbrukerens vaner og holdninger til hva ender opp i avløpene påvirker energibehovet til avløpsrensaneanlegg i stor grad. Bergen Kommune skriver at de to viktigste kildene til forurensningsbelastning av fjordene er avløpsvann fra bosetningen rundt fjorden og kjemisk forurensning fra industrien [6] Det kan antas at dersom disse vanene endres i større grad vil dette gi utslag for energibehovet til avløpsrensaneanlegg på generell basis. En holdningsendring i samfunnet er utfordrende å få gjennomslagskraft for, og dermed står de fleste avløpsrensaneanlegg fortsatt overfor en utfordring når det kommer til energieffektivisering av anleggene [2].

## 2. Metode

I dette kapittelet blir det beskrevet hvilke metoder som har blitt anvendt for å finne begrunnelser til problemstillingen, hvilke utfordringer gruppen har stått overfor og innledende informasjon om avløpsrensaneanlegg og renseprosessene i sin helhet.

Videre blir det problematisert de ulike aspektene rundt avløpsrensing. Her fremkommer det hvordan lover og regler påvirker renseprosessen og hvilke krav som stilles til avløpsrensing, og hvordan Bergen Kommune har forholdt seg til dette.

### 2.1 Teoretisk fremgangsmåte

I denne oppgaven brukes det en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ metode. Her vil det legges til grunn en kvalitativ metode for å begrunne den kvantitative analysen. Bakgrunnen for dette er stor tilgang på data og statistikker, som skal anvendes i energiberegninger. Beregningene skal si noe om hvordan energien anvendes og fordeles i anleggene. Videre suppleres det med kvalitativ metode for å si noe om likheter og ulikheter mellom de to anleggene som analyseres og kartlegges.

Oppgaven er i all sin hovedsak teoretisk, men vektlegges i henhold til beregninger av datamaterialer hentet fra Bergen Kommune. Det vil ikke fremlegges en konkret løsning på problemstillingen, men det fremlegges og drøftes forslag til forbedringer [7].

### 2.1.1 Utfordringer knyttet til beregningsmetoder

Det er ikke fastsatte bestemte mengder innløpsvann som kommer inn i anleggene. Årsaken til dette er at det da må ilegges restriksjoner på et samfunnsmessig plan i henhold til forbruk for å kunne kontrollere det. Samtidig er det umulig å kontrollere nedbørmengden gjennom en periode, den kan bare måles. Derfor må anleggene være konstruert til å ta imot den innløpsmengden som kommer, uavhengig av størrelsen på mengden.

Ristgodsmengden (se Nomenklatur) som blir tatt ut i første deltrinn blir kontrollert. Denne informasjonen kan være nyttig i henhold til energiberegninger, men det har ingen direkte hensikt å kontrollere den uten om dette, fordi den mengden som ankommer anlegget må hanskes med uansett, på lik linje som mengden innløp. Mengden vann som går videre til kjemisk- og biologisk rensetrinn blir ikke kontrollert. Reduksjon i innløpsmengder etter at ristgodset er fjernet er bare en liten promille, og utgjør derfor ikke noen stor forskjell i energibehovet til anlegget[8]

Anleggene har heller ikke måleapparater fordelt på alle de enkelte rensetrinnene. Måleapparatene er fordelt tre steder på hvert av anleggene. Derfor inngår to til tre rensetrinn som en samlet energibehovsberegning per prosess beregnet.

## 2.2 Avløpsrenseanlegg

Det eksisterer tre renseprinsipper: mekanisk, biologisk og kjemisk rensing. Bergen Kommune beskriver de tre ulike renseprosessene slik [9]:

«I et mekanisk renseanlegg blir avløpsvann ført gjennom siler og rister slik at mye av den synlige forurensingen forsvinner. I et biologisk renseanlegg blir avløpsvann renset ved hjelp av bakterier som spiser opp næringsalter og organisk stoff. I kjemiske renseanlegg blir avløpsvann renset ved at man tilsetter kjemikalier, som samler forurensingen i klumper slik at den kan bli fjernet.»

Hvilken renseprosess som anvendes på de ulike avløpsrenseanleggene kommer an på hvor avløpsvannet skal slippes ut. En liten innsjø er for eksempel mer følsom for forurensing enn en stor fjord. I Bergen Kommune finnes det totalt seks store og fjorten små avløpsrenseanlegg. De store renser kjemisk-, biologisk-kjemisk eller biologisk. Alle har mekanisk forbehandling. De små renser kjemisk-biologisk eller mekanisk. Beskrivelsen på hva slags type avløpsrenseanlegg det er, kommer an på rekkefølgen på renseprosessen til anlegget [8].

Avløpsvannet skal gjennom flere rensetrinn i avløpsrenseanlegget før det kan slippes ut. Det er mye rart som havner i avløpet, og forbehandling er derfor et viktig trinn for å oppnå en optimal renseprosess. Forbehandling består av grovrist/grovfilter, sand- og fettsamler. Ristene har som formål å fange opp gjenstander som ikke skal kastes i avløpet. Eksempler på slike gjenstander er plast, papir, tekstiler, treverk og lignende. Sandfanget skal samle opp tunge partikler som sand, kaffegrut og lignende. Fettfanget samler opp fettholdige stoffer i avløpsvannet. Videre går avløpsvannet til de biologiske og kjemiske rensetrinnene, slik at vann og slam separeres. Vannet slippes ut, mens slammet går videre til slambehandling.

### 2.2.1 Mekanisk rensing

Mekanisk rensing er det enkleste prinsippet, også kjent som forbehandling. Det innebærer fysisk fjerning av kloakksjøppel (ristgods), fett, flyteslam, sand og slam som synker til bunns av sin egen vekt. Deretter skrapes og pumpes det vekk, i form av slam, ved hjelp av mekanisk utstyr [10]. Mekanisk rensing er i dag vanligvis bare en del av forbehandlingstrinnet, og kan knapt anses som en fullverdig renseprosess [3, s50]. Årsaken til dette er at renseseffekten fra mekanisk rensing ikke bidrar til å fjerne mer enn 25-35% med hensyn på organiske stoffer, og 10-20% med hensyn på fosfor [3, s50].



En rekke avløpsrenseanlegg benytter seg av det som kalles primærslam-metoden. Dette gjelder ikke for Bergen Kommune sine avløpsrenseanlegg. Primærslam er ubehandlet slam fra det mekaniske rensetrinnet. Fordelen med å utvinne dette er at det er veldig næringsrikt, og det er fordelaktig for biogassutvinning [11].

### 2.2.2 Biologisk rensing

Biologisk rensing utnytter og optimaliserer naturens egne nedbrytningsprosesser for å fjerne oppløste organiske stoffer. Oksygen fra innblåst luft gir bakteriene optimale vekstforhold. Bakteriene dyrkes enten som fastsittende bakteriekultur [12] på et medium med stor overflate, eller suspendert i vannet.[13] Normale renses effekter kan være 80-90% med hensyn på organisk stoff og 20-35% med hensyn på fosfor. [14] Nesten halvparten av de organiske stoffene forlater rensesanlegget som karbondioksid i bruksluften på grunn av økt temperatur. En tilsvarende andel organiske stoffer blir om til biologisk slam [3, s. 47].

Innen biologiske rensemetoder skilles det hovedsakelig mellom aerobe og anaerobe prosesser. Dersom det er svært konsentrert avløp vil anaerobe prosesser benyttes for fjerning av organisk stoff. En slik prosess kan finnes i næringsmiddelavløp eller kommunalt avløp i land med lavt vannforbruk og høy temperatur [15, s. 458]. Aerobe prosesser blir benyttet primært for å fjerne løst organisk stoff, men også partikulært organisk stoff blir fjernet. Aerob kan bli delt grovt inn i to hovedgrupper; anlegg med suspendert bakteriekultur og anlegg med fastsittende bakteriekultur. Anlegg med suspendert bakteriekultur er det samme som et aktivslamanlegg. Bakteriene oppholder seg frittsvevende i bioreaktoren. Mens i et biofilmanlegg vil bakteriene vokse på flater som er gjort tilgjengelig i bioreaktoren. Aktivslamanlegg og biofilmanlegg har til felles at begge må få tilført oksygen og slamproduksjonen må fraskilles fra vannet i en slamseparasjonsreaktor [15, s.459].

### 2.2.3 Kjemisk rensing

Rensing ved hjelp av tilsats av kjemikalier kalles kjemisk rensing. Mekanisk rensing er nødvendig forbehandling før kjemisk rensing, og kjemisk rensing skjer ved kjemisk utfelling av oppløste fosforforbindelser. De fellingskjemikaliene som er mest vanlige å tilsette er basert på aluminium, jern eller kalk. De sørger for at små partikler, som ellers ville vært umulig å felle ved hjelp av mekanisk rensing, går sammen til å bli større partikler [16]. For å få til dette vil det normalt sett være bassenger der vannet blir forsiktig rørt i, slik at partiklene knytter seg sammen på grunn av kollisjoner med hverandre. Dette kalles flokkulering. Kjemisk rensing feller ut oppløst såpe, proteiner og fine svevepartikler i vannet. Fosfor er et eksempel på stoff som fjernes på denne måten fra vannet. Dersom avløpsvannet inneholder dette stoffet vil dette stoffet bindes kjemisk til de små partiklene ved kjemisk utfelling [17].

## 2.3 BOF og KOF

BOF (biokjemisk oksygenforbruk) og KOF (kjemisk oksygenforbruk) er den mengden oksygen som trengs for at organismer skal bryte ned organisk materiale i avløpsvann, og er således et mål på forurensing i avløpsvannet. Dette uttrykkes i milligram oksygen per liter vann over en gitt periode. BOF og KOF i avløpsvann er et resultat av menneskelig avfall, matavfall og andre organiske stoffer som havner i avløpet. Det er helt normalt at det er noe organiske stoffer i vann, men det er viktig at konsentrasjonen av disse stoffene i utslipp fra for eksempel avløpsrenseanlegg ikke blir for høy, fordi dette kan føre til oksygenfattige vannforekomster, vannforurensing og skader på naturen [18]. Det varierer hvilke krav de ulike rensesanleggene har til fjerning av BOF og KOF, da dette kommer an på hvor sårbart det området som skal motta avløpsvannet er. Bergen Kommune følger sekundærrenserekravet som er å fjerne organisk stoff på 70% BOF og fjerner fosfor på 75% KOF [19].

Tradisjonelt har energi benchmarking metoder [20] hatt et ensrettet fokus på å kartlegge det elektriske energibehovet. Nye utviklede metoder innenfor dette området har ledet til at det er andre typer energi som her burde inkluderes for å få et tydeligere bilde på hvordan optimalisere systemer. I tillegg til elektrisk energi burde manuell, kjemisk og mekanisk energibehov også inkluderes fordi dette kan også uttrykkes i kWh/m<sup>3</sup> eller kWh/kg BOF eller KOF fjernet. [21]

Analysen over BOF og KOF i denne rapporten er hentet fra målinger gjennomført av Bergen Kommune. Det blir gjort systematiske analyser gjennom året for BOF og KOF i innløps- og utløpsvannet, noe som viser de naturlige variasjonene i konsentrasjon og mengder gjennom året. Antall minimumsprøver er nedfelt i forurensningsforskriften og utslippstillatelsen. Energiforbruket er gitt i enhetene kWh/kg BOF fjernet og kWh/kg KOF fjernet.

Både BOF og KOF kan deles i en partikulær del og en løst del. Biologisk rensing av avløpsvann benyttes primært for å fjerne løst organisk stoff, selv om også partikulært organisk stoff blir fjernet. Mirkoorganismene i det biologiske rensetrinnet omdanner løst forurensning til partikulær, som siden skilles fra rensed avløpsvann i form av slam, primært ved sedimentering. Kjemisk rensing benyttes primært for å fjerne fosfor, men det oppnås likevel en betydelig fjerning av organisk stoff og suspendert stoff[8].

Andel løst organisk forurensning i utløpsvannet kan peke på om det biologiske rensetrinnet har fungert. Først kontrolleres det om renseseffekten er tilfredsstillende. Dersom det er dårlig rensed ut, så kan både det biologiske- og sedimenteringstrinnet kontrolleres for å finne ut hvor feilen ligger. Har det biologiske løste stoffet blitt om til partikulært er det sedimenteringsbassenget som ikke har fungert. Men dersom det er mye løst stoff som kommer ut så er det det biologiske trinnet som ikke har fungert. Dette er altså også en metode for å kontrollere hvorvidt rensetrinnene fungerer optimalt.

## 2.4 Energikrevende industri

Avløpsrensaneanlegg er en energikrevende industri, og elektrisitetsforbruket er beregnet til å være et av de høyeste. Det har blitt gjort funn som har vist at biologisk behandling er et av de mest energikonsumerende områdene i hele prosessen. Tallene har vist det det her konsumeres omtrent 60% av det totale energiforbruket til et anlegg [22]. På bakgrunn av dette kan det være nyttig å analysere det elektriske energiforbruket ved biokjemisk behandling, kartlegge de påvirkende faktorene rundt og presentere alternativer for energibesparelse med bakgrunn fra matematikk. En av utfordringene knyttet til dette er å finne gode matematiske metoder for å fremlegge resultater på [22].

## 2.5 Miljødirektoratet

Miljødirektoratet og Fylkesmannen Lars Sponheim (Hordaland 2009-2019) [5] har gjennomført en omfattende tilsynsaksjon rettet mot kommunale avløpsanlegg over hele landet i 2014 og 2015. Hovedformålet med denne tilsynsaksjonen var å kontrollere hvilke konkrete tiltak og hvordan kommunene etterlever de nye kravene som er satt i kapittel 14 i Forurensningsforskriftene [23].

Noen av årsakene som miljødirektoratet legger til grunn for hvorfor det er viktig med gjennomførelse av avløpsaksjoner er de følgende:

«Utslipp av avløpsvann fra disse anleggene kan gi flere miljøpåvirkninger. Tilføring av næringssalter (fosfor og nitrogen) er årsaken til eutrofiering[24] i vassdrag. Tilføring av et organisk materiale gir organisk belastning på resipienter som kan føre til mindre oksygeninnhold i vannet. Utslipp av partikler kan også føre til nedslamming av bunnområder.» [25]

Fosfor i avløpsvannet kan føre til algeoppblomstring og tap av oksygen. Så for at avløpsvannet kan slippes ut i vassdrag og fjorder, må fosforet fjernes for å beskytte miljøet. Det er viktig med god oppfølging fordi det er viktig med avløpsrensaneanlegg som fungerer optimalt. Et godt avløpsrensaneanlegg vil i tillegg til å rense avløpsvann for avfallsstoffer, også bidra til å fjerne stoffer som tungmetaller, plastgjenstander og andre uønskede miljøgifter som potensielt kan skade nærmiljøet og samfunnet [26].

### 2.5.1 Nye krav og Vannforskriften

Endringene i lovverket var at EUs avløpsdirektiv (Urban Waste Water Directive fra 1991 [4]) ble vedtatt innført i Norge ved forurensingsforskriften i 2004. Da Bergen Kommune fikk ny utslippstillatelse fra Fylkesmannen i 2010, ble det for første gang stilt krav om sekundærrensing (se avsnitt 2.3) av avløpsvannet i kommunen. Del 4 i forskriften om forurensing sier noe om kravene som er stilt, og for mer utfyllende informasjon om forskriften henvises det til Lovdata, Kapittel 14 [27].

Vannforskriften deler landet inn i vannregioner med én fylkeskommune som vannregionmyndighet i hver vannregion. Vannregionmyndigheten koordinerer prosessen med å gjennomføre planarbeidet i tråd med vannforskriften. Et viktig formål med vannforskriften er å sikre en mer helhetlig og økosystembasert vannforvaltning i Norge ved utarbeiding av helhetlige, sektorovergrepene, regionale vannforvaltningsplaner og tiltaksprogrammer i henhold til vannforskriften [28].

Første ordinære planfase for hele landet startet i 2010, og resulterte i heldekkende forvaltningsplaner fra fell til fjord som videre ble vedtatt av fylkestinget i 2015, og så godkjent av Klima- og miljødepartementet i 2016. Gjennomføring er i perioden fra 2016 til 2021, med krav om at alle tiltak skal være igangsatt innen utgangen av 2018 og miljømålene skal være nådd innen utgangen av 2021 [28].

### 2.5.2 Endringer i 2014

Endringer i forurensingsforskriften og nye EU-krav førte til at Bergen Kommune valgte å igangsette endringer i sine avløpsrensaneanlegg. Det var muligheter for å søke om unntak for å følge opp lovendringene, noe blant annet Trondheim Kommune valgte å gjøre for avløpsrensaneanlegget i Ladehammeren [29]. Byrådet og bystyret i Bergen Kommune gjorde det klart at det ikke skulle søkes om unntak fra kravene om fjerning av organisk materiale i avløpsvannet (sekundærrensekrav, forurensingsforskriften) for utslipp i Byfjorden. De bestemte i stedet at planleggingen for oppgradering av rensaneanleggene skulle starte. Arbeidet med oppgraderingen startet i 2012 og flere av anleggene i kommunen kunne settes i drift i perioden 2014-2016 [30].

### 2.5.3 Det norske VA-nettet

Norsk vann skriver at i Norge er det ca. 2700 kommunalt eller interkommunalt eide avløpsverk som sørger for å ta hånd om avløpet fra 84% av befolkningen. De resterende 16% har egne avløpsrensaneanlegg eller mindre, private fellesløsninger [31]. Før andre verdenskrig benyttet kommunene seg av det såkalte fellessystemet, hvor både spillvann og overvann gikk ut til et felles rørsystem, før det ble sluppet ut i norske vassdrag og fjorder [3, s41].

Avløpsvannet fra litt over halvparten av befolkningen i Norge renses ved hjelp av kjemisk og biologisk/kjemiske rensaneanlegg. Avløpsrensaneanleggene har etter hvert blitt en kompleks prosess- og miljøindustri. Derfor blir de som drifter avløpsrensaneanleggene betegnet som miljøarbeidere [3, s. 48-49]. Mange av de største utslippene i Norge føres til marine farvann.

Ifølge Norsk Vann er det i dag ca. 331 000 avløpsrenseanlegg i Norge. Det har blitt større fokus på gjenbruk av slam. Dette gjenbrukes i stor grad som gjødsel og jordforbedringsmiddel i jordbruket og på grøntarealer, etter å ha gjennomgått en forbehandling. Slam blir også benyttet i større grad til energi- og materialgjenvinning. Det kan også benyttes til å produsere varme, biodrivstoff, elektrisitet, lage plast o.l. [31].

## 2.6 Fremgangsmåten

Fokusområdet til oppgaven er å kartlegge hvordan avløpsrenseanleggene kan energieffektiviseres. Derfor var det behov for å se på hvor de ulike energibehovene i anleggene var, hva som brukte mest energi og hvordan energibehovet varierte i forhold til årstid, nedbørsmengde og innløpsmengde.

Det ble hentet tall fra sensorene i anleggene. Disse ble tilsendt som Excel-filer. Det første som ble gjort var å summere alle dagene med energibehov til hver sektor for å finne det totale energibehovet i løpet av en årsperiode eller tilsvarende. Videre ble energibehovet for selve renseprosessen delt inn i tre delprosesser. Prosess 1 besto av alt energibehov som sto for forbehandlingen på anleggene. Prosess 2 besto av alt energibehov som gikk til den biologiske prosessen i Kvernevik anlegget og den kjemiske-biologiske prosessen i Ytre Sandviken anlegget. Prosess 3 er slambehandling. Videre ble innløpsmengden fordelt og summert i dager, uker og måneder. Det ble sett opp linjediagram og stolpediagram som sammenlignet de ulike sektorene og prosessene i anleggene. Her ble det sett på hva som hadde stor sammenheng med innløpsmengden og hva som hadde et til dels konstant energibehov. Det ble også sett på tørkeperioden i 2018, for å undersøke om og hvordan denne påvirket energibehovet til anleggene.

Oppgaven gikk også ut på å sammenligne avløpsrenseanlegget i Kvernevik og Ytre Sandviken ettersom det ene anlegget er rent biologisk og det andre er et kjemisk-biologisk anlegg. Her ble det sammenlignet energibehovet til prosess 2, ettersom prosess 1 (forbehandling) og prosess 3 (slambehandling) var til dels like i anleggene. Det ble det også sett på blåsemaskinene som ble brukt i prosess 2 sammen med innløpsmengde og det totale energibehovet i prosessen. Deretter ble energibehovet i prosess 1 og 3 sammenlignet, ettersom energibehovet på delprosessene henger sammen med det totale energibehovet.

### 3. Oppbygging av avløpsrensaneanlegg

Hovedformålet med prosessen i avløpsrensaneanlegg er å fjerne størst mulig andel av fremmedlegemer og stoffer i avløpsvannet [32, s. 325]. Dette gjøres ved hjelp av flere ulike rensetrinn. I dette kapitlet beskrives de ulike rensetrinnene nøyaktig med tilhørende figurer, som forklarer rensetrinnets funksjon og oppbygging.

#### 3.1 Avløpsrensaneanlegget i Kvernevik

Avløpsrensaneanlegget i Kvernevik er et biologisk rensaneanlegg. Den biologiske rensprosessen er levert Läckby Water med Purac som prosessleverandør [19]. Nøkkeltall til avløpsrensaneanlegget i Kvernevik:

$$Q_{\text{dim}} = 730 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{maksdim}} = 1630 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (biologisk behandling)}$$

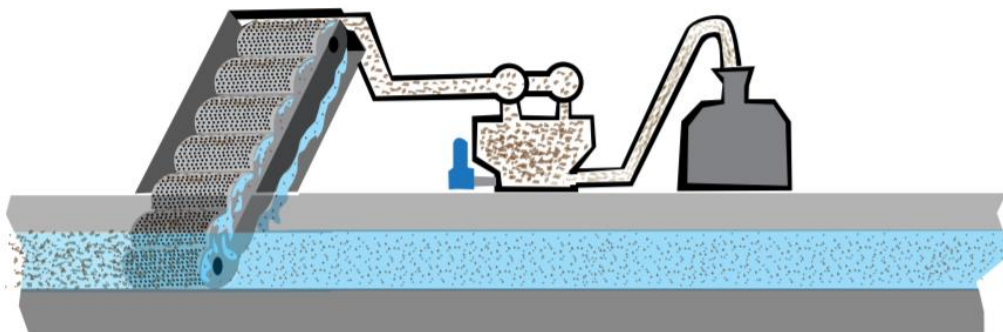
$$Q_{\text{maks}} = 2520 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (forbehandling)}$$

$$\text{PE} = 56\,000$$

##### 3.1.1 Grovrisk

I første steg i prosessen skal avløpsvannet renne gjennom grovriskene (Figur 1). Funksjonen til grovriskene er å fjerne større uønskede substanser fra avløpsvannet. Disse substansene kalles ristgodset. Avløpsvannet renner gjennom to grovrisker av type Escamax 5000 som har hull med diameter 6 mm. [33] Alt som er større enn 6 mm vil her bli fjernet. Eksempler på gjenstander som skilles ut her er løv, pinner og stein. Det dukker også opp en rekke bruksgjenstander, som for eksempel engangsservietter, sanitærprodukter, smokker, q-tips, linser, plast, snus, osv. Alle nevnte gjenstander er ting som må fjernes før avløpsvannet kan renne videre.

På toppen av systemet blir grovriskene børstet og ristgodset blir fraktet til to ristgodsvaskere. Her blir ristgodset spylt med vann slik at de rene fibrene tas ut, mens det organiske stoffet føres tilbake til avløpsvannet for videre rensing senere i prosessen. Ristgodset samles i containere. Disse blir fraktet til forbrenningsanlegget til BIR og behandles her som annet restavfall. De organiske stoffene blir med videre slik at energien fra det kan bli utnyttet i form av slam [34].



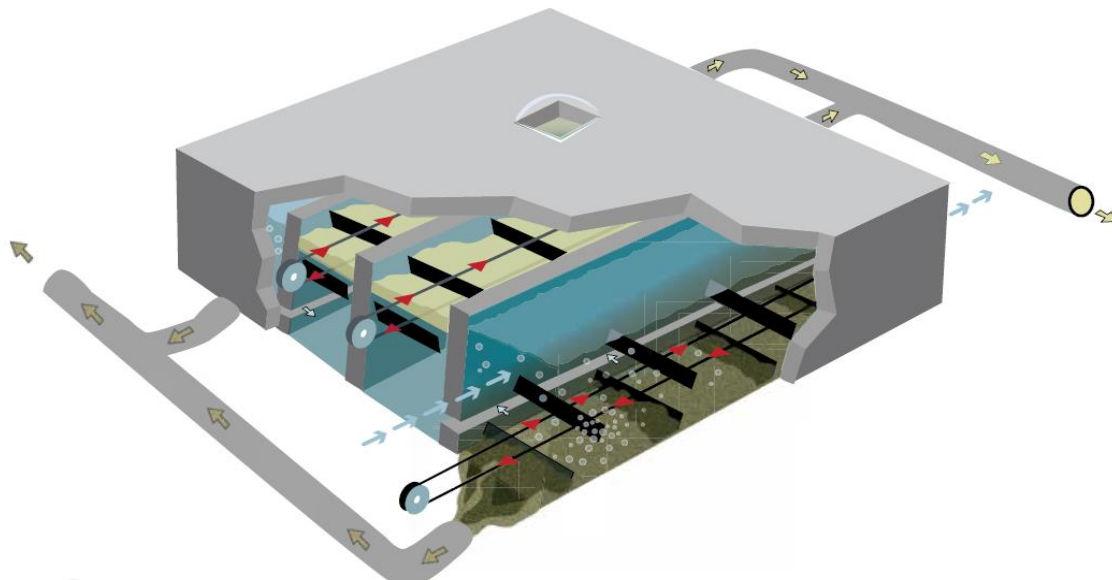
Figur 1: Skissen viser hvordan ristgodset vaskes og fraktes videre til kontainer.

I en delrapport fra Norconsult skriver de at «Ristgodsvasking gir et langt mer hygienisk sluttprodukt som er enklere å motta og forbrenne i forbrenningsanlegg og anbefales dersom ristgodset skal forbrennes.» [35]

### 3.1.2 Sand- og fettfang

Sand- og fettfang er det siste trinnet i den mekaniske renseprosessen. Her skal sand og fett fjernes fra avløpsvannet. Det er installert Hartmann sand- og fettfang (Figur 2), som er et basseng med kjedeskraper. Bassenget inneholder en luftet sone og en stillesone. Sandfanget er den luftede sonen, og den benyttes for å fjerne sand og tyngre mineralske partikler fra råvann, mens fettfang benyttes for å separere fett. Luftet sone er desidert mest benyttet i norske avløpsrenseanlegg. Når vannet ankommer sandfanget tilsettes trykkluft for å fjerne oppdriften. Det er summen av kreftene som virker mot overflaten av en gjenstand når det helt eller delvis er nedsenket i en væske [36]. På denne måten synker sanden til bunnen.

Sanden skrapes sammen ved hjelp av kjedeskraper og blir så pumpet videre til sandvaskerne. Årsaken til at sandvaskere er installert er for å fjerne organiske stoffer, og å tilføre disse tilbake til renseprosessen. Det er satt krav til at mengden organisk stoff som kan være i ristgods må ha en maksimal verdi Det er ikke tillatt å deponere organisk stoff, og dersom ristgodset inneholder mer enn den satte maksimalverdien regnes det som organisk stoff [8]



Figur 2: Hartmann sand- og fettfang. Hos Kvernevik er sandfangbiten ytterst på systemet, i motsetning til hos Ytre Sandviken. Årsaken er at produsenten valgte å endre dette da Kvernevik skulle bygges.

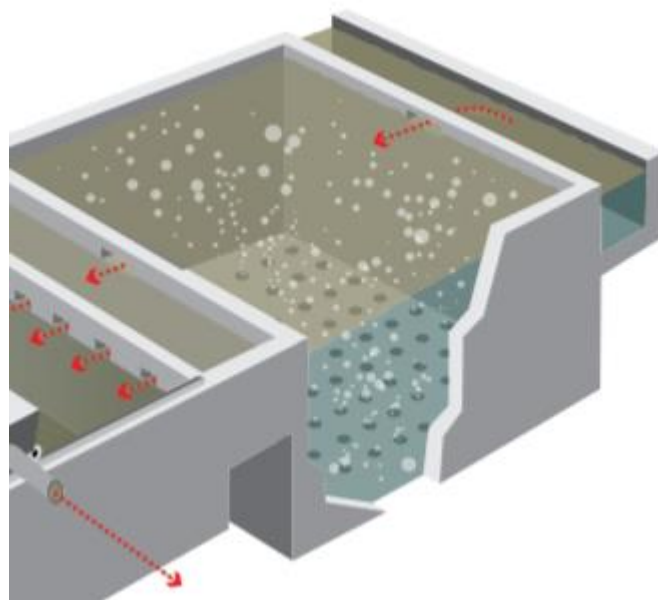
Illustrasjon: Johnson, Augon, Bergen Kommune.

Fordelen med luftede sandfang er at sanden som kommer ut er tilnærmet ren. Dessuten kan avløpsrenseanleggene selv påvirke hvilken sandkornstørrelse som skal separeres ved å innstille intensiteten til luftingen. Sandfanget er tilknyttet en blåsemaskin. Noen av ulempene med luftingen er at det kan skape støy og aerosoldannelse [15, s. 430]. Aerosoler er finfordelte partikler eller dråper som er så små at de holder seg svevende i en gass, for eksempel luft. Partikkel- og dråpeaerosol er en vanlig kilde til helseskadelige påvirkninger, fordi de pustes inn i lungene og 20-70% av de forblir igjen i lungene [37]. På grunn av dette har det blitt vanlig å dekke til de luftene sandfangene, noe Bergen Kommune har tatt høyde for i sine anlegg.

Mens sandfanget holder til i en luftet sone, så holder fettfanget til i en stillesone i bassenget. Fettet er lettere enn vannet, og vil derfor flyte på overflaten av et basseng ved at det floterer. [38] Det er en åpning fra sandfanget inn til fettfanget, slik at fett på denne måten beveger seg over i den stille sonen og siver opp til overflaten. Fettet skrapes så av toppen i bassenget, og pumpes til fettflotasjonstanken, som kalles Muslingen, hvor fett separeres fra avløpsvannet. Fettet blir her enda mer konsentrert, før det samles sammen og transporteres i flytende form til biogassanlegget i Rådalen [6, 34].

### 3.1.3 Biologisk rensing

I biologisk rensing benyttes bioteknologiske metoder for å få bort oppløst organisk stoff [3, s. 56] (se Figur 3). Først går vannet til det som kalles luftetanken som er et aktivslamanlegg. Aktivslam-metoden er en variant av biologisk rensing som er over 100 år gammel [3, s. 58], og baserer seg på at en bakteriekultur er i suspensjon: en væske som inneholder et finfordelt fast stoff hvor partikkelstørrelsen er større enn 1  $\mu\text{m}$  [39]. Her luftes avløpsvannet sammen med aktivslammet i det 9 m dype luftebassenget ved at luft tilføres fra bunnen av luftetanken. Den organiske forurensingen fungerer som næring til mikroorganismer, slik at de kan vokse seg større, og oksygenet sørger for optimale vekstforhold. De store mikroorganismene som vokser frem kalles fnokker [16]. I det biologiske rensingstrinnet er det ideelt med en gitt temperatur (gunstig med høy temperatur, men bør ikke bli lavere enn 8  $^{\circ}\text{C}$  [8] for optimal vekst, før prosessen kan gå videre. Bakteriene jobber bedre jo høyere temperatur det er i vannet. Dersom temperaturen er lav, blir oppholdstiden i det biologiske trinnet lengre.



Figur 3: Biologisk rensing. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune.

### 3.1.4 Sedimentering

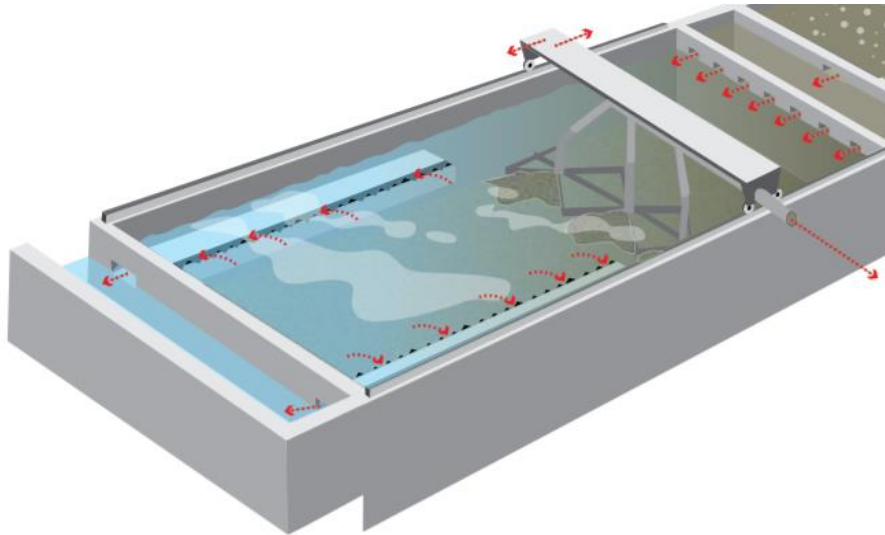
Aktivslammet og avløpsvannet føres så videre til sedimenteringsbassengene som er 5 meter dype og 44 meter lange. I lavsesongen brukes bare det ene av de to sedimenteringsbassengene.

Vannet må strømme rolig gjennom sedimenteringsbassenget for å sikre at partiklene synker til bunns. Separasjonsgraden er hovedsakelig avhengig av bassengets overflate og volum. Vannet må strømme rolig gjennom bassenget eller stå stille i en lengre periode [40]. Dersom det oppstår turbulens kan det risikere at synkende partikler, eller partikler som allerede ligger på bunnen virvler opp. Renset vann

renner ut på toppen av bassenget, mens aktivslammet separeres fra det rensede vannet, før det går i retur og føres tilbake til prosessen til luftebassenget (aktivslamanlegget). Dette må gjøres kontinuerlig for at prosessen med aktivslam skal fungere. Overskuddslammet blir pumpet til mekaniske fortykkere. Generelt for sedimenteringsbassengene gjelder at jo større volum og overflate, jo klarere blir vannet som renner ut[40], og dette må derfor vurderes for hvert enkelt tilfelle.

Dimensjonerende  $BOF_5$  (se Nomenklatur og kap. 2.3) for anlegget er 3370 kg/dag [41].

Anlegget er i utgangspunktet konstruert som et rent mekanisk-biologisk renseanlegg, men det er lagt til rette for tilsats (se Nomenklatur)[42] av kjemikalier for å kunne drifte anlegget som et rent kjemisk anlegg for en periode eller som et simultanfellingsanlegg. Kjemikaliene tilføres i forbindelse med aktivslammet for fjerning av fosfor dersom det fremkommer stor konsentrasjon av dette i avløpsvannet. Dette gjøres fordi store mengder fosfor kan føre til økt algevekst [43].

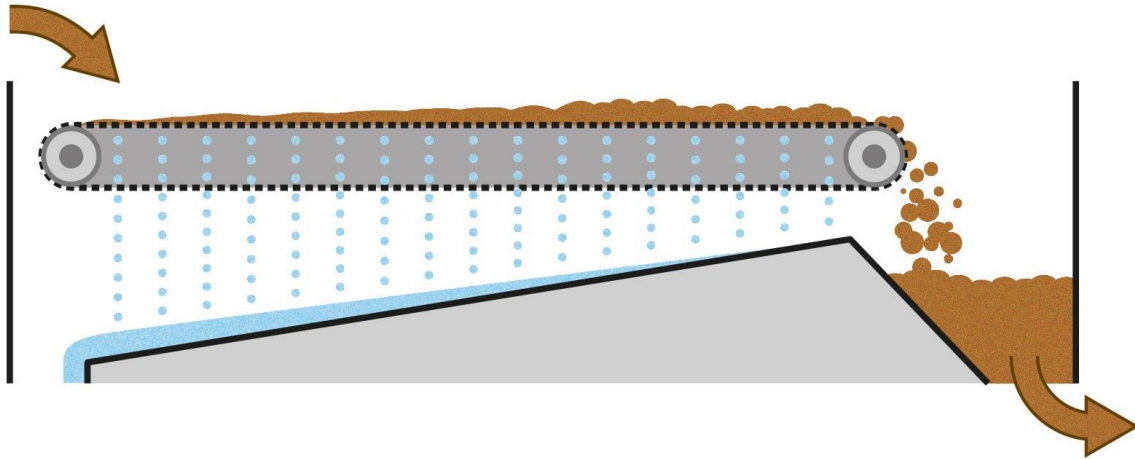


Figur 4: Sedimenteringsbasseng. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune

### 3.1.5 Slamfortykker

Det rensede avløpsvannet forsvinner ut av anlegget, mens slammet føres videre til en mekanisk slamfortykker. Her fortykkes den i en filterbeltepresse (se Figur 5) med tilsetning av polymer. Filterbeltepressen er et roterende system, hvor slammet blir presset sammen i mindre remser med slam. Væsken renner av på nedsiden av filterbeltet, ved hjelp av gravitasjon og sammenklemming av slammet. Filtrasjonen renner så ut gjennom et eget avløp, mens overskuddsslammet skrapes sammen og pumpes videre til sentrifugene. Slamvannet som renner ut går tilbake til anleggets innløp.





Figur 5: Illustrasjon av filterbeltepresse (Gjengitt med tillatelse fra Linda Balogh Processingenjör, VA-verket)  
Illustrasjon: Fredrik Collij, Kävlings Kommun, Sverige.

### 3.1.6 Sentrifuge

Sentrifugene fungerer som en stor tørketrommel, og de er av typen Noxon DC 20 ELLM. Her sentrifugeres slammet slik at det tar ut opptil 85% av vannet til slammet, slik at det til slutt består av ca. 25% tørrstoff. Deretter pumpes det videre til slamsiloene.

### 3.1.7 Slamsilo

Slammet oppbevares i to siloer som har et totalt volum på 80 m<sup>3</sup>, før det transporteres til biogassanlegget i Rådalen ved hjelp av lastebiler [34].



Figur 6: Sentrifugene som står over slamsiloene før det blir transportert vekk. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune.

## 3.2 Avløpsrensplanlegget i Ytre Sandviken

Avløpsrensplanlegget i Ytre Sandviken ble satt i drift for første gang i 1999 og brukte da mekanisk rensprosess med trapperister som tok bort det meste av avfall som var i avløpet. Dagens anlegg er en utvidelse av dette anlegget og oppgraderingsprosessen begynte våren 2012. Høsten 2014 ble anlegget åpnet. Rensprosessen ble da utvidet med sand- og fettfanger, biologisk og kjemisk rensstrinn, slamfortykket, sentrifugering av slammet og transport av slammet til et biogassanlegg i Rådalen. Den mekaniske forbehandlingen ble skiftet ut med grovrister og vaskere. Det har blitt installert varmegjenvinnere på rensed avløpsvann før det slippes ut og på blåsemaskinene til luftebassenget i den biologiske rensprosessen. Det har også blitt installert varmevekslere i ventilasjonen. De bruker også det rensede avløpsvannet til ulike prosesser i anlegget for å redusere forbruket av drikkevannet. For at anlegget skal imøtekomme sekundærrensplanlegget må det fjernes 75% av de organiske stoffene. Dette tilsvarer fjerning av 75% KOF og 70% BOF [44].

Avløpsrensplanlegget i Ytre Sandviken er et anlegg bestående av et biologisk og et kjemisk rensstrinn. Rensprosessen leveres av Krüger Kaldnes [6].

Nøkkeltall for anlegget i Ytre Sandviken er:

$$Q_{\text{dim}} = 1400 \text{ m}^3/\text{h}$$

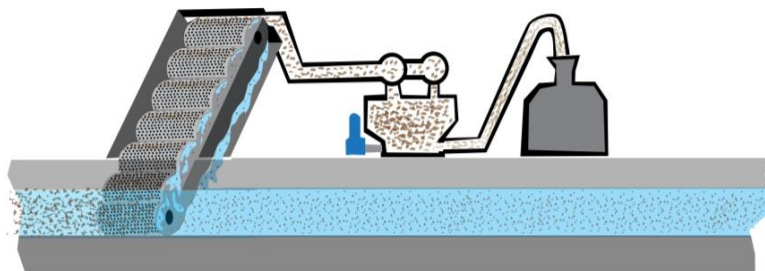
$$Q_{\text{maksdim}} = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{PE} = 44\ 000$$

### 3.2.1 Grovrister

I første steg i prosessen skal avløpsvannet renne gjennom grovristene (se Figur 7). Funksjonen til grovristene er å fjerne større uønskede substanser fra avløpsvannet. Disse substansene kalles ristgodset. Avløpsvannet renner gjennom to grovrister av type Escamax 5000 som har hull med diameter 6 mm. [33] Alt som er større enn 6 mm vil her bli fjernet. Eksempler på gjenstander som skilles ut her er løv, pinner og stein. Det dukker også opp en rekke bruksgjenstander, som for eksempel engangsservietter, sanitærprodukter, smokker, q-tips, linser, plast, snus, osv. Alle nevnte gjenstander er ting som må fjernes før avløpsvannet kan renne videre.

På toppen av systemet blir grovristene børstet og ristgodset blir fraktet til to ristgodsvaskere. Her blir ristgodset spylt med vann slik at de rene fibre tas ut, mens det organiske stoffet føres tilbake til avløpsvannet for videre rensing senere i prosessen. Ristgodset samles i containere. Disse blir fraktet til forbrenningsanlegget til BIR og behandles her som annet restavfall. De organiske stoffene blir med videre slik at energien fra det kan bli utnyttet i form av slam. [34]

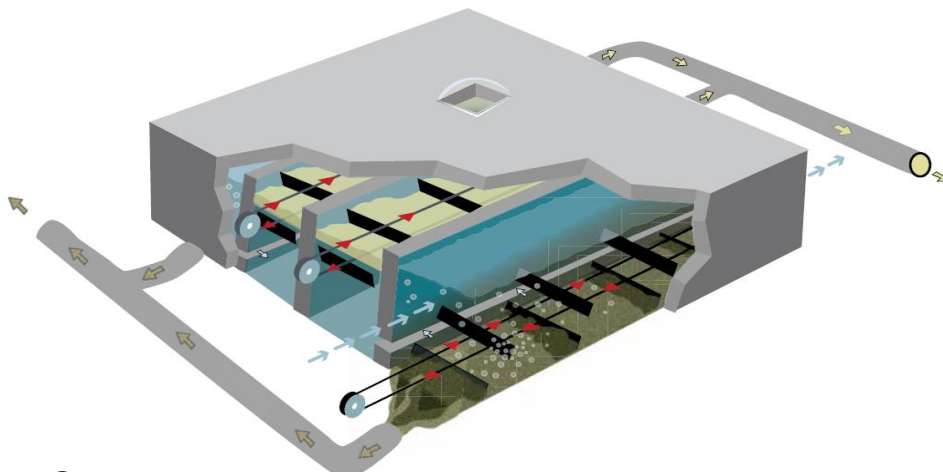


Figur 7: Fra venstre: grovrister, sandfang, musling. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune

### 3.2.2. Sand- og fettfang

Sand- og fettfang er det siste trinnet i den mekaniske renseprosessen. Her skal sand og fett fjernes fra avløpsvannet. Det er installert Hartmann sand- og fettfang, som er et basseng med kjedeskraper. Bassenget inneholder en luftet sone og en stillesone. Sandfanget er den luftede sonen, og den benyttes for å fjerne sand og tyngre mineralske partikler fra råvann, mens fettfang benyttes for å separere fett. Luftet sone er desidert mest benyttet i norske avløpsrensaneanlegg. Når vannet ankommer sandfanget tilsettes trykkluft for å fjerne oppdriften; som er summen av kreftene som virker mot overflaten av en gjenstand når det helt eller delvis er nedsenket i en væske. [36] På denne måten synker sanden til bunnen.

Sanden skrapes sammen ved hjelp av kjedeskraper og blir så pumpet videre til sandvaskerne. Årsaken til at sandvaskere er installert er for å fjerne organiske stoffer, og å tilføre dette tilbake til renseprosessen. Det er satt krav til at mengden organisk stoff som kan være i ristgodset må ha en maksimal verdi Det er ikke tillatt å deponere organisk stoff, og dersom ristgodset inneholder mer enn den satte maksimalverdien regnes det som organisk stoff [8].



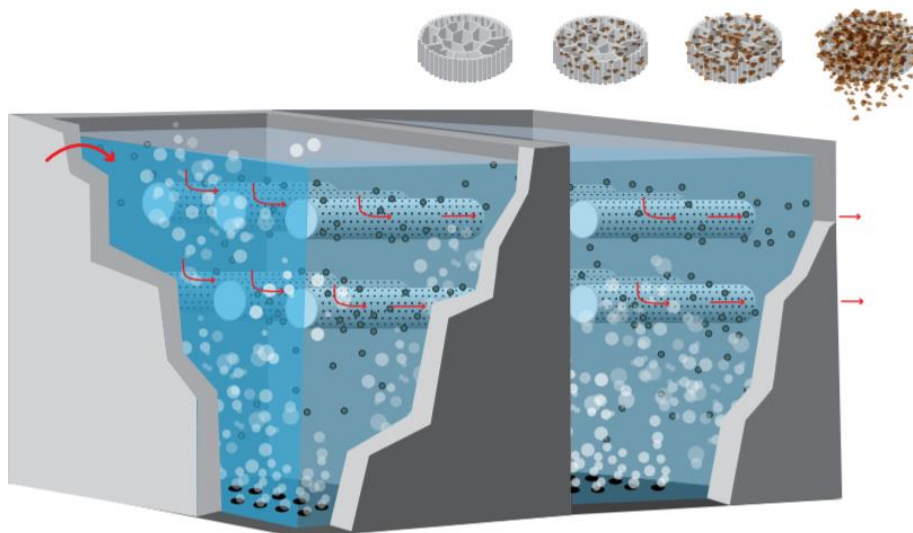
Figur 8: Hartmann sand- og fettfang. Illustrasjon: Johnson, Augon, Bergen Kommune

Fordelen med luftede sandfang er at sanden som kommer ut er tilnærmet ren. Dessuten kan avløpsrensaneanleggene selv påvirke hvilken sandkornstørrelse som skal separeres ved å innstille intensiteten til luftingen. Sandfanget er tilknyttet en blåsemaskin. Noen av ulempene med luftingen er at det kan skape støy og aerosoldannelse [15, s. 430]. Aerosoler er finfordelte partikler eller dråper som er så små at de holder seg svevende i en gass, for eksempel luft. Partikkel- og dråpeaerosol er en vanlig kilde til helseskadelige påvirkninger, fordi de pustes inn i lungene og 20-70% av de forblir igjen i lungene [37]. På grunn av dette har det blitt vanlig å dekke til de luftene sandfangene, noe Bergen Kommune har tatt høyde for i sine anlegg.

Mens sandfanget holder til i en luftet sone, så holder fettfanget til i en stillesone i bassenget. Fettet er lettere enn vannet, og vil derfor flyte på overflaten av et basseng ved at det floterer [38]. Det er en åpning fra sandfanget inn til fettfanget, slik at fett på denne måten beveger seg over i den stille sonen og siver opp til overflaten. Fettet skrapes så av toppen i bassenget, og pumpes til fettflotasjons, som kalles Muslingen, hvor fettet separeres fra avløpsvannet. Fettet blir her enda mer konsentrert, før det samles sammen og transporteres i flytende form til biogassanlegget i Rådalen [6, 34].

### 3.2.3 Luftebasseng

Etter gjennomgang av det mekaniske rensetrinnet skal avløpsvannet videre inn i den biologiske rensetrinnet som er en aerob bioreaktor [6]. Denne prosessen kalles MBBR, Moving Bed Biofilm Reactor, og dette er en biofilmprosess bestående av to delprosesser (se Figur 9). Her er det tre linjer med to prosesser/bassenger for hver linje, altså totalt seks bassenger. Disse bassengene har en dybde på 9 meter [6]. I denne prosessen brukes mikroorganismer som allerede finnes i avløpsvannet til å bryte ned de organiske stoffene i vannet. Til å støtte denne prosessen tilsettes små plastelementer (biomedier). I biomediene får bakterier og organismer ideelle mikrobiologiske forhold, der de kan etablere seg og vokse ved at de binder seg med de organiske stoffene [45, 46]. Det blir også tilført luft i bunnen av bassenget ved hjelp av blåsemaskiner for å skape turbulens i bassenget. Dette gjør at mikroorganismene trives bedre, samtidig som det gir god kontakt mellom mikroorganismene og de organiske stoffene. Etterhvert som mikroorganismene vokser seg større, og danner en biofilm på biomediene, kommer biofilmen til å slippe tak fra biomediet når den har blitt tung nok. Dette skjer kontinuerlig etterhvert som tykkelsen av den øker. Oppholdstiden i bassenget er så kort (25 min) at mikroorganismene bare får absorbert de mest løse organiske stoffene som er lettest å få tak i [6, 47]. Dette kalles nå for; bioslam og det går gjennom horisontale liggende sylindersiler som går videre til det andre bassenget der prosessen gjentar seg. Under silene blir det plassert en ekstra luft slik at biomediene trekkes vekk fra silene. En stor fordel med MBBR er at det kan brukes i et hvilket som helst slamseparasjonstrinn. Da kan det brukes kompakte separasjonsmetoder etter MBBR siden det kun er overskuddsbio masse [15](s. 502-504). Dette gjør at MBBR metoden har minste arealbehov på markedet [48].



Figur 9: MBBR-basseng. Øverst på figuren er det en illustrasjon av biomediene. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune.

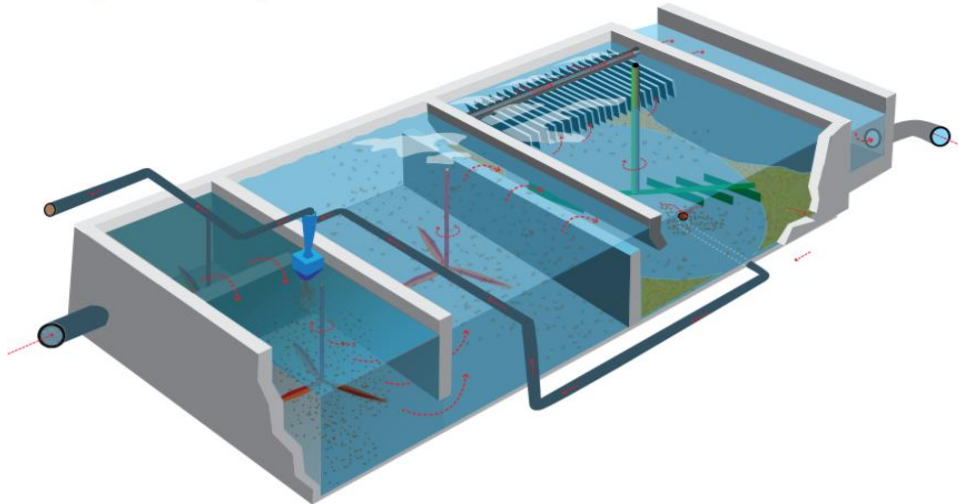
### 3.2.4 Kjemisk rensetrinn

Etter MBBR og den biologiske rensingen renner vannet inn i det kjemiske rensetrinnet kalt Actiflo. Dette er en patentert prosess fra Krüger Kaldnes som innebærer at det tilsettes sand for å øke hastigheten på sedimenteringsprosessen. Det skal nevnes her at patenten her har gått ut, og at metoden nå kan anvendes av alle i bransjen.

I første trinn i Actiflo tilsettes jernklorid som skal fjerne fosforet i vannet som stammer fra blant annet diverse rengjøringsmidler som havner i avløpene. Vannet røres om slik at jernklorid binder seg med fosforet og blir til jernfosfat før det blir sendt videre [49].

I det andre trinnet tilsettes deretter sand og polymerer. Her flokkuleres slammet, jernfosfat, sand og polymerer sammen, og danner større partikler. Sanden blir tilsatt for at slammet skal bli tyngre og synke raskere til bunnen i tredje trinn.

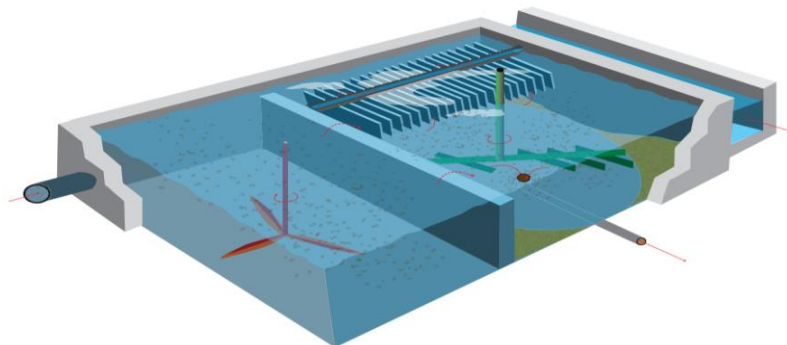
Det tredje trinnet er et slags sedimenteringsbasseng. Her går rensede vann til toppen av bassenget gjennom lameller, slik at slammet synker ned til bunnen, og ut til 40 meters dyp i sjøen der det anses å være ferdig rensede. Slammet som synker til bunns blir skrapet sammen og pumpes videre til slambehandlingsprosessen. Sand blir også resirkulert og gjenbrukt til samme prosessen [47].



Figur 10: Venstre til høyre. Trinn en: tilsetning av jernklorid med omrøring. Trinn to: tilsetning av sand og polymerer med omrøring. Trinn tre: sedimenteringsbasseng. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune.

### 3.2.5 Slamfortykker

Etter den kjemiske prosessen hvor slammet har blitt skilt fra vannet så er slammet fortsatt relativt flytende. I de to trinnene i denne prosessen skal det derfor gjøres enda en utskillelse av vann og slam. Dette gjøres ved å fortykke slammet, og metoden kalles Actidyn. Dette er også navnet på en patentert prosess fra Krüger Kaldnes. I første trinn blir det tilsatt enda mer polymerer der slammet flokkuleres og blir til enda større partikler. Det andre trinnet har et liknende sedimenteringsbasseng som det Actiflo har. Her synker slammet til bunnen og det rensede vannet går gjennom lameller og pumpes helt tilbake til innløpet av anlegget [47].



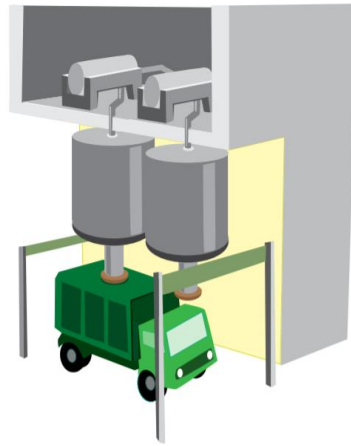
Figur 11: Til venstre, tilsetning av polymerer og flokkulering. Til høyre, sedimenteringsbasseng. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune.

### 3.2.6 Sentrifuge

Sentrifugene fungerer som en stor tørketrommel, og de er av typen Noxon DC 20 ELLM. Her sentrifugeres slammet slik at det tar ut opptil 85% av vannet i slammet, slik at det til slutt består av ca. 25% tørrstoff. Slammet faller derfra ned i slamsiloene [6].

### 3.2.7 Slamsilo

Slammet oppbevares i to siloer som har et totalt volum på 80 m<sup>3</sup>, før det transporteres til biogassanlegget i Rådalen ved hjelp av lastebiler [6].



Figur 12: Sentrifugene som står over slamsiloene før det blir transportert vekk. Tegner: Augon Johnsen, Bergen Kommune.

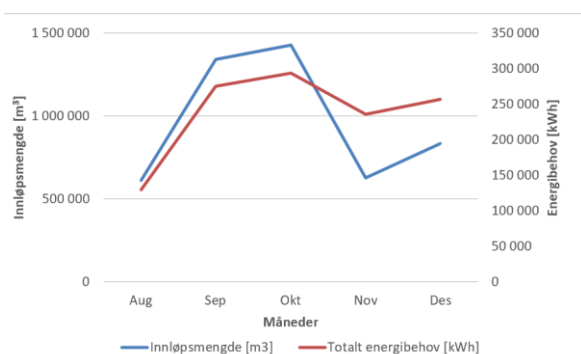
## 4. Resultat

I dette kapitlet presenteres de resultater som fremkommet fra arbeidet med rapporten ved hjelp av datamateriale, fagterminologi, veiledning og forskningsartikler.

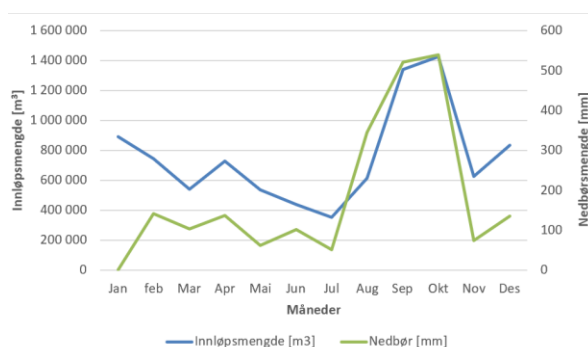
### 4.1 Resultater fra Ytre Sandviken

Dette er resultater basert på målinger f.o.m 17.august 2018 til 31.desember 2018. Figur 13 og Figur 14 er oppgitt i kWh/mnd og m<sup>3</sup>/mnd. Grafene har blitt utført med disse enhetene for å sjekke i hvor stor grad energibehovet er styrt av innløpsmengden. Årsaken til at det ikke eksisterer målinger for hele året er skiftning av sensorer i anlegget.

Grafene viser at energibehovet i anlegget øker med mengden avløpsvann som kommer inn. Innløpsvannet kan inneholde mer enn bare avløpsvann, og derfor har det blitt gjort en sammenligning med nedbørsmengden i samme periode. Her fremkommer det i grafene at nedbørsmengden påvirker innløpsmengden til anlegget og er en direkte påvirkning til at energibehovet går opp for renseprosessen i Ytre Sandviken.

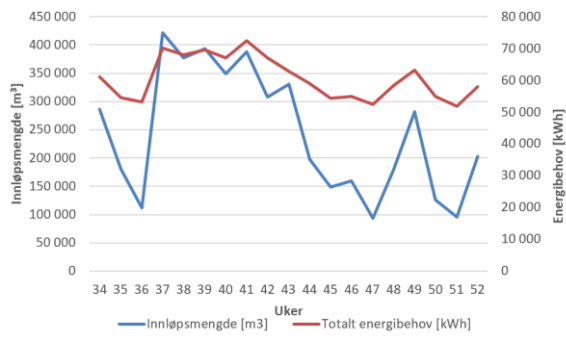


Figur 13: Innløpsmengde sammenlignet med energibehov i Ytre Sandviken renseanlegg for fem måneder i 2018.

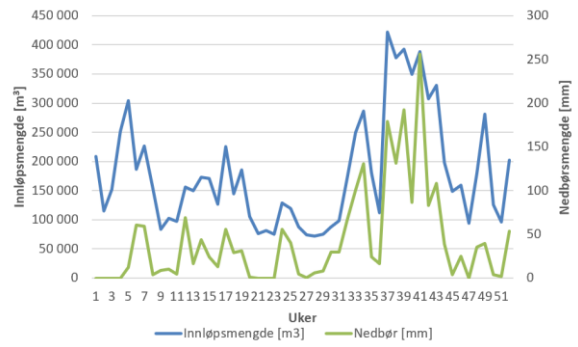


Figur 14: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Ytre Sandviken renseanlegg for måneder i 2018.

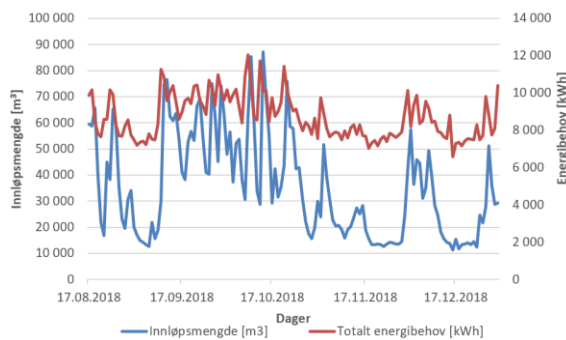
Figur 15, og Figur 17 viser oversikt over kWh og m<sup>3</sup> for uker og dager. Alle figurene viser at energibehovet for anlegget samsvarer med innløpsmengden. I Figur 15 observeres det at den røde linjen ikke går lavere enn ca. 50 000 kWh per uke. Og for Figur 17 går den røde linjen ikke lavere enn ca. 8000 kWh per dag. Dette kan observeres som det minste energibehovet for anlegget. Det kan forstås som at anleggene ikke kan driftes på et lavere energibehov per i dag med den teknologien de er basert på.



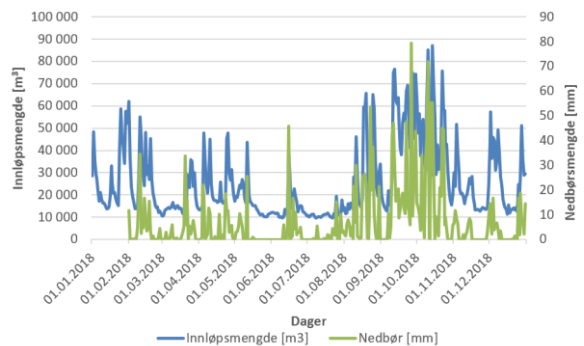
Figur 15: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Ytre Sandviken avløpsrenseanlegg fra uke 34 til 52.



Figur 16: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Ytre Sandviken avløpsrenseanlegg fra uke 1 til 52.



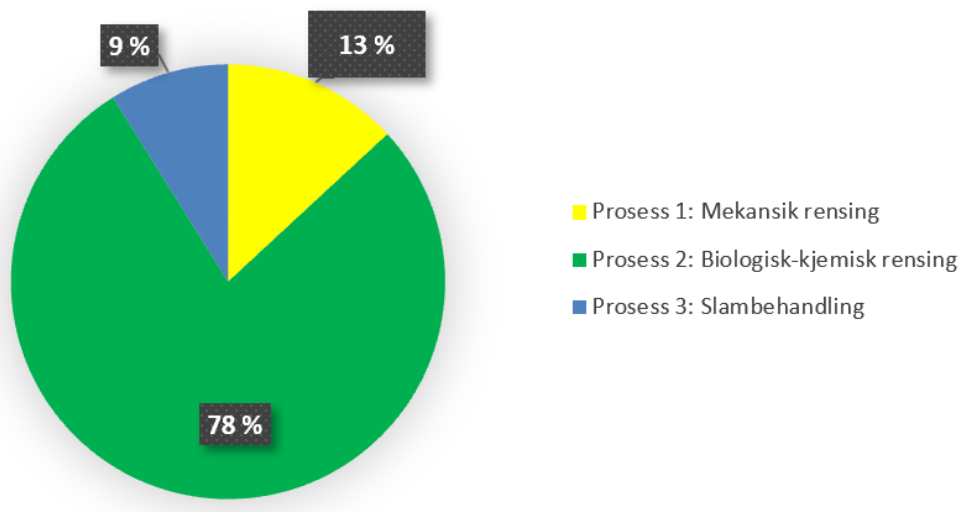
Figur 17: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Ytre Sandviken avløpsrenseanlegg fra 17. august til 31. desember 2018.



Figur 18: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Ytre Sandviken avløpsrenseanlegg fra 1. januar til 31. desember 2018.



Figur 19 viser fordelingen av energibehovet som hver prosess av avløpsrensingen krever. Diagrammet viser at den biologisk-kjemiske rensingen har høyest energibehov i rensingen av avløpsvannet, med 78% av det totale energibehovet for rensesprosessene.



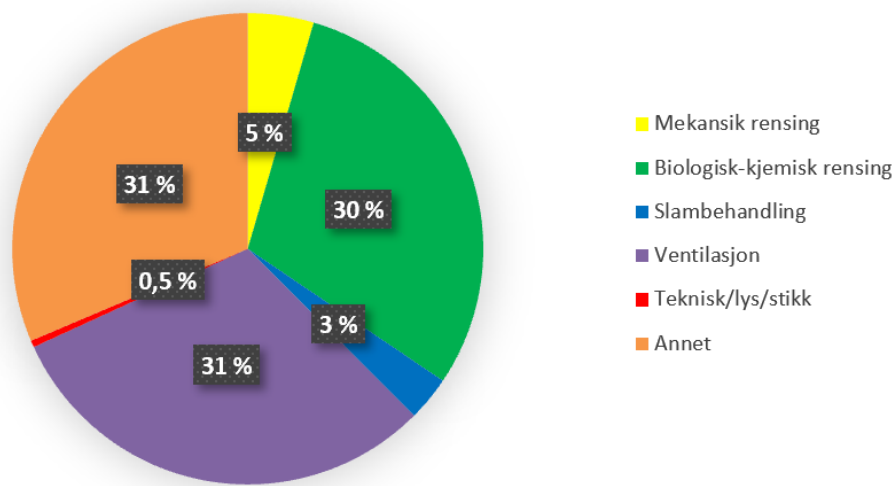
Figur 19: Fordeling av energibehovet for de ulike prosessene.

Resultatene i Tabell 1 er basert på målinger gjort mellom 17.august og 31.desember i 2018. Her vises det totale energibehovet, innløpsmengden og hvor mye energi per kubikkmeter som har blitt brukt for perioden.

Tabell 1: Viser resultat av beregnet totalt energibehov for 2018 i Ytre Sandviken.

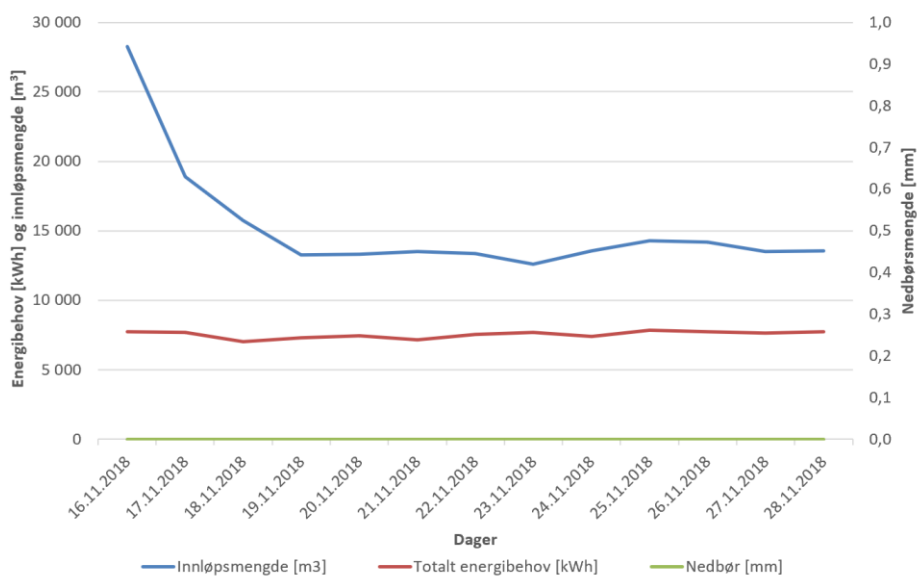
Energibehov	Innløpsmengden	Resultat
1 191 537 kWh	4 844 424 m <sup>3</sup>	0,246 kWh/m <sup>3</sup>

Figur 20 viser fordelingen av energibehovet for hele avløpsrensaneanlegget. Her står ventilasjonen for 31% av behovet, biologisk-kjemisk rensing for 30% og annet for 31%. Annet har blitt avdekket ved å subtrahere hovedfordelingen med alle de andre sektorene. Informasjon om hva som inngår i annet er uklart, men det antas at det er varme, elkjel o.l som inngår her.



Figur 20: Sektordiagram av delprosessene.

Figur 21 er et linjediagram av en tørrværsperiode på tretten dager, der det ikke er noe nedbør i Bergen Kommune. Grafen viser at innløpsmengden av vannet avtar når det ikke kommer noe nedbør. Den stabiliserer seg på ca. 14 000 m<sup>3</sup> og energibehovet til anlegget stabiliserer seg på ca. 7500 kWh ved dette tidsrommet. Minsteverdi i denne perioden er 7030 kWh og minsteverdi for hele 2018 (dato: 16.12.18) er 6570 kWh. Dette kan tyde på at selv når det er lite nedbør, så har likevel ikke anleggene spesielt lavt energibehov. Det ser dermed ut til at selv om nedbørsmengden påvirker innløpsmengden og energibehovet, så er det flere faktorer som påvirker det totale energibehovet siden den minsteverdien ikke fremkommer i beregninger av tørrværsperioden.



Figur 21: Viser innløpsmengde og energibehovet til avløpsrensaneanlegget i Ytre Sandviken uten påvirkning av nedbør.

Resultatene i Tabell 2 er basert på målinger gjort mellom 17.august og 31.desember i 2018. Her oppsummeres mengden BOF og KOF som er fjernet fra avløpsrensaneanlegget og hvor mye energi som har blitt krevd per kilogram fjernet.

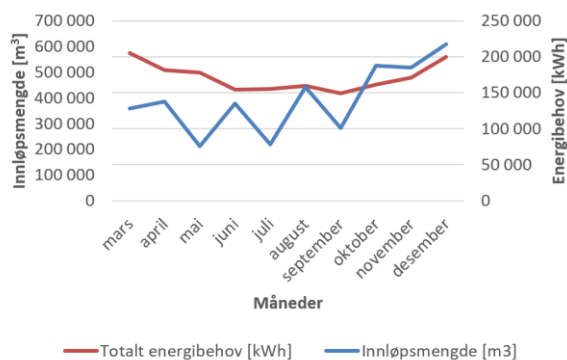
Tabell 2: Viser resultat av beregnet kWh per kg fjernet BOF og KOF.

<b>Enheter</b>	<b>BOF</b>	<b>KOF</b>
<b>Antall kg fjernet</b>	198 000	366 000
<b>kWh for hele anlegget</b>	1 191 387	1 191 387
<b>kWh/kg</b>	6,02	3,26
<b>kWh for prosessene</b>	423 572	423 572
<b>Kwh/kg</b>	2,14	1,16

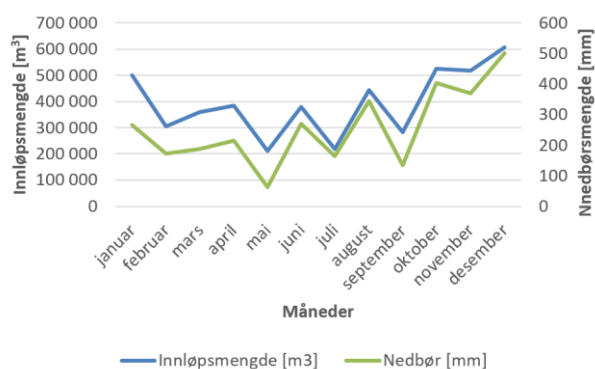
## 4.2 Resultater fra Kvernevik

Avløpsrensaneanlegget i Kvernevik har målinger fra 01.03.2017 til 31.12.2018. Figur 22Figur 24Figur 26Figur 28 viser det totale energibehovet sammen med innløpsmengden, og Figur 23Figur 25Figur 27Figur 29 viser innløpsmengden sammenlignet med nedbørsmengden i Bergen. På Figur 22Figur 24Figur 26Figur 28 observeres det at grafene til energibehovet holder seg relativt stabilt, og fra disse grafene sees det ikke en klar sammenheng mellom det totale energibehovet og innløpsmengden. Her sees det at innløpsmengden er stort sett lineært avhengig av nedbørsmengden.

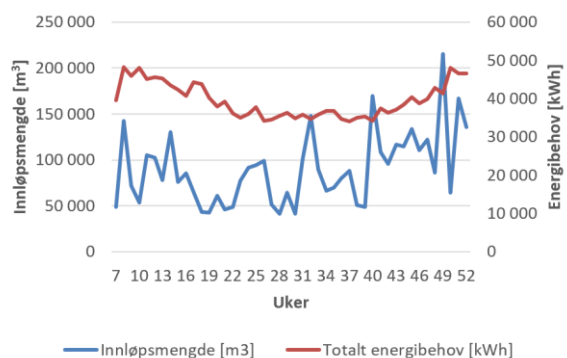
Innløpsmengden i 2018 var betydelig høyere enn i 2017. Energiforbruket har likevel holdt seg relativt stabilt i forhold til innløpsmengden, som er påvirket av nedbørsmengden, til tross for at innløpsmengden økte.



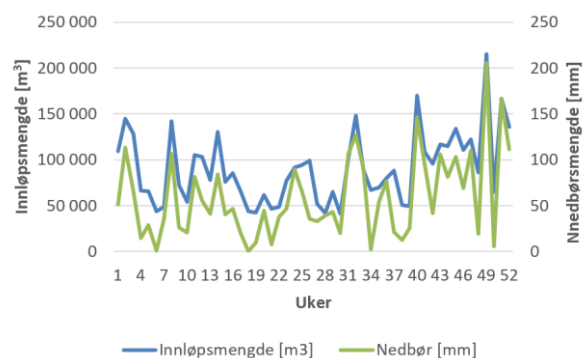
Figur 22: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Kvernevik avløpsrensseanlegg fra mars til desember 2017 med hensyn på data per måned.



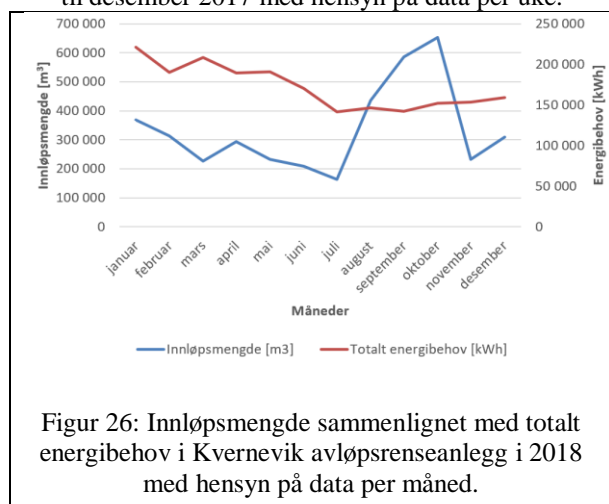
Figur 23: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Kvernevik avløpsrensseanlegg fra januar til desember 2017 med hensyn på data per måned.



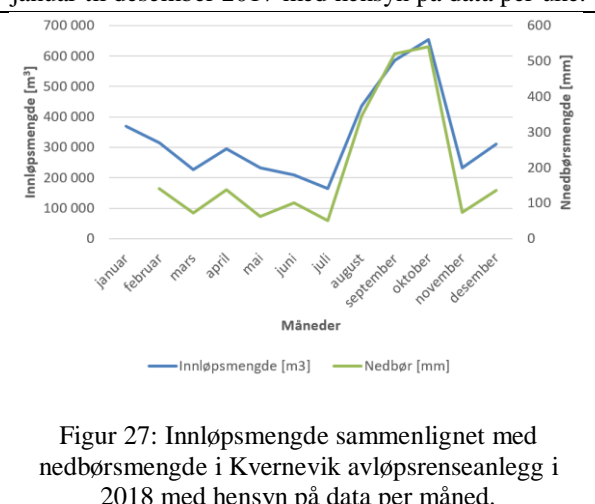
Figur 24: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Kvernevik avløpsrensseanlegg fra mars til desember 2017 med hensyn på data per uke.



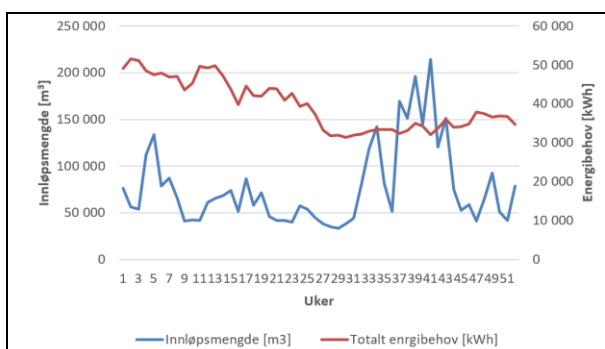
Figur 25: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Kvernevik avløpsrensseanlegg fra januar til desember 2017 med hensyn på data per uke.



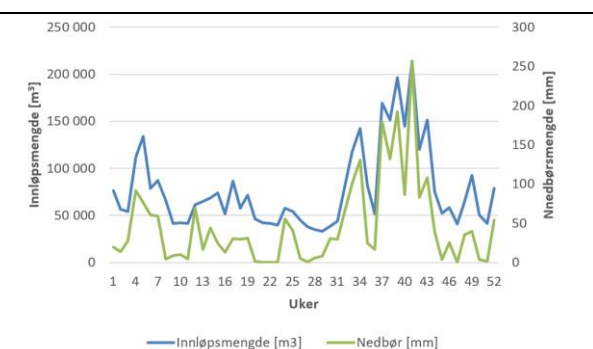
Figur 26: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Kvernevik avløpsrensseanlegg i 2018 med hensyn på data per måned.



Figur 27: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Kvernevik avløpsrensseanlegg i 2018 med hensyn på data per måned.

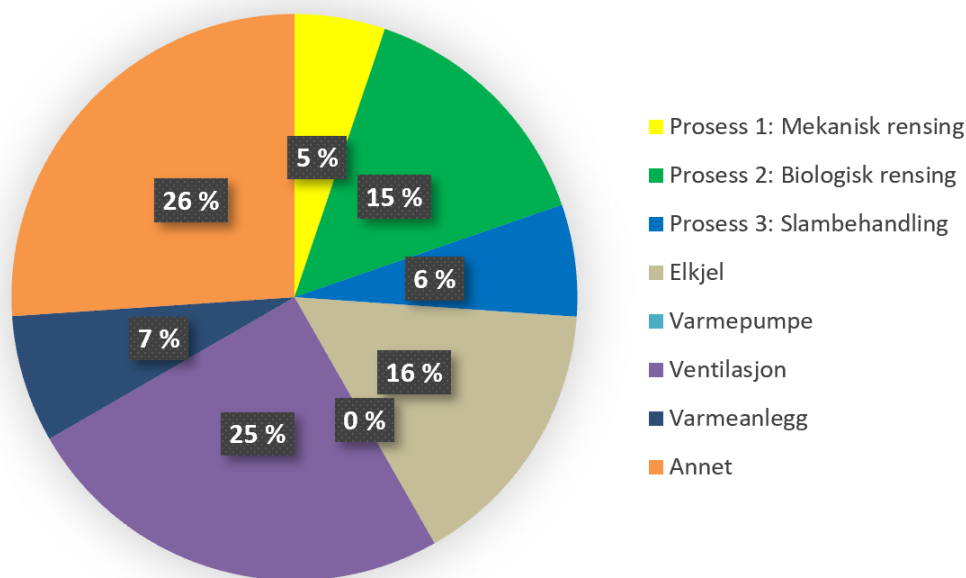


Figur 28: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Kvernevik avløpsrensaneanlegg i 2018 med hensyn på data per uke.

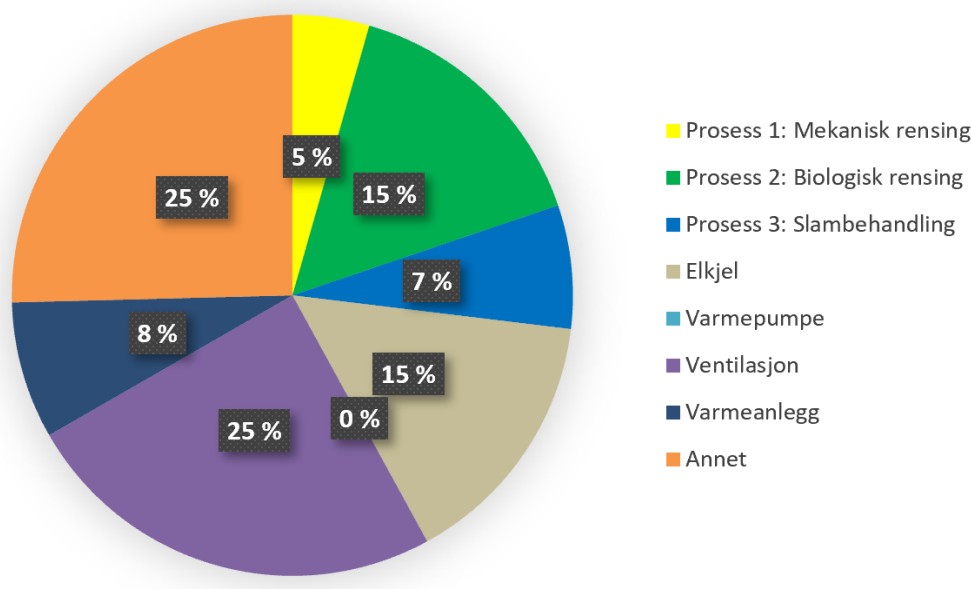


Figur 29: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Kvernevik avløpsrensaneanlegg i 2018 med hensyn på data per uke.

Grunnen til at det ikke kan observeres en klar sammenheng mellom totalt energibehov og innløpsmengde i Kvernevik kan være fordi en stor del av det totale energibehovet ikke går direkte til å rense avløpsvannet, men til andre poster. Figur 30 viser en sektorfordeling av energibehovet for hele anlegget. Sektoren Annet er funnet ved å ta totalforbruket subtrahert med de andre energifordelingspostene fra totalforbruket. Det er usikkert hva energibehovet som inngår i Annet går til, men antas at det går til lys, teknisk utstyr og o.l. Sektorene Elkjel, Varmeanlegg, ventilasjon og Annet utgjør til sammen 74% av det totale energibehovet i 2017. Figur 31 viser sektordiagrammet for 2018, dette viser omtrent samme resultat som diagrammet for 2017. Det kan antas at sektorene Elkjel, Ventilasjon, Varmeanlegg og Annet ikke er direkte relatert til innløpsmengden. Siden disse sektorene til sammen utgjør 74% av det totale energibehovet ved anlegget, ser det ut til at det totale energibehovet er lite avhengig av innløpsmengde.

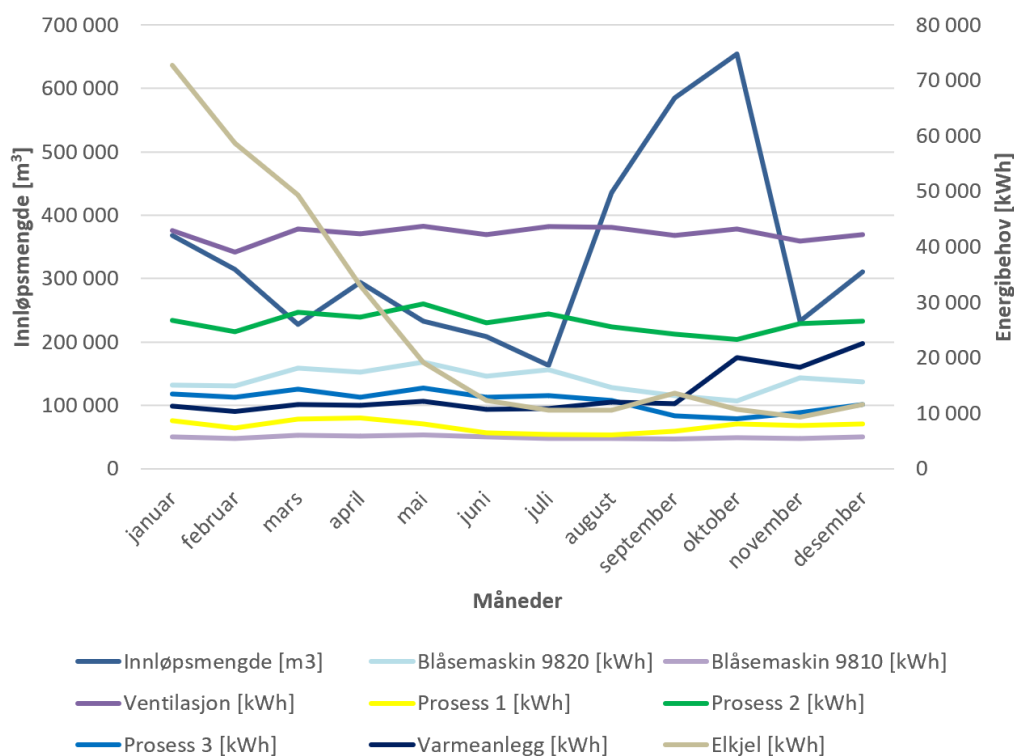


Figur 30: Sektordiagram av det totale energibehovet fra Kvernevik i 2017 (mars til desember).



Figur 31: Sektordiagram av det totale energibehovet fra Kvernevik 2018.

**Feil! Fant ikke referansekilden.** viser at ventilasjonen har et stabilt energibehov selv om innløpsmengden i perioder har en økning. Her ligger ventilasjonen mellom en minsteverdi på 39 030 kWh og største verdi på 467 070 kWh. Varmeanlegget går gradvis oppover desto nærmere vintertid nærmer seg, noe som var forventet.



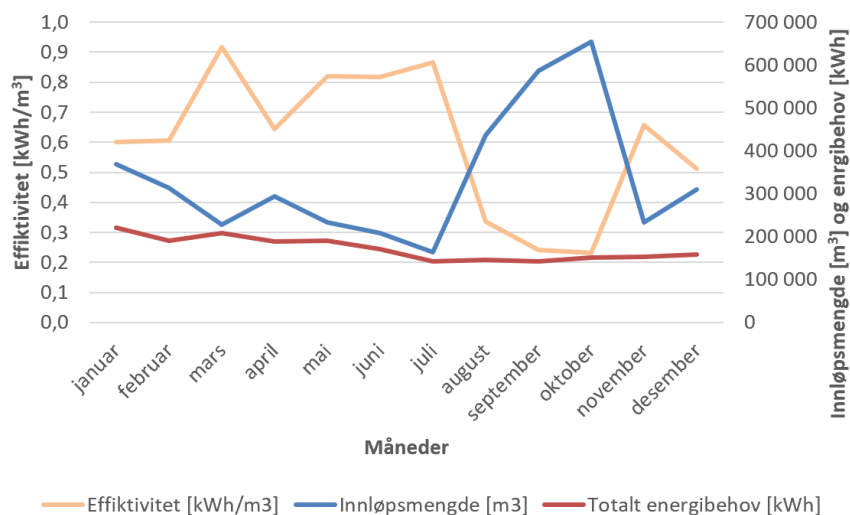
Figur 32: Viser energibehovet til noen av de ulike postene i 2018 i Kvernevik.

Tabell 3 viser en oversikt av det totale energibehovet og innløpsmengde i Kvernevik i 2017 (mars til desember) og 2018. Her kan det observeres at anlegget brukte mindre energi per kubikkmeter innløpsvann i 2017 enn 2018. Dette kan forklares i at nedbørsmengden var større i 2018.

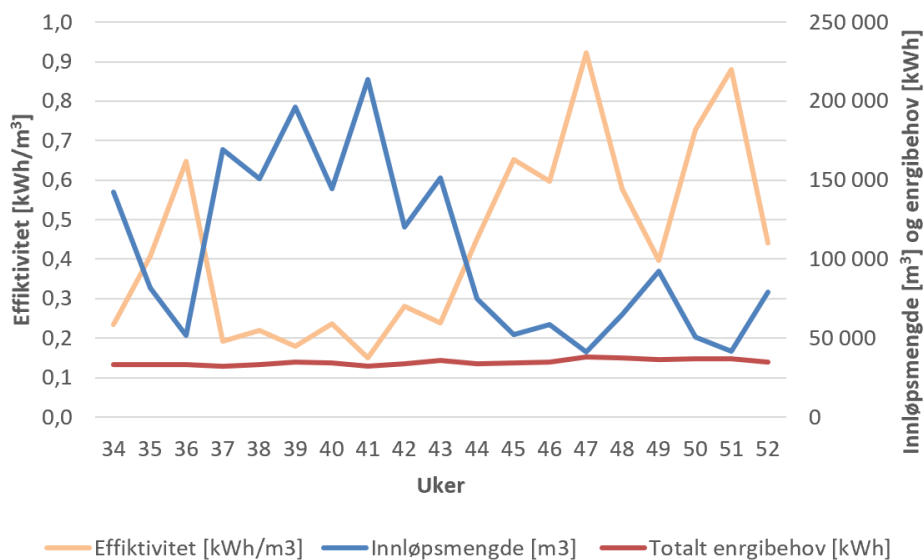
Tabell 3: Energiforbruket av anlegget i Kvernevik per m<sup>3</sup> for to lengre perioder. Gjennomsnittsverdiene er tilnærmet lik hverandre.

Tidsrom	Energiforbruk	Innløpsmengde	Resultat
01.03.2017 - 31.12.2017	447 933 kWh	3 930 432 m <sup>3</sup>	0,11 kWh/m <sup>3</sup>
01.01.2018 - 31.12.2018	555 867 kWh	4 028 532 m <sup>3</sup>	0,14 kWh/m <sup>3</sup>

Effektiviteten er definert som energibehov pr. kubikkmeter innløpsmengde. Fra Figur 33 kan det observeres at effektiviteten øker når innløpsmengden synker. Dersom man ser nærmere på effektiviteten i uke 34 til 52 i Figur 34 kan det ses enda klarere at grafen til innløpsvannet har asymmetri i forhold til effektiviteten. Dette vil si at avløpsanlegget har et mindre energibehov pr kubikkmeter når innløpsmengden er høy. Dersom korrelasjonen mellom innløpsvannet og effektiviteten regnes ut for 2018 blir korrelasjonsfaktoren lik -0,88. Korrelasjonsfaktoren kan peke på at dersom det er høy innløpsmengde brukes det mindre energi pr. kubikkmeter innløpsvann.. Korrelasjonsfaktoren for sammenhengen mellom energibehov og effektiviteten i samme periode er beregnet til 0,42. Dette kan være fordi at effektivitet avhenger av både innløpsvannet og energibehovet, og disse tallene viser at korrelasjonen er høyere mellom innløpsvannet og effektiviteten. Korrelasjonen i samme periode er på - 0,25 mellom energibehov og innløpsvann. På Figur 35 vises bare effektiviteten og energibehovet, og korrelasjonen mellom disse i perioden uke 34 til 52 er på 0,65 som kan tyde på at det er en relativ sammenheng.



Figur 33: Effektivitet sammenlignet med innløpsmengde og energibehov i 2018.



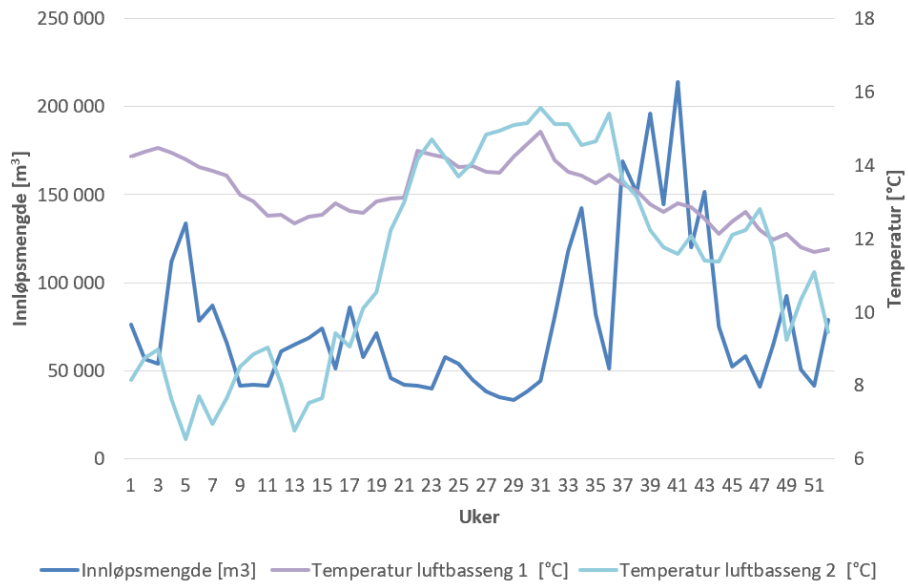
Figur 34: Effektivitet sammenlignet med innløpsmengde og totalt energibehov i perioden uke 34 til 52 i 2018.



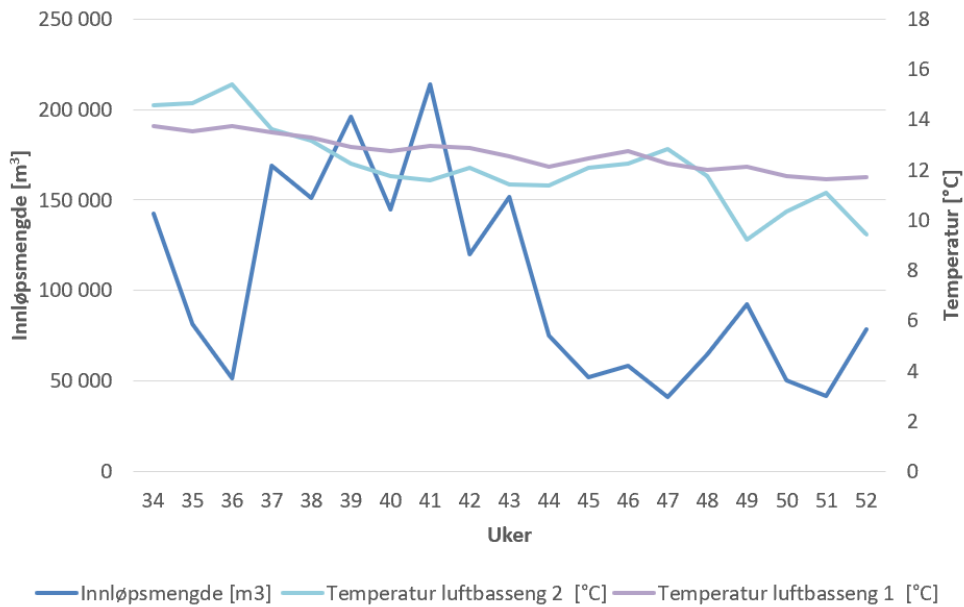
Figur 35: Effektivitet sammenlignet med energibehov i perioden uke 34 til 52 i 2018.

I Figur 36 Figur 37 har temperatuene i luftbasseng 1 og luftbasseng 2 blitt sammenlignet med hensyn på temperatur. Figur 36 viser at temperaturen i basseng 1 svinger litt gjennom året, men det er ingen klar sammenheng mellom temperatur i luftbasseng 1 og innløpsmengden. I Figur 37 er temperaturen i luftbasseng 1 relativt stabil og her og ser det ut som den har lite sammenheng med innløpsmengden. Grafen for temperaturen i luftbasseng 2 i Figur 36 kan det observeres noe sammenheng mellom endringer i temperatur og endringer i innløpsmengde. Dersom temperaturen i luftbasseng 2 sammenlignes med innløpsmengden i perioden uke 34 til 52 i 2018, kan det se ut som at når innløpsmengden stiger, så synker temperaturen i luftbasseng 2. (se Figur 37) Det er usikkert hvorfor temperaturen i basseng 1 i liten grad varierer, sammenlignet med temperaturen i basseng 2. En mulig årsak til forskjellene kan være på grunn av ulik drift av bassengene, da ikke begge bassengene er i drift hele perioden. Det ene bassenget slås av i lavsesong. Det kan da for eksempel antas at mesteparten av innløpsvannet ved Kvernevik blir sendt til basseng 2, og at basseng 1 blir lite brukt. I Figur 38 kan det ses en sammenheng mellom toppene til effektiviteten og toppene til temperaturen i luftbasseng 2.

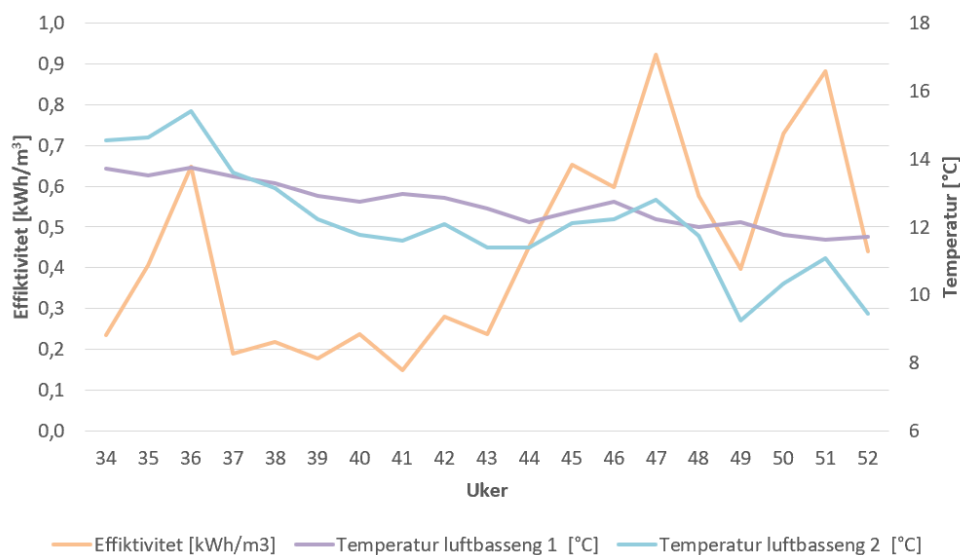




Figur 36: Temperatur i luftbasseng 1 og 2 sammenlignet med innløpsmengde i 2018.



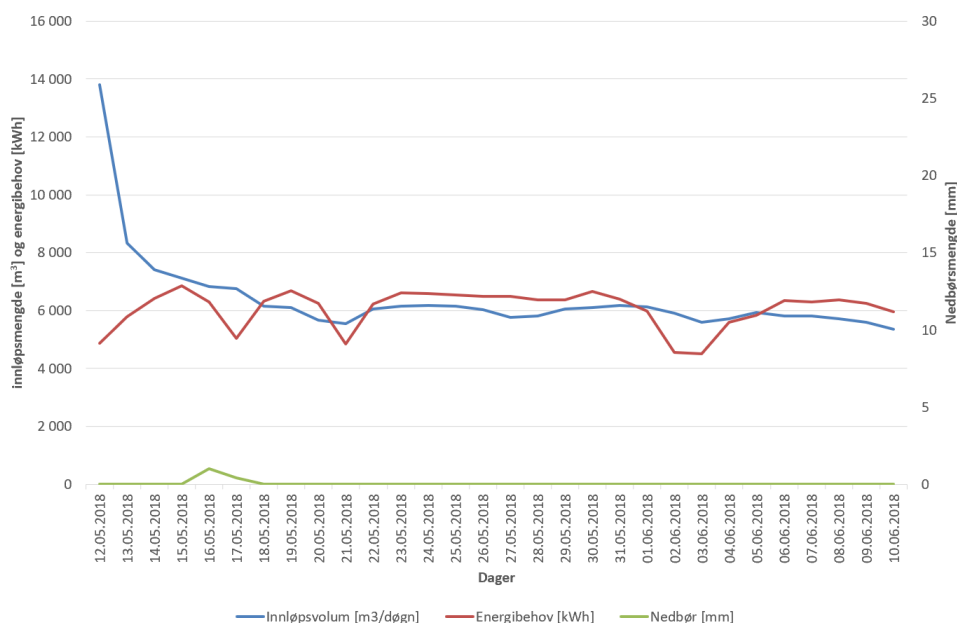
Figur 37: Innløpsmengde sammenlignet med temperatuere i Luftbasseng 1 og 2 i perioden uke 34 til 52 i 2018.



Figur 38: Effektiviteten sammenlignet med temperatur i luftbasseng 1 og 2 i perioden uke 34 til 52 i 2018.

Figur 39 viser en graf av en tørrværsperiode på ca. én måned der innløpsmengden til avløpsrensanlegget nesten ikke påvirkes av nedbør. Grafen viser at innløpsmengden av vannet avtar når det ikke kommer noe nedbør og stabiliseres på ca. 6400 m<sup>3</sup>. Energibehovet til anlegget stabiliseres på ca. 6100 kWh i dette tidsrommet.

Minsteverdi i denne perioden er 4510 kWh og minsteverdi for hele 2018 (dato: 25.08.18) er 3870 kWh. Dette kan tyde på at når det er lite nedbør, så har heller ikke anleggene det minste energibehovet. Det ser dermed ut til at selv om nedbørsmengden påvirker innløpsmengden og energibehovet, så er det flere faktorer som påvirker det totale energibehovet siden ikke minsteverdien kan observeres i tørrværsperioden.

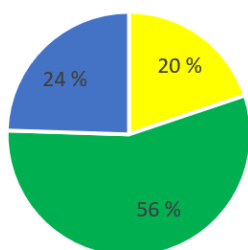


Figur 39: Målinger i periode med tilnærma ingen nedbør. (12.05.2018-10.06.2018)

Sektordiagrammene i Figur 40 Figur 41 viser en fordeling av energibehovet til de ulike prosessene:

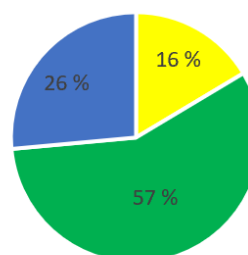
Prosess 1: forbehandling, prosess 2: biologisk rensetrinn og prosess 3: slambehandling. Prosess 1, som er forbehandlingen, består av grovryst, sand- og fettfang. Her neglisjeres mengden uorganisk avfall som blir fraktet til kontainerne fra grovrysten. I prosess 3 som er slambehandling.

Avløpsrensaneanlegget i Kvernevik har et energibehov på 447 933 kWh mellom mars og desember i år 2017 for selve renseprosessen. Sektordiagrammet i Figur 40 Figur 41 viser hvordan energien er fordelt på de tre hovedrensprosessene. Den biologiske renseprosessen trekker mest energi, noe som var som forventet med bakgrunn i forskningslitteraturen [50]. Årsaken til dette er at her inngår det luftkompressorer som tilfører luft til renseprosessen. Dette er en del av prosessen som er svært energikrevende.



- Forbehandling (grovrist, sand- og fettfang)
- Biologisk rensing (luftebasseng, sedimenteringsbasseng)
- Slambehandling (slamfortykning, sentrifuge, slamsilo)

Figur 40: Energibehov fordeling i de ulike prosessene i 2017 (mars- desember)



- Forbehandling (grovrist, sand- og fettfang)
- Biologisk rensing (luftebasseng, sedimenteringsbasseng)
- Slambehandling (slamfortykning, sentrifuge, slamsilo)

Figur 41: Energibehov fordeling i de ulike prosessene i 2018.

Sektordiagrammet i Figur 41 viser fordelingen for året 2018, hvor det totale energibehovet ble målt til 555 867 kWh. Dette resultatet er fra hele året, og det er interessant å se at energifordelingen her er tilsvarende som for 2017, selv om perioden i 2017 var kortere. Dette kan tyde på at energibehovet er relativt jevnt for begge periodene.

Resultatene i Tabell 4 er basert på målinger gjort fra mars- desember, 2017 og 2018. Her oppsummeres mengden BOF og KOF som er fjernet fra avløpsrensaneanlegget og hvor mye energi som har blitt krevd per kilogram fjernet.

Tabell 4: Viser resultat av beregnet kWh per kg fjernet BOF og KOF.

Enheter	2017		2018	
	BOF	KOF	BOF	KOF
Antall kg fjernet	324 000	534 000	500 000	878 000
kWh for hele anlegget	1 716 070	1 716 070	2 064 700	2 064 700
kWh/kg	5,30	3,21	4,13	2,35
kWh for prosessene	447 933	447 933	555 867	555 867
kWh/kg	1,38	0,84	1,11	0,63

## 5. Diskusjon

I dette kapittelet problematiseres resultatene og drøftes med bakgrunn fra mulige bakenforliggende årsaker for energibehovet i anleggene.

### 5.1 Biogassanlegget i Rådalen

Slambehandlingsanlegget i Rådalen åpnet høsten 2016. Bakgrunnen for opprettelsen av anlegget var blant annet økte slammengder som følge av strengere rensekrav. Sekundærrensekravene ble satt til at det er pålagt å fjerne 75% KOF og 70% BOF. Samtidig ble det igangsatt et forprosjekt i 2009 hvor det skulle vise seg at biogass er den mest miljømessig og økonomisk fordelaktige måten å kvitte seg med slam på [51]. Ved hjelp av dette anlegget vil slammet gjenbrukes, og det blir en tilnærming til et sirkulærøkonomisk system. Fra bystyrevedtak 22.03.10 ble det blant annet vedtatt at biogassen skal anvendes som drivstoff i transportsektoren, ved full drift kan opp imot 80 av bussene i Bergen kjøre på biodrivstoff fra Rådalen [51].

Prosessen som anvendes i Rådalen er levert av Purac AB. Slammet fortynnes til ca. 6% tørrstoff før det hygieniseres (pasteurisering ved 70°C i 1 time). Deretter pumpes slammet til råtnetankene hvor det organiske stoffet råtnet slik at det dannes biogass. Dette er en termofil prosess, som er det samme som våtkompostering (temperaturen ligger her på ca. 57°C). Det utråtnede slammet, som kalles biorest, blir avvannet ved hjelp av sentrifuger til det ser ut som fuktig jord.

Biogassen fra råtnetankene går via to gassrom og en gassklokke til oppgraderingsanlegget. Her oppgraderes gassen til drivstoffkvalitet og kan deretter brukes på bussene i Bergen [52, 53].

#### 5.1.1 Biogassproduksjon

I 2018 ble det tatt ut 1983 tonn slam fra Kvernevik med gjennomsnittlig 16,7% tørrstoffinnhold. Dette utgjør ca. 331 tonn med 100% tørrstoff. I Ytre Sandviken ble det i 2018 tatt ut 2194 tonn slam, med gjennomsnittlig 27,5% tørrstoffinnhold. Dette utgjør ca. 603 tonn med 100% tørrstoff.

Biogassanleggets mottakskapasitet er estimert til 10 000 tonn slam ved 100 % tørrstoffinnhold, og totalt i 2018 ble det produsert 2 592 836 Nm<sup>3</sup> biogass (rågass) i Rådalen. Anlegget er et viktig bidrag til at Bergen skal nå sitt mål om å bli en fossilfri kommune innen 2030. Det har enda stor kapasitet, og dersom det forekommer en endring i avfallshåndtering som kildesortering av matavfall, vil anlegget kunne produsere enda større mengder biogass, dersom matavfallet fraktes til biogassanlegget. Dette er samfunnsnyttig og fører til at Bergen kommune følger sirkulærøkonomiens prinsipper ved å opprettholde en ressurs så lenge som mulig i økonomien [54].

### 5.2 Samfunn

Forurensningsloven inneholder flere forskrifter og bestemmelser om avløpshåndtering. Naturvernforbundet skriver på sine nettsider: "Forurensningsloven er en av de klassiske norske miljølovene, innført i 1981, med prinsippet om 'forurenser betaler' som et bærende element. Det er alltid forurenser som har ansvaret for å begrense sin forurensning, overvåke og konsekvensvurdere den, og sørge for at den blir minimert og at avfall blir skikkelig håndtert. Forurensningsloven gir også myndighetene en rekke muligheter til å rydde opp i forholdene der forurenser ikke følger opp sitt ansvar, eller der det ikke er mulig å identifisere forurenser" [55-57].

Forurensningsloven formidler at forbrukeren har et større ansvar hva angår avfallshåndtering, her også det som havner i avløpet. Det er to mulige årsaker til at hensynet til avfallshåndtering i avløpsvann per i dag ikke blir tatt så stort hensyn til som det burde. Det ene er at det fortsatt for mange forbrukere er en utfordring å få kvittet seg med spesialavfall og annet stoff som ikke skal i avløpet. Sannsynligheten for

at flere ikke vet noe om hvor spesialavfall skal leveres er også stor. Det andre er at konsekvensene for privatpersoner per i dag ikke er like strenge som for eksempel for bedrifter hva angår forurensning i vann og avløp. Det er vanskelig å ettergå slik systemet er i dag, men det er også med til å bidra til at forbrukere fraskriver seg ansvaret. Forbrukeren merker for eksempel ingen direkte konsekvens av sine handlinger, og det kan antas at å putte ulovlig avfall i avløpet er en enkel utvei. Dette er likevel saker som er vanskelig å anslå, men med de mengdene som avløpsrensaneanlegg må håndtere er det tydelig at mange tyr til den enkle løsningen [58].

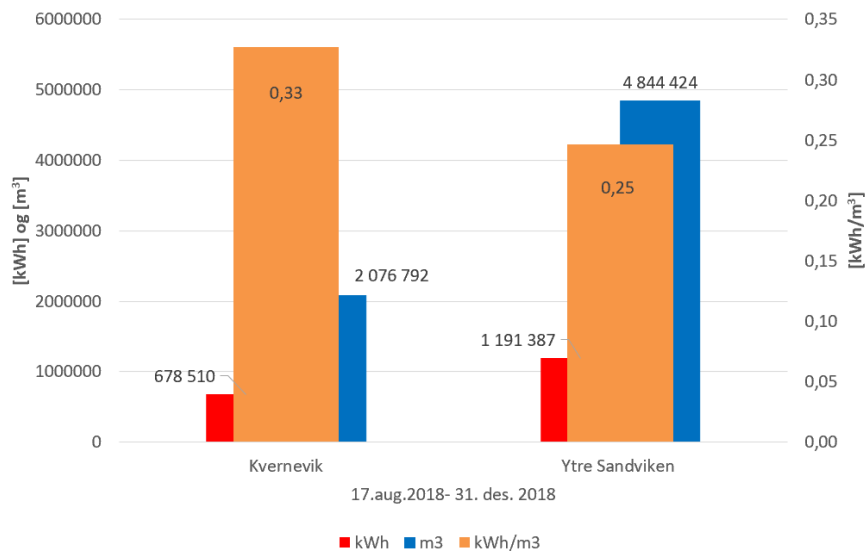
### 5.2.1 Holdningsendring

I sand- og fettfanget til avløpsanleggene skal det i utgangspunktet kun inneholde sand som skal bidra til at avfallsstoffene synker til bunns. Denne sanden vaskes før den føres tilbake til anlegget. Et gjennomgående problem for avløpsrensaneanleggene er at det samler seg opp rester av blant annet kaffegrut og frø som folk har puttet i avløpet. Sandvaskerene klarer ikke alltid å skille ut dette, og dette fører til at kaffegruten og frøene er med i sirkulasjonsprosessen til sanden. Dermed blir det en opphopning av kaffegrut og frø.

Bergen kommune har forsøkt med flere kampanjer. I den siste kampanjen ble det forsøkt å gi et svært tydelig budskap på hva som skal puttes i toalettet og ikke. Kampanjen er et forsøk på å få forbrukerne til å forstå viktigheten av avløpshåndtering. Ristgodshåndtering er energikrevende, og feil avfall i feil system kan gi store systemskader og unødvendige kostnader. Det er tydelig ut ifra mengden slam som ankommer anleggene at Bergen Kommunes avløpsrensaneanlegg sitt energibehov hadde vært betydelig lavere dersom forbrukeren hadde fulgt de retningslinjene som er ideelle [59].

### 5.3 Sammenligning av Ytre Sandviken og Kvernevik i sin helhet

Oversikten over det totale energibehovet for begge anleggene viser at Ytre Sandviken har et høyere energibehov enn Kvernevik fra uke 34 til 52 i perioden 2018. Samme perioden har Ytre Sandviken en større mengde innløpsvann til anlegget sitt. Figur 42 viser at Kvernevik har et høyere energibehov per kubikkmeter innløpsvann. Årsaken kan være at 28% av energibehovet til Kvernevik går direkte til prosessene, mens de resterende 72% er knyttet til et energibehov som ikke går til selve avløpsrensprosessen. (se Figur 30 og Figur 31) Dette betyr at det er store mengder energi som går med til driften av systemer og bygget avløpsrensaneanlegget tilhører. Videre blir resultater fra andre sektorer presentert og sett i sammenheng med innløpsvannet.



Figur 42: viser en sammenligning av energibehovet og innløpsmengden for anlegget i Kvernevik og Ytre Sandviken.

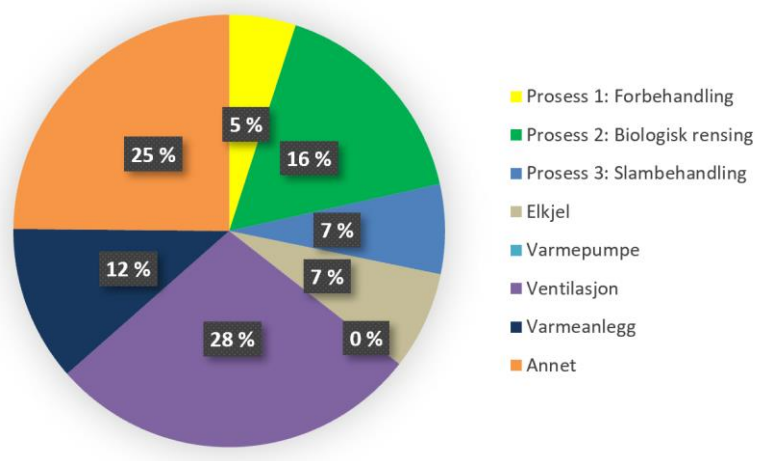
I tabellen fremlegges de nøyaktige tallene for målingene som fremkommer i Figur 42.

Tabellen viser det totale energibehovet for begge anleggene, den gjennomsnittlige innløpsmengden for en gitt periode, og hvor mye energi hvert anlegg har behov for per kubikkmeter.

Tabell 5: Oversikt over energibehovet, innløpsmengde og effektivitet i tidsrommet 17.08.2018-31.12.2018.

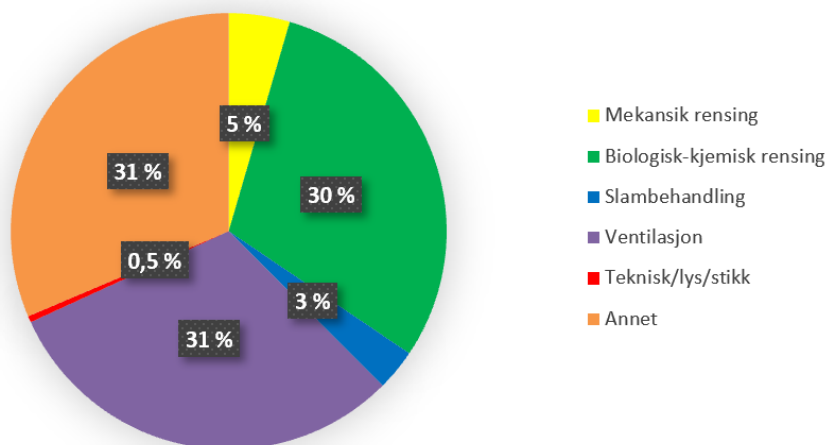
Renseanlegg	Energibehov	Innløpsmengde	Effektivitet
Kvernevik	678 510 kWh	2 076 792 m <sup>3</sup>	0,327 kWh/m <sup>3</sup>
Ytre Sandviken	1 191 387 kWh	4 844 424 m <sup>3</sup>	0,246 kWh/m <sup>3</sup>

En fordeling av de ulike energipostene til anleggene ført opp i et sektordiagram, innenfor samme periode, viser at energibehovet til ventilasjonen tilsvarer rundt 30% av det totale energibehovet. Se Figur 43 Figur 44.



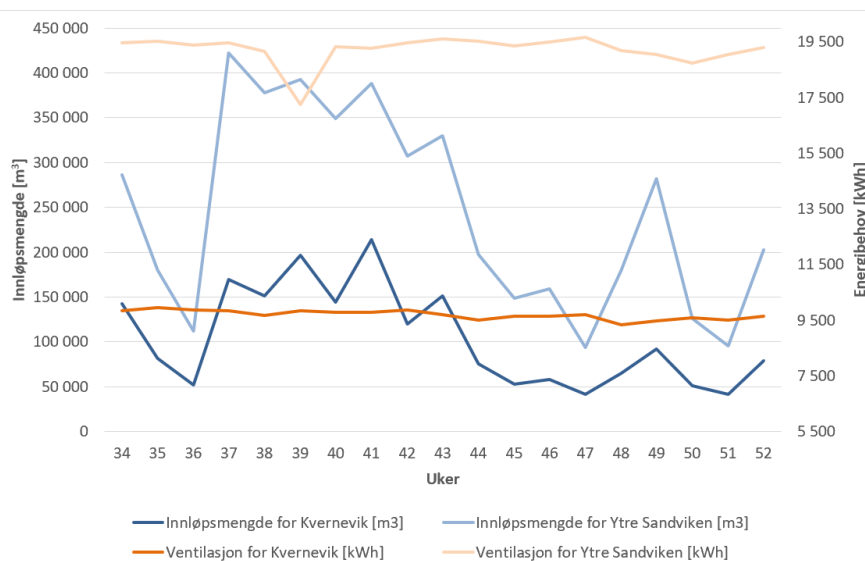
Figur 43: Energibehov fordelt på de ulike sektorene for Kvernevik i perioden 17.08.2018- 31.12.2018.

Hos Kvernevik er det minste energibehovet i 2017 fra mars til desember på 3780 kWh/dag. I 2018 var det minste energibehovet på 3870 kWh/dag i Kvernevik mens i Ytre Sandviken er det minste energibehovet på 7030 kWh/dag (august-desember). Dette kan skyldes at det er det totale energibehovet også dekker lys, ventilasjon, varmeanlegg og annen teknisk forsyning. Dette er energi som brukes uavhengig av innløpsmengden.



Figur 44: Energibehov fordelt på de ulike sektorene for Ytre Sandviken i perioden 17.08.2018- 31.12.2018.

For både Kvernevik og Ytre Sandviken kan det observeres i Figur 45 at energibehovet til ventilasjonen ikke varierer med innløpsmengden. Ettersom ventilasjonen er en så stor del av det totale energibehovet er det grunn til å anta at denne sektoren kan reduseres i energibehovet. I Kvernevik er det 28% av det totale energibehovet som går direkte til rensing av avløpsvannet, og 32% i Ytre Sandviken. Ettersom rundt 70% av energibehovet til anleggene ikke går direkte til rensing av avløpsvannet vil det sannsynligvis være mulig å få redusert en stor andel av energibehovet i disse sektorene.



Figur 45: Sammenligning av Energiforbruket til ventilasjon og innløpsmengden til Kvernevik og Ytre Sandviken.

## 5.4 Biologisk eller biologisk-kjemisk renseprosess?

For både Kvernevik og Ytre Sandviken har forbehandling og slambehandling flere likheter. Energifordelingen er lav i både prosess 1 og 3, sammenlignet med prosess 2. (se Figur 46) Prosess 1 er påvirket av mengden ristgods som kommer inn til anlegget. Er det store mengder, øker energibehovet. Det ble antatt i starten av oppgaven at energibehovet i prosess 1 også var påvirket av tettheten på avløpsvannet, og mengden avløpsvann. Tettheten påvirkes ikke nevneverdig når avløpsvannet ankommer avløpsanlegget, da den bare endres en liten promille på grunn av ekskrementer i vann, og betraktes derfor med samme tetthet som vanlig vann ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ), [60]. Dermed konkluderes det med at dette ikke er en påvirkende faktor her.

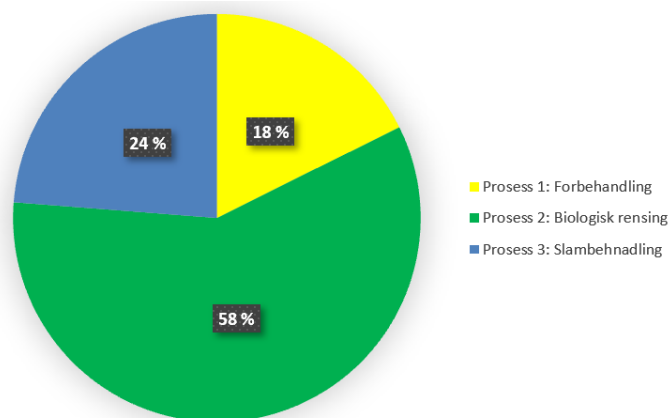
Energibehovet i prosess 3 påvirkes av slammengdene som hentes ut fra renseprosessen. Desto større slammengder og innløpsmengde, til større tilsats av kjemikalier er nødvendig i den biologisk-kjemiske renseprosessen. Ved store mengder innløpsvann er konsentrasjonen på slammet lav, og vannet er veldig tyntflytende. Dette fører til at det ikke er nødvendig med mange kWh/m<sup>3</sup> for å rense vannet, men det må større tilsats med kjemikalier og tilførsel av sand for å rense det. Tilførsel av sand og kjemikalier er kostbart.

Prosessene i anlegget i Kvernevik er de følgende:

- Prosess 1: Forbehandling (grovryst, sand- og fettfang, blåsemaskin: 9810\_01, 9810\_02 og 9810\_03)
- Prosess 2: Biologisk rensing (luftbasseng, sedimenteringsbasseng, blåsemaskin 9820\_10, 9820\_01, 9820\_03)
- Prosess 3: Slambehandling (sentrifuge, slamsilo)



I perioden 17.08 - 31.12 i året 2018 gikk 58% av energibehovet til prosess 2 (den biologiske renseprosessen). Årsaken til at energibehovet er høyt her er lufttilførsel fra blåsemaskin (kompressorsystem). Dette er en energikrevende del av renseprosessen. Som det nevnes under Kapittel 6: Tiltak, er dette en delprosess som har stort potensiale for å effektiviseres.

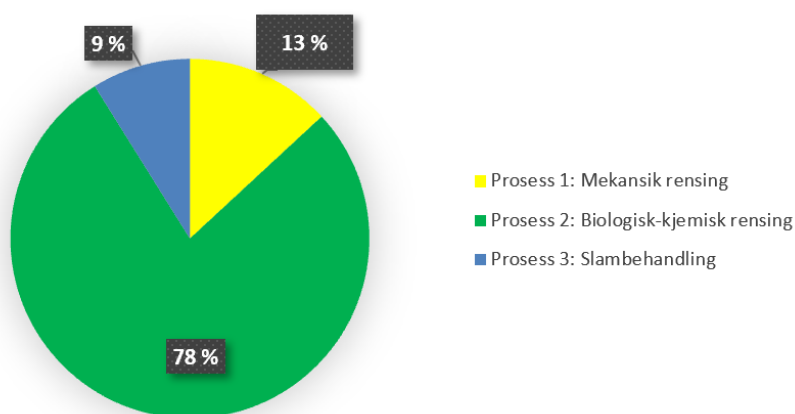


Figur 46: Fordeling av energibehovet på de ulike prosessene i perioden 17.08.18-31.12.2018 på Kvernevik.

Prosessene i anlegget i Ytre Sandviken er de følgende:

- Prosess 1: Forbehandling (grovrivst, sand- og fettfang)
- Prosess 2: Biologisk- kjemisk rensing (MBBR, Actiflo, blåsemaskin 9824 og 9825)
- Prosess 3: Slambehandling (Actidyn, sentrifuge, slamsiloer)

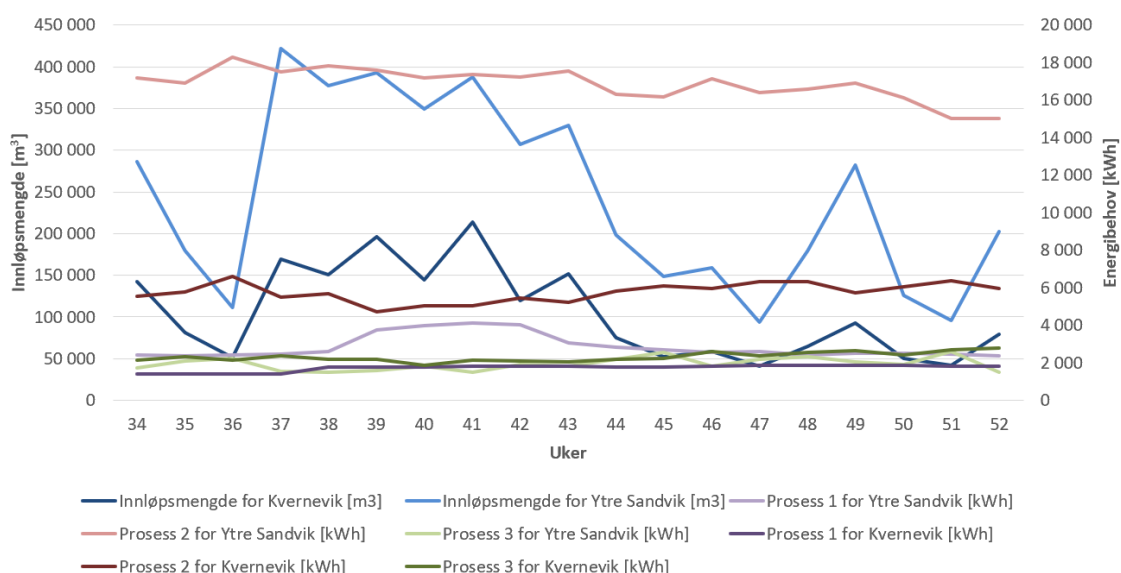
I samme periode for 2018 (se Figur 47) i Ytre Sandviken gikk 78% av det totale energibehovet til den biologisk-kjemiske renseprosessen. Årsaken til at energibehovet er høyere her er at det inngår flere prosesser i prosess 2 hos Ytre Sandviken enn i Kvernevik.



Figur 47: Fordeling av energibehovet på de ulike prosessene i perioden 17.08.18-31.12.2018 i Ytre Sandviken.

Alle verdiene fra prosess 1, 2 og 3 fra både Kvernevik og Ytre Sandviken har blitt samlet i et linjediagram. (Figur 48) Dette diagrammet viser tall fra begge anleggene innenfor samme periode (uke 34 til 52, år 2018). Resultatet viser tydelig at energibehovet til prosess 2 i Ytre Sandviken er høyere, men dette er logisk da innløpsmengden for Ytre Sandviken også er mye større. Det bør her nevnes at Ytre Sandviken har problemer med at anlegget periodevis tar inn store mengder sjøvann. De jobber med å redusere disse mengdene. Tallene som har blitt funnet kan gi en god indikasjon på at dette kan være lurt, da det antyder til at disse mengdene påvirker energibehovet til renseanlegget i en større grad.

Det ser også ut til at energibehovet mellom avløpsrenseanleggene har en hentydning til korrelasjon mellom grafene, da de beveger seg i lik rytme. En av årsakene kan være at innløpsvannet til begge anleggene er i stor grad påvirket av nedbørmengden. En annen antagelse kan være at siden begge anleggene har samme utstyrsleverandør på flere av prosessvarene, kan anleggene være optimalisert ut ifra leverandørens utstyr, og at de dermed driftes samsvarende i forhold til energibehovet. Dersom de driftes likt med samme utgangspunkt i utstyr, så driftes de også likt når innløpsmengden stiger og synker i lik grad, avhengig av nedbøren.



Figur 48: Linjediagram over de ulike prosessene sammenlignet med innløpsvann.

Tabell 6 viser at prosess 2 i Kvernevik, den biologiske renseprosessen, bruker mindre energi per kubikkmeter enn prosess 2 i Ytre Sandviken, den biologisk-kjemiske renseprosessen. Årsaken til dette kan være at Ytre Sandviken tar inn større mengder vann, men også at det totalt er en mer energikrevende prosess. I biologisk-kjemisk renseprosess inngår det også flere deltrinn i renseprosessen som nevnt tidligere i dette avsnittet.

Tabell 6: Viser gjennomsnittlig energibehov per kubikkmeter for de to ulike rensetrinnene, som skiller avløpsrenseanleggene i sin helhet.

	Ytre Sandviken	Kvernevik
<b>Type prosess</b>	Biologisk-kjemisk	Biologisk
<b>Gjennomsnittsverdi</b>	0,068 kWh/m <sup>3</sup>	0,054 kWh/m <sup>3</sup>

Det har blitt gjort en rekke tilsvarende målinger i andre land. Tabell 7 viser en oversikt over energibehovet til andre land sine biologisk-kjemiske rensetrinn per kubikkmeter innløpsvann. Selv om

innløpsmengden for noen av landene er betraktelig større enn de mengdene Bergen Kommune hankses med, er det likevel interessant å se gjennomsnittsbehovet for tilsvarende rensesystemer i sammenheng.

Flere av landene har tilsvarende resultater som Ytre Sandviken, men det er påfallende å se at Kina sine systemer har de mest like tallene. Kina sitt behov ligger mellom 0.008 kWh/m<sup>3</sup> og 0.229 kWh/m<sup>3</sup>. Dette er interessant å se da Kina er 24.83 ganger større enn Norge [61], og Shenzhen som målingene er hentet fra er en by i Kina som inneholder 12.5 millioner innbyggere [62]. Det trekkes blant annet frem i artikkelen [63] at årsaken til at anlegget i Kina er mer energieffektive enn i mer utviklede land som Norge, Nederland og Japan, er at de har lavere krav til kvaliteten på avløpsvannet som slippes ut igjen. En annen forklaring er at i Kina har avløpsrensaneanleggene blitt bygd frem de siste 10 årene, hvor de har benyttet seg av nyere teknologi, ettersom landet har utviklet seg. Mens avløpsrensaneanleggene i de andre nevnte landene ble bygget for 30 år siden, og har dermed ikke fått oppgradert sin teknologi. Dette er ikke tilfellet for avløpsrensaneanlegget i Kvernevik, som sto nytt for bare noen år siden. Anlegget i Ytre Sandviken derimot sto klart for første gang i 1999, og har siden blitt oppgradert.

Tabell 7: Oversikt over gjennomsnittlig energibehov per kubikkmeter vann for ulike land som også bruker biologisk-kjemisk rensesprosess i sekundærrensettrinnet[64].

Land	Energibehov
Kina (Shenzhen)	0,008 – 0,229 kWh/m <sup>3</sup>
Japan	0,34 kWh/m <sup>3</sup>
Sverige	0,42 kWh/m <sup>3</sup>
USA	0,2 kWh/m <sup>3</sup>
Australia	0,305 kWh/m <sup>3</sup>

Kvernevik sitt gjennomsnittlige energibehov på 0.054 kWh/m<sup>3</sup> er mye lavere enn målinger som har blitt gjort i tilsvarende anlegg i verden (se Tabell 8) som også benytter seg av aktivslam-metoden. Det landet som har lavest målinger av de oppgitte landene er Sør-Korea med sine 0.243 kWh/m<sup>3</sup>. De trekker frem at mulige årsaker til at energibehovet kan øke fremover er økt befolkning, strengere rensesystem, aldrende infrastruktur på avløpsrensingsystem. En siste årsak som blir nevnt er at landet får fremtidige muligheter for å kunne kaste toalett-papir og andre sanitærprodukter i toalettet [65]. Dette er interessant at de trekker frem da dette har vært en naturlig del av norske sanitærforhold i årevis, og nordmenn behøver derfor heller ikke å ta dette med som en betraktning i forhold til et eventuelt økt energibehov.

Tabell 8: Energibehovet for ulike land som også anvender aktivslam metode i avløpsrensingsprosess [64].

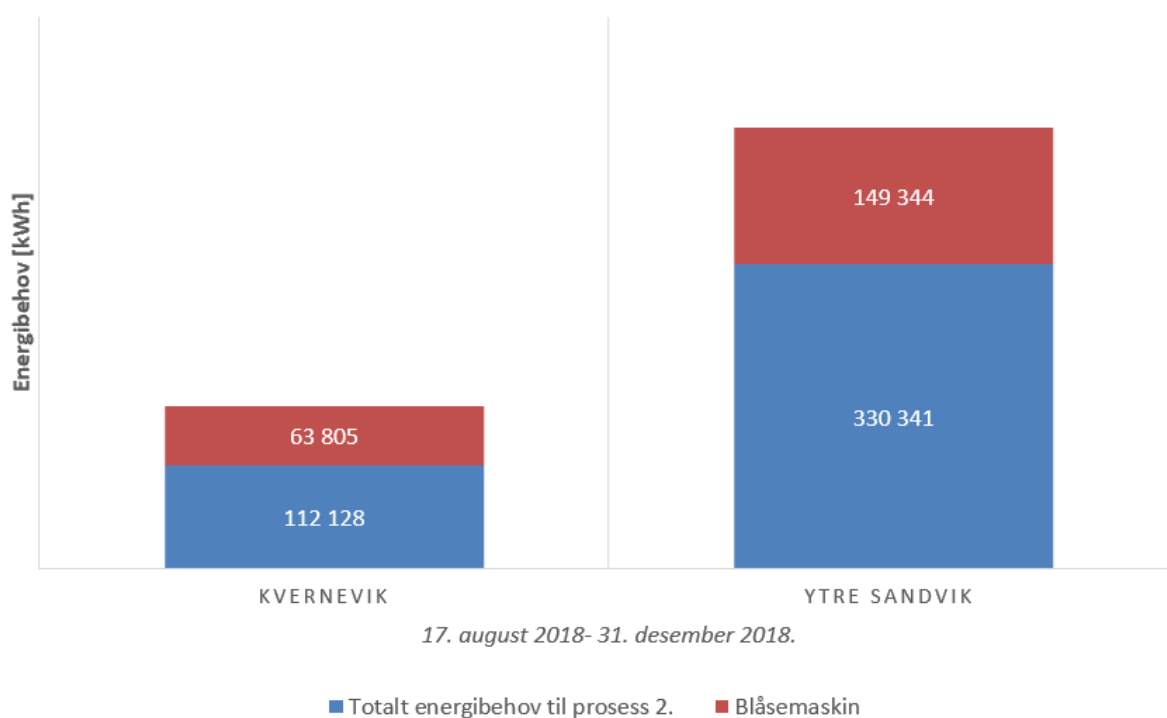
Land	Energibehov
Sør-Afrika	0,33 – 0,61 kWh/m <sup>3</sup>
India	0,26 kWh/m <sup>3</sup>
Sør-Korea	0,243 kWh/m <sup>3</sup>
Tyskland	0,4 – 0,43 kWh/m <sup>3</sup>
Spania	0,5 kWh/m <sup>3</sup>

MBBR (del av biologisk-kjemiske renseprosessen i Ytre Sandviken) bruker mindre tid på rensing og det kan antas det her er kapasitet til å ta imot mer avløpsvann til avløpsreanseanlegget per tidsenhet enn i Kvernevik. Med økt gjennomgang av avløpsvann kan dette også være en medvirkende faktor til et gjennomsnittlig høyt energibehov.

En utfordring med Kvernevik er at slambehandling og biologisk rensetrinn er veldig energikrevende. Renseanlegget krever stort areal og store bygningsmasser, derfor går mye energi til oppvarming av bygg og lys. Derfor vil det være fordelaktig å utnytte så mye som mulig av varmegjenvinningspotensialet [66].

### 5.4.1 Sammenligning av blåsemaskinene

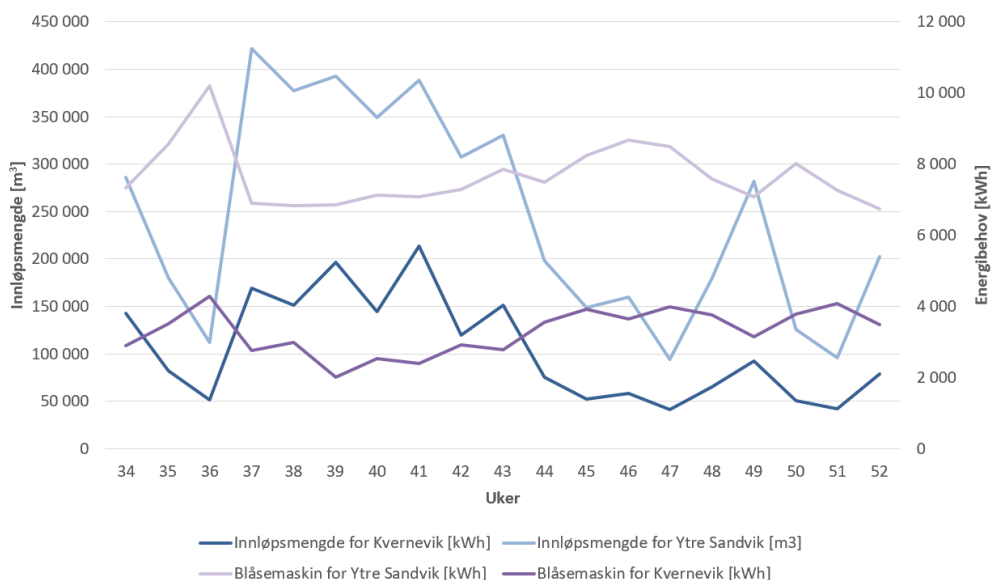
Figur 49 viser en sammenligning av energibehovet til blåsemaskinene mot energibehovet til hele prosess 2 for begge anleggene. Dette er interessant å se på da det har blitt kartlagt at blåsemaskinene er den delen av renseprosessen som har aller størst energibehov isolert sett. Siden dette er den største posten kan det være lurt å se om energibehovet til blåsemaskinene kan reduseres. Figur 49 viser at energibehovet til blåsemaskinene trekker omtrent halvparten av det totale energibehovet for prosess 2 for begge anleggene.



Figur 49: Viser en sammenligning over energibehovet til blåsemaskinene og energibehovet for hele renseprosessen i prosess 2.

Figur 50 viser sammenligning av blåsemaskinene til prosess 2 og innløpsvannet i både Kvernevik og Ytre Sandviken. I linjediagrammet kan det observeres at når innløpsmengden stiger synker energibehovet til blåsemaskinene. Innløpsmengden til Kvernevik og Ytre Sandviken varierer omtrent likt bortsett fra at innløpsmengden til Ytre Sandviken er en del større. Samtidig varierer blåsemaskinene i anleggene samsvarende i forhold til innløpsvannet. Dette var et uforventet funn ettersom det var forventet at energibehovet ville stige med innløpsmengden slik som tidligere vist i Figur 13, Figur 15, Figur 17, Figur 22, Figur 24, Figur 26, Figur 28.

En mulig årsak til at blåsemaskinene får et økt energibehov når innløpsmengden synker er at strømningshastigheten gjennom blåsemaskinene blir lavere. Dette betyr at for å opprettholde hastigheten må kompressoren kjøre hardere, dermed øker også energibehovet. Det burde også nevnes at blåsemaskinene ikke har reguleringssystemer, de slås bare av eller på. Noe som kan forklare det økte energibehovet.



Figur 50: Sammenlikning av energibehovet til blåsemaskinene i prosess 2 i Kvernevik og Ytre Sandviken med innløpsvannet i uke 34-52 2018.

## 5.5 BOF og KOF energibehov i forhold til andre anlegg

Tabell 9 viser hvor mye energi hvert av anleggene bruker på fjerning av KOF og BOF. Tabell 10 er en oversikt over hvor mye energi avløpsrensaneanlegg i andre land bruker på det samme. Resultatene er vanskelig å sammenligne fordi det varierer veldig. En mulig årsak til dette kan være at det er ulike krav til BOF- og KOF-rensing for de ulike landene [64].

I forbindelse med denne rapporten har det ikke blitt gjort noen gode funn på målinger av BOF for andre land med tilsvarende avløpsrensaneanlegg. Det er derfor vanskelig å si om de målingen som har fremkommet i denne rapporten kan anses som tilfredsstillende.

Tabell 9: Viser oversikt over KOF og BOF for begge avløpsrensaneanleggene, og hvor mye energi de bruker per kg på fjerningen.

Avløpsrensaneanlegg	KOF	BOF
<b>Kvernevik</b>	2,35 kWh/kg	4,13 kWh/kg
<b>Ytre Sandviken</b>	3,26 kWh/kg	6,02 kWh/kg

Tabell 10: Oversikt over målinger gjort på KOF i andre lands tilsvarende avløpsrensaneanlegg.

Land	KOF måling per kg
Tyskland	0,95 kWh/kg
Canada	1,65 kWh/kg
Frankrike	3,33 kWh/kg
Spania	0,97 kWh/kg
Italia	0,85 kWh/kg

## 5.6 Energibehov i andre lands avløpsrensaneanlegg

På generell basis krever avløpsrensaneanlegg mellom 0,3 kWh/m<sup>3</sup> og 0,6 kWh/m<sup>3</sup> [64]. Ifølge tallene til denne rapporten [64] ligger gjennomsnittsbehovet for energi mellom 0,38 kWh/m<sup>3</sup> og 1,122 kWh/m<sup>3</sup> for avløpsrensaneanlegg i Europa, Asia og Amerika. Energibehovet er dominert av lufting («aeration»), og ofte et lavere forbruk for pumpe- og slamavvanningsprosessen («pumping and the sludge dewatering»).

I rapporten fremkom det også at energiforbruket i Kina er mye lavere enn i mer utviklede land som blant annet Japan, Nederland og Norge. Forklaringen kan være at vannet som renner ut fra avløpsrensaneanleggene i Kina har lavere kvalitet enn i de nevnte landene. De fleste av anleggene i Kina har òg blitt bygd de siste 10 årene med en ny teknologi, mens de andre anleggene ble bygd på et tradisjonelt byggesett for 30 år siden i de tidligere nevnte landene.

Sekundærrensettrinnet konsumerer omtrent 60% av det totale energibehovet, fulgt av primærrensettrinnet, dephosphorization og slamavvanningen. Den teknologien som hadde lavest behov var anoxisk-anaerob oksidasjon med koblet filter («anoxic-anaerobic oxidation with coupled filter»).

Tabell 11: Viser energikonsumet til avløpsrensaneanlegg i andre land [67].

Land	Kina	Japan	USA
Energikonsum (kWh/m <sup>3</sup> )	0,254	0,26	0,20

## Strømkostnad

Det har her blitt gjennomført et økonomisk overslag for å se på hvor mye penger som har blitt brukt pr. kWh for hvert av anleggene gjennom ulike perioder. Strømprisen varierte mye i året 2018 som det vises i Tabell 12 Tabell 12.

Tabell 12: Strømpriser er hentet fra LOS[68]

### Vest-Norge- Bergen (NO5) Prisene er oppgitt i øre inkludert mva.

Måned/År	2019	2018	2017
Januar	67,89	38,96	33,66
Februar	56,38	46,23	34,83
Mars	51,07	50,78	35,07
April		46,79	34,35
Mai		39,43	32,87
Juni		52,78	27,73
Juli		61,13	30,76
August		60,89	31,05
September		55,79	35,10
Oktober		47,10	32,43
November		56,77	37,54
Desember		63,32	38,25

Videre har det blitt gjort et overslag basert det energiberegningene som er gjort, for å gi et estimat på hvilke kostnader Bergen Kommune har brukt på strøm til å drifte avløpsrensaneanleggene i Ytre Sandviken og Kvernevik. I Tabell 13 viser det beregning av hvor mye det kostet å dekke energibehovet i Kvernevik i perioden mars til desember 2017, dette kom på om lag 580 000 kroner. Videre i Tabell 14 Tabell 14 viser det at strømprisen for 2018 kom på om lag en million. Tabell 15 viser beregning på strømpris for Ytre Sandviken som blei på om lag 670 000 kroner.

Tabell 13: Viser en oversikt over kostnader brukt på strøm i perioden mars-desember 2017 i Kvernevik

Måned	Energibehov [kWh]	Strøm [NOK/kWh]	Kroner [NOK]
mars	205 210	0,3507	71 967
april	181 760	0,3435	62 435
mai	177 620	0,3287	58 384
juni	154 370	0,2773	42 807
juli	155 030	0,3076	47 687
august	159 900	0,3105	49 649
september	149 340	0,3510	52 418
oktober	161 650	0,3243	52 423
november	171 150	0,3754	64 250
desember	200 040	0,3825	76 515

**Total strømpris****578 535**

Tabell 14: Viser en oversikt over kostnader brukt på strøm i 2018 i Kvernevik.

Måned	Energibehov [kWh]	Strømpris [NOK/kWh]	Kroner [NOK]
januar	221 090	0,3896	86 137
februar	190 210	0,4623	87 934
mars	208 340	0,5078	105 795
april	189 230	0,4679	88 541
mai	190 860	0,3943	75 256
juni	170 180	0,5278	89 821
juli	141 930	0,6113	86 762
august	146 510	0,6089	89 210
september	142 000	0,5579	79 222
oktober	152 000	0,4710	71 592
november	153 420	0,5677	87 097
desember	158 930	0,6632	105 402
<b>Total strømpris for 2018</b>			<b>1 052 768</b>

Tabell 15: Viser en oversikt over kostnader brukt på strøm i 2018 i Ytre Sandviken.

Måned	Energibehov [kWh]	Strømpris [NOK/kWh]	Kroner [NOK]
August	129 401	0,6089	78 792
September	275 767	0,5579	153 850
Oktober	293 839	0,4710	138 398
November	235 900	0,5677	133 920
Desember	256 630	0,6332	162 498
<b>Total strømpris</b>			<b>667 459</b>

## 5.7 Andre renseanlegg i Norge

Resultatene fra energiberegningene blir her sammenlignet med årlig energibehov fra andre tilsvarende renseanlegg i Norge.

### 5.7.1 IVAR

IVAR Sentralrenseanlegg er et avløpsrenseanlegg som holder til på Nord-Jæren i Rogaland. Dette er et biologisk anlegg med en kapasitet på totalt 14 400 m<sup>3</sup>/h. Anlegget inneholder i de første deltrinnene rister med 6 mm hull og sand- og fettfang. Vannet føres så videre til en pumpeump, før det blir pumpet inn til et filteranlegg som består av 20 tommelfiltre med 0,1 mm porer i filterduken, hvor 50% av partiklene fjernes fra vannet [45]. Dette gjøres for å redusere belastningen på det biologiske rensesetnet.



Dette kalles primærslam-metoden. Slammet som blir hentet ut her er svært næringsrikt og lett nedbrytbart, og bidrar godt til biogassproduksjon. Videre går avløpsvannet til det biologiske rensetrinnet.

Totalt har IVAR brukt 4 016 535 kWh så langt i året 2019. I 2018 fikk de 39 975 283 m<sup>3</sup> tilførte vannmengder til avløpsrenseanlegget. Sammenlignet med Kvernevik avløpsrenseanlegg i 2018 fikk de inn 4 028 352 m<sup>3</sup> /år og i Ytre Sandviken fikk de inn 9 378 840 m<sup>3</sup> fra 17. august til 31. desember 2018. IVAR har dermed fått tilført betraktelig større mengder enn anleggene i Bergen Kommune. Dette er med på å forklare det høye energibehovet da det som er oppgitt her bare gjelder for ca. en halvårsperiode[69].

Bergen Kommune sine avløpsrenseanlegg benytter seg ikke av primærslam-metoden. Årsaken til at IVAR har installert dette er fordi det er veldig gunstig for biogassanlegg. Primærslammet bidrar til at det dannes mer biogass. Det er en fordel å installere dette, men det som har vært utfordringen for Bergen kommune er at dette systemet tar mer plass. En annen fordel med primærslam-metoden er at det gjør at selve renseprosessen krever mindre oksygentilførsel, noe som kan bidra til å senke energibehovet.

### 5.7.2 Tomasjord avløpsrenseanlegg

Tomasjord avløpsrenseanlegg som tilhører Tromsø kommune ble bygget i 2009 og videre oppgradert i 2011. Dette er et mekanisk renseanlegg underlagt primærrenseanlegg med en kapasitet på 38400 PE [27]. Det er tilknyttet ca. 18500 PE til anlegget. Videre er anleggets dimensjoneringsparameter satt til  $Q_{dim} = 1296 \text{ m}^3/\text{h}$  og  $Q_{maks} = 1620 \text{ m}^3/\text{h}$ .

I 2017 hadde anlegget et energibehov på totalt 549 673 kWh og i 2018 var det nede på 384 893 kWh. Reduksjonen skyldes at de fikk i orden en varmpumpe som går til oppvarming av bygget. En rapport skrevet av Tromsø kommune om "Hovedplan for vann og avløp 2015 - 2030" inneholder data som viser at Tomasjord i gjennomsnitt renser ca. 4 200 000 m<sup>3</sup>/år. Dette gir resultatet 0,131 kWh/m<sup>3</sup>. Anlegget har også et slamuttak på ca. 1000 tonn/år, som tilsvarer ca. 31% tørrstoff, altså ca. 300 tonn tørrstoff/år.

Tromsø kommune har sett på mulighetene for å bygge et sekundærrenseanlegg. Basert på ulike vurderinger som blant annet krav til arealbruk og potensialet for brukerkonflikt ble Tomasjord utelukket. Det ble derfor bestemt den gangen at driften hos Tomasjord avløpsrenseanlegg skulle optimaliseres slik at utslippets negative påvirkning på blant annet strandsonen i områder Tomasjord omegn skal avbøtes [70].

Personkapasiteten til Tomasjord er noe mindre enn anleggene i Ytre Sandviken og Kvernevik. Likevel har Tomasjord en tilsvarende gjennomsnittsverdi på kWh/m<sup>3</sup>. Dette er veldig interessant å se da Tomasjord renser omtrent samme mengde som Kvernevik (4.7 mill. m<sup>3</sup>), mens Ytre Sandviken renser omtrent dobbelt så mye som de to andre anleggene (9.4 mill. m<sup>3</sup>).

### 5.8 Potensialet for energigjenvinning fra slam

I dag blir slammet brukt til produksjon av biogass, som oppgraderes til biometan, som så brukes til drivstoff til bussene i Bergen [53]. Siden slammengden har økt etter de nye rensekravene vil det derfor være interessant å se på mulighetene for at anleggene i Kvernevik og Ytre Sandviken kan være selvforsynte med elektrisk energi fra slammet. Energiinnholdet til biogass fra slam ligger mellom 28,03-38,92 MJ/Nm<sup>3</sup> [71]. Brukte da brennverdien midt mellom disse er 33,5 MJ/Nm<sup>3</sup>. Dette energiinnholdet anvendes for å beregne potensialet slammet har til å dekke anleggenes energibehov. Effektiviteten av omdannelse av biogass til elektrisk energi ligger på mellom 25-35%, for denne utregningen brukes 30% [72].

### 5.8.1 Selvforsyning med energi fra slam

Tabell 16 viser teoretisk potensiale for energiinnholdet i slam til å dekke energibehovet for begge avløpsrensningseanleggene. Utregningene er basert på slam i kilogram fra de to avløpsrensningseanleggene i 2018 og slam samlet i biogassanlegget i Rådalen fra alle avløpsrensningseanleggene i Bergen og gass som ble produsert fra slammet. I utregningene er det blitt brukt følgende formler:

$$\text{Biogass avløpsrensningseanleggene} = \frac{\text{Slam fra avløpsrensningseanlegg}}{\text{Samlet total slam i Rådalen}} \cdot \text{Produsert biogass Rådalen}$$

$$\text{Energi fra slam} = \frac{\text{Biogass avløpsrensningseanlegg} \cdot \text{brennverdi} \cdot \text{virkningsgrad}}{\text{Omgjøringsfaktor}}$$

$$\text{Energi dekket av slam i avløpsrensningseanleggene} = \frac{\text{Energi fra slam avløpsrensningseanlegg}}{\text{Total energiforbruk avløpsrensningseanlegg}} \cdot 100\%$$

$$\text{Energi som må kjøpes inn} = \text{Totalforbruk avløpsrensningseanlegg} - \text{energi fra slam avløpsrensningseanlegg}$$

Ut ifra beregningene vil det elektriske energipotensialet fra slammet i anlegget i Kvernevik bli 418 204 kWh i 2018. Dette tilsvarer 20% av totalforbruket til avløpsrensningseanlegget til Kvernevik. De må dermed kjøpe 1 646 496,39 kWh i 2018 for å dekke energibehovet. I Ytre Sandviken sitt anlegg er det elektriske energipotensialet fra slammet beregnet til 761 863 kWh noe som tilsvarer 33% av det totale forbruket til hele anlegget. Dermed må det kjøpes inn 1 544 670,62 kWh for å dekke energibehovet til avløpsrensningseanlegget.

Dette er en forenklet metode som ikke vil gi eksakt syn på energipotensialet, men den kan gi en fremstilling av hvor stor kilde til energi slam egentlig er.

Tabell 16: Energibehov dekket av slam.

<b>Slam til Energi</b>			<b>Rådalen 2018</b>		
Brennverdi biogass	33,5 MJ/Nm <sup>3</sup>		Gass	2 592 836 Nm <sup>3</sup>	
Omgjøringsfaktor	3,6 MJ/kWh		Slam	5 729 000 kg	
Virkningsgrad	30 %				

<b>Kvernevik</b>			<b>Ytre Sandviken</b>		
	<b>2018</b>	<b>%</b>		<b>2018</b>	<b>%</b>
Slam [kg]	331 000		Slam [kg]	603 000	
Gass produsert fra slam [Nm <sup>3</sup> ]	149 804		Gass produsert fra slam [Nm <sup>3</sup> ]	272 906	
Energi fra slam [kWh]	418 204	20 %	Energi fra slam [kWh]	761 863	33 %
Totalforbruk [kWh]	2 064 700		Totalforbruk [kWh]	2 306 534	
kWh som må kjøpes	1 646 496			1 544 671	

## 6. Tiltak

Basert på funnene i oppgaven viser det seg at det ikke er selve avløpsrensnesystemene som har størst energibehov, men systemene rundt og bygningen som anleggene ligger i. Dette gjelder for både Kvernevik og Ytre Sandviken. Det blir derfor lagt frem tiltak som omhandler små endringer, gjenvinning og optimalisering. Også blir det lagt frem et tiltak som går direkte på avløpsrensnesprosessens deltrinn. Dette er blåsemaskinene da de har et stort energibehov.

### 6.1 Belysning

I anleggene står mye av belysningen på store deler av døgnet, selv om det er lite folk til stede i lokalene. Dette er et område hvor det er mulig å gjøre enkle tiltak for å få senket anleggenes energibehov. Ved å installere bevegelsessensorer på lysene vil belysningen være avslått så lenge ingen oppholder seg i lokalene. Dette er ikke en stor investering, og den vil gi senket energibehov. Utover dette kan det benyttes LED-lyspærer. Disse pærene har en høyere pris enn de klassiske glødepærene, men til gjengjeld har de lengre holdbarhetstid [73].

### 6.2 Varmegjenvinning

Varmegjenvinning på renseset avløpsvann er ikke i drift på noen av anleggene per dags dato. Typisk temperatur for avløpsvannet ligger på rundt 18-19°C. Basert på resultatene som har blitt avdekket i denne rapporten er dette et tiltak som har stort potensiale for å bidra til å få senket anleggenes energibehov. Dette vil også kunne være en del av den miljøprofilen som Bergen Kommune har som mål å oppnå. Enkelt forklart monteres det en varmeveksler mellom avløpsvannet og varmepumpesystemet. Varmeveksleren overfører den termiske energien fra avløpsvannet til varmepumpen. Et slikt system anses som en fornybar energikilde, det har ingen CO<sub>2</sub>-utslipp og gir rask utnyttelse av en ressurs som ellers bare hadde blitt forbigått [74].

### 6.3 Primærslammetoden

Primærslammetoden er ikke en metode som blir anvendt i anleggene hos Bergen Kommune per dags dato. Litt av utfordringen er at det er en prosess som er avhengig av et større areal. Men med tanke på at Bergen kommune har som formål å bli fossilfri innen 2030 [75], kan primærslammetoden være et godt bidrag til dette. Primærslam er mer gunstig for utvinning av biogass, fordi metoden sørger for at du beholder mer av råslammet som inneholder mye fett og proteiner. Dette er nyttig for å få i gang råtneprosessen tidlig, som er en del av biogassutvinningsprosessen [76].

### 6.4 Optimalisering av anlegget

Blåsemaskinene trekker store deler av energibehovet, noe som er forventet ut ifra faglitteratur [77]. Spørsmålet er om disse delprosessene kan optimaliseres i enda større grad, for å forsikre seg om at de ikke trekker mer energi enn hva som egentlig er nødvendig. Det er mulig energibehovet kan senkes noe dersom det viser seg at de ikke er optimalisert for det systemet og de mengdene de skal drifte.

Dersom antagelsen om at mengden innløpsvann påvirker energibehovet, anbefales det å installere reguleringsystemer på kompressorene for å regulere deres turtall. Dette vil høyst sannsynlig være mer effektiv enn en av-eller-på type drift, og på denne måten unngås det unødig energibruk i lavsesong.

Videre kan et aktuelt tiltak være generell optimalisering av driften for anleggene. Når anlegget ble bygget, ble det installert systemer som var tiltenkt en bestemt personbelastning og innløpsmengde.

Dersom det ikke har blitt utført kontroller for å ettergå at systemene er innstilt på de faktiske mengdene, og ikke bare de tiltenkte, kan dette være et tiltak som kan føre til senket energibehov.

## **6.5 Senke temperaturen i bygget**

70% av energibehovet går til driften av selve bygget. Varmekilden i dag er maskineriet og ventilasjonen. utfordringer er å finne en balanse på hvordan temperaturen påvirker det elektroniske i anleggene. Det må unngås fukt, og temperaturen må ikke ned på 10-12°C (duggpunktstemperatur).

## **6.6 Øke effektiviteten på kompressorsystemene**

Elektrisk drevne kompressorer er ansvarlig for 18-25% av industriens elektrisitetsbruk i EU, noe som gjør at luftkompressor-systemer burde sees nærmere på for mer effektiv utnyttelse av energien [77]. Kompressorer til å komprimere luft er i stor grad anvendt i avløpsrensaneanlegg, og fordelen med en slik kompressor, sammenlignet med Axial kompressorer, er at de er svært robuste. Kostnadssyklusen for luftkompressor-systemer viser at energikostnadene typisk er dominerende. Ifølge R. Saidur [78] kan energikostnadene dominere opp til 80% av den totale kostnadssyklusen. Andre kostnader som inngår i syklusen her er investeringskostnadene og vedlikeholdskostnader [78].

Kompressorene kan i seg selv stå for opptil 70% av det totale energibehovet i et biologisk anlegg. Årsaken til dette er at kompressorene driftes store deler av døgnet. Dette er fordi det må unngås trykkfall i prosessen, og kompressorene styres direkte av trykket fra rørene og luftetankene (aeration) [79]. Disse karakteristikken viser ikke bare viktigheten av et optimalt system, men også viktigheten av høy kompressoreffektivitet i driftsrommet. Fordi systemet er så sensitivt for trykkfall er det utfordrende å finne gode løsninger på det [77].

## 7. Konklusjon

Resultatene viser at det totale energibehovet til anleggene blir påvirket av innløpsmengden, som videre styres av nedbørsmengden. Det har også fremkommet at store deler av energibehovet ikke går til selve renseprosessen, men til å drifte byggene til avløpsrensaneanleggene.

Det totale energibehovet til hele renseprosessen bruker mindre energi per kubikkmeter innløpsvann i anlegget i Ytre Sandviken sammenlignet med hele renseprosessen i anlegget i Kvernevik for samme periode. Samtidig bruker den biologiske renseprosessen (prosess 2) i Kvernevik mindre energi per kubikkmeter innløpsvann i forhold til den biologisk-kjemiske renseprosessen (prosess 2) i Ytre Sandviken.

Det er potensiale for å effektivisere deler av renseprosessen til avløpsrensaneanleggene. Tidligere (se kapittel 5.3 og 5.4.1) der anleggene blir sammenlignet har det fremkommet resultater som viser at kompressorsystemene blant annet står for store deler av energibehovet for renseprosessene. Dette er felles for begge anleggene, men i Ytre Sandviken er energibehovet betraktelig høyere ettersom det har en større mengde innløpsvann. Dersom det kan unngås å ta inn unødvendige mengder vann fra nedbør og sjøvann, og kompressorsystemene oppgraderes, skal potensialet for å senke energibehov være gode.

Det har blitt kartlagt en større sektor som heter «Annet» som inngår i selve driften av bygget. Det er usikkert hva som konkret inngår i denne sektoren, men det har fremkommet at den har et stort energibehov. Annet-sektoren krever mellom 25-30% av energibehovet for begge anleggene. Det ser derfor også ut til at det er potensiale for å få senket noe av energibehovet her. Videre utgjør ventilasjonsanlegget om lag en tredjedel av det totale energibehovet og har et potensial for å redusere energien. På bakgrunn av informasjon fra Bergen Kommune er dette foreløpig ikke i optimal drift i dag, og har derfor stort forbedringspotensial

## 8. Videre arbeid

Liste over ting som kan arbeide videre med:

- Se på ventilasjonsanlegget. Kontrollere om det er optimalisert og hvordan dette driftes.
- Se om det er mulig å gjenvinne varmen eller bruke varmepumpe, istedenfor å bruke elkjel og varmeanlegg så mye.
- Installere sensorer i bygget som gjør at lys og teknisk utstyr slukker seg av eller går i sparemodus når det er ingen i bygget.
- Sette inn ledd lys
- Undersøke hva Annet delen går til å se om det går an å minske behovet på noe som inngår her.
- Se på blåsemaskinene om de går optimalt.
- Se om det lønner seg for det totale energibehovet å bruke primærslammetoden.
- Senke temperaturen rundt i bygget, slik at det er bare kontorene så har innetemperatur på 20°C.

## Referanser

- [1] «Prosjektering av renseanlegg i Nerdalen på Frei - Kristiansund kommune», upublisert, Høgskolen i Ålesund, 2015.
- [2] Miljødirektoratet, «Kommunalt avløp,» 2017. [Online]. Tilgjengelig: [https://www.miljostatus.no/tema/ferskvann/kommunalt-avlop/?fbclid=IwAR2HXXYeZm5QQ-ttSIkodXkLKr3bPPwIxoekhYEa50X\\_1y6b-2tI79IVv\\_o](https://www.miljostatus.no/tema/ferskvann/kommunalt-avlop/?fbclid=IwAR2HXXYeZm5QQ-ttSIkodXkLKr3bPPwIxoekhYEa50X_1y6b-2tI79IVv_o). Hentet: 23.05.2019
- [3] J. O. From, *Kommunalteknikk - Vann, avløp og renovasjon* (Avløpsvann og rensing). Oslo: Gyldendal Undervisning, 2010.
- [4] European Commission, «Urban Waste Water Directive,» 2016. [Online]. Tilgjengelig: [http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/legislation/directive\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/legislation/directive_en.htm). Hentet: 23.05.2019.
- [5] Fylkesmannen, «Fylkesmennene,» 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.fylkesmannen.no/nn/Om-oss/Fylkesmennene/>. Hentet: 23.05.2019.
- [6] Bergen kommune, «Ytre Sandviken avløpsrensaneanlegg,» 2018, brosjyre.
- [7] E. Befring, «Kvantitativ metode,» 2015. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.etikkom.no/FBIB/Introduksjon/Metoder-og-tilnarminger/Kvantitativ-metode/>, Hentet: 23.05.2019.
- [8] K. Akervold, personlig kommunikasjon, Bergen, 2019.
- [9] Bergen Kommune, «Vann- og avløpsetaten: Slik renser vi avløpet,» 2013. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/avdelinger/vannog-avlopsetaten/9090/9093/article-108267>. Hentet: 23.05.2019.
- [10] J. Barlindhaug, «Biofilm renseanlegg,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://snl.no/biofilm-renseanlegg>. Hentet: 23.05.2019.
- [11] Norsk Vann, «VA ordbok: Primærslam,» [Online]. Tilgjengelig: <https://kurs.norsk vann.no/mod/glossary/showentry.php?eid=1136&displayformat=dictionary>. Hentet: 23.05.2019.
- [12] J. Barlindhaug, «Biofilm renseanlegg,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://snl.no/biofilm-renseanlegg>. Hentet: 23.05.2019.
- [13] J. Barlindhaug, «Aktivslam-renseanlegg,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://snl.no/aktivslam-renseanlegg>. Hentet: 23.05.2019.
- [14] H. T. Lasse Vråle, «vannrensing,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://snl.no/vannrensing>. Hentet: 23.05.2019.
- [15] H. Ødegaard, B. Norheim og B. A. Norsk Vann, *Vann- og avløpsteknikk*, 2. utg. utg. (VA-teknikk). Hamar: Norsk Vann, 2014.

- [16] Norsk vann, «Fnokk,» [Online]. Tilgjengelig: <https://kurs.norskvann.no/mod/glossary/showentry.php?eid=1067>. Hentet: 23.05.2019.
- [17] J. Barlundhaug, «kjemisk rensing - vannrensing,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online]. Tilgjengelig: [https://snl.no/kjemisk\\_rensing\\_-\\_vannrensing](https://snl.no/kjemisk_rensing_-_vannrensing). Hentet: 23.05.2019.
- [18] ClearCoveSystems, «What is BOD?,» 2014. [Online]. Tilgjengelig: <http://www.clearcovesystems.com/what-is-bod/>. Hentet: 23.05.2019.
- [19] Bergen kommune, «Vann- og avløpsetaten: Bruker 1 milliard på avløpsrensing,» 2011. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/avdelinger/vannog-avlopsetaten?artSectionId=823&articleId=84733>. Hentet: 23.05.2019.
- [20] A. Dahl, «benchmarking,» i *Store norske leksikon*, 2018. [Online].Tilgjengelig: <https://snl.no/benchmarking>. Hentet: 23.05.2019.
- [21] C. Belloir, C. Stanford og A. Soares, «Energy benchmarking in wastewater treatment plants: the importance of site operation and layout,» *Environmental Technology*, vol. 36, nr. 2, s. 260-269, 2015. [Online]. Tilgjengelig: doi: 10.1080/09593330.2014.951403. Hentet: 23.05.2019.
- [22] Y. Yu, Z. Zou og S. Wang, «Statistical regression modeling for energy consumption in wastewater treatment,» *Journal of Environmental Sciences*, vol. 75, s. 201-208, 2019. [Online]. Tilgjengelig: doi: 10.1016/j.jes.2018.03.023. Hentet: 23.05.2019.
- [23] Forskrift om begrensnig av forurensning: Kapittel 14. Krav til utslipp av kommunalt avløpsvann fra større tettbebyggelser. lov 13. mars 1981 nr. 6 om vern mot forurensninger og om avfall og § 81. Jf. EØS-avtalen. [Online]. Tilgjengelig: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL\\_4-4#KAPITTEL\\_4-4](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4-4#KAPITTEL_4-4). Hentet: 23.05.2019.
- [24] D. Hongve og J. Kjensmo, «Eutrofiering,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://snl.no/eutrofiering>. Hentet: 23.05.2019.
- [25] Miljødirektoratet, «Resultater fra avløpsaksjoner i 2014 og 2015:,» 2015. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2015/desember-2105/resultater-fra-avlopsaksjoner-i-2014-og-2015/>. Hentet: 23.05.2019.
- [26] P. Byskov, «Resultater fra avløpsaksjoner i 2014 og 2015,» Miljødirektoratet, M-468, 2015. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m468/m468.pdf>, Hentet: 23.05.2019.
- [27] Forurensingsforskriften, «Kapittel 14. Krav til utslipp av kommunalt avløpsvann fra større tettbebyggelser,», 1981. [Online]. Tilgjengelig: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL\\_4#KAPITTEL\\_4](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4#KAPITTEL_4). Hentet: 23.05.2019.
- [28] Vannportalen, «Vannforskriften,» 2015. [Online]. Tilgjengelig: <http://www.vannportalen.no/regelverk/vannforskriften/>. Hentet: 23.05.2019.
- [29] Miljødirektoratet, «Ladehammeren av avløpsrenseanlegg,», 2017. [Online].Tilgjengelig: <https://www.norskeutslipp.no/Templates/NorskeUtslipp/Pages/company.aspx?id=61&CompanyID=9175&epslanguage=no&fbclid=IwAR1ysz8Ya7DP3UapBNxnu723yBar3-yahE28ZLD5yHFJChsGSynlwOEEJzg>. Hentet: 23.05.2019.



- [30] Bergen kommune, «Hovedplan for avløp og vannmiljø 2015-2024,», 2016, s. 7-45. [Online]. Tilgjengelig: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00276/Hovedplan\\_for\\_avl\\_p\\_276981a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00276/Hovedplan_for_avl_p_276981a.pdf). Hentet: 23.05.2019.
- [31] Norsk vann, «Avløp,» 2016. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.norskvann.no/index.php/avlop/generelt>. Hentet: 23.05.2019.
- [32] S. Wang, *Water Engineering - Hydraulics, Distribution and Treatment*. WILEY, 2016.
- [33] Huber, «HUBER Belt Screen EscaMax®,» [Online]. Tilgjengelig: <https://www.huber.de/products/screens-and-fine-screens/perforated-plate-and-bar-screens/huber-belt-screen-escamaxr.html>. Hentet: 23.05.2019.
- [34] Bergen kommune, «Kvernevik avløpsrensaneanlegg,», 2018. brosjyre.
- [35] Norconsult, «Saneringsplan avløp for Litle Sotra, Bildøyna og Kolltveit: Delrapport 4 - Prosessløsning for avløpsrensaneanlegg,» 2012. [Online]. Tilgjengelig: <http://www.fjellvar.as/DocumentCenter/R04-Av1%C3%B8psrensaneanlegg.pdf>, Hentet: 23.05.2019.
- [36] B. Pedersen, «Oppdrift - fysikk,» *Store norske leksikon*. Universitet i Oslo, 2017. [Online]. Tilgjengelig: [https://snl.no/oppdrift\\_-\\_fysikk](https://snl.no/oppdrift_-_fysikk). Hentet: 23.05.2019.
- [37] Ø. Grøn, «aerosol,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online].Tilgjengelig: <https://snl.no/aerosol>. Hentet: 23.05.2019.
- [38] IVAR, «Slik renses vi avløpet,» [Online]. Tilgjengelig: <https://www.ivar.no/slik-renses-avlopet/category840.html>. Hentet: 23.05.2019.
- [39] B. Pedersen, «Suspensjon- kjemi,» *Store norske leksikon*, 2017. [Online]. Tilgjengelig: [https://snl.no/suspensjon\\_-\\_kjemi?fbclid=IwAR2ydX2jBs31oDvbD5cSRXp94deGpdLGTN9EBargpAoSwjsWwPBehNy4OCY](https://snl.no/suspensjon_-_kjemi?fbclid=IwAR2ydX2jBs31oDvbD5cSRXp94deGpdLGTN9EBargpAoSwjsWwPBehNy4OCY). Hentet: 23.05.2019.
- [40] J. Bartnes og C. Serck-Hanssen, «Retningslinjer for sedimenteringsbasseng ved ferdigbetongfabrikker,» Norconsult, 3179500, 1998. [Online]. Tilgjengelig: <https://fabeko.no/assets/Retningslinjer-sedimenteringsbasseng1.pdf>, Hentet: 23.05.2019.
- [41] DIHVA, «BOF, KOF, SS og andre parameter,» 2012. [Online]. Tilgjengelig: [https://dihva.no/akkreditert\\_pr\\_vetaking/fagsamlinger/content\\_2/text\\_9cc884e3-7c4b-47ec-8837-800ec9306f3d/1336549883612/kof\\_bof\\_ss\\_og\\_andre\\_parameter\\_08\\_05\\_12.pdf](https://dihva.no/akkreditert_pr_vetaking/fagsamlinger/content_2/text_9cc884e3-7c4b-47ec-8837-800ec9306f3d/1336549883612/kof_bof_ss_og_andre_parameter_08_05_12.pdf). Hentet: 23.05.2019.
- [42] Det norske akademiske ordbok, «tilsats,», 2013. [Online] Tilgjengelig: <https://www.naob.no/ordbok/tilsats>. Hentet: 23.05.2019.
- [43] «Fosforfjerning,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online] Tilgjengelig: <https://snl.no/fosforfjerning>. Hentet: 23.05.2019.

- [44] NIBIO, «Forklaringer til begreper som benyttes på avlop.no,». [Online] Tilgjengelig: <https://www.nibio.no/tema/miljo/mindre-avlop/ordliste>. Hentet: 23.05.2019.
- [45] Ivar, «Renseprosessen: Slik renser vi avløpet på Sentralrenseanlegget Nord-Jæren,». 2018. [Online] Tilgjengelig: <https://www.ivar.no/getfile.php/13115645-1540904338/2018%20ivar.no/Bilder/Slik%20rensens%20avl%C3%B8pet/Rensing%20avl%C3%B8p%20SNJ.pdf>. Hentet: 23.05.2019.
- [46] EcowR Lab, «"Wastewater Treatment" MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) Technology,» 2014. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.youtube.com/watch?v=aBrmFifst-I>. Hentet: 23.05.2019.
- [47] G. E. Breisnes, «Ytre Sandviken avløpsrenseanlegg,» 2016. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/avdelinger/vannog-avlopsetaten/9330/9331/article-138434>. Hentet: 23.05.2019.
- [48] «Åpnet nytt renseanlegg i Bergen,» *VAnytt*, 2014. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.vanytt.no/2014/11/06/apnet-nytt-renseanlegg-i-bergen/#respond>. Hentet: 23.05.2019.
- [49] J. Barlindhaug, «kjemisk rensing - vannrensing,» *Store norske leksikon*, 2018. [Online]. Tilgjengelig: [https://snl.no/kjemisk\\_rensing\\_-\\_vannrensing](https://snl.no/kjemisk_rensing_-_vannrensing). Hentet: 23.05.2019.
- [50] X. Tao og W. Chengwen, «Energy Consumption in Wastewater Treatment Plants in China,», [Online]. Tilgjengelig: doi: 10.13140/2.1.1228.9285. Hentet: 23.05.2019.
- [51] Skyss, «Miljøstrategi for Skyss,», 2014. [Online] Tilgjengelig: <https://www.skyss.no/globalassets/strategiar-og-fagstoff/fagrapporatar-og-utgreiingar/2014/skyssmiljo2014-03-04web.pdf>. Hentet: 23.05.2019.
- [52] K. Akervold, «Begren biogassanlegg- slambehandlingsanlegget i Rådalen,»: Bergen Kommune, s. 1-30. [Online] Tilgjengelig: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00300/biogassanlegget\\_i\\_R\\_300368a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00300/biogassanlegget_i_R_300368a.pdf). Hentet: 23.05.2019.
- [53] Bergen Kommune, «Bergen biogassanlegg,», 2018. [Online] Tilgjengelig: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00332/Biogass\\_2\\_332264a.pdf?fbclid=IwAR1KXWo7Uwy3boUalpjMuPg95tHLi2eJHb\\_gDL04YBSXJe\\_OMQ3pc3wNYg](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00332/Biogass_2_332264a.pdf?fbclid=IwAR1KXWo7Uwy3boUalpjMuPg95tHLi2eJHb_gDL04YBSXJe_OMQ3pc3wNYg). Hentet: 23.05.2019.
- [54] Bergen kommune, «Klima- og energihandlingsplan for Bergen,» 2016. [Online] Tilgjengelig: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00290/Gr\\_nn\\_Strategi\\_-\\_me\\_290416a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00290/Gr_nn_Strategi_-_me_290416a.pdf), Hentet: 23.05.2019.
- [55] Naturvernforbundet. Forurensingsloven. [Online] Tilgjengelig: <http://miljojuss.no/lovverket/forurensingsloven/>. Hentet: 23.05.2019.
- [56] Forskrift om begrensning av forurensning. «Kapittel 1. Tiltak for å motvirke fare for forurensning fra nedgravde oljetanker», 1981. [Online] Tilgjengelig: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL\\_1-1-#%C2%A71-13](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_1-1-#%C2%A71-13). Hentet: 23.05.2019.
- [57] Initiativ for etisk handel, «IEH: Miljø- Avløpsvann er tema for Verdens vanndag 2017,» 2017. [Online]. Tilgjengelig: <http://etiskhandel.no/Artikler/13607.html>. Hentet: 23.05.2019.

- [58] World Health Organization, «Sanitation safety planning,», 2016. [Online] Tilgjengelig: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789241549240\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789241549240_eng.pdf). Hentet: 23.05.2019.
- [59] G. E. Breisnes, «Dovett,» 2017. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/dovett/article-135992>. Hentet: 23.05.2019.
- [60] H. H. Eide, personlig kommunikasjon, Bergen, 2019.
- [61] FN sambandet, «Sammenlign verdens land,» [Online]. Tilgjengelig: [https://www.fn.no/Land/Sammenlign-land/\(country1\)/306/\(country2\)/263](https://www.fn.no/Land/Sammenlign-land/(country1)/306/(country2)/263). Hentet: 23.05.2019.
- [62] C. Næverdahl, «Shenzhen,» *Store norske leksikon*, 2019. [Online] Tilgjengelig: <https://snl.no/Shenzhen>. Hentet: 23.05.2019.
- [63] M. Vaccari, P. Foladori, S. Nembrini og F. Vitali, «Benchmarking of energy consumption in municipal wastewater treatment plants – a survey of over 200 plants in Italy,» *Water Sci Technol* 2018, 77 (9): 2242-2252. [Online]. Tilgjengelig: doi: [10.2166/wst.2018.035](https://doi.org/10.2166/wst.2018.035). Hentet: 23.05.2019.
- [64] R. B. Soares, M. S. Memelli, R. P. Roque og R. F. Gonçalves, «Comparative Analysis of the Energy Consumption of Different Wastewater Treatment Plants » *International Journal of Architecture, Arts and Applications*, vol. 3, s. 79-86, 2017, [Online]. Tilgjengelig: doi: 10.11648/j.ijaaa.20170306.11. Hentet: 23.05.2019.
- [65] K.-J. Chae og J. Kang, «Estimating the energy independence of a municipal wastewater treatment plant incorporating green energy resources,» *Energy Conversion and Management*, vol. 75, s. 664-672, 2013. [Online]. Tilgjengelig: doi: [10.1016/j.enconman.2013.08.028](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.028). Hentet: 23.05.2019.
- [66] Hias, «Biologisk rensetrinn,» [Online]. Tilgjengelig: <https://www.hias.no/om-hias/vann-og-avlop/avlop/biologisk-rensetrinn/>. Hentet: 23.05.2019.
- [67] W. Li, L. Li og G. Qiu, «Energy consumption and economic cost of typical wastewater treatment systems in Shenzhen, China,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 163, s. S374-S378, 2017/10/01/ 2017. [Online]. Tilgjengelig: doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.109. Hentet: 23.05.2019.
- [68] LOS, «Historiske strømpriser,» 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.los.no/kundeservice/strompris/historiske-strompriser/>. Hentet: 23.05.2019.
- [69] K. B. Pedersen, K. Hjørungdal, Red. Bergen, 2019.
- [70] Tromsø Kommune, «Hovedplan for vann og avløp 2015-2030,» 2015. Tilgjengelig: <https://img8.custompublish.com/getfile.php/3511539.1308.ydswasebcp/Fullversjon+Hovedplan+vann+og+avl%C3%B8p+2015+-+2030.pdf?return=www.tromso.kommune.no>, Hentet: 23.05.2019.

- [71] J. Oladejo, K. Shi, X. Luo, G. Yang og T. Wu, «A Review of Sludge-to-Energy Recovery Methods,» *Energies* 2019, vol. 12, s. 1-38, 2018. [Online]. Tilgjengelig: [10.3390/en12010060](https://doi.org/10.3390/en12010060). Hentet: 23.05.2019.
- [72] N. Bachmann, «Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants,» 2015. Tilgjengelig: [http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/Wastewater\\_biogas\\_grey\\_web-1.pdf?fbclid=IwAR0QP63NOF1s6a1oLnN09oC1eEQ4Hd\\_kVfhN\\_Y5uCPILdeZA4bdt\\_EWz8Ew](http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/Wastewater_biogas_grey_web-1.pdf?fbclid=IwAR0QP63NOF1s6a1oLnN09oC1eEQ4Hd_kVfhN_Y5uCPILdeZA4bdt_EWz8Ew), Hentet: 23.05.2019.
- [73] Glamox, «Grunnleggende om LED,» [Online]. Tilgjengelig: <https://glamox.com/no/grunnleggende-om-led>. Hentet: 23.05.2019.
- [74] Huber, «Varmegjenvinning,» [Online]. Tilgjengelig: <https://www.huber.no/Varmegjenvinning.htm>. Hentet: 23.05.2019.
- [75] E. Sørheim, «Grønn strategi,» 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/gronn-strategi/article-140469>. Hentet: 23.05.2019.
- [76] O. Molland, «Kompostering av råslam,» s. 12-18. 2015. [Online]. Tilgjengelig: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1980\\_32001.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1980_32001.pdf). Hentet: 23.05.2019.
- [77] J. Viholainen *et al.*, «Centrifugal compressor efficiency improvement and its environmental impact in waste water treatment,» *Energy Conversion and Management*, vol. 101, s. 336-342, 2015. [Online]. Tilgjengelig: doi: 10.1016/j.enconman.2015.05.054. Hentet: 23.05.2019.
- [78] R. Saidur, «A review on electrical motors energy use and energy savings,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, nr. 3, s. 877-898, 2010. [Online]. Tilgjengelig: doi: [10.1016/j.rser.2009.10.018](https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.018) Hentet: 23.05.2019.
- [79] PipeFlow, «Pipe pressure Drop Calculations,» [Online]. Tilgjengelig: <https://www.pipeflow.com/pipe-pressure-drop-calculations>. Hentet: 23.05.2019.

## Liste over Figurer

Figur 1: Skissen viser hvordan ristgodset vaskes og fraktes videre til kontainer. ....	19
Figur 2: Hartmann sand- og fettfang. Hos Kvernevik er sandfangbiten ytterst på systemet, i motsetning til hos Ytre Sandviken. Årsaken er at produsenten valgte å endre dette da Kvernevik skulle bygges. Illustrasjon: Johnson, Augon, Bergen Kommune. ....	20
Figur 3: Biologisk rensetrinn. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune. ....	21
Figur 4: Sedimenteringsbasseng. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune ....	22
Figur 5: Illustrasjon av filterbeltepresse (Gjengitt med tillatelse fra Linda Balogh Processingenjör, VA-verket) Illustrasjon: Fredrik Collij, Kävlinge Kommune, Sverige. ....	23
Figur 6: Sentrifugene som står over slamsiloene før det blir transportert vekk. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune. ....	23
Figur 7: Fra venstre: grovrist, sandfang, musling. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune ....	24
Figur 8: Hartmann sand- og fettfang. Illustrasjon: Johnson, Augon, Bergen Kommune ....	25
Figur 9: MBBR-basseng. Øverst på figuren er det en illustrasjon av biomediene. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune. ....	26
Figur 10: Venstre til høyre. Trinn en: tilsetning av jernklorid med omrøring. Trinn to: tilsetning av sand og polymerer med omrøring. Trinn tre: sedimenteringsbasseng. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune. ....	27
Figur 11: Til venstre, tilsetning av polymerer og flokkulering. Til høyre, sedimenteringsbasseng. Illustrasjon: Augon Johnsen, Bergen Kommune. ....	27
Figur 12: Sentrifugene som står over slamsiloene før det blir transportert vekk. Tegner: Augon Johnsen, Bergen Kommune. ....	28
Figur 13: Innløpsmengde sammenlignet med energibehov i Ytre Sandviken rensaneanlegg for fem måneder i 2018. ....	29
Figur 14: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Ytre Sandviken rensaneanlegg for måneder i 2018. ....	29
Figur 15: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Ytre Sandviken avløpsrensaneanlegg fra uke 34 til 52. ....	30
Figur 16: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Ytre Sandviken avløpsrensaneanlegg fra uke 1 til 52. ....	30
Figur 17: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Ytre Sandviken avløpsrensaneanlegg fra 17. august til 31. desember 2018. ....	30

Figur 18: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Ytre Sandviken avløpsrenseanlegg fra 1. januar til 31. desember 2018.....	30
Figur 19: Fordeling av energibehovet for de ulike prosessene. ....	31
Figur 20: Sektordiagram av delprosessene. ....	32
Figur 21: Viser innløpsmengde og energibehovet til avløpsrenseanlegget i Ytre Sandviken uten påvirkning av nedbør.....	32
Figur 22: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Kvernevik avløpsrenseanlegg fra mars til desember 2017 med hensyn på data per måned. ....	34
Figur 23: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Kvernevik avløpsrenseanlegg fra januar til desember 2017 med hensyn på data per måned. ....	34
Figur 24: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Kvernevik avløpsrenseanlegg fra mars til desember 2017 med hensyn på data per uke. ....	34
Figur 25: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Kvernevik avløpsrenseanlegg fra januar til desember 2017 med hensyn på data per uke. ....	34
Figur 26: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Kvernevik avløpsrenseanlegg i 2018 med hensyn på data per måned. ....	34
Figur 27: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Kvernevik avløpsrenseanlegg i 2018 med hensyn på data per måned.....	34
Figur 28: Innløpsmengde sammenlignet med totalt energibehov i Kvernevik avløpsrenseanlegg i 2018 med hensyn på data per uke.....	35
Figur 29: Innløpsmengde sammenlignet med nedbørsmengde i Kvernevik avløpsrenseanlegg i 2018 med hensyn på data per uke.....	35
Figur 30: Sektordiagram av det totale energibehovet fra Kvernevik i 2017 (mars til desember). ....	35
Figur 31: Sektordiagram av det totale energibehovet fra Kvernevik 2018. ....	36
Figur 32: Viser energibehovet til noen av de ulike postene i 2018. .... <b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>	
Figur 33: Effektivitet sammenlignet med innløpsmengde og energibehov i 2018. ....	37
Figur 34: Effektivitet sammenlignet med innløpsmengde og totalt energibehov i perioden uke 34 til 52 i 2018. ....	38
Figur 35: Effektivitet sammenlignet med energibehov i perioden uke 34 til 52 i 2018. ....	38
Figur 36: Temperatur i luftbasseng 1 og 2 sammenlignet med innløpsmengde i 2018. ....	39
Figur 37: Innløpsmengde sammenlignet med temperaturene i Luftbasseng 1 og 2 i perioden uke 34 til 52 i 2018.....	39

Figur 38: Effektiviteten sammenlignet med temperatur i luftbasseng 1 og 2 i perioden uke 34 til 52 i 2018.....	40
Figur 39: Målinger i periode med tilnærma ingen nedbør. (12.05.2018-10.06.2018).....	40
Figur 40: Energibehov fordeling i de ulike prosessene i 2017 (mars- desember) .....	41
Figur 41: Energibehov fordeling i de ulike prosessene i 2018.....	41
Figur 42: viser en sammenligning av energibehovet og innløpsmengden for anlegget i Kvernevik og Ytre Sandviken. ....	44
Figur 43: Energibehov fordelt på de ulike sektorene for Kvernevik i perioden 17.08.2018- 31.12.2018. ....	45
Figur 44: Energibehov fordelt på de ulike sektorene for Ytre Sandviken i perioden 17.08.2018- 31.12.2018.....	45
Figur 45: Sammenligning av Energibehovet til ventilasjon og innløpsmengden til Kvernevik og Ytre Sandviken.....	46
Figur 46: Fordeling av energibehovet på de ulike prosessene i perioden 17.08.18-31.12.2018 på Kvernevik.....	47
Figur 47: Fordeling av energibehovet på de ulike prosessene i perioden 17.08.18-31.12.2018 i Ytre Sandviken.....	47
Figur 48: Linjediagram over de ulike prosessene sammenlignet med innløpsvann. ....	48
Figur 49: Viser en sammenligning over energibehovet til blåsemaskinene og energibehovet for hele renseprosessen i prosess 2. ....	50
Figur 50: Sammenlikning av energibehovet til blåsemaskinene i prosess 2 i Kvernevik og Ytre Sandviken med innløpsvannet i uke 34-52 2018. ....	51

## Liste over Tabeller

Tabell 1: Viser resultat av beregnet totalt energibehov for 2018 i Ytre Sandviken.....	31
Tabell 2: Viser resultat av beregnet kWh per kg fjernet BOF og KOF.....	33
Tabell 3: Energibehovet av anlegget i Kvernevik per m <sup>3</sup> for to lengre perioder. Gjennomsnittsverdiene er tilnærmet lik hverandre.....	37
Tabell 4: Viser resultat av beregnet kWh per kg fjernet BOF og KOF.....	41
Tabell 5: Oversikt over energibehovet, innløpsmengde og effektivitet i tidsrommet 17.08.2018- 31.12.2018.....	44

Tabell 6: Viser gjennomsnittlig energibehov per kubikkmeter for de to ulike rensetrinnene, som skiller avløpsrenseanleggene i sin helhet.....	48
Tabell 7: Oversikt over gjennomsnittlig energibehov per kubikkmeter vann for ulike land som også bruker biologisk-kjemisk renseprosess i sekundærrensetrinnet[64].....	49
Tabell 8: Energiforbruket for ulike land som også anvender aktivslam metode i avløpsrenseprosess [64]. .....	49
Tabell 9: Viser oversikt over KOF og BOF for begge avløpsrenseanleggene, og hvor mye energi de bruker per kg på fjerningen. ....	51
Tabell 10: Oversikt over målinger gjort på KOF i andre lands tilsvarende avløpsrenseanlegg .....	52
Tabell 11: Viser energikonsumet til avløpsrenseanlegg i andre land [67]. ....	52
Tabell 12: Strømpriser er hentet fra LOS[68].....	53
Tabell 13: Viser en oversikt over kostnader brukt på strøm i perioden mars-desember 2017 i Kvernevik.....	53
Tabell 14: Viser en oversikt over kostnader brukt på strøm i 2018 i Kvernevik.....	54
Tabell 15: Viser en oversikt over kostnader brukt på strøm i 2018 i Ytre Sandviken.....	54
Tabell 16: Energiforbruk dekket av slam.....	56