

Vedlegg 2: Vurdering av renseteknologi

Dette dokumentet omhandler beskrivelse av ulike alternativer for rensesprosess inklusiv omtale av viktige komponenter. Ulike renseteknologier, samt fordeler/ulempes ved de ulike alternativene vurderes.

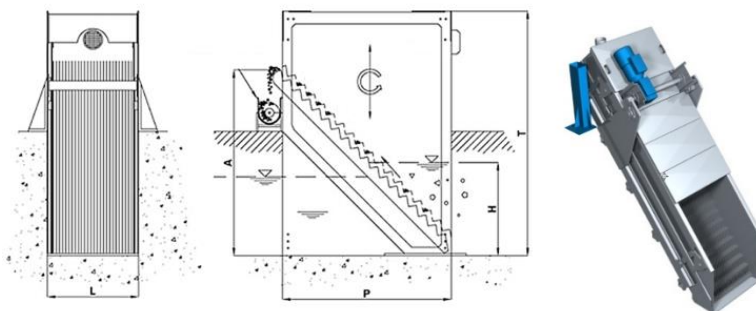
1.1. Forbehandling

Alle rensesprosessene forutsetter en forbehandling som skal fjerne mest mulig avløpssøppel, fett og sand før videre behandling. Forbehandling i et sekundærrensaneanlegg består primært av rister og sandfang med eventuelt integrert fettfang. Dette trinnet kan i grove trekk utformes likt uavhengig av videre prosess. Forbehandlingen vurderes derfor likt for samtlige alternativ.

1.1.1. Innløpsrist

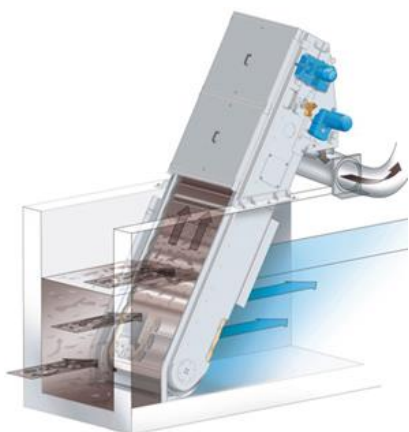
Risten har som hovedfunksjon å fjerne avløpssøppel fra avløpsvannet. Dette er nødvendig for å beskytte etterfølgende prosesstrinn fra tilstopping, redusert effektivitet og skader. Det er i hovedsak tre typer trapperist, båndrist og skruesil.

Trapperist, rist med vertikale spalter, der avløpssøppelet fraktes oppover av risten selv, typisk lysåpning 2- 6 mm. Mekanisk rensing.



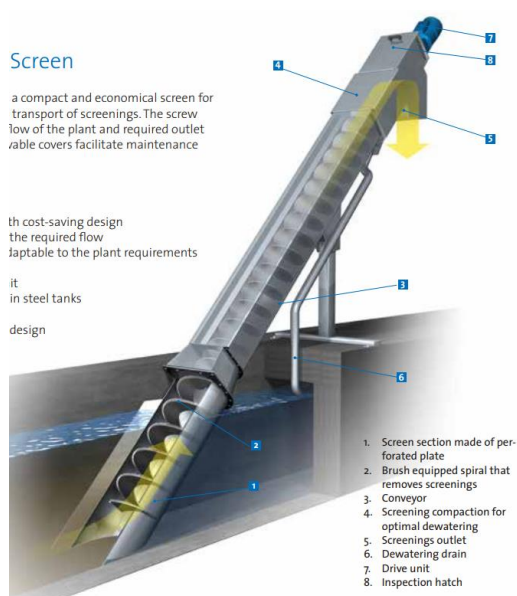
Figur 1: Trapperister, fra evotech.com og lackeby.com

Båndrist, rist med perforerte plater som roterer. Mekanisk rensing og spyling, lysåpning for sirkulære hull 3-6 mm. Disse brukes mest på større rensaneanlegg.



Figur 2: Båndrist fra Huber.no

Skruesil med integrert skruetransport, vasking og avvanning av ristgods i ett trinn, typisk lysåpning 0,5-6 mm spalte eller perforert plate.



Figur 3: Innløpssil med skrue fra lackeby.com

Ristene plasseres i kanal ved innløpet til renselanlegget eller i en tank på dekket. Det bør være to eller flere linjer slik at én linje kan tas ut for vedlikehold og at øvrig(e) linje(r) dimensjoneres for å håndtere $Q_{maksdim}$.

Etter innløpristene er det vanlig å installere en ristgodsvasker som fjerner mest mulig organisk materiale fra ristgodset. Denne følges av en presse som avvanner ristgodset slik at det får et tørrstoffinnhold på opptil 60 %.

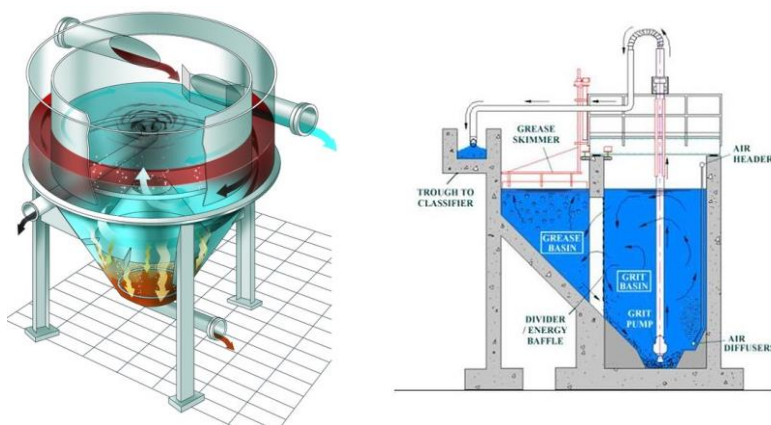
Ristgodset leveres vanligvis til forbrenning på avfallsanlegg da det normalt har for høyt innhold av organisk materiale til å deponeres.

Rist med lysåpning 3-6mm hull er passe her, avhengig av renseprosess. Spyling av rist og avløpssjøppel kan gjøres med rensset avløpsvann, men det anbefales at det legges opp til back up med spyling med drikkevann. Dette spylevannet tas fra anlegg med brutt vannspeil - vannmengde for spyling er viktig for dimensjonering av dette anlegget.

1.1.2. Sand- og fettfang

Vannet ledes etter ristene til sand- og fettfang. I et tradisjonelt plasstøpt sand- og fettfang tilføres det luft slik at olje og fett flyter opp til overflaten og kan separeres herfra, mens tyngre partikler som sand og for eksempel kaffebrut sedimenterer. Fettet skrapes av på toppen og føres til en fettkum og hentes derfra for videre behandling. Sanden pumpes til en sandvasker og føres til en konteiner. Et alternativ til plasstøpt sand- og fettfang er prefabrikkert rundsandfang. I rundsandfang trenger man ikke lufting, og det er derfor svært energisparende i forhold til et tradisjonelt sandfang. Rundsandfang er også arealbesparende. De er utformet i rustfritt stål og kan plasseres nedsenket i dekket.

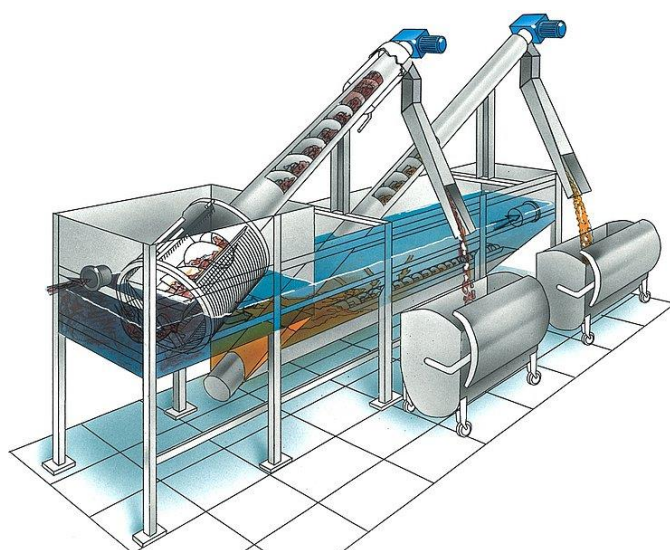
Sanden behandles i en sandvasker for å redusere innholdet av organisk materiale, slik at det kan deponeres.



Figur 4: Rundsandfang fra HRSF Huber og prinsippskisse for langsandfang med mammutpumpe /4/

1.1.3. Kombinert enhet (rist, sand- og fettfang)

Det finnes en type maskin som hvor rist, sand og fettfang leveres som en samlet pakke. De er foretrukket i noen tilfeller av arealhensyn. Enkelte løsninger har ristgodshåndtering (vask og pressing) integrert i risten, andre benytter eksterne vaskepresser. Figur 5 viser et eksempel på en kombienhet. På illustrasjonen skrues sanden opp og ut med skruetransportør, denne bør erstattes med sandpumpe for å frakte utskilt sand til sandvasker.



Figur 5: : Eksempel på kombienhet med rist og sandfang (Huber)

Oppsummering: Som grunnlag i denne rapporten er en kombinasjonsenheter benyttet hvor rist, sand og fettfang leveres som en samlet pakke. Denne er velegnet for mindre til mellomstore anlegg av denne størrelsen. Her er Huber sin Ro9/500 er lagt til grunn, men det finnes flere tilsvarende løsninger på markedet. Dette er en pakke med stor byggehøyde, så det kreves innvendig takhøyde på fem meter i rommet den står.

Det er også mulig å kjøre dette anlegget med kun rist uten sandfang. Likevel et forbehandlingstrinn med sandfang vil redusere slitasje på avløpspumper og komponenter på anlegget. Slitasje på løpehjulet i pumper kan føre til dårligere virkningsgrad, noe som kan gi betydelig

høyere strømganger og mindre pumpeeffekt, samt økt behov for reparasjoner av pumpene.

1.2. Aktuelle renseprosesser

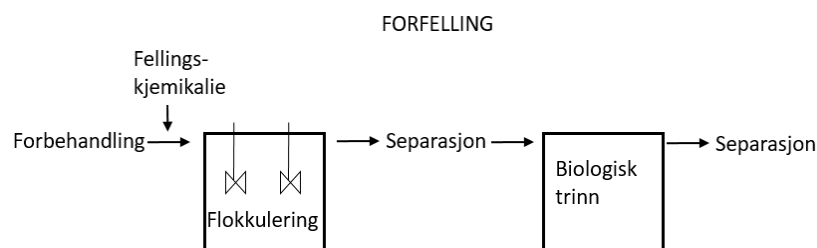
1.2.1. Kjemisk rensing

Kjemisk rensing benyttes for å felle ut fosfor fra avløpsvannet. Et tradisjonelt oppsett innebærer at fellingskjemikalium tilsettes avløpsvannet (etter forbehandling eller etter biotritt) før et flokkuleringsbasseng. Hensikten med flokkuleringen er å få de utfelte partiklene med fosfor og fellingskjemikalium til å bli større partikler, slik at separasjon blir mulig. Etter flokkulering kommer et slamseparasjonstrinn. Det er mange ulike løsninger for slamseparasjon. Som fellingskjemikalium benyttes jern- eller aluminiumssalter. Det kan også benyttes kalk eller kombinasjon av kalk og jern, men det er blitt mer uvanlig på norske renselanlegg på grunn av driftsproblemer med støv og kalkbelegg på anlegg med kalkfelling.

Det er mulig å utforme et kjemisk rensetrinn med følgende alternativer:

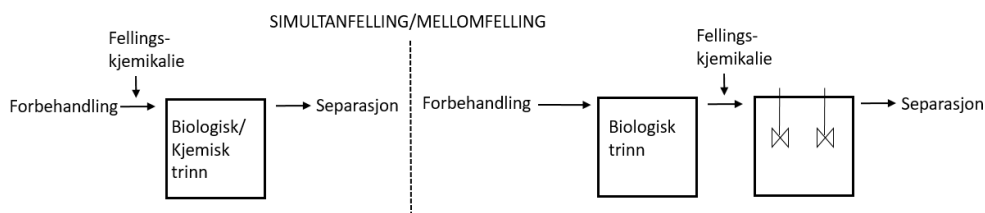
- Forfelling
- Simultanfelling/mellomfelling
- Etterfelling

Forfelling innebærer at man feller og separerer slam før vannet går videre til biologisk rensing. Dette er en forholdsvis arealkrevende løsning, ettersom man må ha to separasjonstrinn. Samtidig vil man redusere belastningen på det biologiske trinnet, noe som gjør at de biologiske reaktorene blir mindre, og man sparer lufting av et større biologisk trinn.



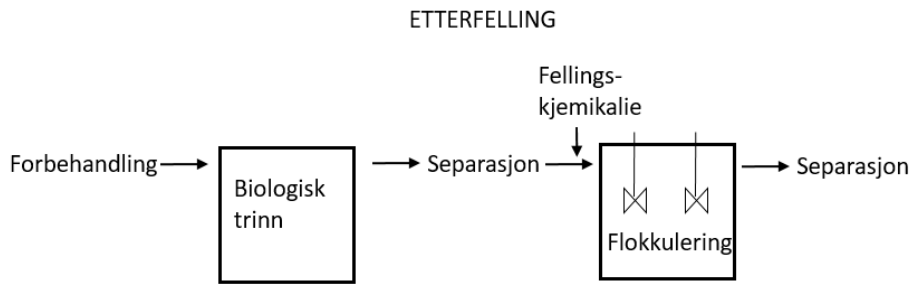
Figur 6: Prinsippskisse kjemisk rensing med forfelling etterfulgt av biologisk trinn.

Simultanfelling forbindes oftest med aktivslamanlegg, og brukes ved biologisk-kjemisk rensing i SBR-anlegg. Men det er også mulig med simultanfelling til et biofilm-anlegg (for eksempel MBBR). Forskjellen er at ved aktivslam-anlegg skjer biologisk rensing og kjemisk rensing i samme reaktor. I biofilmanlegg legger man som regel flokkuleringen i egne flokkuleringskamre etter biologisk reaktor. Dette er kalt mellomfelling i Figur 7. Ved simultanfelling er det kun ett felles separasjonstrinn etter biologisk og kjemisk rensing.



Figur 7: Prinsippkisse for simultanfelling og mellomfelling. Simultan benyttes i SBR-prosesser, mellomfelling benyttes ofte i kombinasjon med MBBR.

Ved etterfelling er biotrinnet og kjemisk rensetrinn separert, ved at det er et eget slamseparasjonstrinn etter biotrinnet, før kjemisk rensetrinn. Her blir det også, som i forfelling, to separasjonstrinn som dermed er mer arealkrevende. Fordelen med et etterfellingstrinn er at man får en god sikkerhet med tanke på å opprettholde renseresultater ettersom kjemisk felling fanger opp partikulære forurensninger som ikke fanges opp i biotrinnet. Det er også mulig å ha både forfelling og etterfelling i samme anlegg, men det krever forsedimentering foran biotrinnet, og anlegget blir nødvendigvis enda større.

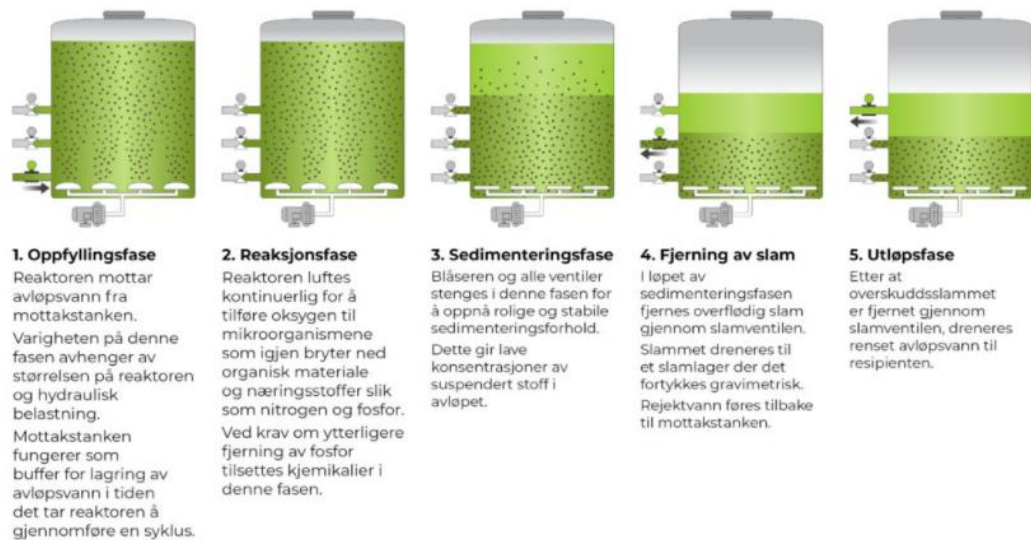


Figur 8: Prinsippskisse for etterfellingsanlegg.

1.2.2. Aktiv slam- Sequencing Batch Reactor (SBR)

SBR står for Sequence Batch Reactor. Det er en biologisk-kjemisk prosess med et utjevningsvolum foran flere reaktortanker der prosessen foregår stegvis. SBR skiller seg ut fra andre biologiske renseprosesser ved at hver syklus foregår i en og samme reaktor. Prosessen er en god løsning på grunn av sin fleksibilitet med hensyn på hydraulisk så vel som organisk variasjon i innløp. Renseytelsen er stabil bl.a. fordi renseprosessen skjer i et lukket volum, frikoblet fra tilrenningsvariasjonen oppstrøms anlegget. Bruk av utjevningsvolum foran biologisk trinn gir både hydraulisk og organisk utjevning av maksimalverdier, noe som gir mer forutsigbare prosessbetingelser. En syklus består av følgende trinn som er også vist i Figur 9;

1. Fylling
2. Biologisk oksidasjon (mikroorganismene forbruker organisk materiale)
3. Sedimentering av aktivslam
4. Dekantering av rensset avløpsvann
5. Tømming av overskuddsslam



Figur 9: Forskjellige faser av en SBR prosess basert på aktiv slam (kilde: Biovac®)

SBR kan suppleres med kjemikaliedosering for simultanfelling, da skjer både rensing (biologisk og kjemisk) og separasjon i samme tank. Fordeler med SBR sammenlignet med tradisjonell aktivslam er blant annet følgende;

- Slipper eget separasjonstrinn
- Fleksibilitet etter at rensesekvens blir kontinuerlig justert i henhold til hydraulisk belastning
- Biologisk og kjemisk trinn i samme reaktor (simultanfelling)
- Høy toleranse mot belastningsvariasjoner
- Unngår slamflukt som følge av høy belastning

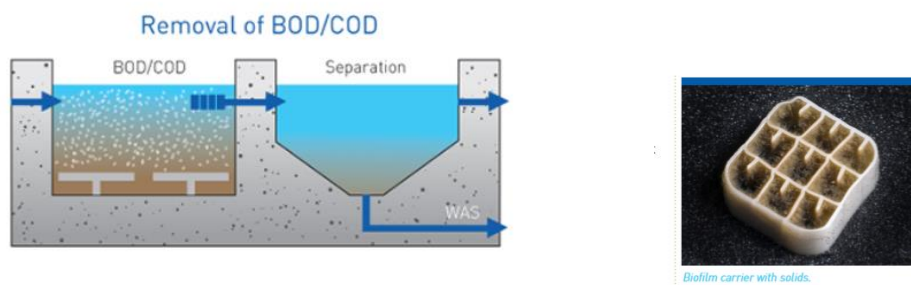
Ulempen med prosessen er at man risikerer slamfukt under dekantering av rensset avløpsvann om man ikke stopper dekanteringen før man kommer til slamnivået i tanken. Ettersom rensingen foregår batch-vis ved SBR trengs det et utjevningsvolum (mottakstank) før reaktorene.

1.2.3. Biofilm - Moving Bed Bioreactor (MBBR)

Dette er den mest utbredte rensesprosessen for sekundærrensing og nitrogenfjerning i Norge. Det er en norsk oppfinnelse som det er gode erfaringer med, også til oppgradering av eksisterende anlegg uten for store ombygginger. Patentet på denne type biofilmbærere er gått ut og de

produseres over hele verden. Mange leverandører har egne patenterte varianter av hele systemløsningen.

Biomassen som omdanner oppløst og partikulært organisk stoff til vokser på innsiden av biofilmbærere som beveger seg i reaktoren, derav navnet Moving Bed. Det organiske stoffet omdannes til CO_2 og ny bakteriebiomasse som blir slam. I denne applikasjonen er det nødvendig med lufting, denne gir oksygen til prosessen og sørger for at biofilmbærerne beveger seg i reaktoren. Reaktorene dimensjoneres utfra organisk overflatebelastning, $\text{kg BOF}_5/\text{d m}^2$, der arealet er biofilmarealet. Biofilmbærerne finnes i mange utførelser med forskjellig areal/volumforhold. Nødvendig volum på reaktor bestemmes da av tilført mengde organisk stoff, biofilmbærernes areal/volumforhold og fyllingsgraden.



Figur 10: Moving bed Bioreactor, MBBR og bæremedie fra Biowater.no

Det er få kjente ulemper med denne prosessen, bortsett fra at det kan være noe problemer med sedimentasjonsegenskapene hvis det er høy belastning og det ikke er etterfelling/polymertilsetning før sluttseparasjon.

Det finnes mange renseanlegg, både små og store, som har denne prosessen for biologisk rensing, bl.a. to anlegg i Bergen og Odderøya renseanlegg i Kristiansand.

En annen generell risiko med biologiske renseprosesser er at mikroorganismene kan slås ut hvis det kommer giftige stoffer med avløpsvannet. Det har vist seg at biofilmanlegg (for eksempel MBBR) er mer motstandsdyktig mot slike hendelser enn f.eks. en aktivslamprosess. Biofilmanlegg har også vist seg å gi bedre rensresultater i

snøsmeltingsperioder hvor det kommer mye kaldt avløpsvann til anleggene.

Oppsummering: Hovedbelastningen på Bjorli RA kommer fra fritidsboliger og det er forventet store variasjoner i vannmengde og stoffmengde inn til anlegget. Derfor anbefales et biologisk rensetrinn basert på SBR-prosessen den satsvise driften gir større fleksibilitet til å håndtere variasjoner i belastning i forhold til en kontinuerlig dreven prosesser. SBR anleggets rensesekvens blir kontinuerlig justert i henhold til hydraulisk belastning på renseanlegget, og det kan programmeres slik at driften er tilpasset situasjoner med høy og lav organisk belastning.

1.3. SEPARASJONSPROSESSER

Avhengig av prosessammensetning med biologisk og kjemisk felling, vil det være behov for ett eller to slamseparasjonstrinn. Hvilken separasjonsløsning som er hensiktsmessig, avhenger av slammets mengde og egenskaper. Tradisjonelle slamseparasjonsløsninger er sedimentering eller flotasjon.

1.3.1. Silanlegg for separasjon av primær slam

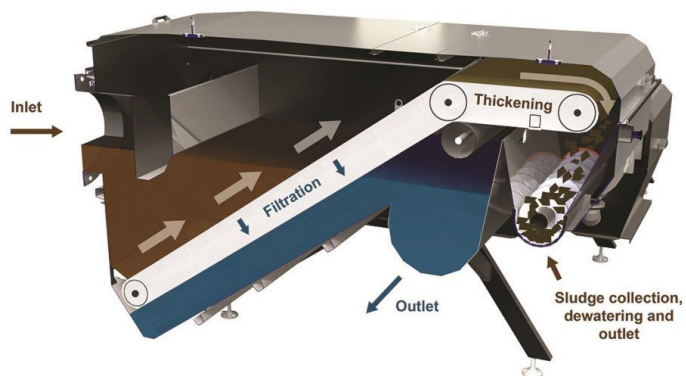
Siling er en enhetsprosess der partikler separeres som følge av at de er større enn lysåpningen i den silflaten avløpsvannet passerer. Partikler mindre enn lysåpningen kan fjernes dersom slammet som avsettes på silflaten virker som et påleggsfilter (filtermatte). Det kan skilles mellom grovsiler, finsiler og mikrosiler avhengig av lysåpningen: grovsiler 2 mm - 0,5 mm, finsiler $< 0,5$ mm - $> 0,1$ mm og mikrosiler $\leq 0,1$ mm.

Sil brukes også ved primærrensing. Renseeffekten av silanlegg er avhengig av flere faktorer bl.a. sammensetning av avløpsvann, lysåpning og hydraulisk belastningen og om det brukes polymer foran for koagulering. Dersom man ønsker å oppnå høyere fjerning av SS i primærrensingen kan dette gjøres ved å ha en flokkuleringssone med ca. 2 min oppholdstid foran finsilen og dosere mellom 0,5 og 1 mg/l av en kationisk polymer.

I nye silanlegg benyttes det roterende trommelsiler eller roterende båndsiler. Figur 11 viser et eksempel på båndsil med avløpsvannet som ledes inn i den trommelen som består av en duk. Det avsatte slammet

transporteres ut av siltrommelen ved hjelp av en skrue inne i siltrommelen. Silbåndet beveger seg enten kontinuerlig eller diskontinuerlig, og slammet som legger seg på silflaten vil virke som et filter som forbedrer separasjonen. Filtermatten som dannes på silen er avgjørende for rensresultatet. Når silslammet når toppunktet av silen separeres det fra silflaten ved at det børstes eller blåses av. Båndsiler har luftkniv eller skarpe som en løsning for å fjerne slam fra silduken som gir høyt tørrstoffinnhold i slammet, dvs. slammet kan lagres eller transporteres uten behov for slamavvanning. Imidlertid er det nødvendig med avvanningsmaskiner for trommelsiler.

Finsiler. kan også som eneste trinn, uten rist eller sandfang foran. Da vil slammet også inneholde avløpssjøppel.



Figur 11: Silanlegg med båndsil (Salsnes filter)

Oppsummering: Finsiling i et båndfilter anbefales i dette tilfellet for å redusere tilførselen av slam til infiltrasjonsbassengene. Silingen reduserer også belastning på etterfølgende biologiske rensprosesser og gjør et en kan redusere volum på bioreaktorer med opptil 20 %.

1.3.2. Sedimentasjon

Sedimentasjon er velkjent og enkelt, men arealkrevende, jf. Figur 12. Slammet bunnfelles, skrapes bort til en slamlomme og pumpes til fortykning og videre slambehandling. Denne separasjonsmetoden gir typisk 0,5-2 % tørrstoff i slammet.

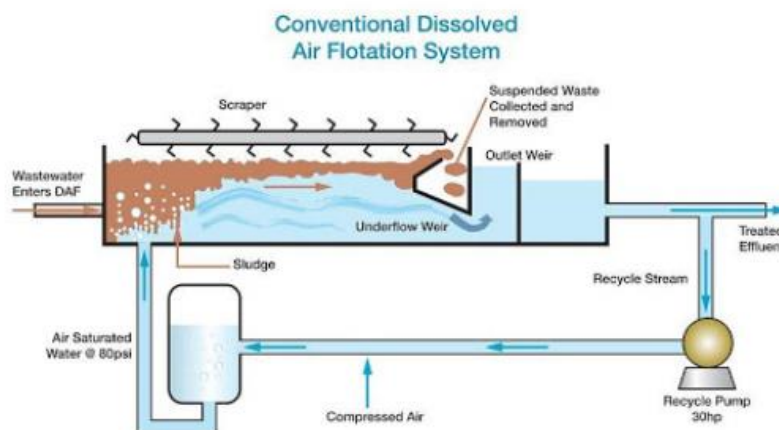
Renset avløpsvann trekkes av på toppen i en renne og går til utløp. Dette er en stabil og driftssikker prosess, men til gjengjeld den meste arealkrevende løsningen.



Figur 12: Sedimentasjonsbasseng (kilde: Nordic Water.com)

1.3.3. Flotasjon

Flotasjon er noe mer komplisert og adskillig mindre arealkrevende enn sedimentasjon. Avløpsvann tilsettes polymer og kanskje fellingskjemikalie og føres inn i enheten sammen med trykksatt og luftmettet vann fra utløp. Luften i returstrømmen vil slippe i bassenget og dra med slammet til overflaten der det skrapes av.



Figur 13: Flotasjon - prinsipp

Utstyret kan settes i bassenger eller leveres frittstående. Flotasjon krever kun ca. 30 % av arealet til et sedimentasjonsbasseng. Konseptet er brukt på flere anlegg med MBBR teknologi i Norge og på noen renseanlegg som eneste rensetrinn. Det framgår at det er noe mer kostbart og komplisert enn sedimentasjon, og trykksetting av returstrømmen (5- 10 % av vannmengden) krever en del energi. Slammet har et ganske høyt tørrstoffinnhold, så slamlagrene kan bygges mindre enn ved andre separasjonsprosesser.

1.3.4. Sedimentering eller flotasjon?

Den store forskjellen på de to prosessene for sluttseparering er at sedimentering krever et stort areal, mens flotasjon har mer mekanisk utstyr som krever oppfølging, og det har et større energibehov. Momenter i vurderingen er kort beskrevet her.

Fordeler og ulemper med flotasjon kan beskrives som følger:

- + Lite arealbehov.
- + God fjerning av partikler, også lette stoff som flyter eller har meget lav synkehastighet.
- + Slam fra overflateskrapene kan ha ca 5 % tørrstoffinnhold, som er et bra utgangspunkt for avvanning uten videre fortykning.

- Sårbar for stans i komponenter. Hvis dispergeringsanlegget stopper vil renseeffekten bli nesten borte i løpet av minutter.
- Dispergeringsanlegget må levere for største vannmengde, med ca. 10 % av vannføringen som pumpes til ca. 5 bar trykk.

- Innregulering av dispergeringskretsen krever oppfølging: Vannmengde i pumpa, innsug av riktig mengde luft, innstilling av dysene med trykkfall fra 5

bar til utblanding med jevn fordeling i bassenget. på grunn av samspillet her er det vanskelig å regulere ned dispergeringsvannmengden i takt med avløpsmengden.

- Dysene med trykkfall ca. 5 bar har små gjennomløp og kan gå tett ved bruk av rensed avløpsvann. Krever rutiner for sjekk og spyling. (Åpne helt og sette tilbake i riktig posisjon, en etter en.)

- Noen nyere anlegg har problem med å oppnå stabile, gode rensesresultat. Flotasjon er mer sårbar for uheldige designløsninger, også når de kan synes som bagateller. Prinsippet er bra, men «the devil lies in the details» gjelder i større grad her enn ved sedimentasjon.

Fordeler og ulemper med sedimentasjon kan beskrives som følger:

+ Enkel prosess. Når kjemikaliedosering og flokkulering er vellykket så skjer resten ved hjelp av tyngdekraften.

+ Robust ved feil på komponenter. Hvis slamskraper eller slampumper skulle stoppe så vil slamseparasjonen fortsette upåvirket av det i timevis. (Hvis stopp i slamuttak varer et døgn eller mer kan oppstart bli noe tungt pga. mye og tykt slam).

- Avhengig av at slampartiklene synker. Flyteslam må kunne fjernes med eget avtrekk, og partikler med egenvekt nær vannets vil lett gå med utløpsvannet.

- Slam som pumpes fra slamlommer har normalt 1-2 % tørrstoffinnhold noe lavere tørrstoffinnhold enn slam fra flotasjon stiller større krav til videre slambehandling

Oppsummering: Sedimentering anbefales som slamseparasjonstrinn for Bjorli RA, både i alternativet med kjemisk felling og som en del av SBR prosessen. Sedimentering er en enkel og velutprøvd separasjonsmetode. Flotasjon er generelt en foretrukket løsning når tilgjengelig areal er begrenset, og det ikke er for store variasjoner i vannmengder men det er

ikke et tilfelle for Bjorli RA. Sedimentering har også lavere energiforbruk og klimaavtrykk i driftsfasen.

1.4. Slambehandling

Normalt avvannes slam på større anlegg i 2 trinn- dvs. slammet gjennomgår først en fortykking til 2,5-6,0 % (avhengig av teknologi), og så avvannes det til høyere tørrstoffinnhold.

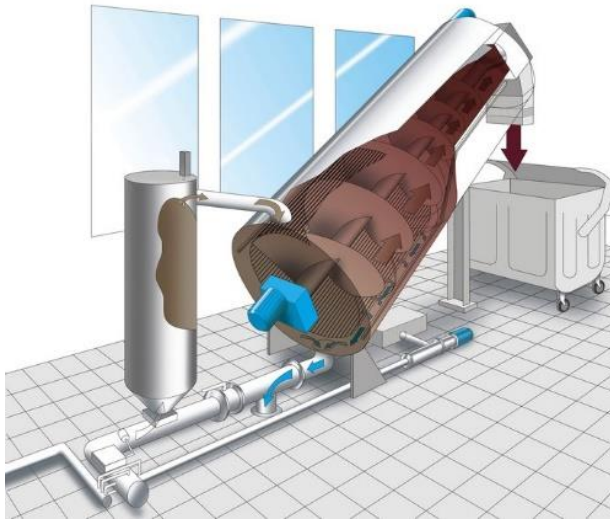
Dette er med forutsetning at slammet skal transporteres videre og ikke direkte inngå i en videregående slambehandlingsprosess.

Avvanningsmaskinene er enten sentrifuger, skruavvannere eller presser. Imidlertid finnes det skruavvannere med en 1-trinns avvanning. Figur 14 viser Q-press som et eksempel på skruavvanner. En kan regne med å oppnå ca. 25 % tørrstoff i avvanningen. Det er noen relative fordeler knyttet til 1-trinns avvanning som kun ett pumpetrinn for slam og kun behov for polymerdosering i ett trinn, samt mindre areal- og vedlikeholdsbehov.

Fra avvanningsmaskinene skrus slammet til containere. Rejektvann fra fortykking og avvanning føres tilbake etter forbehandling i anlegget. Det er svært konsentrert og en bør derfor ha et rejektivannsbasseng som forhindrer sjokkbelastning på bioprosessen. Klarvannet fra fortykkerne føres til rejektivannsbassenget.

Både fortykking og avvanning krevet tilsetning av polymer. Dette er en minimumsbehandling som gir et slam som ikke er stabilisert og hygienisert. Slammet må da sluttbehandles et annet sted. Det bør vurderes om det er hensiktsmessig med avvanning. På små anlegg blir det sjeldent bygd mer enn et dekantert slamlager. Fordelen med å ikke avvanne er færre driftspunkter og mindre behov for personell til å drifte avvanningen, ulempen er mer kjøring med våtslam.

Oppsummering: Det anbefales å bruke skruavvanner for avvanning av slam på Bjorli RA. Disse maskinene krever ikke fortykket slam og en sparer da et prosesstrinn. Skruavvannere anses generelt som noe mer driftsvennlig med lengre levetid enn sentrifuger. Skruavvannere har lavere strømforbruk, mindre støy og produserer rejektivann med jevnere kvalitet.



Figur 14: Skruvavanner for slamavvanning (Huber)