

## Biologisk fosfor- og nitrogenrensing med Hias prosessen

Av Torgeir Saltnes, Anders T. Øfsti, Gjermund Sørensen, Sondre Eikås, Kristine Haualand, Flemming G. Wessman, Freddy P. Ringstad og Bjørn Rusten

Torgeir Saltnes (Ph.D) er senior prosessingeniør i Hias How2O.

Anders T. Øfsti (M.Sc) er daglig leder i Hias How2O.

Gjermund Sørensen (B.Sc) er prosessingeniør i Hias IKS.

Sondre Eikås (M.Sc) er rådgiver i Hias IKS.

Kristine Haualand (M.Sc) er testingeniør i VEAS.

Flemming G. Wessman (M.Sc) er administrerende direktør i ENWA.

Freddy P. Ringstad (Ind.Mek) er salgs- og markedsansvarlig i Pemac.

Bjørn Rusten (Ph.D) er seniorrådgiver i Aquateam COWI.

### Summary

*Biological phosphorus and nitrogen removal by the Hias Process.* The conditions in the Oslo fjord is one example showing that more wastewater treatment plants (WWTP) in Norway should remove nitrogen from the wastewater. In the coming years many Norwegian treatment plants will get this demand. A project group consisting of VEAS, Hias IKS, Aquateam COWI AS, ENWA AS, Pemac AS and Hias How2O AS has joined forces to optimise the nitrogen removal in the Hias process, a biological phosphorous and nitrogen removal process developed at Hias WWTP. The project is financially supported by RFFV (Regional Research Council Viken). Initial pilot scale results from VEAS and Hias show respectively 98 and 97% removal of phosphate. The removal of  $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N}$  was 17 and 48% for VEAS and Hias respectively, without addition of external carbon.

### Sammendrag

Tilstanden i Oslofjorden er et tydelig eksempel på at flere renseanlegg i Norge bør fjerne nitrogen fra avløpet. De kommende årene vil dette kravet komme til mange norske renseanlegg. Med utgangspunkt i Hias prosessen, en biologisk fosfor og nitrogenfjerningsprosess som ble utviklet på Hias renseanlegg ved Hamar, er det igangsatt et samarbeidsprosjekt mellom VEAS, Hias IKS, Aquateam COWI AS, ENWA AS, Pemac AS og Hias How2O AS. Prosjektet er støttet av RFFV (Regionalt ForskningsFond Viken). Målsetningen med prosjektet er å finne de beste løsningene for å øke nitrogenfjerningspotensialet, kombinert med den biologiske fosforfjerningen, i Hias prosessen. Resultater fra innledende pilotforsøk viser at potensialet for biologisk fjerning av fosfat er hhv 98 og 97% for avløpet ved VEAS RA og Hias RA. Uten tilsetning av ekstra karbon ble en fjerning av  $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N}$  på hhv 17 og 48% for VEAS RA og Hias RA oppnådd i innledende forsøk. Videre forsøk ser på ulike måter å øke nitrogenfjerningen på.

## Innledning

Flere renseanlegg i Norge er i ferd med å få krav om å fjerne nitrogen fra avløpet, og det er rimelig å anta at kravet om 70% fjerning vil videreføres til nye anlegg. Dette gjelder først og fremst anlegg med utslipp til ytre Oslofjord, hvor NIVA's undersøkelser (Staalstrøm mf, 2022) har vist at mange av fjordene er sterkt påvirket av nitrogentilførsel fra bl.a. avløp. Nitrogen tilføres og forlater avløpsanlegg hovedsakelig som ammonium ( $\text{NH}_4$ ). For renseanlegg som ikke har krav om nitrogenfjerning vil utslippet av nitrogen nærmest utelukkende være ammonium. Omsetning av ammonium i avløpsvann til nitritt og nitrat, krever tilførsel av oksygen til en nitrifiserende bakteriekultur. Dersom dette ikke gjøres på renseanlegget vil utslippet av ammonium forbruke dette oksygenet i resipienten og lede til eutrofiering.

Biologisk nitrogenfjerning er en prosess hvor nitrifiserende bakterier bruker oksygen for å omdanne ammonium til nitritt ( $\text{NO}_2$ ) og nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Neste trinn i prosessen er å omdanne nitritt/nitrat til nitrogengass vha. denitrifiserende bakterier. Denitrifisering av  $\text{NO}_2/\text{NO}_3$  forbraker karbon, dette kan komme fra organisk materiale i avløpet og/eller det må tilsettes. Tilsetning av karbon i form av f.eks. metanol gjøres på alle norske biofilmbaserte renseanlegg som har krav om nitrogenfjerning. Utenfor Norge er aktivslamprosessen mer utbredt enn MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) (Ødegaard mf, 1994). I en aktivslamprosess er det sjelden behov for dosering av eksternt karbon for denitrifisering, da lange oppholdstider i prosessen gjør karbon tilgjengelig gjennom hydrolyse og fermentering, men dette vil være avhengig av sammensetningen av avløpsvannet.

Hias prosessen er utviklet ved Hias renseanlegg i Ottestad, og er en biologisk fosfor- og nitrogenfjerningsprosess (Saltnes mf, 2017), som bruker biofilmteknologi basert på suspenderte biofilmbærere. Fjerning av både fosfor og nitrogen skjer uten bruk av kjemikalier, i en og samme reaktor. Prosessen baserer seg på å utnytte de ressursene som er i avløpet til å fjerne næringsstoffer. Biologisk fjerning av fosfor og nitrogen

krever karbon, dette karbonet finnes i dag i all hovedsak i avløpet. Nitrogenfjerning i Hias prosessen foregår ved simultan nitrifisering og denitrifisering (SND) i den samme delen av reaktoren, men i ulike lag i biofilmen. Ved å kontrollere mengden oksygen i reaktoren, kan man oppnå nitrifisering i ytre oksiske lag av biofilmen og denitrifisering i indre anoksiske lag av biofilmen. Karbonet som brukes til denitrifisering tas opp av fosforakkumulerende organismer (DNPAO) i de anaerobe delene av reaktoren, og brukes både til fosforopptak og denitrifisering i anoksiske sjikt av biofilmen i den luftede delen av reaktoren. Den simultane nitrifiseringen og denitrifiseringen kan i tillegg foregå ved såkalt delvis nitrifisering og denitrifisering via nitritt, som fører med seg et lavere oksygen- og karbon-behov enn via nitrat.

VEAS, Hias IKS, Aquateam COWI AS, ENWA AS, Pemac AS og Hias How2O AS samarbeider om å optimalisere nitrogenfjerningen i Hias prosessen i et Regionalt ForskningsFond Viken støttet prosjekt. Prosjektet går over 3 år, med omfattende pilotforsøk både på VEAS og på Hias RA.

Målet med prosjektet er å videreutvikle Hias prosessen til å kunne klare Norske rensekrav på 70% nitrogenfjerning, og opprettholde de gode fosforfjerningsegenskapene. Mulige løsninger som skal testes ut i lab og pilotskala er:

- Dosering av eksternt karbon for å øke SND i Hias prosessen
  - Innkjøpte rene karbonkilder
  - Produkt fra hydrolyse av primærslam
- Forsøk med en egen nitrifiserende reaktor utenfor Hias reaktoren som utveksler vann med anoksiske soner i Hias prosessen. Dette kan gi økt denitrifisering i Hias prosessen fordi man også nytter vanlige heterotrofe bakterier som er i stand til å bruke et større spekter av karbonforbindelser fra avløpet enn fosforakkumulerende organismer (PAO) til denitrifisering.

## Metode

Nitrogenfjerningskapasiteten, sammen med kapasiteten til fjerning av organisk materiale og fosfor, er her vurdert ut fra resultater fra pilot-

forsøk på VEAS og demonstrasjonsskala resultater fra Hias RA. På VEAS har et batchanlegg med 2 reaktorer vært i drift i 8 måneder. Dette anlegget vil gi svar på om biologisk fosforfjerning er aktuelt for det tynne avløpet på VEAS, og hva kombinasjonen med nitrogenfjerning kan prestere. Dette anlegget vil vise om biologien som brukes i Hias prosessen vil fungere på VEAS.

Batchreaktoranlegget ble driftet kontinuerlig ved at avløp automatisk fylles, behandles og tømmes etter endt behandling for å fylles på nytt. Syklusen består av en periode med anaerobe forhold i reaktoren etterfulgt av en periode med aerobe forhold. Biologien på bærerne i reaktoren opplever da det samme som de gjør i en kontinuerlig Hias prosess.

Hver batchreaktor har et reaktorvolum på 100 liter. Resultatene fra batchpiloten på VEAS er fra en periode hvor oppholdstiden i reaktoren var satt til 4,5 timer totalt, hvor 30% av tiden var under anaerobe forhold og 70% under aerobe forhold. Fyllingsgraden av biofilmbærere var 40%, noe som ga 320 m<sup>2</sup> biofilmareal/m<sup>3</sup> vått reaktorvolum med den aktuelle bæreren. Løst oksygen (LO) måles med sensorer i begge reaktorer og styrer lufttilførsel for å holde et LO-settpunkt. Nivået av NO<sub>2</sub> og NO<sub>3</sub> måles med en sensor og er en del av LO-styringssystemet (patentsøkt) i Hias prosessen for å kontrollere SND og P fjerning. LO-konsentrasjonen under den luftede delen av syklusen vil dermed variere med avløpets kvalitet/oksygenbehovet, og det vil derfor variere over syklusen. Nivået varierte mellom 2 og 5 mg/l. Den totale organiske belastningen på reaktoren var i gjennomsnitt 2,33 g FKOF/m<sup>2</sup>\*d i perioden.

På Hias RA har en demonstrasjonslinje med Hias prosessen på ca 10 000 pe vært i drift siden 2016. Da Hias RA i dag ikke har krav om å fjerne nitrogen, blir det her presentert data fra en periode hvor Hias prosessen ble driftet for å oppnå nitrogenfjerning.

Reaktorvolumet i den kontinuerlige demonstrasjonslinja på Hias RA er på 730 m<sup>3</sup>, og fyllingsgraden av K3 bærere (AnoxKaldnes) er 55%. Dette gir 275 m<sup>2</sup> biofilmareal/m<sup>3</sup> vått

reaktorvolum. Reaktoren består av 3 anaerobe soner med mekanisk omrøring og 7 luftede soner, alle like i størrelse. Bærere med biofilm og avløpsvann flyter gjennom alle soner i anlegget, og bærerne fra den siste luftede sonen blir løftet tilbake til den første anaerobe sonen. Prinsippet i Hias prosessen er nærmere beskrevet i Saltnes mf, 2017. Avløpsmengden inn til reaktoren varierer med avløpsmengden inn til Hias RA totalt, og gjennomsnittlig oppholdstid er ca 10 timer. Anlegget er utstyrt med det samme LO-styringssystemet som beskrevet for batchanlegget. LO-konsentrasjonen varierer hovedsakelig mellom 2 og 7 mg/l. Den totale organiske belastningen var i gjennomsnitt 3,45 g FKOF/m<sup>2</sup>\*d.

## Resultater og diskusjon

### Avløpsvann

Avløpsvann i Norge er generelt kaldt og tynt pga mye innlekking. Avløpet som tilføres Hias renseanlegg er påvirket av industriavløp 5 av 7 dager i uka, og er generelt kraftigere, har høyere konsentrasjoner, enn mange andre norske avløp. Avløpet ved VEAS renseanlegg er sterkt påvirket av innlekking, og har dermed lave konsentrasjoner av fosfor, nitrogen og organisk materiale. Tabell 1 viser kvaliteten på avløpet ved VEAS og Hias i forsøksperioden. Ved VEAS er avløpet inn til pilotanlegget hentet fra rett etter innløpsristene for å unngå fellingskjemikalier, og på Hias er avløpet hentet etter forsedimentering.

Tabell 1. Kvaliteten på avløpet inn til den biologiske prosessen i forsøksperiodene.

	VEAS RA	Hias RA
P04-P (mg/l)	2,4	5,1
FKOF (mg/l)	137	379
NH4-N (mg/l)	24,5	60
BFKOF (mg/l)	100	267
BFKOF/P04-P	42	52
BFKOF/NH4-N	4,1	4,5
Temperatur (°C)	11 til 18	10 til 15

FKOF: Filtrert KOF, BFKOF: Biologisk tilgjengelig filtrert KOF

Biologisk tilgjengelig filtrert KOF (BFKOF) er regnet ut fra hvor mye filtrert KOF som totalt ble fjernet over pilotanlegget fra innløp til utløp. Fra Tabell 1 kan vi se forskjellene på avløpet ved de to renseanleggene. Konsentrasjonene av alle parameterne i avløpet ved Hias RA er 2-3 ganger høyere enn ved VEAS RA.

Potensialet for å bruke rensemetoder basert på biologisk næringsstoff-fjerning avhenger av hvor mye tilgjengelig organisk materiale avløpet har. Om avløpet har for lite organisk materiale kan dette produseres internt fra slam eller kjøpes inn i form av f.eks. metanol som man er avhengig av ved denitrifisering i tradisjonelle MBBR anlegg. Det som er felles for de biologiske næringsstoff-fjerningsprosessene er at avløpets innhold av tilgjengelig organisk materiale i forhold til innholdet av fosfor og nitrogen vil være avgjørende for hvor mye fjerning man kan oppnå. I Hias prosessen brukes avløpets tilgjengelige organiske materiale til fjerning av fosfor og nitrogen, i en MBBR prosess kan dette brukes til nitrogenfjerning i en for-denitrifiseringsprosess.

Fra Tabell 1 kan man se at forholdet mellom BFKOF og løst fosfat ( $PO_4$ -P) og forholdet mellom BFKOF og ammonium ( $NH_4$ -N) er lavere på VEAS enn på Hias, men begge avløpene har et organisk innhold som er høyere enn det litteraturen sier er nødvendig for å fjerne fosfor vha biologisk fosforfjerning (Janssen, 2002). Forholdet mellom BFKOF og  $NH_4$ -N er rett i overkant av 4 på VEAS, som er det som teoretisk skal gå med for å denitrifisere fra nitrat ( $NO_3$ -N), men det er urealistisk å forvente å få utnyttet alt tilgjengelig organisk materiale i avløpet til denitrifisering. På Hias er dette potensialet større, men dersom Hias får et nitrogenfjerningskrav, vil det trolig være behov for noe internproduksjon eller ekstern dosering av organisk materiale også her.

Sammenligner man disse parameterne med årlige gjennomsnittskonsentrasjoner inn til RA, viser Tabell 2 at BOF/TP og BOF/TN er gode indikatorer for de løste tilgjengelige fraksjonene fra Tabell 1. Vi ser også at VEAS har et BOF/TP forhold som er nærmest identisk med det avløpet

Tabell 2. Gjennomsnittskonsentrasjoner på innløp RA for 2020, for VEAS RA og Hias RA, samt norsk avløp kartlagt i Recover-prosjektet.

	VEAS RA	Hias RA	Utgangspkt. RECOVER, norsk avløp
TP (mg/l)	3,2	7,1	5,0
TN (mg/l)	28	71	37
BOF (mg/l)	123	363	195
BOF/TP	38	51	39
BOF/TN	4,4	5,1	5,3

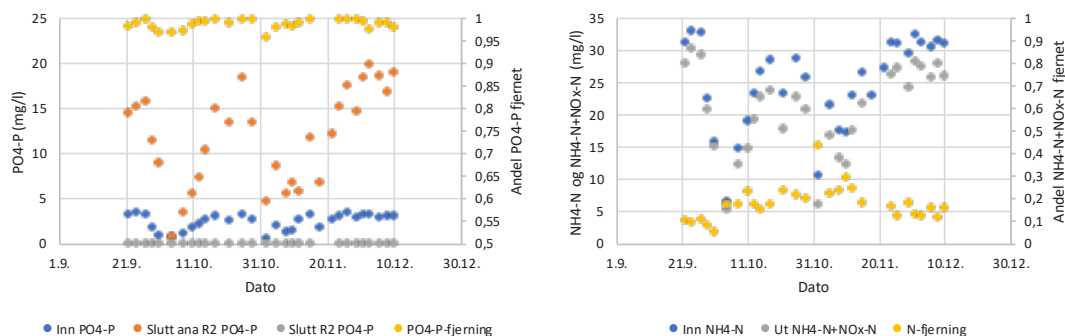
som ble brukt som utgangspunkt for evalueringene av ulike renseløsninger i RECOVER-prosjektet (Helness mf, 2021) Dette avløpet var gjennomsnittet av innrapporterte verdier for alle norske avløpsanlegg større enn 2000 pe i 2015. Tabell 2 viser også at BOF/TN forholdet for både VEAS og Hias er lavere enn for avløpet som ble brukt som utgangspunkt i RECOVER.

Dette bør bety at norsk avløp er godt egnet for biologisk fosforfjerning, og at nitrogenfjerning i Norge i stor grad kan basere seg på karbon fra avløpsvannet.

### Kontinuerlige batchforsøk på VEAS RA

Den første uka av vist forsøksperiode stoppet anlegget flere ganger pga filler i innløpspumpa, og dette ser ut til å ha påvirket nitrifisering (og dermed denitrifisering) noe. Biofilmbærerne i reaktorene på batchanlegget ble fraktet med biofilm fra Hias RA til VEAS, for å korte ned igangkjøringsperioden. Anlegget ble startet opp i juni 2021, og den viste forsøksperioden er fra september til desember 2021.

De store variasjonene i  $PO_4$ -P konsentrasjon på slutten av den anaerobe perioden viser store variasjoner i anaerobt fosforslipp som er proporsjonalt med mengde karbon PAO (fosforakkumulerende organismer) har tatt opp. Det er dette karbonet som skal brukes til fosforopptak og denitrifisering i den aerobe delen av reaktoren. Ved store nedbørmengder blir avløpet tynnet kraftig ned og mengden karbon tatt opp av PAO blir veldig liten. På tross av dette har det biologiske fosforopptaket vært stabilt høyt, med en gjennomsnittlig fjerning på 98%.



Figur 1.  $PO_4\text{-P}$  konsentrasjoner inn, slutten av anaerob tid og ut (mg/l) samt fjerning (venstre).  $NH_4\text{-N}$  konsentrasjoner inn og  $NH_4\text{-N}+NO_x\text{-N}$  ut (mg/l), samt fjerning (høyre) for batch-forsøkene på VEAS RA.

Potensialet for denitrifisering i Hias prosessen bestemmes av hvor mye karbon PAO har fått tatt opp anaerobt, og at det skapes anoksiske forhold inne i biofilmen i den aerobe delen av reaktoren. Styringssystemet sørger for å dosere riktig mengde luft for å sikre fosforopptak, og balansere hastigheten på nitrifisering og denitrifisering. Dersom mengde tilgjengelig karbon er lavt, som i avløp ved VEAS RA, vil det være karbon som begrenser denitrifiseringen, og dermed nitrifiseringen for å balansere de to i SND (Simultan Nitrifisering og Denitrifisering).

Fra Tabell 3 kan man se at oppnådd fjerning av løste nitrogenfraksjoner ( $NH_4\text{-N}$ ,  $NO_2\text{-N}$  og  $NO_3\text{-N}$ ) har vært 17% i gjennomsnitt i perioden, for et avløp med et BFKOF/ $NH_4\text{-N}$  forhold på 4,1. Det var forventet at avløpet på VEAS har et forholdsvis lavt iboende potensiale for denitrifisering, med et lavt C/N forhold. På Hias har man ved tilsvarende temperaturer oppnådd en fjerning av løste nitrogenforbindelser på 48 % i demonstrasjonsskala i forsøksperioden, for et BFKOF/ $NH_4\text{-N}$  forhold på 5,1. Helness mf, (2005) gjorde forsøk i en 20 liter MBBR batch-reaktor som ble tilført avløpsvann og i tillegg ekstra fosfor, nitrogen og karbon for å studere biologisk fosforfjerning og nitrogenfjerning i en biofilmprosess. Konklusjonen viser at ved en organisk belastning på 1,1 g BFKOF/ $m^2 \cdot d$  (1,7 for VEAS og 2,43 for Hias) og et BFKOF/ $NH_4\text{-N}$  forhold på ca 3,8 ble det oppnådd en fjerning av løste nitrogenforbindelser på over 44% (8 mg/l fjerning mot 6 mg/l på VEAS). Dette er en

høyere nitrogenfjerning enn det som ble oppnådd her, men en lavere organisk belastning og lenger oppholdstid kan medføre økt fermentering/hydrolyse av partikulær karbon noe som gir mer tilgjengelig karbon.

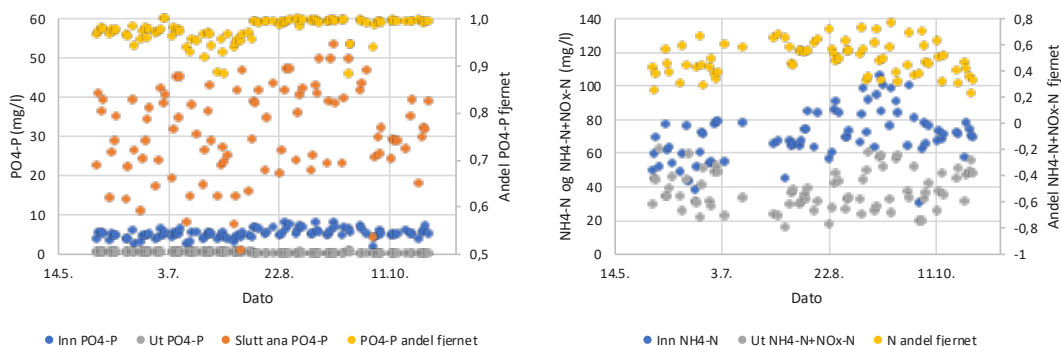
For å demonstrere at nitrogenfjerningen hovedsakelig skjer via SND ble det forsøkt å øke settpunktet for løst oksygen i en syklus. Dette medførte en økning i nitrifiseringen fra ca 20% til 67%, men ingen økning i denitrifiseringen, dette kan skyldes karbonbegrensning av denitrifisering eller at oksygen ble presset lenger inn i biofilmen og reduserte omfanget av anoksiske aktivitet. Dette medførte en opphoping av  $NO_x$  på over 12 mg/l ved slutten av syklusen. Disse resultatene er ikke vist her.

### Demonstrasjonsskala resultater fra Hias RA

Resultatene fra Hias viser en stabil  $PO_4\text{-P}$ -fjerning på i gjennomsnitt 97%, også her med store variasjoner på avløpet inn som gir store variasjoner i anaerobt slipp.

Nitrogenfjerning på Hias for løste fraksjoner, hovedsakelig via SND var i gjennomsnitt 48% i perioden, som er langt på vei mot et 70% krav for fjerning av total N over hele renseanlegget. Om man antar en assimilering på 4% av slamproduksjonen, kan dette utgjøre 6-7 mg N av de 34 mg N som i gjennomsnitt er fjernet.

Det er to måter å gå videre for å øke nitrogenfjerningen på, produsere/tilsette karbon for å øke denitrifiseringskapasiteten i Hias prosessen, eller gjøre resterende nitrogenfjerning i en



Figur 2. PO<sub>4</sub>-P konsentrasjoner inn, slutten av anaerob tid og ut (mg/l) samt fjerning (venstre). NH<sub>4</sub>-N konsentrasjoner inn og NH<sub>4</sub>-N+NO<sub>x</sub>-N ut (mg/l), samt fjerning (høyre) for Hias RA.

Tabell 3. Gjennomsnittlige inn og utløpskonsentrasjoner fra forsøksperioden, og gjennomsnittlig %-fjerning.

	VEAS RA			Hias RA		
	Inn (mg/l)	Ut (mg/l)	%-fjerning	Inn (mg/l)	Ut (mg/l)	%-fjerning
PO <sub>4</sub> -P	2,4	0,03	98	5	0,13	97
NH <sub>4</sub> -N	24,5	18,4	28	70	34,8	52
NH <sub>4</sub> -N+NO <sub>x</sub> -N	24,5	20,7	17	70	37,2	48
FKOF	139	40	71	459	95	70

etterfølgende nitrifisering og denitrifiseringsreaktor. Disse etterfølgende reaktorene vil bli små, da mye av nitrogenet er fjernet i Hias prosessen.

Noe av nitrogenet inn til et renseanlegg vil være bundet til partikler, og noe av det løste nitrogenet vil assimileres i biomasse i biologiske prosesser i anlegget. Det betyr at en effektiv fjerning av suspendert stoff på et renseanlegg vil bidra til total nitrogenfjerning.

### Konklusjon

De innledende forsøkene på VEAS RA og Hias RA viser at avløpet ved begge disse anleggene er godt egnet for biologisk fosforfjerning. Stabilt høye rensegrader over tid viser at denne type biologi har en spesielt god evne til å fange opp variasjoner i avløpet som varierende konsentrasjoner og temperatur. Avløpsvannet som ble brukt som et utgangspunkt i RECOVER prosjektet som var basert på gjennomsnittsverdier fra 2015 for alle innrapporterte avløpsanlegg i Norge over 2000 pe, har et gjennomsnittlig

BOF/TP innhold på 39, dette er betydelig mer enn 25, som er det litteraturen sier er nødvendig for å kunne opprettholde god biologisk fosforfjerning.

Biologisk nitrogenfjerning i Hias prosessen foregår i den samme biofilmen på de samme biofilmbærerne og i den samme reaktoren som den biologiske fosforfjerningen. Karbon fra avløpet utnyttes både til fosforopptak og til denitrifisering.

Avløpets innhold av karbon i forhold til nitrogen vil være med å avgjøre hvor stort det iboende potensialet for biologisk nitrogenfjerning er i Hias prosessen, som for en aktivslamprosess og en MBBR-prosess.

Etter de innledende forsøkene vil prosjektet gå videre med å se på ulike alternativer for å øke nitrogenfjerningen i Hias prosessen. En kontinuerlig pilot av Hias prosessen skal kjøres i gang på VEAS, og driftes der ca et år, hvor man vil prøve ut ulike løsninger. Det skal også prøves ut ulike karbonkilder for å øke nitrogenfjerningen.

## Referanser

Helness, H. og Ødegaard, H., (2005) Biological phosphorous and nitrogen removal from municipal wastewater with a moving bed biofilm reactor. I: Nutrient Management in Wastewater Treatment Processes and Recycle Streams. Krakow: Lemtech Konsulting 2005 ISBN 83-921140-1-9. s.435-444.

Helness, H., Silva, BMG., Østerhus, SW., Azragu, K., Raspati, G., Thelin, W., (2021) Experimental and desktop assessment of wastewater treatment solutions for resource recovery, presentasjon ved NORDIWA 2021.

Janssen, P. M. J., Meinema, K., Van Der Roest, H. F. (2002). Biological Phosphorus Removal: Manual for Design and Operation, London: IWA Publishing.

Saltnes, T., Sørensen, G., Eikås, S. (2017) Biological nutrient removal in a continuous biofilm process. *Water Practice and Tech.* **12**, 4, s 797–805.

Staalstrøm, A., Walday, M., Vogelsang, C., Frigstad, H., Borgersen, G., Albretsen, J., Naustvoll, L.-J., (2022) Utredning av behovet for å redusere tilførsene av nitrogen til Ytre Oslofjord, NIVA RAPPORT L.NR. 7639-2021 for Miljødirektoratet.

Ødegaard, H., Rusten, B., Westrum, T. (1994) A new moving bed biofilm reactor – applications and results. *Water Science and Technology*, v. 29, n. 10-11, p. 157-165.