

## Oversikt over teknologier for gjenvinning av fosfor i avløpsrensaneanlegg

Av Maria M. Estevez og Line Diana Blytt

Maria M. Estevez er kjemiingeniør og har sin doktorgrad fra NMBU i 2013 innen miljøteknologi, og jobber som rådgiver ved Aquateam COWI. Line D. Blytt er sivilagronom og seniorrådgiver hos Aquateam COWI.

Artikkelen er basert på innlegg på seminar i Norsk vannforening 9. mars 2015.

### Introduksjon

Gjenvinning av næringsstoffer fra avløpsvann er et ganske nytt og viktig tema i Norge. Det er derfor relevant å finne bærekraftig teknologi som gir mulighet til å gjenvinne plantenæringsstoffer til å produsere nye salgbare gjødselprodukter for før- og matproduksjon. Det er knapphet på fosfor i verden og Europakommisjonen vurderer fosfat-rock som et kritiske råstoff (ESPP, 2014).

I temaene fra prosjekter fra de ulike EUs forskningsrammeprogrammene (FP6, FP7, Horison2020) har det vært gjennomført forsøk og utvikling innen gjenvinning av næringsstoffer fra ulike avfallsstrømmer. Videre ble det i 2013 opprettet en europeisk fosforplattform for å skape bevissthet om fosforknapphet og å fremme forskningssamarbeid. P-REX-prosjektet (2012-2015) er et eksempel på et prosjekt som har som mål å vurdere nye og lovende prosesser for gjenvinning av fosfor fra avløpsvann og slam, og å finne markedet for slike fosforprodukter som gjødselvarer (P-REX, 2014).

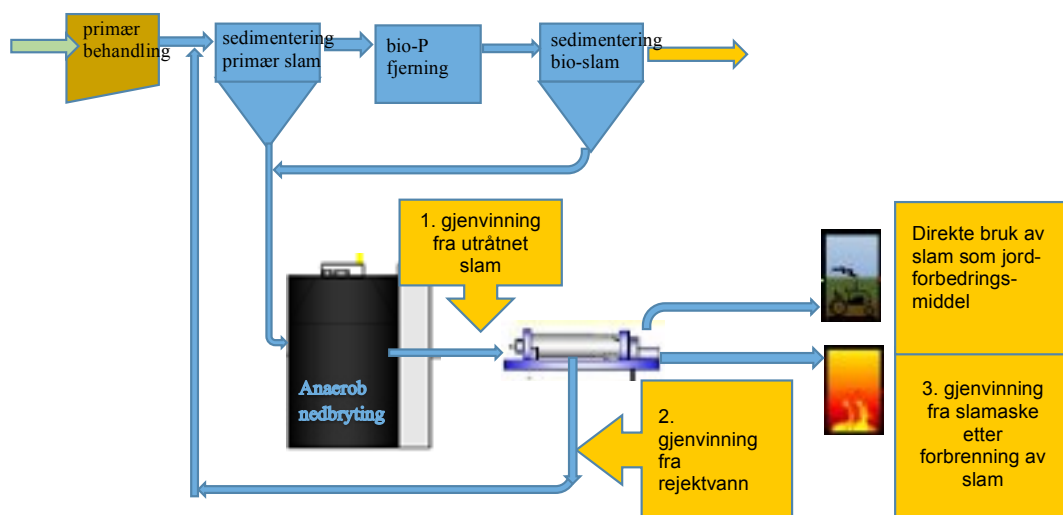
Den mest tradisjonelle måten å gjenvinne fosfor på, er å disponere slam fra avløpsrensaneanlegg direkte på åpen åker i landbruket som et jordforbedringsmiddel. Denne bruken er vanlig i mange europeiske land, som i Norge. Befolk-

ningsøkning og dermed økt tilrenning til rensaneanleggene og mer effektive rensaneanlegg, genererer mer slam, og mulighet for disponering har gjort denne direkte disponeringen vanskeligere. Dette og innstramming i regelverket vedrørende hygiene og spørsmål om miljøgifter og trygge slamspredning, har ført til at mange land vurderer å avvikle direkte bruk. Det letes etter metoder for å redusere slammengdene og heller å skape ny råvare til gjødselproduksjon. I Norge har det vært reist spørsmål om direkte disponering av slam som jordforbedringsmiddel medfører i overkant store enkeltdoseringer av fosfor til jord. Spørsmål om dagens slamdisponering er bærekraftig mht. fosfor knyttes opp til andre målsettinger, som redusert fosforavrenning fra landbruket. Jordas behov for organisk stoff er til stede, men slammet bør i visse landbruksområder være mer fosforfattig hvis dagens praksis skal benyttes i fremtiden.

Vurdering av tilgjengelige teknologier for å gjenvinne fosfor fra avløpsvann i dag, kan deles inn i tre kategorier:

1. Teknologi basert på gjenvinning av fosfor fra utrånnet slam
2. Teknologi som gjenvinner fosfor fra rejektivann etter avvanning av utrånnet slam
3. Teknologi som gjenvinner fosfor fra slammet aske etter forbrenning av slammet

Alternativer vises i figur 1.



Figur 1. Skjema av de forskjellige måter å gjenvinne fosfor på i et avløpsrenseanlegg med biologisk fosforfjerning (P-REX, 2014).

De to første er begrenset til anlegg som gjelder biologisk fosforfjerning siden de vil produsere biologisk bundet P i slammene, som igjen vil slippe dette ut som løselig fosfat under anaerob nedbryting. Dette gjør det mulig å gjenvinne P fra vannfasen (P-REX, 2014).

Teknologiene for å gjenvinne fosfor er basert på fysisk-kjemiske prosesser, for eksempel utfelling av fosforsalter og ulike absorpsjonsmetoder (de Bashan, L. & Bashan, Y., 2004; Crutchik, D. & Garrido, J., 2011). Kjemisk utfelling er den prosessen som brukes i de fleste av teknologiene som er tilgjengelig i full skala i dag. I tillegg har det vært stor FoU-innsats for å utvikle andre innovative metoder for å gjenvinne fosfor, herunder absorpsjon ved magnetiske jernpartikler (Drenkova-Tuhtan et al. 2013) eller bruk av karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ) som løsemiddel for å fange fosforinnholdet (P-REX, 2014). Utfelling av salter, slik som struvitt, kalsiumfosfat og kaliumfosfat, er noen eksempler på sluttprodukter fra de ulike gjenvinningsteknologiene.

## Gjenvinning av fosfor fra vannfase fra rejektivann eller uavvannet utrånnet slam

For å kunne gjenvinne fosfor fra utrånnet slam og rejektivann etter avvanning av utrånnet slam,

er det lurt å bidra til å øke tilgjengeligheten av fosforet. Termisk hydrolyse og syreoppløsning vil kunne spille en viktig rolle som forbehandlingsmetode før den kjemiske utfelling av fosforholdige salter kan finne sted (Sartorius et al., 2011; Kabbe, 2013; P-REX, 2014). Eksempler på leverandører som tilbyr fullskalateknologi er presentert i tabell 1.

Struvitt kalles ofte MAP i litteraturen, magnesiumammoniumfosfat ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) som er en krystall som utfelles når de tre komponentene er i løsning og pH er høyere 9, se figur 2. Til opplysning står MAP i gjødselindustrien for mono ammonium phosphat og det kan skape misforståelser i begrepene struvitt “MAP” og fosforgjødsel “MAP”.

Struvittutfellingsprosessen er State-Of-The-Art for fosforgjenvinning. I mange renseanlegg kan det forekomme spontan struvittutfelling i tanker, pumper eller rørsystemer når disse vilkårene er oppfylt, og dette forårsaker problemer, økt vedlikehold og tap av prosesskapasitet (Parsons & Doyle, 2004; Marti et al., 2008). Det er derfor stilt spørsmål om kontrollert fosforutvinning i en avløpsrenseprosess kan bidra til å redusere slike driftsproblemer.

Prosessteknologi	Leverandør	Fullskala anlegg	Produkt
PEARL®	Ostara	8	Struvitt
Crystalactor®	Royal Haskoning DHV	5	Struvitt/CaP
NuReSys®	NuReSys	6	Struvitt
AirPrex®	PCS GmbH	5	Struvitt
PhosPAQ®	PAQUES	4	Struvitt
RePhos®	Remondis aqua	1	Struvitt
Fix-Phos	TU Darmstadt	1	CaP

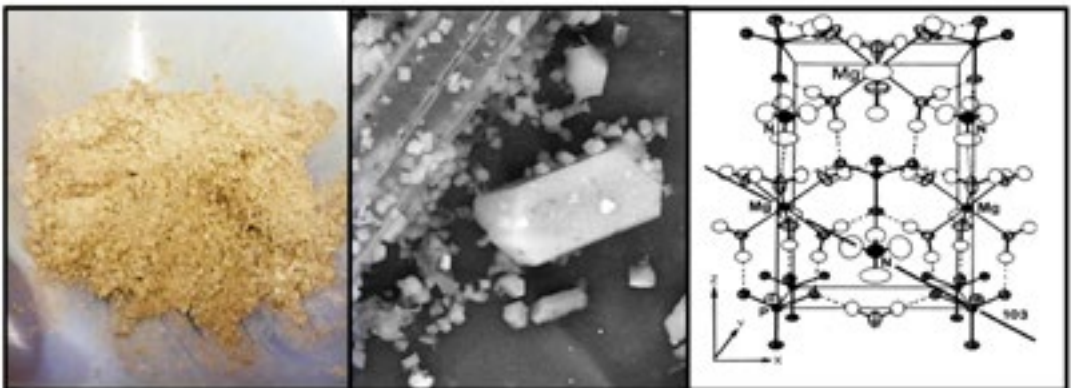
Tabell 1. Aktuelle teknologier basert på utfelling av fosforsalter (Kabbe, 2013, P-REX, 2014).

## Gjenvinning av fosfor fra fastfase: avvannet utrånnet slam og slam aske

I renseanlegg som er biologiske fosforfjerningsanlegg vil fosforinnhold i slam forbli i fastfase (> 80-90% av totalt fosfor) ettersom polyfosfater i bakteriene er knyttet til slammets organiske råstoff. Med mono-forbrenning av fosforrikt slam og etterfulgt av askebehandling, er det mulig å gjenvinne ca. 80 % av fosfor og skaffe salgbare biprodukter (SUSAN, 2009; Kabbe, 2013; P-REX, 2014). Dette betyr at slammets ikke forbrennes sammen men andre avfallsfraksjoner som inneholder lite fosfor og der med redusere fosforinnhold i asken (Kabbe, 2013). Det er også mulig å gjenvinne fosfor fra slam med kjemiske renseprosesser. I Sverige har det vært fokus på dette og CleanMAP® Technology kan benyttes for å gjenvinne

fosfor fra kjemisk felt fosfor i slam (Enfält, 2014).

Gjenvinning av fosfor fra slamaske er basert på en termokjemisk behandling av slam, enten før det blir brent, som i MEPHREC® prosessen, eller etter, som i AshDec® (Sartorius et al. 2011). På den termokjemiske behandling ved MEPHREC®, avvannes slam til 20 % tørrstoff og blandes med sement og kalkstein i en ovn ved 2 000°C. Fastfasen inneholder fosfor-silikat og gassfasen av tungmetaller fordampes ut gjennom et gassrensesystem fra samme leverandør (Ingitech®, 2014). I AshDec® prosessen blir en blanding av aske og klorerte forbindelser ( $MgCl_2/CaCl_2$ ) varmet opp til over 1 000°C inne i en roterende ovn. Her vil tungmetallene reagere med salter og fordampes ut av ovnen. Det blir dannet et fosforrikt granulat og produktet kan selges til gjødsel-



Figur 2. Struvitt produsert fra utrånnet slam etter nedbryting av husdyrgjødsel, fisk avfall og energivekster, og sin orthorombic krystallstruktur som påvist i et scanning elektronmikroskop (SEM) på 20 µm (Estevez et al., 2014).

Prosessteknologi	Leverandør	Fullskala anlegg	Produkt
AshDec®	Adh DEC Umwelt AG	2	Granuler (N:P:K 20:8:8/P:K 12:20)
MEPHREC®	Ingitec GmbH	1	Fosfor-silikat
EcoPhos	EcoPhos	4	Ca2P

Tabell 2. Ulike aktuell fullskalateknologier basert på utfelling av fosforsalter (Kabbe, 2014, P-REX, 2014).

industrien som råmateriale for videre gjødselproduksjon (SUSAN, 2009).

Et annet alternativ er å forsure avvannet utrånnet slam eller slamaske for å ekstrahere oppløselig fosfat, som senere utfelles som et fosfatsalt (EcoPhos) (Sartorius et al., 2011). Teknologier og leverandører for gjenvinning av fosfor fra fastfaser er presentert i tabell 2.

## Oppsummering

Struvittproduksjon er i dag “state of the art” når det gjelder gjenvinningsmetoder for fosfor fra rejektvann/slam, men er begrenset til anlegg med biologisk P-fjerning. Den normale gjenvinningsgraden er mellom 50 og 70 % av totalfosfor i slammet. Teknologien representerer et voksende marked innen prosesseteknologi, og den gir også driftsmessige fordeler for renselanleggene. Hvis fosfor er gjenvunnet fra slamaske etter en mono-forbrenning av fosforrikt slam, er det mulig å gjenvinne ca. 80 % av total fosfor i slammet (Kabbe, 2013; P-REX, 2014).

Det er behov for å utvikle et markedet for fosforrike produkter produsert fra begge typer av teknologi, utfellingsprodukter fra slam/vannfase og askebaserte produkter.

I Norge er gjenvinning fra aske og struvittutfelling ikke brukt, mest på grunn av at biologisk P-fjerning og forbrenning av slam er sjeldent i Norge. Fosfor gjenvinnes bare i slam når den disponeres direkte på jord som et jordforbedringsmiddel. De aller fleste norske renselanlegg benytter kjemisk P-fjerning med bruk av aluminium- eller jernsalter, på grunn av strenge utslippskrav. Kombinasjonsløsninger av biologisk og kjemisk P-fjerning kan være en løsning som bør vurderes nærmere dersom man ønsker en gjenvinning av ren fosfor som kan brukes.

Ved å samutråne organisk avfall som f.eks.

matavfall, fiskeavfall eller slakteriavfall i biogas-anlegg for slam, kan men ved bruk av disse teknologiene bidra til å gjenvinne mer fosfor fra slam og avfall slik at gjenvinningen blir lønnsom og sluttbruken av fosfor mer målrettet.

## Referanser

Crutchik, D. & Garrido, J. (2011): Struvite crystallization versus amorphous magnesium and calcium phosphate precipitation during the treatment of a saline industrial wastewater. *Water Science and Technology* 64 (12), 2460–2467.

de Bashan, L. & Bashan, Y. (2004): Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997–2003). *Water Research* 38, 4222–4246.

Drenkova-Tuhtan A., Mandel K., Paulus A., Meyer C., Hutter F., Gellermann C., SEXTL G., Franzreb M., Steinmetz H. (2013): Phosphate recovery from wastewater using engineered superparamagnetic particles modified with layered double hydroxide ion exchangers. *Water Research* 47, 5670–5677.

Enfält, P. (2014): Fosforutvinning ur slamaska. Presentasjon på askdagen 7. mai 2014 i Stockholm, <http://www.energiaskor.se/pdf-dokument/Askdagen%202014/presentationer/3.PatrikEnfalt%20.pdf>

Estevez, M., Linjordet, R., Horn, S., Morken, J. (2014): Improving nutrient fixation and dry matter content of an ammonium-rich anaerobic digestion effluent by struvite formation and clay adsorption. *Water Science and Technology* 70 (2), 337–344.

European Sustainable Phosphorus Platform (2014): <http://phosphorusplatform.eu/platform/news/359-phosphate-rock-in-eu-critical-raw-materials-list.html>

Ingitec (2014): [http://www.nuernberg.de/imperia/md/klaerschlamwverwertung/dokumente/krn\\_mephrec\\_englisch\\_02.pdf](http://www.nuernberg.de/imperia/md/klaerschlamwverwertung/dokumente/krn_mephrec_englisch_02.pdf)

Kabbe, C. (2013): Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery. *bluefacts*, vol 4, 36–41.

Marti, N., Bouzas, A., Seco, A., Ferrer, J. (2008): Struvite precipitation assessment in anaerobic digestion processes. *Chemical Engineering Journal* 141, 67–74.

Parsons, S.A. & Doyle J.D. (2004): Struvite scale formation and control. *Water Science and Technology* 49 (2), 177–182.

P-REX (2014): Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency. Deliverable D.5.1 Description of sludge related processes. [http://www.p-rex.eu/fileadmin/P-REX-Reserach/Downloads/P-REX\\_D\\_5\\_online.pdf](http://www.p-rex.eu/fileadmin/P-REX-Reserach/Downloads/P-REX_D_5_online.pdf)

Sartorius, C., von Hrn, J., Tettenborn, F. (2011): Phosphorus Recovery from Wastewater – State-of-the-Art and Future Potential. International Conference on Nutrient Recovery and Management. Water Environment Federation-IWA, January 9-12, 2011. Miami, Florida, USA.

SUSAN (2009): Sustainable and safe re-use of municipal sewage sludge for nutrient recovery. Final Activity Report. [http://www.susan.bam.de/pdf-status/10-05\\_susan-final-activity-report\\_for%20publication\\_draft.pdf](http://www.susan.bam.de/pdf-status/10-05_susan-final-activity-report_for%20publication_draft.pdf)