

## Fosforgjenvinning fra avløpsvann – bør vi bygge om våre renseanlegg?

Av Harsha Ratnaweera

Harsha Ratnaweera er professor i Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB).

Innlegg på fagtreff i Norsk vannforening 16. september 2013

### Sammendrag

Undersøkelsene viser at plantetilgjengelighet av fosfor fra renseanlegg med felling er vesentlig lavere enn slam fra anlegg med biologisk rensing. Det er også påvist en korrelasjon mellom aluminium eller jern i avløpsslam og plantetilgjengelighet fosfor. Mangel på mineralfosfor krever også bedre utnyttelse av fosfor fra avløpsslam, og det foregår forsøk for å øke plantetilgjengelighet bl.a. med innovative slambehandlingsmetoder. Dette innlegget presenterer et alternativt konsept ved å redusere innholdet av aluminium eller jern i slam ved reduksjon av uorganiske koagulant doser ved hjelp av kationiske polymerer. Labskala forsøk har dokumentert at molforhold mellom aluminium/jern og fjernet fosfor kan reduseres 20-30% uten forverring av renseresultater, og potensialet er større.

### Innledning

Over 70% av kommunalt avløp i Norge renses med uorganiske koagulanter (Berge og Mellem, 2011), 2012) og årlig forbrukes ca 100 000 tonn (Brinchmann, 2012) uorganiske koagulanter, dvs. aluminium eller jern- baserte produkter. Disse koagulantene fjerner fosfor meget effektivt fra avløpsvannet, og løser dermed et meget alvorlig miljøproblem. Derfor har Norge satset tungt på

kjemiskfelling som hoved rensemetode for kloakk for å håndtere eutrofiering av innsjø, hvor meget gode resultater er oppnådd, f.eks. Mjøsaksjonen. Fosfor i kloakken bindes kjemisk med aluminium eller jern, og overføres til slam og dermed blir vannmiljø spart.

Men tidene forandrer seg. Fosfor er et av de mest sentrale elementene i gjødsel til jordbruk som det ikke finnes erstatning til. Forskere er enig i at det innen 30 år kan forekomme fosfor-knapphet i verden mht. jordbruk, og at fosfor som kommer fra naturen kan ta slutt i løpet av 30-50 år. Derfor må vi se nærmere på hvordan fosfor i avløpsslam kan brukes hensiktsmessig når naturressurser tar slutt, og for å imøtekomme den mer nærliggende fosforkrisen, siden fosfor i avløpsslam er en av de viktigste og mest fornybare fosforkildene i verden.

Kommunalt avløpsvann i Norge inneholder ca 3100t fosfor/år, hvorav 2500t/år går til kommunale renseanlegg og 600t til renseanlegg fra spredt bebyggelse. Disse slipper ut hhv. 800t/år og 400t/år fosfor til vann- og sjøresipienter (Grønlund, 2006). Resten, 1900 t/år, er estimert at havnes i slamfasen. Dette tilsvarer ca 17% av mineralgjødsel forbruket i Norge (Bøen og Grønlund, 2008). Ca 2/3 del av avløpsslam brukes i jordbruket og det meste av resten av slammet brukes også i ulike former for jordforbedringsformål, noe som i utgangspunktet er veldig bra sett i verdens målestokk.

At mesteparten av det norske avløps slammet brukes i jordbruket er bare én side av saken. Forskere fra Bioforsk m.fl. har i lengre tid dokumentert at det ikke er bare enkelt å bedømme at vi resirkulerer og gjenbraker fosfor i jordbruket. «Gjødselsverdi av fosfor», som er en indikasjon av tilgjengelighet av fosfor til planter (P-AL) er sterkt redusert i slam fra anlegg med kjemiskfelling, særlig der aluminium og jernsalter er benyttet som fellingsmiddel. Resultat fra et forsøk viser at P-AL i aluminiumfelte slam var ca 10% og jernfelte slam var ca 24% i forhold til slam fra biologiske renseanlegg (Krogstad, 2010). Selv om P-AL-verdiene er avhengig av etterbehandlingen og målemetode er trenden er klar: slam fra norske renseanlegg som bruker aluminium eller jern har svært lav gjødselsverdi ift. slam fra biologiske renseanlegg eller kunstig gjødsel.

Kjemiskfelling av avløpsvann har en del utfordringer ift. biologisk rensing. Kjemiskfelling oppfattes til dels som lite naturlig og lite miljøvennlig fordi man tilsetter et kunstig fremstilt fremmedstoff til avløpsvannet som i tillegg produserer kjemisk slam, som aluminium eller jernhydroksid. I tillegg reduserer dette pH i prosessvannet, som kan påvirke negativt i etterfølgende renseprosesser. Og ikke minst, fellingsanleggene må kjøpe fellingsmidler i evig tid og til sammenligning trenger biologiske renseanlegg hovedsakelig kun å tilføre luft, som styrer driftskostnadene. I tillegg krever nitrogenrenningskravene at aktuelle norske renseanlegg uansett må ha biologiske trinn. Selv med en slik rekke ulemper er fordelene med kjemiskfelling så mange at de fleste renseanlegg i Norge fortsatt har et fellingstrinn. Det har også gjort Norge til mester av fellingsprosesser i avløpsrensing.

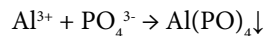
Slammet fra de fleste fellingsanlegg benyttes i jordbruk, til tross for at mange bønder fortsatt er skeptisk. Den fortsatte mangel på betalingsvilje hos bøndene for avløps slam bekrefter dette. Resultatene fra økende antall forsøk har nå satt søkelys på en ny ulempe med kjemiskfelling – den reelle verdi av slam i jordbruket – målt som plantetilgjengelighet av fosfor. Og saken får enda mer oppmerksomhet nå, da mange har begynt å snakke om en kommende fosforkrise.

Spørsmålet er såpass spisset nå at vi kan høre spørsmålet om fellingsanleggene bør konverteres til biologiske renseanlegg. Selv om en slik total forandring er lite trolig, er det nyttig å se nærmere på hvorfor plantetilgjengeligheten blir så lav og hva en kan gjøre for å forbedre situasjonen.

## Molforhold mellom koagulanter og fosfor

Fosfor fjernes etter flere mekanismer ved kjemiskfelling: Løste fosfat fjernes hovedsakelig via utfelling som aluminiumfosfat eller jernfosfat. I tillegg kan en del av fosfatet fjernes ved adsorpsjon av fosfationer til utfelte hydroksid produkter samt ved kompleksdannelse med metallhydroksider. Partikulær fosfor fjernes hovedsakelig gjennom de fire mest kjente fellingsmekanismene for fjerning av partikulære materier: dobbeltlagskomprimering, adsorpsjon-ladningsnøytralisering, brobygging og omsvøping, hvorav adsorpsjon-ladningsnøytralisering og omsvøping er mest aktuelle for norske avløpsrenseanlegg.

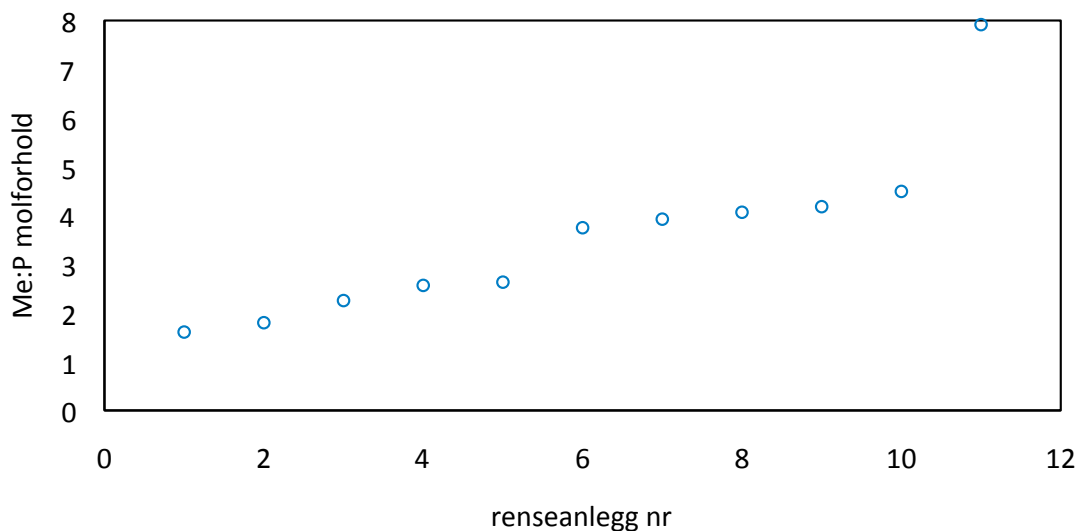
Støkiometriske molforhold i reaksjonen mellom aluminium (eller jern) med fosfat er 1:1, etter følgende ligning:



Støkiometrisk sett, trengs kun 1 mol aluminium eller fosfor for å fjerne 1 mol fosfor. Det antas at det dominerende utfellingsproduktet ikke er et rent aluminiumfosfat, men et kompleks. Likevel viser tall fra norske renseanlegg til vesentlig høyere forbruk av fellingsmidler, figur 1, og noen ganger over 7.

At molforholdene blir over 1 er ikke en overraskelse. Når man tilsetter aluminium eller jern salt (koagulant) til vann, foregår tre prosesser: (a) utfelling av hydroksid (b) utfelling av fosfat (c) en liten andel som går uten reaksjon – inerte fraksjon av koagulant. Utfelling av hydroksid og fosfat skjer samtidig og er konkurrerende reaksjoner. Dette er hovedbegrunnelsen for at en i praksis alltid må regne med å bruke høyere enn 1:1 forhold.

Optimal fellingsdose er avhengig av en rekke faktorer: vannmengde, pH, partikkel og fosfatinnholdet er de mest kritiske. Alle fleste rense-



Figur 1. Estimert molforhold mellom fjernet fosfor og tilsatte fellingskjemikalier i utvalgte renseanlegg (data fra 2011 og 2012, basert på ulike årsrapporter og informasjon fra RA.)

anlegg benytter kun mengde proporsjonal dosering – i beste fall med pH overstyring. Da er det forklarlig at dosen, og dermed også molforholdet, blir høyere enn nødvendig. Nedre Romerike Avløpsselskap IKS Lillestrøm har i fire år benyttet et doseringssystem basert på flere parametere, og molforholdene var ca 1,8 i 2011 (Ratnaweera, 2012). De fleste anlegg hadde molforhold i området 2.5-4.5 mens ett anlegg hadde meget høyt, nesten på 8. En annen studie viser at molforholdene varierte nesten opptil 26 (Krogstad, 2010).

I realiteten blir disse tallene enda høyere. Tallene er basert på totalfosformengder som ble fjernet fra innløpet til utløpet, og ikke bare i løpet av fellingsstrinnet. Dersom vi antar at andre prosesser fjerner 50% totalfosfor kan molforholdene bli dobbelt så høye som de presentert i figur 1.

Basert på norske og internasjonale undersøkelser konkluderer Bøen (2010) at jo høyere innhold av aluminium eller jern i slammet, jo dårligere blir plantetilgjengelighet. Øgaard (2013) konkluderer at økende innhold av aluminium og jern i slammet gir avtagende fosforopptak i planter basert på vekstforsøk. For jern- og/eller aluminiumsfelt slam, er konsentrasjonen av jern og aluminium i slammet en vel så god indikator for innholdet av plantetilgjengelig fosfor som de testede fosforekstraksjonene.

## Hvordan forbedre plantetilgjengelighet av fosfor

Det pågår aktiv forskning innen hvordan plantetilgjengelighet kan økes i koagulert slam. Forskingen fokuserer hovedsakelig på videre behandling av utfelt slam, både ved ulik tilsetning og ulike behandlingsprosesser. Resultatene varierer, men det er rapportert at plantetilgjengeligheten kan økes noe med slike behandlingsprosesser.

Det finnes et alternativt konsept for å forbedre plantetilgjengeligheten ved å forsøke å redusere aluminiums- eller jerninnholdet i slammet ved reduksjon av selve tilførselen av disse «problemstoffene». Organiske koagulanter (kationiske polymerer), kan fungere som effektive koagulanter i partikkelfjerning, da de kan fjerne partikler via to fellingsmekanismer – adsorpsjon-ladningsnøytralisering og brobygging. Organiske polymerer benyttes i koaguleringsprosesser for drikkevann og prosessvann i noen land. Disse koagulantene kan ikke fjerne løste fosfat effektivt og benyttes derfor ikke i kommunal avløpsrensing.

Dersom en kan benytte organiske polymerer til å fjerne partikulære materiale kan det tenkes at fraksjonen av uorganiske koagulanter som ellers forbrukes for fjerning av partikulære materiale kan reduseres, kan fraksjonen tilgjengelig

for fosforfjerning økes. En slik løsning vil kunne halvere (eller enda mer?) aluminiums- og jerninnholdet i avløpsslam – og dermed øke plantetilgjengeligheten.

Ideen om kombinert felling med organiske og uorganiske koagulanter er ikke nytt. Allerede på 1990- tallene ble det gjort forsøk for kombinert felling. Hovedbegrunnelsen for disse forsøkene var å redusere slam mengde, da reduksjon av uorganiske koagulanter ville redusere mengde hydroksid i slammet. Dessverre ble ikke disse ideene videreført langt nok til at renseanlegg benyttet det som deres driftspraksis.

Nå har tidene forandret seg, og med ambisjoner om å øke plantetilgjengeligheten i slam fra fellingsanleggene finnes det ytterligere grunner til å studere mulighetene nærmere.

## Er det virkelig mulig å redusere aluminiums- og jerninnholdet i slam?

Teoretisk sett er det ingen tvil om at dette er mulig. Partikulært materiale kan fjernes ved koagulering med uorganiske koagulanter eller organiske koagulanter, eller med en kombinasjon. Bruken av organiske koagulanter gir også en rekke fordeler i tillegg til økning av plantetilgjengelighet av fosfor:

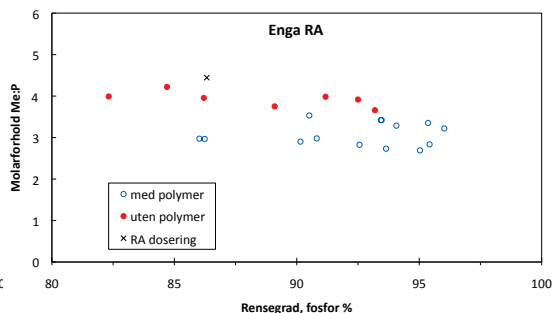
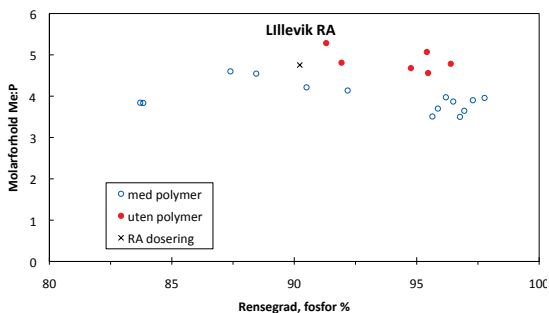
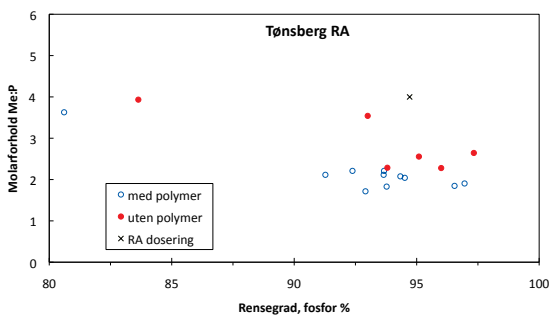
mindre slam, mindre avhengighet av fellings-pH, ingen reduksjon av pH, mer kompakt slam – og dermed muligens forminske behovet for flokkulerter og kjemikalier i slamavvanningsprosesser, osv.

Men i praksis kan det være flere utfordringer: Ingen studier er gjennomført om påvirkning av organiske koagulanter på konkurransen mellom partikkel- og fosforfjerningsreaksjonene som er omtalt tidligere; det sikreste er å kjøre en to-steps fellingsprosess der det først koaguleres med organiske koagulanter og det rensede vannet deretter koaguleres med uorganiske koagulanter – men det vil kreve betydelige infrastrukturendringer i nåværende fellingsanlegg; håndtering av to koagulanter og tilhørende utrustninger, samt andre økonomiske faktorer (f.eks. er organiske koagulanter vesentlig dyrere enn uorganiske koagulanter til tross for at det benyttes en lavere dose).

Til tross for de ovennevnte usikkerhetene og ulempene kan dette alternativt bli en løsning for mange norske renseanlegg som ikke kan forestille seg å konvertere til biologisk fosforfjerning eller dyrere etterbehandlingsprosesser. Samtidig vil det bidra til bedre utnyttelse av fosfor fra avløpsvannet som et godt bidrag til reduksjon av kommende fosfor krise.

## Potensialet dokumentert med labbskala forsøk

For å vurdere hvor langt en kan komme ned med uorganiske fellingsmidler i kombinasjon med



Figur 2. Molarforhold mellom aluminium eller jern og fjernet fosfor ved jar tester. Lukkede (rød) markører: uten polymer; åpne markører: med polymer; kryss: referansedose fra fullskala.

kationiske polymerer ble en rekke jar tester gjennomført på avløpsvann fra Tønsberg RA (TAU), Lillevik RA og Enga RA. Jar test ble først gjennomført uten tilsetning av polymerer med ulike uorganiske koagulanter (Kemira: ALS, PAX 18, PIX318 og Ekofloc). De optimale dosene med disse koagulantene er presentert i figur 2 med fylte markører i rødt. Forsøk ble repetert i samme avløpsvann med noe lavere uorganiske koagulantdose kombinert med kationiske polymerer (SNF 4240 LWM og 4350 LMW), som er indikert med åpne blå markører. Som referanse er molforhold og rensegrad basert på renseanleggets dose notert som kryssmarkør i hver av figurene.

Fra alle tre figurer er det klart at med en kombinasjon med polymerer er det mulig å redusere molforholdet med 20-30% og samtidig opprettholde rensegraden på fosfor. Denne reduksjonen ble oppnådd dosering av både organiske og uorganiske koagulanter uten slamseparasjon mellom doseringene. En slik dosering er letter gjennomførbar i praksis, selv om en mellom slamseparasjon vil unngå konkurranse mellom to koagulantene for partikkelfjerning dermed molforholdene kan bli enda lavere.

## Konklusjon

Organiske koagulanter (kationiske polymerer) kan benyttes for å redusere uorganiske koagulant-doser i fellingsanlegg uten forverring av rense-resultat.

Opptil 30% reduksjon av aluminiums-/jerninnholdet er dokumentert i lab-skala forsøk med kombinerte koagulanter.

Hypotesen er at en vesentlig del av uorganiske koagulanter i dag går til partikkelfjerning, som effektivt kan erstattes med organiske koagulanter

(kationiske polymerer). Dersom det er mulig å redusere uorganiske polymerer med 40-70%, antas det å ville ha en vesentlig påvirkning på fosfortilgjengelighet i utfelt kloakkslam.

Potensialet for å oppnå enda høyre reduksjon er tilstede ved bedre prosessoptimalisering og ved gjennomføring av to-trinns felling (med slamseparasjon i mellom) for å redusere konkurransen av andel uorganiske fellingsmidler for fjerning av fosfor.

Det bør utredes alternative metoder for å øke fosfortilgjengelighet ved bruk av intelligent renseteknologi og prosesskontroll, som ikke vil kreve store infrastrukturendringer.

## Referanser

Berge, G. og Mellem, K.B. 2011: Kommunale avløp: Ressursinnsats, utslipp, rensing og slamdisponering 2010. SSB rapport46/2011

Brinchmann, A. 2012: personlig kommunikasjon

Bøen, A. 2010: Fosfor i avløpsslam – fraksjonering og plantetilgjengelighet, Bioforsk Rapport Vol. 5 Nr. 62 2010

Bøen A, Grønlund A, 2008: Phosphorus resources in waste – closing the loop? I Rubæk (red) Phosphorus management in Nordic-Baltic agriculture –reconciling productivity and environmental protection. NJF Report 4(4): 102-106

Grønlund, A. 2006: Matavfall - næringsstoffer i kretsløp - fokus på fosfor. Møte i avfallsforum fredag 1. desember 2006, ROAF, Bøler avfallsanlegg

Krogstad, T. 2010: Hvordan kan slam bli en bedre kilde for fosfor i matproduksjonen? VANN, Vol 2/2010, 251-256

Ratnaweera, H. 2012: upubliserte data

Øgaard, A.F. 2013: Plantetilgjengelig fosfor i avløpsslam. Bioforsk rapport. Vol. 8 Nr. 34 2013.