

Hvordan kan slam bli en bedre kilde for fosfor i matproduksjonen?

Av Tore Krogstad

Tore Krogstad er professor i jordkjemi ved Institutt for plante- og miljøvitenskap, UMB Ås.

Innlegg på fagtreff i Norsk vannforening 8. mars 2010.

En utfordring

Fosfor i slam er en viktig ressurs som bør tilbakeføres som gjødsel i jordbruket. Bruken av fellingskjemikalier ødelegger plantetilgjengeligheten og nytenkning må til både angående metodikk for rensing av P fra avløpsvann og i etterbehandlingen av slammet.

Innledning

Verdens fosforreserver minker kraftig og apatittforekomstene som er egnet som råstoff for fosforgjødselproduksjon kan være oppbrukt innen en periode på 50-100 år. Dette er svært kritisk for verdens matvareproduksjon. Fosfor (P) er et makronæringsstoff som er absolutt nødvendig for plantevekst og dens funksjoner kan ikke erstattes av andre grunnstoff. Det kreves derfor sterkt måtehold i bruken av fosforgjødsel og i størst mulig grad optimalisere bruken tilpasset veksternes behov. I denne forbindelse vil tilbakeføring av P fra avfallsprodukter til jordbruket være en viktig strategi.

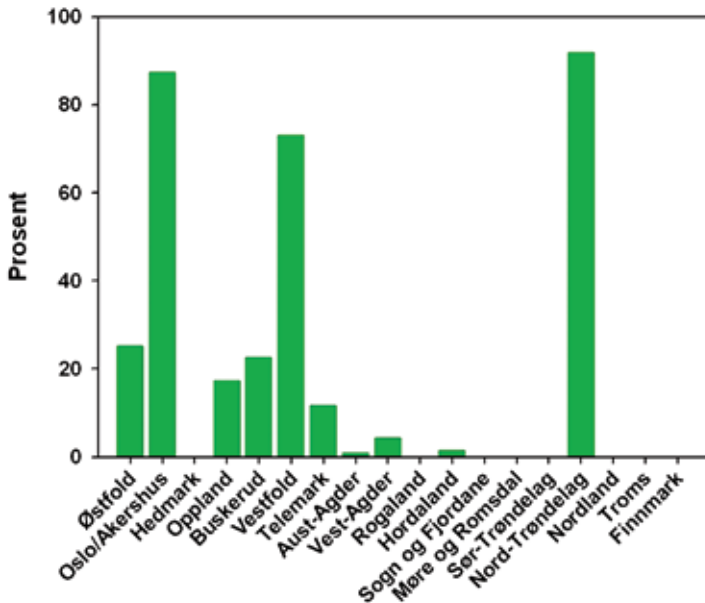
I norsk jordbruk er det gjort mye de siste årene for å optimalisere bruken av P. Gjødslingsnormene for P til gras og korn er tilpasset en balansert gjødsling ved et middels nivå av plantetilgjengelig P i jorda. Samtidig tar man mer hensyn til jordas evne til å forsyne plantene med P enn tidligere noe som fører til en kraftig reduksjon i anbefalt forbruk av P til våre to hovedvekster (Krogstad et al., 2008). Korn og gras dekker om lag 95 % av alt dyrka areal i Norge. Forbruket av P i mineralgjødsel er i dag ca en tredel av forbruket i 1980 og var på ca 8000 t i 2008/09 (Mattilsynet, 2010). Forbruket de siste årene har vært på samme nivå som forbruket var på slutten av 1940-tallet.

Slam er en ressurs som anvendes i jordbruket, men først og fremst som et jordforbedringsmiddel og kalkingsmiddel (Øgaard et al., 2008), i mindre grad som fosforgjødsel selv om innholdet av P i avløpsslam er stort. Den totale P-mengden i avløpsslam i Norge er beregnet til å utgjøre ca 2000 t pr år (¹ Bøen, pers med). Som totalmengde er dette 25% av det som selges som P i handelsgjødsel og bør

¹ Anne Bøen, forsker ved Bioforsk Jord og Miljø

kunne være en viktig ressurs som P i plantedyrkingen. Det er strenge restriksjoner på bruk av slam i jordbruket (LMD, 2003). I praksis anvendes det kun til korn hvor slammet kan moldes ned i jorda eller ved ompløying av eng. I figur 1 er det vist mengden slam brukt på jordbruksarealer i 2004 i forhold til den

totale mengde slam tilgjengelig i de ulike fylker (SSB, 2008). Dette gjenspeiler viktige kornområder, men vi ser også at det er store forskjeller mellom fylkene. I et så stort slamproduserende fylke som Oslo/Akershus er det klart at det tilføres meget store mengder P i jordbruket via slam.



Figur 1. Andelen slam disponert til jordbruksformål som prosent av total mengde slam tilgjengelig i hvert fylke. Tallene er fra 2004.

Erfaringer fra vekstforsøk med slam

Kvaliteten på slam som P-gjødsel er i sterk grad styrt av hvordan fosfor er bundet i slammet. Fellingskjemikalier som tilsettes avløpsvannet feller fosfor i en form som gjør at minst mulig forblir i løst form. I norske renseanlegg brukes i hovedsak salter av jern (Fe) og aluminium (Al), dvs. at fosforet felles ut som

Fe- og Al-fosfater. Det er gjort en rekke undersøkelser både nasjonalt og internasjonalt som har testet plantetilgjengeligheten av fosfor felt med kjemikalier og hvor slammet er etterbehandlet på ulike måter. En omfattende norsk felt- og laboratorieundersøkelse på 1990-tallet viste at slam med P felt med Fe- og Al-salter hadde en svært begrenset plantetilgjengelighet selv om det totale innhol-

det av P i slammet var høyt (Ugland et al., 1998). Tilsvarende ble vist i en nyere undersøkelse hvor raigras ble dyrket i veksthus i morene og leirjord (Krogstad et al., 2004; Krogstad et al., 2005). Det viste seg imidlertid at type fellingskjemikalie og etterbehandlingen av slammet hadde mye å si for tilgjengeligheten. Slam etterbehandlet med kalk eller biologisk felt slam hadde vesentlig bedre P-tilgjengelighet enn slam hvor fosforet var felt med Fe og Al uten innblanding av kalk. Internasjonale undersøkelser viser også at fellingskemikalier i sterk grad påvirker slammets egenskaper som P-gjødsel negativt (Jokinen, 1990; Cox et al., 1997). Det er imidlertid også undersøkelser som konkluderer med høy tilgjengelighet av P i Fe-felt slam (Watanabe et al., 2000), men resultatene er vanskelig å relatere til norsk dyrkingspraksis og det kan diskuteres om det ferske slammet som er brukt er sammenlignbart med lagret slam felt med Fe hvor aldringsprosesser har påvirket bindingsstyrken til P.

I handelsgjødsel er fosfor i form av Ca- eller ammoniumfosfat. Den vannlø-

selige delen utgjør 75-80 % og resten er lett løselig i sur jord. I husdyrgjødsel, som på landsbasis utgjør omtrent samme mengde P som handelsgjødsel, er ca 70 % av P lett løselig uorganisk P, mens det resterende er lett mineraliserbare organiske P-forbindelser. Det er derfor vanlig praksis å likestille gjødslingseffekten av P i handelsgjødsel og husdyrgjødsel. Men hva med slam?

I tabell 1 er det vist et gjennomsnitt av ulike slamtyper brukt i de tidligere refererte norske vekstforsøkene. Totalinnholdet av P er høyest i Al-felt slam og minst i slam etterbehandlet med kalk (fortynningseffekt) og i biologisk slam. Men for plantene er det viktigst at innholdet av vannløselig P er høyt og at innholdet av plantetilgjengelig P er høyt. Her ser man at slam etterbehandlet med kalk og biologisk slam har en vesentlig større andel av P som P-AL (mål på plantetilgjengelighet) enn slam som er felt med Fe og Al. Til sammenligning vil tilnærmet 100 % av P i handelsgjødsel være løst som P-AL. Biologisk felt slam har også et langt høyere innhold av vannløselig P enn metallfelt slam.

| Type slam | Totalt P-innhold (%) | P-AL i prosent av totalt P-innhold | Vannløselig P i prosent av totalt P-innhold |
|---|----------------------|------------------------------------|---|
| Fe-felt | 1,80 | 8,1 | 0,06 |
| Al-felt | 2,34 | 3,4 | 0,04 |
| Fe- eller Al- felt, etterbehandlet med kalk | 0,73 | 15,0 | 0,09 |
| Biologisk felt | 0,80 | 34,6 | 1,04 |

Tabell 1. Gjennomsnittlig fosforinnhold i slam brukt i norske vekstforsøk (Ugland et al., 1998; Krogstad et al., 2005)

Norsk jordbruksjord er i hovedsak svakt sur med pH i området fra 5.5 til 7. Gjød- sel i form av salter må derfor ha den egenskapen at den løses opp under sure forhold. Fosfor i form av Ca-fosfat har denne egenskapen, men fosfor felt med Fe og Al er mest stabile under sure forhold. Våre resultater som viser liten tilgjengelighet av fosfor fra Fe- og Al-felt slam er derfor ikke overraskende. En parallell til dette er fosfortilgjengeligheten i jordtypen oxisol, rød sterkt forvitret jord under tropiske forhold, som er et eksempel på naturens eget fellingskjemikalie for fosfor. I dyrka oxisol kan P-innholdet være høyt, men likevel er det sterk mangel og misvekst på grunn av liten tilgjengelighet av P. Den eneste måten å bedre tilgjengeligheten på er å kalke jorda.

Hvordan tilgjengeligheten av P i slam kan være avhengig av type fellingskjemikalie

og behandling er vist i tabell 2 fra et feltforsøk i prosjektet referert til i Ugland et al. (1998). Forsøket er utført på samme areal under like jord og klimaforhold. Resultatene viser klart at selv om det tilføres både mer nitrogen og mer fosfor er kornavlingen signifikant lavere der hvor det er brukt Al-felt slam sammenlignet med Fe-felt slam som er kalkbehandlet. Det ble på flere forsøkssteder registrert at innholdet av plantetilgjengelig P i jorda ble redusert etter tilførsel av Al-felt slam selv om store mengder P ble tilført. Et overskudd av metaller i slammet virket som fellingsmiddel på P i jorda. To tonn slamtørrstoff pr daa er normale mengder å tilføre som engangsdose, men med virkningstid i 10 år. Gjødslingsnormen for P til korn er 1.4-1.7 kg P pr daa pr år til sammenligning med totalmengdene av P i slam vist i tabellene 1 og 2.

| Mengde slam | 2 t slamtørrstoff pr daa | | 6 t slamtørrstoff pr daa | |
|--|--------------------------|----------|--------------------------|----------|
| Type slam | Fe + kalk | Al (PAX) | Fe + kalk | Al (PAX) |
| Tilført mineralisk N (kg daa ⁻¹) | 0,9 | 2,5 | 2,6 | 7,6 |
| Tilført P (kg daa ⁻¹) | 16,1 | 36,4 | 48,3 | 109,2 |
| | | | | |
| Kornavling (kg daa ⁻¹) | 298 | 247 | 379 | 324 |
| P-innholdet i kornet (%) | 0,26 | 0,24 | 0,25 | 0,17 |

Tabell 2. Avling og P-innhold i korn i forhold til tilsatt mengde og type slam.

Muligheter for å øke den agronomiske nytten av P i slam

Fosfor er svært viktig for at plantene skal utvikle et godt rotsystem. Korn er en ett-årig vekst og lett tilgjengelige næringsstoffer i spirefasen er viktig for den vi-

dere utviklingen av planten og for store avlinger. Det vil i praksis si at innholdet av vannløselig P i jorda må være på et visst nivå enten ved at jorda har nok næring i seg selv eller at gjødsel tilfører vannløselig P til røttene. Forsøk viser at utnyttningen av P i slam øker dersom man

bruker mineralgjødning i kombinasjon med slam (Krogstad et al., 2005). Dette viser at plantene har behov for en startdose med lett tilgjengelig P for å få en god utvikling, og at planter som har utviklet et godt rotsystem klarer å hente noe mer P fra slammet enn planter som ikke har fått den samme gode starten.

Det er flere muligheter for å øke plante-tilgjengeligheten og dermed den agronomiske nytten av P i slam. Uten å ta stilling til økonomi eller teknologiske begrensninger synes dette å være de mest aktuelle tiltakene i ikke-prioritert rekkefølge:

- Optimalisere bruken av fellingskjemikalier slik at slammet ikke har større innhold av Fe og Al enn absolutt nødvendig ut fra kravet om fosforrensing av avløpsvannet. En undersøkelse på slutten av 1990-tallet viste at blant de største rensaneanleggene varierte bruken av kjemikalier med en faktor på 3 i forhold til mengde P som ble rensset uten at dette nødvendigvis medførte forskjell i renseseffektivitet (Krogstad, upubl).
- Øke bruken av biologisk P-rensing. Dette vil produsere et slam med god P-tilgjengelighet.
- Optimalisere kalkbehandlingen enten ved å bruke kalk i fellingsprosessen eller i slambehandlingsprosessen. En anaerob etterbehandling av Fe-felt slam sammen med kalktilsetning vil både løse ut P bundet til Fe ved reduksjon samtidig som P felles som et Ca-fosfat. Gjødningseffekten av dette slammet i sur jord vil være god.
- Brenne slammet og gjenvinne P til mineralgjødning fra aska.

Målet bør være å produsere et slam med en forutsigbar gjødningseffekt slik at en optimal dosering kan skje på linje med bruk av lett løselige gjødningsmidler som mineralgjødning og husdyrgjødningsmidler. Både agronomisk og miljømessig vil dette høyst sannsynlig være en forutsetning for bruk av slam som fosforgjødningsmiddel i jordbruket i framtiden.

Referanser

Cox, A.E., Camberato, J.J. & Smith, B.R. (1997). Phosphate availability and inorganic transformation in an alum sludge-affected soil. *J. Environ. Qual.* 26:1393-1398.

Jokinen, R. (1990). Effect of phosphorous precipitation chemicals on characteristics and agricultural value of municipal sewage sludge. Part 2. Effect of sewage sludge on yield, element content and uptake by spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agric. Scand.* 40:131-140.

Krogstad, T., Sogn, T.A., Sæbø, A. & Asdal, Å. (2004). Resirkulering av fosfor i slam. *Grønn kunnskap vol.8 (nr.7)*, 41 s.

Krogstad, T., Sogn, T.A., Sæbø, A. & Asdal, Å. (2005). Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorus in soil. *Ecological Engineering* 25:51-60.

Krogstad, T., Øgaard, A.F. & Kristoffersen, A.Ø. (2008). New P recommendation for grass and cereals in Norwegian agriculture. *NJF Report vol. 4 (4):42-46.*

LMD (Landbruks- og matdepartementet). Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. FOR 2003-07-04 nr 951.

Mattilsynet. Mineralgjødselstatistikk. www.mattilsynet.no/planter/gjodslar/omsetningsstatistikker. Sett 4. mai 2010.

SSB (Statistik sentralbyrå). Avløpsslam disponert til jordbruksformål og annen disponering 2004. Tabeller 5.3. www.ssb.no/emner/10/04/jordbruk_miljo/tabeller5.3/slam_2004.html. Sett 4. mai 2010.

Ugland, T.N., Ekeberg, E. & Krogstad, T. (1998). Bruk av avløpsslam i jordbruket. Grønn forskning 04/98. Planteforsk. 11s.

Watanabe, Y., Tadano, T., Hasegawa, T., Shimanuki, Y. og Ødegaard, H. (2000) "Phosphorous recycling from pre-coagulated wastewater sludge. Dissolution of coagulated sludge by enzyme and organic acid secreted from plant roots". I: Hahn, H.H., Hoffmann, E., Ødegaard, H. (eds) : Chemical water and wastewater treatment VI. Springer Verlag Berlin Heidelberg, s. 359-371.

Øgaard, A.F., Grønsten, H., Sveistrup, T., Bøen, A., Kværnø, S. & Haraldsen, T. (2008). Potensielle miljøeffekter av å tilføre avløpsslam til jordbruksarealer. Resultater fra to feltforsøk i korn, 1. forsøksår 2007. Bioforsk RAPPORT Volum 3 (59): 39 s.