

Potensial for gjenvinning og resirkulering av fosfor

Av Arne Grønlund, Eva Brod og Ola Stedje Hanserud

Arne Grønlund er seniorforsker ved Bioforsk, Divisjon Miljø. Eva Brod er PhD-stipendiat ved NMBU og ansatt i Bioforsk, Divisjon Miljø. Ola Stedje Hanserud er PhD-stipendiat ved NTNU og forsker ved Bioforsk, Divisjon Miljø.

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

Innledning

Fosfor utgjør ca 0,1 prosent av jordskorpa og jordsmonnet og er rangert som nr. 12 av grunnstoffene etter forekomst i jordskorpa. De totale mengdene av fosfor her på jorda er derfor enorme. Likevel må det tilføres fosfor til landbruksjord i form av gjødsel for å få tilfredsstillende avlinger. Dette skyldes at bare en liten andel av den totale fosformengden i jorda er direkte tilgjengelig for planter. I mineraljord er fosfor vanligvis sterkt bundet. Fosfor i mineralgjødsel utvinnes av gruver i noen få land i verden, og reservene av høykonsentrert fosformalm minker sterkt. Samtidig skjer det en akkumulasjon av fosfor i jordbruksjord, vann og avfall fordi både planter, dyr og mennesker utnytter fosforet som er tilført matvaresystemet dårlig. Vi må derfor forberede oss på at fosfor i framtida i større grad må skaffes fra lavkonsentrert fosformalm, som i dag ikke er økonomisk drivverdige, og ved gjenvinning fra jord, vann og avfall. I denne artikkelen ser vi nærmere på potensialet for gjenvinning og resirkulering av fosfor fra avfallsstrømmer i Norge.

Prisen på fosfor

Prisen på fosfor må forventes å øke betydelig i framtida, som følge av høyere kostnader til utvinning og raffinering av lavkonsentrert fosformalm

og gjenvinning fra vann og avfall. Prisøkningen kan forsterkes, som følge av økt etterspørsel og skjev geografisk fordeling av ressursene av fosformalm.

I Norge er prisen på fosfor i mineralgjødsel svært lav, ca. 25 kr per kg. For å produsere den maten som årlig konsumeres i Norge, forbrukes det fosforgjødsel med en kostnad på i størrelsesorden 300 millioner kr, som tilsvarer ca. 60 kr per innbygger. En høyere fosforpris vil derfor ha liten betydning for Norge, men kan ha katastrofale konsekvenser for mange U-land. Det er et paradoks at prisen på fosfor er for lav til at vi i det hele tatt merker det i vår økonomi, men samtidig for høy til at fattige bønder i U-land kan ha råd til å kjøpe den fosforgjødsel de trenger for å få ei normal avling.

For vann- og avløpsbransjen er det spørsmål om gjenvinning og salg av fosfor kan bli en inntektskilde. Faktum er at forretningsmessig lønnsomhet krever en langt høyere råvarepris enn i dag. Lønnsomhet i gjenvinning av fosfor kan likevel oppnås gjennom endrede rammebetingelser som lovverk, forskrifter og subsidiering. Viktige motiv for gjenvinning av fosfor er å redusere tap til vannresipienter og risiko for eutrofiering, økt nasjonal matsikkerhet og en bedre global forvaltning av en ikke-fornybar ressurs. Redusert etterspørsel fra industrialiserte land vil kunne senke den globale prisbanen på mineralgjødsel, til fordel for (og i solidaritet med) fattige land (Weikard & Seyhan 2009).

Fosforbalansen i norsk jord

En oversikt over fosfor som blir tilført og fjernet fra norsk jord (fosforbalanse) er vist i tabell 1. Fosforbalansen er beregnet som gjennomsnitt for årene 2009-2011 basert på statistisk tallmateriale fra SSB, rapporter, publikasjoner og samtaler med eksperter (Hamilton et al., akseptert for publisering). Jord omfatter her både landbruksjord og grøntarealer.

Det tilføres betydelig mer fosfor til norsk jord enn det som fjernes gjennom plantopptak og avrenning. Dette viser at fosfor ikke blir utnyttet optimalt. Totalt ble det tilført 22 700 tonn fosfor per år, hvorav husdyrgjødsel og mineralgjødsel utgjør det aller meste, til sammen 20 000 tonn. Om lag halvparten av det som tilføres, 11 000 tonn, blir tatt opp av planter, mens 1 200 tonn tapes som erosjon og avrenning. Balansen viser et overskudd på 10 500 tonn fosfor, som er årlig akkumulering i jord. I hvilken grad akkumulert fosfor i jord kan tas opp av planter senere, er avhengig av mange faktorer. For eksempel vil fosfor som tilføres jord med lite plantetilgjengelig fosfor raskt gå inn i tungt løselige kjemiske forbindelser slik at bare en liten andel av tilført fosfor vil være tilgjengelig for plantene årene etter. I jord med høyere innhold av plantetilgjengelig fosfor vil en større andel av tilført fosfor være tilgjengelig årene etter. I hvilken grad akkumulert fosfor i jorden kan utnyttes, påvirkes av agronomiske tiltak som dyrking av vek-

ster med god evne til å utnytte fosfor eller forbedring av jordstruktur.

Kilder til gjenvinning og resirkulering av fosfor

En oversikt over de viktigste potensielle kildene til gjenvinning og resirkulering av fosfor er vist i tabell 2. Fosformengdene er estimert av Hamilton et al. (akseptert for publisering). I tabellen er det også vist et anslag over hvor stor andel av fosforet fra de ulike kildene som vi antar kan gjenvinnes og resirkuleres, og disse tallene er derfor heftet med noe større usikkerhet. Med gjenvinning av fosfor mener vi den mengden som fanges opp fra avfallsstrømmer, mens resirkulering er tilbakeføring av fosfor til jordbruksjord i plantetilgjengelig form som vil føre til redusert bruk av mineralgjødsel. Utnyttelse av akkumulert fosfor i jordbruksjord er også en form av resirkulering, men er ikke tatt hensyn til her. Noen anslag er basert på til dels framtidig teknologi som ikke er i bruk til nå. Anslagene er gitt som intervaller som gjenspeiler usikkerheten som er diskutert for de ulike kildene under.

Husdyrgjødsel

Husdyrgjødsel er den største kilden til gjenvinning og resirkulering av fosfor i Norge, med 11 600 tonn fosfor per år. I dag blir omtrent all husdyrgjødsel tilbakeført til jord, men fosforet blir ikke utnyttet optimalt. En stor del av husdyr-

	Tonn P per år	
Tilført		22 700
Mineralgjødsel	8 400	
Husdyrgjødsel	11 600	
Annen organisk gjødsel	2 500	
Nedfall	200	
Fjerning av fosfor		12 200
Opptak i planter	11 000	
Erosjon og avrenning	1 200	
Overskudd – akkumulering i jord		10 500

Tabell 1. Fosforbalansen i norsk jord, beregnet som årlig gjennomsnitt for årene 2009-2011.

Kilde	Total-fosfor (tonn)	Prosent	
		Kan gjenvinnes	Kan resirkuleres
Husdyrgjødsel	11 600	100	70-90
Slam fra fiskeoppdrett	9 000	30-70	30-70
Slakteriavfall	2 200	100	100
Avløp, inkl. spredt avløp	3 100	60-80	25-50
Avfall fra sjømat	1 100	90	90
Matafall	500	70-80	50-70
Totalt	27 500	70-90	55-75

Tabell 2. Kilder (estimert av Hamilton et al., akseptert for publisering) og potensial for gjenvinning og resirkulering (basert på anslag) av fosfor i Norge.

gjødsla blir produsert og brukt på gårder og i områder med høyt fosforinnhold i jorda, hvor fosforbehovet er lavt. Av økonomiske og praktiske grunner blir heller ikke husdyrgjødsel brukt på hele gårdens spredeareal. Mengden fosfor i husdyrgjødsel i tabell 1 og 2 er justert for beiting på utmark. Vi regner dermed med at all fosfor estimert i husdyrgjødsel i prinsippet er gjenvinnbar til jord, enten sluppet direkte fra beitende dyr på innmark eller fanget i lagertanker. Siden en del av jorda som mottar ekskrementer fra beitende dyr allerede har høyt fosfornivå og dermed lite eller intet behov for mer fosforgjødsling, har vi vurdert resirkuleringspotensialet til 70-90 prosent. Denne prosenten reflekterer den mengden fosfor i husdyrgjødsel som er lagret i tanker og i prinsippet kan prosesseres og transporteres til jord med fosforbehov, og det som blir sluppet direkte fra beitende dyr på jord med fosforbehov.

Slam fra fiskeoppdrett

Slam fra fiskeoppdrett, som omfatter ekskrementer og førrester fra fiskeoppdrettsanlegg, er den nest største kilden for gjenbruk av fosfor i Norge, med 9 000 tonn fosfor per år. Gjenvinning av slam fra fiskeoppdrett i havet byr fortsatt på teknologiske utfordringer ved selve oppsamlingen. Oppumpet gjødselfvann må avvannes, avsaltes og stabiliseres før det kan brukes som gjødsl. Gjenvinningspotensialet er usikkert og anslått mellom 30-70 prosent. Den avsaltede gjødsla kan være råstoff til andre gjødselfprodukter, eller til

produksjon av biogass, hvor bioresten kan brukes som gjødsl. Potteforsøk tyder på at fosforgjødselvirkingen til slam fra fiskeoppdrett behandlet med Global Enviro metoden kan sammenlignes med husdyrgjødsel. Resirkuleringspotensialet til slammet er derfor anslått til å være like høyt som gjenvinningspotensialet.

Avløp inkl. spredt avløp

Fosfor i urensset avløpsvann er estimert til 3 100 tonn per år. Dette inkluderer også avløpsvann fra spredt bebyggelse der avløpet renses i mindre lokale anlegg. Slam fra slamavskillere og tette tanker blir transportert til kommunale renseanlegg for rensing. I 2011 ble ca. 70 prosent av avløpsvannet tilknyttet større renseanlegg renses kjemisk eller kjemisk-biologisk (Berge og Mellem 2012). De metodene som er brukt gir en effektiv fosforrensing, men fører også til at fosforet i slammet er lite plantetilgjengelig. Typisk plantetilgjengelighet er 15-35 prosent av fosfor i kjemisk eller kjemisk-biologisk felt slam (Øgaard 2013). I 2009-2011 ble ca. 1 900 tonn fosfor fanget i slam per år i kommunale renseanlegg, noe som er 61 prosent av mengden fosfor i urensset avløpsvann. Med framtidige utbedringer i eksisterende anlegg kan kanskje så mye som 80 prosent av fosforet fanges i slam i større renseanlegg eller som andre avløpsfraksjoner (for eksempel kildesortert urin/svartvann). Med en framtidig utvikling i metoder for rensing og videre prosessering for resirkulering av fosfor fra

avløpsvann, antar vi at mellom 40-60 prosent av mengden fanget fosfor i avløpsvann kan være tilgjengelig for planter og erstatte mineralisk fosfor. Dette gir et endelig resirkuleringspotensial på 25-50 prosent av den totale mengden fosfor i urensset avløpsvann.

Slakteriavfall

Slakteriavfall inneholder en fosformengde på ca. 2 200 tonn. Etter problemsstillingen rundt BSE-relaterte sykdommer er det i dag kun tillatt å bruke risikofritt slakteriavfall som gjødsel, hvis det er varmebehandlet i henhold prosedyrer i gjeldende forskrifter (kjøttbeinmel). Fosforet i kjøttbeinmel foreligger hovedsakelig som mineralet apatitt i beinfraksjonen og er derfor lite plantetilgjengelig. Vi antar at kjøttbeinmelet bør kunne brukes som råstoff i gjødselproduksjon på lik linje med fosformalm, som også inneholder fosfor i form av apatitt. Slakteriavfall fra syke dyr er ikke tillatt brukt som gjødsel, fordi det er karakterisert som farlig avfall ifølge regelverket. Det består bl.a. av såkalt spesifisert risikomateriale, som omfatter hjerne, ryggmarg og hvirvelsøyle hos storfe. Det bør likevel være mulig å brenne denne type slakteriavfall, og bruke asken som råstoff i gjødselproduksjon. En annen fraksjon, som omfatter innvoller, tarm- og mageinnhold, kan brukes som råstoff til produksjon av biogass, hvor bioresten kan brukes som gjødsel. Vi tror derfor at ved optimal behandling av slakteriavfall bør alt fosforet kunne gjenvinnes og resirkuleres.

Avfall fra sjømatproduksjon

Avfall fra sjømatproduksjon inneholder ca. 1 100 tonn fosfor og omfatter fiskehoder, innvoller fra fisk og skalldyravfall. Fiskehoder og innvoller fra fisk blir for en stor del kastet direkte på havet etter sløying på båt. Gjenvinning av fosfor forutsetter ilandføring av dette avfallet med de ekstra kostnader det måtte medføre. Innvoller fra fisk vil være et godt egnet råstoff til biogass og biorest. Fiskehoder og skalldyravfall har et relativt høyt fosforinnhold, men fosforet kan antas å være lite plantetilgjengelig. Det bør i likhet med kjøttbeinmel kunne brukes som råstoff i gjødselproduk-

sjon. Vi antar at det er teknologisk mulig å gjenvinne og resirkulere alt fosforet i avfall fra sjømatproduksjon, hvis det finnes politiske incentiver til å ilandføre avfallet.

Matavfall

Fosforinnholdet i matavfall er estimert til ca. 500 tonn. I mange områder kan imidlertid matavfallet være forurenset som følge av mangelfull kildesortering. Bedre kildesortering vil gi et renere avfall som kan brukes som råstoff for kompostering eller produksjon av biogass, hvor komposten og bioresten kan brukes som gjødsel. Andelen av fosfor i matavfall som kan gjenvinnes har vi anslått til 70-80 prosent. Både biorest og kompost er kjent for å ha noe lavere enn fosforgjødsel-effekt enn mineralgjødsel. Andelen av fosfor i matavfall som kan resirkuleres har vi derfor anslått til 50-70 prosent.

Konklusjon

Kilder til gjenvinning av fosfor er beregnet til å utgjøre en mengde på ca 27 500 tonn fosfor per år. Vi antar at 70-90 prosent av dette kan gjenvinnes og 55-75 prosent kan resirkuleres og erstatte mineralisk gjødsel. Den totale mengden fosfor som kan resirkuleres er dermed anslått til 15 000-21 000 tonn fosfor. Anslaget for resirkulering er omtrent av samme størrelsesorden som det som årlig tilføres som gjødsel i jordbruket i Norge.

Referanser

- Berge, G. & Mellem, K. B. 2012. Kommunale avløp. Ressursinnsats, utslipp, rensing og slamdisponering 2011. Gebyrer 2012. Oslo, Norway: Statistics Norway.
- Hamilton, H., Brod, E., Hanserud, O.S., Gracey, E., Vestrum, M., Steinhoff, F., Mueller, D., Brattebø, H. (akseptert for publisering). Investigating cross-sectoral synergies through integrated aquaculture, fisheries and agricultural phosphorus assessments: Norway as a case. *Journal of Industrial Ecology*.
- Øgaard, A. F. 2013. Plantetilgjengelig fosfor i avløpsvann – Testing av analysemetodikk for tilgjengelig fosfor. Bioforsk rapport nr. 34 (8). Bioforsk.
- Weikard, H.-P. & Seyhan, D. 2009. Distribution of phosphorus resources between rich and poor countries: The effect of recycling. *Ecological Economics*, 68 (6): 1749-1755.