

Mat, miljø og muligheter

Bioforsk er et forskningsinstitutt med spisskompetanse innen landbruk, matproduksjon, miljø og ressursforvaltning. Bioforsk har også fokus på forskningsbasert innovasjon og verdiskaping. Bærekraftig ressursbruk er en grunnleggende premiss.

Bioforsk skal levere faglig kunnskap som næring, forvaltning og samfunnet ellers etterspør og med relevans til store utfordringer, regionalt, nasjonalt og globalt, slik som klimaendringer, biomangfold, fattigdom og global handel.

Bioforsk har som mål å være en regional, nasjonal og internasjonal konkurransedyktig produsent av kunnskap, tjenester og løsninger.

Bioforsk er representert i alle landsdeler.

www.bioforsk.no



Bærekraftig landbruk

Utfordringer, muligheter og kunnskapsbehov

Audun Korsæth



Bærekraftig landbruk

Utfordringer, muligheter og kunnskapsbehov

Audun Korsæth (red.)

Bioforsk Fokus blir utgitt av
Bioforsk, Fredrik A Dahls vei 20, 1432 Ås
post@bioforsk.no
Ansvarlig redaktør: Forskningsdirektør Nils Vagstad

Denne utgivelsen:
Bioforsk Øst Apelsvoll
Fagredaktør: Audun Korsæth
Redaktør: Audun Korsæth

ISBN: 978-82-17-00602-2

Forsidefoto: Hanne Sickel
Produksjon: www.kursiv.no

Boka kan bestilles hos
Bioforsk Øst Apelsvoll, Rute 509, 2849 Kapp
apelsvoll@bioforsk.no
Pris: 100 kr

www.bioforsk.no

Forord

Bioforsk har som viktig formål å utvikle og formidle kunnskap og innsikt som kan bidra til å fremme en mest mulig bærekraftig utvikling i norsk landbruk. "Mest mulig" er en viktig presisering, fordi det knapt vil være mulig å fastslå noe som absolutt bærekraftig. Til det er begrepet for komplekst, virkeligheten for mangslungen og utviklingen i teknologi, kunnskap og sosi-økonomiske rammevilkår for dynamisk.

Bærekraft dreier seg mye om å forstå sammenhenger og samspill, ikke minst i koblingen mellom økonomiske, sosiale og samfunnsmessige forhold, og økologiske og naturfaglige spørsmål. Dette krever en åpen og fordomsfri tilnærming med basis i sunne vitenskapelige prinsipper. I vårt arbeid har vi valgt å konsentrere oss mest om naturmiljø og økonomi, og i mindre grad om sosiale aspekter. Begrunnelsen for dette er at vår hovedkompetanse er på naturmiljøet, og omfatter både produksjons- og miljøsidene av landbruket. Matproduksjon er også tett knyttet til økonomi, gjennom forbruk av produksjonsfaktorer og salg av produkter.

Bioforsk kommer framover til å ha mye oppmerksomhet rettet mot tematikken bærekraftig landbruk. Vi har i den sammenheng etablert en intern faggruppe bestående av følgende personer: Matthias Kössling, Marianne Bechmann, Gustav Fystro, Eivind Vangdal, Jan Netland, Tor Johansen, Astrid Johansen og Audun Korsæth, sistnevnte som leder for gruppen og forskningsleder for temaet Bærekraftig landbruk i Bioforsk. En viktig del av gruppens oppgave er å bidra til debatt, forståelse og innsikt, gjennom å reise essensielle spørsmål og belyse viktige problemstillinger med relevans for bærekraften i norsk landbruk og norsk matproduksjon.

I herværende publikasjon har vi satt fokus på noen temaer knyttet til produksjons- og ressursmessige forhold ved norsk landbruk, sett fra et bærekraftsperspektiv. Forskningsleder Audun Korsæth har vært redaktør for publikasjonen, som inneholder totalt 14 artikler. En takk til alle som har bidratt som forfattere og kvalitetssikrere, og i den sammenheng rettes en spesiell takk til Matthias Kössling for mange innspill og kommentarer.

Ås 01.02.2010
Nils Vagstad
Forskningsdirektør

Innhold

1. Innledning.....	5
Audun Korsæth, Marianne Bechmann, Gustav Fystro, Matthias Kössling, Jan Netland, Eivind Vangdal, Astrid Johansen & Tor Johansen	
2. Fosforressurser	8
Marianne Bechmann & Anne Falk Øgaard	
3. Energiforbruk.....	13
Eivind Vangdal	
4. Jordvern	17
Gustav Fystro	
5. Biologisk mangfold.....	23
Hanne Sickel	
6. Karbon i jord	28
Arne Grønlund	
7. Jordpakking.....	34
Till Seehusen	
8. Plantevern.....	41
Jan Netland & Guro Brodal	
9. Husdyrhold	48
Gustav Fystro	
10. Næringsstoffbalanse	53
Audun Korsæth	
11. Vannkvalitet.....	60
Marianne Bechmann	
12. Klimagasser	67
Arne Grønlund, Lillian Øygarden & Sissel Hansen	
13. Roadmaps for sustainability in agriculture applying biotechnology approaches for more genetic diversity.....	74
Helke Hillebrand	
14. Sustainable systems	76
Geoffrey R Squire, Graham Begg, Cathy Hawes, Pete Iannetta & Alison Karley	

1. Innledning

Audun Korsæth, Marianne Bechmann, Gustav Fystro, Matthias Kössling, Jan Netland, Eivind Vangdal, Astrid Johansen & Tor Johansen

Landbrukets framtid

Hovedutfordringen for det globale landbruket blir å produsere nok mat av god kvalitet, parallelt med befolkningsøkning og endring av forbruksvaner. Knapphet på jord- og vannressurser vil være de viktigste begrensningene for matvaresikkerhet. Mangel på energi og gjødsel vil fortsatt bli et stort problem, blant annet for det afrikanske landbruket. Norsk landbruk står også overfor en rekke store utfordringer de kommende årene:

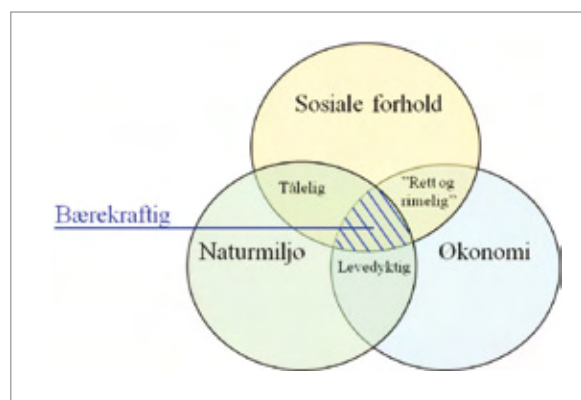
- økt konkurranse, som kan medføre krav om mer effektiv produksjon og ressursutnyttelse
- et mer "globalt" landbruk og friere handel, som vil medføre større sårbarhet for endringer på verdensmarkedet
- krav blant forbrukerne om sikkerhet for "rene" produkter og miljøvennlige produksjonsmetoder
- krav til dokumentasjon av miljøtilstand, miljøvirkninger og ressursutnyttelse
- oppbygging av allmenn tillit i opinionen

Landbruk er et samspill mellom jord, terreng, klima og menneskelige inngrep. Energi, mineraler og arbeidsinnsats må til for å produsere mat, og landbruket vil gjennom en slik bruk av ressurser også påvirke miljø og samfunn. Ressurssituasjoner, klima og samfunn endres i betydelig grad, og derfor er landbruket også i en kontinuerlig endringsprosess. Matproduksjon utgjør en essensiell del av vår eksistens, og det er derfor avgjørende at endringene i landbruket skjer på en måte som gjør oss i stand til å produsere nok mat i positivt samspill med omgivelsene i uoverskuelig framtid. En slik utvikling betegnes gjerne som "bærekraftig".

Definisjon av begrepet bærekraft

"Bærekraft" har blitt et av våre nye moteord, og står dessverre i fare for å bli utbrukt og tømt for innhold. Mange aktører, både innen næringsliv og politikk, ser en fordel av å betegne det de jobber med/for som "bærekraftig", selv om det kan være ulik oppfatning av hva begrepet egentlig står for. Sagt humoristisk, snakker vi om bærekraftig utvikling, bærekraftig vekst, eller bare kraftig vekst?

Det vanlige er å ta utgangspunkt i Brundtland-rapporten "Vår felles framtid" (1987) sin definisjon av bærekraftig utvikling: "En utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov". Uavhengige og gjensidig støttende pilarer for bærekraftig utvikling er økonomisk utvikling, sosial utvikling og ivaretagelse av miljø – på lokalt, nasjonalt, regionalt og globalt nivå (jf. Johannesburg-erklæringens pkt. 5, 2002). En bærekraftig utvikling må altså tilfredsstillende både sosiale og økonomiske forhold og ta vare på naturmiljøet (figur 1).



Figur 1. En bærekraftig utvikling tilfredsstiller naturmiljøet, samt økonomiske og sosiale forhold

I 2005 ble det utviklet et sett av indikatorer, som skal bidra til å evaluere om samfunnsutviklingen på ulike områder i Norge er bærekraftig (NOU 2005:5). Statistisk sentralbyrå (SSB) har ansvaret for å oppdatere og analysere indikatorene. I alt 18 slike indikatorer blir brukt til å evaluere de seks tematiske områdene:

- Internasjonalt samarbeid for en bærekraftig utvikling og bekjempelse av fattigdom
- Klima, ozon og langtransporterte luftforurensninger
- Biologisk mangfold og kulturminner
- Naturressurser
- Helse- og miljøfarlige kjemikalier
- Bærekraftig økonomisk og sosial utvikling

Landbruket blir ikke spesifikt behandlet her.

Dore (1997) gikk nærmere inn på begrepet bærekraft sett i et landbruksperspektiv. Hans kriterier for et bærekraftig dyrkingssystem er at det opprettholder eller bedrer a) den økonomiske vitaliteten i jordbruksproduksjonen, b) naturressursgrunnlaget (bl.a. jordsmonnet) og c) andre økosystemer som påvirkes av landbruksaktiviteten. Definisjonen ble videre supplert med noen fundamentale prinsipper for bærekraftig landbruk:

- produksjonen på gården opprettholdes på lang sikt
- negative effekter på naturressursgrunnlaget og tilgrensende økosystemer er minimert eller fjernet
- minst mulig forekomst i mat og miljø av rester av kjemikalier brukt i produksjonen
- nettogevinsten av landbruket er maksimert, både økonomisk og sosialt
- dyrkingssystemet er tilstrekkelig fleksibelt til å kunne korrigere for variasjoner i klima og markeder

Dore (1997) betrakter i høy grad bærekraftig landbruk ut fra perspektivet om at gården er en økonomisk enhet, som skal overleve for at bonden skal ha en inntjening og en arbeidsplass. Dersom en først og fremst betrakter landbruket som leverandør av mat til verdens befolkning, også i fremtiden, vil tema vedrørende ressursbruk komme tydeligere frem.

For en bærekraftsvurdering må systemgrensene defineres. Bærekraft kan vurderes for eksempel på gårdsnivå, for et lokalsamfunn, ei grend, på nasjonalt nivå eller globalt. En høy grad av bærekraft på ett nivå er ikke nødvendigvis like bærekraftig på et annet nivå. Noen elementer i en bærekraftsvurdering er langsomme prosesser med lang tidshorison, mens andre endrer seg raskt og er mer akutte.

Problemstillinger

Vesentlige områder for et bærekraftig landbruk er at de tilgjengelige ressursene brukes optimalt. Det vil si at jorda som ressurs ikke blir gjort ubrukt for kommende generasjoner, for eksempel ved nedbygging, ved ødeleggelse av jordstrukturen eller utarming av jorda. Dessuten bidrar det biologiske mangfoldet med økosystemtjenester på mange ulike nivå og landbruket må på sin side unngå aktiviteter som truer dette mangfoldet. Bærekraftig landbruk innebærer at innsatsfaktorer i matproduksjonen utnyttes best mulig, spesielt gjelder dette fosfor, som er en begrenset

ressurs. Landbruket er ikke bærekraftig dersom naturen rundt kommer i ubalanse, for eksempel ved utslipp av gift- eller næringsstoffer til vann eller luft.

Bærekraftig landbruk er ikke et enten eller, men snarere et spørsmål om mer eller mindre bærekraftig. Landbruket forbruker ressurser i matproduksjonen og bidrar dessuten med en del uheldige miljøeffekter. Det er for eksempel et spørsmål om hvor mange generasjoner frem i tid vi kan få dagens drivverdige fosforforekomster til å rekke. Det eksisterer andre fosforkilder, men her er tilgjengeligheten og/eller kvaliteten vesentlig dårligere, slik at kostnadene ved å ta disse i bruk kan bli meget høye. Landbruksaktivitet innebærer en del uunngåelige, negative miljøeffekter. Spørsmålet er dermed ikke om landbruket har negative miljøeffekter eller ikke, men hvor mye kan vi redusere skadevirkningene av matproduksjonen.

Landbruket er som nevnt et resultat av samspillet mellom mange faktorer, og dette samspillet er til dels meget komplekst. Når det skal gjøres tiltak for å bedre bærekraften i landbruket, blir man ofte stilt overfor kryssende hensyn. For eksempel kan jorderosjon reduseres dersom vi slutter å jordarbeide på høsten, samtidig som problemene med sopp-sykdommer og ugras øker. Mer sopp og ugras gir økt risiko for innhold av giftige mykotoksiner i kornet. Når sprøytebehovet blir større øker dessuten risikoen for pesticidtap til miljøet.

Eksempelet over er ment å illustrere det faktum at det ikke finnes noen enkle løsninger for hvordan vi skal oppnå et mer bærekraftig landbruk. Man må imidlertid begynne et sted, og da er det naturlig å starte med å identifisere hovedutfordringene. I denne artikkelsamlingen har vi valgt ut 11 tema, som vi mener står sentralt med hensyn til norsk landbruk og bærekraft. Innenfor hvert av disse temaene er de viktigste utfordringene belyst, mulige tiltak diskutert og kunnskapsbehov identifisert. Temaene overlapper, slik at en del elementer blir omtalt i flere av kapitlene.

Fire temaområder har overveidende fokus på ivaretagelse og bruk av ressurser:

- Fosforressurser (Kapittel 2)
- Energiforbruk (Kapittel 3)
- Jordvern (Kapittel 4)
- Biomangfold (Kapittel 5)

Fem tema omhandler effekter av landbruksaktivitet på den lokale jordressursen, og til dels hvordan dette påvirker miljøet rundt:

- Karbon i jord (Kapittel 6)
- Jordpakking (Kapittel 7)
- Plantevern (Kapittel 8)
- Husdyrhold (Kapittel 9)
- Næringsstoffbalanse (Kapittel 10)

De siste to temaene er overveiende sentrert rundt landbrukets miljøeffekter:

- Vannkvalitet (Kapittel 11)
- Klimagasser (Kapittel 12)

Det er stor aktivitet internasjonalt knyttet til bærekraftig landbruk. For å vise noe av spennvidden her har vi tatt med et kapittel om bioteknologi og bærekraft (Kapittel 13) og et kapittel som beskriver noe av den omfattende satsningen på bærekraftig landbruk som er i gang i Skottland (Kapittel 14).

Referanser

Dore, J.J. 1997. Developing Indicators for Sustainable Agriculture. <http://www.indiancommodity.com/ResSustainreport.htm>.

NOU (2005:5): Enkle signaler i en kompleks verden. Forslag til et nasjonalt indikatorsett for bærekraftig utvikling. Norges offentlige utredninger. Staten forvaltningstjeneste, Oslo.

2. Fosforressurser

Marianne Bechmann & Anne Falk Øgaard
Bioforsk Jord og miljø
marianne.bechmann@bioforsk.no

Introduksjon

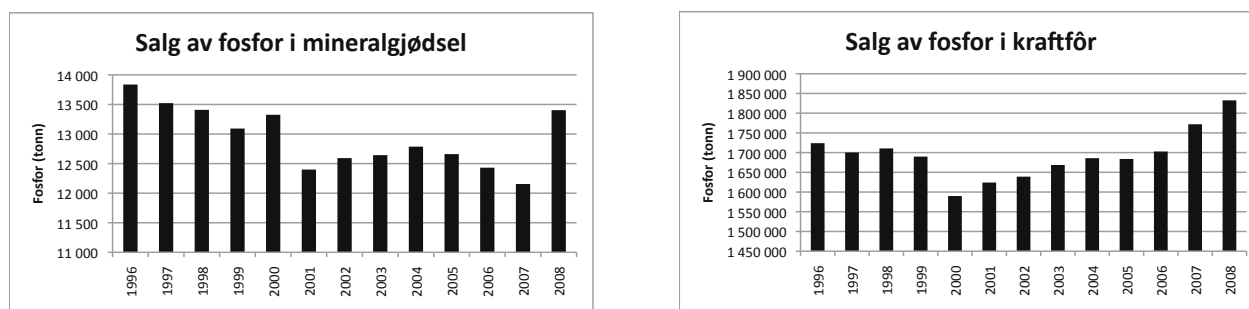
Verdens raskt voksende befolkning har behov for stadig mer mat. Fosfor er et essensielt element i all ernæring, både for planter, dyr og mennesker. Produksjon av mat er derfor blant annet avhengig av tilgang på fosfor. Fra naturens side er jorda ofte fattig på tilgjengelig fosfor, og fosforgjødsling har vært et viktig grunnlag for økningen av matproduksjonen etter andre verdenskrig. Fosfor finnes i begrensede mengder i forekomster der det kan utvinnes til bruk i gjødsel og som tilsetning til dyrefôr. Beregninger viser at dagens kjente forekomster vil være tilstrekkelige til å dekke fosforforbruket i 80-130 år fremover, der varigheten blant annet avhenger av befolkningsøkning og andelen animalske produkter i dietten (Grønlund 2006). For at jordbruket skal ha en mest mulig bærekraftig utnyttning av fosforressursene må det derfor legges vekt på å øke gjødslingen og utnyttingsgraden av fosfor, og dessuten begrense fosfortapene fra jordbrukssystemet.

Utfordringer

Moderne jordbruksproduksjon er basert på kontinuerlige tilførsler av fosfor i mineralgjødsel og førtilsetninger. Kilden til dette fosforet er råfosfat fra fosforminer. Råfosfat er, som olje, en ikke-fornybar ressurs, og det tar 10-15 millioner år å nydanne det naturlige råfosfatet. Det er kun få land som har drivverdige fosforressurser. Tre land kontrollerer om lag 75 % av verdens gjenværende reserver av råfosfat, nemlig Kina, USA og Marokko (som også kontrollerer Vest-Sahara). Tilgang på råfosfat kan derfor få en sterk geopolitisk betydning i fremtiden. Utvinning av mer eller mindre tilgjengelige fosforressurser er et prisspørsmål. Prisen vil trolig øke etter hvert som de mest tilgjengelige reserver er brukt opp. Fosforsituasjonen har mange likhetstrekk med olje, men ulikt olje, er der ingen erstatning for fosfor. På den annen side kan fosfor bli resirkulert og brukt om og om igjen. Utfordringene er at fosfor inngår i delvis åpne sykluser, hvorfra det kan tapes og kontamineres.

Fosforforbruk i Norge

Forbruk av fosfor i jordbruket har vært økende siden 50-årene, og det nådde en topp rundt 1980. Da ble det årlig i gjennomsnitt tilført ca. 2,5 kg mer fosfor per dekar enn det som ble fjernet med avling. På begynnelsen av 1980-tallet ble man oppmerksom på at dette store fosforoverskuddet kunne ha negative konsekvenser for vannkvaliteten ved at fosfor kom på avveie og bidro til algevekst i innsjøene. Forbruket av fosfor i mineralgjødsel i Norge ble nesten halvert fra midten av 1980-tallet til begynnelsen av 1990-tallet. Følgelig ble også fosforoverskuddet redusert. I perioden 1990 til 2002 lå den på 1,3-1,5 kg P/daa/år. Dette er fortsatt betydelig når en ser det i forhold til hvor mye som fjernes med en normalavling. Overskuddet tilsvarer omtrent samme fosformengden som det som er i 400 kg korn. Fosforoverskuddet betyr at vi i Norge fortsatt bygger opp fosforreservene i jorda, med økt fare for utvasking og avrenning. I de siste årene har forbruket i Norge gått enda litt ned (figur 1). Unntaket er 2008. Økningen i salg av mineralgjødsel dette året skyldes økende priser og hamstring av mineralgjødsel. I en del andre europeiske land har nedgangen vært ennå større de siste årene enn den vi har hatt her i Norge. Dette henger spesielt sammen med større problemer med forurensning mange steder i Europa, mer bevissthet omkring fosfor som en begrenset ressurs og endrede prisrelasjoner mellom kunstgjødsel og landbruksprodukter. Nedgang i salget av fosfor i mineralgjødsel i Norge har blitt delvis oppveid av en økning i innkjøpt kraftfôr (figur 1). Fra 1992 til 2009 har det vært en reduksjon i antall kyr i Norge fra 350 000 til om lag 300 000 gjødseldyrenheter (GDE). I samme periode har antall svin og kylling økt fra 100 000 til 140 000 GDE (SSB). Det vil si at kraftfôrbasert husdyrproduksjon med høyere import av fosfor i form av kraftfôr, har erstattet en del av den mer grovfôrbaserte produksjonen.



Figur 1. Salg av fosfor i mineralgjødning og salg av fosfor i kraftfôr for landet som helhet (kilde: SSB).

På grunn av kanaliseringspolitikken som medfører en skjevfordeling av landets husdyrproduksjon, har ulike regioner ulikt fosforoverskudd. Overskuddet er større i regioner med høy husdyrtetthet sammenlignet med regioner med lite husdyr. Husdyrregionene har lite egen kornproduksjon. Korn til kraftfôr kjøpes hovedsakelig fra de kornproduserende regionene. Korn inneholder fosfor som dermed blir flyttet fra kornregionene til husdyrregionene. I tillegg blir kraftfôr tilsatt mineralisk fosfor for å sikre at husdyras fosforbehov blir dekket. En betydelig del av fosforet i fôret blir skilt ut i gjødsla. I mange år ble det ikke tatt tilstrekkelig hensyn til fosfor som ble tilført med husdyrgjødsel ved valg av mineralgjødningstype og mengde. Konsekvensen er at fosforoverskuddet har vært spesielt stort i husdyr-distriktene.

En uheldig effekt av for høye fosfortilførsler, er fosfortapet til vannforekomster. Fosfortap til vann varierer mye og avhenger av jordsmonn, klima og gjødselmengde. I intensive kornområder på Sør-Østlandet utgjør fosfortapet om lag 10 % av fosforet som tilføres med gjødsel (Bechmann *et al.* 2008). Fosfor som

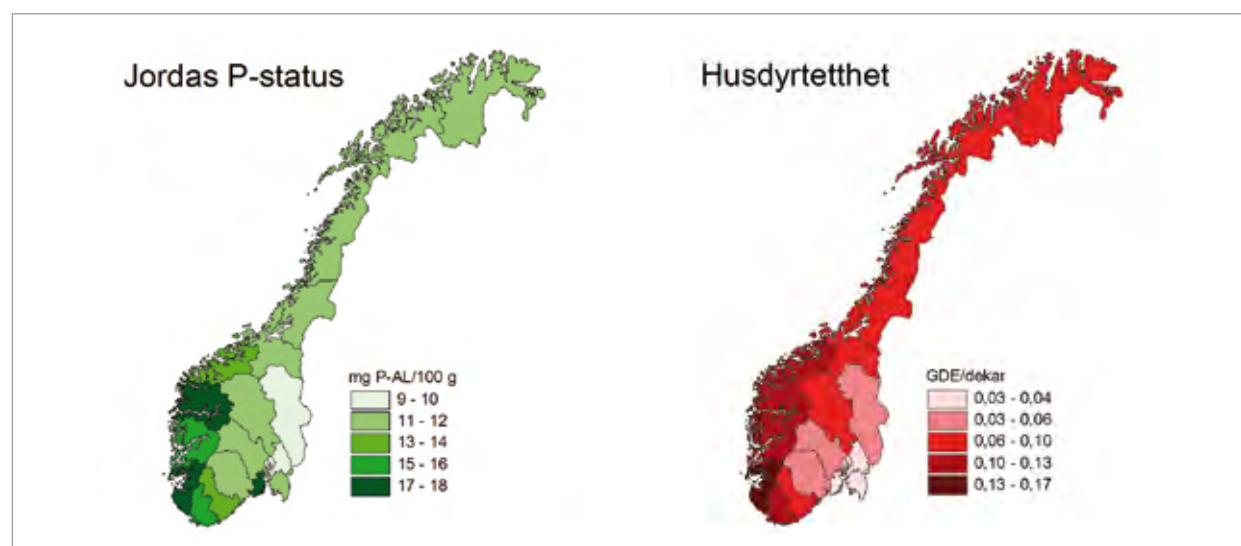
tapes til vann forsvinner ut av fosforkretsløpet og blir en tapt ressurs.

Tiltak

Det finnes betydelige mengder fosfor i husdyrgjødsel og organisk avfall. Resirkulering av organisk avfall har fått økt fokus de siste årene på grunn av økt prioritet av ressurs- og miljøhensyn. Det totale innholdet i våtorganisk avfall, slam og kjøttbeinmel i Norge er beregnet til ca. 7000 tonn fosfor per år, som er mer enn 50 % av det som omsettes i mineralgjødning. Bare ca 20 % av dette går tilbake til landbruket (Bøen & Grønland 2008). I tillegg kan en etter flere tiårs oppbygging av fosforreservene i jord regne en del av fosforet i jord som en ressurs som kan og bør utnyttes.

Fosfor i jord

Gjennomsnittsinholdet av lett tilgjengelig fosfor (P-AL) i norsk jordbruksjord klassifiseres som høyt, men det er stor variasjon mellom områder. Figur 2 viser middel P-AL tall i enkeltfylker sammenlignet med husdyrtettheten i fylkene. Husdyrintensive områder



Figur 2. Fosforinnhold i jordbruksjord og husdyrtetthet (GDE/dekar) fordelt på fylker.

har hatt de største fosforoverskuddene og dermed fått høyt innhold av fosfor i jorda. Tilsvarende gjelder også for områder med mye grønnsaksdyrking. Vestfold er et slikt eksempel: Det høye P-AL nivået skyldes sannsynligvis intensiv grønnsaksproduksjon, siden husdyrtettheten er lav i dette fylket. Mange grønnsaker og poteter har et lite effektivt rotsystem og trenger derfor fosfor i relativt høy konsentrasjon for å gi økonomisk optimale avlinger.

Mer fosfor i jorda gir økt risiko for tap til vassdrag. Av miljøhensyn ønsker en derfor at fosforinnholdet skal være så lavt som mulig uten å være avlingsbegrensende. Ved produksjon av korn og gras på jord med middels P-AL-verdier (5-7), regner en med å oppnå økonomisk optimale avlinger, hvis en gjødsler med like mye fosfor som det som fjernes med avlingene. Dette betyr at en de fleste steder har en lokal fosforressurs i egen jord som kan tæres på ved å gjødsle med mindre fosfor enn det som fjernes ved høsting. Forsøk har vist at korn og gras har god evne til å utnytte fosfor i jord hvis vekstforholdene ellers er gode (blant annet god jordstruktur, rett pH og tilstrekkelig med vann). De nye gjødslingsanbefalingene til korn og gras anbefaler da også å gjødsle med mindre fosfor enn det som avlingene tar opp når P-AL er større enn 7. Fra P-AL-verdier på 14 og høyere anbefales det at man unngår gjødsling med fosfor.

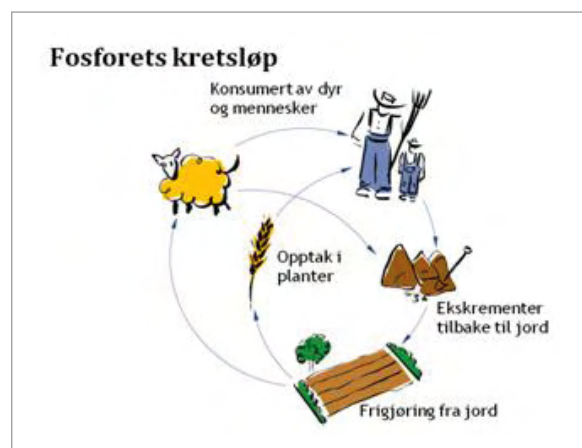
Husdyrgjødsel

Maksimal tillatt husdyrtetthet (0,25 GDE/daa) tilsvarer omlag 3,5 kg fosfor tilført per dekar. Dette er mer fosfor enn det plantene tar opp i de fleste tilfellene. Overskudd av fosfor i husdyrintensive områder har, som vist ovenfor, ført til høyt innhold av fosfor i jorda. Fosfornivået er mange steder så høyt at det ikke er behov for å tilføre fosfor. For god utnyttelse av fosforressursene i husdyrgjødsel bør den tilføres på arealer hvor den kan erstatte bruk av fosfor i mineralgjødsel. I husdyrdistriktene kan det imidlertid være sparsomt med slike arealer og lengre transport blir nødvendige hvis fosfor i husdyrgjødsel skal utnyttes optimalt. Slik transport har sine ulemper ved at den vil være kostbar og energikrevende.

Avløpslam

Fosfor i avløpslam utgjør ca 1900 tonn fosfor per år (Bøen & Grønlund 2008). Ved rensing av avløp og kloakk er målsettingen å redusere utslippet av fosfor mest mulig kostnadseffektivt. Til utfelling brukes som regel jern eller aluminium, som danner tungtløselige

og lite plantetilgjengelige fosforforbindelser. I enkelte tilfeller er overskuddet av fellingskemikalier så stort at det fører til netto binding av fosfor i jorda, noe som innebærer at slammet da faktisk har en negativ gjødselvirking. Regelverket for maksimalt tillatt mengde tilført avløpslam til jordbruksarealer er satt ut i fra innholdet av tungmetaller. For de fleste slamtypene innebærer dette at det på jordbruksarealer tillates brukt opp til 2 tonn tørrstoff/daa/10 år, men det finnes også slamtyper med så lavt innhold av tungmetaller at de tillates brukt i opp til 4 tonn tørrstoff/daa/10 år. Det er ingen begrensninger på tilførsel av fosfor med avløpslam, og de tillatte mengdene innebærer en betydelig tilførsel av fosfor. To tonn slamtørrstoff per daa gir en fosfortilførsel varierende fra ca 15-60 kg fosfor/daa, avhengig av hvilken slamtype som brukes. Store mengder tilført fosfor med lav tilgjengelighet fører til at tilbakeføringen til landbruket må heller karakteriseres som deponering enn resirkulering.



Figur 3. Fosfor i kretsloop

En forbedret ressursutnyttelse er avhengig av tilgjengelighet av fosfor i avløpslammet. Rense- og slambehandlingsprosesser gir varierende tilgjengelighet av fosfor i slammet. For eksempel vil biologisk felt slam gi et slam med høy tilgjengelighet av fosforet, og kalkbehandling av slam som er felt med jern og/eller aluminium vil bedre tilgjengeligheten av fosforet. Med god tilgjengelighet av fosforet i slammet er det imidlertid viktig at slammet tilføres i mindre mengder, slik at det ikke fører til økt fosfortap ved avrenning.

Det er en del skepsis til bruk av avløpslam på grunn av uønskede stoffer som f.eks. tungmetaller, organiske miljøgifter og rester av medisiner og hormoner. Tungmetallinnholdet i norsk avløpslam er imidlertid nå på et så lavt nivå at det ikke bør være hindrende for å resirkulere fosforet i slammet. Tungmetaller inn-

går også i det naturlige kretsløpet fordi berggrunnen inneholder tungmetaller og dessuten finnes det derfor tungmetaller i de fleste typer organisk avfall, også husdyrgjødsel. Vitenskapskomitéen for mattrygghet har hatt gjennomgang av risiko ved bruk av avløps-slam på jordbruksarealer og har konkludert med at det er trygt å bruke avløpsslam som gjødsel- og jordforbedringsmiddel ut fra det vi vet i dag (Vitenskapskomitéen for mattrygghet 2009).

Kjøttbeinmel

Fosfor i kjøttbeinmel utgjør ca 1900 tonn fosfor per år, det vil si i samme størrelsesorden som slam (Bøen & Grønlund 2008). Ca. 20 % av den totale produksjonen av kjøttbeinmel blir imidlertid destruert ved forbrenning på grunn av smittefare, og er ikke tillatt brukt som gjødsel. Dette omfatter spesifisert risikomateriale (SRM) som består av de delene av organismen hvor sannsynligheten for BSE-smitte er størst (hjerne, ryggmarg), i tillegg til selvdøde dyr. I Norge brukes dette materialet hovedsakelig i sementproduksjon. Fosformengden i SRM, som antas å utgjøre mellom 400 og 500 tonn per år, blir dermed ødelagt for all overskuelig fremtid.

Kjøttbeinmel har et betydelig innhold av både nitrogen og fosfor og er aktuelt å bruke som gjødsel etter at det ble innført restriksjonen mot å bruke det til dyrefôr. Kjøttbeinmel inneholder 3,5-6 % fosfor og 7,5-9,5 % nitrogen. Fosforet her er mindre tilgjengelig enn fosfor i mineralgjødsel. I forsøk har fosfor i kjøttbeinmel vist en fosforvirkning tilsvarende opp til 50 % av fosfor i superfosfat første vekstsesong (Jeng *et al.* 2006), og noe mer av fosforet ble frigjort året etter spredning. I forhold til plantenes behov inneholder kjøttbeinmel mye fosfor i forhold til nitrogen. Det betyr at hvis en doserer kjøttbeinmel etter plantenes nitrogenbehov, blir fosfortilførselen alt for høy. En bør derfor begrense mengden kjøttbeinmel slik at det bare dekker fosforbehovet, og eventuelt supplere med nitrogen. Det er imidlertid vanskelig å spre kjøttbeinmel i så små mengder som fosforkonsentrasjonen tilsier. Pelletering av kjøttbeinmelet eller blanding med aske fra biobrensel vil kunne avhjelpe dette problemet.

Fosfor i matavfall

Fosfor i matavfall er beregnet til 7-800 tonn per år (Bøen & Grønlund, 2008). Mengden matavfall er vanskelig å anslå, så dette tallet har stor usikkerhet. En del matavfall fra husholdninger blir ikke kildesortert og blir derfor forbrent og deponert. Gjennom bedre

kildesortering kan en større del av avfallet gå tilbake til landbruket etter kompostering eller biogassproduksjon, og fosforet nyttes som gjødsel. Etter juli 2009 er det forbudt å deponere våtorganisk avfall på avfallsdeponier. Sammen med fokus på bioenergi har dette ført til økende interesse for produksjon av biogass basert på matavfall. Biogassproduksjon på matavfall gir et restprodukt (biorest) som har høy konsentrasjon av lett tilgjengelige næringsstoffer og som er godt egnet som gjødsel i landbruket. En biorest basert på matavfall med høy andel vegetabilier har et nitrogen-fosfor-forhold som er bedre tilpasset plantenes behov enn animalske avfallsprodukter. Plantenes nitrogenbehov kan dekkes uten at det blir stort overskudd av fosfor.

Kunnskapsbehov

Det er behov for å kartlegge mulighetene for redusert fosforgjødsling til ulike vekster uten betydelig reduksjon i avling og kvalitet, slik at fosforforbruket kan reduseres. Videre er det behov for forskning på faktorer som kan bidra til å øke utnyttingsgraden av tilført fosfor, bl.a. mykorrhiza, pH, jordstruktur og sortsutvikling. Dette gjelder særlig for radvekster og andre vekster med begrenset rotutvikling.

Fosfor tilsettes fôr for å oppnå tilstrekkelig høyt fosforinntak hos husdyrene. Fosfor i fôr bør ha høy tilgjengelighet slik at fosforet utnyttes maksimalt. Fosfortilsettinger som har høy tilgjengelighet og stor utnyttelsesgrad i dyrene er under utvikling. Større utnyttelsesgrad bidrar blant annet til at det blir mindre fosfor i husdyrgjødsel, noe som vil bedre situasjonen i områder med høy husdyrtetthet og høyt fosforinnhold i jorda.

Utvikling av forbedrede metoder for spredning av husdyrgjødsel vil kunne bidra til å redusere behovet for mineralgjødsel til slike arealer. God lagerkapasitet og hyppig gjødsling vil også bidra til bedre utnyttelse. Det er viktig å få mer kunnskap om muligheten for å bruke direkte gjødsel injeksjon (DGI) og andre nedfellingsmetoder, og disse metoders betydning for avrenning av næringsstoffer til vassdragene.

Kunnskap om resirkulering av fosforressurser i organisk avfall må økes, samtidig som kunnskap om verdien av denne ressursen må formidles til relevante aktører. For avløpsslam er det nødvendig å optimalisere rense- og slambehandlingsprosesser som gir god

renseeffekt samtidig som slammet får best mulig tilgjengelighet av fosforet for planter. I tillegg må slammet kontinuerlig overvåkes for innhold av stoffer med potensielt negative effekter på mennesker og miljø. Et bærekraftig landbruk bør i størst mulig grad satse på resirkulering av fosforressursene og utnyttelse av tilgjengelige fosforressurser i samfunnet.

Referanser:

- Bechmann, M., Pengerud, A., Eggestad, H.O., Deelstra, J. & Øygarden, L. 2008. Erosjon og næringsstofftap fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Årsrapport for 2006/07 fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA). Bioforsk Rapport 3(20). 51 s.
- Bøen, A. & Grønlund, A. 2008. Phosphorus resources in waste – closing the loop. NJF Report Vol 4(4): 102-106.
- Grønlund, A. 2006. Fosfor – en framtidig knapphetsressurs. Plantemøtet Østlandet 2006. Bioforsk Fokus Vol 1. Nr 3. ISBN 82-17-00013-1. S. 14-15.
- Jeng, A.S., Haraldsen, T.K., Grønlund, A. & Pedersen, P.A. 2006. Meat and bone meal as nitrogen and phosphorus fertilizer to cereals and rye grass. Nutrient Cycling in AgroEcosystems, 76: 183-191.
- Phosphorus futures. 2010. <http://phosphorusfutures.net/>.
- Vitenskapskomiteén for mattrygghet. 2009. Risk assessment of contaminants in sewage sludge applied on Norwegian soil. Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM), Oslo. 244 s.

3. Energiforbruk

Eivind Vangdal
Bioforsk Ullensvang
eivind.vangdal@bioforsk.no

Introduksjon

Jordbruk er totalt sett ikkje energikrevjande, og er den einaste næringa med netto energioverskot. Gjennom fotosyntesen er energien i produkta samla sett høgare enn det som går med i produksjonen. Men det er store skilnader mellom dei ulike produksjonane og kulturane. Veksthusnæringa skil seg ut med særleg stort energiforbruk, og vil få særleg omtale i artikkelen nedafor.

Status

Sjølv om jordbruket samla sett går i pluss med omsyn til energi, er energi ein viktig innsatsfaktor. Det er ein stor utgiftspost som og kan medføre uynskte verknader på klimaet. Dette gjeld særleg bruk av fossile energibærarar som gjev utslepp av CO₂ m.m.

Dei viktigaste energibærarane i husdyr- og planteproduksjon i Norge er i dag elektrisk kraft og fossilt brensel. I perioden frå 2001 til 2005 gjekk bruken av elektrisitet i jordbruket ned med om lag 6,5 %, medan dieselforbruket i same perioden auka med 2,3 % (Gundersen *et al.*, 2009).

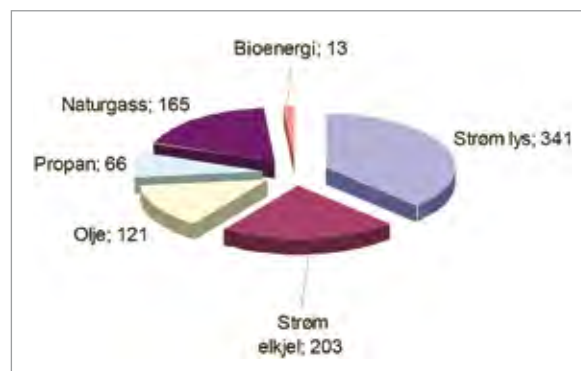
I husdyrproduksjon går mykje elektrisitet med til oppvarming av husdyrrom, kjøling av t.d. mjølketankar og ventilasjon. I planteproduksjon krev korntørker og kjølelager for planteprodukt mykje energi i form av elektrisitet.

Dieselforbruket er primært knytt til transport, jordarbeiding, innhausting og bruk av dieseldrivne maskiner til andre føremål. Auken ein har sett dei seinare åra kan skuldast at ein nyttar større maskiner, større køyreavstandar til t.d. leigejord og meir transport i samband med tilleggsnæringar.

Viktige innsatsfaktorar i jordbruket er dessutan svært energikrevjande å produsera. Både nitrogenhaldig handelsgjødsl og plast er typiske eksempel på dette. Sjølv om Yara legg stor vekt på å produsera gjødsl meir effektivt (www.yara.no), vert det framleis brukt mykje fossilt brensel for å produsera handelsgjødsl. Produksjonen av gjødsl åleine brukar rundt 1,2 prosent av verdas energiforbruk, og er ansvarleg for

rundt 1,2 prosent av dei globale klimagassutslipp, i alt 500 millionar tonn kvart år. Men samla sett har ein positiv energigevinst av handelsgjødsl. Energien i den auka avlinga er større enn energien som gjekk med til å produsera handelsgjødsla som gjev avlingsauken. Energigevinsten vil oftast vere meir enn 6 gonger energiinnsatsen.

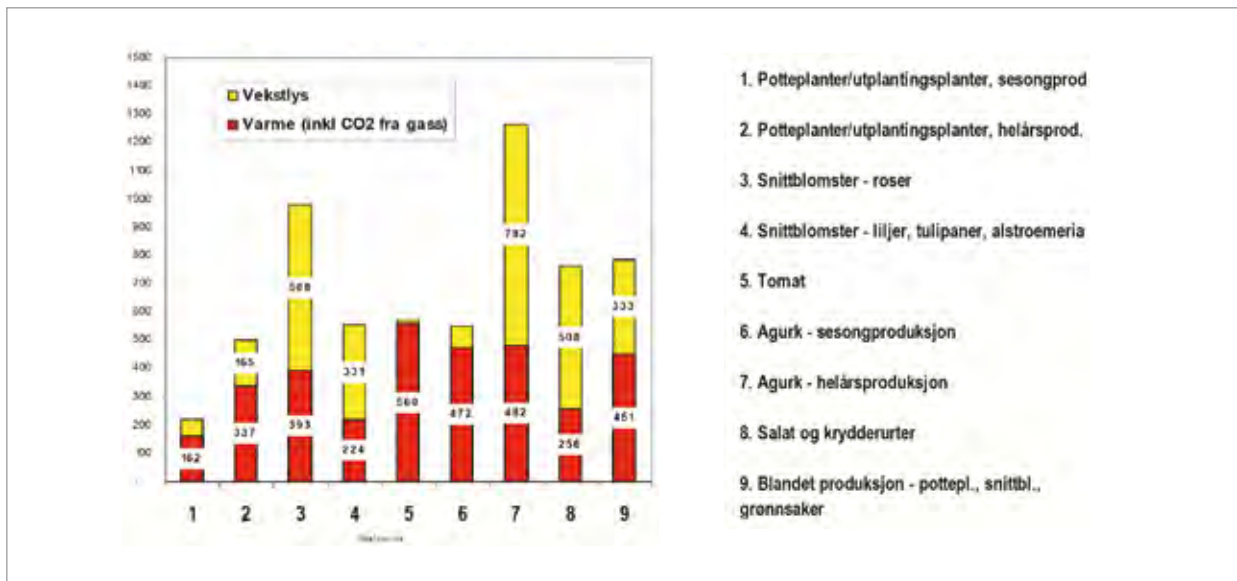
Veksthusnæringa skil seg frå andre jordbruksproduksjonar både med høgt energiforbruk og store utslepp av CO₂. Oppvarming og vekstlys krev mykje energi. Tidlegare var oppvarminga av veksthus basert på elektrisitet og olje, men her har det skjedd store endringar dei seinare åra. Frå 1988 til 2006 er bruken av lette fyringsoljer redusert med 80%. For tung fyringsolje er reduksjonen rundt 90%. Det er naturgass og propan som erstattar olje som energikjelde i veksthusproduksjonane (Gundersen *et al.*, 2009).



Figur 1. Energiforbruk (GWh) i veksthus i 2007 fordelt på ulike energi-bærarar, totalt forbruk var 909 GWh (kjelde: Zero, 2009 / NGF)

Trongen for elektrisitet til lys har auka frå 225 GWh i 1998 til 340 GWh i 2006, medan bruken av elektrisitet til oppvarming har gått ned frå 280 til 200 GWh i same periode (Gundersen *et al.*, 2009).

30 % av veksthusarealet i Norge vert nytta til matproduksjon (tomat, agurk, mm) medan 70 % vert nytta til blomsterproduksjon. Det er stor skilnad i energiforbruk i ulike veksthusproduksjonar. Snittrosar og heilårsproduksjon av agurk krev særleg mykje lys.



Figur 2: Energiforbruk pr m2 pr. år for ulike veksthusproduksjonar (Zero, 2009)

Det totale utslippet av CO₂ frå fossilt brensel i jordbruket var i 2006 på nær 407.000 tonn. Av dette er det anslått at vel 82.000 tonn kjem frå veksthusnæringa. Det utgjør vel 20 % av totalutslippet, medan veksthusproduksjonane utgjør 8,5 % av verdien av norsk jordbruksproduksjon (Norsk Gartnerforbund, 2008).

Utfordringar i jordbruket generelt

Det er ei generelle utfordring å redusera energibruken i det norske jordbruket og gjera produksjonen meir energieffektiv. Men det er ein føresetnad at ein har god kunnskap om effekten av den energien ein set inn i produksjonen. For alle produksjonar i norsk landbruk er det trong for energirekneskap. Her må ein ta med energi brukt på garden, energi brukt ved t.d. handlegjødselproduksjon, energi ført ut av garden (produserte varer, halm og husdyrgjødsel som er levert til biogassanlegg o. l.), og effekt på energibalansen av alternativ bruk av areal (m.a. skog).

Utfordringar i veksthusproduksjonar

Hovudutfordringane i veksthusnæringane er:

- å redusera bruken av energi generelt
- å redusera utslipp av klimagassar
- å henta ein større del av energien frå fornybare energikjelder

Norsk Gartnerforbund har sett opp fylgjande mål:

- Redusera energiforbruket pr. produsert eining med 1,5 – 2 % pr. år fram til 2012, og redusera

det totale energiforbruket med 15 % i 2012 i høve til 2007 (Norsk Gartnerforbund, 2008).

- CO₂utslipp frå veksthusnæringa i 2012 skal vera 17 % mindre enn i 2007
- 65% av energien skal koma frå fornybare energikjelder i 2012

Ein føreset at det totale oppvarma veksthusarealet held seg om lag konstant fram til 2012.

Tiltak

Kompetanse og kunnskap

Norsk Gartnerforbund samarbeider med Bioforsk om prosjektet "Klimagassregnskap for norske veksthusprodukter". Målet er gjennom livsløpsanalyser for veksthusprodukta å koma med tilrådingar for produksjonssystem m.v. som kan gje ytterlegare reduksjon i klimagassutslipp og annan negativ miljøpåverknad.

Norsk Gartnerforbund har initiert eit rådgjevningsprosjekt "Spesialrådgiving energi i veksthusnæringa". Gjennom prosjektet vil ein heva kunnskapen generelt om energibruk og miljøverknader hjå produsentane, og tilby "energianalyse" for kvart veksthusanlegg. Denne skal konkretiserast i ein tiltaks- og investeringsplan for redusert energibruk og redusert CO₂-utslipp.

Det er ein barriere at dyrkarane har manglande kompetanse. Det er ingen standardløyning, så ein må kunna tilby kompetanse som kan skreddarsy energieffektiverande tiltak i ulike veksthus og produksjonar.

Tiltak for å redusera energibruken / energieffektivisering

Med meir energieffektive lyskjelder (t.d. LED-lampar) kan ein redusera energiforbruket. Leverandøren av slike lyskjelder er meir optimistisk enn næringa og nokre forskarar om verdien av dette. LED-teknologien (Light Emitting Diode) gjev lys som plantene kan utnytta nesten 100 %, medan tradisjonelle lampar (høgtrykksnatrium-armatur) gjev lys som plantene kan nytta seg av tilsvarande 20 %. Sjølv om det som nemnt er usemje om LED-lampar sin verknad på plantevekst, har Zero anslått energigevinsten ved overgang til LED-teknologi i norsk veksthusproduksjon til 100 GWh årleg (Zero, 2009).

Det er og jamnleg utprøving av dyrkingssystem med mindre bruk av tilleggslys. Med betre kunnskap om plantemateriale og dyrkingssystem kan energibruken truleg reduserast. Åse gartneri produserer t.d. agurk utan bruk av tilleggslys. Dersom alle kutta ut tilleggslys i agurkveksthusa, ville ein årleg spare 54 GWh (Zero, 2009).

Det er ei stadig utvikling med omsyn til teknisk utforming, isoleringstiltak og nye materialar. I Nederland vert det prøvd ut veksthus med nye plater (dobbel polykarbonat) som skal gje energiinnsparring på 45 % i høve til tradisjonelle materialar. Om og når dette kan takast i bruk i Norge er usikkert, det sama gjeld prisen på det nye systemet.

Det mest effektive tiltaket for å redusera energibruken i veksthus er ulike former for isolering. Gardiner med god kvalitet kan redusera energiforbruket med 30-50 %, tilsvarande 120-180 GWh (Zero, 2009). Andre tiltak vil vera å utnytta lokalklimatiske tilhøve eller magasinera varme aktivt eller passivt.

Tiltak for å redusera utslepp av klimagassar

Det viktigaste tiltaket er generell energieffektivisering og overgang til bioenergi. Aktuelle metodar er biobrenselanlegg, varmpumper, spillvarme og solfangarar. Biobrensel kan vera ufoedla (t.d. flis) eller foedla som brikettar eller pellets. Bioenergi kan ein og få frå biogassanlegg basert på husdyrgjødsel eller kloakkslam (Zero, 2009). Plasseringa av veksthusanlegga i høve til avfall som kan nyttast i biogassanlegg er avgjerande for å få det økonomisk forsvarleg.

For å få ein overgang frå fossile energibærarar som olje og naturgass, er det truleg trong for tiltak som investeringsstøtte til ulike tiltak kombinert med avgift på fossile energibærarar. Dette vert drøfta (Zero, 2009). Pris er heilt avgjerande for kor stor og rask omlegging ein kan få til meir bruk av fornybare energibærarar. Moglege stimuleringsstiltak er og avgjerande for konkurranseevna til norsk veksthusnæring i høve til konkurrentar i utlandet.

Kunnskapsbehov

Det er eit generelt kunnskapsbehov om energibalansen i norsk landbruk. Dette gjeld både produksjonar med husdyrhald, planteproduksjon på friland og veksthusproduksjonane.

Gjennom prosjektet med livsløpsanalyse (LCA) av veksthusprodukt vil det koma fram kunnskap som vil gje grunnlag for omlegging av produksjonssystem m.m. Det er trong for meir studiar av optimal tilpassing av plantemateriale og plantesystem i høve til dei krav med omsyn til energibruk og klimaverknader som samfunnet og forbrukarane set til veksthusproduksjonar.

Det er trong for meir teknisk kunnskap om løysingar for redusert energibruk og alternativ til fossile energibærarar spesielt tilpassa veksthusproduksjonane i ulike regionar. Det er ynskjeleg med fleire demonstrasjonsanlegg for ulike kulturar og system.

Endringar i kva energikjelder ein baserer seg på, set krav om ny kunnskap og kompetanse hjå produsentane. Det krev ei bevisstgjerung og gjerne endringar i haldninga til energibruk og miljøeffektar av produksjonane. Dette arbeidet er påbegynt i prosjektet "Spesialrådgivning energi i veksthusnæringen", men må verta eit viktig tema i næringa ut over prosjektperioden.

Referansar

Gundersen, G.I., Snellingen Bye, A., Berge, G., Hoem, B. & Skjei Knudtsen, S. 2009. Jordbruk og miljø. Tilstand og utvikling 2009. Statistisk sentralbyrå rapport 37/2009.

Norsk Gartnerforbund 2008. Energiforbruket i veksthusnæringen – mål for energieffektivisering/reduksjon i energiforbruk og CO2-utslipp. Notat datert 14.10.2008 JL.

Yara 2009. www.yara.no.

Zero 2009. Reduksjon av utslipp av klimagasser fra veksthusnæringen. Zero-rapport 2009 www.zero.no.

4. Jordvern

Gustav Fystro
Bioforsk Øst Løken
gustav.fystro@bioforsk.no

Introduksjon

Begrepet jordvern blir tillagt ulik betydning i ulike deler av verden. I Norge er det nærmest synonymt med å sikre etterkommere muligheten til å dyrke egen mat på egen jord. Opplevelsen av hvilke arealressurser det er særlig knapphet på er nok viktig for å forstå begreps- og kulturforskjeller mellom land. Som eksempel er vern mot nedbygging av naturmark noen steder sterkere enn vern mot nedbygging av dyrka jord. Vektlegging av matproduksjon som argument i jordverndebatten synes derimot å styrke seg hos oss.

Bakgrunn

Matproduksjon er i det store bilde uløselig knyttet til jordareal. Våre nasjonale jordressurser representerer både muligheter og utfordringer. Muligheter fordi vårt unge og lite forvitrede jordsmonn har gunstige produksjonsegenskaper i kombinasjon med våre vannressurser. Utfordringene ligger først og fremst i faktorer som topografi, steininnhold, jordsmonnstykkelser og klimaforhold, som alle kan virke begrensende på produksjonspotensialet. Mye areal er godt egnet til gras og grovførbasert husdyrhold, mens areal godt egnet til kornproduksjon kan ventes å bli en begrensende faktor for graden av selvforsyning i fremtiden.

Matproduksjon bør dessuten drøftes i en global sammenheng, og ut fra et bærekraftig perspektiv er tilgjengelighet på jordressurser en helt fundamental faktor, både nasjonalt og globalt.

Problematikken rundt jordvern er relatert til konkurranse om arealbruk. Fra en økonomisk vinkling foregår avgang av jord til matproduksjon både fordi marginale områder ikke lenger er lønnsomme og fordi betalingsvnen ved matproduksjon ikke kan konkurrere med alternativ bruk. Debatten om jordvern handler i den sammenheng om areal som varig tas ut av bruk til matproduksjon, og som i praksis ikke lar seg tilbakeføre igjen. I mer utvidet forstand bør jordvern også inkludere alt areal med kulturlandskapsverdier.

Klassiske konflikter i jordvernsammenheng knytter seg til tettsted- og byutvikling. Arealkrav er da relatert til en rekke ulike formål, som boligutvikling, industrialisering og handelsetablering. Etablering av infrastruktur synes å ha vært en av hoveddriverne til omdisponering av dyrka og dyrkbar mark til alternativ bruk. Arealbruk til fritid og rekreasjon er også en vesentlig faktor, blant annet gjennom sterk hyttebygging i mange områder. Omdisponering innen landbruket selv kan derimot i mange kommuner være den viktigste faktoren til nedbygging av dyrka jord (Saglie *et al.* 2006).

Jordvern er i den senere tid satt høyere opp på den politiske dagsorden, noe som blant annet resulterte i en egen jordverngruppe nedsatt av LMD. I en rapport fra denne gruppa ble temaet drøftet i stor bredde og det ble gjort vurderinger av status og av nåværende og fremtidig virkemiddelbruk (Syrstad *et al.* 2008).

Utfordringer

Jord - en ettertraktet ressurs

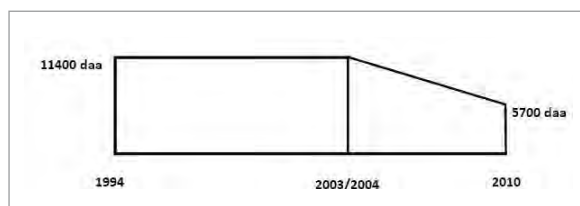
På verdensbasis utgjør dyrka mark ca 12 % av landarealet (Foley *et al.* 2005). Hvor mye areal som kan dyrkes i tillegg, vil være avhengig av en rekke forhold. For eksempel vil landbruksdrift tære på ulike ressurser og medføre diverse tap, og ulike driftsystemer og -måter vil med ulikt omfang utfordre grenser for ressursbruk, miljø og klimagassutslipp. Tilgang på vann er avgjørende for om tilgjengelig areal kan tas i bruk for matproduksjon i mange områder. Konvertering av skog og utmark til landbruksarealer gir dessuten tap av økosystemverdier og biomangfold, og det er en økende bevissthet rundt verdien av slike faktorer i forhold til bærekraft. En bærekraftig øvre grense for areal til matproduksjon er anslått til rundt 15 % av verdens isfrie landareal (Rockström *et al.* 2009). Det knytter seg betydelig usikkerhet til et slikt anslag, men mye taler for at vi med forventet befolkningsvekst og økonomisk utvikling vil nå slike nivåer innen få år. Per i dag finnes det noe reservekapasitet i form av brakklagte og svært ekstensivt drevne arealer.

Effekter av forventede klimaendringer er usikre, men man regner med at de vil være negative i forhold til matproduksjon globalt sett. Under norske forhold kan det hende vi får en positiv effekt av en temperaturøkning, men samtidig øker risikoen for ekstremvær. Ustabilt klima er ikke ønskelig.

En bevist holdning til bruk av arealer er viktig for å sikre en bærekraftig utvikling. Selv om det er mye skrint befolket landareal i Norge, er det et sterkt press på egnet areal til ulike bruk. Særlig ser vi dette i de tettest bebygde områdene, som oftest også har de beste jordressursene til matproduksjon. Nedbygging av den mest produktive jorda vil føre til mer matproduksjon på mindre egnede jordressurser. Resultatet blir lavere avlinger og en økt risiko for ulike problemer på områder som stabilitet, miljø og utarming av jord.

Over de siste 60 år er mer enn en million dekar av de samlede norske jordressursene bygd ned (Syrstad *et al.* 2008). I tillegg kommer rurale og marginale arealer som er gått ut av produksjon, og som ikke normalt kan regnes som varig tapt, men som i stor grad blir eksponert for gjengroing og tap av landskapskvaliteter.

Gjeldende mål for jordvernet i Norge går frem av Stortingsmelding nr 26 (2006-2007). Det er her uttrykt



Figur 1. Jordverngruppa sin forståelse av jordvernmålet. Den skrå linjen fra 2003/04 til halvering i 2010 indikerer den nedtrappingen i årlig omdisponering av dyrka mark som jordvernmålet vil innebære (kilde: Syrstad *et al.* 2008)

en ambisjon om å halvere den årlige omdisponeringen av de mest verdifulle jordressursene innen 2010 (figur 1).

Utviklingen i arealdisponering de siste åra med grunnlag i KOSTRA-rapportering (Grønningsæter & Aurbakken 2009) er vist i tabell 1. Det kan se ut som om omdisponert dyrka areal har gått ned, men det er enda ikke noen klar trend som sannsynliggjør at vi når målet om en halvering innen 2010 av omfanget vi hadde i perioden før 2003/04.

Usikkert datagrunnlag

I Norge blir det årlig betalt produksjonstillegg i jordbruket for vel 3 % av alt landareal (tabell 2). I følge statistikken har vi vært på dette nivået over mange ti-år.

Tabell 1. Omdisponert dyrka og dyrkbar mark (dekar) i perioden 2004 til 2008, og prosentvis fordeling på arealendring etter henholdsvis jordloven og plan- og bygningsloven (pb-loven) (etter Grønningsæter og Aurbakken 2009)

År	Omdisponert (dekar)		Totalt (dekar) omdisponert dyrka og dyrk- bar	Etter jordloven (%)		Etter pb-loven (%)	
	Dyrka mark	Dyrkbar mark		Dyrka mark	Dyrkbar mark	Dyrka mark	Dyrkbar mark
2004	11 653	10 166	21 819	20	8	34	39
2005 ¹⁾	6 657	3 798	10 455	25	14	38	22
2006	7 643	6 008	13 651	20	13	36	31
2007	8 510	6 611	15 121	17	10	39	34
2008	7 900	7 045	14 945	15	10	38	37

Areal til skogplanting og arealer regulert til landbruk er trukket fra alle år.

¹⁾For 2005 er "friområde" trukket fra.

Tabell 2. Samlet areal og jordbruksareal etter søknad om produksjonstilskudd i 2007 for ulike landsdeler i Norge, (kilde: SSB)

Landsdel	Areal (km ²)	Jordbruksareal (km ²)	Andel (%)
Østlandet	94 575	4 848	5,1
Vestlandet	58 582	2 467	4,2
Trøndelag	41 260	1 647	4,0
Nord-Norge	112 951	966	0,9
Sørlandet	16 433	304	1,8
Norge	323 801	10 223	3,2

Tar vi med areal som det ikke blir søkt produksjons-tillegg for, kan vi regne ca 3,4 % jordbrukstilknyttet areal.

Registrert jordbruksareal ut fra søknader om produksjonstillegg er imidlertid for usikre til å kunne brukes til detaljerte vurderinger av omfanget på omdisponeringer av jordressursene. Arealanslagene har ofte vært omtrentlige, og påvirket av de til enhver tid gjeldende ordninger og retningslinjer for produksjonsstøtte. Datagrunnlaget er i senere tid blitt bedre, og digitalisering av kartdata blir mer og mer vanlig. Uansett vil det alltid være viktig med hyppige oppdateringer for å kunne produsere gode dataoversikter ned på bruks- og skiftenivå.

Akershus, Vestfold, Østfold and Rogaland er blant de tettest befolkede fylkene i Norge (SSB). I disse fylkene finner vi også den høyeste andelen dyrka mark, med mellom 11 og 19 % av områdenes samlede landareal. I disse områdene finner vi også mye av de mest produktive arealene, oftest knyttet til områdene med de tidligste bosettingene. Utvidelser av tettsteder og byer er derfor generelt en trussel mot de mest produktive jordressursene. Vi vet også at flere kommuner i disse områdene over tid har ligget høyt på listene over de som omdisponerer mest dyrka og dyrkbar mark. De 20 kommunene som hvert av årene fra og med 2005 til ut 2008 har rapportert størst arealendring står for halvparten av all omdisponert dyrka mark det enkelte år (Grønningsæter og Aurbakken 2009).

Rapportering av arealendring foregår gjennom KOSTRA, et nasjonalt system som gir informasjon om kommunal og fylkeskommunal virksomhet. Det er grunn til å tro at kvaliteten på denne rapporteringen er hevet med årene, men den er selvfølgelig helt avhengig av nøyaktighet og punktlighet i hver aktuelle kommune. Det mangler imidlertid et godt system for rapportering ned på gårdsnivå, og det gjør det vanskelig å gå inn og vurdere hvor gode tallene er. Dessuten er det ikke mulig å bruke KOSTRA-tall til å gjøre gode vurderinger av produksjonsegenskapene på areal som blir omdisponert. Det hefter seg betydelig usikkerhet til hvor store de nydyrka arealene er, samt hvilken kvalitet nye arealer har i forhold til arealene som er gått varig ut av bruk til matproduksjon.

Komplekse drivere for arealomdisponering

Landskap endres under påvirkning av en rekke drivere. Interessekonflikter oppstår fordi det er ulike aktører som konkurrerer om areal til ulike formål. Drivkreftene har gjerne en kompleks karakter. Det registreres en økt interesse for å forstå slike sammenhenger bedre, blant annet gjennom forskningsmessige tilnærminger.

Gjeldende arealbruk kan ofte bli satt under press fra politisk hold, som ved utvikling av infrastruktur, nærings- og boligetablering. Økonomisk motiverte drivere er viktige, siden det kan ligge betydelig press i pengemakt. På et overordnet nivå ser vi også at faktorer som teknologisk utvikling og kulturbakgrunn blir førende for hvordan arealbruk vurderes.

Jordvern er en reaksjon mot press på landbruksarealer, og er i første rekke rettet mot svekkelsen av evnen til framtidig matproduksjon. I tillegg synes det å være mer fokus på andre landskapsverdier enn tidligere. Viktigheten av bevaring av biologisk mangfold er det fremste eksemplet på dette, men også produksjonen av økosystemtjenester i sin helhet (klima, vann, pollinering, opplevelse, estetikk, genetiske ressurser med mer) bør nevnes. Bevaring av kulturarv hører også med i dette bilde. Det er en økende bevisstgjøring av at det finnes mange grenser for hvor mye verden kan tåle av ulik arealbruk. Samtidig har presset på areal økt gjennom blant annet befolkningsutvikling, teknologisk utvikling og fokus på økonomisk avkastning.

Samspeillet mellom drivere på ulike nivå er uoversiktlig, og det er en utfordring å oppnå en forståelse av sammenhenger og helhet. Drivere kan opprinnelig være av fysisk karakter, som for eksempel ved anlegging av en avkjøring fra en ny motorvei. Dette vil utløse et press på aktuelt areal for ytterligere nyetableringer og øvrig utvikling. Drivere kan i utgangspunktet også være økonomisk motiverte, der virkning på arealprising av kommersielle interesser er en viktig faktor. Sekundært inntreer nye og mangfoldige argumenter for arealendring, ofte som mer sosialt initierte drivere, som for eksempel med innslag knyttet til opplevelse og fritid.

Arealplanlegging er en av de mest avgjørende faktorene for arealbruken. De faste rammene i planleggingen ligger i lovverk og organisering, med ansvar for planlegging på et lokalt nivå og med innsigelsesmyndighet på regionalt og statlig nivå. Planleggings-

prosessene må integrere overordna mål for bærekraftig matproduksjon, naturbruk og bevaring av kulturminner og andre landskapsverdier. Overordnet nivå kan imidlertid påvirke lokale løsninger i stor grad, på godt og vondt. Planlegging av arealbruk i offentlig regi er med andre ord en meget sammensatt prosess.

Plan- og bygningsloven er et viktig juridisk virkemiddel for å gjennomføre jordvernpolitikk. Loven har relativt sterke hjemler for å håndheve jordvernpolitikk gjennom krav om arealplaner og muligheter for innsigelser. En av utfordringene kan ligge i å integrere lokaliserings spørsmål inn i regionale sammenhenger. Dette kommer særlig til uttrykk ved valg av løsninger for infrastruktur, og for å dekke behovet for bolig- og næringsarealer.

Jordloven er en viktig del av landbrukssektorens lovverk for å håndheve jordvernet. Loven gir klare føringer på at jordbruksareal ikke skal omdisponeres til andre formål enn jordbruksproduksjon. Det har vært noe problem med vurderinger av hvilke tiltak som kommer innenfor en slik definisjon.

Vanskelig verdivurdering

Sammenligning av ulike verdier er ofte vanskelig. Framtidig matproduksjon satt opp mot et mer kortsiktig økonomisk utbytte ved alternativ arealbruk er ofte ett av kjernespørsmålene i jordverndebatten.

Verdien på et jordbruksareal vil ha sammenheng med jordas produksjonsgrunnlag og prisen på produsert mat. Lettdrevet jord med stabilt høye avlinger er mer verdifull enn jord med mer utfordrende produksjonsvilkår. Arealer egnet til kornproduksjon med matkvalitet er viktig for evnen til selvforsyning, og bør være underlagt det sterkeste jordvernet. Nydyrka arealer har gjerne langt dårligere produksjonsegenskaper enn gammel kulturmark som ofte er mer laglig for omdisponering til andre formål. I det siste har vi observert sterkt svingende markedspriser på mat. Dette har ulike årsaker, men er et signal om hvor utsatt verdens matproduksjon er overfor ustabilitet av ulike slag. Energiproduksjon på jordbruksareal er et eksempel på et vekstområde som i vesentlig grad kan påvirke matproduksjon og matpriser globalt. Men selv om vi tar utgangspunkt i høye matpriser konkurrerer landbruk dårlig økonomisk sett målt mot en del alternativ arealbruk. Verdien av et areal brukt for eksempel som industritomt overstiger normalt omsetningsprisen for landbruksjord mange ganger. Det er lite trolig at økonomiske virkemidler som subsidiering av matproduksjon er særlig effektivt for å demme opp for omdisponering

av dyrka mark som er under sterkt press for by- og tettstedsutvikling.

Biomangfold har i seg selv verdier som ikke normalt blir priset ut fra kortsiktige økonomiske motiver. Til en viss grad har vi sett interesser for å sikre rettigheter til genetiske og biokjemiske verdier. Aktivitet på slik bio-prospektering ventes å øke. Likevel blir slike egenskaper og andre landskapsverdier ofte tapende når de settes opp mot alternativ kommersiell arealbruk.

Biomangfold, landskapsverdier og kulturminner vil ofte være sterkest representert i randsonene til dyrka areal. Derfor kan det oppstå konflikter knyttet til valg av dyrka areal og randsonareal ved omdisponeringer i arealbruken. Det er tydelige politiske signaler på sterkere vern av både dyrka jord og de ulike verdier som ofte er knyttet til randsonene. Denne målkonflikten trenger et økt fokus fremover.

Tiltak og muligheter

Bedre datagrunnlaget

Kvalitetsdata på omdisponering av areal er manglende. Dette gjør det vanskelig å evaluere effektene av endringer ned på et nivå der faktorer som jordkvalitet og produksjonsegenskaper generelt er tilgjengelig. Systemer for å fremskaffe mer detaljerte data må utvikles, slik at utvikling og trender over tid kan følges opp og eventuelt endres til en bærekraftig praksis.

Ut over opplysninger om arealegenskaper for matproduksjon, mangler i enda større grad data på andre viktige landskapsverdier. I den sammenheng vil også omkringliggende areal til dyrka mark ha interesse, der for eksempel biomangfold og kulturminner ofte kan være lokalisert. Dyrka mark med særlige verdier vil tilsvarende være viktig å ha oversikt på. Utvidning og etablering av gode rutiner for oppdatering og bruk av ulike dataregistre blir viktig, og der muligheter for gode analyser av ulike alternativer er tilgjengelig også tidlig i planprosesser.

Det er en utfordring å finne rapporteringssystemer som ikke blir for krevende å administrere og gjennomføre. Kobling av ulike datakilder inn i et GIS-basert system bør være et mål. I arealplanlegging vil det være viktig å gjøre vurderinger av alternative forslag. Gode digitale løsninger med ulike databaser sammenkoblet vil være nyttig. Slike løsninger må videreutvikles og standardiseres.

Styrke kunnskapsgrunnlaget

Det kan hevdes at vern om fremtidig evne til matproduksjon er så viktig at et sterkt jordvern synes opplagt. Når det som synes opplagt likevel ikke alltid blir resultatet, så kan det henge sammen med en manglende forståelse av en del komplekse og utfordrende sammenhenger. Forståelse og bevisstgjøring av hvordan ulike elementer vil henge sammen, og hvilke drivkrefter som påvirker arealendringer, er viktig i beslutningssystemer, forvaltning og i planprosesser generelt.

Kunnskap om sammenhenger mellom matproduksjon og arealkvaliteter er viktig. Økt forståelse av hvilke begrensninger og muligheter som finnes for forsyning av mat til verdens befolkning bør i større grad bli allmennkunnskap. Tiltak for en holdningsendring til jordvern bør få økt fokus, og da er kunnskap og informasjon viktig.

Tverrfaglig tilnærming til jordvern må bli tydelig. Matproduksjon og landskapsverdier må ses i en helhetlig sammenheng. Prioritering mellom ulike interesser vil være vanskelig, og prosesser med gode debatter og økt fokus bør initieres. Motstridende mål er ikke i tilstrekkelig grad blitt studert og drøftet enda.

Planlegging

Arealplanlegging er viktig for et effektivt jordvern. Ansvar for arealforvaltning er i Norge i stor grad lagt lokalt på kommunenivå, men med muligheter for innsigelser på overordnede nivåer. Nasjonale og regionale planer og beslutninger vil dessuten være førende for lokale løsninger, og derfor må prosesser rundt planer på ulike nivå være gode. Som eksempel vil overordna planer for infrastruktur ha stor betydning for lokale valg, og til sist for graden av omdisponering av jordbruksrelatert areal. Det er avgjørende at det blir gjennomført reelle og gode høringsprosesser basert på godt funderte konsekvensutredninger.

I planlegging er det en utfordring å finne omforent vektning av ulike arealverdier, som transportbehov, vann- og avløpsmuligheter, landskapsverdier, egnethet til ulike utbyggingsformål, miljøeffekter med mer. Jordvern blir en av mange faktorer som skal inngå i den totale løsningen. Det er derfor behov for brede drøftinger og utvikling av systemer og metoder til bruk i arealplanlegging.

En kontinuerlig tilpassing av retningslinjer for jordvern og lovgivning generelt er viktig. Et juridisk fundament

for arealforvaltning ligger spesielt i jordloven og plan- og bygningsloven. Generelt vil en omdisponering av dyrka og dyrkbar mark trenge en dispensasjon fra gjeldende bestemmelser. I den sammenheng må det forventes at de organer som har myndighet til å dispensere også har den nødvendige kompetansen. I den grad gjeldende mål for jordvern ikke nås, vil det være naturlig å se nærmere på praksisen for dispensasjon og innsigelse. Det kan synes som nødvendig lovgivning for et effektivt jordvern langt på veg er på plass. Trolig handler det like mye om en strammere praksis for dispensasjon enn en ytterligere skjerping i regelverk. I praksis vil man stå overfor ulike dilemma. Det er tankevekkende at spredt utbygging, i praksis landbruket selv, er hovedårsak til nedbygging av jordbruksarealer utenfor tettsteds grensene, og at mye av dette er utbygging til andre formål enn primærnæring (Saglie *et al.* 2006).

Kunnskapsbehov

Jordvern er et komplekst tema. Kunnskap om helhetlige og tverrfaglige sammenhenger må økes. Dette gjelder på de ulike arealverdier som inngår, men også på samspillet mellom drivkrefter som påvirker arealbruksendringer.

Kunnskap om fakta er for svakt. Mangler ved systemer for rapportering av kvalitetsdata på omdisponering av areal er en viktig årsak til dette. Videre utvikling av gode og gjennomførbare rapporteringssystemer trengs.

Det trengs mer kunnskap om kritiske grenser for bærekraftig utvikling innen arealbruk. Mye tyder på at vi er nær slike grenser på flere jordvernrelaterte områder, slik som evne til framtidig matproduksjon, bevaring av biomangfold, samt bruk og forvaltning av en del plantenæringsressurser. Energibruk bør også inngå i et sterkere fokus på ressursbruk.

Referanser

- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. & Snyder, P.K. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309; 570–574.
- Grønningsæter, G. & Aurbakken, E.A. 2009. KOSTRA landbruk. En vurdering av rapporteringen for 2008. Statens landbruksforvaltning, Rapport nr. 15/2009; 29 s.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Stuart Chapin, F., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. & Foley J.A. 2009. Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, In Progress.
- Saglie, I.-L., Falleth, E.I. Holst Bloch, V.V., Snellingen Bye, A. & Steinnes, M. 2006. Spredt utbygging og jordvern. Om omfang og drivkrefter bak bygging på jordbruksarealer. NIBR-rapport 2006:6; 147 s.
- Syrstad, J.O., Aas, A., Bardalen, A., Munthe, K., Saakvitne, R., Grønningsæter, G. & Dalholt, G. 2008. Klimaskifte for jordvernet. Rapport fra jordverngruppa. LMD. 67 s.

5. Biologisk mangfold

Hanne Sickel
Bioforsk Øst Løken
hanne.sickel@bioforsk.no

Introduksjon

Biologisk mangfold defineres av FNs miljøvernprogram (UNEP) på følgende måte:

- Variasjon mellom og innen alle biologiske arter (ville og domestiserte) i alle grupper av organismer.
- Miljøet, økosystemene og de økologiske prosessene som disse artene og organismene er en del av.

Biologisk mangfold opptrer altså på flere nivåer og vi snakker for eksempel om biologisk mangfold både på et landskapsnivå, naturtypenivå, artsnivå og gennivå. Mangfold av habitater og økosystemer er selve grunnlaget for det biologiske mangfoldet på gen- og artsnivå.

Det biologiske mangfoldet er en betingelse for menneskehetens eksistens og for at livet på jorden skal kunne utvikle seg videre. Det er et komplisert samspill mellom verdens økonomi og økologi, mellom biologisk mangfold og menneskers velferd. Det er derfor Norge har undertegnet Rio-konvensjonen og forpliktet seg til å ta vare på vårt biologiske mangfold (Convention on Biological Diversity, Rio de Janeiro 1992, <http://www.cbd.int/>). Denne konvensjonen betraktes som et sentralt dokument for prinsippet om bærekraftig utvikling, og har tre siktemål: bevaring av biologisk mangfold, bærekraftig bruk av biologiske ressurser og rettferdig fordeling av genetiske ressurser. Norge ratifiserte avtalen i 1993. På EUs sider for Konvensjonen om biologisk mangfold finnes også en oversikt over andre avtaler og konvensjoner som er relevante for biologisk mangfold i Europa (http://biodiversity-chm.eea.europa.eu/convention/other_conv).

Verdien av biologisk mangfold deles gjerne inn i fire hovedkategorier: etiske, estetiske, økologiske og økonomiske verdier. Disse verdiene er ofte vanskelig å måle i kroner og øre, men tap av biologisk mangfold kan få store konsekvenser for menneskeheten. I dag forsvinner arter i et tempo som vi trolig aldri har erfart

tidligere. Hovedårsaken er menneskenes forsterkede evner og muligheter til å endre og ødelegge artenes leveområder, ikke minst gjennom mer effektive og intensiverte jord- og skogbruksmetoder.

Effektiviseringen av matproduksjonen har også ført til en reduksjon av antall domestiserte arter, sorter og raser og tap av genetiske ressurser.

Landbrukssektoren har et stort medansvar i arbeidet med å stanse tapet av biologisk mangfold innen 2010, en målsetning som regjeringen har hatt siden 2002 (Stortingsmelding nr 21, 2004-2005).

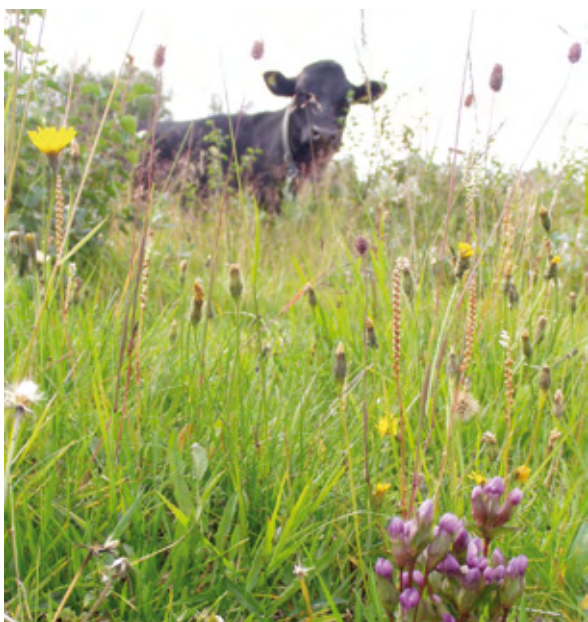
Bakgrunn

Det er mange viktige grunner for å stanse tapet av det biologiske mangfoldet. Ny teknologi og ny kunnskap har avdekket nytteverdier ved gener og arter som ikke tidligere var sett på som ressurser. Det ligger derfor uante potensielle ressurser i det biologiske mangfoldet. Artene er gjennom evolusjonen tilpasset hverandre på måter som ennå ikke er fullt ut forstått. Utryddelse av én art kan derfor få ringvirkninger i økosystemet som vi i dag ikke kjenner, og kan for eksempel føre til en kjedereaksjon med tap av mange andre arter som følge. Biologisk mangfold er økosystemtjenester, og ivaretar bl.a. jordbunnens fertilitet og vannhusholdning, pollinerings-tjenester og resiliens, dvs. økosystemers robusthet mot økologiske endringer, for eksempel klimaendringer.

I Norge finnes det ca. 40 000 kjente arter og man regner med at det i tillegg finnes ca. 20 000 arter som ennå ikke er oppdaget. Av de kjente artene utgjør insekter og sopp de største artsgruppene. Av de ukjente regner man med flest arter innen gruppene alger, insekter, sopp og midd. I tillegg til planter, dyr og sopp finnes et ukjent antall encellede organismer, bakterier og arkebakterier (også kalt urbakterier. Dette er prokaryote organismer som man har oppdaget har en del fellestrekk med eukaryote organismer. De finnes bl.a. i ekstreme miljøer som varme kilder etc.) som vi har svært lite kunnskap om.

En viktig del av det biologiske mangfoldet knyttet til jordbruket utgjøres av de domestiserte artene av både planter og dyr. Det eksisterer mange norske sorter frukt, bær og grønnsaker og vi har også egne husdyr-raser i Norge. Bruk av disse genetiske ressursene er det beste vernet for bevaring og sikring av dette biologiske mangfoldet (Norsk genressurscenter, www.skogoglandskap.no/genressurser). FAO har anslått at den genetiske variasjonen innen benyttede landbruksvekster er redusert med 75 % siden 50-tallet. I dag er det bare 150 plantearter som dyrkes for mat, hvorav 12 utgjør 75 % av verdens matproduksjon (www.fao.org). Når vi har gjort oss avhengig av et fåtall arter, er det spesielt viktig å ta vare på den genetiske variasjonen og viltvoksende slektinger av disse artene. Variasjon i arveanleggene er den beste forsikringen for å unngå at nye sykdommer og endrede klimabetingelser får katastrofale følger.

Noen av Norges mest artsrike biotoper finnes i det ekstensivt drevne jordbrukslandskapet. Norges varierte, naturgeografiske forhold kombinert med ulike driftsformer fra sted til sted har skapt et rikholdig kulturlandskap med mange ulike naturtyper. Eksempler er løveng, hagemark, høstingsskoger, beitemark, slåttemark, strandeng og kystlynghei. Dette er svært viktige leveområder for mange grupper av organismer i naturen, som planter, sopp, insekter og dyr. Flere av disse artene har ikke andre leveområder, da deres opprinnelige naturlige biotoper ikke lenger finnes (se for eksempel <http://sabima.no/>).



Bilde 1: Utmarksbeiter i fjellet er naturtyper med lang kontinuitet og har ofte et høyt biologisk mangfold (foto: Sickel)

De fleste kulturmarkstypene i Norge har lang kontinuitet. Naturbeitemarker, høstingsskoger og beiteskoger antas å ha eksistert i landet i minst 6000 år og kystlyngheier i minst 4000 år. Hagemarker, lauvenger, slåttenger og kulturmarkstyper knyttet til stølsdrift antas å ha eksistert i minst 2500 år (Norderhaug *et al.* 1999). Den lange kontinuiteten er årsaken til det høye biologiske mangfoldet knyttet til naturtypene når de er i god hevd, og også årsaken til at naturtypene kan være vanskelig å restaurere og gjenetablere dersom de forsvinner. Bevaring av det biologiske mangfoldet forutsetter at vi opprettholder et tilstrekkelig stort areal av hver naturtype og sørger for at artene kan spre seg fra ett leveområde til et annet.

I det intensive jordbrukslandskapet er biologisk mangfold særlig knyttet til restbiotoper som finnes innimellom oppdyrket og kultivert mark, eksempelvis åkerholmer, randsoner, veikanter, bekker, dammer, etc. For å opprettholde biologisk mangfold i slike restbiotoper er det viktig at de i minst mulig grad utsettes for tilfeldig sprøyting og gjødsling, og at de skjøttes slik at de ikke gror igjen.

Om lag 1300 arter, eller drøyt 30 % av artene på den norske rødlista over truede og sårbare arter (Norsk rødliste 2006, <http://www.artsdatabanken.no>), er knyttet til kulturlandskapet. De artsgruppene som blir rammet hardest, og som kommer til uttrykk med størst representasjon på den norske rødlista, er særlig insekter (møkkbiller, dagsommerfugler, veps/bier/humler/maur), karplanter og beitemarkssopp, men også lav, mose, edderkopper og fugler (Fjellstad *et al.* 2008).

De alvorligste truslene mot kulturlandskapets biologisk mangfold er generelt arealbruksendringer, som for eksempel intensivering (økt gjødsling, pløying, innsåing, sprøyting), eller brakklegging med påfølgende gjengroing (Fjellstad *et al.* 2008). Arealbruksendringer fører også til fragmentering av habitater og isolering av arter slik at det ikke lenger kan foregå en utveksling av gener og den genetiske variasjonen innen en art forringes. Dette kan på sikt gjøre arten sårbar for habitatendringer og føre til at den dør ut. Nedbygging av jordbruksarealer er en stor trussel mot kulturlandskapets biologiske mangfold i bynære strøk. Innføring av fremmede arter utgjør en stor trussel mot biologisk mangfold generelt. Dette er arter som ved hjelp menneskelig aktivitet er flyttet fra sine opprinnelige leveområder til områder der de normalt ikke hører hjemme. Slike arter kan medføre uante og uønskete konsekvenser for biologisk mangfold på sitt nye levested, for eksem-

pel ved å utkonkurrere stedegne arter. Derfor har Artsdatabanken laget en såkalt svarteliste med økologiske risikovurderinger av fremmede arter (Norsk svarteliste 2007, <http://www.artsdatabanken.no>).

Utfordringer

Kartlegging og overvåking

For å kunne forvalte biologisk mangfold i kulturlandskapet på en god måte, må vi vite hva som utgjør det biologiske mangfoldet, hvor det finnes og hvordan det ivaretas og utvikler seg over tid. Biologisk mangfold i kulturlandskapet har vært kartlagt i flere runder, men på grunn av begrensede ressurser er det fortsatt behov for mer kartlegging for å få et godt og oppdatert datagrunnlag. Overvåking av biologisk mangfold i kulturlandskapet foregår foreløpig i svært liten grad. Det er behov for å utvikle gode overvåkingsmetoder, både av intensiv og ekstensiv art. Direktoratet for Naturforvaltning (DN) koordinerer nå dette arbeidet og vil teste ut metodikk i 2010 (www.dirnat.no). Naturindeks er et ytterligere redskap under utvikling i DN, der man gjennom bruk av ulike grunnlagsdata kommer frem til tall som sier noe om tilstanden til arter og bestander. Det er behov for ytterligere utvikling av gode grunnlagsdata for at dette skal bli en god metode til å vurdere biologisk mangfold i kulturlandskapet.

Driftsformer som ivaretar biologisk mangfold

Det nordiske landbruket har fått en ny rolle som innebærer at sekundærproduktene (dvs. kulturlandskapet med kulturverdier og biologisk mangfold, økosystemtjenester, resiliens, m.v.) på mange måter er like viktige som primærproduktene (dvs. mat, fôr og fiber), og vil bl.a. ha meget stor betydning som grunnlag for næringsutvikling og for framtidig bygdeutvikling (Norderhaug *et al.* 2006). For at landbruket skal kunne spille den nye rollen og opprettholde kulturlandskapets natur- og kulturverdier, samt produsere økosystemtjenester og andre kollektive goder, er det nødvendig å ha kunnskap om sammenhengen mellom tradisjonelle driftsmetoder og økosystemer, m.v., dvs. å vite hvordan sekundærproduktene ble produsert og opprettholdt. Det er videre viktig å vite hvordan denne kunnskapen kan implementeres i dagens landbruksproduksjon på en måte som gjør at også dagens landbruk blir i stand til å opprettholde kulturlandskapets mange

verdier og andre kollektive goder. Utvikling av driftsformer som både ivaretar biologisk mangfold og som er økonomisk bærekraftige er derfor viktige utfordringer fremover.

Bruk og vern

Ivaretakelse av biologisk mangfold knyttet til kulturlandskapet er ensbetydende med fortsatt bærekraftig og riktig bruk. Historisk bruk og utnyttelse av utmarksressurser har ofte vært meget omfattende. Kjennskap til denne historikken er viktig for å forstå kulturlandskapet og hvilke forutsetninger som ligger til grunn for den vegetasjonen og de verneverdiene som finnes i dag. Denne kunnskapen viser også hvilket enormt skjøtelsbehov som ofte er nødvendig for å ta vare på landskap og verneverdier. Innenfor eksisterende og foreslåtte verneområder er det et stort behov for utvikling av skjøtelsplaner med gode bevaringsmål. Det er viktig å stimulere til fortsatt bruk, og det er et behov for å utvikle gode samarbeidsformer mellom grunneiere og forvaltningsmyndigheter på både nasjonalt og lokalt plan for å sikre faglig og økonomisk støtte til grunneiere med verdifulle kulturlandskapslokaliteter.

Klimaendringer

Som følge av klimaendringer vil matproduksjon internasjonalt sannsynligvis forringes. Tørrere klima i sør-Europa vil f.eks. føre til mindre matproduksjon der. Det kan derfor bli stadig viktigere at vi utnytter vår egen matproduksjon. Behovet for å bruke mer av de tilgjengelige ressursene av semi-naturlige grasmarker i Norge kan med andre ord komme til å øke. I den norske debatten om effekter av klimaendringer er det mye fokus på mulighetene klimaendringene kan føre med seg. Det er imidlertid fremdeles for lite kunnskap på økosystemendringer til å kunne anta positive konsekvenser. Vi mangler bl.a. kunnskap og forskning på hvordan semi-naturlige økosystemer, eks. grasmarker (grasslands), vil respondere på klimaendringene (Høglind & Norderhaug, 2008). Klimaendringer synes å øke hastigheten på gjengroingsprosessene. Nye, klimarelaterte muligheter for oppdyrking vil i tillegg utgjøre en økende trussel for det biologiske mangfoldet som er knyttet til semi-naturlige grasmarker. Klimaendringene kan også øke trusselen fra fremmede arter.



Bilde 2: Bærekraftige produksjonsformer og dyrevelferd er eksempel på tilleggsverdier som kan gi merkevarer en høyere pris i markedet (foto: Sickel)

Tiltak og muligheter

Mat med tilleggsverdier

Det finnes i dag en økende interesse for mat med spesielle produktsegenskaper og tilleggsverdier. En del av forbrukerne ønsker ikke bare å kjøpe et produkt men også en merkevare og verdiene tilhørende merkevaren. Folk forbruker merkevarer, produkter og tjenester som er i samsvar med deres verdier, smak, image og livsstil. Nye mattrender er for eksempel sunt kosthold, tradisjonsmat, kortreist mat, rettferdig handel, slow food, opphavsmarkering, bærekraftige produksjonsformer, dyrevelferd m.m. I denne situasjonen finnes et potensiale til å utvikle merkevarer som også ivaretar biologisk mangfold i kulturlandskapet, dersom det for eksempel kan dokumenteres at produksjonsmetodene ivaretar biologiske verdier, som eventuelt også fører til gunstige kjemiske komponenter i råvarene i forhold til smak og helse.

Dokumentasjon av mat med terroiregenskaper

Terroirbegrepet er velkjent i land som for eksempel Frankrike, Italia og Spania og er først og fremst assosiert med landbruksproduktene vin og ost. Begrepet har betydd enormt mye i forhold til å utvikle et mangfold av høykvalitetsprodukter i disse landene. I terroirbegrepet ligger det en oppfatning av at mat og drikke endrer smak og andre kvalitetsegenskaper avhengig av hvilken region de er produsert i. Det man antar gir produktene særegne kvaliteter og smaker er blant

annet naturgrunnlaget (jordsmonn, klima, vegetasjonssone etc.), lokale produksjonssystemer og produksjonsmetoder, lokale sorter/raser. Fokus på dette har gitt enkelte små og lokale produsenter av mat og drikke et konkurransefortrinn og en høy pris i markedet. En slik strategi, der man søker å dokumentere matproduktets stedegenhet, kan være viktig for å opprettholde jordbruk i marginale områder der produksjonskostnadene er særlig høye. Samtidig ivaretas biologisk mangfold gjennom bruken av lokale sorter, raser og produksjonssystemer, som for eksempel stølsdrift med utmarksbeite i fjellet.

Grønn turisme

I 2005 signerte Innovasjon Norge en avtale om at Norge skal drive sin reiselivsvirksomhet i tråd med prinsippene for Geoturisme. Geoturisme, også omtalt som bærekraftig turisme/grønn turisme/økoturisme, er: "Turisme som ivaretar, forsterker og fremhever et steds lokale egenart – miljø, kultur, estetikk, kulturarv – og som kommer lokalsamfunnet til gode" (www.innovasjonnorge.no). Dette er en form for turisme som bl.a. krever bevissthet og kunnskap om miljø, bærekraft og natur. Internasjonalt er dette et sterkt voksende segment innenfor reiselivet som det også er god økonomi knyttet til. Det ligger store muligheter til også å ivareta biologisk mangfold i kulturlandskapet gjennom denne typen turisme, for eksempel ved å formidle kunnskap om sammenhengen mellom tradisjonelle driftsformer og biologisk mangfold, og ved å tilby lokal mat som produseres på en måte som ivaretar landskap og biologisk mangfold.

Kunnskapsbehov

Kunnskapen om økosystemtjenester er fortsatt forholdsvis liten. Det trengs derfor utvikling av metoder og indikatorer for å kunne identifisere økosystemtjenester. Dette behovet øker hvis en utvider problemstillingene knyttet til økosystemtjenester til å omfatte resiliens med sine sosioøkologiske sammenhenger og systemer (Norderhaug *et al.* 2006).

For å få til en god forvaltning av det biologiske mangfoldet i kulturlandskapet trengs det mer kunnskap om gamle driftsformer, herunder detaljstudier av effekter og dynamikk, sammenlignende studier mellom ulike regioner og tidsrom og mellom gamle og nye husdyr-raser. Videre trengs kunnskap om indikatorer på god hevd. Framfor alt trengs utvikling av nye driftsformer som tar utgangspunkt i en helhetstenking vedrørende arealbruk, og som ivaretar det biologiske mangfoldet samtidig som de er økonomisk bærekraftige (Norderhaug *et al.* 2006). Det er i denne sammenheng viktig med praktisk/anvendt forskning og langtidsstudier. For å opprettholde viktige habitater i kulturlandskapet vil det i tillegg være viktig å utvikle kunnskap om landskapsgenetiske og landskapsøkologiske forhold, for eksempel effekter av fragmentering.

Klimaendringer kan få store effekter på kulturlandskapsøkosystemene, og kunnskapsstatusen på dette området er svært dårlig. De semi-naturlige grasmarkene er bærekraftige økosystemer som leverer verdifulle økosystemtjenester. Særlig er de viktige for husdyrhold (matproduksjon), både i Norge og resten av verden. Mange arter er knyttet til disse økosystemene og de fungerer derfor som genbank. Grasmarkene er trolig robuste økosystemer på grunn av lang kontinuitet og artsmangfold, men dette vet vi for lite om. Det er behov for kunnskap både om dette og om klimatilpasset skjøtsel (Høglind & Norderhaug, 2008).

Referanser

- Fjellstad, W., Norderhaug, A. & Ødegård, F. 2008. Tidligere og nåværende jordbruksareal – Miljøforhold og påvirkninger på rødlistearter. *Artsdatabanken, Norge (www.artsdatabanken.no)*.
- Høglind, M. & Norderhaug, A. 2008. Klima og effekter på biologisk mangfold - scenario stølslandskapet i Valdres. Direktoratet for naturforvaltning Utredding 2008-10; 32 s.
- Norderhaug, A., Austad, I., Hauge, L. & Kvamme, M. 1999. Skjøtselsboka for kulturlandskap og gamle norske kulturmarker. Landbruksforlaget; 252 s.
- Norderhaug, A., Hermansen, J., Bergjils, L., Kurppa, S., Thorhallsdottir, A.G. & Rosef, L. 2006. NKJ-report : Maintenance of the cultural landscape as a resource for sustainable agricultural Development. Bioforsk Report Vol. 1 No. 117 2006; 78 s.

6. Karbon i jord

Arne Grønland
Bioforsk Jord og miljø
arne.gronlund@bioforsk.no

Innledning

Jordas innhold av organisk karbon spiller en viktig rolle for flere av jordas funksjoner og egenskaper:

- energikilde for jordlevende organismer
- aggregatdannelse og jordstruktur
- motstandsevne mot erosjon
- binding og frigjøring av næringsstoffer
- vannhusholdning
- farge og jordtemperatur

Innholdet av organisk karbon er den mest vanlige indikatoren for jordkvalitet, som kan defineres som jordas evne til å utføre sine økologiske funksjoner.

Karbon i jord inngår også som en viktig del av det globale karbonkretsløpet. Det totale innholdet av karbon i jord er ca tre ganger større enn innholdet i atmosfæren.

Dyrking av jord har ført til betydelige tap av organisk karbon i form av biologisk nedbryting og erosjon i forhold til den naturlige mengden. I mange områder utgjør tap av karbon en viktig trussel mot jordas produksjonsevne og biologisk mangfold. CO₂-utslipp fra jord og vegetasjon som følge av dyrking er anslått til å utgjøre ca 1/3 av de totale menneskeskapt utslippene de siste 250 årene globalt sett. Redusert tap og økt binding av karbon i jord er derfor viktige mål for et bærekraftig landbruk og en reduksjon av CO₂-utslippene til atmosfæren.

Bakgrunn - karbonbalansen i jord

Karbondynamikk og likevekt

Jordas innhold av organisk karbon er bestemt av balansen mellom tilførsel og tap av karbon. Tilførselen skjer gjennom fotosyntesen, enten i form av røtter og planterester, eller ved bruk av organisk gjødsel og jordforbedringsmidler. Tap av karbon skjer først og fremst i form av CO₂ som oppstår ved nedbryting og mineralisering av biomasse, men også i form av ulike organiske forbindelser ved erosjon og utvasking.

Når tilførselen og nedbrytingen av organisk materiale er noenlunde lik over lang tid, vil nivået av organisk C i jorda innstille seg på et stabilt nivå hvor det forblir uendret. Dersom tilførselen eller nedbrytingen endres, vil også karboninnholdet endres, inntil det er innstilt til likevekt. Nedbrytingen av organisk materiale i mineraljord er tilnærmet proporsjonal med karboninnholdet. Dette innebærer at det kreves større tilførsel av organisk materiale for å opprettholde et høyere karboninnhold.

Faktorer av betydning for karboninnholdet

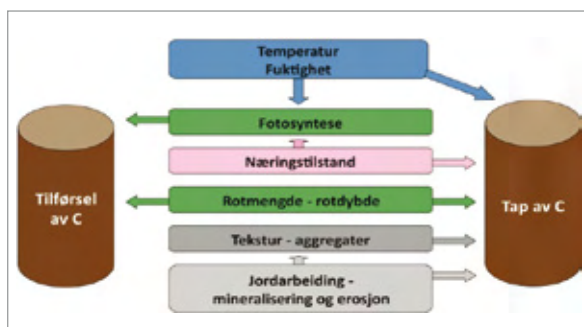
Karbonbalansen i jord er bestemt av rekke faktorer og prosesser som påvirker tilførsel og tap (figur 1). Fotosyntesen på stedet er den viktigste prosessen for tilførsel av karbon. Faktorer som stimulerer fotosyntesen vil derfor bidra til høyere karboninnhold.

Temperatur og fuktighet er viktige faktorer for både fotosyntesen og nedbrytingen av organisk materiale. Fotosyntesen har lavere temperaturoptimum enn nedbrytingen. Jord i subarktiske områder har derfor generelt høyt karboninnhold, til tross for lavere primærproduksjon enn i varmere områder.

Karboninnholdet i jord øker ofte med økende vanninnhold. Svært høyt vanninnhold kan føre til anaerobt miljø som begrenser nedbrytingen av materialet og fører til høyt karboninnhold. Under tørre forhold kan vanntilgangen imidlertid være en begrensende faktor både for fotosyntesen og nedbrytingen av organisk materiale.

Næringstilstanden i jorda er ofte en begrensende faktor for planteveksten. Optimal tilgang på næringsstoffer bidrar til økt produksjon, større tilførsel av planterester og dermed høyere karboninnhold. Ved høyt innhold av karbon i forhold til nitrogen (høyt C/N-forhold) i jorda, slik som i nylig dyrket myr, kan tilførsel av kalk og nitrogen bidra til raskere nedbryting av torva og dermed lavere karboninnhold.

Karboninnholdet i jord øker generelt med rotmengde og rottybde. Røtter har vist seg å brytes langsom-



Figur 1. Faktorer som påvirker C-innhold i jord

mere ned enn overjordiske plantedeler. På grunn av mindre lufttilgang i dybden er dype røtter mer beskyttet mot nedbryting enn grunne røtter.

Dannelse av aggregater i jord bidrar til å beskytte det organiske materialet mot nedbryting. Karboninnholdet er derfor generelt høyere i leirjord, som danner aggregater, enn i sandjord med enkeltkornstruktur.

Intensiv jordarbeiding fører til raskere nedbryting av organisk materiale som følge av ødeleggelse av aggregater og økt lufttilgang, og til tap av karbon gjennom økt erosjon.

Karboninnhold i dyrket jord i Norge

Det naturlige likevektsnivået for karboninnholdet varierer med vegetasjon, klima, jordtype, næringsinnhold og fuktighet. Vi har ikke tall for naturlig likevektsnivå for karboninnhold i Norge, men for jordbruksareal kan vi anta at mineraljord med langvarig eng er omtrent i likevekt.

Myrjord består av nesten bare organisk materiale og karboninnholdet er bare i likevekt i naturlig, ugrøftet tilstand. Drenering og dyrking fører til sterk nedbryting av det organiske materialet og tap av karbon som fortsetter så lenge dreneringen fungerer, helt til torvlaget er brutt ned og jorda er omdannet til mineraljord. Myrjord utgjør ca 7-8 % av dyrket jord i Norge og inneholder ca 25 % av all karbon lagret i dyrket mark. I gjennomsnitt per dekar inneholder dyrket myr ca 4 ganger så mye karbon som mineraljord.

Gjennomsnittlig karboninnhold i mineraljord på dyrket mark i Norge er vist i tabell 1. Tallene er beregnet på grunnlag av glødetapsanalyse av ca 85 000 jordprøver. Karboninnholdet varierer mellom landsdeler og er høyest på Vestlandet og Sørlandet. I alle landsdeler unntatt Nord-Norge stiger innholdet med økende andel eng på gården. Sammenhengen mellom andel eng og karboninnhold kan tolkes som et tegn på at

Tabell 1. Gjennomsnittlig prosent C jordprøver fra mineraljord på gårdsbruk med ulik andel eng.

Prosent eng	<10	10-50	50-90	>90	Alle
Østlandet	2,4	2,7	3,0	3,1	2,7
Sørlandet	2,2	3,5	4,0	4,3	3,9
Vestlandet	2,8	4,9	4,1	4,4	4,2
Trøndelag	2,6	2,9	3,3	3,7	3,2
Nord-Norge	2,9	3,8	3,3	3,0	3,2
Hele landet	2,5	2,9	3,3	3,4	2,9

karbon ofte tapes ved åkerdyrking og bindes ved engdyrking. En kan imidlertid ikke utelukke at en del av den tilsynelatende effekten av eng kan skyldes at jordprøvene er tatt til mindre dybde på eng enn på åkermark. I Nord-Norge er C-innholdet høyest på gårdsbruk med 10-50 % eng. Den mest sannsynlige forklaringen på dette er at jord med naturlig høyt karboninnhold (myr som er omdannet til mineraljord) er foretrukket som åkerjord i Nord-Norge.

Optimalt nivå for C-innhold i jord

Vi har ingen sikre indikasjoner på hva som er optimalt karboninnhold for ulike jordtyper i dyrket jord. Et for lavt innhold anses som ugunstig av hensyn til bl. a. vannlagringsevne, binding av næringsstoffer, struktur og erosjonsfare. For høyt innhold er heller ikke ønskelig på grunn av fare for CO₂-utslipp ved åkerdyrking og frigjøring og tap av nitrogen utenom vekstsesongen.

Tabell 2 viser gjennomsnittlig byggavling for årene 1990-2007 for gårdsbruk på Østlandet fordelt på klasser for gjennomsnittlig C-innhold i jordprøver. Bruk som har gjennomsnittlig C-innhold lavere enn 1 % har betydelig lavere gjennomsnittsavling enn bruk med høyere C-innhold. En kan likevel ikke på dette grunnlaget trekke den slutningen at 1 % representerer noen kritisk grense for C-innholdet. For det første er det stor avlingsvariasjonen innenfor klassen. Standardavvik er 71 kg og 1/3 av gårdsbrukene har avling større enn 370 kg. En kan heller ikke være sikker på om hvorvidt C-innholdet er årsaken til den lave gjennomsnittsavlingen, eller om lav avling er årsak til det lave C-innholdet, eller om en annen faktor, f. eks. bakkeplanering med dårlig struktur, er årsak til både det lave karboninnholdet og den lave gjennomsnittsavlingen.

Det er små forskjeller i gjennomsnittsavling mellom klassene for C-innhold når innholdet er større enn 1 %. Høyest gjennomsnittlig byggavling finner vi på bruk med gjennomsnittlig C-innhold mellom 3 og 5 %. Ut fra en total vurdering av avling og fare for tap av C og

N ved jordarbeiding, bør C-innholdet være mellom 1 og 5 % ved åkerdyrking, og 2-3 % C kan anses optimalt. Ved grasdyrking er trolig C-innholdet mindre kritisk og det er derfor vanskeligere å antyde noe optimalt innhold.

Så lenge det er rimelig plantevekst, med stadig tilførsel av organisk materiale, er det liten grunn til å tro at karboninnholdet vil nærme seg noen kritisk nedre grense. I de tilfellene karboninnholdet er lavere enn det kritiske nivået på under 1 %, er årsaken først og fremst kraftig erosjon.

Utfordringer og tiltak

Nedgang i karboninnhold som følge av åkerdyrking

Endringer i driftsformer fra allsidig drift til ensidig åkerdyrking har ført til en jevn nedgang i karboninnholdet i matjordlaget i mineraljord på Østlandet (tabell 3). Riley & Bakkegard (2006) har påvist en gjennomsnittlig årlig

nedgang på 0,023 g C/100 g jord for årene fra ca 1990 til 2000. Denne nedgangen tilsvarer 55 kg C per dekar i de øverste 20 cm forutsatt en volumvekt på 1,2 kg/liter. Det var en signifikant nedgang i alle distrikter unntatt Aurskog og Østfold, hvor leirjord dominerer. I de andre distriktene var det tydelig at nedgangen var størst der karboninnhold ved start var høyest, og der det var stor andel grønnsaker og potet i omløpet. I den samme undersøkelsen påviste Riley & Bakkegard (2006) en økning i C-innholdet når utgangspunktet var lavere enn ca 1,7 %. Denne undersøkelsen viste at C-innholdet fortsatt går ned i de fleste distriktene på Sør-Østlandet. Unntakene finnes på jord med lavt C-innhold, hvor det er omtrent likevekt mellom tilførsel og nedbryting, og på jord med høyt leirinhold som beskytter det organiske materialet mot nedbryting.

Alternativ jordarbeiding

Intensiv jordarbeiding fører til raskere nedbryting av organisk material og fare for økt erosjon og er en hovedårsak til redusert karboninnhold i jord. Endret jordarbeiding, bruk av fangvekster, tilbakeføring av

Tabell 2. Fordeling av jordprøver på klasser for C-innhold i Norge.

Gjennomsnitt C-innhold	Antall jordprøver	% av jordprøver	Antall gårdsbruk	Gjennomsnitt byggavling	St.avvik byggavling
<1	1 541	2,2	128	337	71
1-2	23 445	33,2	1 724	359	76
2-3	28 693	40,6	1 983	364	82
3-4	10 990	15,5	796	372	83
4-5	3 660	5,2	294	370	89
5-6	1 336	1,9	123	366	86
>6	1 027	1,5	92	353	87
Sum/gj. sn.	70 692	100,0	5 140	363	81

Tabell 3. Karboninnholdet i matjorda (g C/100 g jord i matjordlaget; 0-20 cm) målt på et utvalg av skifter med åpen åker i ulike distrikt på Sørøstlandet i 1990-92 og i 2001 samt endringene pr. år (kilde: Riley & Bakkegard 2006).

Distrikt	Antall prøver	År ⁻¹	g C/100 g jord			p ²
			C ved start	Endring	Endring per år	
Vestfold	37	9,0	1,92	-0,12	-0,013	*
Buskerud	36	9,3	2,21	-0,16	-0,017	**
Østfold	46	8,9	2,16	-0,03	-0,003	i.s.
Aurskog	17	8,4	2,21	+0,04	+0,005	i.s.
Romerike	38	8,8	1,76	-0,15	-0,017	***
Solør	38	11,0	2,21	-0,30	-0,027	***
Toten	39	11,5	2,40	-0,41	-0,035	***
Hedemarken	40	9,9	2,76	-0,49	-0,050	***
Alle skifter	291	9,7	2,21	-0,22	-0,023	***

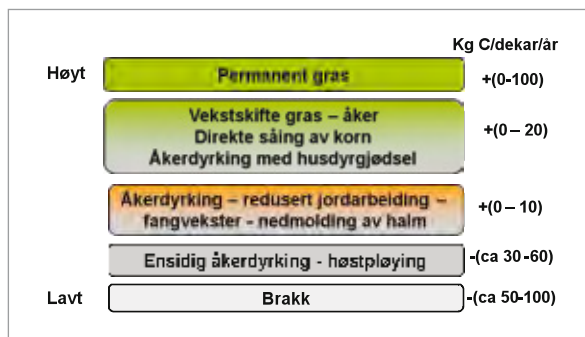
¹Gjennomsnittlig antall år mellom første og andre måling

²P-nivå av enveis t-test (***) P<0,001 ** P<0,01 * P<0,05 + P<0,1 i.s. P>0,1)

halm, vekstskifte med gras og bruk av organisk gjødsel vil bidra til å stabilisere eller øke karboninnholdet i jord (se figur 2). Grasdyrking bidrar til høyere karboninnhold, men produksjon av planter direkte til menneskemat med normal avling gir vesentlig større matproduksjon per dekar og mindre klimagassutslipp totalt enn husdyrproduksjon basert på gras. Å redusere kornproduksjonen og øke engareal i Norge vil derfor ikke nødvendigvis redusere utslipp av klimagass.

Alternativ jordarbeiding med lett høstharving, overvintring i stubb og direktesåing har vært utprøvd og praktisert i mer enn 20 år som tiltak mot erosjon, og vil også bidra til å stabilisere karboninnholdet i jorda. Direktesåing må antas å være det tiltaket som har størst effekt mot jordtap i åkerdyrking, men krever kostbare investeringer og kan føre til redusert avling på grunn av sen opptørking om våren. Både direktesåing og overvintring i stubb fører til større problemer med ugras og soppangrep (se også kapittel 8).

Utvikling av nye alternative metoder for jordarbeiding, som kan hindre tap av jord, næringsstoff og karbon, og samtidig sikre høy og stabil avling, med mindre risiko for skadegjørere, er en av de største utfordringene.



Figur 2. Virkning av dyrking på karboninnhold i jord

Halm som bioenergi eller jordforbedringsmiddel

Halm er en viktig kilde til bioenergi. Ett kg tørr halm oppgis å ha et energiinnhold på 14,4 MJ, som er ca 1/3 så mye som i olje. En halmavling på 400 kg per dekar med 85 % tørrstoff kan erstatte 113 kg fyringsolje med ca 100 kg karbon. En slik bruk av halmen vil kunne bidra til en reduksjon i CO₂-utslippene som er flere ganger større enn den karbonbindingen en kan oppnå ved å nedmolde halmen i jorda. Når karboninnholdet er høyere enn 2-3 %, vil trolig halmen gi større nytte som energikilde enn som jordforbedringsmiddel. Tilbakeføring av halm bør først og fremst anbefales

når karboninnholdet er lavere enn ca 2 %, hvor det er størst behov for å stabilisere eller øke karboninnholdet, eller på erosjonsutsatt jord.

Omlegging fra åker til gras

Omlegging fra åker til gras kan være et mulig tiltak på jord med stort potensial for karbonlagring og lavt avlingsnivå. Bakkeplanert jord på Østlandet og i Trøndelag inneholder betydelig mindre karbon, er mer erosjonsutsatt og antas å gi lavere avlinger enn uplanert jord. Det er derfor på bakkeplanert jord en kan vente de største positive effekter ved omlegging til gras. Klimaeffekten av karbonlagringen vil imidlertid som regel bli oppveid av økte utslipp av metan og lystgass fra husdyrproduksjonen. En omlegging fra åker til gras kan derfor bare anbefales på jord med svært lavt karboninnhold og avlingsnivå, eller på svært erosjonsutsatt jord i sårbare vassdrag.

Virkning av klimaendring på karboninnholdet i jord

Karboninnholdet i jord i Norge er relativt høyt på grunn av kjølig klima. En klimaendring med høyere jordtemperatur må antas å føre til lavere karboninnhold. På Kise i Hedmark har jordtemperaturen på en meter dybde økt med ca 1,5 °C etter 1960, og økningen har vært størst etter 1980 (Riley & Bakkegard 2006). Det er sannsynlig et denne temperaturøkningen er en del av årsaken til den kontinuerlige nedgangen i karboninnholdet som har skjedd i samme periode. Utfordringen i framtida kan i like stor grad bli å begrense fortsatt tap av karbon som å binde mer karbon i dyrket jord.

Dyrking av myr

Myr består hovedsakelig av organisk materiale som består av ca 50 % karbon. Verdens myrreal dekker bare 2-3 % av landoverflata, men inneholder likevel så mye som ca en tredjedel av jordsmonnets totale lager av organisk karbon og omtrent like mye karbon som i hele atmosfæren eller all biomasse på land.

Høyt vanninnhold og anaerobe forhold er en forutsetning for konservering av karbon i myr. Drenering og dyrking av myr fører til en dramatisk endring i betingelsene for lagring av karbon. Når vannet dreneres bort, mister torva oppdrift og synker sammen. I tillegg fører jordarbeiding, økt lufttilgang, gjødsling og kalking til større mikrobiologisk aktivitet og raskere nedbryting av det organiske laget. Tidligere ble synkingen først og fremst betraktet som et agronomisk problem som

innebar at jorda måtte omgrøftes etter noen år og at dyrkingen ikke kunne fortsette i lengden på grunn av for liten dybde til fjell eller for lite fall for avløp for drenevann. I de senere årene har en også blitt oppmerksom på at dyrket myr er en betydelig kilde til klimagassutslipp, som følge av at torva brytes ned til CO₂. I Norge er det årlige CO₂-utslippet fra dyrket myr beregnet til mellom 2 og 3 tonn per dekar (Grønland *et al.* 2008), og er den største kilde til CO₂-utslipp fra landbruket. Nedbrytingen vil fortsette til hele torvlaget er brutt ned, eller til dyrkingen har opphørt og grunnvannet er hevet til opprinnelig nivå.

Ifølge statistikk over nydyrking skal det være nydyrket mellom 1,7 og 1,9 millioner dekar myr i Norge fram til 1992 (Johansen 1997). Mindre enn halvparten av dette arealet kan gjenfinnes som dyrket myr i dag.

En del arealer med dyrket myr ventes å bli tatt ut av drift på grunn av at torvlaget ligger direkte på fjell, lav beliggenhet i forhold til større vassdrag og elveløp som gjør det vanskelig å drenere bort vann, eller at dreneringssystemet er ødelagt og ny drenering ikke er lønnsomt. Slike arealer kan fortsatt være kilde til utslipp av CO₂ og lystgass, selv om de er tatt ut av aktiv drift. Aktuelle tiltak for å redusere utslippene fra tidligere dyrket myr er restauring og beplantning med trær til skog eller energivækster.

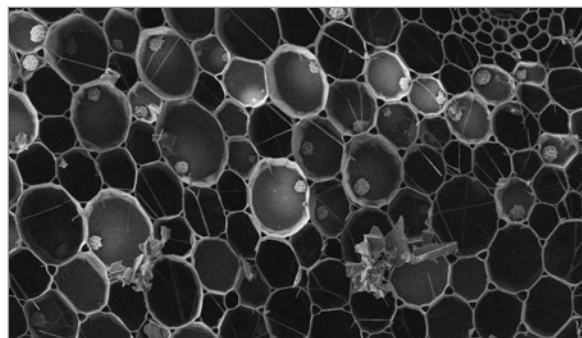
Restaurering av myr er antatt å være blant de klimatililtakene innenfor landbrukssektoren som har størst potensial for karbonbinding. Tiltaket innebærer tiltetting av grøfter, heving av grunnvannstanden og gjeninnføring av myrvegetasjon, slik at nedbrytingen stopper og myra begynner å bygge opp karbon igjen. Det er imidlertid stor usikkerhet om utslippene av lystgass reduseres og om karbonbindingen vil kompensere for de økte metanutslippene en vil forvente når grunnvannstanden heves.

Et alternativ til restaurering av myr kan være skogplanting. I Finland er det gjennomført forsøk med måling av klimagassbalansen på tidligere drenert og dyrket myr. Utslippene av CO₂ og lystgass ser ut til å fortsette etter skogplanting, men karbonakkumuleringen i biomassen kompenserer omtrent CO₂-tapet fra torvlaget.

Biokull som jordforbedringsmiddel

Biokull er forkullede rester av biomasse, f. eks. halm, trevirke og sogsavfall, med høyt innhold av karbon,

hovedsakelig i aromatiske forbindelser. I motsetning til fersk biomasse, hvor mesteparten brytes ned i naturen i løpet av få år, er biokull svært motstandsdyktig mot nedbryting og kan lagres i jord i mer enn tusen år. Biokull kan dannes ved pyrolyse, som innebærer oppvarming til 500-600 grader ved lav oksygentilgang. Fysiske og kjemiske egenskaper til biokull kan variere sterkt avhengig av råstoff og pyrolysemetode.



Figur 3. Foto av biokull, ca 300 ganger forstørret

Det bindes årlig ca 60 milliarder tonn karbon i biomasse gjennom fotosyntesen på landjorda. Omtrent like mye frigjøres gjennom biologisk nedbryting og skogbranner og går tilbake til atmosfæren. De naturlige utslippene fra død biomasse er ca 5 ganger større enn de antropogene utslippene i 2008. Ved produksjon av biokull brytes det naturlige karbonkretsløpet, slik at karbon bundet gjennom fotosyntesen ikke brytes ned, men kan lagres i jord i svært lang tid. Biokull er den teknologien som har størst kapasitet for å omdanne store mengder biomasse til stabilt karbon i jord. Det er funnet mer enn 1000 år gammelt biokull i jord fra skogbranner (Preston & Schmidt 2006). Lehmann *et al.* (2008) antar at oppholdstida er mellom 1300 og 2600 år i jord i Australia. Produksjon og lagring av biokull betraktes som en karbon-negativ prosess, siden den bidrar til å fjerne CO₂ fra atmosfæren. Selv om bare en liten del av biomassen fra plantereser omdannes til biokull, vil det kunne oppveie for en stor del av de antropogene CO₂-utslippene. Det har vært antydning at biokull kan fjerne opp til 4 milliarder tonn atmosfærisk karbon per år (Mathews, 2008) eller omtrent like mye som nettoøkningen i atmosfærisk CO₂-innhold forårsaket av forbrenning av fossilt brensel og drivstoff.

Alle typer biomasse kan i prinsippet omdannes til biokull. I Norge er halm og sogsavfall de mest aktuelle råstoffene. En halmavling på 400 kg per dekar inneholder ca 160 kg karbon. Ved tilbakeføring som biomasse til jorda vil mesteparten være nedbrutt i løpet

av relativt få år. Dersom halmen omdannes til biokull, vil omtrent 80 kg karbon kunne langtidslagres i jorda. Dette er ca 50 % mer enn det som tapes av karbon ved ensidig korndyrking med høstpløying.

I Sør-Amerika er det påvist opp til 9 % karbon som biokull i jord, som tilsvarer en mengde på 20-25 tonn karbon per dekar i matjordlaget. Ved en årlig tilførsel på 80 kg per dekar jordbruksareal vil det ta ca 300 år før karboninnholdet har kommet opp i 9 %. Jordas kapasitet til å lagre biokull ser derfor ut til å være nærmest ubegrenset i forhold til råstofftilgangen.

Biokull har stabil kjemisk struktur, stor spesifikk overflate og stor kjemisk bindingsevne. Det antas derfor at tilførsel av biokull kan ha positiv virkning på flere viktige egenskaper i jord: 1) Bedre vannlagringsevne, 2) bedre lagring av næringsstoffer, og dermed 3) redusert fare for utvasking, 4) immobilisering av miljøgifter, 5) redusert utslipp av lystgass, 6) bedre jordstruktur, 7) økt jordtemperatur om våren. Som et resultat av disse egenskapene kan en vente større avling. I Norge kan en vente best virkning i sandjord hvor vannlagringsevnen og kationbyttekapasiteten er generelt lav. Det er imidlertid rapportert om både avlingsøkning og –nedgang etter tilførsel av biokull.

Biokull kan også inneholde tungmetaller og organiske miljøgifter. Tungmetallinnholdet må antas å være lavt i biokull fra halm og kan variere betydelig i skogsavfall, avhengig planteslag, plantedel og innhold i jordsmonnet.

Kunnskapsbehov

Det har vært gjort lite forskning i Norge på mulighetene for karbonbinding i jord. En har derfor utilstrekkelig oversikt over kunnskapsbehovet, men det er likevel grunn til å framheve noen områder der kunnskapsbehovet synes å være særlig stort.

Nye metoder for jordarbeiding må kunne hindre tap av jord og karbon, og samtidig sikre høy og stabil avling, med mindre risiko for skadegjørere.

Interessen for biokull som klimatiltak og jordforbedringsmiddel har økt dramatisk de siste par årene. Kunnskapsbehovet er stort, både innen teknologi for framstilling av biokull og virkning av biokull i jord og for planteveksten. Det er blant annet behov for å vite mer om:

- Gjennomsnittlig oppholdstid for biokull i jord
- Effekt på næringstilstand i jord, vanninnhold og avlinger
- Effekt på jordlevende organismer
- Effekt på klimagassutslipp fra jord, først og fremst N₂O, men også CO₂ og CH₄ fra nedbryting av organisk materiale

Dyrket myr er den største kilden til karbontap og CO₂-utslipp fra jordbruket. Kunnskapsbehovet er særlig knyttet til:

- Estimering av utslippene, betinget av myrtype, klima, dyrkingspraksis og alder av dyrkingsfelt.
- Dyrkings- og dreneringsmetoder som kan redusere karbontapene fra myr
- Etterbruk av myr som er tatt ut av drift, f. eks. restaurering, skogplanting eller energivækster, for å øke karbonbindingen og redusere klimagassutslippene.

Referanser

- Grønlund, A., Hauge, A., Hovde A. & Rasse, D., 2008. Carbon loss for cultivated peat soils in Norway: a comparison of three different methods. *Nutrient Cycling Agroecosystem* 81: 157-167.
- Johansen, A. 1997. Myrarealer og torvressurser i Norge. *Jordforsk rapport 1/97*. ISBN nr 82-7467-214-3. 21 s.
- Lehmann, J., Skjemstad, J.O., Sohi, S., Carter, J., Barson, M., Falloon, P., Coleman, K., Woodbury, P. & E. Krull. 2008. Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon. *Nature Geoscience* 1: 832-835.
- Mathews, J.A. 2008. Carbon-negative biofuels. *Energy Policy* 36: 940-945.
- Preston, D.M. & M.W.I. Schmidt. 2006. Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions. *Biogeosciences* 3:397-420.
- Riley, H. & M. Bakkegård, 2006. Declines in soil organic matter content under arable cropping in southeast Norway *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 56: 217-223.

7. Jordpakking

Till Seehusen
Bioforsk Øst Apelsvoll
till.seehusen@bioforsk.no

Innledning

Landbruket har gjennomgått store forandringer de siste tiårene. Intensivering og økt bruk av mineralgjødning har ført til en betydelig avlingsøkning, men har også i enkelte dyrkingsområder ført til problemer knyttet til økt eutrofiering av vann og vassdrag. Økende kostnadsnivå på innsatsfaktorer og høye lønninger fører imidlertid til behov for ytterligere intensivering. Større skifter og økende andel åpenåker øker risikoen for erosjon og næringsutvasking. Større, tyngre maskiner kan gi økt effektivitet, men de gir også større fare for skader på jordstrukturen. Særlig er kjøring til feil tidspunkt, og/eller med for tung redskap blant årsakene som fører til at jordstrukturen skades. Spesielt pakkeskader i dybden må anses som problematisk, fordi verken klimaprosesser, planterøtter eller jordarbeidsredskaper rekker dypt nok til at de rettes opp.

Varsel om klimaforandring med større nedbørsmengder på årsbasis kan øke risikoen for erosjon og vil kunne redusere lengden av perioden når jorda er laglig for behandling/belastning. Varmere temperatur og hyppigere tørkeperioder i vekstsesongen kan innskrenke plantenes vanntilgang og gjør det enda viktigere å forstå jordas funksjon og den sentrale rollen jordstrukturen spiller for plantenes vekst og best mulig utnyttelse av innsatsfaktorene.

Bakgrunn

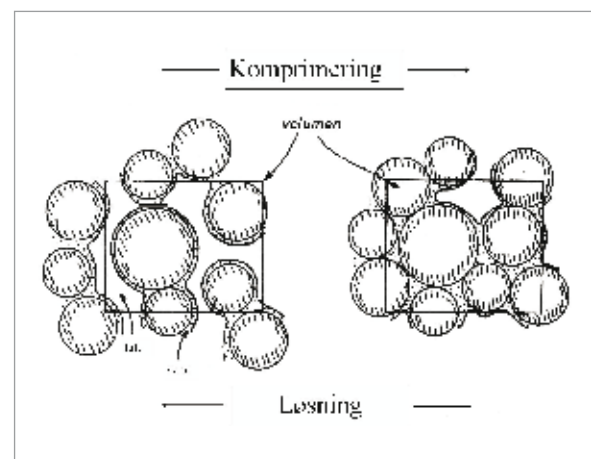
Porer og bevegelse av vann

Jorda er bygd opp av fast materiale og porer. Jordstruktur er derfor definert som orienteringen av enkeltpartiklene i jorda i forhold til hverandre. Porene har forskjellig størrelse, og poresammensetningen er avgjørende for luft- og vanntransporten gjennom jordprofilen.

Fast mineralmateriale i jorda kan ikke komprimeres og volumreduksjon ved pakking skjer dermed på bekostning

av porevolumet. Ved økende trykkbelastning er det de største porene som tettes først (figur 1). Disse porene (10-50 µm) betyr spesielt mye for:

- Rotvekst
- Drenering
- Lufttilførsel og gassutveksling
- Biologisk aktivitet i jorda



Figur 1. Forandringer i jordstrukturen ved komprimering

Ved tetting av grovporene blir både vann- og luftlednings- evnen betraktelig innskrenket (Entrup & Oehmichen 2006). Dette har ulike uheldige konsekvenser som ofte er sammensatt og forsterker hverandre.

Jordskadene i de øverste 20-25 cm kan under nordiske forhold ofte utbedres gjennom naturlige fysiske prosesser (frost/tining, tørke/svelling), biologisk aktivitet og jordarbeiding. Derimot må jordskader som rekker dypere (>50 cm) ansees som varige, fordi verken klimaprosesser, røtter eller mekaniske tiltak virker så dypt (Håkansson 2005).

De mellomstore porene (0,2-10 µm) har betydning for jordas evne til å lagre vann. Vannlagringsevnen er særlig viktig i tørkeperioder for å sikre plantenes forsyning av vann og vannløste næringsstoffer.

Utfordringer

Redusert biologisk aktivitet og økt miljøbelastning.

Jorda er levested for ulike jordorganismer og bakterier. Særlig kjent er meitemarken som blander organisk og mineralisk materiale i jorda og bidrar til dannelsen av grynstruktur. Gangene til meitemarken gjør jorda mer luftig og hjelper til at vann kan dreneres bedre. Under en kvadratmeter med matjord kan det være opp til 900 meter med meitemarkgang. Det kan være mer enn 200 meitemark pr. m², eller 50-100 kg biomasse av meitemark pr. daa (Pommersche *et al.* 2007). Bakteriene i jorda er involvert i ulike omdanningsprosesser i jorda, og organismene i jorda er avgjørende for jordas fruktbarhet. Skader på jordstrukturen innskrenker mulighetene for biologisk aktivitet i jorda og har derfor flere negative effekter.

Ved dårligere oksygenforsyning reduseres mineraliseringen av organisk materiale, og tilført mineralgjødning blir mindre plantetilgjengelig. Gjødningutnyttelsen blir dermed redusert og det oppstår økt risiko for denitrifikasjon og utslipp av lystgass (N₂O), en gass som utgjør en stor del av landbrukets klimagassutslipp.

I pakket jord er muligheten for vannavløp gjennom jorda betydelig redusert, og vannet som ikke kan dreneres blir stående på overflaten. Dette har alvorlige konsekvenser om våren ved mye nedbør, eller under vårløsning, og faren for overflateavrenning og tap av matjord (erosjon) og næringsstoffer øker. Dette reduserer jordas fruktbarhet og avlingspotensial på sikt og fører til uønsket miljøbelastning av vassdragene. Dersom jorda er vannmettet er den ikke laglig for jord-

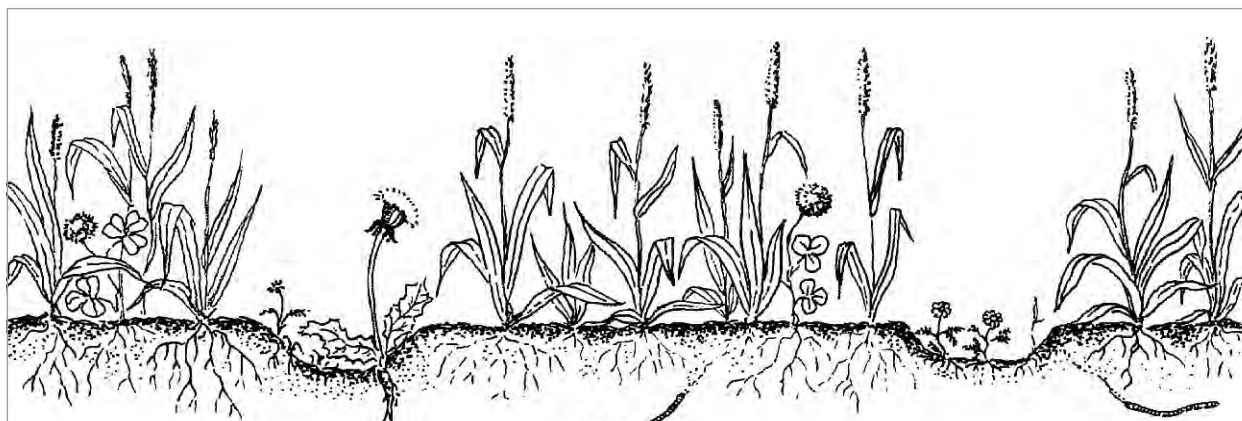
arbeiding og oppvarmingen går langsomt. Dette forsinkes våronna og forkorter vekstperioden.

Ugunstige vekstforhold for kulturplantene

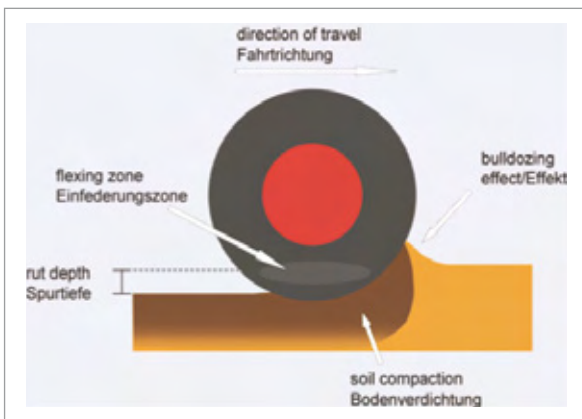
De forskjellige kulturplantene har forskjellige krav til jordstrukturen, men generelt sett er det behov for stor andel grovporer. For å oppnå en god avling krever gulrot og løk 15-20 % luftvolum i jorda. Korn er litt mindre krevende, men et luftvolum på 10-15 % er nødvendig for å oppnå et høyt avlingsnivå (Entrup & Oehmichen 2006).

Pakkingsstudier tyder på at matjorda kan regnes som pakket allerede når porevolumet reduseres til 45%. Rotutviklingen i pakket jord er begrenset pga. mekanisk motstand. Røttene skades ytterligere av redusert gassutveksling i jorda. Dårlig utviklede rotsystem fører til forminset næringsopptak og vekstforstyrrelser og dermed til svake kulturplanter. De fleste kulturplantene mistrives på pakket jord (figur 2). Ugras derimot greier seg ofte mye bedre under slike forhold. Kveke og tunrapp er eksempler på dette. Ved jordpakking blir kulturplantene ytterligere svekket av konkurranse fra ugras og bruken av planteverniltak må økes. De skadelige virkningene av jordpakking vil variere mye etter jordart, klimaforhold og planteslag som skal dyrkes.

Det er gjort mange forsøk i Norge som viser at alvorlige pakkeskader som ofte er godt synlig på jordoverflaten, kan ha store negative avlingseffekter. For eksempel viste Riley (1983) at engangs kjøring hjul-i-hjul før såing, noe som regnes som normal kjørebeklastning under våronna, ga et avlingstap for korn på 6 %. Tre gangers kjøring, som ofte skjer på vendeteiger, førte til en avlingsnedgang på opp til 20 %.



Figur 2. Kulturplantene trives dårlige der jorda er hardpakket. Det er dårlige vekstvilkår for røttene og ugras konkurrerer ofte mye bedre (kilde: Vidar Ryeng - Maskinbruk på jord i nord 1996)



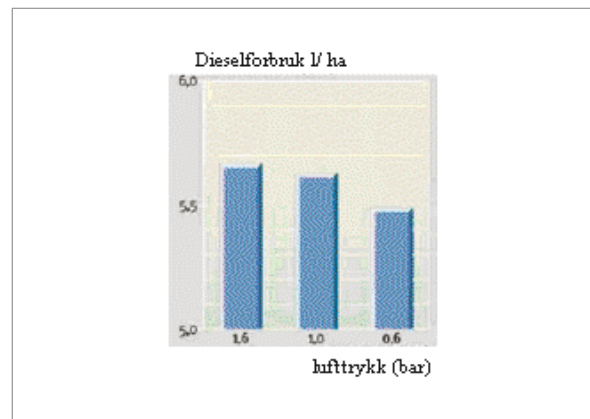
Figur 3. Feil dekkutstyr og fuktige forhold fører til dannelse av kjørespor (kilde: Volk 2007)

Økt drivstofforbruk

Jordpakking er ikke bare uheldig med hensyn til negative miljøeffekter og avlingsnedgang, pakket jord er også mye tyngre å bearbeide.

Spordannelse på grunn av kjøring under fuktige forhold og bruk av feil dekkutstyr fører til økte arbeidskostnader og økt energiforbruk. Liten kontaktflate (for eksempel ved for smale dekk og/eller for høyt lufttrykk) fører til dype kjørespor ("bulldosereffekt" figur 3), større rulle-motstand og økt sluring. Sluring fører til at jorda i mat-jordlaget eltes og jordstrukturen skades, energiforbruket øker (figur 4) og trekkeeffekten minskes. Som en tommelfinger kan det regnes med at for hver cm spordybden øker, øker dieselforbruket med om lag 10 %. Dermed kan kjøring under forhold som gir 10 cm dype kjørespor øke energiforbruket med så mye som 100 % (Volk 2007).

Jordarbeiding er en energikrevende arbeidsoperasjon og de fleste gårdbrukere velger traktorstørrelsen deretter. Ved bedre utnyttelse av traktorens potensial kunne man i mange tilfeller klare seg med en mindre traktor med mindre vekt og dermed redusert fare for jordskader. Ved et lufttrykk i dekkene på 0,6 bar har traktoren omtrent 25 % mer trekraft enn ved et trykk på 1,5 bar. Dermed kan en 80 HK traktor med tilpasset lufttrykk oppnå samme trekraft som en 100 HK traktor med for høyt lufttrykk. Bruk av mindre traktorer sparer både maskinkostnader og drivstoff. En besparelse på dieselforbruket ville minske CO₂-utslipp betydelig. En liter diesel (inklusive produksjon) tilsvarer om lag 3,76 kg CO₂ekvivalenter (Tebrügge 2000). Jordpakking har dermed også en indirekte påvirkning på klimagassutslippene.



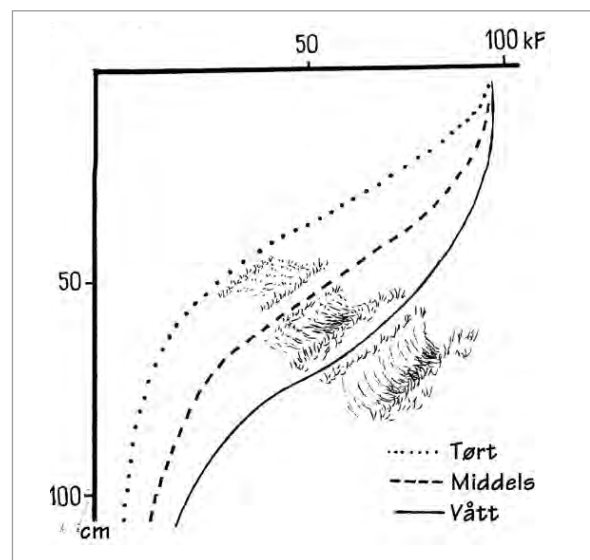
Figur 4. Reduksjon av lufttrykket kan spare om lag 3 % diesel (kilde: Profi 12/2001)

Kostnader knyttet til jordpakking er vanskelig å tallfeste, blant annet fordi slike skader ofte oppstår gradvis over flere år. Men avlingsnedgang, redusert gjødselutnyttelse og høyere bearbeidingskostnader fører til vesentlige merkostnader og redusert lønnsomhet for gårdbrukere.

Tiltak

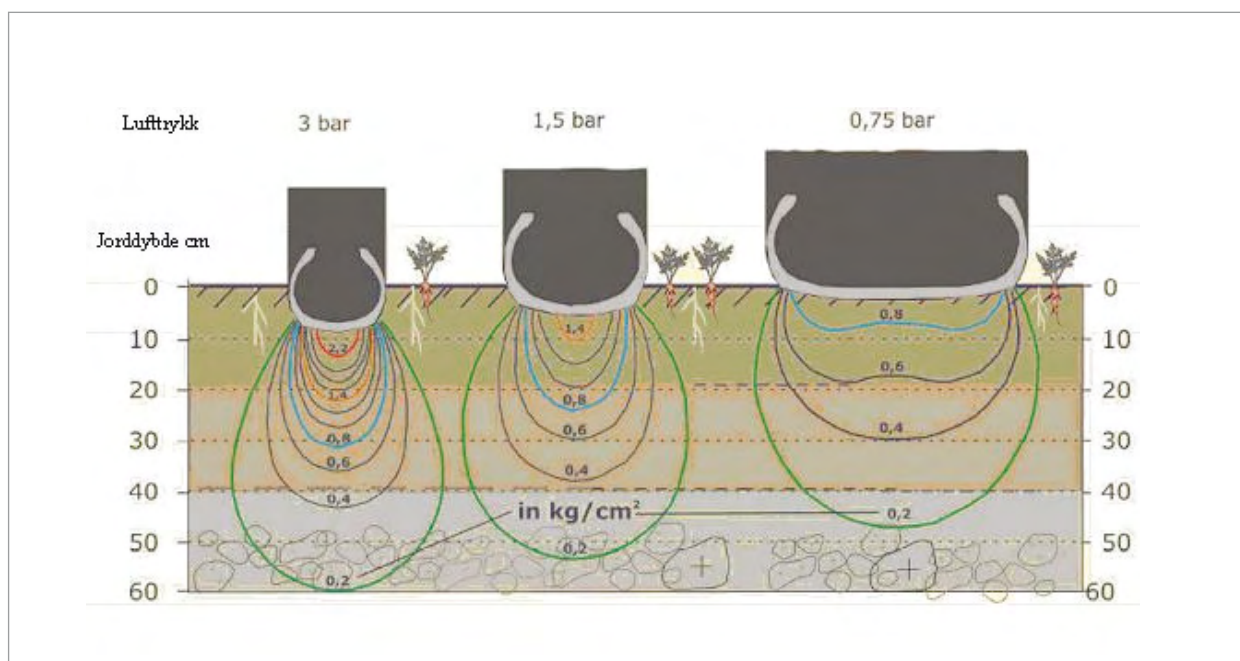
Velge riktig bearbeidingstidspunkt

Jo fuktigere jorda er, desto større er faren for pakkeskader (figur 5).



Figur 5. Vannmettet jord er mer følsom for pakking enn tørr jord (kilde: Vidar Ryeng - Maskinbruk på jord i nord 1996)

Ved for tidlig bearbeiding ødelegger man jordstrukturen, og de negative avlingseffektene vil ofte overskygge den eventuelle gevinsten av en forlenget vekstperiode.



Figur 6. Påvirkning av dekkstørrelse og lufttrykk på jord-belastning (etter www.umweltbundeamt.de)

Bruke riktig dekkutrustning og holde maskinvekten lav

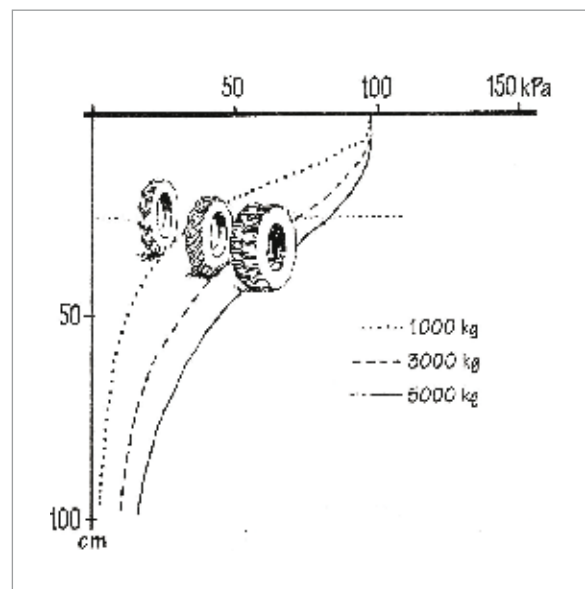
Maskinvekt og dekkutstyr har stor innflytelse på jordstrukturen. En viktig forutsetning for skånsom kjøring på åkeren er derfor riktig valg av dekkutstyr.

Fortrinnsvis bør en bruke dekk med stor diameter og stor bredde (figur 6). Slike dekk kan brukes med veldig lavt lufttrykk. Dette bidrar til å øke kontaktflaten mot jorda. Ved kjøring på åkeren bør man helst ha et lufttrykk i dekkene som ligger under 0,8 bar.

Samtidig er det like viktig med tilpasset dekkutstyr på annen redskap som skal brukes på åkeren. Tilhenger eller transportutstyr utrustet med lastebildekk, som har lav kontaktflate og høyt lufttrykk, kan forårsake jordpakking under plogsålen og bør derfor ikke brukes.

Det er imidlertid viktig å merke seg at det, i tillegg til dekkutrustningen, er maskinvekten og aksellasten som bestemmer hvor stor pakkingen blir i dypere jordlag (figur 7). Trenden mot stadig større og tyngre maskiner er derfor spesielt uheldig, siden risikoen for irreversible pakkeskader i dybden øker. Danske forskere (Schjøning *et al.* 2006) har antydnet at det bør settes en grense på 0,5 bar trykk i 50 cm dybde for ikke å skape skadelig jordpakking under pløyelaget. Som en tommelfingerregel betyr dette at man kan bruke inntil 3 tonn pr. hjul, det vil si maksimalt 6 tonn last pr. akse. Mange gårdbrukere bør gjøre en kritisk gjennomgang av maskinparken.

Generelt gjelder at jo mindre man kjører på åkeren, desto bedre er det for jordstrukturen. God maskinkapasitet og større arbeidsbredde gir mindre kjøring og større fleksibilitet med hensyn til arbeidstidspunkt.



Figur 7. Tyngre maskiner og høyere aksellast fører til trykket nedover i jorda blir større (kilde: Vidar Ryeng - Maskinbruk på jord i nord 1996)

Dette kan lett komme i konflikt med ønsket om forminsket traktorvekt. For å oppnå høy trekraft og optimal arbeidskvalitet er det viktig med tilstrekkelig vekt på traktor og redskaper. Her ligger det en utfordring for maskinprodusentene i å utvikle maskiner som i utgangspunkt har lav vekt, men som kan utstyres med vekt etter behov.

Redusere jordarbeidingsintensiteten

Forsøk viser at det er mulig å redusere jordarbeidingsintensiteten uten at dette påvirker avlingsnivået vesentlig. Redusert jordarbeiding, særlig direktesåing, øker stabiliteten i det øverste jordlaget slik at jorda har bedre bæreevne og er mindre følsom for pakkeskader. Organisk materiale (halm etc.) på åkeroverflaten og høyere aggregatstabilitet i det øverste jordlag forminsker erosjonen betydelig (Øygarden 2000, Lundekvam 2005). Intensiv jordarbeiding (pløying) fører til økt lufttilgang i jorda, dette kan føre til raskere nedbryting av organisk materiale og dermed høyere CO₂-utslipp.

Forbedre drenering

Tilstrekkelig drenering er viktig ikke bare for å sikre god plantevekst og redusere faren for lystgasstap, men også for at jorda skal kunne bære tunge maskiner.

Våt jord har lav bæreevne og pakkes lett fordi vannet i jorda fungerer som "glidemiddel" mellom jordpartiklene. Jordpartikler gli lett forbi hverandre og de store porene i jorda blir fylt opp med fast materiale. Dersom jorda er vannmettet betyr det at alle porene er fylt med vann og vanlig pakking kan ikke skje. Siden det er umulig å komprimere vann, skjer en elting av jorda og jordstrukturen ødelegges. Under slike forhold, forplanter trykket seg dypere gjennom jorda og en får dypere hjulspor. Spordannelse er ikke bare uheldig med hensyn til jordpakking, men også på grunn av økt rullemotstand og drivstofforbruk.

Planlegge feltarbeidet

Arbeidsorganiseringen på gården kan bidra mye til å minske belastning på jorda. Forsøk (Håkansson 2005) viser at gjentatt overkjøring fører til stor belastning på jorda. Alt feltarbeid bør derfor planlegges slik at antall kjøringar reduseres (Brandhuber *et al.* 2008). Bruk av faste kjørespor og tilpasning av redskap og arbeidsoperasjoner til dette (for eksempel ved lik arbeidsbredde på alle maskiner) kan redusere belastningen på jorda betydelig.

Tradisjonelt pløyes det ved å kjøre med traktorhjulet i plogfåra. Dette er den teknisk enkleste løsningen, men svenske studier (Keller *et al.* 2002) viser at traktorhjul som går i fåra overfører trykk mye dypere enn ved kjøring på land (dvs. på oppløyd mark). I tillegg kan det brukes bredere dekk ved kjøring på land, noe som kan redusere trykket i pløyselaget (figur 6). Dermed

kan forandret pløyepraksis med kjøring på land istedenfor i fåra ("onland-pløying") trolig bidra til redusert jordpakking i dybden.

Kalke

Kalking er viktig ikke bare for å sikre riktig pH-verdi i jorda, men også gjennom en gunstig virkning på jordstruktur. Kalsium bidrar til å trekke sammen leir- og humuspartikler slik at det dannes stabile og porøse aggregater. Kalking kan også øke bakteriell aktivitet, som igjen fører til raskere omdanning av planterester og organisk gjødsel. Dermed økes tilgjengeligheten av næringsstoffer.

Bedre vekstskifte

Vekstskifte innebærer at det dyrkes ulike vekster som avløser hverandre på det samme skiftet. Langvarige forsøk (Riley *et al.* 2004) viser at eng i omløpet kan hjelpe til å opprettholde god jordstruktur. Langvarig eng eller fangvekster kan danne kontinuerlig plantedecke og dermed redusere erosjon og utvasking av næringsstoffer til vassdrag.

Tilføre husdyrgjødsel

Bruk av husdyrgjødsel aktiviserer jordfaunaen og bidrar dermed til bedre jordstruktur. Ved omdanning av organisk materiale produserer jordorganismene klebrige biprodukter som limer jordpartikler sammen og danner stabile aggregater. Særlig kompostert fastgjødsel inneholder mye strø eller halm som bidrar til å øke jordas humusinnhold. Spredning av husdyrgjødsel krever imidlertid transportutstyr med stor kapasitet, og husdyrgjødsel må ofte fraktes på asfaltveier over store distanser. I de fleste tilfeller er spredeutstyret dårlig tilpasset kjøring på åkeren og har veldig høy vekt. Husdyrgjødsel blir ofte spredd til tider, når jorda ikke er lagelig. Dette øker faren for å skade jordstrukturen. Det er derfor avgjørende å legge mer fokus på utvikling og bruk av alternative spredemetoder (slangespredning etc.) for å redusere faren for å skade jordstrukturen.

Kunnskapsbehov

Norge har veldig varierte jord- og klimaforhold og ikke alle resultater fra norske eller utenlandske forsøk passer like bra overalt. Det er derfor viktig å drive med forsøk som ivaretar spesielle lokale forhold. Framtidige prosjekter bør undersøke hvilke effekter jordarbeiding, vekstskifte og driftsmåte har på jordstruktur og avlingsnivå.

I det siste har det vært mye fokus på redusert jordarbeiding og det ytes en betydelig offentlig støtte til dette. Den positive effekten på jordstrukturen er forholdsvis bra undersøkt, men effekten av halmrester på jordoverflaten på overvintring av sopp er derimot mindre utforsket. I praksis vises det økt forekomst av både ugras og sopp som fører til økt behov for kjemisk plantevern. Dette kan redusere miljøstatusen av redusert jordarbeiding. Det har vært mye fokus på mykotoksiner som følge av fusarium-smitte i det siste, og eventuelle sammenheng mellom halmbehandling, jordarbeidingsmetode og fusarium bør klarlegges. Et nytt samarbeidsprosjekt mellom Bioforsk Øst Apelsvoll og Bioforsk PlanteHelse skal derfor undersøke disse spørsmålene.

Med hensyn til ønsket om optimal plantevekst, minst mulig miljøforstyrrelse og økt lønnsomhet er det avgjørende å ta vare på jordstrukturen. Vi trenger mer kunnskap om hvordan skader i dypere jordlag påvirker sentrale prosesser, og hvordan vi kan redusere slike skader på praktisk gjennomførbare måter.

Det danske online varslingssystemet for vurdering av trykkforplantning under hjul ("jordværn-online") bør videreutvikles og tilpasses norske forhold, med tanke på jord- og klimaforhold, for å kunne gi konkrete anbefalinger om kjøretidspunkt, lufttrykk og anbefalt arbeidsoperasjon. Systemet vil da kunne være til god støtte for operative beslutninger for både veiledere og gårdbrukere.

Litteratur:

- Arvidsson, J. & Pettersson, O. 1995.
Jordpakking och markstruktur.
Sveriges landbruksuniversitet.
- Brandhuber, R., Demmel, M., Koch, H.J. & Brunotte, J. 2008. Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen – Empfehlungen für die Praxis. DLG- Merkblatt 344.
- Entrup, N. L. & Oehmichen, J. 2006.
Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 1, 823 pp,
Agro Concept, Bonn, Tyskland.
- Håkonsson, I. 2005. Compaction of arable soils.
Reports from the division of soil management
Nr. 109. Swedish university of agricultural
science.
- Keller, T., Trautner, A. & Arvidsson, J. 2002. Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during pløying, both on land and within furrows. Soil Till. Res.: 39-47.
- Lundekvam, H. E. 2005. Plot studies and modeling of hydrology and erosion in southeast Norway. Catena 71: 200-209.
- Pommersche, R., Hansen, S., Løes, A.-K. & Sveistrup, T. 2007. Meitemark og jordforbedring. Bioforsk Økologisk småskrift 1/2007.
- Riley, H. 1983. Forhold mellom jordtetthet og kornavling. Forskning og forsøk i landbruket, 34: 1-11.
- Riley, H., Eltun, R. & Korsæth, A. 2004. Endring i jordstrukturen ved ulike dyrkingssystem. Forskningsnytt Nr. 2, 2004 s. 14-16.
- Schjønning, P., Lamandé, M., Tørgersen, F.A., Pedersen, J. & Hansen, P.O.M. 2006. Minimering av jordpakking: Trykfordeling i kontakflaten mellom jord og hjul i relation til dæktype, hjullast og dekktryk. DJF Rapport Markbruk, nr. 127: 102.
- www.pfluglos.de/media/documents/1242635880.pdf
- Tebrügge, F. 2000. Visionen für die Direktsaat und ihr Beitrag zum Boden-, Wasser- und Klimaschutz.
- Volk, L. 2007. Mit Zuversicht in die Zukunft. Vortrag Amazone Beratertag – 2007.
- Øygarden, L. 2000. Soil erosion in small agricultural catchments, south- eastern Norway. Dr. Scient. Theses 2000:8, NLH: 26 pp.

8. Plantervern

Jan Netland & Guro Brodal
Bioforsk Planterhelse
jan.netland@bioforsk.no

Innledning

Det stilles stadig større krav til avlingsmengde, kvalitet og miljøvennlig planteproduksjon, samtidig som de økonomiske marginene blir mindre. For å lykkes i planteproduksjonen er det nødvendig med tiltak som beskytter avlinga mot skadegjørere.

På verdensbasis har Oerke (2006) estimert at ugras har potensial til å forårsake et avlingstap på 34%, mens tilsvarende for skadedyr og plantesjukdommer er estimert til henholdsvis 18 og 16%. I tillegg kan skadegjørere gi dårlig kvalitet, som i verste fall gjør at avlingen ikke blir salgbar (mykotoksiner, skrupne korn, råteskader, gnagskader, lagersjukdommer, ugrasfrø i såvaren osv.). Skadegjørere kan også forårsake høste-problemer og forsinket innhøsting (ugras gir dårlig optørking). FAO har beregnet at avlingene må økes pr. arealenhet for å fø verdens befolkning. Globalt må 90 prosent av denne produksjonsøkningen komme gjennom avlingsøkning og økt dyrkningsintensitet og bare 10 % ved utvidelse av dyrkningsarealet. For utviklingsland estimerer FAO forholdet til å være 80/20. Men der det er knapt om landareal, må nesten all vekst komme gjennom økte avlinger. (<http://www.fao.org/news/story/en/item/35686/icode/>). Effektivt plantervern er en forutsetning for å nå målet om økte og stabile avlinger. Selv om Norge er et lite land er det viktig at vi også bidrar til økt matproduksjon.

I denne artikkelen vil vi peke på noen utfordringer og mulige tiltak for bærekraftig planteproduksjon med hensyn til bekjempelsesstrategier, miljøvennlighet og trygg mat.

Utfordringer

Mykotoksin i kornproduksjonen

Aksfusariose (figur 1), forårsaket av arter innen *Fusarium*-slekten (feltmuggsopp), er en av de viktigste kornsjukdommer i verden pga soppenes evne til å danne mykotoksiner (soppgifter). Slike gifter reduserer kornets egnethet til mat og fôr. Spesielt toksinet deoxynivalenol (DON), som dannes av *Fusarium graminearum*, har fått økt utbredelse med store økonomiske konsekvenser (Windels 2000). DON har de siste 10-15 årene også gjort seg mer gjeldende i Europeiske/Nordiske land, inkludert Norge. Mykotoksiner lar seg ikke fjerne fra kornet og følger dermed med i produksjonskjeden for fôr og andre næringsmidler. Økende forekomster av *Fusarium*-toksiner utgjør en trussel for norsk kornproduksjon, og de toksinnivåer som er relativt vanlige å finne i norsk og utenlandsk korn, kan ikke utelukkes å være helseskadelig, blant annet som en medvirkende årsak til kroniske og alvorlige sykdommer både hos mennesker og dyr.



Figur 1. Angrep av *Fusarium* i aks av hvete (aksfusariose) (Foto: Jafar Razzaghian og Oleif Elen i Brandsæter *et al.* 2009).

Bruk av kjemiske plantevernmiddel

Bruk av kjemiske plantevernmidler er det viktigste direkte tiltaket mot planteskadegjørere innen konvensjonelt landbruk. Det er et mål å gjøre risikoen ved bruk av kjemiske plantevernmidler så liten som råd. LMD har uttrykt dette gjennom flere handlingsplaner, sist i Handlingsplan for redusert risiko ved bruk av plantevernmidler 2010-2014. EU's nye direktiv for bærekraftig bruk av plantevernmiddel har tilsvarende mål. Måloppnåelse blir evaluert ved hjelp av risikoindikatorer som omfatter risiko for miljø, forbruker (trygg mat) og de som gjennomfører sprøytingen. Det er innarbeidet sikkerhetsmarginer i disse indikatorene, noe som avspeiler at en ønsker å praktisere "føre var-prinsippet" på dette området. Dette er ikke synonymt med redusert bruk av plantevernmiddel, men redusert bruk, særlig av risikofylte middel, vil nødvendigvis også redusere totalrisiko. Nye midler må gjennom flere tester før de kan tillates brukt.

Plantevern, trygg mat og miljømål i landbruket

Krav til kostnadseffektiv produksjon og politiske føringer gjør at både korn og andre kulturer på mange gårder dyrkes med liten grad av vekstskifte, og etter hvert med til dels lite jordarbeiding av hensyn til miljø og vannkvalitet. Slike dyrkingssystemer kan medføre risiko for utvikling av mykotoksiner (soppgifter) i korn, i tillegg til at behovet for bruk av kjemiske plantevernmidler mot ugras og sykdommer ofte øker ved slik praksis. Det blir dermed konflikt mellom trygg mat/trygt fôr og målet om redusert bruk av plantevernmiddel på den ene siden, og krav til mindre erosjon, avrenning av næringsstoff og kostnadseffektivitet på den andre siden.

Jordarbeiding - erosjon og avrenning av næringsstoff

Pløyefri eller redusert jordarbeiding om høsten er hovedtiltaket for å redusere jorderosjon og/eller avrenning av næringsstoff ved åkerdrift. Støtteordninger er introdusert for å stimulere til redusert jordarbeiding i risikoområder. Gjennom mer enn 20 år har det fra myndighetenes side (med støtte i forskningen) vært en massiv innsats for å endre jordarbeidingen, der en først og fremst har prøvd å redusere bruken av høstpløyning, som var normal praksis fram til slutten av 80-tallet. Sopp som overlever på stubb og halmrester trives i langt større grad når mengden av planterester på overflaten øker som følge av redusert jordarbeiding

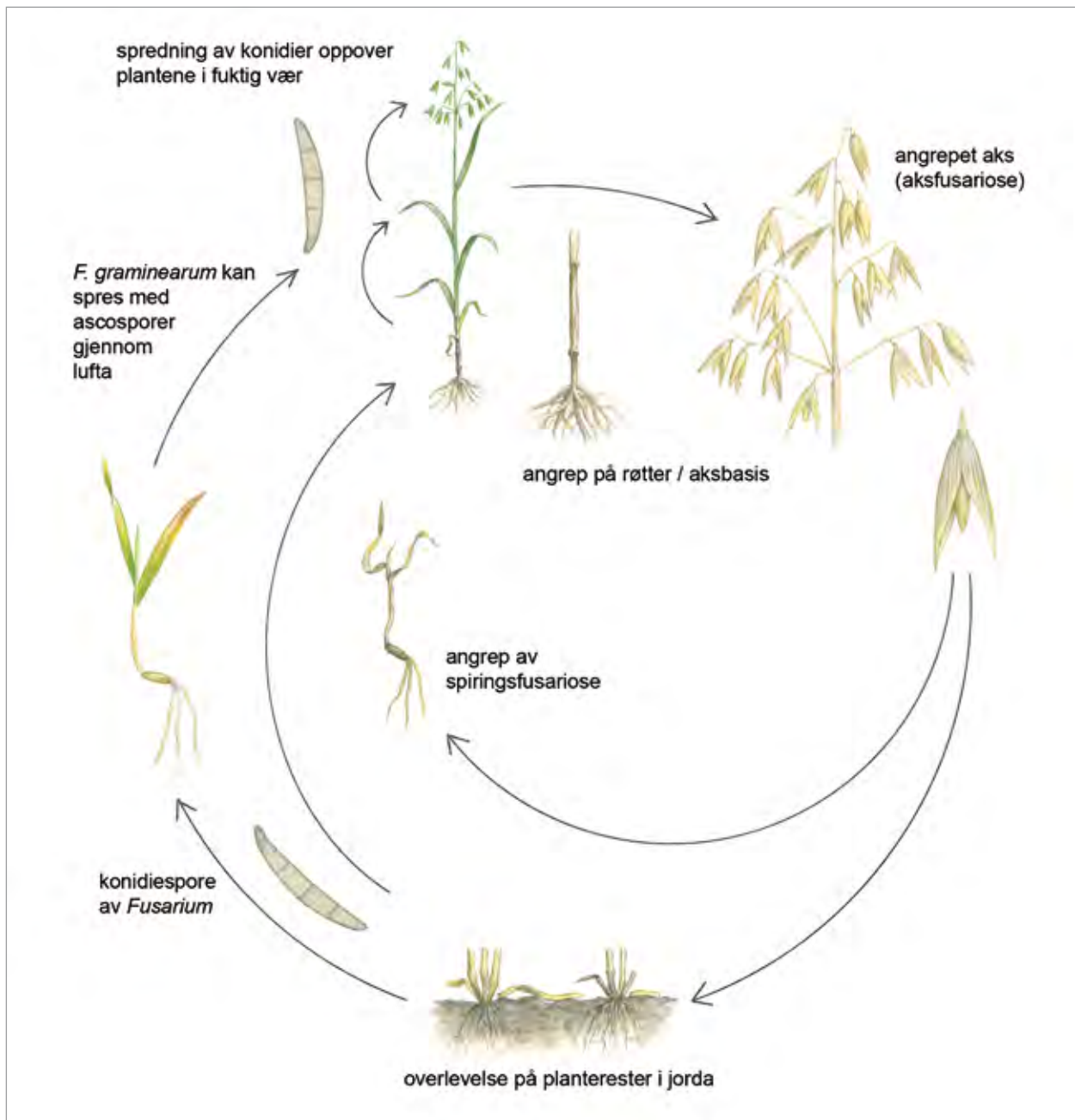
(Elen 2002). Infiserte planterester utgjør et "smitte-reservoar" av *Fusarium* (figur 2) og andre soppsjukdommer. Særlig vårharving og direktesåing kan resultere i økte nivåer av *Fusarium* og mykotoksiner i høsta korn (Henriksen 2006). Ugrasmengdene øker også når høstpløyning utelates. Dette gjelder særlig flerårig ugras, men også forekomsten av vinterrettårige og toårige frøugras øker (Skuterud *et al.* 2002). Økningen i areal med pløyefri jordarbeiding eller direkte sådd kornareal de seinere åra har derfor forårsaket økt bruk av frøugrasmidler og glyfosat (Stenrød *et al.* 2007). På landsbasis ble 24 % av høstpløyd kornareal sprøytet mot flerårig ugras i 2001/02, mens tilsvarende tall for arealer med jordarbeiding kun på våren og for direkte sådde arealer, var henholdsvis 38 % og 54 % (Snellingen *et al.* 2006). Pløyefri dyrking har også vist seg å føre til utvikling av resistens overfor ugrasmidler i sulfonylurea-gruppa i høyere grad enn ved pløyning (Wærnhus & Netland 2010). Dette medfører at det må brukes midler med annen virkemekanisme, og dette vil som oftest være mer risikofylte midler (Refsgaard *et al.* 2006).

Ensidige dyrkingssystemer

Under norske dyrkingsforhold har vi et begrenset antall vekster som kan gå inn i vekstskifter som er interessante i praksis, både av klima- og markedsmessige årsaker. Kanaliseringspolitikken begrenser også mulighetene ved at grovførbasert husdyrproduksjon i stor grad skjer i andre regioner enn kornproduksjonen, slik at det vanligvis blir lite grovførvækster i kornomløpet. Vekstskiftet i korndyrkingsområdene foregår i hovedsak mellom bygg og havre, og i de beste områdene mellom bygg, havre og hvete. Dette gjør planteproduksjonen sårbar for mange skadegjørere. Slike ensidige omløp fører ofte til stor avhengighet av plantevernmidler (Refsgaard *et al.* 2006), gir risiko for utvikling av resistens mot midlene og høy risiko for angrep av *Fusarium* og utvikling av mykotoksiner i korn (Parry *et al.* 1995), samt økt angrep av andre soppsjukdommer (Elen 2003).

Gjødslingsstyrke

Sterk nitrogen gjødsling for å oppnå store avlinger gir gjerne frodig og tett åker med gode fuktighetsforhold nede i bestandet. Dette kan gi gode vilkår for utvikling og angrep av soppsjukdommer. Det er imidlertid ikke entydige resultater fra forskningen om hvorvidt økt nitrogen tilførsel gir økt risiko for *Fusarium* og mykotoksiner, men ved legde, som kan forekomme ved sterk gjødsling, er det økt risiko for toksinutvikling



Figur 2. Livssyklus hos *Fusarium* (Tegning: Hermod Karlsen i Brandsæter *et al.* 2009).

(Langseth & Stabbetorp 1996). Stråkorte sorter tåler sterk gjødsling uten å gå i legde, men kan være mer utsatt for angrep av soppsjukdommer som spres med regnsprut fra bakken (kort avstand opp til akset).

Klimatiske forhold

Behovet for tiltak mot planteskadegjørere varierer sterkt med vær og klimatiske forhold, og vil generelt være større i år med fuktig vær i den kritiske perioden for utvikling og angrep av soppsjukdommer. Også ugraset utvikler seg bedre når det er fuktig, i forhold til i tørre år. På lenger sikt kommer også at forventet

endring i klima vil føre med seg andre skadegjørere og mindre gunstig vær for å kunne utføre plantevern-tiltakene på et optimalt utviklingsstadium. Foruten endringer i dyrkingspraksis mistenkes økte forekomster av *Fusarium* og mykotoksiner i korn å ha sammenheng med klimatiske endringer i Nord-Europa de seinere åra (Xu *et al.* 2005).

Utvalg av kjemiske middel

Det er et paradoks at mangel på kjemiske middel fører til økt forbruk. Årsaken er at ved dårlig effekt av tilgjengelige midler brukes høye doser for å oppnå virkning.

Et snevert utvalg av virkingsmekanismer vil også bidra til å øke faren for utvikling av resistens mot midlene.

Det er registrert høyere angrep av *Fusarium* i korn etter sprøyting med fungicider på tidspunkt som er aktuelle mot bladfleksjukdommer, enn ved usprøyta (Henriksen & Elen 2005). Imidlertid ble et fungicid med relativt god effekt mot *Fusarium*, forutsatt sprøyting under blomstringa, godkjent i Norge i 2007. Dette er et av de få tiltakene som kan redusere *Fusarium*-angrep og toksinutvikling og kan derfor bli brukt i stort omfang for å redusere risikoen for ødelagt kornavling.

Det er også rapportert om økte *Fusarium*-forekomster i korn dyrka på arealer behandlet med glyfosat (Fernandez *et al.* 2005).

Mangel på kostnadseffektive ikke-kjemiske tiltak

Kjemiske middel blir ofte valgt fordi effektive alternative metoder ikke finnes. I småkulturer (grønnsaker, frukt og bær) oppstår en vanskelig situasjon når kjemiske middel blir borte fra markedet uten at det finnes kostnadseffektive kjemiske eller ikke-kjemiske alternativer. Dette kan ødelegge det økonomiske grunnlaget for mange produksjoner.

Tiltak og muligheter

Integrert plantevern

Integrert plantevern er en strategi for bekjempelse av skadegjørere. Alle tilgjengelige metoder tas i bruk i optimale kombinasjoner for å oppnå en god og kostnadseffektiv bekjempelse av skadegjørerne samtidig som uheldige effekter minimaliseres. Friske planter uten skadedyrangrep og uten skadelig konkurranse fra ugras bidrar til at avlingspotensialet på de enkelte skiftene blir utnyttet. Dette har stor betydning for å utnytte næringsstoffene i jorda bedre og dermed unngå utlekking til miljøet.

Tiltak mot skadegjørerne kan deles inn i forebyggende, dyrkningstekniske og direkte tiltak. Eksempel på forebyggende tiltak er generelt god jord- og plantekultur, mest mulig vekstskifte, motstandsdyktige plantesorter, friske såvarer og friskt formeringsmateriale.

Dyrkningstekniske tiltak kan være å utføre operasjoner, som likevel skal gjøres, f.eks. pløying, harving og slått, på en måte eller til et tidspunkt som hemmer utviklingen til skadegjøreren maksimalt. Allikevel kan

det både i økologiske og integrerte/konvensjonelle dyrkingssystem i tillegg være nødvendig, når skadeterskel overskrides, å sette inn direkte tiltak mot ulike skadegjørere for å oppnå en akseptabel avlingsmengde og produktkvalitet. Dette er tiltak som har som formål å hemme eller bekjempe skadegjørere og omfatter bruk av kjemiske plantevernmiddel, planteekstrakt, termisk bekjempelse, biologisk kontroll, harving og ulike metoder for fysisk utestenging.

Viktige element i integrert plantevern er:

- God kunnskap om skadeorganismene. Kunnskap om biologi, symptomer, epidemiologi/skadepotensial, naturlige fiender osv er en forutsetning for å kunne vite om og når det er nødvendig å sette inn tiltak, samt sette i verk riktig tiltak.
- Motstandsdyktige (resistente) sorter. Dyrking av resistente sorter er det enkleste tiltaket mot plantesjukdommer.
- Godt vekstskifte. Vekstskifte mellom ulike plantearter er et av de eldste tiltaka for å redusere ugras og sjuksdoms- og skadedyrangrep. Dette er fortsatt ofte det mest effektive tiltaket man har mot en del sjuksdommer når direkte bekjempelse ikke er mulig eller ønskelig.
- Arts/sortsblandinger. Dyrking av blandinger av arter og/eller sorter vil gi et plantebestand som er mer motstandsdyktig mot sjuksdommer og skadedyr og ofte mer konkurransedyktig mot ugras.
- Sprøyting etter behov. Selv om kjemiske midler inngår i integrert plantevern, skal slike preparater bare brukes etter en nøye vurdering av situasjonen. Skadeterskler, prognoser, varslings og beslutningsstøttesystem er viktige hjelpemidler for å gi reduksjon i mengde/frekvens i bruk av plantevernmiddel til et akseptabelt nivå, dvs unngå sprøyting for sikkerhetskyld eller etter rutine. Det må aksepteres at varslene gir råd om sprøyting når det er behov, for å gi legitimitet for varslingsystemet hos brukerne. Like viktig som å varsle behov for sprøyting eller alternative tiltak mot skadegjørere, er det å informere om når tiltak ikke er nødvendig.
- Varsling og overvåking av planteskadegjørere. Varslingstjenesten VIPS inkluderer overvåking av viktige skadegjørere gjennom vekstsesongen.
- Delte og reduserte doser gir både mulighet til å redusere mengden av sprøytemiddelet i sum og å vurdere hver sprøyting etter behov.

- Ikke-kjemiske tiltak mot skadegjørere har stor betydning, men nyvinninger vil være i form av teknisk avansert og automatisert utstyr.
- Godkjenningssystem for integrert produksjon med dokumentasjon av oppnådd risikoreduksjon for erosjon, mykotoksiner og bruk av plantevernmidler.

Plantevern i økologisk landbruk

Økologisk landbruk har egenskaper som kan bidra til å bøte på utfordringene vi har tatt opp. Vekstskifte er et bærende prinsipp i denne driftsforma og dette vil redusere skadegjørerbekymret. Det er også mindre av lett tilgjengelig næring slik at plantebestandet blir mindre tett og dermed mindre utsatt for sykdommer. Det er ikke tillatt å bruke syntetiske plantevernmidler. I utgangspunkt skal plantevern alltid sees i sammenheng med forebyggende tiltak. Regelverket tillater bruk av noen preparater og mikroorganismer i tillegg til planteuttrekk og plantestyrkende midler.

Flere undersøkelser, mest fra andre land, tyder på at det er mindre risiko for *Fusarium* og mykotoksiner i økologisk dyrka korn. *Fusarium*-sopper er vanlig forekommende også i økologisk korn, men ofte mindre hyppig. I de få økologiske kornprøvene som er analysert her i landet er det generelt lite eller ikke påvist mykotoksiner. Av antatte årsaker til mindre toksinrisiko kan nevnes at økologisk dyrking normalt har et godt vekstskifte og det er vanlig med pløying, noe som gir mindre smittepress fra planterester på bakken. Økologiske åkre er generelt mindre frodige (pga mindre gjødsling), noe som gir mindre fuktighet i bestanden, slik at soppen får dårligere muligheter til å utvikle seg. Dessuten påvirkes ikke mikrofloraen i bestanden av kjemiske plantevernmidler i økologisk dyrking.

Avlingsnivået i økologisk landbruk er gjennomgående lavere og produksjonskostnadene høyere enn ved konvensjonell/integrert produksjon. Dette skyldes mindre tilgang på plantenæringsstoff, konkurranse fra ugras og angrep av planteskadegjørere. Høyere produksjonskostnader skyldes ofte kostbar ugrasbekjempelse i økologisk landbruk. For at slik produksjon skal være økonomisk lønnsom, krever dette aksept fra forbrukerne for høyere produktpriser enn for konvensjonell og integrert produksjon.

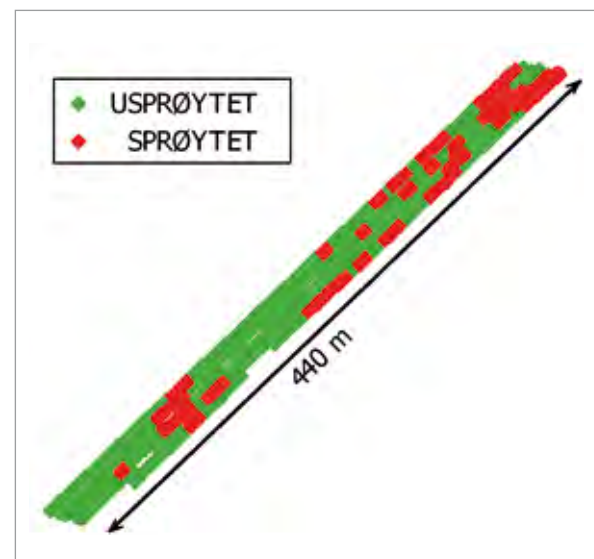
Dyp pløying er en viktig metode for å holde flerårig ugras i sjakk i økologisk landbruk, og pløying om høsten har vært regnet som mest effektivt. Pløying om høsten

innebærer at risikoen for erosjon og utvasking er stor. Pløying om våren i stedet reduserer denne risikoen betraktelig. Nyere resultater tyder på at vårpløying har vel så god effekt på åkertistel og åkerdylle som høstpløying. Mot kveke ser pløyetidspunktet ikke ut til å være av avgjørende betydning for virkningen.

Kunnskapsbehov

Det er behov for å utvikle miljøvennlige metoder mot planteskadegjørerne både for integrert og økologisk produksjon. Mer avansert teknologi som bruk av lukstoffer og ulike former for biologisk bekjempelse må utforskes.

Det er nødvendig med bedre verktøy for å avgjøre om det er behov for tiltak mot skadegjørere. At dette er mulig er demonstrert i fleksisprøytingsforsøk basert på automatisk bildeanalyse der det ble oppnådd en betydelig reduksjon i ugrasmiddelforbruk uten avlingstap, se figur 3 (Berge *et al.* 2010).



Figur 3. Sprøyting med forskningsdrone mot frøugras i korn. Det grønne er andel av arealet som har ugras under skadetreskel og som ikke ble sprøytet. Dette betyr 85% besparelse av ugrasmiddel i forhold til rutinemessig sprøyting av hele åkeren.

Det er et kontinuerlig behov for utvikling av sorter med forbedret resistens. Det er stor forskningsinnsats i mange land, inkludert Norge, for å utvikle sorter med resistens mot *Fusarium* og andre soppsykdommer. Blant annet er *Fusarium* og mykotoksiner i havre i hovedsak et norsk/nordisk fenomen og utvikling av resistente sorter er en stor utfordring.

Det trengs mer kunnskap om effekter mot sjukdommer i forhold til innhold av organisk materiale, behandling av planterester og mikrobiologisk aktivitet i jord ved ulike vekstskifter og dyrkingssystemer. Det er bl.a. viktig å finne metoder som kan "uskadeliggjøre" soppsmitte på planterester.

Det trengs mer grunnleggende biologisk kunnskap om viktige planteskadegjørere for å finne fram til punkter i livssyklusen hvor tiltak mest effektivt kan settes inn. Vi mangler bl.a. kunnskap om *Fusarium*-soppenes spredning med sporer gjennom lufta ved norske forhold, og hva dette betyr i forhold til overlevelse på planterester på bakken. Kunnskap om dette er svært avgjørende for hva slags bekjempelses-strategier som er aktuelle. Kunnskap om når næringsreservene til fler-årig ugras er på et minimum er avgjørende for å finne når bekjempelsen er mest effektivt.

Det trengs kompetanse om hvordan sikre avlingene mot skadegjørere uten å skade biomangfoldet. Bedre kunnskap om innvirkning av ulike planterverntiltak på mikroorganismer i jord, insekter, edderkopper, amfibier, fugler og dyr er nødvendig for å finne fram til de mest miljøvennlige metodene.

Det er behov for videre kartlegging av fordeler og ulemper ved redusert jordarbeiding, ikke minst virkningen av vårpløying på utvikling av *Fusarium*-konsekvenser for bruk/miljøeffekter av plantervernmidler og mykotoksiner i kornet ved ulike jordarbeidingssystemer). Dette vil bli undersøkt i forbindelse med Handlingsplan for redusert risiko ved bruk av plantervernmidler 2010-2014.

I integrert plantervern, med begrenset bruk av kjemiske midler og reduserte doser, vil optimal "timing" av bekjempelsestiltak være avgjørende for å lykkes. Utvikling av mer interaktiv, stedsspesifikk og presis varslingstjeneste krever et bedre værdatagrunnlag (på gårdsnivå) enn det som er tilgjengelig pr i dag.

Referanser

- Berge, T. W., Goldberg S., Kaspersen K., Netland, J. & Overskeid Ø. 2010. Presisjonsjordbruk: fleksprøyting av frøugras i korn. Bioforsk Fokus 5 (2)
Innlegg på Bioforskkonferansen 2010 (Under trykking).
- Brandsæter, L.O., Mangerud K., Birkenes, S.M., Brodal G. & Andersen A. 2009. Plantevern og plante helse i økologisk landbruk. Bind 3 - Korn, oljevekster og kjernebelgvekster. Bioforsk Fokus 4(4).
- Elen, O. 2002. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. III. Cereal diseases. Crop protection 21: 195-201.
- Elen, O. 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. III. Development of leaf diseases. Crop protection 22: 65-71.
- Fernandez, M.R., Selles, F., Gehl, D., DePauw, R.M. & Zentner R.P. 2005. Crop production factors associated with *Fusarium* head blight in spring wheat in Eastern Saskatchewan. Crop Science 45: 1908-1916.
- Henriksen, B. 2006. Betydning av dyrkingstekniske tiltak for utvikling av *Fusarium* og mykotoksiner i korn. Bioforsk Fokus 1 (3): 40-41.
- Henriksen, B. & Elen O. 2005. Natural *Fusarium* grain infection level in wheat, barley and oats after early application of fungicides and herbicides. Journal of Phytopathology 153: 214-220.
- Langseth, W. & Stabbetorp H. 1996. The effect of lodging and time of harvest on deoxynivalenol contamination in barley and oats. Journal of Phytopathology 144: 241-245.
- Oerke E.C. 2006. Crop losses to pests. The Journal of agricultural science 44: 31-43.
- Parry, D.W., Jenkinson, P. & McLeod, L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals – a review. Plant Pathology 44: 207-238.
- Refsgaard K., Veidal A., Netland J. & Stenrød M. 2006. Risikoreduksjon ved bruk av plantevernmidler. NILF-rapport 2006-5. 119 s.
- Skuterud, R., Tørresen, K.S., Elen, O., Henriksen, B. & Andersen A. 2002. Plantevern i korn ved redusert jordarbeiding. Effekter i langvarige forsøk. Grønn forskning 1/2002: 148-161.
- Snellingen Bye A., Sandmo T. & Berge G. 2006. Jordbruk og miljø. Resultatkontroll i jordbruk 2006. 5. Bruk av plantevernmidler. Statistisk sentralbyrå. Rapportar 37: 38-42.
- Stenrød, M., Ludvigsen, G.H., Riise, G., Lundekvam, H., Almvik, M., Tørresen, K.S. & Øygarden L. 2007. Redusert jordarbeiding og glyfosat. En sammenstilling av norske og internasjonale forsknings- og overvåkingsresultater, samt en feltstudie av avrenning av glyfosat ved ulik jordarbeiding. Bioforsk Rapport 2 (145), 87 s.
- Windels, C.E. 2000. Economic and social impacts of *Fusarium* head blight: Changing farms and rural communities in the Northern Great Plains. Phytopathology 90: 17-21.
- Wærnhus, K. & J. Netland. 2010. Varierende virkning av ugrasmidler. Bioforsk Fokus 5(2). Innlegg på Bioforskkonferansen 2010 (Under trykking).
- Xu, X.M., Parry, D.W., Nicholson, P., Thomsett, M.A., Simpson, D., Edwards, S.G., Cooke, B.M., Doohan, F.M., Brennan, J., Moretti, A., Tocco, G., Mule, G., Hornok, L., Giczey, G. & Tatnell, J. 2005. Predominance and association of pathogenic fungi causing *Fusarium* ear blight in wheat in four European countries. European Journal of Plant Pathology 112: 143-154.

9. Husdyrhold

Gustav Fystro
Bioforsk Øst Løken
gustav.fystro@bioforsk.no

Introduksjon

Husdyrproduksjon i et globalt perspektiv foregår med ekstrem variasjon i driftsopplegg, der produksjonsgrunnlag, sosiale relasjoner og kulturelle forhold i stor grad har påvirket driftsmåter gjennom historien. Globalisering, industrialisering, teknologiutvikling og markedstilpasning har de siste åra endret husdyrholdet mye, og ulikt i ulike verdenshjørner. Norsk husdyrproduksjon er en moderne småskalavariant, der produksjonsgrunnlaget bestående av mye grasarealer er en viktig årsak til et relativt stort innslag av grovfôrbasert husdyrhold. I denne artikkelen blir det drøftet noen overordnede faktorer for bærekraft i de dominerende husdyrproduksjonene i Norge.

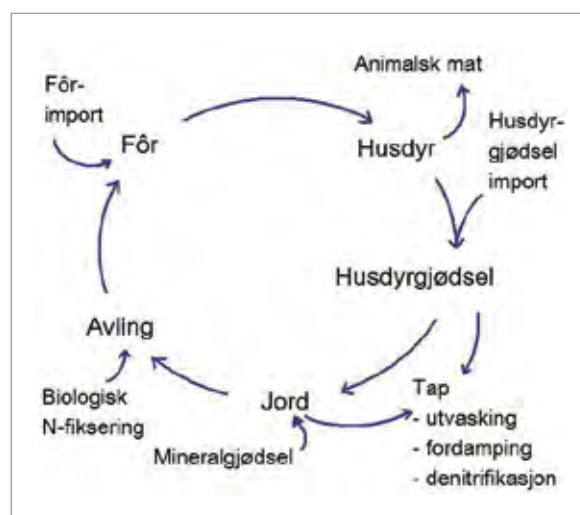
Bakgrunn

Produksjon av animalske matvarer betyr innføring av et eller flere eksta ledd i næringskjeden sammenlignet med fremstilling av vegetabilsk mat. Flere ledd i næringskjeden betyr et større tap av energi og næringsstoffressurser. Husdyr innebærer også en vesentlig kompliserende faktor i matproduksjonen. Dyra må føses og husdyrgjødsel må utnyttes, og næringsstrømmene endres i forhold til ved ren planteproduksjon (figur 1). Næringsstoffer kan bli importert til gården som innkjøpt fôr og gjødsel. For nitrogen er også N-fiksering gjennom bruk av belgvekster en viktig kilde. Salg av produkter og tapsposter som erosjon, lekkasje, ammoniakfordampning og denitrifikasjon, utgjør næringsflyt ut av gården. Resirkulering av næringsressursene på gårdsnivå, med minst mulig tap, er et naturlig mål ved utvikling av bærekraftige systemer.

Utfordringer

Matforsyning

Verdens befolkning doblet seg fra 3 til 6 milliarder i perioden fra 1959 til 1999. Nå er vi 6,8 milliarder mennesker og antallet øker med nesten 75 millioner hvert år. Det antas at vi når 9 milliarder innen 2045 (<http://www.census.gov/ipc/www/idb/worldpopinfo.php>).



Figur 1. Viktige poster for næringsflyt i et husdyrhold.

Markedsmessig har det vært en ledig produksjonskapasitet av mat, men vi nærmer oss nå en grense, spesielt på arealsiden (se 4. Jordvern). Når det gjelder matforsyning i verden har vi også et fordelingsproblem, der fattigdom og sult er en stor utfordring mange steder.

Husdyr i næringskjeden fører til et tap av energi og næringsstoff. Mindre produksjon av animalsk mat til fordel for vegetarkost er derfor relevant i et bærekraftig perspektiv. En del utviklingstrekk for årlig produksjon av noen viktige matvarer i verden er gitt i tabell 1. Ser vi på kjøttforbruket på global basis var det i 1961 på 71 millioner tonn, eller knapt 25 kg/person, og i 2007 på 284 millioner tonn, økt til rundt 43 kg/person (FAO 2008). Det fremgår at en person i industrialiserte land gjennomsnittlig konsumerer 10 ganger så mye kjøtt som personer i utviklingsland. Matvanene i de nordiske landene er også ulike (Fosser Pedersen 2004). I Danmark spises i overkant av 100 kg kjøtt per person, mens Norge i åra etter år 2000 var lavest i kjøttforbruk i Norden med ca 60 kilo kjøtt, og økt til et engrosalg på 73 kg per person i 2008 (SSB; <http://www.ssb.no/jordbruk/>). Her i landet er svinekjøtt mest populært, fulgt av oksekjøtt og kalv. Men nordmennene spiser derimot mest fisk i Norden, over 50 kilo årlig per person av fisk og skalldyr.

Tabell 1. Årlig produksjon av noen viktige matvarer i verden (Kilde: FAO 2009)

		x 1000	1994-1996	1999-2001	2005	2006	2007
Kjøtt	Gris	tonn	79 777	90 025	99 197	100 339	99 212
	Kylling	tonn	45 972	58 674	71 412	72 396	75 826
	Storfe	tonn	54 068	56 304	59 493	58 758	59 852
	Sau og geit	tonn	10 344	11 248	12 584	12 812	13 132
Melk		tonn	539 787	579 847	647 794	665 277	679 207
Egg		tonn	47 211	55 138	61 137	62 155	63 411
Korn		hektar	695 251	672 078	690 589	684 551	695 599
		tonn	1 975 419	2 084 410	2 267 177	2 239 236	2 351 396
Grønnsaker		hektar	36 349	44 953	50 824	52 327	52 705
		tonn	566 247	742 541	869 041	895 615	908 838

Fokuset på et bærekraftig kosthold forventes å bli sterkere. Med utgangspunkt i et normalt nordisk kosthold vil et matinntak der en større andel kommer fra produkter hentet lavt nede i næringskjedene ha sterke ernæringsmessige og miljømessige argumenter. Det vil si mer frukt, grønnsaker og grove kornprodukter, og mindre kjøtt. Kjøtt og melkeprodukter kan derimot være en del av balanserte dietter, og vil kunne bidra med proteiner, vitaminer og mineraler som er essensielle for vekst og utvikling. Diskusjonen blir på hvilken måte og i hvilke omfang husdyrproduksjon bør foregå.

Vekst i økonomien synes å føre til et høyere inntak av kjøtt i kostholdet, i alle fall inntil en viss grense. Det henger naturlig sammen med økt betalingsevne og at kjøttprodukter etterspørres ut fra smakelighet, matkvalitet og matopplevelse generelt, men også i forhold til sosial status. En eventuell reduksjon i kjøttinntaket i en voksende verdensøkonomi må derfor gå mot slike trender. Det vil derfor være betydelige utfordringer knyttet til informasjon, folkeopplysning og evne til å kunne innordne seg bærekraftige grenser i det vi må vente blir et mer åpent internasjonalt marked. Det vil også være behov for strenge internasjonale standarder, blant annet for å sikre dyrevelferd og etikk.

Ressursutnyttning

God utnyttning av ressurser er en viktig faktor ved bærekraftige systemer. Under norske forhold setter klima og produksjonsvilkår begrensninger for korndyrking på mye areal. Nesten 2/3 av all dyrka jord i drift i Norge er eng og beite (SSB). Grovfôrbasert husdyrproduksjon er i dag i stor grad konsentrert i områder der alternative muligheter for landbruksproduksjon kan være få. Konvertering av ufordøyelige plantefiber til kjøtt og melk via drøvtyggere, synes derfor å være et

viktig bidrag til matforsyning av en stadig voksende befolkning. Særlig har drøvtyggere en naturlig og riktig plass der det er rikelig med beiteressurser. På arealer som har blitt beitet riktig over mange år finnes også noen av våre viktigste habitater for biomangfold og mange av våre rødlistearter. Avvikling av husdyrhold i mange områder har allerede ført til at mye verdifulle kulturmarkstyper er tapt, eller er i ferd med å gå tapt. Opprettholdelse av husdyrholdet er derfor viktig, både med tanke på matforsyning og biologisk mangfold. Måltrettet arbeid, blant annet som respons på økonomiske rammevilkår, har ført til at norske husdyr har et relativt høyt intensitetsnivå, med høyt avdråtsnivå og en ikke ubetydelig andel kraftfôr (tabell 2). Dette kan stå i kontrast til argumentet om husdyrproduksjon basert på mye grovfôr. På den andre siden utgjør norskprodusert korn 60-70 % av råvarene i kraftfôret og bare en liten del av det norske kornet har god nok kvalitet til å brukes direkte som menneskeføde.

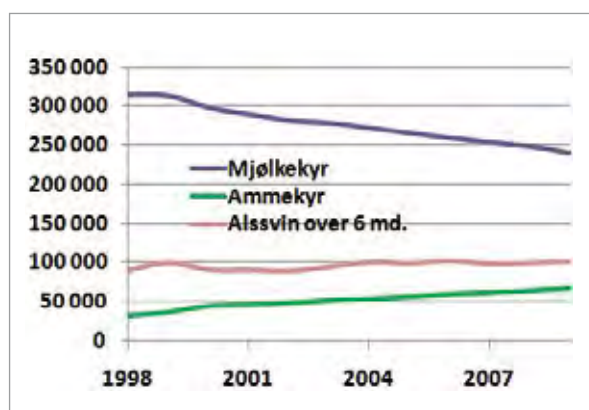
I økologisk melkeproduksjon er det vanskelig å dekke proteinbehovet til dyra med egenprodusert fôr når avdråtsnivået er høyt. Med mer enn 6000 kg melk per årskyr blir det fort et underskudd av protein selv om det brukes erter i omløpet.

Ressursutnyttning vil blant annet handle om å utnytte de ulike potensialer for produksjon helhetlig. Et

Tabell 2. Fôring totalt i norsk melkeproduksjon per årsku i 2008, og fordelt (%) på fôrtype (Kilde: Nysted 2009)

Totalt fôrforbruk	FEM per årsku	5081
Kraftfôr	%	39,8
Surfôr gras	%	44,4
Potet og rotvekster	%	0,2
Høy	%	0,3
Beite	%	13,5

eksempel vil være opplegg med kombinert melke- og kjøttproduksjon. Ut fra en bærekraftig synsvinkel vil slike driftsformer ha noen fortrinn fremfor et alternativ med spesialisert kjøttproduksjon. Kombinerte driftsopplegg gir flere produksjoner som ressursinnsats og tap kan fordeles på. I Norge ser vi at utviklingen går i motsatt retning, der antall melkekyr går sterkt ned og antall ammekyr går litt opp (SSB; <http://www.ssb.no/jordbruk/>) (figur 2). Fordi melkeproduksjon er både kapitalkrevende og arbeidsintensiv vil det ikke overraske om denne utviklingen også vil fortsette fremover. Gode analyser av bærekraft i ulike driftsopplegg blir viktig for videreutvikling av driftsmåtene, der kunnskap er viktig for god utforming og innretning på virkemiddelbruken.



Figur 2. Utvikling i antall storfe, ammekyr og svin fra 1998 til 2009 i Norge (Kilde: SSB).

Den norske kanaliseringspolitikken har ført til spesialisering innen landbruket, der husdyr oftest er sterkt redusert i områder med gode vilkår for kornproduksjon. Dette har vært en styrt politikk, men det er reist spørsmål ved om den har gått for langt. I områder med særlig stor dyretetthet kan det blant annet bli problematiske næringsoverskudd, for eksempel av fosfor (se 2. Fosforressurser og 9. Næringsstoffbalanse). Motsatt er det en utfordring at driftsopplegg med ensidig kornproduksjon over tid reduserer jordas innhold av organisk materiale og kan føre til en gradvis utarming (se 6. Karbon i jord). Blant annet blir det hevdet at husdyr er viktig i økologiske systemer, som en faktor for økt jordkvalitet og næringsforsyning gjennom bruk av grasvekster og resirkulering gjennom husdyrgjødsel. Grasarealer muliggjør et betydelig innslag av belgvekster, som er viktig for N-forsyning spesielt i økologiske systemer.

Innslag av drøvtyggere vil øke muligheten for karbonlagring i jord og redusere risiko for erosjon og utarming. Utfordringen ligger i at innføring av husdyr i driftssystemet fører til et betydelig energitap gjennom det ekstra leddet

i næringskjeden, og dessuten ofte en lav utnyttinga av næringsstoff. Melkeproduksjonsbruk vil ofte innebære en nitrogenutnytting på rundt 20 % (Flatvad *et al.* 1996). Skal det være hold i argumentet om å ta inn husdyr i driftssystemene for å øke bærekraften så må mye av tapene holdes så lave som mulig.

Husdyrgjødsel er en ressurs, men også en utfordring. Høy pH i gjødsla gjør den særlig utsatt for N-tap gjennom ammoniakkfordampning. Frigjøring av næringsstoff fra tilført husdyrgjødsel og potensielt planteoptak er ofte lite synkronisert, med fare for tap utenom vekstsesonger. Det er utfordringer også knyttet til kombinerings av husdyrgjødsel og mineralgjødsel, både fordi gjødselvirkning fra husdyrgjødsel kan variere mye med innhold og virkningsgrad og fordi god kombinerings av gjødselslag krever planlegging, kunnskap og tilgang på gjødselalternativer, der gjødselkostnader også spiller en viktig rolle. For god utnytting av næringsstoffer tilført med husdyrgjødsel er også spredjevnhet avgjørende, og det kan ofte være vanskelig å få til.

For tiden er det et sterkt fokus på utslipp av drivhusgassen metan fra drøvtyggere, som hevdes å kunne stå for rundt 18 % av menneskeskapt klimagassutslipp. (FAO; <http://www.fao.org/climatechange/en/>). Denne utfordringen krever økt innsats for å redusere metan- og også lystgasstap i husdyrhold. En høy andel kraftfôr gir generelt et lavere utslipp av drivhusgasser per produsert enhet, og dette står i kontrast til et ønske om å utnytte grovfôrressurser mest og best mulig. I det store bilde synes dessuten utslipp av drivhusgasser å være som for planteneringstap generelt, at tapet per arealenhet blir lavest for ekstensive systemer, mens når tapene ses i forhold til produsert enhet kommer gjerne intensive systemer best ut. Det bør imidlertid være fokus på en fare for høye lystgasstap ved sterk nitrogengjødsling.

Kraftfôrbasert husdyrproduksjon handler mye om kjøtt fra gris og kylling, samt egg fra høner. Sammenlignet med grovfôrbasert husdyrproduksjon utnytter slike produksjoner tilført energi og næringsstoff bedre. Kraftfôrbaserte produksjoner passer best i kornområdene, men i Norge finnes mye av dette også i typiske grovfôrdistrikter. Høy dyretetthet gjør god utnytting av husdyrgjødsel til en utfordring, spesielt gjelder dette N og P.

I et bærekraftperspektiv kan det innvendes at produksjon av hvitt kjøtt er nær 100 % kraftfôrbasert, og slike produksjonsformer kan konkurrere om areal som kunne ha produsert mat direkte. Derimot kan slike

husdyr utnytte matrester og svinn fra husholdning, gården og lokalsamfunn ellers. Men med mindre man klarer å organisere dette på mer effektive måter blir likevel slik positiv ressursutnyttning begrenset i den store sammenhengen.

Tiltak og muligheter

Utvikle ressurseffektive driftssystemer

Husdyrproduksjon kan på en god måte utnytte mye areal med ulike begrensninger i klima, topografi og jordegenskaper. Mer enn halvparten av det norske jordbruksarealet er lite aktuelt til annet enn grovfôr-baserte driftsopplegg. Videre utvikling av driftssystemer i bærekraftige retninger blir derfor en viktig oppgave. Blant annet handler det om god ressursutnyttning.

Utmarks- og beiteareal representerer ressurser som kun ved hjelp av husdyr kan nyttes til produksjon av høyverdig folkemat. Opplegg som ivaretar slik beitebruk på miljømessig og økonomisk gode måter må sikrest. Det vil også i stor grad handle om å ta vare på noen av våre mest verdifulle kulturmarker med tanke på biomangfold og landskapskvaliteter. En del slåttemarktyper har også slike kvaliteter, og da særlig ekstensivt gjødselsareal.

Intensitet er et utfordrende tema når det gjelder husdyrhold. På den ene siden kan ekstensiv drift sikre viktige kulturlandsverdier, ofte gi små miljøbelastninger per arealenhet og samtidig sikre utstrakt bruk av marginale arealer. På den andre siden er produktivitet et nøkkelord for bærekraftig utvikling. Driftsopplegg i mer intensiv retning kan gi høy arealavkastning, sikre et miljømessig godt resultat per produsert enhet, samt en god økonomisk avkastning. Men mye må gjøres riktig i både ekstensive og intensive opplegg, og mye kan gjøres galt. Analyse og utvikling av ulike typer driftssystemer bør derfor bli en viktig oppgave. For komplekse systemer er det viktig å forstå helheten. Husdyrproduksjon bør derfor analyseres med en bred tilnærming, der identifisering av nøkkelfaktorer til forbedring blir viktig. Systematiske tiltak kan da iverksettes for å ta ut potensialer til forbedring, for eksempel på utnyttning av tilført energi og næringsstoff, reduksjon av svinn og kasting av mat, samt minst mulig skadelige miljøeffekter. Nødvendigheten av forbedring vil gjelde for varianter av så vel konvensjonelle som økologiske systemer.

Det er et potensial for bedre utnyttning av husdyrgjødsel og dermed reduserte miljøbelastninger fra husdyrproduksjon. Særlige utfordringer er knyttet til tap av ammoniakk og overskudd av fosfor. Generelt er det muligheter i å forbedre mange faktorer for å finne optimale løsninger, som tilpassing av dyretall og spredeareal, lagringsmetoder og handteringslinjer og sikring av god gjødslingspraksis i vid forstand (tidspunkt, mengde, plantevekster, kombinerings med innkjøpt gjødsel, ulike teknologi og håndtering med mer). Spredeteknologi er en viktig faktor for å oppnå økt næringsutnyttning, men kan medføre vesentlig investeringskostnader.

Et økende fokus på bruk av husdyrgjødsel som kilde til energiproduksjon har vært tydelig den siste tiden. Nyetableringer av biogassanlegg ventes å få et vesentlig omfang fremover. Teknologi- og kunnskapsutvikling på produksjon av biogass kommer til å bli satsingsområder. Sammenlignet med bruk av husdyrgjødsel direkte til gjødsling kan det ligge til rette for god utnyttning av restproduktene etter biogassproduksjon. Vi mangler derimot en bred nok erfaring til å kunne konkludere endelig på omfang og virkning av en slik nysatsing under norske forhold. En større satsing på metanproduksjon på husdyrgjødsel vil ventelig trenge offensiv virkemiddelbruk.

Mat-, landskaps- og egenverdi

Husdyrprodukter er som regel mat med høy næringsverdi. Bærekraftig utvikling tilsier imidlertid at fremtidig matforsyning i verden ikke kan basere seg på vesentlig økt husdyrproduksjon. Et viktig unntak vil være det som kan tas ut gjennom produktivitsvekst, noe som globalt sett kan være betydelig, med bakgrunn i den variasjonen som finnes i måter å drive husdyrhold på. Ernæringsmessig sett vil de samfunn som bruker mest kjøtt i den vestlige verden kunne redusere forbruket mye uten noe form for helsemessig risiko. I en voksende verdensøkonomi blir det viktig å fokusere på fordelingsproblematikk. Et bredt spekter av virkemiddelbruk kan bli nødvendig, med alt fra holdningskampanjer til internasjonal regulering av handel. En gunstigere fordelingsprofil vil øke utnyttelsen av den potensielle verdien i animalsk mat.

Husdyrhold over lang tid har skapt store verdier knyttet til kulturlandskap, økosystemtjenester og biomangfold. Et økende fokus på bevaring og bevisstgjøring av slike ressurser vil trolig fortsette. Det vil generere argumenter for husdyrhold, og samtidig sette noen grenser for måter å drive husdyrhold på.

Husdyr har egenverdi i folks oppfatning av nærvær til dyr. Et kulturlandskap med og uten dyr vil oppleves forskjellig. Det er mange muligheter for interessante kombinasjoner av husdyrhold og tilleggsnæringer innen turisme, helse og matopplevelse. I hvilken grad det multifunksjonelle landbruk vil kunne utvikle seg er derimot et åpent spørsmål. I de land der det gjennom virkemiddelbruk er lagt til rette for vekst av den type landbruk så har det fått stor plass, for eksempel i mange områder i alpelandene. Mest trolig vil det industrialiserte landbruk ha en viktig plass i fremtidig matforsyning.

Kunnskapsbehov

Komplekse systemer krever en helhetlig tilnærming for å gi en nødvendig overordnet forståelse.

Systemanalyser av ulike driftsmåter blir derfor viktig, og vil danne grunnlag for identifisering og forbedring av nøkkelfaktorer for utvikling av bærekraftig husdyrhold. Helhetlig tilnærming vil slik synliggjøre behovet også for detaljkunnskap.

Helhet betyr også at verdien av matproduksjon må kompletteres med øvrige landbruksrelaterte verdier, som blant annet vil finnes i kulturlandskapet. Kunnskap, bevisstgjøring og holdningsendring til slike verdier er observert og vil ventelig fortsette.

På mange områder innen husdyrproduksjon kan det pekes på et utviklings- og kunnskapsbehov. Det vil alltid være potensialer til forbedring i generell jord- og plantekultur og innen generell praksis for fôring og stell. Rett håndtering og bruk av husdyrgjødsel kan nevnes spesielt, herunder behov for erfaring og kunnskap knyttet til nyetableringer av biogassanlegg.

Teknologiutviklingen rundt landbruksdrift og husdyrproduksjon har vært omfattende og rask, og den ventes å fortsette. Dette har krevd, og vil kreve, ytterligere tilpassinger. Bruk av ny teknologi vil også kreve et nytt kunnskapsfokus rettet mot muligheter og bruk av slike nyvinninger. En av konsekvensene av moderniseringer har vært strukturrasjonalisering, og det er ikke grunn til å tro at det vil stoppe opp med det første.

Kunnskapsbehov på miljøkonsekvenser av husdyrhold må også nevnes spesielt. Det må være et mål å utvikle effektive systemer med lavest mulig miljøbelastninger. Det er for tiden et sterkt fokus på utslipp av klimagasser, der lystgass utgjør en særlig faktor innen landbruket generelt, og der metan er særlig knyttet til drøvtyggere spesielt. I tillegg er det viktig å minne om viktigheten av å ta hensyn til de mer klassiske miljøparametrene, som blant annet kan knyttes til erosjon, næringslekkasje, sprøytemiddelbruk, forsuring, energibruk og ivaretagelse av biomangfold.

Referanser

- FAO 2008. U.N. Food and Agriculture Organization (FAO), FAOSTAT Statistical Database, at faostat.fao.org.
- Flatvad, R.D., Holt, V. & Solberg, C. 1996. Nitrogen i melkeproduksjon – et nitrogenregnskap. Høgskolen i Hedmark, LNB. 123 s.
- Fosser Pedersen, H.K. 2004. Nordmenn spiser minst kjøtt. Nordisk statistisk årsbok 2004.
- Nysted, M. 2009. Nøkkeltall for Kukontrollen 2008, Tine Rådgiving. (<http://medlem.tine.no/cf/nokkeltall.cfm>).

10. Næringsstoffbalanse

Audun Korsæth
Bioforsk Øst Apelsvoll
audun.korsaeth@bioforsk.no

Introduksjon

Nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K) er de tre kvantitativt viktigste næringsstoffene for plantevekst. De to førstnevnte kan virke forurensende for miljøet, hvis de over tid blir tilført i større mengder enn det som blir tatt opp i plantene. Hvis det fjernes mer næring ut av systemet (blant annet via solgte produkter) enn det som tilføres, tappes jordas næringslagre. Med tiden gir dette avlingsnedgang. Både for liten og for stor næringstilførsel over tid er altså lite bærekraftig – vi trenger en næringshusholdning i balanse.

Bakgrunn - næringskretsløp og næringsbalanser

Alle næringsstoffene befinner seg i kretsløp, som er mer eller mindre påvirket av menneskelig aktivitet. Både N, P og K finnes naturlig i jorda. Stoffene tas opp fra jorda via planterøttene, og går inn i produkter som kan konsumeres som mat eller fôr. Noe næring forsvinner dessuten på andre måter, gjennom erosjon og utvasking, og for nitrogen også gjennom gasstap fra ulike mikrobielle prosesser. Noe av næringsstoffene tilbakeføres jorda i form av gjødsel fra dyra. I det moderne samfunnet representerer avfall fra mennesker en gradvis mindre del av næringskretsløpet. Utviklingen forsterkes av en økende urbanisering. Næringsstoffene i maten vi kjøper blir delvis kastet (mengden matavfall er sterkt økende i den vestlige verden), mens brorparten havner i slammet fra renseanleggene. Bare en begrenset del av dette tilbakeføres jorda, og da også i forbindelser som plantene ikke kan ta opp (gjelder særlig P).

For å unngå en situasjon der jordas næringslagre tømmes, blir N, P og K tilført fra ulike kilder. Nitrogen er hovedbestanddelen i luft (78 %), og dette bindes i plantetilgjengelig form i stor skala både naturlig (fiksering) og industrielt. Fosfor og kalium finnes i enkelte bergarter, og utvinnes i gruver. I tillegg kommer ulike organiske næringskilder. Når man tilfører næringsstoffer til et jordbrukssystem øker man normalt produksjonen, men samtidig øker også risikoen for at næringsstoffer kommer på avveier.

I en næringsbalanse ser man på differansen mellom næringsstrømmene inn og ut av et system. Næringsbalanser kan beregnes på ulike nivå; for eksempel nasjonalt, regionalt, på gårdsnivå eller for et enkelt jordstykke (skiftenivå). Ethvert økosystem taper noe næring til omgivelsene. Selv en næringsfattig skogsjord, der eneste næringstilførsel skjer gjennom nedbør og vindtransporterte partikler, har et visst uunngåelig næringstap. På ei næringsrik jord har målinger av grøfte- og overflateavrenning vist at selv dyrkingssystemer drevet med nokså store nitrogenunderskudd har tapt ca. 2 kg N pr. dekar via grøftene (Korsæth & Eltun 2000). Ideelt sett bør derfor en bærekraftig næringstilførsel over tid være lik summen av uunngåelige tap og det som fjernes fra systemet. Årlige fluktasjoner må aksepteres innenfor visse grenser. I praksis er det imidlertid en del utfordringer som må løses for å nå dette målet for det norske landbruket totalt sett.

Utfordringer

En hovedutfordring er store næringsoverskudd, først og fremst av N og P, både på nasjonalt nivå og på gårdsnivå for en del intensive produksjoner. I motsatt ende av skalaen finner vi en del økologiske produksjonssystemer, der utfordringen er til dels store næringsunderskudd, spesielt for P og K.

Næringsoverskudd på nasjonalt nivå

For noen år siden ble det gjort en analyse på nasjonalt nivå av alle N-strømmer inn og ut av jordbruket, inklusive jordbruksindustrier slik som meierier, slakterier og møller (Bleken & Bakken 1997). Studien viste at nitrogentilførsel via import fra utlandet, fra naturen utenfor jordbruket (utmarksbeiter, fiskemel, o.a.), fra mineralgjødsel, biologisk fiksering, atmosfærisk nedfall og ammoniakk til halmbehandling var vesentlig større enn produktene på eksportsiden av regnskapet (uspiselige produkter, spiselige vegetabiliske og animalske produkter). Det årlige overskuddet var på 135 000 tonn N, som tilsvarer litt over 13 kg N pr. dekar i gjennomsnitt for hele det norske jordbruksarealet. En vesentlig del av overskuddet har sitt utgangspunkt i husdyrbaserte produksjoner.

Slike omfattende beregninger kan selvfølgelig være beheftet med feil. Den grundige metodiske tilnærmingen og det store tallmaterialet som ble analysert i studien, gir imidlertid grunn til å tro at beregningene ikke var så alt for langt unna realiteten. Det relativt store overskuddet er urovekkende, da det meste av dette nitrogenet sannsynligvis går tapt på ulike vis, både fra jordet, fra fjøset og fra jordbruksindustrien. Forfatterne trakk fram ulike måter å redusere dette overskuddet på. Her viste det seg at en endring i våre matvaner ville ha størst effekt. Ved å redusere den animalske andelen av dietten vår med 10 %, kan overskuddet reduseres med ca 16 %. Ved å kaste 20 % mindre mat (spesielt proteinrike produkter som egg, melk og kjøtt), kan overskuddet reduseres med 11 %. Tallmaterialet bak analysen stammer fra årene 1988-1991. Det er all grunn til å tro at utviklingen i ettertid har gått i feil retning med hensyn til spisevaner og matkasting. Den animalske andelen av dietten vår har økt, og vi kaster mer mat enn noensinne.

Næringsoverskudd på gårds- og skiftenivå

Et N-overskudd på nasjonalt nivå tilsier at vi også i mange tilfeller har N-overskudd på gårdsnivå. Analyser har vist at risikoen for N-overskudd er størst ved husdyrproduksjon. Når plantene må innom husdyra på veien til vår tallerken, øker mulighetene for tap. Utnyttingsgraden av nitrogenet blir dermed mye lavere ved produksjon av kjøtt og melk enn når plantene konsumeres direkte som menneskemat. I studien til Bleken & Bakken (1997) ble dette illustrert ved å kalkulere hvor mye N som må tilføres i primærleddet (planteproduksjonen) for å produsere mat med et innhold av 1 kg N (ca. 6,25 kg protein) ved ulike produksjoner. Behovet er 3 kg N for mel, 14 kg N for meieriprodukter og 21 kg N for kjøtt.

Tallene i disse beregningene stammer fra en tid da det var lite bevissthet hos allmennheten om landbrukets negative miljøeffekter. Det har skjedd vesentlige endringer på mange områder etter dette. I 1998 ble det i Norge innført et krav om at det skal settes opp en gjødslingsplan hvert år for hvert enkelt skifte på alle driftsenheter som mottar arealtilskudd. I planen skal man beregne gjødslingsbehovet blant annet ut fra hvor stor avling som forventes på det enkelte jordstykke, noe som normalt vil være de siste års middelavling. Det er imidlertid en del statistikk som tyder på at mange gårder fortsatt har et unødvendig stort N-overskudd. Dette kan ha flere årsaker.

Mengden mineralgjødsel justeres ofte ikke nok ned ved bruk av husdyrgjødsel. I husdyrgjødsel foreligger bare en del av nitrogenet i plantetilgjengelig form. Den organiske N-fraksjonen må først omdannes (mineraliseres) før plantene kan nyttiggjøre seg nitrogenet. Denne frigjøringen skjer gjennom hele sommerhalvåret, også etter at planteopptaket av N er avsluttet. Dette øker selvfølgelig risikoen for tap utover høsten og vinteren. Ikke alt nitrogenet frigjøres samme år som det tilføres. Effekten av husdyrgjødsel er målbar i flere år etter at den spres på jordet. Ved kontinuerlig tilførsel av organisk N, får man dermed en langtids-effekt som det ofte ikke blir kompensert for fullt ut, gjennom en tilsvarende reduksjon i tilførselen av mineralgjødsel. Enkelte krav til fôrkvalitet stimulerer dessuten til et for høyt gjødslingsnivå. For eksempel anbefales det at en ved melkeproduksjon sørger for en svært høy proteinbalanse i vomma, noe som normalt oppnås gjennom relativt kraftig gjødsling av enga.

Selv om N-overskudd kan se ut til å være en spesielt stor utfordring i husdyrsektoren, går heller ikke den mer plantebaserte produksjonssektoren fri. Her viser det seg at økonomisk optimal gjødsling ofte gir store næringsoverskudd. Mange grønnsaker har for eksempel store N-behov for å sikre høye avlinger, mens relativt lite av dette fjernes med avlingen (mye N-rike planterester). I en undersøkelse med bruk av modellen EU-rotate_N, viste Riley (2007) at anbefalte gjødslingsmengder til typiske vekstomløp med grønnsaker ga til dels store N-overskudd og stor N-utvasking (opp til ca. 10 kg utvasket N pr. dekar og år).

Grønnsaksarealet (inkludert poteter) utgjør bare omtrent 2 % av hele jordbruksarealet, og har dermed en relativt liten effekt totalt sett. Store tap fra slik produksjon kan imidlertid være meget uheldig lokalt, og må derfor tas alvorlig. Kornproduksjonen er arealmessig mye større (ca 30 % av jordbruksarealet). Med bakgrunn i data fra 240 gjødslingsforsøk utført i perioden 1991-2007, beregnet Riley (2010) at sannsynlig N-overskudd ved kornproduksjon på Østlandet er ca. 3 kg N pr. dekar når halmen fjernes, og 5-6 kg N pr. dekar når bare kornet fjernes. Beregningene forutsetter økonomisk optimal N-gjødsling med en pris på 11 kr pr. kg N. Disse tallene passer godt overens med N-balanser beregnet i JOVÅ-programmet (Bechmann m.fl. 2008). I JOVÅ-programmet har man fulgt næringstransporten i bekker fra mindre, jordbruksdominerte nedbørsfelt fra tidlig på 90-tallet. Nitrogenbalansen beregnet for kornfeltene i de mest korndominerte nedbørsfeltene var i gjennomsnitt 5,5 kg N pr. dekar for perioden 1991-2006.

Det er også klare indikasjoner på P-overskudd i mange tilfeller. Beregninger i regi av JOVÅ-programmet viste at de viktigste nedbørsfeltene med korndyrking hadde et gjennomsnittlig overskudd på 0,6 kg P pr. dekar for perioden 1991-2006 (Bechmann *et al.* 2008). I de konvensjonelle dyrkingssystemene på Apelsvoll var årlige P-overskudd 0,5-1,1 kg for årene 2001-2008 (tabell 1, enkel P-balanse). Overskuddene for P forventes imidlertid å gå ned i praksis som en følge av reduksjonen i gjødslingsnormene som ble innført for korn og gras i 2007 og for poteter i 2009 (normene til grønnsaker er under revisjon).

I praksis har det vist seg at mange har en tendens til å sette forventet avling mer i retning av hva man kan forvente seg i et meget godt år enn som et gjennomsnitt over flere år. Dette vil da føre til at det gjødsles for mye i år der avlinga ikke når de store høyder, som altså gjelder de fleste år. Selv om gjødslingsplanen settes opp korrekt, er det likevel ingen garanti for at planen faktisk følges. I dag gjøres det ingen kontroll av at gårdbrukeren faktisk følger de oppsatte gjødselmengdene i gjødslingsplanen. I prinsippet kan det dermed gjødsles helt uavhengig av planen, og det er derfor mulig at enkelte gjødsler langt mer enn de burde. Det er lite sannsynlig at dette er et spesielt omfattende problem for kornarealene, da legderisikoen øker med økende gjødsling. For andre vekster, slik som for eksempel potet og grønnsaker, kan problemet være større.

Det er altså mange og sammensatte årsaker til at det med stor sannsynlighet er relativt store næringsoverskudd på mange gårder. Hvilke effekter har så dette? Hele overskuddet går ikke nødvendigvis tapt, men det er logisk at når tilførselen overstiger behovet, så vil tapene øke med økende overskudd. Spesielt gjelder dette N, som ofte foreligger i vannløselig og dermed mobil form. Det er imidlertid vanskelig å dokumentere en slik sammenheng. I JOVÅ-programmet er det ikke funnet sammenheng mellom næringsstoffbalanser og næringsstofftap. Dette skyldes blant annet at variasjoner i været de enkelte årene har stor betydning for tapene. I dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll var det imidlertid en meget god sammenheng mellom N-balanse og N-utvasking i middel av det første tiåret av forsøket (Korsæth & Eltun 2008). Gjennom målinger i grøfte- og overflateavrenning på gårdsnivå var det mulig å forklare opp til 86 % av variasjonen i N-utvasking med N-balanser.

Risiko for næringsunderskudd ved økologisk produksjon

Ved økologisk produksjon skal næringstilførsel skje gjennom et hensiktsmessig vekstskifte, bruk av belgvekster og tilførsel av økologisk husdyrgjødsel. Hvis dette ikke er nok til å oppnå en tilstrekkelig næringstilførsel, kan unntaksvis andre organiske eller uorganiske gjødselslag brukes som tilskudd. Nitrogen som bindes biologisk fra lufta kan, i hvert fall i teorien, nå et omfang som vil kompensere for N-eksporten fra gården i form av solgte produkter. Men verken vekstskifte eller belgvekster bidrar med P og K. Bruk av husdyrgjødsel fra gårdens husdyr innebærer bare en intern resirkulering, og tilfører altså ikke gården noe mer av disse næringsstoffene. Innkjøpt kraftfôr tilfører gården næring, da en del av næringsstoffene i fôret havner i husdyrgjødsel. Ved økologisk husdyrproduksjon er det imidlertid et mål å være selvforsynt med fôr i størst mulig grad. Økologisk kraftfôr må dessuten også produseres et sted, og gårdsbruk som eksporterer kraftfôr (korn) har gjerne problemer med å erstatte dette næringstapet. Salg av fôr går ut over gårdens evne til å forsyne egne husdyr, og noen driver helt uten dyr på gården. Ved ensidig kornproduksjon, eventuelt i kombinasjon med grønngjødsling, vil behovet for P- og K-tilførsel vise seg enda raskere enn der det er husdyr, siden alle produktene eksporteres fra gården (ingen intern resirkulering), og det ikke blir tilført næring via innkjøpt fôr.

Ulike organiske gjødselmidler har tidligere blitt brukt, slik som for eksempel tang og kompost, og nye produkter er under utprøving (for eksempel biorest). Av mineralske gjødselmidler er det tillatt å bruke råfosfat (P-kilde) og steinmel (K-kilde). Fosforet i råfosfat er lite plantetilgjengelig, og bruk av dette som P-kilde innebærer derfor dårlig utnyttning av en knapp ressurs samtidig med at tilførselen av tungmetaller (for eksempel Cd) relativt sett kan bli høy. Kjøttbeinmel har mye plantetilgjengelig P og N, men det er ikke tillatt på eng og beite.

Det er en utbredt misoppfatning i mange økologiske miljøer at bruk av husdyrgjødsel fra egen gård, kombinert med belgvekster i omløpet sikrer en tilstrekkelig næringsforsyning. Følgelig har mange økologiske gårder negative P- og K-balanser, som over tid gir en reduksjon av disse næringsstoffene i jorda (se for eksempel Løes & Øgaard 2001). Målinger i det mangeårige systemforsøket på Apelsvoll underbygger dette. For perioden 1990-1999 hadde systemet med økologisk kjøtt/

melk/korn-produksjon et gjennomsnittlig årlig underskudd pr. dekar på 1,2 kg P og 5,0 kg K, når avrenning og utvasking også ble regnet med i balansen (Korsæth & Eltun 2008). Til sammenligning hadde et konvensjonelt system med samme produksjon og vekstskifte et P- og K-regnskap i balanse (+0,1 kg P pr. dekar og +0,3 kg K pr. dekar). I 2000 ble det gjort en del endringer i forsøket, men mønsteret er fortsatt det samme (tabell 1).

Tallene viser klare underskudd på P og K i de økologiske systemene. Når tapene via grøfte- og overflatevann også er trukket fra, går det fram hvor mye som årlig forbrukes av jordas næringslagre. Hvis underskuddene summeres fra oppstarten i 1990, blir samlet P-tap pr. dekar i løpet av de 19 årene 14-21 kg P for

de økologiske systemene. Tilsvarende er kaliumreserven i jorda beregnet redusert med 25-68 kg K pr. dekar for de samme systemene. De beregnede reduksjonene for P og K samsvarer godt med jordanalyser, der vi finner en markant reduksjon i P-AL og K-HNO₃-verdiene over tid ved økologisk drift.

Tiltak og muligheter

Tiltak for å redusere næringsoverskudd på nasjonalt nivå

Kjøtt er blant de mest ressurskrevende matvarene vi spiser. Studien til Bleken & Bakken (1997) viste at det må tilføres sju ganger så mye N for å produsere "kjøtt-

Tabell 1. Fosfor og kaliumbalanser for perioden mai 2001-april 2009 i dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll

Dyrkingssystemer	Åpen-åker-produksjon			Korn/kjøtt/melkeproduksjon		
	Konvensjonell Gammeldags	Konv. Moderne	Økologisk Uten husdyr ¹	Konv. 50% eng	Økologisk 50% eng	Økologisk 75% eng
Vekstskifte	Hvete Havre Bygg Potet	Hvete m/fangv. Havre m/fangv. Bygg m/fangv. Potet	Hvete m/fangv. Havre+erter Bygg m/gjenl. Kløvereng	Hvete m/fangv. Bygg m/gjenl. 1. års eng 2. års eng	Hvete m/fangv. Bygg m/gjenl. 1. års eng 2. års eng	Bygg m/gjenl. 1. års eng 2. års eng 3. års eng
Fosforbalanse kg P/daa						
P i mineralgjødning	3.1	3.2		1.6		
P i husdyrgjødning				1.1	0.9	1.2
P i såvarer	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
Sum P inn	3.4	3.5	0.1	2.7	0.9	1.2
Høstet P	2.5	2.1	1.0	2.1	1.9	2.1
Overflateavrenning	0.003	0.004	0.008	0.007	0.007	0.009
Grøfteavrenning	0.015	0.008	0.010	0.016	0.008	0.009
Sum P ut	2.5	2.1	1.0	2.2	1.9	2.1
Enkel P-balanse ²	0.6	1.1	-1.0	0.5	-1.0	-0.9
P inn minus P ut ³	0.9	1.3	-0.9	0.5	-1.0	-0.9
Kaliumbalanse kg K/daa						
K i mineralgjødning	9.0	9.2		6.1		
K i husdyrgjødning				9.0	7.3	10.2
K i såvarer	1.5	1.5	0.1	0.1	0.1	0.0
Sum K inn	10.5	10.7	0.1	15.1	7.4	10.2
Høstet K	8.4	6.2	1.1	10.5	8.3	11.3
Overflateavrenning ⁴	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4
Grøfteavrenning ⁴	0.5	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
Sum K ut	9.3	6.8	1.9	11.4	9.0	12.0
Enkel K-balanse ²	0.6	3,0	-1.9	4.6	-0.9	-1.1
K inn minus K ut ³	1.2	3.8	-1.8	3.7	-1.6	-1.8

¹Tall fra 2007 er ikke regnet med i gjennomsnittet for dette systemet, pga avlingsskade.

²Tilført med mineral- og husdyrgjødning minus det som er fjernet med avlinga (inkl. halm der det ble fjernet).

³Siden alle hovedstrømmer er inkludert her, er differansen et uttrykk for endring i jordas næringslagre.

⁴Kalium ble ikke målt i grøfte- og overflateavrenning denne perioden, men satt lik målingene fra perioden 1990-1999.

protein" som "brød-protein". Kjøttforbruket i Norge er mer enn fordoblet på 50 år. FIVH beregnet kjøttforbruket pr. innbygger ved hjelp av tilgjengelig statistikk til 37,5 kg i 1959 og 75 kg i 2006. Da var biprodukter av kjøtt og grensehandel (anslag) inkludert. Et meget godt tiltak for å redusere nasjonale næringsoverskudd, ville dermed være å bidra til at vårt kjøttkonsum går ned.

Et annet alternativ, som kanskje har vel så stor betydning som å redusere kjøttforbruket, er å redusere kasting av mat. Avfall fra private husholdninger er den avfallstypen som har vokst raskest i Norge de siste årene. I 2007 utgjorde våtorganisk avfall ca. 547 000 tonn, basert på tall fra SSB. Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere volumet av alt matavfall totalt sett (bl.a. har ikke alle kommuner separat innsamling av matavfall). I Storbritannia blir det anslått at 1/3 av all mat som kjøpes av de private husholdningene blir kastet. Det er ikke urealistisk å anta at nivået i Norge er omtrent som i Storbritannia. Mye av maten som kastes blir riktig nok omgjort til kompost eller brukt som substrat for bioenigiproduksjon, men dette er en svært dårlig utnyttning av høyverdige og næringsrike produkter. Mindre kasting av mat vil bidra til bedre utnyttning av næringsstoffer brukt i produksjonen, mindre næringsoverskudd og mindre tap til omgivelsene.

Tiltak for å redusere næringsoverskudd på gårds- og skiftenivå

Landbrukets hovedoppgave er å produsere mat. En kraftig reduksjon i tilførselen av gjødsel vil riktignok redusere overskuddene av næringsstoffer på gårds- og skiftenivå, men samtidig vil produksjonen også bli skadelidende. En bedre tilnærming er å øke utnyttingsgraden av de næringsstoffene som blir tilført. Dette skjer best ved at bonden gjødsler riktigst mulig, det vil si at gjødslingen tilpasses plantenes behov. Gjødslingsplanlegging er ment å bidra til dette. Mengden gjødsel styres i stor grad av hvor stor avling som forventes på skiftet. Et tiltak mot urealistisk høye avlingsforventninger er å presisere for alle som lager gjødslingsplaner at middelavling skal legges til grunn for "forventet avling" og ikke et avlingsnivå basert på en optimistisk forventning. Dette kan styrkes gjennom rådgivning, og gjennom en endring av dagens gjødslingsplanprogrammer slik at tidligere års (faktiske) avlinger med samme vekst fra skiftet må legges inn. Gjennomsnittet av tidligere års faktisk oppnådde avlinger bør da benyttes som forventet avling. Et tiltak for å sørge for at gårdbrukeren faktisk følger de oppsatte

gjødselmengdene i gjødslingsplanen kan være å innføre stikkprøvekontroll på gårdsnivå, der mengden innkjøpt gjødsel sammenholdes med behovet for gjødsel ut fra gjødslingsplanene.

Jordstykkene i Norge viser ofte stor variasjon med hensyn til jordegenskaper og øvrige vekstbetingelser, men likevel danner gjennomsnittsbetraktninger i praksis grunnlaget for de fleste avgjørelser med hensyn til valg av vekster, jordarbeiding, gjødsling og plantevern. Presisjonsjordbruk er et alternativ der man tar i bruk avansert teknologi for å tilpasse behandlingen av jord og vekst til den variasjonen en finner innenfor jordstykker. Hovedmålet med presisjonsjordbruk er å øke utnyttingsgraden av innsatsfaktorene. Presisjonsgjødsling er per i dag best egnet for supplementgjødsling etter vekststart (delgjødsling). I våre naboland brukes et system basert på en traktormontert sensor som muliggjør stedsspesifikk delgjødsling til korn. I Sverige ble nesten 500 000 dekar gjødslet med dette systemet i 2009. Systemet kan imidlertid også brukes for andre vekster. Et tiltak er derfor å stimulere til bruk av presisjonsgjødsling. Dette innebærer at det må legges til rette for at slike tjenester tilbys i Norge. I dag eksisterer det ingen kommersielle systemer for presisjonsgjødsling i Norge. På Apelsvoll foregår det imidlertid en del forskning på området. Denne omfatter grunnleggende studier omkring muligheter for bruk av fjernmålinger både for presisjonsgjødsling og andre formål (se bilde 1).

Tiltak for å unngå næringsunderskudd ved økologisk produksjon

Siden mineralgjødsel ikke er tillatt brukt her, må næringsstoffene som tapes til miljøet eller som eksporteres ut av gården via solgte produkter erstattes med andre næringskilder. Balansert næringsforsyning er en stor utfordring. Belgvekster bidrar bare med N, og de må dyrkes på store arealer for å sikre gårdens N-forsyning på denne måten. Utstrakt bruk av belgvekster øker dessuten risikoen for N-tap, da utnyttingsgraden av det fikserte nitrogenet er lav. Det er bare en mindre del av det fikserte nitrogenet som kommer andre kulturplanter til gode. Innkjøp av fôr bidrar med næringsstoffer inn til gården, men normalt i utilstrekkelige mengder. Noen løser problemet ved å skaffe seg husdyrgjødsel fra andre produsenter. Produsenter som har husdyrgjødsel å avstå driver normalt konvensjonelt, siden økologiske produsenter trenger husdyrgjødsel til egen næringsforsyning. De konvensjonelle produsentene vil kunne supplere med mer mineral-



Bilde 1: Mikrodrone for fleksible målinger fra luften (foto: Stein Ivar Øvergaard)

gjødsel for å kompensere for næringseksperten som utførselen av husdyrgjødsel medfører (unntaket er når utførselen skyldes mangel på spredeareal, noe som innebærer at det er mer husdyr på gården enn arealet tillater ut fra forskriften). Systemet med bruk av konvensjonell husdyrgjødsel på en økologisk drevet gård er ikke i tråd med den økologiske grunntanke, men regelverket åpner for dispensasjonsmuligheter (konvensjonell husdyrgjødsel tillates brukt med inntil 8 kg N pr. dekar og år).

Et bedre tiltak er å ta i bruk organiske restprodukt fra storsamfunnet. Slike næringskilder har vært et diskusjonstema i økologisk landbruk i mange år, og noen produkter har gått inn som en del av næringshusholdningen på enkelte gårder (for eksempel kompost). Mye av næringsstoffene vi spiser havner som slam i renseanleggene. Næringsstoffene i slammet er imidlertid ofte lite plantetilgjengelig (særlig P) som et resultat av dagens rensemetoder. I Norge kjøres avløp fra småindustri inn i det samme ledningsnett som kloakk fra husholdningene. Norsk slam har likevel generelt lavt innhold av tungmetaller og andre uønskede stoffer,

selv om det kan forekomme periodevise tilfeller med forhøyet innhold av enkelte tungmetaller ved noen renseanlegg. Uansett tungmetallinnhold er det ikke tillatt å bruke slam ved økologisk dyrking ifølge dagens regelverk. Et tiltak for å bedre nærings situasjonen i økologisk produksjon vil være å endre både slammets egenskaper og regelverket knyttet til bruken. Det første er et meget krevende arbeid, men det åpner for store muligheter. Ved å bruke slam som næringskilde i landbruket (ikke bare det økologiske), blir mennesket igjen en del av næringskretsløpet, noe som er ett av målene for et bærekraftig samfunn. Bruk av urin vil delvis bidra til det samme. Urin er gunstig fra et agromisk synspunkt, men krever omfattende investeringer i samfunnets infrastruktur. I dag resirkuleres om lag 50 % av norsk kloakkslam, i det alt vesentlige innenfor kornproduksjon og grøntanleggsektoren. Andre produkter, slik som kjøttbeinmel, biogassrest og reaktorbehandlet husholdningsavfall, virker meget lovende ut fra deres næringsinnhold og deres normalt lave innhold av uønskede innholdsstoffer. Her trengs imidlertid mer kunnskap.

Kunnskapsbehov

Det er behov for en omfattende analyse av omfang og effekter av kasting av matprodukter langs hele verdikjeden fra jord til bord. Analysen må kunne ut i en tiltaksplan for hvordan dette problemet kan reduseres på en effektiv måte.

Metoder for presisjonsgjødsling må tilpasses norske forhold, og kunnskapen rundt slik gjødslingspraksis må utvides til å omfatte også arealmessig mindre produksjoner, som potet og grønnsaker.

Utfordringene knyttet til bruk av slam som næringskilde må løses. Det er behov for kunnskap om alternative rensemetoder, og/eller metoder for etterbehandling av slammet.

Det er videre behov for å vite mer om hvordan man kan utnytte næringsstoffene i storsamfunnets restprodukter optimalt i en agronomisk sammenheng. Dette omfatter kunnskap om hvordan ulike restprodukter kan kombineres for å tilpasses næringsbehovet til den enkelte vekst best mulig, der en også tar hensyn til eventuelle utfordringer knyttet til den praktiske håndteringen av slike kombinasjoner av produkter med til dels svært ulike fysiske egenskaper. En av de viktigste utfordringene er å sikre avfall med stabil kvalitet og forutsigbar gjødseffekt, spesielt av nitrogen.

Referanser

- Bechmann, M, Pengerud, A., Eggestad, H.O., Deelstra, J. & Øygarden, L. 2008. Erosjon og næringsstofftap fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Bioforsk rapport 3(20): 1-45.
- Bleken, M. A. & Bakken, L.R. 1997. The nitrogen cost of food production: Norwegian society. *Ambio* 26: 134-142.
- Korsaeth, A. & Eltun, R. 2000. Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 79: 199-214.
- Korsaeth, A. & Eltun, R. 2008. Synthesis of the Apelsvoll cropping system experiment in Norway - nutrient balances, use efficiencies and leaching. In: Kirchmann, H. og Bergström, L. (eds.), *Organic Crop Production – Ambitions and Limitations*, pp. 117-141. Springer Science+Business Media B.V., springer.com.
- Løes, A-K. & Øgaard, A.F. 2001. P og K i jord – hva skjer ved økologisk drift? *Økologisk Landbruk* 3/01.
- Riley, H. 2007. EU-rotate_N: Et beslutningsverktøy for vurdering av N-syklus i grønnsaksomløp. *Bioforsk Fokus* 2(1): 144-145.
- Riley, H. 2010. Er økonomisk optimal N-gjødsling til korn også optimalt for miljøet? *Bioforsk Fokus* 5(2): 134-135.

11. Vannkvalitet

Marianne Bechmann
Bioforsk Jord- og miljø
marianne.bechmann@bioforsk.no

Introduksjon

Vann er en livsnødvendighet for alle levende organismer. Ulike organismer og bruksformål setter imidlertid ulike krav til vannkvalitet. Jordbruksdrift påvirker vannkvaliteten med hensyn til innhold av bakterier, lukt, farge, partikler, næringsstoffer, pesticider og oksygen, men et bærekraftig jordbruk må tilstrebe minst mulig negativ påvirkning av vannforekomster. Valg av driftsystem i jordbruket (vekster, jordarbeiding, gjødsling) har stor betydning for tapene til vann. Dessuten er det iverksatt en rekke tiltak i jordbruket for å begrense de negative effektene på vannkvaliteten, men fortsatt er det store utfordringer når det gjelder å redusere utslipp fra jordbruksarealene.

Utfordringer

Vannforekomster i områder som er dominert av jordbruk har i dag ofte dårlig eller svært dårlig vannkvalitet i henhold til SFTs klassifisering. Erosjon og partikkeltransport er et problem både fordi det er den beste dyrkjingsjorda som forsvinner, og fordi høyt partikkelinnhold er uønsket i drikkevann og i vann for rekreasjonsformål. Uønsket algevekst er i tillegg et problem i innsjøer og kystnære områder og forårsakes av høye tilførsler av næringsstoffer. I mange områder er jordbruket den dominerende kilden til dette. Dessuten kan avrenning av pesticider til vann, avhengig av konsentrasjon og toksisitet, føre til at vannlevende organismer blir skadet eller dør på grunn av akutt eller kronisk forgiftning. Minimering av erosjon, næringsstoff- og pesticidavrenning er av sentral betydning for et bærekraftig jordbruk.

Naturgitte forhold og klimaendringer

De naturgitte variasjonene i partikkel- og næringsstofftap er store, blant annet på grunn av variasjon i jordtyper, landskap og vær. Ulike terreng- og jordbunnsforhold gir forskjellig risiko for forurensning. Bratte skrånninger gir for eksempel stor risiko for tap av partikler og partikkelbundne forurensninger. På myr-arealene vil det ofte være stor risiko for lekkasje av fosfor, siden den naturlige bindingskapasiteten for fosfor generelt er lavere her enn på mineraljord. På leire kan makro-



Effekter av jordbruksdrift på vannkvalitet måles i bekken (foto: Selnes)

porer (sprekker, meitemarkganger og rotkanaler) føre til stor vertikal transport av partikler, pesticider og næringsstoffer gjennom jorda.

Nedbørsmengde og nedbørsintensitet har betydning for avrenning og transportkapasitet for forurensninger. I tillegg har nedbør i forhold til gjødsling eller spøyting stor betydning for risiko for avrenning av disse stoffene. På Vestlandet og i Trøndelag, i områder med store nedbørmengder (1000-2000 mm/år), er jordbruk på bratte arealer avhengig av en drift som tar vare på jorda, det vil si minst mulig jordarbeiding. Intense nedbørepisoder, særlig i forbindelse med snøsmelting, kan også føre til at mye av den beste jorda forsvinner fra de mest erosjonsutsatte arealene. Store nedbørmengder har også ført til ras og utglidninger, der arealer med dyrkbar jord er gått tapt.

Temperaturen har dessuten stor betydning for transport av jord og næringsstoffer. I en stabil vinter med tåle i bakken vil det være lite avrenning av partikler og næringsstoffer. Snødekke bidrar også til å beskytte jorda mot erosjon. En vinter med mange fryse-tine episoder, kan derimot gi avrenning i hver tine-episode og økt risiko for tap av partikler, næringsstoffer og pesticider. Forsommertørke er en annen værrelatert faktor som kan skape økt risiko for næringsstoffavrenning. Tørke kan gi redusert næringsstoffopptak i plantene

og reduserte avlinger, noe som bidrar til at det er mer næringsstoffer igjen i jorda etter høsting. Dette øker risikoen for næringsstofftap utover høsten og vinteren. Tilsvarende gjelder også for andre forhold som bidrar til redusert næringsopptak i plantene (insektsangrep, sykdommer, etc.). Været påvirker både bruken av pesticider og har direkte innvirkning på tapet. Mer høstnedbør vil kunne ha en særlig negativ effekt på pesticider som sprøytes om høsten (f.eks. glyfosat).

Klimaendringene ser ut til å skape enda større utfordringer for vannkvaliteten i fremtiden under norske forhold. Det forventes mer nedbør, særlig på høsten, mer forsommertørke, høyere nedbørintensitet, mildere vintre og mer ekstremvær. Alle disse faktorer bidrar til høyere risiko for tap av patikler, næringsstoffer og pesticider.

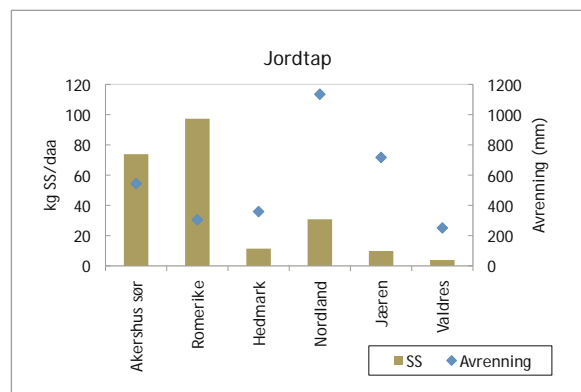
Driftssystemer

Åpen åker gir stor risiko for erosjon.

Kanaliseringspolitikken har ført til at det er mye åpen åker på Østlandet, også på de erosjonsutsatte arealene. Valg av jordarbeidingsmetode og tidspunkt har stor betydning for erosjonsrisiko på slike arealer. Det er mindre risiko på arealer som overvintre i stubb sammenlignet med arealer som jordarbeides på høsten. I 2008 overvintret omlag halvparten av de norske kornområdene i stubb, mens resten av kornarealene enten ble høstpløyd eller høstharvet. Avrenning, partikkel-, pesticid- og næringsstofftap fra jordbruksarealer blir dokumentert i et landdekkende nett av overvåkningsstasjoner (JOVA-programmet; www.bioforsk.no/jova). JOVA-programmet viser at det er stor variasjon i jordbrukets effekt på vannkvaliteten som følge av ulike driftssystemer i jordbruket og ulike geologiske og klimatiske forhold.

Erosjonsrisikoen er spesielt stor på de bakkeplanerte arealene på grunn av lavt innhold av organisk materiale i matjordlaget, liten aggregatstabilitet og liten infiltrasjonsevne (f.eks. Romerike, figur 1). Samtidig kan jordpakking, manglende vedlikehold av drens-systemer og bekkelukkinger gi økt risiko på planerte arealer. Driftssystemer der en bare gjennomfører jordarbeiding om våren eller helt unngår årlig jordarbeiding, f.eks. langvarig eng, har lavere risiko for tap av jord og næringsstoffer.

Intensiv husdyrproduksjon finnes bl.a. på Sør-vestlandet. Høy husdyrtetthet gir en gjødselproduksjon som ofte overstiger behovet for fosfor i planteproduksjonen. På gårdsbruk med maksimalt tillatt husdyrtetthet får vi en



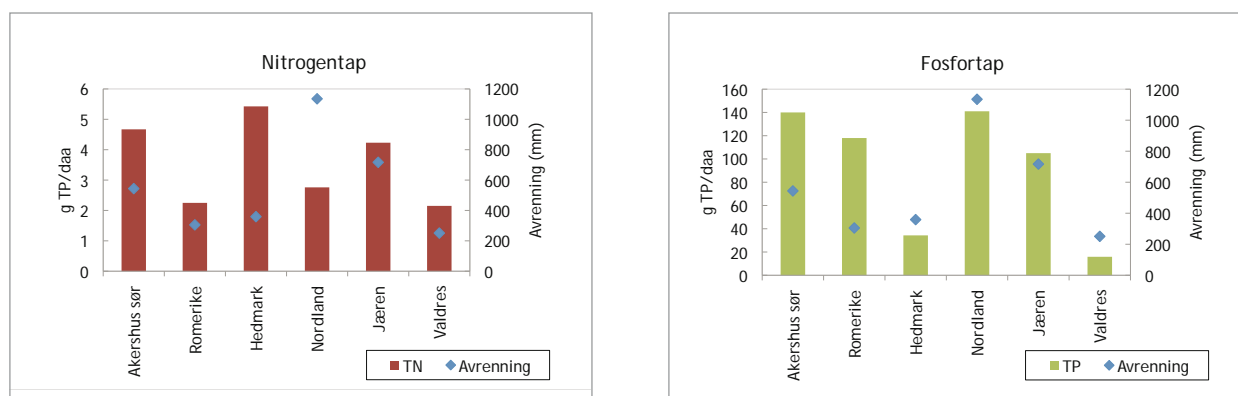
Figur 1. Partikkeltap (ss) og avrenning fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Gjennomsnitt for overvåkingsperioden (Rød *et al.* 2009).

gjennomsnittlig tilførsel av husdyrgjødsel som tilsvarer 3,5 kg P/daa. Dette er mer fosfor enn det plantene tar opp i de fleste tilfellene og medfører dårlig utnyttelse av gjødsel. Tilførsel av for mye av fosfor over mange år fører dessuten til høyt innhold av fosfor i jorda. Høyt fosforinnhold i jorda gir stor risiko for fosfortap til vassdragene (f.eks. Jæren, figur 2). Spredning av husdyrgjødsel om høsten fører til økt risiko for utvasking av næringsstoffer, fordi det ikke er aktiv plantevekst som kan ta opp de tilgjengelige plantenæringsstoffer. I tillegg er det risiko for direkte tap av næringsstoffer fra overflatespredd husdyrgjødsel, og tap fra utette gjødsellagere.

Andre driftssystemer som utgjør en spesiell risiko for vannkvaliteten er intensiv potet- og grønnsaksproduksjon, der næringsstoffoverskuddet og pesticidforbruket vanligvis er stort. Dessuten etterlates jorda åpen og ubevokst etter høsting av potet og en del grønnsaker og erosjonsrisikoen er dermed stor. Potethøsting fører dessuten ofte til pakking av jorda og dermed økt risiko for overflateavrenning.

I områder med ekstensiv jordbruksproduksjon, bl.a. i fjellområder og i deler av Nord-Norge, er det lite erosjon. I Valdres er det for eksempel liten avrenning av næringsstoffer og partikler (figur 2). Lav intensitet i jordbruket gir dog også lavere avlinger per arealenhet.

Økologisk drift kan påvirke vannkvaliteten både positivt og negativt, avhengig av driften på den enkelte gården. Det er ikke tillatt å bruke syntetisk framstilte pesticider i økologisk jordbruk, og risikoen for gifteffekter i vassdrag blir dermed minimert ved slik drift. På den andre siden kan gjenntatt ugrasharving, som alternativ til pesticidbruk, øke erosjonen og næringsstofftapene. På lite erosjonsutsatt jord er det i undersøkelser av



Figur 2. Nitrogen og fosfortap fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Gjennomsnitt for overvåkingsperioden (Rød *et al.*, 2009).

effekter av økologisk drift på avrenning påvist forholdsvis stor nitrogenavrenning fra arealer med grønn gjødsling. I en tidligere studie fra samme forsøk ble det dessuten dokumentert god sammenheng mellom nitrogenbalansen og nitrogenavrenningen (Korsaeth & Eltun 2000).

Gjødsling og tap av næringsstoffer

Et gjødslingsnivå som overskrider plantenes opptak av næringsstoffer, fører til et overskudd som etterlates i jorda etter at avlingen er fjernet (se også kapittel 10). Overskudd av nitrogen kan bidra til økt humusinnhold i jorda, men vil samtidig kunne føre til økt risiko for utvasking, mens et overskudd av fosfor vil gi en stadig mer fosforrik jord som på sikt øker fosfortapet ved erosjon og risikoen for fosforutvasking. Overskudd av fosfor er som oftest spesielt stort der det dyrkes poteter og noen grønnsaker. Dette er vekster med et lite effektivt rotsystem, slik at de trenger fosfor i høye konsentrasjoner for å gi økonomisk optimal avling. Næringsstoffoverskudd kan også oppstå dersom plantene vokser dårlig, evt. på grunn av forsommertørke. Dette ble dokumentert i 1994 hvor det var forsommertørke på Østlandet og lave avlinger mange steder. Det ble målt høye tap av nitrogen dette året (Bechmann *et al.* 2008).

Jordarbeiding og erosjon

Erosjon utgjør en stor utfordring for åpen åker produksjonen, spesielt i Nord Trøndelag og på Østlandet. Valget av jordarbeidingsmetode har stor betydning for både partikkel-, pesticid- og næringsstofftap. Jordarbeiding om våren i stedet for om høsten har vist betydelig redusert erosjon på arealer i høy og meget høy erosjonsrisiko. For arealer med lav og middels erosjonsrisiko er effekten betydelig mindre og i noen tilfeller kan jordarbeiding på høsten til og med bidra til å redusere tap av partikler og næringsstoffer pga. økt

infiltrasjon og mindre avrenning på overflaten. Utenlandske forsøk har vist at det kan være større tap av løst fosfor ved pløyefri jordarbeiding sammenlignet med pløyd arealer (Sims & Kleinman 2003). Forklaringen er at ingen jordarbeiding eller kun grunn jordarbeiding fører til en opphopning av fosfor i det øverste jordlaget, som medfører at jorda avgir mer fosfor ved overflateavrenning. Samtidig vil planterester frigjøre løst fosfor til overflateavrenningen. Under norske forhold er det vist at andelen av løst fosfor i noen tilfeller øker ved redusert jordarbeiding på arealer med lav erosjonsrisiko, men den totale mengde løst fosfor er fortsatt lavere ved redusert jordarbeiding sammenlignet med høstpløying (Lundekvam 1997). I jordbruksbekker er det også vist at økende erosjon gir økende innhold av både partikkelbundet og løst fosfor på grunn av frigjøring av fosfor fra partiklene (Bechmann *et al.* 2008). Derimot vil andelen av løst fosfor i forhold til den totale fosformengde også under norske forhold være større ved liten erosjon sammenlignet med kraftig erosjon. Pesticider er en svært heterogen gruppe stoffer og tap av pesticider til vann avhenger blant annet av deres egenskaper med hensyn til binding til jord og nedbrytningshastigheten.

Evalueringskostnadene forbundet med miljørettet jordarbeiding tyder på at det er lave kostnader ved redusert jordarbeiding sammenlignet med mange andre tiltak som reduserer erosjon og næringsstoffavrenning. Kostnadseffektiviteten er størst på arealer med den største risikoen for erosjon.

Dessverre kan redusert jordarbeiding lett føre til konflikt med andre miljøhensyn i jordbruket. Forbruket av pesticider er som regel større ved redusert jordarbeiding på grunn av større problemer med ugras og sopp. I forhold til matproduksjon har det blitt sterk fokus på utvikling av soppen *Fusarium* og dens produksjon av

mykotoksiner i kornet. Pløyefri jordarbeiding gir økte problemer. Vårpløyning kan være en løsning som reduserer erosjonsrisiko betydelig samtidig som Fusariumproblemene blir vesentlig redusert sammenlignet med pløyefri jordarbeiding. Konflikten mellom redusert jordarbeiding og mykotoskinutvikling blir nærmere belyst i kapittel 8.

Planter og utfrysing

Plantedecke og planterester (kålblader, halm, etc.) på vinteren minsker erosjonsrisikoen betydelig. Derimot gir plantemateriale, spesielt av ettårige vekster, økt risiko for utvasking av næringsstoffer. Det er målt høye konsentrasjoner av fosfor og nitrogen i overflateavrenning etter frysing av plantemateriale om vinteren og våren fra arealer med ettårige vekster som ikke pløyes ned om høsten. Økende antall fryse-tine perioder øker risikoen for utfrysing av næringsstoffer fra plantene. Gras og grønn gjødslingvekster er eksempler på overvintrende planter som mister næringsstoffer ved utfrysing, men som samtidig tar opp næringsstoffer fra jorda og derved reduserer risikoen for utvasking. Hvilken prosess som dominerer avhenger av været.

Punktutslipp

Det har i perioder vært fokusert på å redusere avrenning fra gjødsellager og andre punktkilder i forbindelse med jordbruksdrift. Det er investert i forbedringer av gjødselanlegg slik at store lekkasjer er stoppet. Det er likevel fortsatt en del lekkasjer og uhell, som fører til høye konsentrasjoner av næringsstoffer og koliforme bakterier i avrenning fra fjøsanlegg. Punktutslipp i forbindelse med fylling og vasking av sprøyteutstyr er også en kilde til forurensning. Effekten av slike utslipp kan bli store. Det er blant annet funnet betydelige mengder pesticider i drikkevannsbrønner som er lokalisert i nærheten av slike vaskeplasser.

Tiltak og muligheter

Det er mange muligheter for å redusere erosjon, avrenning og utvasking, og dermed forbedre vannkvaliteten i jordbruksområder. Begrensningene ligger ofte i kunnskap og i de økonomiske vilkårene. Gjennomføring av tiltakene vil i noen tilfeller føre til lavere produksjon og dermed økonomiske tap for bøndene. Andre tiltak krever investeringer i utstyr (bl.a. jordarbeidingsredskaper), og i tillegg er det tiltak som krever ny kunnskap og erfaring med nytt driftsystem.

Miljørettet jordarbeiding

Miljørettet jordarbeiding er fortsatt et av de viktigste tiltakene på arealer med høy erosjonsrisiko. Miljørettet jordarbeiding omfatter flere forskjellige jordarbeidingsmetoder som alternativ til høstpløyning. Undersøkelser viser at høstharving med vårpløyning halverer erosjonsrisikoen sammenlignet med høstpløyning (tabell 1). Vårpløyning (ingen jordarbeiding om høsten) reduserer erosjonsrisikoen til bare 14 % sammenlignet med høstpløyning. Direktesåing (uten jordarbeiding) gir også stor reduksjon i erosjon (for vårkorn 90 % reduksjon i forhold til høstpløyning), men metoden er krevende, både teknisk og kunnskapsmessig, og det er risiko for dårlig spiring og reduserte avlinger. For høstkorn er direktesåing særlig vanskelig, og værforholdene ved såing kritiske. Høstharving gir en del dyrkingsmessige fordeler sammenlignet med ikke å jordarbeide på høsten, blant annet gir det økt omsetting av halm og andre planterester samtidig som det kan være en effektiv ugrasbekjempelse. Derimot er effekten på erosjon mindre ved høstharving enn der åkeren ikke jordarbeides før vinteren kommer (overvintring i stubb). For at høstharving skal gi den angitte reduksjon i erosjon forutsettes det at det kun gjennomføres en lett høstharving og at det er minst 30 % halmrester igjen på overflaten. Overvintring i stubb er den mest effektive jordarbeidingen for å redusere erosjonen. Det blir tilbakeholdt mest jord når det er stor overflateavrenning, f.eks. når det er mye og intensiv nedbør og/eller rask snøsmelting. Metoder som ikke innebærer jordarbeiding om høsten er derfor mest positive når de gjennomføres på arealer med høy og meget høy erosjonsrisiko. Overvintring i stubb kombinert med vårpløyning vil trolig også gi et tilfredsstillende nivå på både risiko for tap av pesticider og Fusariumangrep. I tillegg til erosjon og fosfortap vil redusert jordarbeiding om høsten også føre til reduserte nitrogentap.

	Jordarbeiding	Relativ erosjon %
Høstvetete	Høstpløyning	100
	Høstharving	50
	Direkte såing	25
Vårkorn	Høstpløyning	100
	Høstharving	52
	Vårpløyning	14
	Vårharving	12
	Direkte såing	10

Tabell 1. Effekt av redusert jordarbeiding på erosjon relativt til høstpløyning (Lundekvam 2002)



Helhetlig tiltaksgjennomføring i Morsa-nedbørfeltet (foto: Skarbøvik)

Riktigere gjødsling

Høyt innhold av næringsstoffer i jorda, innebærer risiko for tap av næringsstoffer til vann. Bedre tilpasning av gjødselmengdene til plantenes behov og næringsstoffinnholdet i jorda reduserer risiko for utvasking av næringsstoffer. Oppfølging av jordanalyser, gjødselplaner, delt gjødsling og presisjonsgjødsling bør kunne føre til mer optimal tilførsel av næringsstoffer både med hensyn til avling og næringsstofftap. Det er dessuten nødvendig at nye spredningsteknikker, som gir en bedre utnyttelse av gjødsel, i større grad tas i bruk i praksis, slik at en reduserer tap til luft og vann.

God utnyttelse av næringsstoffene i husdyrgjødsel og dermed mindre risiko for næringsstofftap, krever et gjødslingsnivå tilpasset plantenes behov. I tillegg krever det godt spredeutstyr, tilstrekkelig lagerkapasitet for husdyrgjødsel (12 mnd.) og ikke minst god planlegging. Det er behov for å finne annen anvendelse for overskudd av husdyrgjødsel i en del områder. Husdyrgjødsel kan bl.a. brukes til produksjon av biogass eller til produksjon av ulike gjødselvarer for salg til andre områder.

Vegetasjonssoner

Områder med flerårige, ugjødsle vekster på dyrka mark kan bidra til å redusere erosjon og fange opp partikler, næringsstoffer og pesticider. Grasdekte vannveier bidrar først og fremst til å redusere erosjon i forsenkninger. Vegetasjonssoner langs vassdrag bidrar

til å redusere tilførsler av partikler og næringsstoffer til vassdrag. De kan også brukes for å dele opp lange hellingslengder og bidrar dermed til å redusere erosjon og å øke sedimentasjon av partikler før det når fram til vassdrag. Vegetasjonssoner i jordbruksområder gir altså jordbrukslandskapet økt bærekraft.

Hydroteknikk

Drensgrøfter fører til at en større del av overskuddsvannet dreneres gjennom jordprofilen. Dette gir redusert risiko for overflateavrenning og erosjon. Det skaper dessuten bedre vilkår for plantevekst, rotutvikling og utnyttelse av næringsstoffer, blant annet ved å gi bedre vilkår for plantevekst gjennom forlenget vekstsesong. I lange hellinger benyttes inntakskummer for å hindre at store vannmengder får anledning til å grave i overflaten i forsenkningene. Utettheter rundt kummene fører imidlertid til omfattende graving rundt mange inntakskummer for overflatevann. I tillegg er det mange ustabile hydrotekniske anlegg i forbindelse med en del planeringer utført på 1970-80 tallet. Det er stort behov for tiltak som kan redusere gravingen i forbindelse med slike anlegg, slik at total kollaps av systemene med etterfølgende ras og utglidninger unngås.

Fangdammer

Fangdammer er et tiltak som settes inn for å fange opp partikler og næringsstoffer når de kommer ut i bekken tross tiltak på jordbruksarealene. Undersøkelser har vist at fangdammer holder tilbake

om lag 45-70 % av partiklene og 25-40 % av fosforet i vannet som renner inn i fangdammen (Braskerud & Hauge 2008). Løst fosfor og nitrogen blir imidlertid tilbakeholdt i bare liten grad. Bygging av fangdammer krever forholdsvis store investeringer og omfanget er avhengig av tilskuddsordninger. Effekten av fangdammene øker med økende partikkelbelastning. Ved stor erosjon øker tapet av store partikler og aggregater. Slike partikler sedimenterer lettere og dermed øker renseseffekten av fangdammene. Fangdammer trenger vedlikehold og de må tømmes hvert 5.-10. år, så jord og næringsstoffer som er samlet opp i dammen kan bli resirkulert som næring på dyrkingsjord.

Pesticidforbruk

Integrert plantevern og økologisk dyrking bidrar til å redusere bruken av pesticider og dermed redusere risiko for avrenning av slike stoffer. Det er stor forskjell i giftighetsgrad mellom ulike pesticider, deres nedbrytingsprodukter og andre tilsetningsstoffer. Ett mikrogram av ett stoff kan være opp til 10 000 ganger så giftig som et annet. Stoffene brukes også i svært forskjellige konsentrasjoner. Nye stoffer kommer til og bruken av pesticider endrer seg over tid. Det er derfor svært viktig med forskning og overvåking som sikrer at det utvikles pesticider med minimale miljøeffekter og lave doser. I tillegg er det ønskelig at stoffene er lite giftige og brytes raskt ned til ufarlige stoffer. Fokus på gode arbeidsrutiner og sikre lokaliteter er viktig for å redusere lekkasjer fra vaskeplasser og andre punktkilder for pesticider.

Tiltaksprosjektet i vestre Vansjø

Vansjø, i Østfold, har det siste tiåret hatt spesielt store eutrofieringsproblemer. Etter omfattende tiltaksgjennomføring er det oppnådd reduserte tilførsler av fosfor til vestre Vansjø. Landbruks- og matdepartementet bevilget i 2008 midler til et 3-årig tiltaksprosjekt ved vestre Vansjø for å få redusert fosfortapene. Tilskudd blir utbetalt til bønder som inngår kontrakt blant annet med strenge krav til nivå av fosforgjødsling og jordarbeiding. 29 av 40 brukere i området ved vestre Vansjø undertegnet kontrakten i 2008, slik at nå blir 73 % av arealet drevet med ekstra restriksjoner på driften.

Tiltakene i jordbruket ved vestre Vansjø omfatter en økning i grasareal og i areal som ligger i stubb over vinteren slik at erosjonsrisikoen er redusert. Registrering av fosforgjødsling i 2004 og 2007 viser at fosforgjødslingen også ble betydelig redusert i denne perioden. Foreløpig er det redusert erosjon som følge

av redusert jordarbeiding og vegetasjonssoner langs vassragene som har gitt de største bidragene til redusert fosfortap. Det ser imidlertid ut til at redusert gjødsling også har bidratt, selv om en forventer at det tar flere år før redusert gjødsling gir tydelige utslag på fosfortapene.

Kunnskapsbehov

Det er fortsatt mange ukjente faktorer når det gjelder prosesser som fører til avrenning av partikler, næringsstoffer og pesticider fra landbruket. Diffuse kilder har flere årsaker og det er mange prosesser som hver for seg bidrar til tap og tilførsler til vassdrag. Kunnskap om betydningen av de ulike transportveiene er vesentlig for hvilke tiltak som vil ha effekt. For eksempel vil vegetasjonssoner ikke ha særlig stor effekt på avrenning av næringsstoffer og pesticider som skjer gjennom drengroftene. Derfor er det viktig å vite hvor stor andel av avrenningen som skjer via grøftene. Det er store lokale variasjoner og det er også store mangler i vår kunnskap om faktorer som påvirker transportveiene.

Det er mange kunnskapshull vedrørende miljørettet jordarbeiding, det gjelder kvantifisering av effekter under ulike forhold og ikke minst effekten på matproduksjon. Her kan spesielt nevnes den økende problematikken knyttet til mykotoksinproduserende sopper (*Fusarium*-arter) og kornproduksjon (se kapitlet om Plantevern). Målinger ved kornmottak viser at det særlig i 2009 ble funnet mange kornpartier med mykotoksiner og det stilles spørsmål ved om det skyldes det våte været om høsten. Målingene tyder i tillegg på at mykotoksinproblemet er mindre med korn fra økologisk dyrking og her er det behov for å undersøke mulige forklaringer. Da erosjon og jordarbeidingsforsk ble gjennomført på 80- og 90-tallet, var ikke mykotoksiner et aktuelt problem. Det er spesielt behov for å avdekke forutsetningene for utvikling av mykotoksiner på arealer som er utsatt for erosjon og næringsstofftap.

Klimaendringer kan føre til endringer i effekter av tiltak i jordbruket. Driftsendringer på grunn av klimatilpasninger kan føre til at det blir behov for nye tiltak. F.eks. kan omfanget av høstvetedyrking øke og dyrkingsområdene spre seg lenger nord til områder med annet jordsmonn og andre nedbørforhold, der effekten av jordarbeidingsystemene er lite kjent. Klimaendringer vil også ha effekt på behovet for pesticider, forhold for nedbrytning og transport, og dermed også risiko for

forurensning av vann og vassdrag. Antallet fryse-tine perioder gjennom vinteren kan øke og bidra til mer utfrysning av lett løselige plantenæringsstoffer. Det kan bli store erosjonsepisoder i andre områder enn i dag, og større nedbørintensiteter kan dessuten føre til et økt behov for utbedring av de hydrotekniske anleggene.

Jordas innhold av lett tilgjengelig fosfor (P-AL) har betydning for risikoen for å tape fosfor, men vi har mangelfull kunnskap om sammenhengen mellom P-AL og risiko for tap av algetilgjengelig fosfor. Algetilgjengeligheten av fosforet har stor betydning for vannkvaliteten i vassdragene.

Det har vært fokus på de totale mengder av næringsstoffer som tilføres, men i mindre grad fokus på tilgjengeligheten av stoffene for biologisk aktivitet. Effekter av pesticider på den økologiske statusen krever også nærmere studier for å klargjøre behovet for tiltak rettet mot denne forurensningskilden.

Det har vært gjort spredte målinger av avrenning fra utmarksarealer, men bakgrunnsavrenning på arealer som i dag brukes til jordbruk, er ikke kvantifisert. Særlig for områdene under marin grense er det behov for kvantifisering for å kunne vurdere hvor langt det er mulig å gå i å redusere erosjon og næringsstofftapene fra jordbruksarealene.

Tiltak for å forbedre vannkvaliteten i avrenning fra jordbruksområder gjennomføres av mange aktører. Resultatet av tiltaksgjennomføringen avhenger av kunnskap om hvordan en kan nå denne gruppen med hjelp av virkemidler som støtteordninger, regelverk, informasjon og kunnskap. Grunnlaget for suksess er en kunnskapsbasert forvaltning av vann og vassdrag, som samtidig vurderer effekter på klimagassutslipp. Det må utvikles planleggingsverktøy og kunnskap slik at rådgivningstjenesten er i stand til å gi lokalt tilpassede råd.

Et bærekraftig landbruk skal produsere mat med minst mulig negativ påvirkning av både vannforekomster og miljøet forøvrig. Det vil bli krav om at bonden ved sine valg av dyrkingssystemer skal ta hensyn til både produksjons- og miljøeffekter. Det krever høyt kunnskapsnivå å se helheten, og her må forskningen bidra.

Referanser

- Bechmann, M., Deelstra, J., Stålnacke, P., Eggestad, H.O., Øygarden & L., Pengerud, A. 2007. Monitoring catchment scale agricultural pollution in Norway – policy instruments, implementation of mitigation methods and trends in nutrient and sediment losses. *Environmental Science and Policy* 11: 102-114.
- Braskerud, B. & Hauge, A. 2008. Veileder – fangdammer for partikkel- og fosforavrenning. *Bioforsk Fokus* 3(12). 38 s.
- Korsaeth, A. & Eltun, R. 2000. Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 79: 199-214.
- Lundekvam, H. 1997. Spesialgranskinger av erosjon, avrenning, P-tap og N-tap i rutefelt og småfelt ved Institutt for jord- og vannfag. *Jordforsk-rapport* 6/97. 69 s.
- Lundekvam, H., Romstad, E. & Øygarden, L. 2002. Agricultural policies in Norway and effects on soil erosion. *Environmental Sciences and Policy* 258: 1-12.
- Rød, L.M., Pedersen, R., Deelstra, J., Bechmann, M., Eggestad, H.O. & Øgaard, A.F. 2009. Erosjon og næringsstofftap fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Årsrapport for 2008/09 fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA). *Bioforsk rapport* 4 (165). 48 s.
- Sims, J.T. & Kleinman, P.J.A. 2005. Managing Agricultural Phosphorus for Environmental Protection. In: Sims and Sharpley (eds.) *Phosphorus: Agriculture and the Environment*. ASA. March 2005, 981-1021.

12. Klimagasser

Arne Grønlund¹⁾, Lillian Øygarden¹⁾ & Sissel Hansen²⁾

¹⁾Bioforsk Jord og miljø, Ås ²⁾Bioforsk Økologisk, Tingvoll
arne.gronlund@bioforsk.no

Innledning

Det antas å være stor sannsynlighet for at menneskeskapte utslipp av klimagasser fører til global oppvarming som blir betraktet som vår tids største miljøtrussel. En betydelig del av klimagassutslippene kommer fra landbruket. En reduksjon av utslippene er derfor en stor utfordring og en viktig forutsetning for et bærekraftig landbruk.

Landbrukets muligheter til å redusere nettoutslippene av klimagasser omfatter:

- Reduksjon av egne utslipp
- Binding av karbon i jord og biomasse
- Produksjon av bioenergi for å redusere utslipp av fossilt karbon

Klimagasser fra landbruket omfatter i hovedsak metan fra husdyr og husdyrgjødsel, lystgass fra gjødsel og jord og CO₂ fra myr og åkerdyrking. CO₂ fra fossilt brensel utgjør bare ca 10 % av utslippene. Om lag 90 % av utslippene er knyttet til husdyrproduksjon, til fôrdyrking og direkte utslipp fra fordøyelse eller husdyrgjødsel. Utslipp av klimagasser er en unngåelig konsekvens av matproduksjon. Det er derfor en viktig utfordring å redusere klimagassutslippene fra jordbrukssektoren og samtidig øke produksjonen i takt med behovet for mat. Målet må være å redusere utslippene per enhet produsert mat og bedre utnyttningen av den maten som produseres. I beregninger av utslipp fra matsektoren er det viktig at alle utslipp tas med. I tillegg til gårdsinterne utslipp må utslipp i forbindelse med produksjon av produksjonsfaktorer, fôrimport og transport av produksjonsfaktorer til garden og hele veien for produkt fra garden til matbordet tas med.

Klimagassutslipp fra matproduksjon henger sammen med både produksjonsmetode og hvilke matvarer som produseres. Rødt kjøtt fra drøvtyggere er blant de matvarene som har høyest utslipp, mens komprodukter, poteter og frilandsgrønnsaker har lavest utslipp. Lyst kjøtt og melkeprodukter representerer en mellomklasse med hensyn til klimabelastning. En dreining i kostholdet fra kjøtt til vegetabilsk mat og fra rødt til

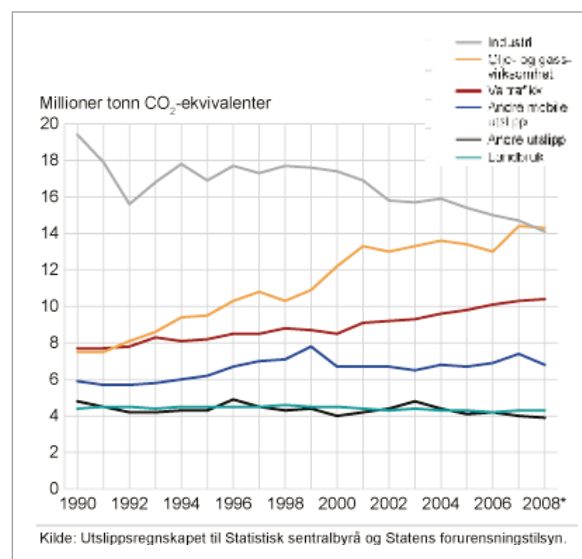
lyst kjøtt vil føre til reduserte klimagassutslipp. For landbruket i Norge er denne muligheten begrenset fordi store deler av landbruksarealet bare er egnet til grasproduksjon.

Norske skoger bidrar med en netto binding av mellom 25 og 30 millioner tonn CO₂ per år. Skogen er også den viktigste kilde til bioenergi. Utslipp fra matproduksjon og karbonbinding i skog må sees i sammenheng, fordi jordbruk og skogbruk i noen tilfeller konkurrerer om de samme arealene. Målet for landbruket som helhet må være å stimulere fotosyntesen og redusere nedbrytingen av biomasse i jordbruket og skogbruket, og samtidig begrense utslippene av metan og lystgass fra matproduksjonen.

Kilder og prosesser

Andel av totale utslipp

Av Norges totale utslipp på ca 54 millioner tonn CO₂-ekvivalenter bidrar landbruket med ca 4,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter eller ca 9 %, når tap av karbon fra dyrket jord og utslipp fra produksjon av kunstgjødsel



Figur 1. Utslipp av klimagasser, etter kilde. 1990-2008. Millioner CO₂-ekvivalenter

Tabell 1. Prosessutslipp av metan og lystgass fra ulike kilder i 2005 (Kilde: SSB, resultatkontroll 2007)

Kilde	Utslipp, tonn		Utslipp 1000 tonn CO ₂ -ekvivalenter		
	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	Sum
Husdyr (fordøyelse)	90 970		1 910		1 910
Husdyrgjødsel	14 999	1 856	315	575	890
Kunstgjødsel		2 078		644	644
Restavlinger		280		87	87
Avrenning		1 091		338	338
Dyrking av myr		1 069		331	331
Annet		437		135	135
Sum	105 969	6 811	2 225	2 111	4 337

ikke er medregnet (se figur 1). I motsetning til andre sektorer, hvor utslippene hovedsakelig skyldes forbrenning av fossilt karbon, er ca 90 % av utslippene fra landbruket såkalte prosessutslipp av metan og lystgass (tabell 1). Dersom en tar med tap av karbon fra dyrket jord og utslipp fra produksjon av den kunstgjødsla som forbrukes i Norge, blir landbrukets utslipp ca 13 %.

Metan

Landbruket bidrar med nærmere 50 % av de totale menneskeskapte utslippene av metan i Norge. Ca 86 % av utslippene kommer fra fordøyelsen hos husdyr, hvorav det aller meste fra drøvtyggere. Dette skyldes at drøvtyggere trenger hjelp av mikroorganismer for å fordøye gras. Nedbrytingen skjer i form av gjæring, som er en anaerob prosess hvor ca 6 % av energien i graset omdannes til metan. Tilsvarende prosess skjer også hos ville hjortedyr, og er den eneste måten gras kan omdannes til menneskemat.

Metan dannes også ved lagring av alle typer husdyrgjødsel som følge av anaerob nedbryting. Mengden metan som dannes er avhengig av bl. a. temperatur og dyreslag. Av de ca 15 000 tonn metan som slippes ut fra gjødsellagre i Norge, bidrar storfegjødsel med ca 69 %, sauegjødsel med ca 9 %, svinegjødsel med ca 8 % og fjørfegjødsel med ca 7 %. I forhold til produsert mengde gjødsel gir fjørfegjødsel størst mengde metan.

Lystgass (N₂O)

Landbruket slipper ut ca 44 % av de totale utslippene av N₂O i Norge. Lystgass dannes hovedsakelig ved denitrifikasjon av NO₃⁻ til N₂O, men kan også dannes som et biprodukt ved nitrifikasjon fra NH₄⁺ til NO₃⁻. Denitrifikasjon kan skje overalt hvor det er tilgjengelig

NO₃ og mangel på oksygen, blant annet i jord og lager for husdyrgjødsel. I tillegg vil reaktivt nitrogen som tapes ut av jordbrukssystemet bidra til økt denitrifikasjon andre steder. Eksempler på dette er ammoniakkfordamping fra gjødsel og nitratutvasking fra jord.

Organisk materiale i jord er en viktig primærkilde til lystgassutslipp fra jord. Foruten tilførsel av uorganisk og organisk N gjennom gjødsel og N fiksering, vil derfor prosesser som påvirker omsetningen av organisk N være av vesentlig betydning for tapspotensialet av lystgass. Avlingsrester, ammoniakkta og nitratavrenning fra jordbruksareal vil også kunne medføre lystgassutslipp. Faren for lystgassutslipp er særlig stort ved høyt overskudd av N og store restmengder av nitrat i jord, ved dårlig grøftetilstand og i sterkt pakket jord. Høyt innhold av organisk materiale i jord bidrar generelt til forhøyet tapsrisiko.

Forholdene som beskrevet over er for komplekse til å kunne håndteres i sjablongtype beregninger som ofte utføres i klimaregnskaper. Forenklinger er derfor nødvendige. Ifølge IPCCs standardfaktor fra 1997, som for tiden brukes i Norge, estimeres derfor N₂O-N til 1,25 % av total N tilført i kunstgjødsel, husdyrgjødsel, N-fiksering i belgvekster, avlingsrester og avrenning, mens utslippsfaktoren fra dyrket myr er satt til 0,8 kg N₂O-N per dekar. Utslippene varierer sterkt både i tid og rom. Det er gjort relativt få målinger av lystgassutslipp fra jord i Norge og usikkerheten om faktiske utslipp er derfor svært stor.

Karbondioksid (CO₂)

Utslipp av CO₂ fra forbrenning av fossile energikilder (olje, gass, kull) utgjør ca 0,4 millioner tonn eller i underkant av 10 % av de totale utslippene fra landbruket. Karbontap fra dyrket myr og ensidig åkerdyrking bidrar til langt større utslipp.

Naturlig myr inneholder store mengder av organisk karbon. Når myr dreneres og dyrkes brytes det organiske materialet ned og karbonet frigjøres som CO₂. Det foreligger svært få målinger av CO₂-tap fra dyrket myr i Norge. I et EU-prosjekt ble det årlige utslippet fra dyrket myr i Bodø estimert til ca 0,6 tonn C per dekar for årene 2003-2004 (Grønlund *et al.* 2006). På grunnlag av måling av myrsynking og analyser av askeinnhold i torv på Vestlandet er det årlige tapet estimert til ca 0,8 tonn C per dekar som et gjennomsnitt for årene 1950-1980 (Grønlund *et al.* 2008). En kan anta at nedbrytingen av torva og dermed også CO₂-utslippene er blitt redusert i løpet av årene på grunn av mer omdannet torv med høyere mineralinnhold. Det aktuelle utslippet kan derfor være lavere, muligens i størrelsesorden 0,5-0,6 tonn C per dekar. Arealet av dyrket myr er i dag trolig mellom 700 000 og 800 000 dekar og det totale CO₂-utslippet fra myr kan være i størrelsesorden 1,5 millioner tonn CO₂.

Riley og Bakkegard (2006) har estimert et årlig CO₂-tap som følge av ensidig åkerdyrking på Østlandet til 200 kg CO₂ per dekar. Gårdsbruk i Norge med lite gras i omløpet (mindre enn 10 % fulldyrka eng) har et samlet åkerareal på ca 2,5 millioner dekar. Det totale CO₂-utslippet fra åker kan derfor antas å utgjøre om lag 0,5 millioner tonn CO₂. Karbon og muligheter for karbonbinding er omtalt nærmere i kapittel 6.

Utfordringer og tiltak

Reduksjon av klimagasser fra landbruket byr på flere utfordringer. Utslippene er fordelt på flere kilder og skyldes flere ulike prosesser, men mesteparten, trolig ca 80 %, skyldes myrdyrking og produksjon av storfe og sau. Økt grasareal som tiltak for å bedre vannkvaliteten vil derfor kunne føre til økte klimagassutslipp

dersom det fører til økt kjøttproduksjon.

I noen tilfeller kan også tiltak for å redusere én klimagass føre til økt utslipp av andre klimagasser. Noen tiltak kan imidlertid også ha positiv effekt både på klimagasser og vannkvalitet. Ulike effekter av de mest aktuelle klimatiltakene i landbruket er vist i tabell 2.

Husdyrproduksjon

Ved husdyrproduksjon er det utslipp av metan som gir det største bidraget til klimagassutslipp. Gras utnyttes av drøvtyggere for bl.a kjøttproduksjon. Valg av husdyrproduksjon, enten rødt kjøtt basert på grovfor, eller hvitt kjøtt som svin- og kyllingkjøtt basert på kraftfôr vil ha effekt på klimagassutslippene. Omfanget og hvilket husdyrhold en har er derfor av betydning. Det forskes nå bl.a. ved UMB på tiltak for å redusere utslipp av metan (CH₄) fra storfe. Det er tiltak som større avdrått per melkeku, bedre fôr kvalitet, mer fett i fôret, gradvis dreining av produksjonen fra rødt til lyst kjøtt. Høyere ytelse pr ku antas å føre til lavere klimagassutslipp per liter melk på grunn av færre dyr som trenger vedlikeholdsfôr (Harstad & Volden 2009). Det er da ikke tatt hensyn til klimagassutslippene ved fôrproduksjonen. Effekten av økt ytelse kan gå tapt dersom forbruket av storfekjøtt skal være det samme som før, og må kompenseres med økt spesialisert kjøttproduksjon (Volden *et. al* 2008).

Biogassproduksjon av husdyrgjødsel

Omtrent 14 % av metanutslippene fra husdyrproduksjonen kommer fra husdyrgjødsel. Produksjon av biogass (metan) fra husdyrgjødsel er en effektiv måte å få ned disse utslippene på. Samtidig kan energien i biogass erstatte fossil energi. En forutsetning for reduserte utslipp av drivhusgasser fra husdyrgjødsel på

Tabell 2. Effekter av noen av de viktigste klimatiltakene i landbruket.

Tiltak	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Andre effekter
Biogassproduksjon av husdyrgjødsel	+	+?		Økt energiproduksjon
Balansert N-gjødsling		+		Redusert N-utvasking
Bedre drenering		+		Økt avling, redusert erosjon og avrenning
Redusert jordpakking		+		Økt avling, redusert erosjon og avrenning
Økt grasareal	-	-	+	Redusert erosjon og avrenning
Tidligere høstetid for gras	+			Redusert produksjon
Endret/reduert jordarbeiding			+	Redusert erosjon og avrenning
Unngå nydyrking av myr		+	+	Økt nydyrking i skog
Restaurering av dyrket myr	-	(+)	+	Økt biologisk mangfold
Lagring av biokull i jord		+	+	Jordforbedring og mulig økt plantevekst

+ Positive effekt, det vil si redusert utslipp, - Negative effekt, det vil si økte utslipp

grunn av biogassfermentering er at lekkasjen av biogass fra produksjon og lager begrenses mest mulig. Biogassproduksjon av husdyrgjødsel og matavfall kan med fordel kombineres. Dette vil bidra til at matavfall lettere kan tilbakeføres til jordbruket som en næringskilde og organisk materiale, i form av biorest, til jordbruket.

Landbruks- og matdepartementet har i stortingsmelding 39 i 2009 foreslått at 30 % av husdyrgjødsel skal kunne brukes til biogassproduksjon. I et prosjekt for SFT har det også blitt utredet muligheter for en ytterligere økning av husdyrgjødsel brukt til biogassproduksjon opp til 60 % (Briseid *et al.* 2010). Det er nå under etablering pilotanlegg for slik biogassproduksjon. Norges forskningsråd (NFR) vil i 2010 etablere et nytt forskningsprogram om biogass.

Gjødsling

En har flere indikasjoner på at gjennomsnittlig nitrogen-gjødsling har vært sterkere enn det som er anbefalt. I kornproduksjonen kan dette skyldes at gjødslingsplanleggingen har vært basert på en for optimistisk forventet avling. Gjødsling basert på gjennomsnittlig oppnådd avling vil føre til økt nitrogener effektivitet og redusert næringsoverskudd og redusere sannsynligheten for lystgassutslipp og nitrogenutvasking, uten at avlingene nødvendigvis reduseres.

Ved fôr dyrking skyldes ofte sterkere gjødsling med nitrogengjødsling enn anbefalt at husdyrgjødsel ikke behandles optimalt med tanke på å ta vare på nitrogenet, og at det ikke tas tilstrekkelig hensyn til nitrogenet i husdyrgjødsel ved gjødslingsplanlegging. Viktige tiltak for å bedre utnyttningen av nitrogen i husdyrgjødsel er økt lagerkapasitet som gjør det mulig å spre husdyrgjødsel om våren og i vekstsesongen, spredning på et stort nok areal for å unngå store mengder per arealenhet, rask nedmolding i åker, nedfelling eller fortykning med vann og bruk av stripespreder eller gylleanlegg på eng. Bedre utnyttelse av husdyrgjødsel vil kunne gi mindre nitrogentap gjennom utvasking og gasstap og mindre behov for kunstgjødsel. En del av disse tiltakene vil kreve investeringer både i spredutstyr og økt lagerkapasitet. Disse tiltakene har nå vært utredet for SFT (Øygarden *et al.* 2010)

Nitrogenfiksering ved bruk av belgvekster gir med stor sannsynlighet god klimaeffekt ved dyrking av vekster som skal utnyttes direkte til mat eller fôr. I tillegg til redusert utslipp fra produksjon av kunstgjødsel vil

utslippene av lystgass fra jord reduseres som følge av at nitrogen bindes direkte fra luft til organisk form i plantene. Bruk av nitrogenrike vekster til grønngjødsling vil kunne føre til betydelig nitrogenoverskudd i perioder uten næringsopptak, og dermed fare for utvasking og utslipp av lystgass.

Drenering og jordpakking

Ved dårlig drenering og jordpakking blir forholdene for plantevekst dårligere. Dette kan gi lavere avling fordi næringsstoffene ikke utnyttes godt nok (se også kapittel 7). En del næringsstoffer kan tapes gjennom avrenning, men også som lystgass, spesielt ved liten lufttilgang i jorda. Dårlig drenering og jordpakking vil øke utslippene av drivhusgasser, både fordi avlingene går ned og på grunn av økte lystgassutslipp i dyrkingen og på grunn av færre luftførende porer i jorda. Dreneringstilstanden i norsk landbruk er preget av forfall, og aktiviteten i nygrøfting og i reparasjon og fornying av gamle grøftesystem er liten samtidig som maskinveksten og dermed faren for pakking øker. Det meste av grøftingen i Norge ble utført før 1985, og en god del anlegg er betydelig eldre. Dersom klimaforandringene fører til mildere vintre og mer nedbør vil problemene med dårlig drenering forsterke seg. Bedret drenering på dyrka jord som er dårlig drenert vil føre til mer luftfylte porer, færre pakkingskader, bedre utnyttning av tilførte plantenæringsstoff, bedre og jevnere plantevekst. Dette vil gi bedre utnyttning av tilført nitrogen og lavere utslipp av lystgass både per dekar og per kg avling. I en undersøkelse på Nordmøre førte jordpakking til at lystgassutslippene ble mer enn fordoblet sammenlignet med upakket jord. Effekten av ulik drenering på lystgassutslipp er hittil ikke dokumentert for norske forhold.

Gras eller åker

Valget mellom gras eller åkerproduksjon kan være et stort dilemma i miljøarbeidet i jordbruket. Dyrking av gras gir mange miljøgevinster i form av binding eller stabilisering av karbon i jord, liten erosjon og næringsstoffavrenning, lite behov for plantevernmidler og større biologisk mangfold. Gras kan bare fordøyas av drøvtyggere, som gir liten utnyttelsesgrad av energien og betydelig utslipp av metan fra fordøyelsen. I grasområdene kan det også være miljøproblemer med avrenning fra bruk av husdyrgjødsel, spesielt fosforavrenning. I store deler av Norge er imidlertid grasproduksjon den eneste måten å utnytte arealene til matproduksjon. Metanproduksjon hos drøvtyggere kan reduseres gjennom bedre fôr kvalitet. Tidligere høstetidspunkt for gras vil gi bedre fôr kvalitet, men kan

også føre til noe lavere avling. Resultatet kan være noe lavere produksjon av melk og kjøtt, men lavere metanutslipp per produsert enhet.

Åkerdyrking er årsaken til en stor del av miljøproblemer i landbruket. Erosjon, utvasking av næringsstoffer, tap av organisk karbon og problemer med ugras skyldes for en stor del at jorda er uten vegetasjonsdekke i deler av året. Åkerdyrking er imidlertid nødvendig for å produsere mat som kan konsumeres direkte av mennesker og konsentrert fôr som gir stor energiutnyttning og lavt utslipp av metan. Netto matproduksjon er generelt vesentlig større per arealenhet ved åkerdyrking enn ved grasdyrking (grovfôrbasert husdyrproduksjon). Per produsert enhet mat er klimagassutslippene lavere ved åkerdyrking enn der plantene først må ta veien gjennom drøvtyggervomma for foredling. Ideelt sett burde vi øke produksjonen av åkervekster uten samtidig å øke åkerarealet tilsvarende. Dette kan oppnås ved å kanalisere åkerdyrking til jord som har høyt avlingspotensial, noe som er delvis gjort gjennom kanaliseringspolitikken i landbruket som innebærer kornproduksjon i lavlandet på Østlandet og Trøndelag. Innenfor korn dyrkingsområdene er det betydelig variasjon i egnethet for åkerdyrking. Høyproduktiv jord med liten erosjonsfare og moderat karboninnhold bør foretrekkes til åkerdyrking, mens lavproduktiv jord og erosjonsutsatt jord fortrinnsvis bør brukes til grasdyrking. Jord med høyt karboninnhold (mer enn ca 5 % C) representerer en fare for karbon-tap ved åkerdyrking og bør derfor benyttes til grasproduksjon.

Jordarbeiding

Redusert jordarbeiding, direktesåing eller bare jordarbeiding om våren fører til lengre perioder med vegetasjonsdekt jord, og er derfor effektive tiltak mot erosjon. Ut over dette bidrar slik praksis dessuten til å motvirke karbontap fra jord. Karboneffekten skyldes delvis økt fotosyntese i ugras og spillkorn og delvis redusert nedbryting av organisk karbon som følge av mindre lufttilgang.

Endret jordarbeiding fører imidlertid også til større behov for plantevernmidler og større problemer med plantesykdommer, f. eks. fusarium. Fusarium danner mykotoksiner som er uønsket i mat og fôr, men også andre soppsykdommer har vist økende forekomst de siste år og det er stilt spørsmål om dette har sammenheng med våtere høster. Dette var ikke et problem i de erosjons- og jordarbeidingsforsøkene som ble gjen-

nomført på 80- 90 tallet, og som dannet grunnlaget for tilskuddsordninger for endret jordarbeiding. Det er behov for videre forskning på dette.

Dyrking av myr

Etter at statstilskuddet til nydyrking falt bort i 1992, har nydyrkingen av myr blitt sterkt redusert og arealet av dyrket myr i drift har gått ned som følge av overgang til mineraljord og at jord er tatt ut av drift, trolig med om lag en prosent årlig. Denne nedgangen vil forsterkes dersom nydyrkingen av myr stanser helt. Størst effekt på lang sikt vil en få ved å unngå dyrking av djup myr. Et dekar myr med 200 cm torvdybde inneholder omlag 100 tonn karbon og vil etter dyrking være en utslippskilde i de neste 100 årene med et gjennomsnittlig årlig utslipp på ca 3 tonn CO₂.

Myr som tas ut av drift kan fortsatt være kilde til utslipp av CO₂ og lystgass, selv om de ikke er i aktiv bruk. Aktuelle tiltak for å redusere utslippene fra tidligere dyrket myr er restaurering (tilbakeføring til myrtilstand) eller produksjon av skog eller energivækster. Hovedutfordringene ved disse tiltakene er å øke karbonbindinge i torv eller biomasse, og samtidig begrense utslippene av N₂O og CH₄. Tiltak på myr er beskrevet nærmere i kapittel 6.

Biokull

Biokull er forkullede rester av biomasse, f. eks. halm og skogsavfall, med høyt innhold av karbon som er svært motstandsdyktig mot nedbryting. Ved produksjon av biokull brytes det naturlige karbonkretsløpet, slik at karbon bundet gjennom fotosyntesen ikke brytes ned og går tilbake til atmosfæren, men kan lagres i jord i flere tusen år. Biokull kan dannes ved pyrolyse, hvor opp til 50 % av karbonet i biomassen omdannes til biokull, ca 30 % omdannes til olje og ca 20 % omdannes til gass som forbrennes for å drive pyrolyseprosessen.

Dersom all halmen i jordbruket ble omdannet til biokull vil den samlede utslippsreduksjonen i form av karbonlagring som biokull og substitusjonseffekten av pyrolyseoljen kunne være i størrelsesorden en million tonn CO₂. Biokull er nærmere omtalt i kapittel 6.

Klimagassregnskap

For å få oversikt over klimagassbalansen på det enkelte gårdsbruk bør det lages et enkelte regnskap over potensielle (teoretiske) utslipp av klimagasser,

karbonbinding i jord og biomasse og produksjon av bioenergi, med følgende poster:

Utslipp av klimagasser

- Metan fra drøvtyggere og husdyrgjødsel
- N₂O fra kunstgjødsel i jord, husdyrgjødsel, restavlinger, avrenning og dyrket myr
- CO₂ og N₂O fra produksjon og transport av innsatsfaktorer til gården, eks. kunstgjødsel, kraftfôr, sprøytemiddel, strø
- CO₂ fra jord (dyrket myr og åkerdyrking)
- CO₂ fra fossilt brensel og drivstoff

Karbonlagring i jord

Substitusjonseffekt av bioenergi

- Biobrensel (halm, ved) solgt ut av gården
- Husdyrgjødsel til biogassproduksjon

Effekt av alternativ arealbruk

- Potensiell karbonbinding i skog (til hogstmoden alder)
- Potensiell effekt av bioenergi fra skog

Totalutslippene kan oppgis per arealenhet jordbruksareal eller spesifiseres på ulike produkter eller produktgrupper, per produsert mengde vare eller per energienhet. Egentlig burde produksjon av bygninger, traktorer og andre redskap også være med, men det kan medføre svært krevende beregninger.

Kunnskapsbehov

Når en skal beregne klimagassutslipp fra landbruket, må en ta med i regnskapet både kilder til utslipp, muligheter for reduksjoner og muligheter for at landbruket kan bidra positivt med f. eks. karbonbinding. Det er behov for å se på helheten i dyrkingssystemer/produksjoner og ikke bare fokusere på enkeltprosesser. Det er nå satt i gang flere prosjekter med slikt fokus. I prosjektet HOLOS samarbeider forskere fra Norge og Canada om tilpassing av en Canadisk modell for beregning av klimagassutslipp på gårdsnivå til norske forhold. Prosjektet studerer også tiltak for å redusere utslipp av metan fra drøvtyggere. I prosjektet Miljømelk som starter i 2010 vil en se nærmere på en tysk modell for vurdering av bærekraft i landbruket (REPRO) hvor blant annet også estimat av utslipp av klimagasser er med. I 2010 startes et prosjekt som skal studere det metodiske grunnlaget for miljø og klimamerking av viktige produkter /produksjoner. Her vil en prøve å få med helhetsperspektivet ved bruk av livs-

løpsanalyser (LCA) der de viktigste produksjonene og produksjonsmetodene i Norge er inkludert. Alle disse tre prosjektene er finansiert av midler fra Norges forskningsråd, Forskningsfondet og Jordbruksavtalen.

Det er gjort få målinger av klimagassutslipp fra norske arealer. Lystgassutslipp i Norge er i hovedsak basert på estimerer fra utenlandske undersøkelser. Det ble i 2009 igangsatt forskning der UMB og Bioforsk samarbeider om å utføre helårsmålinger av lystgassutslipp fra ulike produksjonsopplegg. Bioforsk Økologisk måler utslipp av lystgass i eng på Tingvoll, Nordmøre, mens UMB registrerer utslipp ved korndyrking på Østlandet. I prosjektet studerer en også karbonlagring i jord. Både Bioforsk Jord og Miljø og Bioforsk Øst er med som samarbeidspartnere, i tillegg til forskere i Canada. Prosjektet støttes fra Norges Forskningsråd. Det er også igangsatt et prosjekt finansiert av SLF som skal studere effekt av drenering på utslipp av lystgass. Areal med dårlig drenert jord skal kartlegges i Vestfold og Møre og Romsdal og lystgassutslipp skal måles på dårlig drenert og godt drenert jord. Noen kunnskapsbehov er listet:

- Målinger av N₂O utslipp fra norsk jordbruksjord under ulike forhold – helårsmålinger
- Redusere usikkerhet i estimering av vintertap
- Effekter av enkelttiltak som omløp, gjødsling, jordarbeiding, redusert jordpakking, drenering, fangvekster og kalking
- Mer effektive metoder til å måle utslipp i rom og tid
- Effekter av tiltak i jordkultur, planteproduksjon og husdyrbruk i sammenheng, både med hverandre og med utslipp av andre klimagasser
- Helhetlige analyser av effekt av ulike driftsformer

Referanser

- Briseid, T., Morken, J. & Grønlund, A. 2010.
Klimatiltak i jordbruket – Behandling av
husdyrgjødsel og våtorganisk avfall med mer
i biogassanlegg. Bioforsk rapport nr 5 (2).
ISBN 978-82-17-00603-9.
- Grønlund, A., Sveistrup, T.E., Søvik, A. K., Rasse,
D.P., & Kløve, B. 2006. Degradation of cultivated
peat soils in Northern Norway based on field scale
CO₂, N₂O and CH₄ emission measurements.
Arch Agron Soil Sci 52: 149-159.
- Grønlund, A., Hauge, A., Hovde A. & Rasse, D. 2008.
Carbon loss for cultivated peat soils in Norway:
a comparison of three different methods.
Nutrient Cycling Agroecosystem 81: 157-167.
- Hansen, S., Morken, J., Nesheim, L., Koesling, M.,
& Fystro, G. 2009. Reduserte nitrogenutslipp
gjennom bedre spredningsrutiner for
husdyrgjødsel. Bioforsk Rapport vol 4, nr 188.
- Harstad, O.M. & Volden, H. 2009. Klimagasser fra
husdyrbruket. Muligheter og begrensinger for å
reducere utslippene. Husdyrforsøksmøtet 2009,
135-138 (www.umb.no/husdyrforsoksmoter).
- Landbruks- og matdepartementet 2009.
Klimautfordringene
– landbruket en del av løsningen.
Stortingsmelding nr 39 (2008-2009). 175 s.
- Riley, H. & Bakkegård, M. 2006. Declines in soil
organic matter content under arable cropping
in southeast Norway Acta Agric. Scand., Sect. B,
Soil and Plant Sci. 56: 217-223.
- SSB 2008. Jordbruk og miljø. Resultatkontroll jordbruk
2007. ISBN 978-82-537-7303-2. 117 s.
- Volden, H., Harstad, O.M. & Garmo, T. 2008.
Storfe og klimagassregnskapet.
Buskap nr 3 2008: 60-62.
- Øygarden, L., Nesheim, L., Fystro, G., Hansen, S.
Hauge, A., Korsæth, A. & Stornes, O.K. 2009.
Klimatiltak i jordbruket - mindre lystgassutslipp
gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal
og optimalisering av dyrkingsforhold.
Bioforsk Rapport vol 4, nr 175.

13. Roadmaps for sustainability in agriculture applying biotechnology approaches for more genetic diversity

Contribution to Workshop on Sustainable Agriculture in Oslo on May 5th, 2009

Helke Hillebrand
European Molecular Biology Laboratory (EMBL), Germany
helke.hillebrand@embl.de

Agricultural productivity is a key driver of human development and societal progress. Since the beginning of wild plant domestication towards crop plant breeding about 10.000 years ago technological improvements for the agricultural production processes as well as genetic enhancement of the life stock towards matching human needs have jointly induced an overwhelming increase in agricultural output. However, the world's agricultural output will have to more than duplicate over the next 25 years despite the fact that it quadrupled already during the last 50 years (Stern Review, 2006). An additional aspect of this supply challenge is the today's limited genetic diversity of our staple crops as a result of the continuous domestication process. Further agricultural innovation therefore must be more powerful in comparison to what was achieved in the past and needs to simultaneously explore the world's genetic riches in order to re-establish an adequate level of biodiversity within modern agriculture. Therefore, all of the known technological concepts ranging from traditional agricultural chemistry to classical as much as molecular breeding towards precisely genetically engineered crops are expected to deliver significant contributions to the solution of these challenges.

How to apply the concept of sustainability to the agricultural innovation process?

The 2001 OECD report on 'The application of Biotechnology to Industrial Sustainability' outlines the conditions under which sustainability could most likely be achieved. In general, conventional production on the basis of exhaustible or even regenerative resources is prone to a progressing depletion of resources with a more or less significant environmental impact depending on the type of resources used. Only by applying innovative production pathways and techno-

How to achieve Sustainability?		
	Conventional Production	Innovative Production
Exhaustible Resources	Depletion of resources Environmental impact	'Postponing the Inevitable' Delayed depletion of resources
Regenerative Resources	Depletion of regenerative resources	Best chances for sustainability

Fig 1. Best chances for sustainability are created when innovative production pathways and technologies are combined with regenerative resources. (Source: OECD report 2001). Thus, in line with the conclusions drawn in this report as cited above it may be reasoned that biotechnology is a valuable tool that allows for decoupling of economic growth, environmental impact and quality of life or – in more simple words – for doing more with less.

logies best chances for sustainability could be obtained if using regenerative resources for such production pathways (Fig. 1).

What are target areas for agricultural improvements contributing to enhanced sustainability ?

Agriculture consumes approximately 75% of the world's freshwater (World Development Indicators 2007). Accordingly, one of the most important fields for research and development in the area of biotechnology-based crop plant adaptations is the improvement of plant tolerance towards abiotic stresses including research targets such as establishing of drought resistant plant varieties or the development of water-use efficiency.

A specific example for recent progress towards these goals is a public-private partnership for the African continent called 'Water Efficient Maize for Africa' coordinated by AATF, the African Agricultural Technology Foundation. Within five years the partners expect to

jointly develop drought-tolerant African maize varieties using conventional and marker-assisted breeding, and biotechnology.

About 30 percent of the freshwater consumed nowadays for crop production worldwide is attributed to rice production requirements. Rice plants use up to three times more water than other food crops such as maize or wheat while rice is a primary source of food for more than half of the world's population. Approaches towards improving water use efficiency of rice production include research on an AP2/ERF-like transcription factor called HARDY (Karaba *et al.*, 2007). HARDY rice was reported to show a significant increase in biomass under drought and non-drought conditions. When compared to the unmodified version of the same type of rice the biomass of HARDY rice was shown to be increased by about 50 % under drought conditions.

Agriculture currently accounts for more than 25% of global greenhouse gas emissions (Barfoot & Brookes, 2008) partially caused by nitrogen fertilization. Conventional crops can only absorb about 50% of the nitrogen that is applied in form of fertilizers. The other 50% may enter the atmosphere, ground water, and surface waters. One of the most advanced nitrogen-use efficiency (NUE) technologies has been developed for canola by researchers of Arcadia Biosciences. This NUE canola can maintain normal yield while using 50% less nitrogen fertilizer or can provide yield increases by 15% or more under conventional fertilizer use rates.

How to identify suitable genetic resources - and what could be a specific Norwegian contribution reflecting Norwegian strengths?

Although water consumption is certainly of no concern in Norwegian standards other traits such as NUE could very well be. As a result of plant domestication and breeding the current pool of agriculturally viable varieties is very restricted. However, for all of the current challenges in view of more efficient agriculture the global gene pool outside of the commercially used species and varieties may offer genetic solutions. A wealth of those is stored at the Swabard Global Seed Vaults suggesting that taking part in and contributing substantially to exploring these treasures could certainly become a major differentiator with respect to a Norwegian contribution to global improvements towards more sustainable agriculture.

References

- African Agricultural Technology Foundation (AATF) [<http://www.aatf-africa.org>].
- Arcadia Biosciences; news release April 2007 [<http://arcadiabioscience.com>].
- Barfoot P. & Brookes G. 2008. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2006. PG Economics Ltd, UK.
- Karaba A., Dixit S., Greco R., Aharoni A., Trijatmiko K.R., Marsch-Martinez N., Krishnan A., Nataraja K.N., Udayakumar M. & Pereira A. 2008: Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY an Arabidopsis drought and salt tolerance gene. PNAS 104:15270-75; 2007.
- Stern Review on the economics of climate change, HM Treasury, 2006.
- The application of Biotechnology to Industrial Sustainability. OECD report by John Jaworski, Industry Canada, Canada, 2001 [<http://www.oecd.org/dataoecd/61/13/1947629.pdf>].
- World Development Indicators 2007 (Washington D.C.: The World Bank, 2007).

14. Sustainable systems

- a coordinated research programme at SCRI

Geoffrey R Squire, Graham Begg, Cathy Hawes, Pete Iannetta & Alison Karley
 SCRI, Dundee DD2 5DA
 geoff.squire@scri.ac.uk

Production land has always had several functions. Food security is central, but impossible to achieve without the long-term ecological 'health' of field and landscape. Profit and rural livelihood, choice for grower and consumer, landscape and wildlife - all have been and continue to be other requirements of a multi-functional agriculture. However, the pressures of high population, urban expansion and global change raise questions of whether production land can continue to satisfy a range of functions. Systems research at SCRI is approaching these questions through a programme of research, field testing and outreach.

Framework: the Indicator Cycle

Production systems are considered in a cycle of four stages: (1) the outcomes or functions - the things that humans require of the system, (2) the field variables - the things that growers can do to alter the system (here in total named 'field type'), (3) the fluxes and pools of energy and matter that are the basis of the system's dynamics and (4) the state-indicators that we can measure to assess whether (2) is acting on (3) to achieve (1).

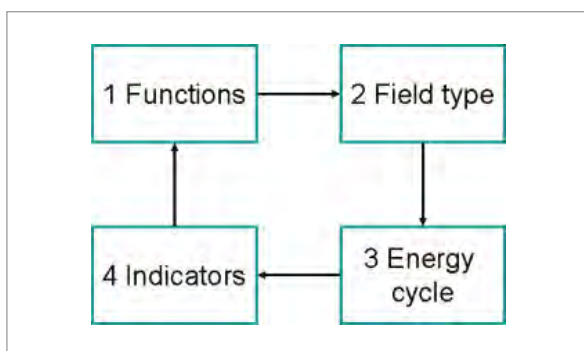


Fig 1: Diagram of the four-stage indicator cycle

The indicator cycle is being applied at SCRI to examples of production ecosystems where multiple functions need to be satisfied in the same farm, field or landscape. The example relevant to the maritime landscapes of the north east Atlantic is the arable and arable-grass farming of the eastern coastal regions of

Scotland. These are the main functions being examined in this example:

- profit and rural livelihood
- food security
- ecological health of the field
- landscape and other aesthetic features
- minimal external impact, for example pollution to air and water
- choice for producer and consumer.

'Field type' describes those properties of the field that comprise soil, climate and topography and those that can be altered by management, such as the vegetation in the margins and boundaries, the species and varieties of crop and the agronomy. Field type affects the cycles of energy and matter in the field and its surrounds. Farmers modify these cycles as soil is tilled and crops are sown and harvested. Inputs of fossil energy modify the capture and storage of solar energy by plants.

A set of indicators (3) is necessary to enable us to assess whether the system is being shifted in the desired direction. The indicators include -

- soil biophysical, microbial properties
- crop, weed, seedbank and food web
- energy, carbon, nutrients - pools and fluxes
- losses to air and water
- inputs, outputs, costs

It is crucial to understand the limits within which the main indicators may vary without there being harm to the system. A great deal of detailed scientific work is under way to define these limits. For example, the mechanical impedance of a soil has a strong influence on the rate at which organisms can penetrate it. The upper limit of impedance, above which root extension and crop growth are reduced, has now been defined for the arable soils in Scotland and is being used as one indicator of the biophysical state of a field. Similar limits are being defined for a wide range of biophysical and economic indicators.

A sustainable system is here defined, therefore, as one where the main indicators remain within safe limits; or if they stray outside the limits they can be brought back by applying work (such as tillage or the introduction of a superior crop variety) in a way that does not force other indicators beyond their safe limits.

Recent history and current baseline

The trajectory

The system of growing cereals as the staple food and grass to feed animals has a trajectory of around 5000 years in Scotland. It may have been an intermittent trajectory that has been variously re-started and sustained by the repeated introduction of new species and varieties of cereals from southern Europe and the Mediterranean. More recently, introductions from the Americas have widened the range of crops. Nevertheless, cereal and grass cultivation here is most definitely an example of a system that has been sustained over several millennia.

Very little is known of how the indicators have changed over this long period. In the last 50 years, these arable-grass systems have altered substantially, at least in part by the introduction of new forms of crop such as autumn sown winter wheat and food-quality oilseed rape and their associated agrochemicals. In the 1970s, the main cereal was spring barley, but subsequently the trajectories show, not a convergence to monoculture, but a divergence as the various localities responded differently to the availability of new crops and practices. While certain factors have changed greatly – for example both soil carbon and food webs have declined - there is very little evidence of how most indicators have responded to these shifts in cropping sequences.

The Baseline - field site networks

It was therefore imperative to capture a biophysical and economic baseline so that the systems could be characterised at least in their present state. More than 100 fields in the arable east of Scotland were chosen from a range of soil types, climatic regions and farming preferences. The map shows the field sites as coloured dots representing integrated (green), organic (red) and farms with no particular adherence (blue).

Baseline measurements included field structure, soil characteristics, crop, seedbank and vegetation, food webs, agronomic inputs and economic variables. From these, other indicators can be calculated, such as greenhouse gas equivalents, the ratio of solar energy captured to fossil energy inputs, and the pools and fluxes of carbon and other elements.

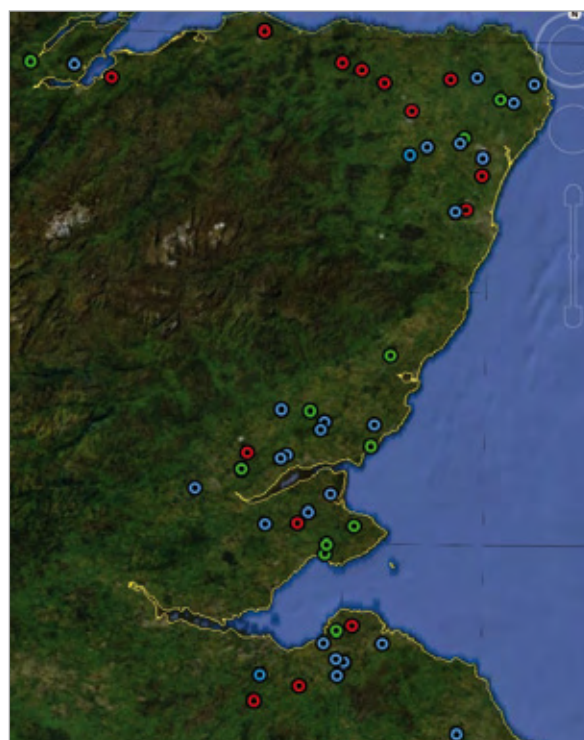


Fig. 2: Sites in the baseline study of east Scotland, indicating integrated (LEAF) management (green), organic (red) and farms with no particular adherence (blue).

Differences between fields are now being compared to their different histories. Knowledge of the degree to which, for example, a change from spring barley to winter wheat has affected biophysical indicators in the field will help us predict the impact of future change due to local management. One fact that has clearly emerged to date is that some of the important indicators, such as soil carbon content, mechanical impedance to roots and non-crop food webs, are in a large percentage of fields probably outside what might be considered safe limits. It appears that the ecological health of these arable-grass systems needs some repair.

The baseline study has also confirmed that the main characteristics of 'field type' that need to be considered are nitrogen, phosphorus, tillage and vegetation management. For example, nitrogen is essential for raising yields but is an increasing cost, the main contributor to greenhouse gas emissions and a major pollutant of water.

The future

The research programmes at SCRI are working to design multifunctional production systems in a comprehensive approach that includes models, a dedicated field platform, the reference sites on farms and the generation of new products.

Models for planning and prediction

For detailed analysis, the indicator cycle needs to be exposed in a formal framework. In the first instance, Dexi software (<http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>) is used to arrange functions and indicators in a 'decision tree' whose main branches might include internal health of the field, external impact and profit. In turn, the main branches are subdivided to include all the main factors that affect each branch. The branches may operate in different currencies (for example, money, carbon, organisms). The risk to or impact on the system of a factor (for example, nitrogen mineral fertiliser or herbicide) is defined qualitatively. Dexi can be used jointly with farming, policy and advisory interests to rank the impacts and assess the trade offs (for example, money against organisms).

More detailed study of factors and interactions, ideally using a single currency, such as energy or carbon, are examined through models built in a proprietary software such as Simile (<http://www.simulistics.com/>). These 'compartment and flow' models are used to search for states in which several functions may be optimised. The question of whether it will be possible, with minimal reduction in yield and profit, to use nitrogen fixation by legumes to supplant nitrogen from other sources, can be examined in this way.

Self-designed models are also constructed 'in house' to explore in more detail networks such as food webs.

New genetics, new crop varieties and new products

Running parallel to systems research is a programme in genetics and breeding for new crop varieties. The first step has been to screen existing varieties for properties that are not normally the target in breeding, such as the abilities to suppress weeds, to cause phosphorus to be released from soil or to extend roots into more compacted or hypoxic soils. An aim in the longer term is to design new varieties that, first, contribute to multifunctional systems and, second, lead to new products that will support the current trend in differentiation of agricultural output. These new varieties need a test bed which will be provided by a new facility at the institute – a Sustainability Research Platform.

The experimental field platform

A new experimental research platform is being established at SCRI's Balruddery Farm for long-term studies of arable sustainability. The aim is to test potential solutions that fulfil a range of functions. The experiment will operate at a near-commercial scale over at least four rotation cycles (>20 years). A sustainable cropping system is designed that optimises inputs, yield, biodiversity and ecosystem processes. The effect of this system on long-term trends in the main indicators will be tested by comparison with a treatment that tracks current commercial practice.



Fig 3. SCRI's Balruddery farm (highlighted): the six fields of the Sustainability Research Platform are to the lower right.

The Sustainability Research Platform will provide a test-bed for new 'sustainable' crop varieties having traits for enhanced nutrient and water use efficiency, weed suppression, and pest and disease resistance. The platform's web pages (<http://www.scri.ac.uk/research/sustainability>) give an account of the background, design and measurements.

Innovation and outreach

Integral to research on systems is a technical and public outreach programme whose stakeholders include rural policy advisers, farming, environmental and conservation groups, the general public and the education sectors. Technical developments arising from the work are transmitted to growers through the Linking Environment and Farming (LEAF) organisation (<http://www.leafuk.org/leafuk/>), in which SCRI is an Innovation Centre (<http://www.scri.ac.uk/knowledge/leaf>), the Scottish Society for Crop Research (<http://sscr.scri.ac.uk/>), the Scottish Agricultural College (<http://www.sac.ac.uk/>) and other technical advisory groups. Many doctoral students are based within the work programme, providing strong links to local universities. An education initiative – the Living Field (<http://livingfield.scri.ac.uk/welcome>) – is responsible for transmitting the science of fields to the public and schools.

Acknowledgements

The main funder of the research outlined here is the Scottish Government. The baseline sampling of arable-grass fields in Scotland was carried out in a joint programme by SCRI and the Scottish Agricultural College.