VEDLEGG

UTREDNING OM LANDBRUKETS UTFORDRINGER I MØTE MED KLIMAENDRINGENE

FAGNOTATER SOM UNDERLAG FOR ARBEIDSGRUPPENS HOVEDRAPPORT

19. FEBRUAR 2016

1. BEREGNINGSMETODIKK FOR KLIMAEFFEKT AV METAN 2
2. KORNPRODUKSJON 21
3. GROVFOR 39
4. GRØNNSAKER OG POTET 51
5. FRUKT OG BÆR 73
6. PLANTEHELSE OG SKOGHELSE 87
7. HYDROTEKNIKK I LANDBRUKET 117
8. GJØDSLING I JORDBRUKET 139
9. KARBON I DYRKET MARK 156
10. FORBRUK AV MAT OG KLIMAENDRINGER 176

BEREGNINGSMETODIKK FOR KLIMAEFFEKTEN AV METAN-TILTAK

Jan Fuglestvedt, CICERO Senter for klimaforskning

°CICERO Senter for klimaforskning www.cicero.uio.no
Center for International Climate and Environmental Research - Oslo

INTRODUKSJON

Notatet er skrevet på oppdrag fra Miljødirektoratet og skal bidra som faglig innspill til arbeidet i Landbruks- og matdepartementets arbeidsgruppe «Landbrukets Klimautfordringer».

Metans rolle i klimasystemet og scenarier samt metoder for å vurdere metantiltak er et relativt stort og bredt felt. Dette notatet er avgrenset til å diskutere arbeidet som ble gjort i Femte hovedrapport (AR5) fra FNs Klimapanel (IPCC). Materialet i dette notatet er hentet direkte ut av rapportene fra Arbeidsgruppe 1 (WGI), Arbeidsgruppe 3 (WGIII) og Synteserapporten (som bygger på rapportene fra alle tre arbeidsgruppene).

En rekke nye og relevante studier er publisert etter at arbeidet med femte hovedrapport ble avsluttet, noe det har ikke vært rom for å dekke i dette avgrensede notatet.

Notatet gir en kortfattet oversikt over metoder for vekting av metan og andre komponenter, med fokus på Global Warming Potential (GWP) og Global Temperature change Potential (GTP). På engelsk kalles dette «emission metric». Det finnes ikke noe godt norsk ord for dette, men her brukes navnet «utslippsvektfaktor». Notatet behandler også metans rolle i scenariene i Femte hovedrapport og betydningen av metan for karbon-budsjettet.

Terje Berntsen og Marianne T. Lund takkes for kommentarer til notatet.

METAN SOM DRIVHUSGASS OG KORTLEVDE KLIMADRIVERE

Metan er en naturlig forekommende gass og bidrar til den naturlige drivhuseffekten. Siden 1750 har konsentrasjonen økt med 150% og er nå høyere enn noen gang de siste 800 000 år (IPCC 2014). Årsaken til veksten i konsentrasjon er utslipp fra diverse menneskeskapte aktiviteter som produksjon og bruk av fossile brensler, husdyrhold, matproduksjon og avfallshåndtering.

Metan absorberer langbølget stråling og bidrar således til å absorbere varmestråling fra jorden, og noe av dette sendes tilbake. I tillegg har metan også indirekte effekter på klima ved å forlenge sin egen levetid, produsere klimagassene troposfærisk ozon og stratosfærisk vanndamp. **Figur 1** viser metans direkte og indirekte bidrag til økt drivhuseffekt siden 1750. Metan har gitt det nest største bidraget til oppvarmingen; nest etter CO_2. Totalt menneskeskapt strålingspådriv for 2011 relativt til 1750 er 2.29 [1.13 - 3.33] Wm^{-2}.

Utslipp av CH_4 har gitt et strålingspådriv på 0.97 [0.74 - 1.20] Wm^{-2}. Dette er større enn det *konsentrasjonsbaserte* estimatet på 0.48 [0.38 - 0.58] Wm^{-2}. Denne forskjellen skyldes konsentrasjonsendringer i ozon og stratosfærisk vanndamp fra CH_4 utslipp og at andre utslipp (f.eks. av NOx og CO) påvirker CH_4 konsentrasjonen.

I IPCC AR5 blir også metan omtalt som en «Near Term Climate Forcer» (ofte omtalt som «kortlevd klimadriver» på norsk) fordi effekten på klima finner sted hovedsakelig første dekade etter utslipp. (Se Box. 8.2. i AR5 WGI).

Figur 1. Strålingspådriv i 2011 i forhold til1750 fordelt på utslippskomponenter og mekanismer. (Kilde: IPCC AR5 WGI, figur SPM.5)

Perspektivet i **figur 1** er *tilbakeskuende* – det vil si den viser endring i strålingsbalanse i 2011 i forhold til 1750. Dette er nyttig for å forstå driverne av observerte endringer i klimasystemet. Det gir oss også grunnlag for å forstå dagens effekter, men er ikke direkte anvendelige for tiltaksutforming. Da må man bruke *framoverskuende* perspektiv – enten via utslippsvektfaktorer (metrics) eller detaljerte beregninger med klimamodeller for ulike scenarier.

UTSLIPPSVEKTFAKTORER

Global Warming Potential (GWP) ble presentert i IPCCs første hovedrapport (Houghton et al, 1990). GWP baserer seg på beregning av akkumulert strålingspådriv (over en valgt tidshorisont) fra et puls-utslipp av en gass. Dette gis i forhold til tilsvarende effekt av et like stort utslipp (målt i masse enhet) av referansegassen CO_2. Absolute Global Warming Potential (AGWP) er effekten av gassen uten at den er dividert med AGWP for referansegassen CO_2, se **figur 2a**.

GWP med en tidshorisont på 100 år ble vedtatt brukt i Kyoto Protokollen for å beregne såkalte «CO_2-ekvivalente utslipp». I tiltaks- og avtalesammenheng er dette er den mest utbredte beregningsmetoden for omregning og sammenligning av utslipp.

Shine et al. (2005) introduserte et alternativ til GWP; denne ble kalt Global Temperature change Potential (GTP). I stedet for akkumulert strålingspådriv baserer GTP seg på temperaturrespons i et valgt år; se **figur 2b**. Absolute Global Temperature Potential (AGTP) er temperatur effekten per kg uten at den er relatert til effekten av referansegassen CO_2.

$$GWP_i(H) = \frac{\int_0^H RF_i(t)dt}{\int_0^H RF_{CO_2}(t)dt} = \frac{AGWP_i(H)}{AGWP_{CO_2}(H)}$$

$$GTP_i(t) = \frac{AGTP(t)_i}{AGTP(t)_{CO_2}} = \frac{\Delta T(t)_i}{\Delta T(t)_{CO_2}}$$

Figur 2. (a) Absolute Global Warming Potential (AGWP) beregnes bed å integrere strålinsgpådrivet fra et pulsutslipp over en valgt tidshorisont; f.eks. 20 eller 100 år. GWP er forholdstallet mellom AGWP for komponent *i* og AGWP for referanse gassen CO_2. **(b)** Global Temperature change Potential (GTP) er basert på temperatur responsen i et valgt år etter et puls utslipp; f.eks. 20 eller 100 år.

Figur 3 viser global temperatureffekt som følge av ett års globale utslipp av ulike komponenter. Vi ser at metan har en sterk effekt tidlig men avtar betydelige på dekade-skala, mens CO_2-effekten er mer langvarig.

Figur 3 Utvikling i global temperatur respons som følge av ett års utslipp av ulike komponenter. (Kilde: IPCC AR5 WGI, figur 8.33.)

Vektfaktorene GWP og GTP kan gi betydelige forskjeller i vekten som gis til metan; se **tabell 1**. For begge vektfaktorene er verdiene følsomme for valg av tidshorisont; spesielt gjelder dette for GTP. Valg av tidshorisont (se seksjon 7) er i betydelig grad et verdivalg. Det er viktig å være klar over at valg av samme tidshorisont i GWP og GTP (for eksempel 100 år) gjenspeiler to meget forskjellige måter å vektlegge fremtidig skade.

Tabell 1. Eksempler på utslippsvektfaktorer fra AR5 WGI. I tillegg er også GWP100 verdier fra IPCC Second Assessment Report (SAR) gitt.

		GWP		**GTP**		**SAR GWP**
	Lifetime (yr)	**Cumulative forcing over 20 years**	**Cumulative forcing over 100 years**	**Temperature change after 20 years**	**Temperature change after 100 years**	**Cumulative forcing over 100 years**
CO_2	*	1	1	1	1	1
CH_4	12.4 **	84	28	67	4	21

* En enkel levetid oppgis ikke for CO_2 siden den fjernes fra atmosfæren gjennom flere prosesser som innebærer opptak i biosfære på land og hav og transport til dyphavet.

** Dette er levetiden for en perturbasjon i atmosfærisk konsentrasjon, også kalt *responstid.* Levetiden for metan i atmosfæren er 9.25 år.

Verdiene for gassenes levetid, strålingsegenskaper og indirekte effekter har endret seg over tid; både pga fysiske endringer i klimasystemet og som følge av bedre kunnskap. Disse endringene gjenspeiles i IPCC-rapportene. Kyoto-protokollen baserte seg på GWP100 verdien fra IPCC Second Assessment report (SAR); se høyre kolonne i tabell 1.

Vektfaktorene GWP og GTP (og andre alternative vektfaktorer) brukes for vekting av utslipp; dvs omregning til en feles enhet, såkalt «CO_2 ekvivalente utslipp» som beregnes ved relasjonen:

$E_i \times M(H)_i = CO_2$*-ekvivalente utslipp (H),*

der E_i er utslipp av komponent *i* og $M(H)_i$ er vektfaktoren for i for en valgt tidshorisont (H).

WGI viste og diskuterte betydningen av ulike vektfaktorer og tidshorisonter (se **figur 4**) for beregninger av CO_2-ekvalente utslipp (WGI kapittel 8; Myhre et al., 2013). Figuren viser betydningen av metan og kortlevede komponenter (f. eks. Black Carbon (BC) eller sot) avtar med økende tidshorisont og at GWP gir større vekt til kortlevde komponenter enn hva GTP gjør.

Figur 4 Globale menneskeskapte utslipp vektet med GWP og GTP for utvalgte tidshorisonter. (Kilde: IPCC AR5 WGI, figur 8.32.)

Mens IPCC WGI og WGIII gjennomgår og vurderer ulike vektfaktorer (se seksjon 7 nedenfor) blir dette også diskutert i Klimapanelets Synteserapport fra AR5. Valg av vektfaktor og tidshorisont og betydningen for ulike sektorers bidrag på global skala er illustrert i **figur 5**. Sektorer med metanutslipp er følsomme for disse valgene.

Figur 5. Bidrag fra ulike sektorer til totaleffekt av utslipp, beregnet vha GWP100, GWP20 og GTP100. (Kilde: Synteserapporten fra Femte Hovedrapport, Box 3.2, Figur 1.)

I scenarioberegningene (utført med Integrated Assessment modeller) brukte AR5 WGIII gamle GWP100 verdier fra IPCC Second Assessment Report (SAr), se **tabell 1**. Dette fordi disse verdiene er i bruk i Kyotoavtalen og brukes i tiltaksutforming og rapporter og i diverse publiserte vitenskapelige analyser. SAR verdien for GWP100 for metan er 21, mens AR5 beregnet en verdi på 28. Dette utgjør en økning på 33 prosent. Denne oppdateringen basert på fysiske endringer i klimasystemet og forbedret kunnskap er dermed ikke tatt hensyn til i scenariene fra WGIII.

Med SAR verdier beregnet man at metan står for 16 prosent av klimaeffekten av dagens totale utslipp av Kyotogasser (CO_2, CH_4, N_2O, HFC, SF_6, PFC, NF_3). Hvis man i stedet bruker oppdatert verdier fra WGI øker dette til tallet til 20 prosent. **Figur 6** viser utslippsvekst og bidrag (%) fra de ulike gassene (med SAR og AR5 verdier). Trend-tallene ble ikke signifikat påvirket av valg av GWP for metan.

Figur 6. Utvikling i utslipp siden 1970, fordelt på gass. Stolpediagrammene til høyre i figuren viser bidrag til totale utslipp av drivhusgasser i 2011 beregnet med GWP-verdier fra SAR og AR5. (Kilde: Synteserapporten fra Femte Hovedrapport, Figur SPM.2.)

Basert på hva som var tilgjengelig av informasjon og kunnskap om usikkerhet i de ulike faktorene som inngår i beregninger av GWP og GTP kvantifiserte Arbeidsgruppe I (WGI) usikkerheter i disse vekstfaktorene. For GWP for metan ble usikkerheten estimert til ±30% og ±40% for hhv 20- og 100 års tidshorisont (for 5 til 95% usikkerhetsintervall). Usikkerheten er dominert av AGWP for CO_2 og indirekte effekter av metan. For GTP100 for metan var det færre studier å basere seg på og usikkerheten ble anslått til å være av størrelsesorden ±75%.

GTP bygger på temperatur respons og kan derfor hevdes å ha større relevans enn GWP som bygger på akkumulert strålingspådriv. Men samtidig er usikkerheten større. Men det er da viktig å være klar over at GTP avhenger av og inkluderer responsen i klimasystemet, hvilket er beheftet med usikkerhet. Dette er en sentral egenskap ved det systemet som studeres og klimaproblemet generelt - og blir ikke fanget opp av GWP siden den fokuserer på RF og ikke temperatur. Det kan således hevdes at denne økte usikkerheten ikke taler mot bruk av GTP.

GWP gir et mål på hvor mye energi som tilføres klimasystemet som følge av et utslipp; relativt til det som følger av et CO_2-utslipp. Men GWP vekting gir ikke ekvivalens i temperatur eller andre klimavariable. Som AR5 WGI skriver, navnet Global Warming Potential er ikke helt presist og dekkende.

IPCC skriver også at GWP ikke er direkte relatert til et klimamål gitt i temperatur. En rapport av Allen et al., 2014 diskuterer tolkning og bruk av GWP100 og finner at denne fungerer som en god tilnærming for temperatureffekt 20-40 år etter utslipp.

Diskusjonen ovenfor har tatt for seg vektfaktorer med fast tidshorisont. Det er også lansert varianter der tidshorisonten avtar etter hvert som et definert mål år nærmer seg; dvs. det året temperaturen er ventet å nå stabiliseringstaket. I en dynamisk GTP avtar tidshorisonten over tid og dermed øker GTP verdien for metan for utslipp som skjer i fremtiden.

FOSSILT METAN VS BIOGENT METAN

Når utslipp fra ulike kilder skal vektes og aggregeres stilles man overfor noen spørsmål knyttet til ulike tellemåter og faren for dobbelt-telling. I AR5 er det gitt egne GWP og GTP verdier for metan fra fossile kilder. Disse verdiene inkluderer overgang av en viss andel CH_4 til CO_2 i atmosfæren; noe som gir en langtlevende tilleggseffekt for utslipp av metan. **Figur 7** viser størrelsen på dette bidrag over en 100 års skala for GTP verdien for metan (fra Collins et al., 2013). Den CO_2 som dannes fra CH_4 vil da ha en lenger responstid enn metan og vil oppføre seg i henhold til responsfunksjonen for CO_2 som viser at selv etter flere hundre år er det 10-20% igjen av økningen i CO_2 konsentrasjon.

IPCC AR5 antok at noe av metanet ble fjernet fra atmosfæren og tatt opp i jord, og bidraget til CO_2 ble derfor redusert i henholdt til dette. Dette baserte seg på arbeid av Boucher et al., 2009. IPCC påpeker faren for dobbelt telling ved bruk av disse verdiene. Det er viktig at denne mengde CO_2 ikke også blir registrert to ganger basert på karboninnhold i kilden til metan.

IPCC forklarer videre at vektfaktorverdier uten CO_2-effekten er egnet for kilder der karbonet har blitt registret på annet vis, og for biosfæriske kilder der det med rimelighet kan antas at det er en balanse mellom CO_2 som er tatt opp i biosfæren og den CO_2 som er produsert fra CH_4 oksidasjon.

Opptak og frigjøring av CO_2 via denne mekanismen kan betraktes med ulike perspektiv. 1) Det perspektivet som er omtalt ovenfor – at det antas balanse mellom opptak og frigjøring og at CO_2 fra CH_4 oksidasjon ikke tas med i verdien - er en måte å se dette på. 2) Alternativt kan det hevdes at oksidasjon av CH_4 til CO_2 alltid skal tas med i vektfaktorverdien uansett om det er biogent eller fossilt, og at opptak av karbon før det omdannes til CH_4 skal fanges opp som egen prosess i utslippsregnskapet for landsektoren. F. eks. kan dette fanges opp som egen prosess i en livsløps-analyse (Life Cycle Analysis; LCA). Dette er forhold som kan være utfordrende å håndtere på konsistent måte i et LCA regnskap. Dette ble ikke diskutert i IPCC AR5 i forbindelse med brukt av vektfaktorer (utover en merknad i en fotnote til tabell 8.A.1), men er kort diskutert i Boucher et al., 2009.

Figur 7. Temperatur respons fra et puls utslipp av metan (sort). Blå kurve viser effekten av oksidasjon av CH_4 til CO_2. Rød kurve viser effekten av økte CO_2 nivåer som følge av oppvarming fra metan. (Collins et al., 2013)

En annen effekt som ble vurdert i AR5 er klima-karbon tilbakekoblingen. Kort forklart går det ut på at ethvert utslipp som påvirker klimasystemet vil også kunne påvirke mengden av CO_2 i atmosfæren, noe som igjen har en klimaeffekt. I tidligere rapporter var den inkludert for CO_2 selv, og ikke for de andre gassene; f.eks. N_2O og CH_4. Det kan argumenteres for at den ikke bør være inkludert noen av stedene – dvs. hverken for CO_2 eller non-CO_2 gassene, men uansett bør dette gjøres konsistent.

Inkludering av denne effekten vil forlenge oppvarmingseffekten. Mens denne effekten er påpekt i den underliggende litteratur var det svært få studier som hadde kvantifisert dette da AR5 WGI rapporten ble skrevet. AR5 WGI påpekte at dette ikke var håndtert på en konsistent måte i verdiene og viste tentative verdier for å antyde størrelsen på denne effekten; se **tabell 2**.

Tabell 2 GWP og GTP verdier med og uten karbon-klima feedback inkludert for metan.

	Lifetime years		GWP_{20}	GWP_{100}	GTP_{20}	GTP_{100}
CH_4	12.4	No cc fb With cc fb	84 85	28 34	67 70	4 11

METAN I IPCCS SCENARIER

Arbeidsgruppe I (WGI) beregnet, ved hjelp av store og komplekse klimamodeller, framtidige klimaeffekter som følge av 4 utvalgte baner for utslipp/konsentrasjoner av drivhusgasser og aerosoler – Representative Concentration Pathways (RCPs). De var gitt for 4 ulike nivåer av strålingspådriv og representerte spennet av scenarier i litteraturen som lå til grunn for scenarioarbeidet i WGIII.

RCP2.6 skal representere et tiltaks scenario, mens RCP8.5 skal være et «høy-utslipps» scenario – ofte omtalt som et «Business as Usual» (BaU) scenario. RCP2.6 er ment å illustrere en utvikling som gir «Likely» sannsynlighet (dvs. >66%) for å holde global oppvarming under 2 grader celsius i løpet av det 2100 århundre.

WGIII utvidet antall scenarier (300 «baseline» scenarier og 900 tiltaksscenarier) og brukte da en annen type modeller; Integrated Assessment Models (IAMs). Mens WGI gikk mer i detalj på hvordan klimasystemet ville reagere på 4 utvalgte utslipps/konsentrasjonsbaner gikk WGIII mer inn på tiltak, utslippsreduksjoner og kostnader – men da med forenklet håndtering av de naturvitenskaplige aspektene.

Figur 8 viser total utslipp av Kyoto-gassene, dvs CO_2, CH_4, N_2O, SF_6, HFC, PFC, NF_3 (gitt som CO_2-ekvivalente utslipp) i RCP'ene, for gruppene av scenariene som ble beregnet i WGIII. Scenariene ble gruppert etter nivå av CO_2-ekvivalent *konsentrasjon* i atmosfæren og sannsynlighet for å holde økning i global middeltemperatur under 1.5, 2, 3 og 4 grader Celsius (se tabell 3.1. i Synteserapporten). (CO_2-ekvivalent konsentrasjon er den CO_2-konsentrasjonen som gir samme strålingspådriv som summen av flere gasser gir. CO_2-ekvivalent konsentrasjon her inkluderer alle drivhusgasser, inkludert halogenerte gasser, troposfærisk O_3, aerosoler og albedoendringer; se **figur 1**).

Gruppen «Baseline scenarier» antar ingen ytterligere utslippsreduserende tiltak og utgjør det grå feltet i figuren under. De faller innenfor grupperingene >1000 og 720 - 1000 ppm CO_2-ekvivalent konsentrasjon.

Figur 8. Utslippsbaner for Kyotogasser (gitt som CO_2-ekvivalente utslipp) for de ulike grupperingene av scenarier. De fargede båndene angir 10 -90th percentilen av scenariene, gruppert etter CO_2-ekvivalent *konsentrasjon*. Den grå stolpen øverst til høyre indikerer 10-90 percentilen for baseline scenariene. (Kilde: IPCC WGIII, figur 6.7.)

Figur 9 nedenfor viser CH_4 utslipp (b) over tid og strålingspådriv per komponent i 2100 i de ulike scenariene.

Figure 9 Utslippsscenarier for 4 komponenter og strålingspådriv (e) for RCPer og WGIII scenarier. (Kilde: IPCC AR5 Synteserapport, Box 2.2, Figur 1).

Hvis vi ser nærmere på hva WGIII gjorde vedrørende metan i scenariene finner vi at i «baseline» scenariene er aktiviteter relatert til arealbruksendringer beregnet å være en hovedkilde til non-CO_2 utslipp (N_2O, CH_4 og F-gasser). Disse aktivitetene står for ca. 50% av totalt metan utslipp og 90% av totalt utslipp av N_2O.

Figur 10 viser CO_2-ekvivalente utslipp fra fossile brensler, non- CO_2 og CO_2 fra AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use).

Figur 10 Global CO_2-ekvivalente utslipp i baseline scenariene gruppert etter komponent. (Kilde: IPCC WGIII, figur 6.5).

Om dybde og timing av utslippskutt, skriver WGIII at for non-CO_2 Kyoto gasser (dvs. CH_4, N_2O, SF_6, PFC, HFC, NF_3) er følgende hovedfaktorer viktige: (1) potensial og kostnader for å redusere utslipp av de ulike komponentene og (2) «trade-off» strategier mellom ulike gasser; dvs. metode for vekting og sammenligning av gasser.

Når det gjelder 1) indikerer studier at det er mange lav-kostnads opsjoner for reduksjon av non-CO_2 gasser i forhold til mulighetene for CO_2 kutt. Studiene indikere at utslippsstrategier på kort sikt baserer seg i sterkere grad på non-CO_2 gasser enn strategier med et langtidsperspektiv. I et lengre tidsperspektiv kan utslippsreduksjoner spesielt for CH_4 and N_2O, bli begrenset av at det for flere kilder er vanskelig å redusere utslippene; for eksempel fra husdyrhold og bruk av gjødsel. Dette medfører lavere reduksjonsrater enn for CO_2 i lavutslippsscenariene. Det er verdt å merke seg at dette gjelder i modellscenariene og avhenger av hva slags kunnskap man har om mulige utslippsreduksjoner og kostander, og videre hvordan dette er lagt inn i de globale modellene.

Figur 11 nedenfor viser reduksjoner (%) av de ulike gassene – deriblant metan – for de ulike scenario familiene for 2030, 2050 og 2100, relativt til utslipp i 2010 (venstre søyle).

Figur 11 Utslippsreduksjoner (%) for ulike komponenter i 2030, 2050 og 2100, relativt til 2010. Venstre del gir fordeling av total utslipp i 2010 målt i CO_2-ekvivalente utslipp. (Kilde: IPCC WGIII figur 6.11.)

Figur 12 viser hvordan modellene har beregnet kostnadseffektive utslippskutt for CO2 og non-CO2 på tvers av sektorer i scenarier som har > 66% sannsynlighet for å oppnå stabilisering av global oppvarming under 2 grader celsius, med og uten bruk av Carbon Capture and Storage (CCS). Vi ser at non-CO2 gasser reduseres i scenariene, men at de ikke når null-utslipp. Figuren viser også at uten CCS vil større reduksjoner måtte tas i andre sektorer, spesielt i AFOLU.

Figur 12 CO_2 utslipp i ulike sektorer og non-CO_2 utslipp totalt på tvers av sektorer for baseline scenariene (venstre) og tiltaksscenarier som kan oppnå 2 graders målet med >66% sannsynlighet, med og uten Carbon Capture and Storage (CCS). (Kilde: Synteserapporten fra Femtehovedrapport, figur 4.1.)

Vedrørende punkt 2) over; strategier for trade-off mellom ulike gasser: Dette må ta hensyn til levetider og styrke (dvs strålingspådriv per masseenhet) for gassene, og de effektene gassene temperatur på ulike tidsskalaer. Strategiene – eller metodene - må også ta hensyn til felles utslippskilder. De fleste IAM modeller baserer seg på eksogene vektfaktorer (slik som GWP100) og beregner reduksjon av de ulike gassene etter at utslippene er vektet med disse faktorene. Andre modeller benytter økonomisk optimering over tid basert på fysiske egenskaper ved gassene (strålingsegenskaper og levetid) og gjør dette i forhold til et spesifisert klimamål; for eksempel totalt strålingspådriv. På grunn av forskjeller innenfor disse to metodene og mellom dem, gir de svært ulike resultater, spesielt med henhold til timing av utslippsreduksjoner for kort-levede komponenter (inkludert CH_4). Bruk av GWP100 verdier fra SAR – og ikke nyeste AR5 verdier – kan påvirke hva modellene beregner for timing av CH_4 tiltak.

IPCC henviser til en rekke arbeider som har studert hva slags rolle kort-levede komponenter kan ha i utforming av tiltak. Noen studier peker på nødvendigheten av tidlige utslippsreduksjoner av kort-livede komponenter, mens andre peker i retning av å utsette slike tiltak. Argumenter for det første vektlegger nytteeffekter på kort sikt for klima og luftkvalitet forbundet med ozon og partikler. Argument for det motsatte peker på at kutt i utslipp av kort-levde komponenter nå vil ha liten effekt på langtidsmål for stabilisering av global temperatur.

Den meste brukte vektfaktoren for a beregne utslippsreduksjoner er GWP100. Flere studier har undersøkt hvordan oppdaterte GWP100 verdier eller bruk av den alternative vektfaktoren GTP vil kunne påvirke utslippsstrategier. En finner at valg av vektfaktor er kritisk for når tiltak mot metan skal settes inn, men at dette sjelden har betydelig effekt på totale globale kostnader. Bruk av dynamisk GTP (dvs. med avtagende tidshorisont ettersom mål-året nærmer seg; se seksjon 3) er vist å gi utsettende effekt på tiltak rettet mot kort-levede gasser; dvs. at det lønner seg å vente med reduksjoner.

I Synteserapporten sammenfattes scenarioarbeidet med å skrive at reduksjon av utslipp av non-CO_2 komponenter kan være et viktig element i tiltaksstrategier. For de fleste non-CO_2 gasser er lavkostnadsmuligheter for reduksjoner som kan implementeres på kort sikt tilgjengelige. Men for noen kilder kan utslippene være vanskelig å redusere, for eksempel N_2O fra gjødsel og CH_4 utslipp fra husdyr. For mange non-CO_2 gasser vil derfor vil ikke utslippene kunne bli redusert til null i modellene, selv ikke i de mest stringente tiltaksscenariene (se **Figur 12**). Kunnskapen om faktiske reduksjonspotensialer og kostnader, hvilket ligger til grunn for disse modellberegningene, er begrenset. Forskjeller i strålingsegenskaper og levetider mellom CO_2 og non-CO_2 har viktige implikasjoner for utslippsreduserende strategier.

Etter at arbeidet med AR5 ble avsluttet har det kommet nye publikasjoner som studerer dette i mer detalj.

KARBON-BUDSJETTET OG METAN

Høsten 2013 presenterte IPCC WGI et karbonbudsjett som viste totalt akkumulert CO_2 utslipp som med ulike grader av sannsynlighet vil holde temperaturen under 2 grader Celsius. For en sannsynlighet på >66% for å oppfylle 2 gradersmålet måtte totale utslipp av CO_2 være under 3670 $GtCO_2$ (1000 GtC). Denne øvre grensen ble redusert til 2900 $GtCO_2$ (790 GtC) når man tar hensyn til non-CO_2 komponenter - slik de er gitt i RCPene.

Når det tas hensyn til non-CO_2 komponenter slik de er inkludert og modellert i WGIII scenariene (se seksjon 5) fås et intervall på 2550 til 3150 $GtCO_2$ (tilsvarende ca 700–860 GtC).

Om lag 1900 (1650-2150) $GtCO_2$ har blitt sluppet ut til og med 2011, noe som innebærer at ca 1000 $GtCO_2$ er en gjenværende mengde CO_2-utslipp som vil være konsistent med >66% sannsynlighet for å oppfylle 2 gradersmålet. **Tabell 3** nedenfor viser disse tallene for tre ulike sannsynlighetsnivåer (eller mer nøyaktig, andel av simuleringene som oppfyller målet) og for tre ulike nivåer av oppvarming.

Tabell 3. Akkumulert CO_2 utslipp i samsvar med stabilisering på ulike temperatur nivåer.

Cumulative CO_2 emissions from 1870 in $GtCO_2$									
Net anthropogenic warming [a]	<1.5°C			<2°C			<3°C		
Fraction of simulations meeting goal [b]	66%	50%	33%	66%	50%	33%	66%	50%	33%
Complex models, RCP scenarios only [c]	2250	2250	2550	2900	3000	3300	4200	4500	4850
Simple model, WGIII scenarios [d]	No data	2300 to 2350	2400 to 2950	2550 to 3150	2900 to 3200	2950 to 3800	n.a. [e]	4150 to 5750	5250 to 6000
Cumulative CO_2 emissions from 2011 in $GtCO_2$									
Complex models, RCP scenarios only [c]	400	550	850	1000	1300	1500	2400	2800	3250
Simple model, WGIII scenarios [d]	No data	550 to 600	600 to 1150	750 to 1400	1150 to 1400	1150 to 2050	n.a. [e]	2350 to 4000	3500 to 4250
Total fossil carbon available in 2011 [f]: 3670 to 7100 $GtCO_2$ (reserves) and 31300 to 50050 $GtCO_2$ (resources)									

Fotnoter a) – f): se tabell 2.2. i Synteserapporten.

Intervallene 2550-3150, 2900-3200 og 2950-3800 $GtCO_2$ reflekterer betydningen av non-CO_2 komponenter, ved ulike sannsynlighetsnivåer). Betydningen av metan isolert ble ikke spesifisert i scenario arbeidet, men det er klart at metan har en dominerende rolle blant non-CO_2 Kyotogasser.

En ny studie av van Vuuren et al. (in prep.) viser at CO_2 budsjettet reduseres med 1000 $GtCO_2$ når man går fra et lavt til høyt metan scenario; se figur 13.

Figur 13 Relasjon mellom kumulativ CO_2 utslipp og temperatur og følsomheten for metan-utslipp. (Kilde: van Vuuren et al., in prep.)

Figur 14 viser sammenhengen mellom kumulativt CO_2 utslipp og temperatur endring. «Skyen» representerer usikkerhet i klimafølsomhet, karbonsykelusikkerheter og betydningen av non-CO_2 fra RCPene; sistnevnte begrenset av liten variasjon i få scenarier. Ellipsenes størrelse derimot reflekterer spredningen av WGIII scenarier og betydningen av non-CO_2 komponenter; deriblant metan, og gir en mer fullstendig representasjon av usikkerhet knyttet til non-CO_2 og ulike utslippsbaner.

Figur 14 Økning i global middeltemperatur som funksjon av totalt CO_2-utslipp. Farget «sky» viser spredning av resultater fra klimamodeller og er drevet av historiske utslipp og RCPer opp til 2100. Ellipsene viser total menneskeskapt oppvarming i 2100 vs kumulative CO_2 utslipp fra 1870 til 2100 fra en enkel klimamodell (med median klimafølsomhet) basert scenariene i WGIII. Størrelsen på ellipsene skyldes ulike scenarier for non-CO_2 komponenter. (Kilde: AR5, Synteserapporten, figur 2.3.)

Etter AR5 har det kommet flere nye og relevante studier på dette feltet. De har blant annet oppdatert karbon-budsjettet med utslipp etter 2011, mens andre har sett nærmere på metans potensielle rolle i tiltaksscenarier og for karbonbudsjettet. Dette ligger utenfor hva dette notatet kunne dekke.

VALG OG HENSYN BESLUTNINGSTAKERE MÅ TA VED BEREGNING AV KLIMAEFFEKTER AV TILTAK

I IPCCs femte hovedrapport benyttes følgende vektfaktorer:

Strålinsgpådriv brukes for å vise bidrag fra de ulike komponentene til klimapåvirkning. Dette benyttes hovedsakelig i et historisk perspektiv (som i **figur 1** over), men også for å vise bidrag fra ulike komponenter i fremtidsscenariene (for eksempel figur 8.21 og 8.22 i IPCC WGI). Men strålingspådriv er ikke direkte anvendelig i tiltaksutforming på samme måte som GWP og GTP.

Videre foretok WGI en gjennomgang og evaluering av ulike vektfaktorer, med hovedfokus på GWP og GTP. Her ble begrensninger og usikkerheter vurdert (se section 8.7 i WGI). Det ble gitt verdier for GWP og GTP for ulike tidshorisonter for en rekke gasser (WGI, tabell 8.A.1) og betydningen av valg av type og tidshorisont ble illustrert (**figur 3** over).

Det er også viktig å merke seg utviklingen fra AR4 til AR5. I AR4 ble bruk av GWP anbefalt, mens AR5 ikke anbefaler noen spesiell vektfaktor, men understreker at valg og bruk av vektfaktor er avhengig av hva man ønsker å oppnå, i hvilken sammenheng den skal brukes og videre at ingen enkel vektfaktor er optimal for alle mål.

I Arbeidsgruppe III (WGIII) om tiltak foretok man også en gjennomgang og vurdering av vektfaktorer, men da med mer fokus på de økonomiske aspektene (seksjon 3.9.6 i WGIII). I modellberegninger, studier av trender og effekt av tiltak i WGIII ble GWP brukt. Som nevnt i seksjon 2 ble GWP100 verdier fra SAR brukt, noe som gir en betydelig lavere vekt på metan enn hva de oppdaterte verdiene fra AR5 WGI tilsier (21 vs 28).

Som diskutert i en rekke artikler i litteraturen, og senest i IPCC AR5, vil valg av type vektfaktor og tidshorisont i en gitt kontekst avhenger av følgende spørsmål og vurderinger:

- Hva ønsker man å måle? Hvilke aspekter ved klimaendringer og derav hvilke klima parametere (strålingspådriv, temperatur, nedbør, havnivåstigning, etc.) vurderes som mest relevante?
- Over hvilken tidsskala skal fremtidige effekter av utslipp vurderes?
- For valgte tidsskala; er man interessert akkumulert effekt eller "øyeblikksbilde"? Og hvordan skal effekter veies over tid? (Dvs. hva slags diskontering skal brukes).

Vedrørende hvordan valg av type vektfaktor og tidshorisont avhenger av hva man er interessert i kan det som eksempler nevnes at GTP med tidshorisont rundt 40 år er relevant for 2 gradersmålet siden målet er gitt i temperatur og man forventer at 2 graders oppvarming kan skje rundt 40 år fra nå hvis tiltak ikke iverksettes. For havnivåstigning vil langsiktige akkumulerte effekter være viktig og således kan det hevdes at GWP500 kan være relevant her. For oppvarming på kort sikt, kan GTP med en kort tidshorisont (10-20 år) være mer relevant.

Når det gjelder GWP og diskontering er det viktig å være klar over at den gir en full vekt på effektene opp til tidshorisonten (dvs. en vekt lik 1) og ingen vekt etter horisonten (vekt lik null). GTP gir full vekt til effekten kun for det valgte året; f eks. år 50 for GTP50. Dette er viktig å være klar over når langlevende gasser vurderes. For CO_2 betyr det at en stor del av effekten ikke fanges opp av disse vektfaktorene, noe som påvirker verdien de andre gassene da får i forhold til referansegassen CO_2.

Flere av valgene over er knyttet til verdivurderinger. Og de valgene som gjøres her har gjerne større innvirkning på verdiene (og dermed vekting av gasser og effekter) enn vitenskapelig oppdateringer av input parametere.

IPCC skriver at GWP er ikke direkte relevant for 2 gradersmålet, mens temperaturbaserte vektfaktorer er mer egnet for dette. IPCC påpeker også de implisitte verdivurderinger som gjøres og de store usikkerhetene knyttet til vektfaktorene.

Det er også viktig å ta hensyn til i hvilken sammenheng vekting av utslipp skal brukes; om det er for en mer avgrenset og isolert faglig studie/vurdering av tiltak og effekter, om det er som en del av et større rammeverk der konsistens er viktig, etc.

Disse valgene kan ha betydelig effekt på verdien av vektfaktoren. I hvilken grad dette slår ut på tiltaksprofilen (dvs. på fordeling på ulike gasser) og på totalkostnaden er studert bare i begrenset grad. IPCC skriver at valg av vektfaktor påvirker timing og rolle for reduksjon av kort- og langtlevede komponenter. For de fleste vektfaktorer er kostnadsforskjellene små for kostnadseffektive scenarier med global deltagelse, men implikasjonene av slike valg kan være større for enkelte land og sektorer.

Med bruk av en fast vektfaktor (dvs. som ikke varierer over tid) som gir lavere vekt til CH_4 (for eksempel ved å bruke GTP100 i stedet for GWP100) kreves tidligere og sterkere CO_2 tiltak for å oppnå samme resultat i 2100. Bruk av tidsavhengig vektfaktor, (slik som for eksempel dynamisk GTP) gir mindre CH_4 reduksjon på kort sikt, men mer etter hvert som man nærmer seg målet. Dette betyr at for noen gasser med kortere levetider vil valg av vektfaktor påvirke tiltaksvalg og timing, spesielt fra land og sektorer med høye utslipp av andre gasser enn CO_2.

I tiltaksrapporter, vitenskapelige artikler, rapportering av utslipp og i IPCC WGIII og Synteserapporten er det vanlig å bruke CO_2-ekvivalente utslipp. Siden GWP verdiene oppdateres i hver hovedrapport er det viktig å være klar over hvilke GWP verdier som er bruk vet utregning av CO_2-ekvivalenter, om de er fra Second Assessment Report (SAR), Third Assessment Report (TAR), Fourth Assessment Report (AR4), Fifth Assessment Report (AR5), eller fra artikler i litteraturen. Videre er det viktig å vite hvilke komponenter som

er inkludert i CO_2-ekvivalente utslipp. Ofte er det Kyotogassene, men dette varierer. Som diskutert i seksjon 4 må det også vurderes nøye hvordan karbon telles i utslippsregnskap for å sikre konsistens.

AR5 drøftet en rekke spørsmål knyttet til vekting av tiltak og effekter. Dette er spørsmål som krever egne studier og flere av disse er knyttet til utslipp fra og tiltak i skog- og landbruks- sektorene.

REFERANSER

Allen, M. Short-Lived Promise? The Science and Policy of Cumulative and Short-Lived Climate Pollutants. 26; http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/view/1960 (2015).

Boucher, O., Friedlingstein, P., Collins, B. & Shine, K. P. The indirect global warming potential and global temperature change potential due to methane oxidation. *Environmental Research Letters* **4**, 044007 (2009).

Collins, W. J., M. M. Fry, H. Yu, J. S. Fuglestvedt, D. T. Shindell, and J. J. West, 2013: Global and regional temperature-change potentials for near-term climate forcers. Atmos. Chem. Phys., **13**, 2471–2485.

Houghton, J. T., G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums (eds.), 1990: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 364 pp.

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Shine, K., J. Fuglestvedt, K. Hailemariam, and N. Stuber, 2005a: Alternatives to the global warming potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases. *Clim. Change*, 68, 281–302.

van Vuuren, D., M. van Sluisveld, A. Hof. Implications of long-term scenarios for medium-term targets (2050). PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. June 2015

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRINGENE

EFFEKTER AV ENDRET KLIMA OG BEHOV FOR TILPASNINGER

NORSK KORNPRODUKSJON

Till Seehusen[1*], Wendy Waalen[1], Bernt Hoel[1], Anne Kjersti Uhlen[2], Tomas Persson[3] og Einar Strand[1,4]

[1] NIBIO Fagavdeling korn og frøvekster, Apelsvoll,

[2] Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

[3] NIBIO Fagavdeling systemanalyse og landbruksteknologi, Særheim

[4] Norsk Landbruksrådgivning

*till.seehusen@nibio.no

KORNPRODUKSJONEN I NORGE

Det norske kornarealet var i 2014 2,87 millioner dekar. I underkant av 11 500 jordbruksbedrifter dyrket korn (SSB), dette gir en gjennomsnittlig bruksstørrelse i kornproduksjon på om lag 250 dekar. Østlandet og Trøndelag står for ca. 96 % av det norske kornarealet. De største kornfylkene er Akershus, Østfold og Hedmark (til sammen ca. 60 % av arealet). Trøndelagsfylkene står for ca. 15 % av det totale kornarealet (Hoel et al. 2013). Ensidig kornproduksjon er vanlig i kornområdene, dette er i stor grad en konsekvens av norsk kanaliseringspolitikk.

Arealfordelingen på landsbasis mellom kornartene er i gjennomsnitt over år som følger (cirkatall): bygg (50 %), havre (25 %), hvete (25 %) og rug (2-3 %) (Hoel et al. 2013). Av klimatiske årsaker foregår det aller meste av hveteproduksjonen på Østlandet, mens bygg er den dominerende kornarten i Trøndelag. Andelen høstkorn varierer betydelig, men har i enkelte sesonger kommet opp i om lag 400 000 dekar. Norsk korn brukes hovedsakelig til fôr, men dyrkinga av hvete og rug er innrettet for å oppnå matkornkvalitet. I gode sesonger er det høy matkornandel i hvete og rug. I de beste sesongene er det oppnådd over 70 % norskandel i hvetemelet. Kornarealet i Norge er i gjennomsnitt redusert med ca. 35000 dekar per år de siste 25 årene, og den årlige avlingsframgang pr. dekar har stagnert (Hoel et al. 2013). Dette har resultert i synkende selvforsyningsgrad på fôrkorn i senere år (knapt 50 % i 2012). Utviklingstrender i norsk kornproduksjon er beskrevet i flere rapporter i senere tid (Arnoldussen et al. 2014; Hoel et al. 2013; Vagstad et al. 2013).

KLIMAENDRING OG VEKSTFORHOLD I NORGE

Basert på klimamodellene som er inkludert i femte hovedrapport til FNs klimapanel (IPCC) er det gjort detaljerte klimabeskrivelser for Norge (Hansen-Bauer et al. 2015). Norge er blant de få områdene i Europa der man forventer en positiv sumeffekt av klimaendringene på landbruksproduksjonen (Olesen and Bindi 2002). For en detaljert beskrivelse henvises det til klimarapporten (Hansen-Bauer et al. 2015). De viktigste klimaendringene som vil påvirke norsk korndyrking i fremtiden sammenfattes nedenfor.

De naturlige klimavariasjonene i Norge er betydelige, både i tid og rom. Temperaturene er høyere sammenlignet med andre områder på samme breddegrader på grunn av luft- og havstrømmer. Likevel er forholdene for kornproduksjon i Norge marginale, og vi finner både økonomiske og biologiske grenser for kornproduksjon innenfor våre arealer. Vekstsesongens lengde er en viktig begrensing for utbredelsen av våre kornarealer nordover og oppover i høyereliggende strøk. Dette medfører også at vi må benytte tidligere kornsorter som utvikler seg og når modning i en kortere vekstsesong enn det som er situasjonen i de fleste andre kornproduserende land. Dette er sorter som har et lavere avlingspotensial siden de vil assimilere i et kortere tidsrom. Innenfor gjeldende vekstsesong i kornområdene kan man i mange tilfeller ha gode forhold for plantevekst, siden det oftest er nok tilgjengelig vann og et godt lysklima på grunn av daglengden.

FORVENTEDE KLIMAENDRINGER OG KONSEKVENSER FOR KORNPRODUKSJON

Klimaets utvikling er i stor grad avhengig av i hvilken grad verdenssamfunnet klarer å håndtere klimagassutslippene. ICCP har brukt flere ulike utslippsscenarier i sine analyser. Dette notatet tar utgangspunkt i et middelsscenario (Representative Concentration Pathway RCP 4.5) som er basert på stabile/ svakt økende klimagassutslipp fram til 2040 og deretter reduserte utslipp som vil stabilisere seg mot slutten av århundret. På global skala beregnes under dette scenariet en temperaturøkning på ca. 2,5°C (Hansen-Bauer et al. 2015). I dette notatet begrenser vi oss til å utrede effekter og behov for tilpasninger i de viktigste korndyrkingsområdene, Trøndelag og Østlandet. Uavhengig av valgt scenario og detaljer i klimafremskrivningene vil mange av de skisserte effekter og tiltak være de samme selv om tidshorisont og virkningsgrad kan bli noe forskjellig.

1. Økt CO2- nivå

Den forventede økningen av CO_2 -innholdet i atmosfæren kommer enten til å påvirke plantenes vekst direkte (fotosyntese) eller indirekte via klimaeffekter (for eksempel oppvarming). En av effektene av økt CO_2 -konsentrasjon vil være en effektivisert utnytting av både innstråling, vann og nitrogen (Olesen and Bindi 2002). CO_2 er en nøkkelfaktor i fotosyntesen. En dobling av CO_2-nivået kan øke biomasseproduksjonen for noen av de mest relevante jordbruksvekstene med om lag 10-30 % (Olesen 2014; Sæbø and Mortensen 1995, 1996), grunnet en mer effektiv karbonfangst. I Norge vil trolig lave temperaturer begrense CO_2 -responsen. CO_2-konsentrasjonen kan også påvirke kvaliteten på planteprodukter. Når karbonfangsten stimuleres akkumuleres karbon i form av karbohydrater i plantene. Denne økningen i biomasseproduksjon kan også ha negative konsekvenser for mat- og fôrkvalitet, som et resultat av at proteinkonsentrasjon reduseres.

2. Økt temperatur

I Norge er det hovedsakelig lav temperatur og mye nedbør som gir en kortere vekstsesong og dermed begrenser korndyrkinga. Konkret resulterer dette i relativt lavt avlingsnivå og høye driftskostnader sammenliknet med andre europeiske land. Årsmiddeltemperaturen i Norge forventes å øke med ca. 2°C fram til året 2060. Fremskrivningene viser størst temperaturøkning om vinteren, og minst om sommeren. Sannsynlig endring av årsmiddeltemperatur er ganske lik for de to hovedområdene for korndyrking, Trøndelag og Østlandet. Beregningene viser en økning i vintertemperaturen med 2,1°C (begge stedene), og sommertemperaturen med 0,9°C på Østlandet og 1,2°C i Trøndelag (Hansen-Bauer et al. 2015).

En viktig konsekvens av temperaturøkningen er at den meteorologiske vekstsesongen (antall døgn med middeltemperatur over 5 °C) vil bli betydelig lengre enn idag. Beregningene viser at mot slutten av århunderet kan det forventes en økning i vekstsesongen på inntil to måneder, både i sentrale deler av Østlandet og i kystnære strøk (Hansen-Bauer et al. 2015). En forlenget vekstsesong vil føre til at potensielt produksjonsareal for korn utvides. Det kan bli mulighet for tidligere såing om våren, tidligere modning og

innhøsting. Eventuelt kan lengre vekstsesong utnyttes til dyrking av arter/sorter som modner seinere og har høyere avlingspotensial.

En konsekvens av klimaendringen er økt frekvens av perioder med ekstrem varme. Temperatur er en styrende faktor for planter, og påvirker varigheten av de ulike stadier i plantenes utvikling (for eksempel vegetativ fase, blomstring og modning). Temperaturen påvirker også effektiviteten av plantenes vekst (energifangst, -konvertering og – lagring), samt vanntilgangen til planten (gjennom evapotranspirasjon).

Kornplantenes veksthastighet øker, og den fenologiske utviklingen går raskere ved høyere temperaturer. Dette gjør at varigheten av de ulike utviklingsfaser blir kortere, dette kan gi avlingsreduksjon. En aktuell tilpasning, for å hindre at økt temperatur gir redusert avling, er å dyrke kornsorter som bruker høyere temperatursum fra spiring til aksskyting og/eller utnytte andre sortsforskjeller i temperatur-respons.

Tidspunktet for høyere temperaturer vil ha betydning for effekten på vekst og avling. Blomstring er en sensitiv fase for mange vekster. Høye temperaturer i denne fasen kan resultere i en reduksjon i antall frø per plante og frøstørrelsen, samt økt sterilitet. Forsøk (Peltonen-Sainio et al. 2010) viser at 3°C økt temperatur i kornfyllingsfasen kan redusere avlingene med 7 %, grunnet kortere kornfyllingsfase.

Temperaturendringene er forventet å forlenge høstperioden, og perioden for såing av høstkorn. Økt arealandel med høstkorn, som har et høyere avlingspotensial enn vårkorn, av det totale kornarealet, vil øke den totale kornproduksjonen. Et endret klima vil imidlertid kunne gi noen nye utfordringer for vinteroverlevelsen av høstkorn. Synkende temperaturer om høsten er et viktig signal for kornplantene om at de må starte en rekke fysiologiske tilpasninger (herding), som gjør det mulig å overleve vinteren. Varmere vær på høsten kan bety kortere herdingsperioder for planter, noe som kan føre til redusert frosttoleranse. En høyere temperatur gjennom vinteren kan øke plantenes ånding slik at de forbruker en større del av opplagsnæringen. Dette kan gi dårligere overvintring og svekkede planter/ plantebestand på våren. I tillegg vil høyere temperaturer i områder der man tidligere hadde stabile snøforhold øke risikoen for isdekke som reduserer lufttilgangen til plantene og dermed økt risiko for at planter kveles.

Plantestress knyttet til langvarig lav temperatur forventes å minske i fremtiden. Økt temperatur vil føre til at snødekke oppstår seinere og at snøsmelting skjer tidligere, dermed reduseres antall dager med sammenhengende snødekke. Kortere varighet av eller mangel på snødekke vil gjøre høstkorn mer utsatt for temperatursvingninger.

3. Endret nedbørsmengde og intensitet

Klimaendringene vil føre til betydelige endringer i nedbørsmengdene (Hansen-Bauer et al. 2015). I gjennomsnitt for Norge beregnes årsnedbøren å øke med 8 % innen slutten av århundret, men det oppgis stor variasjon mellom landsdeler. Det er også varslet stor variasjon mellom årstider. Økningen (fram til 2060) blir sannsynligvis ganske lik i Trøndelag (8 %) og på Østlandet (6 %). For Østlandet er det varslet størst økning om vinteren (9 %) og om våren (14 %) mens i Trøndelag blir forandringen størst om sommeren (10 %) og høsten (14 %) (Hansen-Bauer et al. 2015). Det er varslet en endring i antall dager med kraftig

nedbør som varierer fra 26 % økning på Østlandet til om lag 40 % i Trøndelag. Antall dager med kraftig nedbør blir flest om vinteren på Østlandet og om høsten i Trøndelag (Hansen-Bauer et al. 2015).

For kornplantene kan for mye vann være like skadelig som tørke. Rotvekst og -utvikling, og dermed plantevekst i sin helhet er avhengig av god luftveksling i rotsonen. Under vannmettet tilstand er røttenes oksygentilgang i jorda begrenset. Skadeomfanget er bl.a. avhengig av varigheten av vannmetning, temperaturforholdene og plantens utviklingsstadium når vannmetning oppstår (Setter and Waters 2003). Skaden som følge av vannmetning er ofte størst når kornplantene er små. Skadene blir generelt større om sommeren når temperaturen er høy (plantenes aktivitet og oksygenbehovet er størst) enn om høsten og vinteren når temperaturen er lav og oksygenbehovet til ånding er mindre. Jordpakking kan føre til redusert infiltrasjon og dermed vannmetningsskader. Risikoen for skader på plantene er bl.a. avhengig av nedbørsmengder, dreneringstilstand og jordas vannledningsevne og ikke minst toleranse hos kornsorter mot perioder med vannmetning. Havre er den kornarten som tåler vannmetning lengst, mens bygg er den som er mest følsom for vannmetning.

For korndyrkingen er ikke bare nedbørmengde og intensitet av interesse, men også hyppigheten og fordelingen innen vekstsesongen. Antallet nedbørsfrie dager på rad har for eksempel stor betydning for mulighetene til feltarbeid (jordarbeiding, såing, gjødselspredning og høsting). Det er stor usikkerhet med hensyn til tørkeperiodenes lengde i fremtiden, men det kan gås ut fra at antall dager med lagelig forhold til både jordarbeiding og innhøsting reduseres når det fremskrives større nedbørsmengder både vår og høst i kornområdene. Vi har sett at antall dager som har laglige jord for jordarbeiding og såing på våren varierer mye mellom sesongene. Allerede i dag er imidlertid tørkeperiodene kortere og det faller mer regn om høsten enn under tidligere klimanormaler, slik at det er vanskeligere å utføre tresking under gunstige forhold. I hvilken grad de positive effektene av en lengre vekstsesong kan realiseres er avhengig av hvordan nedbørsforholdene blir.

TILPASNINGER

Begrepet tilpasningskapasitet refererer til mulighetene for å håndtere klimaendringene gjennom å (a) redusere mulige skader, (b) profitere på mulighetene og/ eller (c) håndtere konsekvensene (Reidsma et al. 2010). Tilpasninger inkluderer en rekke punkter (agronomisk, teknisk, økonomisk) som varierer både geografisk og mellom gårdsbrukene og inkluderer vekselvirkningen mellom forskjellige aktører (gårdbrukere, sekundær sektor og politikk). Effekten av klimaendring og tiltak på regions-/gårdsnivå er bl.a. avhengig av gårdsstørrelse, driftsform, driftsintensitet (Reidsma et al. 2010).

Ingen av tilpasningsstrategiene vil derfor passe for alle regioner og gårdsbruk. Tilpasninger som gjøres kan på sikt begrense negative og forsterke positive effekter av klimaendringen. I mange tilfeller vil økonomiske og politiske rammebetingelser være avgjørende for om tiltak settes i gang eller ikke. Det finnes en del samfunnspolitiske, økonomiske og/ eller teknologiske forhold som spiller inn og som har konsekvenser for og/eller vekselvirkning med de agronomiske tiltakene. I dette notatet er det valgt å fokusere hovedsakelig på agronomiske tiltak og tilpasninger. Andre mulige tilpasninger er ikke behandlet i dybden. De fleste

agronomiske tilpasninger inkluderer både tiltak på kort og lang sikt. Denne inndelingen er ikke absolutt, mange av tiltakene på kort sikt vil beholde sin betydning også i et lengre tidsperspektiv.

1. Tilpasninger på kort sikt

Umiddelbare tilpasninger til klimaendringene inkluderer tiltak for å optimalisere produksjonen uten store systemendringer. Her kan det hentes mye erfaring fra andre land og andre produksjoner, slik at disse tilpasningene kan utvikles og tas i bruk uten å involvere andre aktører (for eksempel politikk) i stor grad. Mange av disse tilpasningene kan iverksettes umiddelbart uavhengig av klimaendring. I mange tilfeller kan det være potensial for høyere avlinger, forbedret driftsresultat og redusert miljøpåvirkning.

Landbruket er i kontinuerlig utvikling. Klimaendringer, variasjon i vær- og vekstforhold, den krevende økonomiske situasjonen i norsk kornproduksjonen og miljøregelverket gjør at gårdbrukere fortløpende må tilpasse seg. Tilpasninger og tiltak bør planlegges i et helhetlig perspektiv, da ikke bare enkeltfaktorer justeres, men hele driftssystemet forandres.

Jordarbeiding og erosjon

Jordarbeiding er viktig for å løse opp jorda, kontrollere ugras og innarbeide både planterester og husdyrgjødsel. Jordarbeiding påvirker jordstrukturen og har effekt på rotvekst, vanninfiltrasjon og mulighetene for lagring av vann og næringsstoffer. Redusert jordarbeiding kan øke jordstabiliteten, men også andre tiltak som fører til bedre aggregering og vanninfiltrasjon som f.eks. grøfting, kalking eller tilførsel av organisk materiale, kan forbedre jordstrukturen. Derfor er slike tiltak viktig for å kunne håndtere økte nedbørsmengder og mer ekstrem nedbør. Jordarbeiding medfører store kostnader (drivstoff, arbeid), krever maskin- og redskapskapasitet og er avgjørende for plantenes vekstvilkår. De lokale forholdene, på det enkelte bruk, er avgjørende for valg av hensiktsmessig type jordarbeiding. Under erosjonsutsatte forhold, spesielt ved høy høst- og/ eller vårnedbør og milde vintre med delvis tint jord, bør halmen beholdes og jorda kun bearbeides om våren.

Områder og jord som er utsatt for forsommertørke bør ikke pløyes om våren. Pløying gir økt overflateareal, bryter den kapillære vannledningsevnen og dermed blir jorda mer utsatt for uttørking. Redusert jordarbeiding kan hjelpe til å konservere vanninnhold i jorda. Steder der en har problemer med hjulspor, pakkeskader og/ eller tette jordlag bør pløyes for å løse opp jorda. Pløying innarbeider halm og andre planterester, og reduserer ugras- og *Fusarium*-problemer (Hofgaard et al. 2012). I mange tilfeller er vårpløying like effektivt med hensyn til ønskede effekter sammenlignet med høstpløying, men mer miljøvennlig enn høstpløying der erosjon er et problem. Ved redusert jordarbeiding, så er det viktig med effektive planteverntiltak, for å unngå problemer med ugras og plantesykdommer. Behovet for jordarbeiding, redusert jordarbeiding versus pløying, varierer fra sesong til sesong.

Dersom høstkornet såes tidlig på høsten er sjansen større for at det etableres et plantedekke som kan gi erosjonsbeskyttelse, enn om høstkornet såes seint på høsten. Dersom det blir mer nedbør om høsten, og det kommer kraftig nedbør før plantedekket er etablert, vil erosjonsrisikoen forbundet med høstkorndyrking generelt øke. Hvilke arealer som benyttes til høstkorn og tidspunktet for etablering vil ha

betydning for erosjonsrisikoen. Også andre tiltak i jordbrukslandskapet, grasdekte vannveier og/ eller fangvekster, vil ha betydning for risikovurderingen.

Jordarbeiding har stor effekt på erosjon, siden både tidspunkt og jordarbeidingsmetode (pløying, harving, direktesåing) avgjør plassering av planterestene. Det er spesielt kombinasjonen av høstpløying og vårsådde vekster som øker risikoen for erosjon og overflateavrenning, dette fordi jorda ligger udekket ved avrenningsepisoder om høsten og i snøsmeltingen (Børresen and Riley 2003). Redusert jordarbeiding er fremmet som et effektivt tiltak mot erosjon, siden det bevares en høy andel planterester på jordoverflaten (Lundekvam 2007). Riktig halmbehandling om høsten er avgjørende for å utnytte halmen (næring, beskyttelse mot erosjon) og for å redusere de negative effektene, som for eksempel faren for problemer under såing og planteetablering, samt overvintringssykdommer. Halmen bør kuttes kort og spres jevnt uavhengig av påfølgende jordarbeidingsoperasjonen.

Jordpakking, jordas vanninnhold og kjøretidspunkt

Ønske om økt produktivitet/ kapasitet fører til bruk av større maskiner som kan føre til betydelige pakkeskader, spesielt i dypere jordlag (Hamza and Anderson 2005). Skadene i dypere jordlag kan ikke rettes opp gjennom naturlige prosesser og kan derfor permanent redusere arealproduktiviteten og forårsake økte kostnader (Håkansson and Reeder 1994; Lebert et al. 2004; Voorhees 2000). Jordas bæreevne er svakest når jorda er fuktig, kjøring på for fuktig jord bør derfor absolutt unngås.

Tidspunkt for kjøring og maskinkapasitet

Hvordan tidspunktet for jordarbeiding, både vår og høst, vil påvirkes av klimaendringer er vanskelig å forutsi. På den ene sida kan trenden mot tidligere snøsmelting/telegang gi muligheter for tidligere opptørking og flere laglige jordarbeidingsdager som kan bidra til tidligere såing om våren. På den andre sida kan økt nedbør om våren/ høsten føre til ugunstige fuktighetsforhold og dermed begrense antall dager med laglige forhold for jordarbeiding. Dersom vinduet med lagelige forhold blir mindre trengs det større kapasitet både om våren (jordarbeiding, såing) og om høsten (tresking, jordarbeiding, såing). Tilstrekkelig maskinkapasitet gjør det mulig å gjøre arbeidet ved et gunstig tidspunkt. Dette bidrar til god planteetablering og reduserer faren for jordpakking og kvalitetstap på grunn av sein innhøsting.

Maskinstørrelse og -kapasitet må tilpasses driftsformen på gården. For eksempel gjør større treskerkapasitet og større avlinger det nødvendig med tilpasset lager-/ og tørkekapasitet, både på gårdene men også på kornmottakene, for å kunne utnytte treskernes potensial. Større areal med høstkorn, slik det forventes, vil redusere arbeidsbehovet om våren. Det vil dermed trolig også redusere behovet for stor og kostbar maskinkapasitet. Større kapasitet koster penger, så her må det tas en avgjørelse om hva som koster mest, maskinkapasitet eller kvalitetstap/ jordpakking.

Økt fare for avlingssvikt, på grunn av mer ekstremvær og anspent situasjon på verdensmarkedet, gjør det relevant å vurdere behovet for større lagringskapasitet i Norge for å kunne håndtere krisesituasjoner og bidra til matsikkerhet.

Tiltak mot jordpakking

Det er en utfordring å gjøre feltarbeidet til riktig tidspunkt og samtidig forebygge skader på jordstrukturen. Bedre planlegging av arbeidet med hensyn til både kjøretidspunkt og antall kjøringer, bruk av lettere maskiner eller kun deler av lastekapasiteten (Alakukku et al. 2003) og unngå kjøring på de fuktigste plassene vil forebygge skader. Videre vil tekniske faktorer som redusert maskinvekt, lavt lufttrykk og brede dekk (Brandhuber 2008; Sommer et al. 2002), være viktige bidrag for å ivareta jordstrukturen.

Organisk materiale

Organisk materiale er viktig for jordas produksjonsevne og effektiv utnyttelse av innsatsfaktorene (f.eks. plantenæring) (Lal 2013a). Mengden og sammensetningen av det organiske materialet i jorda påvirker jordas evne til å lagre vann og næringsstoffer. Årsaken til dette er blant annet den positive effekten som organisk materiale har på aggregatstabiliteten og dermed jordstrukturen, samt på biologiske prosesser i jorda. Nedbryting av organisk materiale er avhengig av både temperatur og CO_2-konsentrasjon. Høyere temperatur fører til raskere nedbryting av organisk materiale og dermed redusert jordfruktbarhet som kan ha negative avlingseffekter. Samtidig vil økt CO_2- innhold i lufta øke planteproduktiviteten og dermed føre til høyere innhold av organisk materiale i jorda. Økt nedbrytning kan føre til større CO_2-utslipp og dermed en fare for økt oppvarming av atmosfæren. Bevaring av jordas karboninnhold bidrar derfor til å opprettholde jordas fruktbarhet.

Vekstskifte

Vekstskifte, veksling mellom ulike plantearter på et skifte, er et viktig, men ofte undervurdert, jordforbedrings- og planteverntiltak i korndyrkinga. Et godt gjennomført vekstskifte har positiv effekt på både avlinger og kvalitet, og dermed økonomi. Dette skyldes hovedsakelig redusert sjukdomssmitte, og forbedret næringstilgang og jordstruktur. Andre arter enn korn i et omløp kan også være gunstig for å redusere ugras- og skadedyrproblemer. Et godt vekstskifte vil også kunne øke moldinnholdet og stimulere den mikrobiologiske aktiviteten i jorda.

Valget av vekstene i et vekstskifte bør ikke bare skje med kortsiktig fokus på dekningsbidrag og lønnsomhet, men bør også baseres på mer langsiktige agronomiske og økonomiske vurderinger. Mulighetene for gode vekstskifter i korndyrkinga i Norge er relativt begrenset og varierer med tilgjengelig veksttid, jordart og med markedssituasjon og leveringsmuligheter. Lengre vekstsesong vil øke valgmulighetene av arter som kan veksles med korn. Skal en ha gode vekstskifter uten å investere mye i nye maskiner, er de mest aktuelle vekstene for de fleste kornprodusentene oljevekster, erter og åkerbønner. Havre har også stor verdi i vekstskifter med mye bygg og hvete, fordi havre har få felles skadegjørere med bygg og hvete. For noen er det aktuelt å dyrke gras- og kløverfrø. Flerårig eng, poteter og grønnsaker er gode vekselvekster. For de som selv ikke ønsker å drive så allsidig, kan jordbytte være en gunstig ordning for begge parter.

Variert vekstskifte med ulike vekster, men også med høst- og vårkorn kan optimalisere jordarbeidingen, fordele arbeidet på gården bedre og dermed dempe de mest krevende arbeidstoppene. Det kan videre

være erfaringer med variert vekstskifte fra økologisk landbruk og fra allsidige gårder/områder innen konvensjonell dyrking, som det kan dras nytte av.

Gjødsling

Tilpasset gjødsling er viktig for avling, produktkvalitet, økonomi og miljø. Lengre vekstsesong, endring i nedbørsforhold og dyrking av nye arter/sorter vil skape behov for videreutvikling av gjødslingsstrategier. Det kan dreie seg om nye eller videreutviklede gjødseltyper, justering av gjødslingstidspunkt, annen fordeling av gjødselmengder mellom gjødslingstidspunkt, justering av normer/anbefalinger og optimalisering av gjødselplassering for å øke næringsstoffutnyttelsen. Videreutvikling og mer bruk av presisjonsgjødsling for å tilpasse gjødslinga til behovet, også innenfor skifter, er også noe som bør prioriteres. For mer informasjon, se NIBIO sitt notat i forbindelse med bestillingen «Gjødsling i jordbruket».

Plantevern

Planteskadegjørere er som kulturplantene utsatt for klimaendring med ulike konsekvenser for jordbruk. En del ugrasarter, plantepatogener og skadeinsekter vil spre seg fra sørlige land til nordlige områder, mens andre vil kunne utnytte en lengre vekstsesong og oppformere seg raskere enn før. Skadedyr og sykdommer følger kulturplantene, derfor kan en endring i plantebestanden føre til en forandring i forekomsten av sykdommene og muligens nye vert- parasitt interaksjoner. Høyere CO_2 konsentrasjon kan påvirke både plantesykdommer og ugras. I tillegg påvirkes virkningsgraden av plantevernmidler av miljørelaterte faktorer som temperatur, nedbør og vind, det kan være både positive og negative utslag på effektiviteten (Olesen and Bindi 2002). En lengre vekstsesong og større angrep av skadegjørere kan medføre behov for bruk av mer plantevernmidler. Klimaendringene krever derfor optimalisering av plantevernstrategiene, både i forhold til midlene, bruksmåte og brukstidspunktet. Det er innført krav om bruk av integrert plantevern (IPM) for å redusere de negative miljøkonsekvensene, fare for resistensdannelse og kostnadene av økt bruk av plantevernmidler. Endret klima vil kunne gjøre det enda viktigere å redusere jordarbeiding og innsats av plantevernmidler for å ta hensyn til miljø- og erosjonsfare. Hensiktsmessig vekstskifte og robuste, konkurransedyktige og resistente kulturplanter vil i så fall få økt betydning framover. Utfordringer på plantvernsiden bør møtes med større satsning på utvikling og implementering av alternativer til kjemisk bekjempelse som kjemisk-økologiske metoder (f. eks. massefangst med luktfeller), biologisk bekjempelse (naturlige fiender, biopesticider), termiske og mekaniske metoder. Samtidig må en utnytte kjemiske metoder og veksle på midler for å hindre resistens. Mer detaljert informasjon om plantevern og klimaendringer finnes i NIBIO sitt notat i forbindelse med bestillingen «Plantehelse og skoghelse».

Presisjonsjordbruk

Presisjonsjordbruk defineres som bruk av avansert teknologi for å tilpasse behandlingen av jord og planter til variasjonene innenfor det enkelte skiftet. Ved bruk av denne teknikken kan en håndtere utfordringen med at vekstforholdene og behovet for innsatsfaktorer varierer over små avstander. Tilpasset behandling vil være et viktig tiltak for å realisere potensialet for økt produksjon under et endret klima. Presisjonsjordbruk kan være et verktøy for å sikre økt utnyttelse av innsatsfaktorene, som betyr et

gevinstpotensial i forhold til avlingsmengde, produktkvalitet, miljø og økonomi. Slik teknologi brukes i økende grad også i Norge, men er fortsatt relativt lite utbredt, mest på grunn av investeringskostnadene.

Beslutningsverktøy

Gårdbrukerens kompetanse og/eller muligheten til å innhente råd er nøkkelen til å iverksette nødvendige agronomiske tiltak og forandringer. Betydelig satsing på forskning og rådgiving framover er en forutsetning for å bidra til en ønsket utvikling. Gjødslings-, jordarbeidings- og plantevernstrategier må kontinuerlig oppdateres for å tilpasses gjeldende forutsetninger. Utvikling av nye og videreutvikling av eksisterende varslings- og beslutningsstøttemodeller er viktig for å gi gårdbrukere gode verktøy til hjelp for å ta dyrkingstekniske beslutninger. Eksempler på dette er innen plantevern (VIPS), gjødsling (Nitrogenstatus) og fare for jordpakking (Terranimo). Det er viktig at gårdbrukere får tilgang til slike verktøy og at de er brukervennlige. Alternative formidlingskanaler, som video, internett og sosiale medier, har også et stort potensial.

Mange av de skisserte tilpasninger inkluderer også mer langvarige komponenter og må kontinuerlig oppdateres basert på nye erfaringer. Forskning har en viktig oppgave knyttet til å forbedre og videreutvikle de nevnte metodene.

LANGSIKTIGE TILPASNINGER

De fleste langsiktige tilpasninger til klimaendringene krever større endringer i dagens dyrkningssystemer og må ofte kombineres med samfunnspolitiske forandringer og forandringer i regelverket. Noen tiltak bør settes i gang allerede nå for å holde følge med utviklingen og tilpasse seg utfordringene som kommer.

Jordvern

Hvert år omdisponeres ca. 11.000 daa til andre formål (for eksempel utbygging av veier) (SLF, 2013). Det er nødvendig at irreversible inngrep vurderes nøye opp mot behovet for framtidig matproduksjon. Dette er særdeles viktig i Norge som har et svært lavt dyrket areal per innbygger og en relativt raskt økende befolkning.

Nydyrking

Nydyrking må vurderes kritisk i forhold til fare for negative miljøkonsekvenser. Dersom det skal dyrkes opp areal, bør dette skje strategisk med hensyn til arrondering (mekanisering, transportavstand) og framtidig arealbruk.

Arter/ Sorter

Målrettet kornforedling er nødvendig for å sikre kornsorter som er tilpasset klimaendringene. Det tar minst 10 år fra man starter foredling av en ny sort, til den kan tas i bruk. Det er viktig med utvikling og bruk av tilpassede kornsorter for å kunne (a) utnytte potensialet av en lengre vekstsesong og økt CO_2-konsentrasjon, (b) synkronisere veksten slik at plantenes utvikling (for eksempel kornfyllingen) skjer under

optimale forhold og (c) unngå avlingssvikt som skyldes sortsmateriale som ikke er tilpasset. Forandringer i nedbørsfordeling gjør det nødvendig med sorter som har robust og kraftig rotsystem og rotvekst for å utnytte vekstpotensialet bedre og være sterkere mot både tørke og vannmettet jord. I tillegg bør nye sorter ideelt sett tåle forsommertørke, fuktige forhold om våren, om sommeren og høsten, og være tolerante mot perioder med ekstremnedbør. Nye sorter bør også være tilpasset en endret sopp- og skadedyrsituasjon. Mer ekstremt vær øker faren for legde og det blir enda viktigere med korte, stråstive sorter og økt spiretreghet for å unngå groskader.

Generelt kan det forventes at store deler av de norske kornområdene får vekstvilkår som likner mer vilkårene på kontinentet og noe av sortsmaterialet derfra bør kunne brukes.

Drenering

I Norge er om lag 60 % av den dyrka jorda avhengig av kunstig drenering (Hoel et al. 2013). Dårlig grøftetilstand fører til seinere og ujevn opptørking. Dette fører til redusert bæreevne og fare for pakkeskader. Luftvekslingen er redusert i vannmettet jord. Konsekvensen er lavt avlingsnivå på grunn av dårlig rotvekst, redusert næringsopptak, redusert nitrogeneffektivitet og dårlig plantevekst. I vannmettet jord omdannes nitrogen gjennom denitrifikasjon til N_2O (lystgass). Det er uheldig både for klimaet og for utnyttelsen av N til plantevekst. Seinere opptørking reduserer antall dager det er mulig å gjøre våronn, og kan gi forsinket såtid. Utsatt såtid fører som regel til redusert avling. Forsøk viser at grøfting kan føre til 15 % avlingsøkning og med økende nedbørsmengder kan det forventes at avlingsutslaget blir enda større i framtida (Øygarden et al. 2009).

Drenering er et kostbart tiltak, men et vinn- vinn tiltak i forhold til både produksjon og miljø. Det er et betydelig etterslep med hensyn til oppgradering av grøftetilstand, gamle grøftesystemer må vedlikeholdes og fornyes fortløpende. Dimensjonering er viktig i forhold til økte nedbørsmengder.

Rammebetingelser

I hvilken grad de ulike tiltak og tilpasninger blir iverksatt vil avhenge av dyrkernes motivasjon til å gjøre endringer og investeringer. Motivasjonen avhenger igjen av økonomisk gevinstpotensial knyttet til de enkelte tiltak og om dyrkerne sin vurdering av framtidas rammebetingelser preges av optimisme eller pessimisme. En må forvente at tilpasninger som innebærer lave investeringer og har stort potensial for rask realisering av økonomisk gevinst blir iverksatt først. Mens motivasjonen vil være betydelig mindre for å gjennomføre tiltak som innebærer store investeringer og har et usikkert og/eller langsiktig lønnsomhetspotensial. En sentral faktor i dette bildet vil være både gjeldende rammebetingelser og sannsynlige rammebetingelser framover. Landbrukspolitiske målsettinger og virkemidler på kort og langs sikt er et nøkkeltema i denne sammenheng.

KUNNSKAPSSTATUS

Tidligere og igangværende forskning, nasjonalt og internasjonalt, bidrar med betydelig kunnskap om relevante problemstillinger. For å håndtere store utfordringer knyttet til naturgitte forutsetninger i endring trengs imidlertid en kraftig styrking av forskningen framover.

Kunnskap i dag

I det følgende presenteres en kortfattet sammenstilling av kunnskapsstatus og et utvalg av relevante, tidligere og igangværende, prosjekter/satsinger.

Agropro

I det tverrvitenskapelige forskningsprosjektet AGROPRO er målet å undersøke muligheter og begrensninger for at forbedret agronomisk praksis kan bidra til økt og bærekraftig matproduksjon i Norge. Prosjektet involverer en rekke aktører fra forskningsinstitutter, næringsliv og rådgivning. Prosjektet foregår i perioden 2013- 2017. Prosjektet består av fem forskjellige arbeidspakker som omfatter studier av agronomisk praksis, økonomi og sosiokulturelle og strukturelle faktorer.

Verdiprøving, korn

På oppdrag fra Mattilsynet gjennomfører NIBIO verdiprøving av kornsorter innen bygg, havre, vår- og høsthvete. Sorter testes og sammenlignes i forhold til avling, kvalitet og dyrkingstekniske egenskaper. Forsøksfeltene er lokalisert til de viktigste korndyrkingsområdene. Resultatene gir grunnlag for hvilke sorter som godkjennes for norsk sortsliste. Dette opplegget gjør at sortene blir testet ved ulike geografiske forhold og under de gjeldende vekstforhold i den enkelte vekstsesong. De økonomiske rammene gir kun grunnlag for et begrenset antall felt, og disse legges oftest på jord i god hevd som har gunstige vekstbetingelser.

Hvetekvalitet

Hovedmålet for dette prosjektet er å fremskaffe kunnskap for å gjøre effektive tiltak som gir god kvalitet og høy matkornandel også under utfordrende værforhold, og som kan bidra til å nå nasjonale mål om økt matproduksjon. Prosjektet skal:

- Kartlegge hvetekvaliteten i årets hvete, og utarbeide prognoser som industrien kan bruke i sin produksjonsplanlegging for ny sesong og for å oppnå en god utnyttelse av norsk hvete.
- Undersøke om bruk av ny teknologi, som stedsspesifikk gjødslingsteknologi med bruk av Yara N sensor, bidrar til et mer optimalt og stabilt proteininnhold.
- Studere om forekomst av mikroorganismer (med særlig fokus på Fusarium) kan gi dårligere glutenkvalitet.

- Undersøke om proteaser dannet fra mikroorganiser kan gi nedbrytning av glutenprotein og dermed forringe kvaliteten. Identifisere hvilke proteaser dette kan være og evt. korresponderende proteaseinhibitorer.

Jordpakkingsforsøkene

I 2011 ble det etablert et pakkeforsøk på Øsaker (Sarpsborg) da både pløyd og upøyd areal (leirjord) ble overkjørt (1x/ 10x) med to ulike traktor- gjødselvogn kombinasjoner (16t og 36t totalvekt). Prosjektet er et samarbeidsprosjekt mellom NIBIO, Christian-Albrechts-Universität Kiel, NLR Sør Øst og NMBU. Målet med forsøket var å kartlegge bæreevnen av jorda under pløying og redusert jordarbeiding og å studere effekten av jordpakking på byggavling over flere år

Forsøksfeltet er fortsatt intakt og det skal tas nye jordprøver i 2016 for å kunne undersøke hvordan effekten på de påviste skadene fra 2011 er påvirket av jordarbeiding, planterøtter og frost. I 2015 så ble det etablert et tilsvarende pakkeforsøk i Solør på siltjord. Denne gangen ble det brukt transportutstyr på 12,5t og 17t. Dette forsøket er en del av Agropro.

MACSUR

«Modelling European Agriculture with Climate Change for Food Security» er et europeisk prosjekt som ble satt i gang for å studere usikkerheten knyttet til hvordan fremtidige klimaendringer vil virke inn på matproduksjon og matsikkerhet og hvilke tilpasninger som er nødvendige dette. Hovedmålet for prosjektet er å utvikle og anvende modeller til å vurdere risikoer og undersøke hvilke effekter klimaendringer kan ha for europeisk landbruk. 73 partnerinstitusjoner fra 17 land deltar i det europeiske forskningssamarbeidet. Det er et mål at forskere med bakgrunn fra ulike fagdisipliner skal gå sammen i et felles modelleringsmiljø for å studere effekter av et endret klima på landbruk og matproduksjon lokalt, regionalt og på europeisk nivå. Arbeidet er organisert i tre internasjonale nettverk; planteproduksjon (Crop), husdyrproduksjon (Livestock) og handel og økonomi (Trade). Fra Norge deltar NMBU og NIBIO i de tre nettverkene.

Sortsforedling - Graminor

Graminor driver egen sortsutvikling av bygg, havre og vårhvete for norske forhold. Sentrale kriterier for foredling og import av kornsorter er avlingsnivå, tidlig modning, stråstyrke, resistens mot sopp og andre sykdommer, næringsinnhold og andre kvalitetsegenskaper. For høstkorn er også overvinteringsevnen en viktig sortsegenskap. Tilgang til sorter som er tilpasset et endret klima vil være et svært viktig tilpasningstiltak for norsk jordbruk i fremtiden.

Dyrkingssystem - langvarige forsøk på Apelsvoll (NIBIO)

Forsøket med ulike dyrkingssystem ble anlagt på Apelsvoll i 1989, og er designet for å måle langsiktige effekter av ulike produksjoner og driftsintensiteter på avling og kvalitet, utvasking og avrenning av næringsstoffer, samt endringer av jordas kjemiske, fysiske og biologiske egenskaper. Forsøket består av 12 minigårder, der hver gård har et fireårig omløp der alle vekster dyrkes hvert år (hver gård har fire omløpsskifter). Til sammen er seks ulike dyrkingssystemer representert (to gjentak): Halvparten av

systemene har en husdyrløs åpen-åker produksjon med hovedvekt på korn, mens de resterende har en blandingsproduksjon av korn, melk og kjøtt (korn og eng i omløpet). I begge produksjonsgrupper er både økologisk og konvensjonell driftspraksis representert.

WINSUR

«Climate change effects on winter survival of perennial forage crops and winter wheat and on plant diseases and weed growth and control at high latitudes» (2004-2007) var et prosjekt der hovedmålet var å redusere usikkerheten knyttet til konsekvenser av klimaendringer for jordbruksvekster i Norge, samt å undersøke muligheter til å utnytte eventuelle positive konsekvenser av et endret klima. Prosjektet fokuserte på betydning av et endret klima på høsten for vekst, herding og overvintering av gras og høstkorn.

Møystad-feltet og langvarige jordarbeidingsfelt:

Det langvarige gjødslingsforsøket på Møystad ble anlagt i 1922 og er fortsatt i drift. Forsøket er dermed det eneste forsøket av slik varighet i Norge. I forsøket sammenlignes bruk av husdyrgjødsel med ulike kombinasjoner av N, P og K i mineralgjødsel. Omløpet på feltet består eng, korn og potet i omløpet. På åttitallet ble gjødslingsnivået i forsøket noe oppjustert for å være mer i tråd med dagens praksis. Langvarige forsøk med ulike jordarbeidingssystemer utføres både på NIBIO sin tidligere forskningsstasjon Kise på Hedemarken (lettleire), forsøket er avsluttet, og på NMBU sin tidligere forsøksgård Øsaker (stiv leirjord) i søndre Østfold. Alle forsøkene driftes med ulike kornomløp og i forsøkene inngår ulike jordarbeidingssystemer med og uten pløying.

I tillegg til kortvarige prosjekter er det viktig med langvarige forsøk. Disse forsøkene har stor verdi og gir unike muligheter for å studere langtidsvirkninger av forskjellige driftsforhold, klimaforhold og ulike dyrkingsmåter på avling, jordegenskaper og miljø.

I tillegg til de nevnte norske prosjektene finnes det relevant forskning i både Norden og internasjonalt. Selv om noen av erfaringene kan nyttes i Norge, er det også viktig med forsøk under de spesielle norske klima- og driftsforholdene.

2. Kunnskapshull

Prosjekter og undersøkelser baseres naturlig nok hovedsakelig på de gjeldende dyrkingsforhold, men klimaendringene vil gi kornproduksjonen og forskningen nye utfordringer med endringer i vekstforhold. Det vil være et behov for kunnskap som kan bidra til å dempe potensielle negative og forsterke potensielle positive effekter av et sannsynlig framtidig klima. Prosjekter framover bør derfor innrettes sånn at de kan gi svar på denne utfordringen.

I denne sammenheng vil mer bruk av forsøksfasiliteter der en kan styre temperatur og nedbør i retning av den utvikling en kan forvente at disse parameterne tar framover være aktuelt, det kan omfatte veksthus, klimakammer, tuneller osv. Når det gjelder feltforsøk vil det være relevant i en del sammenhenger at disse lokaliseres både til tradisjonelle kornområder og til områder som i dag har klima/vekstforhold som ligner på

det man kan forvente i kornområdene framover. Dette kan ivaretas både ved å bruke aktuelle lokaliteter innenlands og i andre land. Det er behov for en bærekraftig intensivering framover, det er derfor særlig viktig at forskningen har fokus på å finne vinn-vinn strategier/løsninger i forhold til avling, kvalitet, lønnsomhet og miljø.

Et utvalg av områder med forskningsbehov:

- Overvintring, sorter: Hvordan kan forventede klimaendringer påvirke overvintringen, og hvilke egenskaper knyttet til plantene/sortene må forbedres? Viktige stikkord er: Herding/avherding, vekstavslutning, respirasjon, isdekke, overgangen mellom vinter og vår.

- Overvintring, dyrkingspraksis: Hvordan kan dyrkingspraksisen tilpasses for å minske eller unngå vinterskader? Ny optimal såtid, tiltak mot biotiske skadegjører, hvordan redusere abiotiske påkjenninger? Tiltak for å redusere erosjonsfare i høstkorndyrking.

- Sortsforsøk: Nye foredlingsmål i sortsforedlingen og kunnskap knyttet til disse, utvidet sortsprøving av seinere sorter, økt fokus på høstkornarter.

- Kornforedling: Sorter som klarer å bevare kvaliteten bedre under ugunstige værforhold, f.eks. økt spiretreghet for å unngå groskader.

- Screeningforsøk for stressfaktorer: Økt fokus på toleranse mot abiotisk stress i sortsforedlingen, f.eks. vannmetning, tørkestress.

- Kartlegging: Studier av norske jordbruksvekster/ sorter, og hvordan de responderer på et endret klima. Samspill mellom forskjellige klimafaktorene, f. eks temperatur, CO_2, daglengde, ozon.

- Fysiologiske faktorer: Hvordan kan plantenes ytelse forbedres? Planteutvikling, avlings- og kvalitetskomponenter sin respons på økt temperatur. Tilpasning av vekstrytme for å utnytte en lengre vekstsesong.

- Bedre rotsystem/næringsopptak: Agronomi, tilpasninger og tiltak for å fremme robuste, effektive rotsystem.

- Vekstskifte: Betydning for jordstruktur, plantevern, næringsopptak, moldinnhold og mikrobiologisk aktivitet.

- Fangvekster som minsker erosjon, næringstap og løser pakket jord – valg av art, dyrkingsteknikk, sådatoer, såmengder

- Beslutningsstøtteverktøy som kobler informasjon om dreneringstilstand, laglighet, værdata og plantens toleranse til vannmetning for å kunne predikere risikoen for vannmetningsskader

- Økonomiske studier: Hvordan kan lønnsomheten forbedres? Hva skal til for at tiltakene iverksettes? Gevinstpotensial for ulike tiltak.
- Tekniske spørsmål: Nye redskaper/metoder/agronomi for å redusere erosjon, løse pakket jord, bekjempe ugras.
- Ressursutnytting: Hvordan kan hele kornplanten nyttes, bioenergi? Redusert matsvinn.
- Modellering: Simulering av korn i projisert fremtidig klima med plantevekstmodeller. Plantevekstmodeller kan parametriseres for eksisterende sorter og hypotetiske fremtidige sorter for å identifisere mål i kornforedlingen.
- Plantevern: Viser til egen bestilling av notat om dette temaet.
- Gjødsling/næringsforsyning: Viser til egen bestilling av notat om dette temaet.

OPPSUMMERING

For Norge vil klimaendringene mest sannsynlig ha en positiv sumeffekt på vekstvilkårene og gi muligheter for å øke kornproduksjonen. Dette er mest på grunn av økt gjennomsnittstemperatur, økt CO_2-konsentrasjon i atmosfæren og en lengre vekstsesong. På den annen side vil økt nedbør og mer ekstremvær i fremtiden bli utfordringer som må håndteres. Samtidig vil det være viktig å kunne håndtere nye typer sykdommer, insekter og ugras som kommer til å tilpasse seg et varmere klima. Videre kommer klimaendringene mest sannsynlig til å gi muligheter for en utvidelse av kornarealet i Norge. Dette kan skje ved at arealer lenger nord og oppover i høyden tas i bruk til korndyrking. Det er også et potensial knyttet til dyrking av korn på arealer som i dag brukes til andre vekster, samt at en del arealer som i dag er ute av produksjon kan tas i bruk igjen.

For å realisere potensialet for økt produksjon er det behov for agronomiske, tekniske og politiske tilpasninger og tiltak, både på kort og lang sikt. Utvikling og implementering av integrerte plantevernstrategier vil være nødvendig for å unngå et økt behov for plantevernmidler. Robuste sorter og tilpasset agronomi til et endret klima må også til for å kunne utnytte de nye klimatiske forholdene. I tillegg vil det være essensielt å implementere tiltak som minsker faren for jordpakking og jordtap. Det må være et mål å ivareta og videreutvikle produksjonskapasitet på jordressursene våre for fremtidige generasjoner. For å sikre nødvendig kunnskapsgrunnlag for å gjøre de rette tilpasninger og tiltak, er en betydelig styrket og vedvarende satsing på forskning, utvikling og rådgiving en forutsetning.

Norge importerer en stor andel av matvarene som konsumeres og er derfor avhengig av prisene og situasjonen på verdensmarkedet. Økende befolkning øker presset på verdensmarkedet. Samtidig er det forventet store utfordringer globalt i mange av de viktigste jordbruksområdene som følge av klimaendringer. I nasjoner der man forventer økt produksjonspotensial som følge av klimaendringen, bør det være et mål å gjøre tiltak og tilpasninger som bidrar til at dette økte potensialet utnyttes. Det vil være et viktig bidrag for å kompensere for avlingsnedgang andre steder i verden der klimaendringen slår negativt

ut (Chemnitz and Weigelt 2015; Aamaas 2014). Norge er blant de få land i verden der man forventer en positiv endring i klimatiske forhold, og Norge har et etisk ansvar for å utnytte sitt selvforsyningspotensial.

Som skissert i denne rapporten finnes det en rekke tilpasningsmuligheter for å minske de negative effektene av klimaforandringen og samtidig øke kornproduksjonen i Norge. Tilpasningene og tiltakene vil styrke landbrukets robusthet mot klimaendring. Flere av tiltakene bør settes i gang umiddelbart, uavhengig av klimaendringene. Samtidig er det avgjørende å etablere de langsiktige tilpasninger fortest mulig. Forventede klimaendringer i Norge, i kombinasjon med et høyt kompetansenivå i jordbruksnæringa, vil kunne gi nye muligheter for økt produksjon med lav miljøbelastning. Målet må være en bærekraftig økning av kornproduksjonen.

LITTERATUR

Alakukku, L., Weisskopf, P., Chamen, W.C.T., Tijink, F.G.J., van der Linden, J.P., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G. 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 1. Machine/soil interactions. Soil & Tillage Research 73, 145-160.

Arnoldussen, A.H., Forbord, M., Grønlund, A., Hillestad, M.E., Mittenzwei, K., Pettersen, I., Tufte, T. 2014. Økt matproduksjon på norske arealer, In: AS, A. (Ed.), Rapport 6-2014, Oslo.

Brandhuber, R., Demmel, M., Koch, H.J., Brunotte, J. 2008. Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen, In: DLG (Ed.), DLG Merkblatt. Bayerische Landesanstalt fuer Landwirtschaft (Lfl), pp. 1-18.

Børresen, T., Riley, H. 2003. The need and potential for conservation tillage in Norway, Proc.Int. Soil Tillage Res. Org. 16th Triennial Conference, Brisbane, 'Soil Management for Sustainability'. , Brisbane, Australia, pp. 190-195.

Chemnitz, C., Weigelt, J. 2015. Bodenatlas. Daten und Fakten ueber Acker, Land und Erde, In: BUND, H.B.S., Le Monde diplomatique (Ed.). Bund fuer Umwelt und Naturschutz, Berlin, germany, p. 50.

Hamza, M.A., Anderson, W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems - A review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research 82, 121-145.

Hansen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandbø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. 2015. Klima i Norge 2100, In: NCCS, N.k. (Ed.), NCCS report 2/2015, p. 204.

Hoel, B., Abrahamsen, U., Strand, E., Åssveen, M., Stabbetorp, H. 2013. Tiltak for å forbedre avlingsutviklingen i norsk kornproduksjon, In: Bioforsk (Ed.), Biofrosk rapport p. 95.

Hofgaard, I.S., Seehusen, T., Abrahamsen, U., Razzaghian, J., Le, V.H., Elen, O., Strand, E., Brodal, G. 2012. Impact of agricultural practices on mykotoxin contamination of oats and spring wheat in Norway, 7th conference of the World mycotoxin forum and XIIITh IUPAC international symp., Rotterdam, Netherlands.

Håkansson, I., Reeder, R.C. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. Soil & Tillage Research 29, 277-304.

Lebert, M., Brunotte, J., Sommer, C. 2004. Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schaedlichen Bodenveraenderung. entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Boeden/ Regelung zur Gefahrenabwehr, 46-04 ed. Umweltbundesamt.

Lundekvam, H.E. 2007. Plot studies and modelling of hydrology and erosion in southeast Norway. Catena 71, 200-209.

Olesen, J.E. 2014. Agricultural crops, In: Olesen, J.E., Astthorsson, A., Bragason, A., Jarp, J., Kristofersson, D.W., Mielikäinen, K., Oddsson, G., Stokseth, A. (Eds.), Climate change and primary industries: Impacts, adaptation and mitigation in the Nordic countries. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.

Olesen, J.E., Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and plolicy. European Journal of Agronomy 16, 239-262.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J.E., VCalanca, P., Eckersten, H., Eitzinger, J., Gobin, A., Kersebaum, K.C., Kozyra, J., Kumar, S., Marta, A.D., Micale, F., Schaap, B., Seguin, B., Skjelvåg, A.O., Orlandini,

S. 2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment 139, 483-4889.

Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, O.A., Leemans, R. 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agricultur: The importance of farm level responses. European Journal of Agronomy 32, 91-102.

Setter, T.L., Waters, I. 2003. Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. Plant Soil 253, 1-34.

Sommer, C., Brandhuber, R., Brunotte, J., Buchner, W. 2002. Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion, Kap. 3: Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen, In: Bundesministerium fuer Verbraucherschutz, E.u.L. (Ed.). Bundesministerium fuer Verbraucherschutz, Ernaehrung und Landwirtschaft, Bonn, Germany.

Sæbø, A., Mortensen, L.M. 1995. Growth and regrowth of Phleum pratense, Lolium perenne, Trifolium repens and Trifolium pratense at normal and elevated CO 2 concentration. Agric., Ecosyst. Environ. 55, 29-35.

Sæbø, A., Mortensen, L.M. 1996. Growth, morphology and yield of wheat, barley and oats grown at elevated atmospheric CO 2 concentration in a cool, maritime climate. Agric., Ecosyst. Environ. 57, 9-15.

Vagstad, N., Abrahamsen, U., Strand, E., Uhlen, A.K., Lund, H.J., Rognlien, A., Stuve, L.F., Stabbetorp, E.M.H., Mangerud, K., Solberg, H. 2013. Økt norsk kornproduksjon. Utfordringer og tiltak, In: LMD (Ed.), Rapport fra ekspertgruppe til LMD, p. 39

Voorhees, W.B. 2000. Long-term effect of subsoil compation on mais yield, In: Horn, R., Van den Akker, J.J.H., Arvidsson, J. (Eds.), Subsoil compaction: Distribution, Processes and Consequences. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, pp. 331-338.

Øygarden, L., Nesheim, L., Doersch, P., Fystro, G., Hansen, S., Hauge, A., A, K., Krokann, K., Stornes, O.K. 2009. Klimatiltak i jordbruket- mindre lystgassutslipp gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal og optimalisering av dyrkingsforhold, In: Bioforsk (Ed.), Bioforsk rapport, p. 83.

Aamaas, B. 2014. Climate and climate change in the Nordic countries, In: Ministers, N.C.o. (Ed.), Climate change and primary industries. Impact, adaption and migigation in the Nordic countries. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, pp. 21-33.

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRINGENE

EFFEKTER AV ENDRET KLIMA OG BEHOV FOR TILPASNINGER

NORSK GROVFORPRODUKSJON

Mats Höglind[1]*, Tomas Persson[1], Liv Østrem[2], Marit Jørgensen[2], Sigridur Dalmannsdottir[2], Odd Arne Rognli[3]

[1]NIBIO Avdeling Systemanalyse og landbruksteknologi

[2]NIBIO Avdeling Grovfôr og grovfôrbaserte produksjonssystemer

[3]NMBU Institutt for plantevitenskap

*mats.hoglind@nibio.no

BAKGRUNN

Klimaframskrivninger for Norge fram til 2100 viser en økning av årsmiddeltemperaturen med mellom 1.7 og 6.4 °C avhengig av klimagassutslippsscenario (Hansen-Bauer *et al.* 2015). Økningen er større om vinteren enn om sommeren og større i nord enn i sør. Økningen av vintertemperaturen vil medføre at perioden med varig snødekke blir kortere i store deler av landet. Videre vil den økte temperaturen medføre at vekstsesongen (perioden med døgnmiddeltemperatur over 5 °C) blir forlenget med fra 1 måned for indre strøk på Østlandet og i deler av Nord-Norge til mer enn 2 måneder i ytre kyststrøk over hele landet. Årsnedbøren vil øke i hele landet, med større økning i nord enn i sør. Nedbørsendringer innen årstider varierer stort mellom utslippsscenarioer. I flere områder ligger det an til en reduksjon i nedbør om våren, sommeren og høsten fram til 2050 innenfor usikkerheten i klimaframskrivningene, selv om den gjennomsnittlige framskrivningen viser uendret eller økt nedbør for de fleste regioner og årstider. I tillegg til de beskrevne endringer i middeltemperatur og nedbørsmengde forventes det også at episoder med ekstrem temperatur og ekstrem nedbørintensitet blir vanligere fram til 2100 (Hansen-Bauer *et al.* 2015).

Effektene av klimaendringen på grovfôrproduksjonen og behovene for tilpasningstiltak er avhengige av innretningen og intensiteten på den framtidige produksjonen. I tillegg til endringer i klima bestemmes denne av en rekke andre viktige faktorer, inkludert etterspørsel på melk og kjøtt, pris og tilgang på importert kraftfôr, og grad av politisk styring. I dette notatet belyser vi muligheter, utfordringer og tilpasningsbehov med utgangspunkt i et scenario der grovforproduksjonen utvikles ut fra dagens produksjons- og miljømål. Dette innebærer at jordbrukets rolle som produsent av mat og andre goder som biologisk mangfold, kulturmiljø, bygdeutvikling etc. tillegges slik vekt at de klimagassutslipp jordbruket genererer kan tillates ligge uendret fra dagens nivå, selv om utslippene fra andre sektorer minker. De generelle målene for kutt i klimagassutslipp er på 30 prosent fra dagens nivåer. En tilpasning av landbruket til disse målene vil sannsynligvis kreve store kutt fra grovforrelaterte sektorer, da disse svarer for hovedparten av klimagassutslippene fra landbruket i dag (Blandford *et al.* 2014). Der det er relevant diskuterer vi effekter på klimagassutslipp av tilpasninger i grovfôrproduksjonen, selv om hovedfokus for notatet er grovfôrproduksjon.

Målet med dette notatet er å sammenfatte nåværende kunnskap om effekten av endret klima på muligheter og utfordringer for norsk grovfôrproduksjon, inkludert en vurdering av behovet for og effekten av viktige tilpasningstiltak. Med utgangspunkt i identifiserte kunnskapshull viser vi problemstillinger der det er behov for mer forskning, utviklingsarbeid og annen kunnskapsoppbygging slik at mulighetene de forventede klimaendringene kan føre til for norsk grovfôrproduksjon vil kunne utnyttes fullt ut. I dette inngår viktig arbeid for å minimere truslene som kan komme med ekstreme værhendelser på grovfôrproduksjonen, framfor alt ved hjelp av agronomiske og plantegenetiske tilpasninger, til dels også teknologiske tilpasninger.

Parallelt med dette notatet er det utarbeidet spesialiserte notater for plantehelse, hydroteknikk, gjødsling og karbonbinding i jord i endret klima. For mer omfattende diskusjon om disse aspektene på klimaendring viser vi til de nevnte notatene. Videre avgrenser vi notatet til norsk grovfôrproduksjon i endret klima, og drøfter ikke den grovfôrbaserte husdyrproduksjonen. Eventuelt endret tilgjengelighet og kvalitet av grovfôr

i framtidig klima vil kunne få store konsekvenser for landets grovfôrbaserte husdyrproduksjon. Dette er imidlertid en problemstilling som trenger omfattende utredningsarbeid i tillegg til at den faller utenfor bestillingen av notatet.

MULIGHETER

Projisert framtidig klima vil med meget stor sannsynlighet føre med seg en høyere potensiell årlig totalavling for grovfôrvekster i Norge enn under dagens klima. En økt konsentrasjon av CO_2 i atmosfæren kombinert med økt temperatur under gunstige nedbørsforhold stimulerer plantevekst. De modellsimuleringer som er gjort i Norge til nå viser 10 til 30 % større engavlinger i framtiden sammenliknet med nåtid, avhengig av klimaframskrivning og lokalitet (Höglind *et al*. 2013; Persson & Höglind 2014). Disse simuleringene, som i hovedsak er gjennomført i 2012-2015, tok utgangspunkt i klimaframskrivningene fra FNs klimapanels 4:e rapport og de nedskaleringer som er gjort for Norge (Hanen-Bauer *et al.* 2009) basert på denne globale FN-rapporten.

Avlingsøkningene i simuleringene ovenfor gir sannsynligvis en underestimering av den potensielle avlingsøkningen til 2050, da simuleringene ikke har tatt hensyn til effekten av en økt konsentrasjon av CO_2-nivå i atmosfæren, og framtidige forbedringer i plantematerialet. En dobling av CO_2-nivået fram imot 2050 antas generelt å kunne øke biomasseproduksjonen for landbruksvekster med 10-30 % (Olesen & Bindi 2002) grunnet mer effektiv karbonfangst. Effekten på engvekster i Norge forventes å ligge i underkanten av dette intervallet siden en stor del av tilveksten pågår ved så lave døgnmiddeltemperaturer (<10 °C) at CO_2 effekten uteblir store deler av året.

Det meste av avlingsøkingen grunnet varmere klima vil komme i form av økt vekst om våren og høsten, perioder når dagens temperaturer er svært begrensende for plantevekst. Derimot er dagens sommertemperaturer allerede så høye at en temperaturøkning i denne årstiden vil påvirke tilveksten marginalt. For å dra nytte av temperaturøkningen må en derfor høste enga flere ganger per år enn i dagens klima. Simuleringer for 2050 viser at forlengelsen av vekstsesongen vil føre til at antall engslåtter av enga kan økes med 1-2 per år og/eller at beitesesongen kan utvides med 1-2 måneder i forhold til i dag (Höglind *et al.* 2013; Persson & Höglind 2014) forutsatt at det ikke er for vått.

En høyere vintertemperatur vil kunne gjøre det mulig å utvide dyrkingsområdet for arter og sorter med høy avlingspotensial men med lav toleranse for ugunstige vinterforhold i forhold til de arter og sorter som er mest brukt i dag. For eksempel er dyrkingen av den høyproduktive arten flerårig raigras i Norge i dag begrenset til i hovedsak Sør-Vestlandet og områder rundt Oslofjorden. I øvrige landsdeler vanskeliggjør kulde, perioder med langvarig snødekke og risiko for isdekke og soppinfeksjoner dyrkingen av denne og andre høyproduktive grovfôrvekster i dagens klima.

Temperaturøkningen vil også kunne gi mulighet til økt dyrking av varmekrevende ettårige vekster som fôrmais og fôrsukkerbete. Med unntak for de aller varmeste delene av landet, rundt Oslofjorden, vil temperaturen imidlertid ligge under kravet for sikker fôrmaisdyrking selv i 2050. I hvert fall med dagens

sortsmateriale som trenger høyere sommertemperaturer enn hva det vil bli på for eksempel Sør-Vestlandet selv i 2050 for de fleste klimaframskrivingene.

Temperaturøkningen vil også kunne påvirke engas botaniske sammensetning. På generelt grunnlag forventes temperaturøkningen å stimulere belgvekster mer enn gras. Økt andel belgvekster er ofte positivt for proteininnholdet i fôret. Økt andel kløver vil også kunne bidra positivt til nitrogenforsyningen gjennom nitrogenfiksering fra luften. Behovet for nitrogengjødsling til eng vil dermed kunne minke selv om det trengs mer studier for å kvantifisere hvor stort potensialet er.

UTFORDRINGER

God avling av flerårige engvekster over flere sesonger er i Norge i stor grad avhengig av at vekstene er tilstrekkelig vinterherdige. En varmere høst og vinter kan gi helt nye herdings- og overvintringsforhold for plantene, som påvirker vinteroverlevelsen. Vekstavslutning og innvintring av fôrgras- og andre flerårige vekster styres til stor del av samspill mellom temperatur og daglengde (Rapacz *et al.*, 2014). Forsøk med flerårige grovfôrvekster viser at økt temperatur tidlig om høsten, rett før herdningen begynner, vil gi dårligere herdning og frosttoleranse (Dalmannsdottir *et al.* 2015). Disse effektene er større under kortere daglengde enn under lengre (Dalmannsdottir upublisert). Man kan derfor anta at effektene av endringer i temperaturen på herdingsprosessen blir størst på nordlige breddegrader der daglengden om høsten og vinteren er spesielt kort, spesielt i år med ekstremt høy temperatur om høsten. Helt i nord der lyset er en minimumsfaktor i vintermånedene, vil kombinasjonen av varm vinter uten tilgjengelig lys også kunne gi nye typer stress som ikke forekommer under dagens kaldere vinter. Uten lys vil plantene ikke kunne bruke fotosyntese for å kompensere for tap av reservenæring grunnet plantenes åndning som fortsetter gjennom vinteren med redusert hastighet i forhold til om sommeren.

Kortere perioder med snødekke om vinteren i framtiden vil paradoksalt nok føre med seg at overvintrende engplanter i perioder vil utsettes for lavere temperatur enn hva de gjør under dagens klima med lengre snødekke. Mindre snødekke kan føre til mer og dypere tele i jord (Bjerke *et al.* 2015), fordi snøen isolerer mot kulde. Snødekket isolerer og beskytter planteorganer slik at de ikke er eksponert for de lave lufttemperaturene under kalde vinterdager (Fowler *et al.* 1999). Mer hyppige vekslinger mellom vintertemperaturer over og under null enn i dag kan også øke risikoen for kuldestress. Simuleringer for Nord-Europa med utgangspunkt i klimaframskrivningene i FNs 4e rapport viste stor variasjon mellom klimaframskrivinger og lokaliteter i forhold til i risiko for frostskader i raigrasbasert eng, med økt risiko om vinteren på en av tre norske lokaliteter, og økt risiko om våren på to lokaliteter (Höglind *et al*. 2013). Resultatene antyder at det ikke vil være mulig å utvide dyrkingsområdet for raigrasbasert eng i framtiden i så stor skala som tidligere antatt.

Mer nedbør om våren i framtiden vil kunne øke risikoen for vanskelige forhold for å så ny eng, og dermed muligheten for reetablering av eng. Dette kan føre til lengre omløpstid med negative effekter på engas avlingsnivå- og kvalitet. Vanskeligere forhold for såing av eng vil også kunne redusere mulighetene for å dyrke arter og sorter med høyt avlingspotensial. Ettersom disse artene ofte har lav toleranse for vinterstress, trenger de i snitt hyppigere reetablering og er dermed mer avhengige av gode såforhold enn

andre arter og sorter. Reetablering under våte jordbunnsforhold vil også kunne øke risikoen for pakkingsskader som reduserer avlingspotensialet. Spredning av husdyrgjødsel uten å pakke jorden er også en utfordring under slike forhold.

Mer nedbør om høsten i fremtiden vil kunne øke risikoen for tråkkskader under beitedrift. Det vil også kunne bli vanskeligere å høste og konservere graset fra enga. Beregninger basert på klimaframskrivningene i FNs 4e rapport viste at periodene med sammenhengende oppholdsvær («høstevindu») var kortere om høsten enn sommeren, både for A1B scenariet for 2046-2065 (med middelshøy økning av klimagasskonsentrasjonen) og for referanseperioden 1961-1990 (Persson & Höglind 2014). Dette viser at en større frekvens seine høstinger kan gi økt risiko for jordpakkingsskader, og økt risiko for kvalitetstap i grovfôrproduksjonen grunnet ugunstige forhold for høsting og fôrkonservering. Høsting under våte forhold øker risikoen for feilgjæring og høyt innhold av sporer i surfôret, som kan gå over i melken og redusere muligheten til å prosessere melken. Dårlig grovfôr kan slå svært negativt ut for økonomien i husdyrproduksjonen

Langvarig oversvømmelse som følge av intens nedbør kan også gi direkte skader på plantene ved at jorda blir oksygenfattig, spesielt under forhold med dårlig drenering. Disse skadene er større i vekstsesongen enn om vinteren grunnet større ånding ved høy temperatur. Foreløpige resultater fra pågående studier viser at oversvømmelse om høsten kan ha negativ effekt på herding av plantene dersom høsten blir varmere (Jørgensen upublisert). Oversvømmelse i vinterperioden kan føre til at plantene blir utsatt for isdekke, noe som også kan føre til oksygenstress. Når oksygeninnholdet minker under isdekket går plantene over til anaerob ånding og toksiske stoffer fra åndingen (CO_2 m.fl.) akkumuleres til nivåer som kan drepe plantene. Erosjonsproblemer, med økt næringstap, er en annen risiko som følger med økt nedbør. Likeså øker risikoen for avrenning av næringsstoffer fra enga. Disse utfordringene diskuteres mer inngående i andre notater.

Selv om nedbøren forventes å øke i gjennomsnitt for landet ved alle årstider, er det stor variasjon mellom klimaframskrivninger og geo-klimatiske regioner (Hansen-Bauer *et al*. 2015). Den store usikkerheten i klimaframskrivningene, som antyder at nedbøren om våren-sommeren og høsten i noen områder til og med kan minke frem til 2050, innebærer også at det også kan finnes en risiko før økt tørkestress, spesielt på tørkesvak sandjord. Dette viser for eksempel simuleringer for Østlandet der noen kombinasjoner av jordart og klimaframskrivning gav lavere engavling for 2046-2065 sammenliknet med 1961-1990 grunnet økt tørkestress (Persson *et al*. 2015)

Et varmere og våtere klima vil kunne føre med seg økte angrep av bladflekker, rust og andre skadedannende sopper i vekstsesongen. Soppangrep på fôrgras i vekstsesongen er i dag vanligere lengre sør i Europa enn i Norge. Derimot kan en anta at risikoen for vintersoppsykdommer minker når lengden på snødekket minker (Rapacz *et al*. 2014). Utfordringene knyttet til soppsykdommer i framtidig klima diskuteres mer inngående i andre notater.

Den projiserte økningen av ekstremvær, og temperaturendringen innenfor sesonger kan dermed medføre at planleggingen av sortvalg og dyrkingstiltak generelt kan bli vanskeligere.

TILPASNINGER

Ulike tilpasninger trenger ulik tidsperspektiv. Mange agronomiske tilpasninger kan skje med kort varsel, for eksempel endring av mengde og tidspunkt for gjødsling, høstefrekvens, tidspunkt for beiting og antall beitedyr per arealenhet i forhold til aktuelt vær, jordart etc. Andre tilpasninger som innebærer større systemendringer kan trenge mer tid. Det kan for eksempel være investeringer i nye maskiner for å øke kapasiteten for jordbearbeiding, såing og høsting. Ny teknologi trenger ofte lengre tid for å kunne utvikles og gjøres tilgjengelig for landbruket. I den øverste enden av skalaen finner vi planteforedling som krever store ressurser og har et ekstra langt tidsperspektiv.

Agronomi

Agronomiske tilpasninger for å øke mulighetene for god avlingsmengde og -kvalitet på kort og lang sikt under våtere forhold kan omfatte økt presisjon i arbeidet med kjøring av maskiner ved såing, høsting og andre dyrkingsrelaterte aktiviteter, i forhold til den aktuelle vannmengden i jorden. Dette gjelder både for eng og andre grovfôrvekster. For å kunne øke presisjonen kreves det tilstrekkelig maskinkapasitet. Bruk av lette maskiner (eller maskiner som på annen måte resulterer i lavere pakkingsskader) kan også bli ekstra viktig i våtere klima. På samme måte vil en bedre tilpasning av beitedriften i forhold til vannmengden i jorden minke risikoen for tråkkskader.

Et våtere og mildere klima med flere episoder med ekstrem nedbørintensitet vil kunne øke risikoen for næringstap via avrenning og jorderosjon. Behov for tiltak for å tilpasse gjødslingen etter plantenes etterspørsel vil dermed øke. Slike tiltak kan eksempelvis innebære bruk av N-sensorer i engvekster for å måle nitrogenstatus, mer presise hurtigteknikker for å måle næringsinnhold i husdyrgjødsel, og en integrering av slike tiltak ved spredning av husdyrgjødsel. Tiltak for å effektivisere nitrogenutnyttelsen kan antas å bli spesielt viktig i scenarioer der jordbruket pålegges å redusere klimagassutslippene. Økt dyrking av nitrogenfikserende arter (belgvekster) vil kunne redusere behovet for mineralgjødsel, og dermed både minke energi- og veksthusgassutslipp som er relaterte til mineralgjødselproduksjonen og øke andelen egenprodusert protein i husdyrholdet. Økt dyrking av grovforvekster til dyreslag med lavere fôrkvalitetskrav enn melkekyr, for eksempel hest og kanin, kan øke fleksibiliteten i høstetidspunkt og dermed minke problemer med jordpakking og kvalitetstap. Slike dyr medfører også lavere utslipp av klimagasser enn drøvtyggere.

Responsen på temperatur, fotoperiode og andre miljøvariabler varierer mellom arter og sorter. Økt dyrking av blandinger med sorter med ulike egenskaper, isteden for arter og sorter i reinbestand, for å ta i bruk artenes og sortenes evne til å kompensere for hverandre, kan dermed være enn god strategi for å gardere seg mot et mer variabelt klima. Spesifikt vil en økt dyrking av arter med god rotutvikling og tørketoleranse (f.eks. strandsvingel, strandsvingelbasert raisvingel, luserne) kunne redusere risikoen for tørkestress om sommeren sammenliknet med tørkesvakere arter (timotei, flerårig raigras, kvitkløver). Tilsvarende vil økt bruk av arter som tåler stående vann og tråkk fra beitedyr kunne redusere risikoen for skader på plantedekket knyttet til økt nedbør om høsten.

Høsting under våte forhold øker risikoen for feilgjæring og høyt innhold av sporer i surfôret. Innenfor dagens teknologi vil investeringer i økt maskinkapasitet, eller innleie av maskinkapasitet ofte kunne være det mest effektive tiltaket mot kvalitetstap for den enkelte fôrprodusent. Det er vanskelig å bedømme om det er mulig å utvikle maskiner og konserveringsmetodikk slik at en kan høste og konservere med godt resultat selv under våtere forhold enn det som er mulig i dag, men en skal ikke se bort fra at en slik utvikling vil være mulig.

Tiltak for å maksimere avlingen gjennom utvidet dyrking av sorter og arter med høyt avlingspotensial, men med lav toleranse for vinterstress kan muligens innebære en høyere risiko enn dyrking av lavtytende sorter med bedre vintertoleranse, under de scenarier med nye utfordringer som er beskrevet ovenfor. Fordeler og ulemper med ulike frøblandinger bør vurderes nøye.

Planteforedling

Temperatur og nedbør endrer seg raskere enn tidligere og det kreves derfor intensivert innsats for å tilpasse plantematerialene tidsnok. Lokalt tilpassa sorter med høyt avlingspotensiale med god fôrkvalitet og sykdomsresistens er avgjørende for å sikre bærekraftig landbruk i Norge/Norden der de dominerende artene er gras og engbelgvekster. Det norske frømarkedet er lite og egnet sortsmateriale må i hovedsak utvikles i Norge eller Norden. Det kan ikke forventes at europeisk planteforedling skal ta ansvar for vårt område. Foredlingsomfanget må økes i forhold til dagens for å møte økte regionale forskjeller, og antall testlokaliteter må økes i forhold til i dag.

Sortsutvikling er en langvarig prosess (15-20 år) og godkjenning er avhengig av nasjonal (verdiprøving) og internasjonal (DUS, del av UPOV-konvensjonen som Norge er tilsluttet) test før såvaremarkedet overtar oppformering, markedsføring og salg. DUS-godkjenningen setter rammer for hvor stor den genetiske variasjonen i sorten er, og en må finne nasjonale alternativer for å lage nødvendig genetisk variasjon i kommersielle såvarer. Dette kan gjøres gjennom markedsføring av flere sorter og mer tilpassa og faglig baserte frøblandinger.

Den eksisterende genetiske variasjonen i engvekstene er begrenset i forhold til behovet på sikt for å kunne møte et framtidig klima. Dersom strategiske valg omfatter arter som til nå ikke eller i liten grad har vært dyrket i Norge, må det bygges opp et tilstrekkelig stort plantemateriale mht. genetisk variasjon, for å muliggjøre sortsutvikling på sikt. De potensielle effektene av klimaendringene er vanskelig å forutse, og foredlerapparatet må være handlingsdyktig i forhold til raske endringer.

Prebreeding er prosessen for å øke den genetiske variasjonen før den egentlige sortsutviklingen starter. Ved introduksjon av eksotisk materiale inn i eksisterende foredlingsprogram må de forbedringene som alt er skapt ivaretas. Prebreeding er et ressurskrevende arbeid som krever statlig støtte. Et nordisk samarbeid er ønskelig for flere arter, tilsvarende «Nordic Public-Private Partnership» som omfatter prebreeding i flerårig raigras (Rognli *et al.* 2013).

Genomisk seleksjon gjør at foredlingsframgangen øker betydelig fordi generasjonstiden reduseres. Lang generasjonstid og omfattende testing gjør at avlsframgangen er liten i engvekstene. Utvikling og bruk av

genomisk seleksjon i engvekstene vil derfor være et svært viktig verktøy for å øke foredlingsfrangangen i disse vekstene. Utvikling av kostnadseffektive seleksjonsmetoder bør knyttes til egenskaper som for flerårige engvekster først synliggjøres etter 2-3 år i felt, til faktorer som kan knyttes til overvintringsevne. Kostnadseffektive seleksjonsmetoder kan inkludere arbeid med genetiske markører, fenotypiske målinger av fysiologiske parametere som klorofyll fluorescensen og NDVI som kan benyttes som indikatorer for vekstavslutning (Østrem *et al.* 2015).

Sortsutviklingsprosessen kan effektiviseres ved økt bruk av plantevekstmodeller. Slike modeller kan muliggjøre en vurdering av eksisterende sortsegenskaper under ulike klima, miljø og dyrkingsscenarier, der det ikke finnes tid og resurser for tilsvarende evaluering i eksperimentelle forsøk. Modellene muliggjør også evaluering av hypotetiske framtidige sortsegenskaper, og kan dermed utgjøre et viktigere virkemiddel i arbeidet med å prioritere foredlingsmål gitt ulike klimascenarier og risikotoleranse (Semenov & Halford 2009; Van Oijen & Höglind 2015).

KUNNSKAPSSTATUS

Avlingspotensialet hos grovforvekster vil være større under framtidig klima i Norge enn under nåværende klima. Den viktigste grunnen er forlengelsen av vekstsesongen, som gir mulighet til flere høstinger og lengre beitesesong. En rekke fysiologiske prosesser vil respondere på de forventede klimaendringene på en måte som ikke alltid er lett å forutsi. De simuleringer med prosessbaserte modeller som er gjort til nå indikerer økt avlingspotensial for eng generelt, med stor variasjon mellom regioner og klimaframskrivninger. En usikkerhet i simuleringene er at de baserer seg på eldre klimaframskrivninger (Hansen-Bauer *et al.* 2009) som til dels skiller seg fra de nyeste framskrivningene (Hansen-Bauer *et al.* 2015) både om hvor mye temperaturen vil øke og hvordan nedbørsmønsteret vil forandres i ulike deler av landet. Dette gir behov for oppdaterte simuleringer.

Varmere høster vil ha konsekvenser for vekstavslutning, herding, lagring av karbohydrater og dermed den generelle evnen til å tåle vinterstress og gjenvekst neste vår. Spesielt nord i landet vil mangel på lys under milde vintrer kunne bli et større problem enn i dag. Økt hyppighet av ekstreme varmeperioder på vinteren med påfølgende frost kan også føre til betydelig vinterskader. Økt temperatur- og nedbørsvariasjon, og hyppigere episoder av ekstremvær vil kunne føre med seg økt usikkerhet og dermed vanskeliggjøre planleggingen av grovforproduksjonen. Temperatur og nedbørsvariasjoner om vinteren, i kombinasjon med endringen av lengden på periodene med snødekke kan føre med seg en økt risiko for kuldestress selv om middeltemperaturen om vinteren øker. På samme måte som for avling, er det behov for å supplere med nye simuleringer basert på de nyeste klimaframskrivningene for å vurdere risikoen for vinterskader på eng i fremtiden.

Det finnes ulike verktøy og metoder som i varierende grad er blitt tatt i bruk for å bedømme konsekvenser av klimaendringer og mulige tilpasninger til disse. Dynamiske modeller som simulerer vekst og utvikling hos grovforvekster som funksjon av vær, jord, bruksmetoder og genetiske faktorer, muliggjør estimeringer av avlinger hos eksisterende sorter i et endret klima, samt analyse av hvilke egenskaper som bør prioriteres i planteforedlingsarbeidet, og vurdering av hvilke agronomiske tiltak som gir best effekt i forhold til

ønskemål om høy og stabil avling i et variabelt klima i endring. Observasjoner av plantekomponenter i sortforsøk og andre feltforsøk har gjort kalibrering av parametere i simuleringsmodeller mot eksisterende sorter mulig. Modeller for Nord-Europa er i hovedsak utviklet for timotei. Modeller finnes for andre grovforvekster som dyrkes i Norge, blant annet flerårig raigras (Schapendonk *et al.* 1998) men disse modellene har ikke blitt tilpasset sorter og forhold for Norge eller andre nordeuropeiske land fullt ut.

KUNNSKAPSHULL OG FORSKNINGSBEHOV

For å tilpasse grovfordyrkingen til et endret klima trenges det fortsatt forskning og forbedring av agronomiske, plantefysiologiske og agrometeorologiske kunnskaper. Fortsatt integrering av agronomisk, jordfaglig og plantefysiologisk forskning, eksperimentell planteforedling og prosessbasert plantevekstmodellering vil være en særdeles viktig strategi i kunnskapsinnhentingen.

Angående fysiologisk tilpasningsmekanismer til endrede klimaforhold vil økt kunnskap om ville vekster være viktig, både for å forstå disse veksters tilpasningsmekanismer generelt og for å kunne hente inn egenskaper for relevant tilpassing i foredlingsprogrammer for grovforvekster.

Spesifikt trenges mer kunnskap om hvilke eksterne (temperatur, lys etc.) og interne (genetikk, genregulering, hormoner) faktorer som styrer vekstavslutning hos engvekster. I tillegg mangler det kunnskap om samspillet mellom vanninnholdet i jorden og temperatur, lys og andre faktorer som påvirker herding. Økt kunnskap om behov og utnyttelse av lagringsenergi under forhold med høye temperaturer og lav eller ingen solinnstråling er også viktig i forhold til klimaframskrivningene.

Det er behov for bedre integrering av klimaframskrivninger og plantvekstsimuleringer. Det rår fortsatt stor usikkerhet rundt avlingsnivåer- og kvalitet hos grovforvekster under framtidige klimascenarier. Sensitiviteten i endringer i nedbør (hyppighet i nedbør) er spesielt viktig å forstå bedre. Samspillet mellom herdingsforløpet om høsten og vinteroverlevelse under ulike vinterforhold trenger også spesielt fokus. Fortsatt forskning med å forbedre representasjonen av genetiske faktorer i plantevekstmodeller trengs for å forbedre anvendelse av disse under scenarier der de ikke er blitt validerte. Slik forskning bør skje i nær tilknytning til eksperimentelle forsøk under kontrollerte klimaforhold (klimakamre, veksthus eller feltforsøk med styrt klima).

For å forstå potensialet i plantevekstmodeller og identifisere forbedringsalternativer er det viktig med sammenligninger av plantevekstmodeller ved bruk av forsøksdata fra ulike klimatiske og geografiske forhold. Slike studier har i større grad vært gjennomført for kornvekster (Palosuo *et al.*, 2011; Rötter *et al.*, 2012) enn for grovforvekster. Sammenligningsstudier av modeller for engvekster under norske og andre nordeuropeiske forhold har imidlertid nylig blitt initiert (Korhonen *et al.* 2015). Fortsatt samarbeid med andre land er nødvendig for på beste måte å kunne utnytte den samlede kompetansen rundt modellering av grovfôrvekster i nordlig klima, og også for et optimalt bruk av sortsforsøk og annen forsøksdata fra ulike land i modelleringsarbeidet.

Det er også behov for å gjøre tilsvarende simuleringer for flere arter med andre vinteregenskaper enn de som er studert til nå. Spesielt er det behov for å vurdere risikoen for vinterskader i viktige eng-belgvekster

som kløver og luserne. Arbeidet bør knyttes tett opp til arbeidet med å utvikle sorter tilpasset fremtidige klimaforhold, inkludert definering av foredlingsmål for ulike arter.

Klimaendringene kan gi nye foredlingsmål der ulike arter kan ha spesifikke planteegenskaper tilpasset ulike driftsregimer og klimatiske regioner. Foredlingsmåla vil dermed variere med art, bruksområde og geografisk bruksområde for den aktuelle sorten. Vi har identifisert følgende mål:

Timotei er på grunn av god persistens den eneste arten som kan dyrkes i hele landet og utgjør en vesentlig del av de fleste kommersielle frøblandingene. Arten er ofte også avgjørende for høstetidspunktet. En lengre vekstsesong vil kreve at gjenvekstpotensialet økes slik at en andre og evt. en tredjeslått vil utgjøre en større del av den totale tørrstoffavlingen enn i dag, samt at det er ønskelig med tidligere vårvekst. En sein vekststart gjør sortene sikrere mot sein frost, men en tidligere vekststart vil kunne utnytte bedre den tidlige delen av vekstsesongen som også har de beste forholdene for plantevekst (Helgadottir *et al.* 2014). Engsvingel og engrapp er også godt tilpassa arter og ofte bestanddeler i timoteibaserte frøblandinger. Engsvingel blir ofte angrepet av bladflekksopper i gjenveksten og kan erstattes av andre arter som strandsvingel eller raisvingel.

Flerårig raigras og raisvingel er godt tilpassa en lengre vekstsesong pga høyt biomassepotensial og god gjenvekstkapasitet og fôrkvalitet. En utvidet bruk er avhengig av at overvintringsevnen forbedres, og en økning i frosttoleranse vil generelt være nødvendig og også mer effektivt enn en forbedring av evnen til å reakklimatisere som følge av varme perioder om vinteren. For å utvide dyrkingsområdet nordover og i innlandet så vel som for langvarig eng, må foredlingsprogram for disse ikke-tilpassa artene ivareta evnen til vekstavslutning for tilstrekkelig herding. Strandsvingel med sine dype røtter kan bli viktigere også ved nordlige breddegrader dersom det oppstår tørke tidlig i vekstsesongen, men også som erstatning for andre grasarter. Strandsvingel har generelt vist større produksjonskapasitet enn engsvingel, og strandsvingel som en av foreldreartene i raisvingel har gitt sorter med god overvintringsevne også under våre forhold (Thorvaldsson *et al.* 2015).

Rød-og hvitkløver er de vanligste engbelgvekstartene i den nordiske regionen, og i økologisk dyrking er kløver en viktig art i vekstskiftet. Bruken av N-fikserende arter bør økes for å redusere nødvendig energibruk i produksjon av syntetisk gjødsel og øke egenprodusert protein i europeisk husdyrhold. Som i timotei er det ønskelig med tidligere vårvekst i rødkløver. I hvitkløver finnes det tilstrekkelig genetisk variasjon for frosttoleranse, og raske tilpassinger i denne arten er mulig (Helgadottir *et al.* 2001). Den genetiske variasjonen for frosttoleranse er mindre studert i rødkløver enn i hvitkløver, og for eksisterende og framtidig nordlig klima, er det viktig å øke den genetiske variasjonen og identifisere verdifullt materiale for framtidig prebreeding og foredlingsprosjekt. En viktig egenskap som må forbedres er frøproduksjonen hos tetraploid rødkløver. Lucerne er et alternativ som kan øke i dyrkingsomfang dersom symbiosen forbedres gjennom bedre tilpassa jordmikroorganisme.

Sammensetning av arter og sorter i frøblandinger som kan bidra til større robusthet mot klimavariasjoner bør undersøkes nærmere. En har gode kunnskaper om artenes toleranse til ulikt stress og avlingspotensial i

reinbestand, men mindre kunnskap om hvordan en best kan sette sammen arter for å oppnå større stabilitet over tid i avlinger uten å tape avlingsnivå og kvalitet.

REFERANSER

Bjerke J.W., Tømmervik H., Zielke M. & Jørgensen M. Impacts of snow season on ground-ice accumulation, soil frost and primary productivity in a grassland of sub-Arctic Norway. Environmental Research Letters 10: 095007, 14 pp, DOI:10.1088/1748-9326/10/9/095007.

Blandford, D., Gaasland, I., Vårdal, E. 2014. The trade-off between food production and greenhouse gas mitigation in Norwegian agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment 184, 59-66.

Dalmannsdottir S., Rapacz M., Jørgensen M., Østrem L., Larsen A., Rødven R., Rognli, O. A. 2015. Temperature before Cold Acclimation Affects Cold Tolerance and Photoacclimation in Timothy (*Phleum pratense* L.), Perennial Ryegrass (*Lolium perenne* L.) and Red Clover (*Trifolium pratense* L.). J Agro Crop Sci, DOI: 10.1111/jac.12149.

Fowler, D.B., Limin, A.E., Ritchie, J.T. 1999. Low-temperature tolerance in cereals: Model and genetic interpretation. Crop Science 39, 626-633.

Hansen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawerence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, A., Sundby, S., Vasskog,K., Ådlandsvik, B. 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning. Oslo: Norsk klimasenter.

Hansen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. 2015. Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report, Oslo.

Helgadóttir, Á., Dalmannsdótti, S., Collins, R.P. 2001. Adaptational changes in white clover populations selected under marginal conditions. Annals of Botany 88, 771–780.

Helgadóttir, Á., Frankow-Lindberg, B., Seppänen, M.M., Søegaard, K., Østrem, L. 2014. European grasslands overview: Nordic region. Grassland Science in Europe 19, 15-28.

Höglind, M., Thorsen, S.M., Semenov, M.A. 2013. Assessing uncertainties in impact of climate change on grass production in Northern Europe using ensembles of global climate models. Agricultural and Forest Meteorology 170, 103–113.

Jeuffroy, M.-H., Casadebaig, P., Debaeke, P., Loyce, C., Meynard, J.-M., 2014. Agronomic model uses to predict cultivar performance in various environments and cropping systems. A review. Agronomy for Sustainable Development 34, 121-137.

Korhonen, P., Palosuo, T., Höglind, M., Persson, T., Jégo, G., Virkajärvi, P., Bélanger, G., Gustavsson, A-M. 2015, Intercomparison of Timothy models in northern countries, MACSUR Conference 2015, Integrated Climate Risk Assessment in Agriculture & Food. Reading, UK, April 9-10, 2015

Olesen, J.E., Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy 16, 239-262.

Pachauri, R.K., Reisinger, A. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Rumbaur, C., Takác, J., Trnka, M., Bindi, M., Çaldag, B., Ewert, F., Ferrise, R., Mirschel, W., Saylan, L., Siska, B., Rötter, R. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. European Journal of Agronomy 35, 103-114.

Palosuo, T., Höglind, M., Persson, T., Jégo, G., Virkajärvi, P., Bélanger, G., Gustavsson, A-M. 2015. Intercomparison of Timothy models in northern countries, MACSUR Conference 2015, Integrated Climate Risk Assessment in Agriculture & Food. Reading, UK, April 9-10, 2015.

Persson, T., Höglind, M. 2014. Impact of climate change on harvest security and biomass yield of two timothy ley harvesting systems in Norway. The Journal of Agricultural Science 152, 205-216.

Persson, T., Kværnø, S., Höglind, M. 2015. Impact of soil type extrapolation on timothy yield under baseline and future climate conditions in south-eastern Norway. Climate Research 65, 71-86.

Rapacz, M., Ergon, Å., Höglind, M., Jørgensen, M., Jurczyk, B., Østrem, L., Rognli, O.A., Tronsmo, A.M. 2014. Overwintering of herbaceous plants in a changing climate. Still more questions than answers. Plant Science 225, 34-44.

Rognli O.A., Larsen A.S., Nielsen N.C., Helgadóttir Á., Aavola A., Persson C., Isolahti M., Asp T., Marum P. 2013. The Nordic Public-Private Partnership (PPP) for pre-breeding in perennial ryegrass (Lolium perenne L.). Book of Abstracts of the 17th Symposium of the European Grassland Federation, Akrueyri, Iceland, 23-2, June 2013, p. 84.

Rötter, R.P., Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Takáč, J., Trnka, M. 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. Field Crops Research 133, 23-36.

Schapendonk, A., Stol, W., van Kraalingen, D.W.G., Bouman, B.A.M. 1998. LINGRA, a sink/source model to simulate grassland productivity in Europe. European Journal of Agronomy 9, 87-100.

Semenov, M.A., Halford, N.G. 2009. Identifying target traits and molecular mechanisms for wheat breeding under a changing climate. Journal of Experimental Botany 60, 2791-2804.

Thorvaldsson, G., Østrem, L., Öhlund, L., Sveinsson, T., Dalmannsdóttir, S., Djurhuus, R., Høegh K., Kristjánsdóttir T.A . 2015. Climatic adaptation of species and varieties of grass and clover in the West Nordic countries and Sweden. AUI Report No. 50. Reykjavík: Agricultural University of Iceland, 43 pp.

Van Oijen, M., Höglind, M. 2015. Toward a Bayesian procedure for using process-based models in plant breeding, with application to ideotype design. Euphytica, *in press*.

Østrem, L., Rapacz, M., Larsen, A., Dalmannsdottir, S., Jørgensen, M. 2015. Influences of growth cessation and photoacclimation on winter survival of non-native Lolium–Festuca grasses in high-latitude regions. Environmental and Experimental Botany 111, 21-31.

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRINGENE

EFFEKTER AV ENDRET KLIMA OG BEHOV FOR TILPASNINGER

NORSK GRØNNSAK- OG POTETPRODUKSJON

Eldrid Lein Molteberg[1*],

Ingunn M. Vågen[2]

[1] NIBIO Fagavdeling Grøntproduksjoner, Apelsvoll

[2] NIBIO Fagavdeling Grøntproduksjoner, Landvik

*eldrid.lein.molteberg@nibio.no

GRØNNSAKS- OG POTETPRODUKSJONEN I NORGE

I 2015 ble det dyrket frilandsgrønnsaker på cirka 70.000 dekar og poteter på 118.000 dekar. Dette utgjør totalt knapt 2% av jordbruksarealet i landet. Gjennomsnitt areal per dyrker er 92 dekar grønnsaker og 61 dekar poteter. Omtrent 70 prosent av norsk grønnsaksproduksjon foregår på Østlandet. De største grønnsaksfylkene er Vestfold (21%), Buskerud (18%), Oppland (13%), Rogaland (12%), Nord-Trøndelag (9%), Hedmark (8%) og Østfold (8%) . Det største potetfylket er Hedmark (39%), etterfulgt av Vestfold (13), Nord-Trøndelag (11%) og Oppland (8%). For potet har Østlandet ca 73% av arealet, Trøndelag totalt ca 12,5, Rogaland drøyt 5%, Nordland og Troms knapt 4% og Sørlandet knapt 3%. (kilde: Landbruksdirektoratet).

Grønnsaksarealet i Norge har økt de siste årene. Den største grønnsakskulturen i volum er gulrot, etterfølgt av løk, hodekål og kålrot. En del av norsk grønnsaksproduksjon går til videreforedling på konservesfabrikker eller de blir frosset, mens det meste går til friskkonsum. Forbruket av grønnsaker i Norge har i løpet av de siste ti år økt med cirka 25 prosent, til ca 51 kg grønnsaker pr innbygger i 2014. Spesielt norske rotgrønnsaker har fått økt popularitet. Den totale produksjonen av potet har vært nokså stabil på 300-350.000 tonn. Ca en tredjedel går til direkte konsum, mens størstedelen og en økende andel går til videreforedling, til produksjon av chips, pommes frites/friterte produkter, potetmel, sprit, flakes, ferdigpotet og diverse andre bearbeidede produkter som lompe mm.. Noe går til settepotet og noe går også til for.

Regnet i verdi var andelen norskproduserte grønnsaker i 2014 på 53 prosent. Høyest andel norsk produksjon var det for kulturene kålrot (91 %), hodekål, gulrot og løk, lavest for paprika (2%), asparges, brokkoli og tomat (33%). For potet har importandelen økt til 20-30 % for konsumpotet de siste årene, i hovedsak for å dekke etterspørselen etter spesialkvaliteter (baby/småpotet, bakepotet) eller potet med spesielt pent utseende. Også til industriformål importeres noe potet, men mest i forkant av ny norsk sesong.

De siste tiårene har det vært en stor strukturendring i norsk grønnsaks- og potetproduksjon. Antall dyrkere har gått kraftig ned og arealene er blitt stadig større. Antall dyrkere er nå 1943 for potet og 759 for grønnsaker. Krav om bedre logistikk fra grossist og omsetningsledd samt krav om jevnere produktkvalitet har ført til konsentrasjon av produksjoner rundt mottakssentraler/pakkerier. På grunn av vekstskifteproblematikk og krav om større produksjonsarealer, leies det i dag gjerne jord langt borte fra hovedbruk/pakkerier. Dette fører til mer rasjonell drift med store, effektive maskiner, men medfører også større belastninger på jord og dermed strukturskader, samt lang og kostbar transport med bil inn til lager.

Grønnsaker og poteter er produkter som det generelt anbefales å øke inntaket av i norsk kosthold og som bør få en viktigere rolle i norsk matproduksjon. Det er både ernæringsmessige og miljømessige grunner til dette. Norskproduserte poteter og rotgrønnsaker er «klimavennlige» produksjoner med små klima-avtrykk målt som CO_2 (Møller og Svanes 2009). Poteter gir stor energiproduksjon pr arealenhet og har en stor andel spiselig vare. Poteten er i tillegg en særlig fleksibel vekst som gir avling nesten uansett klimaforhold, da den kan brukes nesten uansett modenhetsstatus.

ENDRINGER I KLIMAFORHOLD I VIKTIGE DYRKINGSOMRÅDER

Denne utredningen tar utgangspunkt i en nylig publisert rapport om effekter av klimaendringer for Norge (Hanssen-Bauer et al., 2015) som gir informasjon om forventet nedbør og temperatur i perioden fram til 2100. Rapporten beskriver tre ulike utslippsscenarioer fra femte hovedrapport til FNs klimapanel: RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5. Den mest klimaoptimistiske modellen, RCP2.6, forutsetter kraftige reduksjoner i klimagassutslipp fra 2020, og er den eneste modellen som mest sannsynlig kan bidra til målet om maks 2° økning fra førindustrielt nivå (FN's togradersmål). Den mest pessimistiske modellen, RCP8.5, baseres på at utviklingen i klimagassutslipp fortsetter som i dag, noe som beregnes å gi en årsmiddeløkning i temperatur på ca 4,5 grader og ca 18% mer nedbør i Norge fram mot år 2100, kombinert med en forventet dobling av antall dager med kraftig nedbør. Mellom disse er scenariet RCP 4.5, som forutsetter stabile/ svakt økende klimagassutslipp fram til 2040 og deretter reduserte utslipp som vil stabilisere seg mot slutten av århundret. Denne modellen forventes på global skala å gi en temperaturøkning på ca. 2,5°C (Hansen-Bauer et al. 2015).

Videre i dette notatet tar vi utgangspunkt i RCP4.5. Uavhengig av valgt scenario vil mange av de skisserte effekter og tiltak være de samme, selv om tidshorisont og virkningsgrad kan bli noe forskjellig. De mest aktuelle dyrkingsområdene for grønnsaker og poteter for videre drøfting i notatet er Østlandet, Sør-Vestlandet og Trøndelag. Nord-Norge vil være et dyrkingsområde med økende potensiale.

Hovedtrekkene i RCP4.5 tilsier en forventet økning på ca 2°C i årsmiddeltemperaturen i Norge fram til år 2060. Framskrivningene viser størst temperaturøkning om vinteren, og minst om sommeren. (Hansen-Bauer et al. 2015). Årsmiddeltemperaturen er forventet å bli noe høyere i Norge enn globalt, eksempelvis 2,7°C ved 2 grader økning globalt. Vintertemperaturen øker mer enn middelet, sommertemperaturen mindre. Temperaturene øker mest i Nord, og i Trøndelag øker den noe mer enn på Østlandet. Som konsekvens av temperaturøkningen er det ventet flere dager med høye temperaturer og at disse vil forekomme i en større del av landet. Det ventes også betydelig lenger meteorologisk vekstsesong (antall døgn med middeltemperatur over 5 °C) enn i dag. Denne forventes å bli opptil en måned i indre strøk av Østlandet og mot grensestrøkene i Nord-Norge og 1-2 måneder i landet forøvrig (Hansen-Bauer et al. 2015).

Årsnedbøren er allerede for perioden 1985-2014 høyere enn for 1971-2000 i alle regioner. Gjennomsnittlig økning i årsnedbør har vært 8 %, mest på Østlandet, Sørlandet, Sør-Vestlandet og særlig om sommeren (14%). Nedbøren om høsten er derimot redusert i de fleste områder (hydrologi-rapport). Med varmere vær forventes videre økning. Modellen RCP8.5 anslår totalt 18%, men det er store usikkerheter omkring graden av økning og hvilke årstider den relative nedbørsforandringen blir størst. Det antas at de fleste landsdeler får økt nedbør vår og høst mens Sør-Norge, og særlig Sør-og Sørvestlandet får mindre sommernedbør. Østlandet og Sør-Trødelag får størst nedbørsøkning på våren mens Trøndelag og nordover får størst økning om høsten. Økningen i antall dager med kraftig nedbør forventes å bli større, med i gjennomsnitt 49% med RCP4.5 mot år 2100. En dobling er ikke utelukket. De største økningene ventes i Nord-Norge og Trøndelag, etterfulgt av Østlandet. Mengden nedbør tilknyttet kraftig nedbør forventes å øke mest i kystnære strøk og

særlig på Vestlandet. De største økningene i kraftig nedbør ventes om vinteren på Østlandet og i Nord-Norge og om sommeren fra Trøndelag og nordover (Hansen-Bauer et al. 2015).

Parallelt med økende årsnedbør kan også det også bli større utfordringer med tørke. Det estimeres opp mot 1 til 2 måneder lengre gjennomsnittlig markvannsunderskudd om sommeren mot slutten av århundret. Tørke antas først å ramme deler av indre Østlandet, samt indre fjordstrøk, men noen scenarioer inkluderer stort sett hele Sørøst-Norge. For vind er prognosene usikre. Med varmere vær kan det imidlertid forventes at styrke og antall dager med sterk vind kan øke (Hanssen-Bauer et al 2009).

Norge er av få områder i Europa der det kan forventes en positiv sumeffekt av klimaendringene på landbruksproduksjonen (Olesen and Bindi 2002). Det er imidlertid mye som tyder på at det også vil bli betydelige utfordringer for planteproduksjon i Norge under endret klima. Trolig vil både uforutsette varmeperioder, ekstremnedbør, flom, endret nedbørsmønster og tørke bidra til nokså uforutsigbare værforhold og dermed varierende avlingsnivå. Nedbør om våren, ekstremregn i vekstsesongen og tilgang på vanning er trolig blant de mest kritiske faktorene (Cottis 2015)

Ved videre drøfting er det viktig å legge til grunn at effekten av av klimaendringer kommer i tillegg til naturlige klimavariasjoner, som også er betydelige både i tid og rom. På kort sikt (10-20 år) er det derfor ventet at det er de naturlige variasjonene som i stor grad vil dominere bildet. På lenger sikt ventes systematiske endringer i klima å bety mer.

KONSEKVENSER FOR POTET OG GRØNNSAKSPRODUKSJON

Mangfoldet av produksjoner innen grønnsaker og potet er stort, og det er stor variasjon av hvilke krav som stilles og hva som er begrensende faktorer i produksjonen. Noen vekster, som potet, kan dyrkes nær sagt over alt, men med lavere avling og tidligere sorter. Likevel er veksttid og nedbørsforhold begrensende faktorer for de fleste løkvekster og rotvekster, som potet, gulrot og kålrot. Tabell 1 skisserer kort spesielle vekstkrav og begrensende faktorer for potet og de viktigste grønnsakslagene som produseres i Norge i dag.

Mange vekster har i utgangspunktet relativt lave avlingsnivå og høye driftskostnader sammenliknet med andre europeiske land.

Tabell 1: Kort oversikt over spesielle vekstkrav og begrensende faktorer for potet og de viktigste grønnsakslagene i Norge.

Gruppe	Art/type	Vekstkrav	Begrensende faktorer
	Asparges	Høy sommertemperatur, lang vekstsesong	Vårfrost, drenering (helst 60-100 cm), lengde vekstsesong
	Agurk, friland	Høy sommertemperatur	Våte forhold før/i høsteperioden, nattefrost, vekstskifte
Belgvekster	Bønner, hage-	Høy spiretemperatur, varmekrevende	Drenering, jordstruktur, pH, vekstskifte
	Bondebønne (bønnevikke)	Lang veksttid (ved høsting av modne frø)	Drenering, jordstruktur, pH
	Erter	Moderat temperatur (10-20°C)	Langt vekstskifte pga skadegjørere, avstand til andre felt, drenering, jordstruktur, pH
Kålvekster	Blomkål	Moderat temperatur for utvikling (10-22°C)	Høy temperatur
	Brokkoli		
	Hodekål		
	Kålrot		Vekstskifte
	Rosenkål	Lang vekstsesong / lang høst, trenger kulde for hodedanning	Vekstsesongens lengde, vanntilgang
	Kinakål	Tåler høyere temperatur enn de andre kålvekstene	Stokkrenning (temp<15°C), innvendig råte / bladrandskade, drenering, vanntilgang
Løkvekster	Kepaløk	Daglengde, temperatur	Våte forhold rundt høsteperioden, vekstskifte, vanntilgang
	Purre	Lang vekstsesong, frosttoleranse (sortsavhengig)	Vanntilgang
	Potet	800-1500°d	Frost vår/høst, drenering, struktur, vekstskrifte, opptørking vår/høst, vanntilgang
Rotvekster	Gulrot		Jordstruktur/pakking, drenering, lengde på vekstsesong, vekstskifte
	Pastinakk	Lang veksttid	
	Persillerot		
	Rødbete		Vekstsesongens lengde, stokkrenning ved lav temperatur (<15°C) og lang dag
Salatvekster	Isbergsalat	Moderat temperatur, kort veksttid	Plantepatogener, høy temperatur, høy fuktighet
	Sellerirot	Høy temperatur (>15°C), lang vekstsesong	Stokkrenning (lav temperatur), frost, drenering, jordstruktur, vanntilgang, vekstskifte
	Stilkselleri		
	Sukkermais	Høy temperatur (>18°C)	Frost, kjølig/fuktig vær

EFFEKTER AV KLIMAVARIABLE PÅ PLANTEVEKST

Økt veksttid og varmesum: For noen av vekstene er vekstsesongens lengde og varmesum begrensende. Dette gjelder for potetproduksjonen med unntak av tidligpotet, og for mange grønnsakslag som f.eks. rotgrønnsaker som persillerot og pastinakk, selleri, rosenkål, purre, sukkermais og asparges (tabell 1). En lengre og varmere dyrkingssesong kan gjøre det mulig å utvide det geografiske dyrkingsområdet for slike vekster, hvor hovedtyngden av disse grønnsakslagene i dag produseres i Oslofjordområdet og Agder.

For de aller fleste grønnsakslag er den norske produksjonen i dag avhengig av sortsutvikling som gjøres av utenlandske frøfirma. De sortene som i praktisk prøving viser seg best egnet til norsk klima og dyrkingsforhold blir importert av frøforhandlerne og tilbys til norske produsenter. En lengre dyrkingssesong kan åpne for valg av andre sorter av grønnsaker med lenger veksttid og høyere avlingspotensiale. Det kan også bli mulig å bruke helt nye arter som ikke kan dyrkes i dag. Det vil også kunne legge til rette for økt kvalitet av dagens vekster gjennom tidligere modning og innhøsting under bedre forhold. For spesielt varmekrevende vekster vil ikke nødvendigvis en lengre sesong gi noen uttelling, siden temperaturene i starten og slutten av dyrkingsperioden vil være for lave.

Økt middeltemperatur vil for de aller fleste av disse vekstene i seg selv være positivt, såfremt temperaturene ikke blir svært høye. Fotosyntesen har sitt optimum rundt 16-20 ºC. Den reduseres mye over 30 ºC og ved tørke. Nok tilgjengelig vann og et godt lysklima på grunn av daglengden vil bidra positivt til å utnytte en økt varmesum.

For andre grønnsaker, som f.eks. en del av kålvekstene, kan en økning i middeltemperatur være negativt i de områdene som har høyest middeltemperatur i dag, men positivt i de områdene som i dag har marginale forhold for grønnsakproduksjon. For grønnsaker som blomkål og brokkoli er det blomsterstanden som er det spiselige produktet. Initiering og utvikling av blomsterstanden går raskest ved moderat temperatur (10-17°C). Ved høyere temperaturer forlenges tiden frem til høsteferdig produkt, og ved temperaturer over 22°C risikerer man at det ikke skjer noen blomsterinitiering i det hele tatt. Høye temperaturer vil også kunne virke negativt på produktkvaliteten til mange av kålvekstene.

Økt frekvens av perioder med ekstrem varme vil kunne ha negative effekter. Høye temperaturer kan gi vekststagnasjon gjennom å hemme fotosyntese og biomasseproduksjon og å påvirke vanntilgangen (gjennom evapotranspirasjon). Temperaturen styrer også vekstrytme og varigheten av ulike stadier i plantenes utvikling (for eksempel vegetativ fase, blomstring og modning) og kan bidra til at utviklingen går for fort, med tilhørende avlingsreduksjon. Tidspunktet for høyere temperaturer vil også ha betydning, da høye temperaturer i sensitive faser (eks blomstring) kan påvirke vekst og avling. Vekststagnasjon i perioder kan resultere i kvalitetsproblemer, som for eksempel misform eller indre misfarging eller hulrom i potet.

Mengde innstråling og lysets sammensetning kan komme til å ha betydning ved vesentlig lengre vekstsesong enn i dag, spesielt om høsten. Vil innstrålingen være høy nok til å gi god plantevekst? Solhøyden påvirker lysets sammensetning, og jo lenger ut på høsten man kommer jo lavere blir forholdstallet mellom rødt og mørkerødt lys (R/MR ratio). Forholdet mellom mengden rødt og mørkerødt

lys kan påvirke kvaliteten i grønnsaker på flere måter. Mange av grønnsakslagene vi dyrker er egentlig toårige og vil danne blomsterstengel i sitt andre vokseår etter kuldepåvirkning. Blomsterstengel kan også dannes i første vokseår (og kalles da stokkrenning), etter kuldepåvirkning (4-8°C for mange arter). Lav R/MR ratio forsterker slik kuldepåvirkning. Hvis normal høstetid for grønnsaker i fremtiden blir mye senere på høsten enn i dag vil risikoen for stokkrenning øke, med fare for kvalitesforringelse pga f.eks. strekking av stengel innvendig i hodedannende vekster som hodekål og kinakål, eller ved at rot-/knolldannende vekster begynner å bruke av næringsreservene til å danne blomsterstengel. En annen mulig effekt av lav R/MR ratio og lav innstråling sent på høsten er at det kan føre til økte mengder av uønskede stoffer i grønnsaker, f.eks. nitrat i salatvekster.

Lengre vekstsesong vil føre til at også ugraset vokser lenger enn i dag. Enkelte problemvekster som f.eks. kveke vokser godt ved lave temperaturer. En lengre vekstsesong kan gi større utfordringer med kontroll av vanskelige ugras, kanskje spesielt i økologisk produksjon.

Økt CO2- nivå: Økt CO_2-innhold i atmosfæren vil kunne påvirke plantenes vekst direkte gjennom å påvirke fotosyntesen, i tillegg til den indirekte effekten på temperatur. Som nøkkelfaktor i fotosyntesen kan økning i CO_2 -konsentrasjon bidra til å effektivisere utnyttingen av både innstråling, vann og nitrogen (Olesen and Bindi 2002). En dobling av CO_2-nivået kan øke biomasseproduksjonen for noen av de mest relevante jordbruksvekstene med om lag 10-30 % (Olesen 2014; Sæbø and Mortensen 1995, 1996). I Norge vil trolig lave temperaturer begrense CO_2 -responsen. Økning i karboninnlagring kan ha negative konsekvenser for mat- og fôrkvalitet, som et resultat av lavere proteinkonsentrasjon, men dette antas å ha liten betydning for de fleste av våre vekster.

Endret nedbørsmengde og intensitet: Rotvekst og -utvikling, og dermed plantevekst, er avhengig av god vanntilgang, men også av god luftveksling i rotsonen. For mye og for lite vann er like skadelig.

God vanntilgang er vist i norske forsøk å være svært viktig, særlig sent i sesongen, men også tidlig for løk (Riley 2014) og i knolldanningsfasen i potet (Peltonen-Sainio et al. 2010). Skadevirkningen av tørke avhenger av vekstens og sortens toleranse, vekstfasen, intensitet og varighet av vannmangelen. I mange områder har de fleste potet- og grønnsaksprodusenter tilgang til kunstig vanning. De fleste av disse vekstene er avhengig av god vanntilgang, og klimaendringer kan forsterke behovet for vanning.

Ved vannmettet jord skades røttene gjennom redusert oksygentilgang. Skadeomfanget er bl.a. avhengig av varigheten av vannmetning, temperaturforhold og plantens utviklingsstadium (Setter and Waters 2003). Skadene er oftest størst når plantene er små eller når temperaturen er høy og plantenes aktivitet stor. Lufttilgangen påvirkes av nedbørsmengder, dreneringstilstand og jordas vannledningsevne, men også av plantenes toleranse mot vannmetning. Jordas evne til å lede vekk vann avhenger av jordart, men også av grøftetilstand og graden av jordpakking.

For poteter og grønnsaker vil høy nedbørsintensitet og større mengder kunne gi stor risiko for overflateavrenning. Vekstene har mye bar jord gjennom vekstsesongen og store nedbørmengder vil kunne gi både overflateavrenning og nedvasking. Begge deler gir tap av næringsstoffer, som bidrar til økt

miljørisiko og økte gjødselkostnader/tapt avling. Større nedbørsmengder stiller store krav til jordas infiltrasjonskapasitet og status og dimensjonering for grøfter.

I tillegg til nedbørsmengde og intensitet er også hyppighet og fordelingen innen vekstsesongen av betydning. Et sammenhengende antall nedbørsfrie dager vår og høst er viktig for å kunne så, sette og høste til riktig tid. Med forventning om økende nedbørsmengder vår og høst vil ikke nødvendigvis antall dager med lagelige forhold øke. Dette kan i praksis bidra til kortere vekstsesonger, til tross for flere vekstdøgn. Det kan også bidra til mer ugunstige innhøstingsforhold.

Flere dager med nedbør i vekstsesongen kan gi lengre perioder med høy luftfuktighet, som vil føre til lavere transpirasjon fra plantemassen. Dette kan medføre dårligere transport av næringsstoffer som f.eks. kalsium i plantevevet. For enkelte arter, f.eks. salat og kinakål, kan dette gi kvalitetsproblemer som indre eller ytre bladrandskade, som igjen kan medføre råte. Lengre perioder med høy luftfuktighet vil også øke risikoen for angrep av plantepatogener hos mange plantearter. Lengre perioder enn i dag med kombinasjon av høy temperatur og høy fuktighet kan føre til økte problemer med klumprot i kålvekster.

TILPASNINGSBEHOV

Nye muligheter i et endret klima

Til tross for at det ventes flere døgn uten frost er det vanskelig å forutsi hvordan klimaendringene vil påvirke den faktiske lengden på vekstsesongen. Tidligere snøsmelting/telegang kan gi muligheter for tidligere opptørking og flere laglige jordarbeidingsdager, som igjen kan bidra til tidligere såing/setting om våren og en lenger vekstsesong. Imidlertid kan økt nedbør om våren/høsten også gi ugunstige fuktighetsforhold, noe som i mange tilfeller vil redusere lengden på vekstsesongen.

Om vi får lenger vekstsesonger med en viss grad av forutsigbarhet kan vi få:

- Utvidet dyrkingsområde for eksisterende vekster/sorter
- Muligheter for nye arter og mer høytytende sorter eller for bedre kvalitet av dagens sorter (tidligere modning og innhøsting under bedre forhold.)
- Muligheter for å utnytte rikelig vanntilførsel til krevende vekster
- Økte muligheter for valg av arter i et vekstskifte (ettårige vekster som i dag har for lang vekstsesong mange steder).

Utfordringer og tilpasningsbehov

<u>Økt nedbørintensitet og større nedbørsmengder</u>

Det har allerede vært en utvikling mot mer og mer intens nedbør. Denne trenden antas å fortsette. Økt nedbørintensitet og større nedbørsmengder vil generelt gi:

- økt risiko for overflateavrenning og erosjon. Faren for overflateavrenning er særlig stor i potet og grønnsaker på grunn av mye bar jord gjennom vekstsesongen

- økt nedvasking av næringsstoffer. Nedvasking av næringsstoffer gir økt miljørisiko og økte gjødselkostnader/tapt avling
- større utfordringer med vannmettet jord med dårlig plantevekst
- større problemer med dårlig jordstruktur etter kjøring av tungt utstyr under våte forhold
- større utfordringer med en del plantepatogener

Aktuelle tilpasningstiltak: Oppdatering av status (tilstand og kapasitet) for grøfter, forbedring av jordas infiltrasjonskapasitet (vekstskrifte, organisk materiale, endret jordarbeiding/jordløsning), planter med bedre vanntoleranse, mer presis næringstilførsel i tid og rom, tilpasset teknisk utstyr, gode beslutningsverktøy

Fuktige forhold vår og høst.

Økte middeltemperaturer framover vil innebære tidligere telegang og snøsmelting, samtidig som nedbørsmengden vår og høst forventes å øke. Dermed er det usikkert hvor godt vekstdøgnene kan utnyttes. Ugunstige fuktighetsforhold vil kunne begrense antall dager med laglige forhold for jordarbeiding og i enkelte år gi betydelig senere såing/setting. Denne usikkerheten vil kunne bidra til økt risiko i forhold til å utnytte en lenger vekstsesong med bruk av nye sorter/arter. Et kortere tidsrom med lagelige forhold vil dessuten kreve større kapasitet på arbeidsoperasjonene noe som igjen øker faren for alvorlig jordpakking. Fuktige forhold om høsten vil gi utfordringer i forhold til innhøsting, slik vi har sett eksempler på de senere årene. Fuktige forhold øker også faren for sopp- og bakteriesykdommer som kan ødelegge kvaliteten på lager.

Aktuelle tilpasningstiltak: Drenering, forbedring av jordas infiltrasjonskapasitet (vekstskrifte, organisk materiale, endret jordarbeiding), nok maskinkapasitet til å kunne utsette arbeidsoperasjoner til jorda er lagelig, sykdomsbekjemping, sortstilpasning/sortsutvikling

Forekomst av tørre og varme perioder i vekstsesongen

Økt forekomst av varme tørkeperioder i vekstsesongen vil kunne gi vekststagnasjon. Om det rammer i kritiske vekstfaser kan det gi mangelfull/feil utvikling eller tvangsmodning. For en del grønnsakslag vil tørkestress eller høy varme påvirke dannelsen av sekundære plantestoffer som har betydning for sunnhetsverdi og/eller smak i produktet. Dette kan i noen tilfeller være positivt, men vil oftere føre til kvalitetsproblemer som f.eks. uønsket bittersmak.

Aktuelle tilpasningstiltak: Vanning, dryppvanning, mer organisk materiale for bedre vannlagring, sortstilpasning/sortsutvikling

MULIGE TILPASNINGSTILTAK

Med tilpasning til klimaendringer menes tiltak som har til hensikt å redusere mulige skader, profitere på mulighetene og/ eller håndtere konsekvensene (Reidsma et al. 2010). Tilpasninger kan være av både agronomisk, teknisk, økonomisk art. Valg av tilpasningstiltak vil påvirkes av geografi, gårdsstørrelse/driftsform/driftsintensitet og vil også påvirkes av økonomiske og politiske rammebetingelser (Reidsma et al. 2010). I dette notatet fokuseres det hovedsakelig på agronomiske tiltak og tilpasninger. En del av tiltakene kan igangsettes umiddelbart og uten store systemendringer, og kan med fordel gjennomføres også under dagens klimatiske forhold for å oppnå høyere avlinger, forbedret driftsresultat og redusert miljøpåvirkning. På en del områder kan erfaringer hentes inn og tilpasses fra andre land og produksjoner. De fleste langsiktige tilpasninger til klimaendringene krever større endringer i dagens dyrkningssystemer og må ofte kombineres med samfunnspolitiske forandringer og forandringer i regelverket.

Vern av dyrket mark

Hvert år omdisponeres i underkant av 6000 dekar dyrket jord til andre formål (for eksempel utbygging av veier) (SLF, 2013). Det er nødvendig at irreversible inngrep vurderes nøye opp mot behovet for framtidig matproduksjon. Dette er særdeles viktig i Norge som har et svært lavt dyrket areal per innbygger og en relativt raskt økende befolkning.

Nydyrking kan ikke uten videre erstatte jord som går ut av drift. Nydyrking innebærer ofte fare for negative miljøkonsekvenser, særlig ved dyrking av myr. Dersom det skal dyrkes opp areal, bør dette skje strategisk med hensyn til arrondering (mekanisering, transportavstand) og framtidig arealbruk.

NYE ARTER OG SORTER

Introduksjon av nye arter

Lengre og/eller varmere dyrkingssesong kan åpne for introduksjon av nye grønnsakarter i Norge. Enkelte varmekjære grønnsakslag kan få lang nok sesong med høy temperatur til å gi sikre avlinger, og arter som normalt må dyrkes i veksthus i Norge kan tenkes produsert på friland, f.eks frilandstomater. Siste del av vekstsesongen, med lave og ustabile temperaturer kan brukes til å produsere kuldetolerante grønnsakslag. Dette er muligheter hvor det allerede nå er startet forskning på Sør-Østlandet.

Nye sorter

Foredling av nye sorter tilpasset lenger vekstsesong og planter med bedre vanntoleranse, varmestresstoleranse, sykdomsresistens.

Generelt kan det forventes at store deler av de norske potetområdene får vekstvilkår som likner mer vilkårene på kontinentet (økt temperatur/lengre vekstsesong) og noe av sortsmaterialet derfra bør kunne brukes. Imidlertid kan ulik daglengde bidra til å påvirke dyrkingsegenskaper for disse sortene. Viktige foredlingsparametere for egen foredling vil være sorter med god sykdomsresistens og stresstoleranse.

Sortsforedling er langsiktig og tidkrevende, og det bør allerede nå igangsettes arbeid for å sikre potetsorter tilpasset klimaendringene. Det tar minst 10-12 år fra man starter foredling av en ny sort, til den kan tas i bruk. Nye tilpassede sorter skal blant annet kunne utnytte potensialet av en lengre vekstsesong og økt CO_2-konsentrasjon. Forandringer i nedbørsfordeling gjør det også nødvendig med sorter som har robust og kraftig rotsystem og rotvekst for å utnytte vekstpotensialet bedre og være sterkere mot både tørke og vannmettet jord. Nye sorter bør også gi rask etablering av plantedekke og være tilpasset en endret sopp- og skadedyrsituasjon.

For grønnsakproduksjonen i Norge er situasjonen den at man allerede i dag er avhengig av utenlandsk sortsforedling. God grønnsakproduksjon i fremtiden vil være avhengig av utstrakt og kontinuerlig sortsprøving for å finne det best egnede materialet for norsk klima og markedsønsker. Aktiv kommunikasjon og samarbeid med sortsforedlere vil være viktig.

Også gamle genressurser kan få større betydning i en fremtid med endret og mer ustabilt klima. Genmateriale med stor evne til å gi stabile og gode avlinger under ustabile vekstforhold, vil kunne gi bedre dyrkingssikkerhet. Materiale som er utvalgt under norske forhold og tilpasset gjennom lang tid kan tenkes å få ny aktualitet enten ved å tas i bruk på nytt eller som del i foredling av nytt sortsmateriale. Aktivt fokus på genressurser og kompetanse på fenotyping kan bli viktig for Norges fremtidige grønnsak- og potetproduksjon.

Høyere vintertemperatur kan gjøre at det blir mulig å produsere mer overvintringsgrønnsaker av flere arter, som f.eks blomkål og løk. Kulturen etableres da på høsten, overvintrer som liten plante og kommer i vekst igjen så snart forholdene på ettervinteren tillater det. Overvintringsproduksjon vil gi tilførsel av nye norske grønnsaker vesentlig tidligere enn dagens tidligkulturer. Høyere vintertemperatur kan i noen områder også gjøre det mulig å overvintre enkelte typer avlinger på felt, med høsting etter behov under lagelige forhold i løpet av vinteren. Dette kan være aktuelt for f.eks. arter som gulrot og purre. Det vil være behov for utvikling av gode metoder og tilpasning før slike produksjoner kan anbefales i Norge.

INFRASTRUKTURTILTAK

Drenering

I Norge er om lag 40 % av den dyrka jorda naturlig drenert, resten er avhengigavhengig av dreneringsanlegg (Hoel et al. 2013). Dårlig grøftetilstand fører til seinere og ujevn opptørking, noe som gir redusert bæreevne og fare for pakkeskader, i tillegg til at våronna forsinkes. Vannmettet jord har liten luftveksling, noe som gir dårlig rotvekst og lave avlingsnivå. Planten utnytter næringen dårlig, og i tillegg omdannes nitrogen i vannmettet jord gjennom denitrifikasjon til klimagassen N_2O (lystgass). Forsøk viser at grøfting kan føre til 15 % avlingsøkning og med økende nedbørsmengder kan det forventes at avlingsutslaget blir enda større i framtida (Øygarden et al. 2009). Drenering er kostbart, men et viktig tiltak for både produksjon og miljø. Det er et betydelig etterslep med hensyn til oppgradering av grøftetilstand, gamle grøftesystemer må vedlikeholdes og fornyes fortløpende. Behovet for drenering forventes å øke og det er viktig å dimensjonere for forventede økninger i nedbørsmengder. Dette tilsier mindre grøfteavstand, gjerne ved at det grøftes mellom eksisterende grøfter (hydrologirapport). På grunn av etterslep i grøfting og

flere eksempler på våte sesonger vil bedre drenering være et viktig tiltak både på kort og lang sikt. Dette vil gagne både produksjon og miljø.

Presisjonsjordbruk

Presisjonsjordbruk defineres som bruk av avansert teknologi for å tilpasse behandlingen av jord og planter til variasjonene innenfor det enkelte skiftet. Slik tilpasset behandling kan bidra til å realisere potensialet for økt produksjon under et endret klima, samtidig som innsatsfaktorene utnyttes best mulig. Teknologien er under utvikling, men brukes foreløpig lite i poteter og grønnsaker, blant annet på grunn av investeringskostnadene. Faste kjørespor er noe prøvd og bør bli mer vanlig i radkulturene.

Nye vanningsanlegg

Etter stor utbygging på 70-tallet har det vært liten aktivitet i forhold til nye vanningsanlegg. De eksisterende er i hovedsak forbeholdt områder nær store vassdrag. Ved utvikling mot lengre tørkeperioder kan utbygging av nye vanningsanlegg bli mer aktuelt i en del produksjonsområder.

DYRKINGSTEKNISKE TILTAK KNYTTET TIL TØRKE OG NÆRING

Dryppvanning

Bruk av dryppvanning med eller uten næring vil ved økt fare for utvasking og nedvasking kunne gi bedre utnyttelse av vann og næringsstoffer og dermed mindre risiko for tap.

Vekstskifte

Økt bruk av vekstskifte generelt vil kunne tilføre andre typer næringsstoffer og stimulere jordstruktur og mikrobiologisk aktivitet i jorda, slik at næringstilgangen bedres. Vekstskifte er allerede i dag svært viktig i potet- og grønnsakproduksjon, bl.a. for å redusere risikoen for ulike skadeorganismer og minske ugraspresset. Risikoen for angrep av skadegjørere av ulike slag forventes å bli enda høyere i fremtidens klima, og godt vekstskifte og kunnskap å basere det på vil bli enda viktigere.

Kalking

Kalk består av kalsiumforbindelser (Ca) og litt magnesiumforbindelser (Mg). I tillegg til at disse næringsstoffene er viktige for planter vil kalk heve pH i jorda. De fleste næringsstoffene er best tilgjengelig for plantene ved pH 6,0 - 6,5 (www.kalk.no). I tillegg reduseres frigjøring av klimagassen N_2O ved kalking opp til pH 6 (Mørkved et al 2006). Kalsium og magnesium har også evne til å danne stabile og porøse aggregater med leir- og humuspartikler og på den måten bidra til bedre jordstruktur og dreneringsevne i jorda. Kalking øker den mikrobiologiske aktiviteten i jorda, noe som gir raskere frigjøring av næringsstoffer. Meitemarken trives også bedre når jorda ikke er for sur, mens skadeorgansimer som klumprot i kålvekster hemmes. På grunn av forsurende effekt av mineralgjødsel trenger de fleste jordarter i Norge vedlikeholdskalking (www.kalk.no). Kalktilstanden har vært bra på mye av det norske jordbruksarealet, og

brukes aktivt ved intensiv dyrking av kålvekster. De siste 15 årene er forbruket av kalk omtrent halvert, med økende forsuring som resultat (Kilde: Franzefoss).

Gjødslingsstrategier

Ta i bruk planlagt delgjødsling som tiltak mot nedvasking av næringsstoffer. Videreutvikling av andre gjødslingsstrategier, eks nye eller videreutviklede gjødseltyper, justering av gjødslingstidspunkt, annen fordeling av gjødselmengder mellom gjødslingstidspunkt, justering av normer/anbefalinger og optimalisering av gjødselplassering for å øke næringsstoffutnyttelsen. Videreutvikling og mer bruk av presisjonsgjødsling for å tilpasse gjødslinga til behovet, også innenfor skifter, er også noe som bør prioriteres.

Beslutningsverktøy

Det er viktig at gårdbrukere har tilgang til brukervennlig verktøy for varsling og beslutningsstøtte innen plantevern (VIPS), gjødsling (Nitrogenstatus) og fare for jordpakking (Terranimo). NIBIO har vært involvert i utvikling av modellen EU-Rotate_N (Rahn et al. 2010), som er utviklet for grønnsakkulturer i Europa. Den er et nyttig beslutningsverktøy for vurdering av miljømessige og økonomiske konsekvenser knyttet til nitrogen i grønnsakomløp (Riley 2007, Riley & Børtnes 2010). Utvikling av nye og videreutvikling av eksisterende modeller er viktig for å gi gårdbrukere gode verktøy til hjelp for å ta dyrkingstekniske beslutninger. Dette krever betydelig satsing på forskning og rådgiving framover for at grunnlagskunnskapen om gjødslings-, jordarbeidings- og plantevernstrategier kontinuerlig skal kunne oppdateres for å tilpasses gjeldende forutsetninger.

TILTAK MOT OVERFLATEAVRENNING

Avskjæringsgrøfter mm.

Av maskintekniske grunner og for å lette sentrering av plantene er det i potet og grønnsaksvekster vanlig med lange fårer som i kupert terreng går på langs av fallretningen for vannet. Ved større nedbørsmengder kan vannet få stor fart, og større mengder jord kan bli vasket bort. For å motvirke dette kan det lages ulike typer avskjæringsgrøfter eller mindre ujevnheter i eller mellom fårene for å redusere vannets hastighet. Dette har så langt vært lite utprøvd her i landet.

Mindre bar jord

Ved mer nedbør om høsten vil det bli viktigere å hindre overflateerosjon. Dette kan gjøres gjennom bruk av ettervekster, dekkvekster eller fangvekster eller gjennom grasdekte vannveier. Redusert jordarbeiding er fremmet som et effektivt tiltak mot erosjon, siden det bevares en høy andel planterester på jordoverflaten (Børresen and Riley 2003). Bruk av ettervekster og fangvekster har på grunn av kort vekstsesong vært mindre aktuelt i grønnsaker og potet. Dette kan endre seg ved lenger vekstsesong.

TILTAK FOR ØKT INFILTRASJONSKAPASITET I JORD

Slike tiltak er viktige for å kunne håndtere økte nedbørsmengder og mer ekstrem nedbør, men vil også gagne avlingsmengde og kvalitet av produktene på kort sikt.

Valg av dyrkingssted/jordart

For noen vekster kan det være aktuelt å skifte dyrkingsområde, vekk fra jord som tørker sent opp, som leirholdig jord, og over på lettere og/eller mer selvdrenerende jord.

Bevissthet omkring jordpakking

Jordpakking er i hovedsak en konsekvens av ønsket om mer effektiv drift. Å øke kapasiteten gjennom større maskiner kan føre til betydelige pakkeskader, spesielt i dypere jordlag (Hamza and Anderson 2005). Dette er skader som ikke kan rettes opp gjennom naturlige prosesser og derfor permanent kan redusere arealproduktiviteten og forårsake økte kostnader (Håkansson and Reeder 1994; Lebert et al. 2004; Voorhees 2000). Bruk av lettere maskiner eller kun deler av lastekapasiteten (Alakukku et al. 2003) og unngå kjøring på de fuktigste plassene vil forebygge skader. Videre vil tekniske faktorer som redusert maskinvekt, lavt lufttrykk og brede dekk (Brandhuber 2008; Sommer et al. 2002), være viktige bidrag for å ivareta jordstrukturen.

Jordas bæreevne er svakest når jorda er fuktig, kjøring på for fuktig jord må derfor unngås. Det er viktig å ha kunnskap om lagelighet for jorda og et bevisst forhold til både kjøretidspunkt og antall kjøringer.

Innføring av faste kjørespor ved sprøyting kan få økende aktualitet for radkulturer framover. Grøfting og kalking er andre tiltak som kan forbedre jordstrukturern

Strategi for jordarbeiding

God jordarbeiding er viktig for å løse opp jorda, kontrollere ugras og innarbeide planterester og husdyrgjødsel. Jordarbeiding medfører store kostnader (drivstoff, arbeid), krever maskin- og redskapskapasitet og er avgjørende for plantenes vekstvilkår. Riktig jordarbeiding gir god jordstruktur og bidrar til god rotvekst, vanninfiltrasjon og muligheter for lagring av vann og næringsstoffer. Vanlig pløying letter opptørkingen og løser opp hjulspor, pakkeskader og/ eller tette jordlag. Pløying innarbeider halm og andre planterester, og reduserer ugras- og Fusarium-problemer (Hofgaard et al. 2012). Vårpløying begrenser erosjon gjennom vinteren og er i mange tilfeller like effektiv som høstpløying. Redusert jordarbeiding motvirker opptørking og øker jordstabiliteten, aggregering og vanninfiltrasjon. Redusert jordarbeiding må kombineres med effektive planteverntiltak for å unngå problemer med ugras og plantesykdommer. De lokale forholdene, på det enkelte bruk det enkelte år, er avgjørende for valg av hensiktsmessig type jordarbeiding. På grunn av planterester og krav om mye løs jord er ikke redusert jordarbeiding alltid like hensiktsmessig å kombinere med radkulturer. Jordløsning under ploglaget kan være effektivt under enkelte forhold, men nytte- og skadevirkninger av dette bør undersøkes videre.

Organisk materiale

Organisk materiale har positiv effekt på aggregatstabilitet og dermed på jordstruktur, samt på biologiske prosesser i jorda. Det bidrar til å øke jordas produksjonsevne og gi effektiv utnyttelse av innsatsfaktorene. Mengden og sammensetningen av det organiske materialet i jorda er viktig for evnen til å lagre vann og næringsstoffer. Organisk materiale i jord brytes ned og kan bidra til å øke CO_2 innholdet i atmosfæren. Nedbrytingshastigheten øker med økende temperatur, noe som vil redusere jordfruktbarhet og ha negative avlingseffekter. Vekstskifte, veksling mellom ulike plantearter på et skifte, er et viktig jordforbedringstiltak som vil kunne øke moldinnholdet og stimulere den mikrobiologiske aktiviteten i jorda, og gjennom det ha positiv effekt på både avlinger og kvalitet.

Sykdomsreduserende tiltak

Et varmere og fuktigere klima vil gi gode vilkår også for ugras, skadedyr og plantesykdommer forårsaket av sopp, bakterier og virus. Med endret klima er nye skadegjørere også ventet å spre seg fra sørlige land. Virkningsgraden av plantevernmidler kan også påvirkes av miljørelaterte faktorer som temperatur, nedbør og vind, enten positivt eller negativt (Olesen and Bindi 2002). En lengre vekstsesong kan dermed medføre behov for bruk av mer plantevernmidler. Klimaendringene krever fokus på optimalisering av plantevernstrategiene, både i forhold til midler, bruksmåter og brukstidspunkt. Gode varslingssystemer og bekjempningsråd vil bli svært viktig i forhold til å bruke minst mulig kjemiske midler. Vekstskifte bør anvendes for å redusere ugras- og skadedyrproblemer. Krav om bruk av integrert plantevern (IPM) på europeisk nivå vil gjøre det viktig også å ta i bruk hensiktsmessig vekstskifte og robuste, konkurransedyktige og resistente kulturplanter. Utfordringer på plantvernsiden bør møtes med større satsning på utvikling og implementering av alternativer til kjemisk bekjempelse som kjemisk-økologiske metoder (f. eks. massefangst med luktfeller), biologisk bekjempelse (naturlige fiender, biopesticider), termiske og mekaniske metoder. Samtidig må en utnytte kjemiske metoder og veksle på midler for å hindre resistens. Mer detaljert informasjon om plantevern og klimaendringer finnes i eget notat om «Plantehelse og skoghelse».

Et ytterligere tiltak for å redusere svinn relatert til sykdommer ved lagring er oppgradering av eksisterende lager for grønnsaker og poteter til kjølelager med god nok kapasitet og styring til å ivareta kvaliteten gjennom en mildere vinter.

KUNNSKAPSSTATUS OG FORSKNINGSBEHOV

Tidligere og igangværende forskning, nasjonalt og internasjonalt, bidrar med betydelig kunnskap om relevante problemstillinger. For å håndtere store utfordringer knyttet til naturgitte forutsetninger i endring trengs likevel en kraftig styrking av forskningen framover.

I det følgende gis en kort kommentar på kunnskapsstatus og forskningsbehov på det som anses å være viktige problemstillinger i et endret klima (forskningsbehov i kursiv). Med få unntak er dette problemstillinger som med fordel bør adresseres også på kort sikt. Mange av punktene vil være av felles nytte for all åpenåkerproduksjon.

KUNNSKAPSSTATUS OG FORSKNINGSBEHOV FELLES FOR ÅPENÅKERVEKSTENE

Drenering og kalking

Mye nedbør kan på jordtyper med dårlig naturlig drenering gi forhold med høyt grunnvannsnivå. Dette vil bidra til dårlige forhold for jordarbeiding med fare for jordpakking (Hove, 1981), dårlige vekstforhold om sommeren, fare for økt overflateavrenning, erosjon og P-tap (Skaggs og Youssef, 2008) og fare for økt utslipp av lystgass (Øygarden et al 2009). God drenering er vist å gi avlingsøkning i korn, i hovedsak som et resultat av tidligere våronn, fordi jorda tørker fortere. God dreneringstilstand er særlig viktig ved fuktige forhold og når en nærmer seg dyrkingsgrensen for vekstene. Også ved vanskelige innhøstingsforhold er det viktig at jorda tørker fort. Ifølge Hove (1981) har rundt to tredeler av den dyrka jorda i Norge behov for grøfting, mens en tredel er selvdrenerende. På bakgrunn av Landbrukstellinga 2010 er det konkludert med at i gjennomsnitt for hele landet kan 8 prosent av arealet kan klassifiseres som dårlig drenert, med henholdsvis 12 og 15% i Østfold og Akershus. Av det dårlig drenerte arealet på landsplan er 48 prosent leid jord. En høy andel leiejord er en stor utfordring for langsiktige investeringer som kalking og grøfting. God kalktilstand er viktig for næringsopptak og struktur i jorda. Relativt høye arealtilskudd, og mindre andel av inntekten fra produkter og investeringstilskudd er forhold som reduserer lønnsomheten for tiltak som kalking og drenering.

Det er gjort noen få feltforsøk i korn, men det er behov for mer kunnskap om avlingsrespons og miljøeffekter av bedre drenering også for radkulturer, gjerne koblet til dimensjonering og intensiteten av grøftesystemer under ulike klima og jordfysiske egenskaper. Sammenligning mellom drenering, driftspraksis og pakkingsskader bør også belyses nærmere ved forskning. Det er også behov for mer kunnskap om drenering og andre tiltak knyttet til tap av nitrogen, fosfor og plantevernmidler.

Vekstskifte og organisk materiale.

Bevaring av jordas karboninnhold er viktig for å begrense global oppvarming og for å opprettholde jordas fruktbarhet og gi effektiv utnyttelse av innsatsfaktorene. Moldinnhold, mikrobiologisk aktivitet og næringstilgang kan blant annet økes gjennom et godt vekstskifte. I tillegg kan godt vekstskifte bidra til å redusere sjukdomssmitte, og forbedre næringstilgang og jordstruktur.

Moldinnholdet i det meste av norsk åpenåkerjord er på vei ned (Riley et al 2006). Med utgangspunkt i høye moldinnhold har dette mindre betydning. I en del arealer nærmer det seg imidlertid en kritisk grense der aggregatstabilitet, biologiske prosesser, lagringevne for vann og næringsstoffer reduseres.

Det er behov for økt kunnskap om viktigheten av organisk materiale for erosjon, næringstilgang, jordstruktur og plantevekst, samt kunnskap om tiltak som kan øke innholdet i dyrkingsjorda. Viktige stikkord er vekstskifte, mellomvekster og biokull. Muligheten for å utnytte vekstskifte mer bevisst til sanering av sykdommer, ugras og skadedyr bør også undersøkes. Lengre veksttid vil her gi nye valgmuligheter i forhold til vekslingsvekster. Det bør undersøkes betydning av art/sort, dyrkingsteknikk, så-/plante/-settedatoer og -mengder. Mot nematoder kan sykdomsforebygging med oljereddik og sennep (biogassing) ha særlig relevans.

Forskningsbehov fra notat fra «Kornproduksjonen» som er like relevant for alle radvekster:

- Økonomiske studier: Hvordan kan lønnsomheten forbedres? Hva skal til for at tiltakene iverksettes? Gevinstpotensial for ulike tiltak.
- Tekniske spørsmål: Nye redskaper/metoder/agronomi for å redusere erosjon, løse pakket jord, bekjempe ugras.
- Beslutningsstøtteverktøy som kobler informasjon om dreneringstilstand, laglighet, værdata og plantens toleranse til vannmetning for å kunne predikere risikoen for vannmetningsskader.

Det bør også legges til at det er behov for videreutvikling av eksisterende verktøy innen plantevern (VIPS), gjødsling (Nitrogenstatus) og jordpakking (Terranimo) i forhold til nye forutsetninger.

KUNNSKAPSSTATUS OG FORSKNINGSBEHOV MED VEKT PÅ POTETER OG GRØNNSAKER

Arter, sorter og dyrkingssted

Foredling av norske potetsorter foregår i dag på Graminor. Resistens mot sykdommer er viktig foredlingsmål også i dag. Framover er det viktig å tenke mot sorter som er robuste mot ulike værforhold knyttet til temperatur, CO_2 og vannstress (mye/lite). Sortene bør også bevare sin kvalitet ved ujevne vekstforhold, - i dag er rust og sekundær knollvekst ofte forekommende etter slike sesonger.

Det bør vurderes screeningforsøk for nye sorter for stressfaktorer (varme, vann/tørkestress).

Sortsforsøk med potet gjennomføres i dag i hovedsak gjennom offentlig testing (NIBIO på oppdrag fra Mattilsynet) og gjennom privat prøving. For grønnsaker er det ingen koordinert sortsprøving, men en del arbeid gjøres av de enkelte enheter i Norsk Landbruksrådgivning, ofte i samarbeid med (men ikke finansiert av) frøforhandlere og sortseiere. Sporadisk sortsprøving gjøres også av NIBIO finansiert av midler fra Landbruks- og matdepartementet. Det vil framover være viktig å kartlegge hvordan ulike arter og sorter påvirkes i et endret klima.

Det er behov for forskning som studerer effekter og samspill mellom forskjellige faktorer som inngår i et endret klima, f. eks temperatur, CO_2, daglengde, ozon. Studier av rotutvikling bør inngå som en del av dette. Ved introduksjon av mer varmekjære sorter er det viktig å ha kunnskap om mulige daglengdeeffekter. Systematisk og kontinuerlig sortsprøving av grønnsaker blir viktig for å sikre godt tilpasset materiale, ettersom det knapt gjøres norsk sortsforedling av grønnsaker.

Ved endrede dyrkingsbetingelser kan det være aktuelt å introdusere nye grønnsaksarter til Norge. Slike arter og sorter kan med fordel først testes under kontrollerte forhold og med ulike dyrkingsforhold før de introduseres i større skala.

Et endret klima kan påvirke dyrkingsområdet for ulike vekster. Til dels svært detaljerte jordbrukskart kan brukes som grunnlag for å lage egnethetskart for ulike radvekster. Det eksisterer i dag slike kart for grønnsaker i Vestfold, og det er initiert ytterligere arbeid med slike kart, blant annet i Østfold i 2015-2016 og gjennom en nasjonal ikke innvilget søknad på potet («MATKART»). Ved endret klima kan slike egnethetskart få økt aktualitet. De kan brukes for å finne dyrkingssteder som gir akseptabel avlingsstørrelse, produktkvalitet og miljøeffekt for produksjonen. Forsøk i NIBIO-prosjektet «Økt konkurransekraft for norske poteter» 2013-2017 viser stor betydning av dyrkingsforholdene på skallkvalitet av poteter.

En god kunnskapsbase om forhold som påvirker avling, kvalitet og miljøeffekter av ulike radvekster bør utarbeides og utnyttes til modellering av egnethet for nye klimaforhold

Stressforsøk

Ved endret klima er det viktig å ha robuste planter som best mulig tåler endringer i klima og jordfysiske forhold. Det kan være vannmetning, tørkestress eller varmestress, men også tiltak som påvirker jordfysiske forhold. I NIBIO er det nylig gjennomført prosjekter med ulik jordpakking og løsning der effekten på gulrot og potet studeres på rot- og helplantenivå. Det er de siste årene også utført en del arbeid på betydningen av fuktighet og temperatur i dyrkingssesongen på skurvforekomst og skallkvalitet av potet.

Det er stort behov for videre studier på både rotvekst, helplanter og bestandsnivå av abiotisk stress. Det er behov for større forståelse om samspillet mellom ulike vekstfaktorene i de ulike vekstene for avling og kvalitet, da dette er viktig for prediksjon av planteresponser i et endret klima.

Nærings- og vannforsyning

Ved endret klima vil det være behov for nye strategier der næring og vann i større grad tilføres ved behov i tid og rom. Det er god kunnskap om effekter av nitrogen til radvekstene, men mindre i Norge på andre makro og mikrostoffer. Presisjonsgjødsling øker i utbredelse i Norge, men er lite brukt i potet og grønnsaker.

For å realisere et potensiale for økt produksjon i radkulturer under endret klima bør presisjonsgjødsling utvikles for radkulturer som en metode for effektiv tildeling av riktig mengde næringsstoffer innad på

skiftet. Strategier for fordeling av næringstildeling over tid bør videreutvikles for å redusere næringstap. Aktuelle tiltak er ulike delgjødslingsstrategier, bladgjødsling og dryppvanning med næringsløsning.

God vanntilgang er vist i norske forsøk å være svært viktig, særlig sent i sesongen, men også tidlig for løk (Riley 2014). Dryppvanning i form av svetteslanger er så vidt testet til frilands radkulturer i Norge og kan få økende aktualitet.

Dryppvanning bør kunne utvikles videre som et tiltak mot vekststagnasjon i tørre perioder.

Erosjon og overflateavrenning

Omfanget av erosjon og overflateavrenning forventes å øke, og ikke minst i grønnsaker og potet med lange fårer og mye bar jord det meste av sesongen.

Det vil være økt behov for forskning og tiltak som kan hindre vannet i å grave, eksempelvis avskjæringsgrøfter, ulike strukturer som reduserer vannhastigheten, bruk av ettervekster eller dekkvekster, eller bruk av samplanting.

OPPSUMMERING

Med økte middeltemperaturer og lenger vekstsesong har Norge et visst potensiale for økt norsk produksjon av landbruksvarer, også for poteter og grønnsaker. Dyrkingsområdet kan utvides og det kan tas i bruk nye arter og mer yterike sorter. Med økt temperatur følger imidlertid mer nedbør og større nedbørintensitet, noe vi allerede har fått en forsmak på. Dette kan gi utfordringer med vannmettet jord i lengre perioder, men også med lengre perioder med varme og tørke. Mye nedbør vår og høst kan sterkt begrense muligheten til å utnytte en lenger vekstsesong og til å høste produktene under gode forhold. Ujevne vekstforhold kan videre være uheldig for vekstrytmen, og endrede klimaforhold kan påvirke plantefysiologiske responser, noe som påvirker både avling og kvalitet.

For å realisere et potensiale for økt produksjon er det behov for agronomiske, tekniske og politiske tilpasninger og tiltak, både på kort og lang sikt. Strukturtiltak som bør prioriteres er oppfølging av grøftetilstanden ved norske gårdsbruk, til en viss grad også kalktilstanden. En rekke andre tiltak med innflytelse på jordas framtidige produksjonsevne må også få fokus, som økte bruk av vekstskifte, redusert jordarbeiding og andre tiltak som kan øke jordas fruktbarhet. Jordpakking knyttet til kjøring med tungt utstyr på våt jord er en økende trussel for jordas produksjonsevne og må adresseres. Videre må det være fokus på et mest mulig robust plantemateriale som tåler variasjoner i vekstforhold. Det er også behov for kunnskap og teknologi som kan gi effektiv tildeling av vann og næring når planten kan nyttiggjøre seg det, slik at minst mulig ressurser går til spille. Økte forekomster og nye typer sykdommer, insekter og ugras må også håndteres som en del av et varmere klima. Basis for videre prediksjon av planteresponser i et endret klima er imidlertid økt forståelse for samspillet mellom ulike vekstfaktorene og deres betydning for avling og kvalitet i de ulike vekstene.

Værstatistikken tyder på at utviklingen mot varmere og villere klima er i gang. Ettersom de fleste av tiltakene vil ha positive konsekvenser for avling og kvalitet også på kort sikt, kan de med fordel igangsettes umiddelbart. En betydelig styrket satsing på forskning, utvikling og rådgiving bør danne grunnlaget for å kunne gjøre de rette tilpasninger og tiltak.

LITTERATUR

Alakukku, L., Weisskopf, P., Chamen, W.C.T., Tijink, F.G.J., van der Linden, J.P., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G. 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 1. Machine/soil interactions. Soil & Tillage Research 73, 145-160.

Brandhuber, R., Demmel, M., Koch, H.J., Brunotte, J. 2008. Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen, In: DLG (Ed.), DLG Merkblatt. Bayerische Landesanstalt fuer Landwirtschaft (Lfl), pp. 1-18.

Børresen, T., Riley, H. 2003. The need and potential for conservation tillage in Norway, Proc.Int. Soil Tillage Res. Org. 16th Triennial Conference, Brisbane, 'Soil Management for Sustainability'. , Brisbane, Australia, pp. 190-195.

Cottis, T. 2015. En framtid du ikke vil ha. Global oppvarming: Forutsetninger, risiko og sannsynlige konsekvenser. Rapport 9/2015. Fremtiden i våre hender.

Hamza, M.A., Anderson, W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems - A review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research 82, 121-145.

Hanssen-Bauer, I., H. Drange, E.J. Førland, L.A. Roald, K.Y. Børsheim, H. Hisdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandven, A. Sorteberg, S. Sundby, K. Vasskog og B. Ådlandsvik (2009): *Klima I Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilplassing*, Norsk klimasenter, september 2009, Oslo

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland,I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. 2015. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NKSS rapport no. 2/2015. p. 204

Hoel, B., Abrahamsen, U., Strand, E., Åssveen, M., Stabbetorp, H. 2013. Tiltak for å forbedre avlingsutviklingen i norsk kornproduksjon, In: Bioforsk (Ed.), Biofrosk rapport p. 95

Hofgaard, I.S., Seehusen, T., Abrahamsen, U., Razzaghian, J., Le, V.H., Elen, O., Strand, E., Brodal, G. 2012. Impact of agricultural practices on mykotoxin contamination of oats and spring wheat in Norway, 7th conference of the World mycotoxin forum and XIIITh IUPAC international symp., Rotterdam, Netherlands.

Hove, P. 1981. Bæreevne og stabilitet i jorda i relasjon til drenering. Sluttrapport Norges Landbruksvitenskapelige Forskningsråd. nr.362. ISBN 82-7290-076-9. 10 s.

Håkansson, I., Reeder, R.C. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. Soil & Tillage Research 29, 277-304.

Lebert, M., Brunotte, J., Sommer, C. 2004. Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schaedlichen Bodenveraenderung. entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Boeden/ Regelung zur Gefahrenabwehr, 46-04 ed. Umweltbundesamt.

Møller, H., E. Svanes 2009. Statusgjennomgang Mat og miljø. Oppdragsrapport OR.23.09, Østlandsforskning. http://ostfoldforskning.no/uploads/prosjektsider/publikasjon/Statusgjennomgang_mat_og_milj%C3%B8.pdf

Mørkved, P.T., Dörsch. P. and Bakken, L.R. 2006a. The nitrification product ratio N2O/(NO3-+NO2-) in soil and its dependence on soil pH. Soil Biol. Biochem. 38, 3411-3420

Olesen, J.E. 2014. Agricultural crops, In: Olesen, J.E., Astthorsson, A., Bragason, A., Jarp, J., Kristofersson, D.W., Mielikäinen, K., Oddsson, G., Stokseth, A. (Eds.), Climate change and primary industries: Impacts, adaptation and mitigation in the Nordic countries. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.

Olesen, J.E., Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and plolicy. European Journal of Agronomy 16, 239-262.

Rahn, C.R., Zhang, K., Lillywhite, R., Ramos, C., Doltra, J., de Paz, J.M., Riley, H., Fink, M., Nendel, C., Thorup Kristensen, K., Pedersen, A., Piro, F., Venezia, A., Firth, C., Schmutz, U., Rayns, F. & Strohmeyer, K. 2010. EU-Rotate_N – a European Decision Support System – to Predict Environmental and Economic Consequences of the Management of Nitrogen Fertiliser in Crop Rotations. Europ. J. Hort.Sci 75(1):20-32.

Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, O.A., Leemans, R. 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agricultur: The importance of farm level responses. European Journal of Agronomy 32, 91-102.

Riley, H. 2007. EU-Rotate_N: Et beslutningsverktøy for vurdering av N-syklus i grønnsaksomløp. Bioforsk FOKUS 2(1): 144-145.

Riley, H. Vanningsstrategi for frilandsgrønnsaker. Når er det nok, men ikke for mye? Gartneryrket 10/2014, 16-19.

Riley, H og M. Bakkegard 2006. Declines of soil organic matter content under arable cropping in southeast Norway. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science 56: 217-223.

Riley, H. & Børtnes, G. 2010. Economic and Environmental Assessments of Vegetable Rotations in Norway using the EU-rotate_N Model. Acta Horticulturae (852):215-226.

Skaggs, R.W., Youssef, M.A. 2008. Effect of Drainage Water Management on Water Conservation and Nitrogen Losses to Surface Waters. North Carolina State University. 16th National Nonpoint Source Monitoring Workshop, September 14-18, 2008 Columbus, Ohio

Setter, T.L., Waters, I. 2003. Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. Plant Soil 253, 1-34.

Sommer, C., Brandhuber, R., Brunotte, J., Buchner, W. 2002. Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion, Kap. 3: Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen, In: Bundesministerium fuer Verbraucherschutz, E.u.L. (Ed.). Bundesministerium fuer Verbraucherschutz, Ernaehrung und Landwirtschaft, Bonn, Germany.

Sæbø, A., Mortensen, L.M. 1995. Growth and regrowth of Phleum pratense, Lolium perenne, Trifolium repens and Trifolium pratense at normal and elevated CO 2 concentration. Agric., Ecosyst. Environ. 55, 29-35.

Sæbø, A., Mortensen, L.M. 1996. Growth, morphology and yield of wheat, barley and oats grown at elevated atmospheric CO 2 concentration in a cool, maritime climate. Agric., Ecosyst. Environ. 57, 9-15.

Voorhees, W.B. 2000. Long-term effect of subsoil compation on mais yield, In: Horn, R., Van den Akker, J.J.H., Arvidsson, J. (Eds.), Subsoil compaction: Distribution, Processes and Consequences. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, pp. 331-338.

Øygarden, L., Nesheim, L., Doersch, P., Fystro, G., Hansen, S., Hauge, A., A, K., Krokann, K., Stornes, O.K. 2009. Klimatiltak i jordbruket- mindre lystgassutslipp gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal og optimalisering av dyrkingsforhold, In: Bioforsk (Ed.), Bioforsk rapport, p. 83.

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRINGANE

VERKNADER AV ENDRA KLIMA OG BEHOV FOR TILPASSINGAR NORSK FRUKTPRODUKSJON

Seniorforsker Mekjell Meland
Divisjon for mat og samfunn, NIBIO
mekjell.meland@nibio.no

Forsker Eivind Vangdal
Divisjon for mat og samfunn, NIBIO
eivind.vangdal@nibio.no

GENERELT OM KLIMA OG FRUKTDYRKING

Klimaet er den mest signifikante miljøfaktoren som påverkar fruktproduksjonen i heile verda. På grunn av klimaet, kan ein berre dyrka tempererte frukter i Noreg. Som namnet seier vert dei hovudsakleg dyrka i området i verda som har temperert klima. Produksjonen føregår mellom breiddegradene 35°- 55° der det er kjøleg nok om vinteren for å bryta kvila slik at det vert normal bløming og fruktutvikling. Dyrkinga kan strekkjast mot varmare regionar ved å dyrka sortar som har lågare kjølekrav eller ved bruk av kjemikaliar som kan bryta knoppkvila. Tilsvarande kan dyrkingsgrensa strekkjast mot kjølegare vêrlag ved å dyrka sortar som har kortare utviklingstid frå blomstring til hausting.

Både kjerne - og steinfruktene høyrer alle til rosefamilien. Dei er kjenneteikna ved at dei er lauvfellande og at dei krev ein kvileperiode vanlegvis i vintermånadane etter lauvfelling og er i dvale. Så snart lauvfellinga er over, må treet akkumulera eit ulik tal avhengig av sortane med kjøleeiningar føre knoppsrett til neste vår. Kjøleeiningar er temperaturar over frysepunktet og vanlegvis mellom 4-6° C og lågare enn 8-12° C. Talet med akkumulerte kjøleiningar som er turvande til å bryta kvila varierer mellom artene og sortane. Vanlegvis ligg det på nokon hundre og opp til to tusen timar (Webster, 2005).

Frukttrea er intolerante til høge sommartemperturar og låge vintertemperturar. Dei kan tolerera nokon få sommardagar med temperaturar over 40° C. Vert det varmare sjølv med tilstrekkeleg tilførsel av vatn, er ikkje trea i stand til å ta opp vatn og gjennomføra transpirasjonen tilstrekkeleg gjennom blada slik at dei vert nedkjølte. Tilsvarande vil fotosyntese aktiviteten verta redusert, fruktene og fargen vert redusert og utsette for solsviing.

Også låg vintertemperatur er eit problem for frukttrea. Det kan føra til skade på trea eller at dei daudar. Skadenivået er på grunn av låg temperatur er avhengig kva tid i kvila treet er. Trea er mest hardføre midt på vinteren når dei er i den djupaste kvila. Ved byrjinga av kvila og i slutten er trea mindre vinterherdige.

Over det sentrale Austlandet er det nær samanheng mellom temperaturen i dei kaldaste månadane, og utbreiinga av frukttre. Det hender år om anna at temperaturen fell så lågt om vinteren, at trea døyr ut, eller får meir eller mindre alvorleg frostskade. Skaden kan vere inngangsport for soppar, som svekkjer trea vidare dei komande åra. I dei indre områda av landet vårt er sommaren dessutan kort og kjølig i mange år.

På stader med kalde vintrar og lite stabilt snødekke, kan røtene på trea blir skadde eller drepne av kulde. Slik skade har førekome fleire stader, og er mest vanleg i t.d. Indre Sogn.

Dei fleste fruktslaga vi dyrkar må ha ein periode med låg temperatur for at kvila i knoppane skal bli oppheva. Sør mot Middelhavet kan vinteren vere så kort, at mangel på vinter set grensa for dyrking mot sør for ein del fruktslag, mellom anna for eple og pære. Her Noreg er vinteren alltid lang nok for at kvila skal bli oppheva.

Observasjonar av vill vegetasjon viser kva planter som finst naturleg på staden, og korleis dei trivst. Ved slike fenologiske observasjonar er hassel ei god indikatorplante. Der hasselen er sparsamt utbreidd og buskane er låge, er temperaturen i dei fem veksemånadane kring 12oC, og berre lite kravfulle fruktsortar

kan dyrkast. I område med mykje hassel, og buskane er høge, er temperaturen i veksemånadane 13oC eller høgare, og kravfulle eplesortar som 'Gravenstein' kan dyrkast (Måge, 2005).

(Omtale av bær, t.d.lite vinterherdige bringebær og frost i jordbær)

Denne utgreininga tek utgangspunkt i ein nyleg publisert rapport om verknader av klimaendringar for Noreg (Hanssen-Bauer et al. 2015) som gjev informasjon om forventa nedbør og temperatur i perioden fram til 2100. Det vert teke utgangspunkt i ein modell som gjev ein temperaturauke på 2 °C i årsmiddel temperatur fram mot år 2060. Vintertemperaturen aukar meir enn sommartemperaturen. Nedbørsmengd og intensitet vil auka også.

LOKALISERING OG OMFANG AV FRUKT OG BÆRPRODUKSJONEN I NOREG

Handelsdyrkinga av frukt i Norge er berre lokalisert på dei klimatisk aller beste stadene i landet. På Austlandet er det området rundt Oslofjorden og nokre større innsjøar som har salsproduksjon i større målestokk. På Sørlandet er frukthagane meir spreidde og ligg litt inn frå kysten. Vestlandet har mest frukt i dei midtre og indre fjordbygdene. Forbrukarane stiller større og større krav til kvalitet, og regelen er at utviklinga på fruktene blir betre di høgare sommartemperaturen er. Går vi frå dei beste mot dei dårlegaste klimaområda, vil sort etter sort falle bort, anten fordi den ikkje toler låge vintertemperaturar, eller fordi den stiller store krav til sommartemperaturen. Ved fruktdyrking til eige bruk blir det ikkje lagt så stor vekt på avling og kvalitet, og produksjonen kan strekkjast lengre ut mot dei klimatiske grensene.

Utbreiinga av frukttre i Noreg rettar seg etter klimaet. Ute mot kysten frå Sør- Vestlandet og nordover er det låg sommartemperatur som er den avgrensande faktoren for korleis frukttrea klarar seg. Frukttre kan vekse langt nord i Nordland fylke, men sommartemperaturen er der så låg, at trea utviklar ingen eller få blomsterknoppar, og det blir lite eller ikkje avling. Dei fruktene som måtte koma, blir små og dårleg utvikla. I område med kjølege somrar, vil ikkje trea utvikle god resistens mot låg vinterkulde, slik at det lett blir frostskadde den påfølgjande vinteren.

Omfanget av produksjonen i 2014 (SSB) var 13615 daa med eple, 598 daa med pære, 4302 daa med plomme og 1634 daa med søtkirsebær. Innan bær var arealet 2450 daa med solbær, 16839 daa med jordbær og 3669 daa med bringebær.

Tabell 1 viser den fylkesvise fordelinga av arealet av dei ulike frukt og bær produksjonane. Halve eplearealet finn ein på Vestlandet med Hordaland som det største fylket. Austafor finn ein epleproduksjonen hovudsakleg i Telemark, Buskerud og Vestfold.

Pæredyrkinga i landet er i ferd med å forsvinna . Men det er ein liten produksjon på Vestlandet. Ein vonar no at produksjonen vil ta seg opp att i samband med planting av den nye Graminor sorten Celina . Hordaland er det dominerande plomme- og søtkirsebærfylket saman med Sogn og Fjordane. Men dei same fylka på Austlandet som dyrkar eple har også ein stor plomme- og søtkirsebærproduksjon.

Tabell 1. Fylkesvis fordeling i tal daa med ulike produksjonar av frukt- og bær.
Kjelde: LMD, søknader om DK tilskot og areal tilskot i 2015

Fylke	Eple	Pære	Plomme	Søt og sur kirsebær	Jordbær	Andre bær
Østfold	**298**	**2**	**7**	**2**	**1 422**	**262**
Akershus	**92**	**3**	**20**	**11**	**1 681**	**152**
Hedmark	**90**	**8**	**76**	**4**	**1 280**	**1 031**
Oppland	**53**			**1**	**1 922**	**216**
Buskerud	**2 347**	**4**	**310**	**265**	**2 960**	**1 612**
Vestfold	**955**	**8**	**381**	**221**	**2 018**	**358**
Telemark	**2 809**	**4**	**382**	**285**	**252**	**917**
Aust Agder	**28**	**1**	**31**	**20**	**499**	**175**
Vest Ager	**19**	**9**	**13**	**40**	**559**	**105**
Rogaland	**337**	**35**	**176**	**47**	**491**	**155**
Hordaland	**4 474**	**302**	**2 012**	**581**	**81**	**69**
Sogn og Fjordane	**1 944**	**210**	**770**	**341**	**420**	**1 806**
Møre & Romsdal	**84**	**9**	**138**	**59**	**1 070**	**106**
Sør Trøndelag	**47**		**4**		**404**	**45**
Nord Trøndelag	**62**		**4**	**4**	**1 205**	**220**
Nordland	**5**	**2**	**4**	**4**	**72**	**44**
Troms og Finnmark					**93**	**40**
Sum landet	**13 644**	**597**	**4 328**	**1 885**	**16 429**	**7 313**

Figur 1. Arealutviklinga av norsk fruktproduksjon dei siste 10 åra.
Kjelde: LMD, søknader om DK tilskot og areal tilskot

Bærproduksjonane er meir fordelte i landet. Hordaland som også har gode vilkår for jordbærdyrking skil seg ut med lite areal. Jordbærdyrking finn ein i alle fylka i landet.

ENDRING I KLIMATILHØVE I DYRKINGSOMRÅDA I NOREG – KONSEKVENSAR FOR FRUKT OG BÆRDYRKINGA

1.Effektar av høg vintertemperatur

Frukttrea må ha ein periode med låg temperatur for at den fysiologiske kvila skal bli oppheva. Skade av for kort og mild vinter førekjem aldri hos oss, men kan førekoma så langt nord som til Frankrike og England i enkelte år. Men grensa vil flytta seg nordover og kan i ekstremår verta eit problem i Noreg. Trea vil då blomstre over ein lang periode, fruktsetjing blir lite regulær, og mogning vil variere mykje frå frukt til frukt på same treet (Luedeling, 2012).

Vinterfrost i nye dyrkingsområde lenger nord kan verta eit problem i etterkant av høgare vintertemperaturar.

2.Skade av vårfrost

Knoppar, særleg blomsterknoppar, frys lett i tida omkring blomstring. Dei meristematiske celler er då i ein aktiv delingsfase, og toler lite eller ikkje frost. I surkirsebær er det funne at på stadiet svellande knopp toler blomsterknoppane -10 °C utan at dei blir skadde. På stadiet grøn spiss blir knoppane skadde når temperaturen kjem under -4 til -5 °C. På stadiet tett eller open klyngje toler knoppane -1 til -2 °C, og i open blomster frys dei ved 0 til -2 °C. Sortar og arten som blomstrar tidleg, som søtkisrebær og aprikos, er mest utsett for slik skade, men skaden er sterkt avheng av når kulda set inn. Slik skade kan vi sjå ved at griffelen er øydelagd (mørkfarga), og vi ser det lettast i blomstringsperioden. Når griffelen i ein blomster hos steinfrukt er skadd, blir det inga frukt.

Frost både før og etter blomstring fører til at overhuda losnar på den unge karten. Det blir det vi kallar ”korkhud” på overflata. Slik tidleg frostskade er vanleg, og vi finn den heilt fram til fruktene er mogne. Ofte kallar vi dette for froststriper, fordi korkområdet strekkjer seg som ei stripe frå stilk- til begerende hos frukta. Stripa er breiast midt på frukta, og smalnar mot stilk og beger.

I land lengre sør er frostskade i blomster meir vanleg enn her hos oss. Der skjer blomstringa ofte så tidleg, at det kan kome kuldeperiodar. Når blomstringa pågår her i landet, er det ofte så langt utpå våren, at vi er lite utsette for frost. I fleire land kring Nordsjøen, reknar dei med skade i eple- og pæreblomster i to av ti år.

På Vestlandet er det lite vanleg med frost i blomstringa, over Austlandet hender det oftare og då særleg i steinfrukt. Slik blomsterfrost kjem helst i stille, klåre netter med sterkare utstrålinga av energi enn innstrålinga. Overflata som strålinga skjer ut frå, kan bli fleire grader kaldare enn lufta omkring, dersom den utstråla energien ikkje blir erstatta frå andre varmekjelder. I slike frostnetter kan skade hindrast med vatning, eller brusing med fine dyser. Vatnet legg seg i eit tynn hinne over alle overflater, det frys til is på planta. Frysinga frigjev varme så temperaturen under eit vått islaget går ikkje under 0 °C.

Vindmaskiner eller køyring med tåkesprøyte blandar kald luft nede ved bakken, med varmare luft lengre oppe, og kan på den måten hindre frostskade. Ved strålingsfrost blir det nemleg lågast temperatur nede

ved bakken fordi det er derfrå utstrålinga foregår. Permanente vindmaskiner førekjem i mange plantingar i USA. Helikopter er brukt også brukt, eller køyring med tom tåkesprøyte, som også gir kraftig luftrørsle.

Direkte oppvarming med gass- eller oljebrennarar er også ein vanleg metode for å hindre vårfrost eller strålingsfrost i frukthagar. Omnane eller gassdysene er montert mellom frukttrea, og dei blir tent når temperaturen kjem ned mot frysepunktet. Dette er altså ei direkte oppvarming av lufta i trekrona.

Røyklegging av frukthagar har vore brukt, og verkar ved at røyken hindrar utstråling, slik at lufta ikkje blir nedkjølt. Utstråling av energi er langbølgja stråler som går igjennom tørr røyk. Er røyken derimot fuktig vil den hindre utstråling og varmetap, på same måten som eit skydekke reduserer utstrålinga.

Her i landet er ikkje blomsterfrost så stort problem at fruktdyrkar har investert i verneutstyr, men lokalt kan vi år om anna ha alvorlege skadar. Reiser vi i område med fruktdyrking i andre land, ser vi ofte utstyr for frostvern av frukttrea.

3.Skade av haustfrost

På Austlandet hender det enkelte år at seine eplesortar frys på treet før hausting. Eple som har vore frosne, har om lag same kvalitet som frosne, men dei toler ikkje så lang lagring.

4. Effektar av sommartemperatur

Sommartemperaturen verkar på avling, kvalitet og mogningstid i avlingsåret, og på avlinga neste år. Med sommartemperatur meiner vi temperaturen i dei fem veksemånadane frå mai til september, og dei blir anten vurdert samla eller kvar månad for seg. Sommartemperaturen er avgjerande for avling og kvalitet.

April-temperaturen påverkar blomstringstida, og over ein periode vil ei grad høgare temperatur i april føre til kring fire dagar tidlegare blomstring

Mai-temperaturen har stor innverknad på blomstringa. Kaldt vêr i første del av månaden gjev sein blomstring. Kald vêr i blomstringa fører til lang blomstringsperiode. Kaldt og dårleg vêr i blomstringa fører til låg avling hos dei fleste fruktslag. Dette kjem av at pollineringa blir hindra, veksten av pollenslangen blir langsam, og befruktinga blir dårleg. Låg temperatur kort etter blomstringa fører til dårleg setjing og mange blomsterrestar fell av. Ved korrelasjonsrekning er det funne nær negativ samanheng mellom avling og temperatur i mai hos fleire fruktarter.

Juni-temperaturen verkar på fruktstorleiken, fordi celledelinga skjer då. Gode vekstvilkår i juni gjev mange celler, og det er grunnlaget for store frukter. Gode vekstvilkår i juni fører også til lite kartfall i juni og juli. Tidlege fruktslag blir tidlegare mogne i år med høg temperatur i juni. For nokre tidlege søtkirsebærsortar er det funne at ein temperaturauke på 1°C i juni medfører 5-6 dagar tidlegare mogning..

Juli-temperaturen er ofte så høg at det er lite klåre samanhengar å finne for eple. Men stort sett blir smaken betre på kravfulle eplesortar når det er høg temperatur i juli. Mange dagar med nedbør i juli, er altså uheldig. Ein regnfull juli er som regel ein kjølig juli.

August-temperaturen verkar stort sett på same måte som temperaturen i juli for dei fruktene som ikkje alt er mogne.

September-temperaturen er ofte for låg her i landet, slik at vi får ei svak avslutning på vekstsesongen, og kravfulle frukter blir ikkje godt nok utvikla. Eple utviklar best farge når det er store skilnader mellom dag- og nattetemperaturen, og det førekjem helst i klårversperiodar. Reint arbeidsmessig er fint ver i haustetida ein stor føremon.

For steinfrukter er september ein viktig periode for utvikling av blomsterknoppar for neste års avling. Høg temperatur gjev grunnlag høgare avling neste år.

Sommartemperaturen samla verkar på danning av blomsterknoppare. Lite kravfulle fruktslag, har høg nok temperatur for å danne nok blomster- knoppar over ein stor del av låglandet i Sør- og Midt-Noreg. Desse artene har minst årlege avlingsvariasjonar. Eplesorten 'Gravenstein' vil normalt ikkje danne blomsterknoppar i Trøndelag eller lengre nord, fordi sommartemperaturen er for låg.

5. Temperatur og fruktkvalitet

Kravfulle fruktsortar blir best utvikla i år med høg sommartemperatur

Hos eplesorten 'Gravenstein' blir smaken betre med aukande temperatur opp til ca 14,0°C. Høgare temperatur i mai-september (M-S) fører ikkje til betre smak, men til tidlegare mogning. For at epla skal smaka godt, må M-S-temperaturen vere over 13,0°C. Slike grenser er rett nok sterkt påverka av faktorar som avlingsnivå og gjødsling.

Det er store årlege kvalitetsvariasjonar hos norske eple, som for ein stor del skuldast sommartemperaturen. Hos plommer ser det ut til at avlinga er meir avgjerande for utvikling av god kvalitet, enn sommartemperaturen. Frukter og bær som mognar i juli og august har stort sett høg nok temperatur for å få god utvikling.

Relativt små temperaturskilnader kan føre til store utslag både i avling og kvalitet. På Vestlandet er det vanleg med ein høgdeskilnad innan same gard på opptil 150 meter. Dette inneber temperaturskilnader på opptil 1°C, og tilsvarande innkorting av vekstsesongen. På same gard kan det også vere nordhellingar med 2 timar kortare soltid enn berre 50 meter borte. Dette gjer at slike areal ikkje skal brukast til epledyrking. Endringar i vekstfaktorane blir meir utslagsgjevande di nærare den klimatiske dyrkingsgrensa ein kjem. Derfor er det viktig å velje sortar og arter som er tilpassa dyrkingsstaden.. Noreg ligg heilt på nordgrensa for yrkesdyrking av eple og pære. Dette må produsentane ta omsyn til ved val av dyrkingsstad og sort. For steinfrukt er klimaet godt nok for å gje god avling av høg kvalitet i dei aller fleste åra.

6. Nedbørverknader i fruktdyrkinga

Nedbør tilfører vatn til plantene, og nedbør er mange stader ein minimumsfaktor for plantedyrking. Eit etablert frukttretre kan ta opp vatn frå eit stort jordvolum, og klarar seg med helst lite nedbør. Tre på svake grunnstammer derimot, har små røter, og er meir avhengige av optimale vilkår i rotsona. Frukttre er ofte

planta på tørkesvak jord fordi den er varmast. Alle som driv salsfruktdyrking må ha vatningsanlegg og dryppvatning er no vanleg.

Høg nedbør set grensa for fruktdyrking mot vest i landet. Regn i blomstringstida, utvikling av soppsjukdomane kreft og skurv er direkte årsaker til grensa.

Kraftig regn i blomstringstida kan føre til at blomsterorgana får direkte mekanisk skade. Viktigaste skaden av regn i blomstringa er likevel at pollentransporten blir hindra. Dette kjem av at pollenførande insekt arbeider best i godt vêr, og pollenet kan klumpe seg saman når det blir vått. Vidare har regnvêr i blomstringstida ofte samanheng med låg temperatur, og dette i tillegg til svak insektaktivitet, fører til langsam vekst av pollenslangen.

7. Regn i mogningstida

Søtkirsebær trekkjer vatn gjennom skinnet i regnver, og etter ei tid sprekk dei og blir verdlause for handelsdyrking. Dette er år om anna viktigaste årsaka til avlingstap hos søtkirsebær, meir enn halvdelen av avlinga kan gå tapt. Vatnet blir trekt inn på grunn av osmose, og berre opptak gjennom det semipermeable skinnet fører til sprekking. All kommersiell søtkirsebær i Noreg vert no dyrka under regntak eller i tunnel. Enkelte sortar av plommer og surkirsebær sprekk også i regnver, men ikkje i same grad som søtkirsebær.

8. Haglskade på frukttre

Hagl førekjem om sommaren i enkelte år særleg på Austlandet, helst i juni eller juli og for det meste saman med tordenvêr. Desse isklumpane er så store at dei slår meir eller mindre djupe hakk i frukter og fruktkart. Hos eple fører det til ein brun, innsokken flekk i overflata, og den blir tydelegare etter som frukta veks. Også blad kan bli sundflerra av hagl. Slike haglbyer er ofte svært lokale.. Skadde frukter ser stygge ut i overflata, med større eller mindre deler dekka med korkhud, men dei smakar like godt. Skadde frukter har nedsett lagringsevne, og dei går ikkje i klasse I, men blir nytta som presseple.

9. Effektar av snødekke

Snøen vernar røtene mot frost, og den vernar også delen over jorda hos låge planter. Våt snø som legg seg på trea før blada har falle av om hausten, kan fører til at greiner knekkar av tyngda. Om våren blir det ofte eit skarelag oppå snøen, skaren kan fryse fast til greiner. Når så snøen tinar nedafrå, vil skaren dra med seg greiene, og dei kan flakne frå stamma og det blir meir eller mindre alvorleg skade.

10. Effektar av vind i fruktdyrkinga

Jamn vind frå ein retning deformerer frukttre, dei blir faneforma eller vindskeive. Trea treng betre oppstøtting på stader med vind. Kraftige vindkast kan velta tre, særleg tre på svak grunnstamme når dei har stor avling om hausten og står i oppbløytt jord. Storm ved fruktmogning bles ned avlinga, helst hos eple og pærer. Dei fruktene som heng att blir oppskrapa i overflata. Skaden er mest vanleg på nes og andre vêrharde stader, og verst utpå hausten. Moderne plantingar med låge og godt skorne tre er mindre utsett for vindskade, enn gamle høge tre med slengete greiner.

Av positive effektar kan nemnast at vind tørkar opp trea raskare etter ei regnbye. Dette fører til mindre angrip av soppar, og mindre sprekking av frukter, særleg hos søtkirsebær. Av den grunn kan det vere klokt å unngå å plante nede i groper i terrenget, der lufta står meir eller mindre stille.

I mange land er det vanleg å verne frukthagar mot vind ved hjelp av leplanting eller høg plastnetting. Dette gjev betre vilkår for plantevekst. Vindstyrken bak leet blir nedsett, det reduserer vassforbruket hos planta, og aukar både jord- og luftvarmen. Leplantingar tek stor plass, røtene går langt til sidene og konkurrerer med frukttrea om vatn og næring, dei gjev skugge, og stell av leplantinga krev arbeid. Dessutan kan leplantingar vere kjelde for plantesjukdomar som går på frukttrea.

HANDTERING AV KLIMAENDRINGANE – AGRONOMISKE TILPASSINGAR.

Fruktartene er gode kandidatar for å nytta i klima studier. Fenologiske utviklingsstadium har vore internasjonalt definert for meir enn 50 år sidan kjernefrukt og årlege registreringar har vorte gjennomførde. I Bonn i Tyskland ha dei samanlikna fenologiske data hjå eplesorten Cox Orange Pippin sett i saman med klimaet i ein periode over 50 år (Blanke and Kunz, 2011). I dei 20 siste åra var blomstringsdatoen opp til 10 dagar tidlegare, men haustedatoen var berre to dagar tidlegare. Tidspunktet for lauvfall var det same i slutten på oktober. Temperatur auken var 0,6 °C. Sjansen for vårfrost under blomstringa auka. Den samla årlege nedbøren i denne 50 års årsperioden var den same.

I Ullensvang har det vorte sett på samanhengen mellom blomstringstida i søtkirsebær og temperaturen (Meland et al. 2012). Med varmare gjennomsnitt gjennomsnittstemperaturar i mars og april i ein femårs periode, var blomstringa åtte dagar tidlegare. Utrekninga av varmesum støtta denne observasjonen at auka temperatur i særleg desse månadane førte til tidlegare blomstring.

Tabell 1 er det sett opp middeltemperturar for dei ulike månadane i året ved Ullensvang, i Nord Tyskland og i Nederland. I tillegg er det sett opp dei same middeltemperturane i eit varmt år i 2014 og eit år med kjølegare temperatur. Det viser seg at temperaturen i vekstmånadane i det varme året var på høgd med middeltemperaturen i Nederland og Nord Tyskland.

Innan fruktdyrkinga er temperaturen på våren under blomstringa og etterpå viktig for fruktsetjinga. I 2015 var et kjølegare enn normal i mai, juni og juli noko som førde til låg fruktsetjing og dermed redusert avling hjå alle fruktartene.

Med temperatur auke på 2 °C, vil Ullensvang ha eit klima som er tilnærma lik Nord Tyskland i fruktdyrkingsområdet vest for byen Hamburg. Gjennomsnitts normal temperatur (1937-2015) for året er 2.1 °C høgare enn ved Ullensvang. I vekstmånadane mai –september er gjennomsnitts 15.2 °C i Jork og 12,7 °C i Ullensvang. Det er same temperturen som Ullensvang hadde i 2014.

Tabell 1. Normal temperaturar fordelt på månader i Ullensvang, Jork i Nord Tyskland i Bilt i Nederland samanlikna med Ullensvang temperturar i 2014 og 2015.

	Ullensvang. Normal temperatur, ° C	Ullensvang 2014, ° C	Ullensvang 2015, ° C	Esteburg, Jork Tyskland Normal temperatur, ° C	Den Bilt, Nederland Normal temperatur, ° C
Januar	**-0,2**	**1,2**	**2,3**	**0,8**	**3.2**
Februar	**-0,4**	**5,0**	**2,3**	**1,2**	**3.5**
Mars	**1,7**	**5,1**	**4,6**	**4,0**	**6.2**
April	**5,2**	**8,0**	**5,9**	**8,2**	**9.5**
Mai	**10,2**	**11,9**	**8,8**	**12,5**	**13.3**
Juni	**13,8**	**15,7**	**12,1**	**15,6**	**15.7**
Juli	**15,0**	**19,1**	**14,4**	**17,3**	**18.0**
August	**14,1**	**15,5**	**15,1**	**16,9**	**17.5**
September	**10,5**	**12,6**	**12,3**	**13,6**	**14.5**
Oktober	**7,1**	**9,8**	**8,0**	**9,2**	**10.9**
November	**3,1**	**6,1**	**4,8**	**5,1**	**6.8**
Desember	**0,9**	**2,0**	**3,7**	**2,1**	**4.2**
Middel	**6,8**	**11,5**	**7,9**	**8,9**	**10.3**
Middel mai-sept	**12,7**	**15,0**	**12,5**	**15,2**	**15,8**

TILPASSING AV DYRKINGSTEKNIKKEN PÅ KORT OG LANG SIKT

1. Optimalisert produksjon

Optimalisering av produksjonen kan gjerast utan store endringar . Mykje norsk FoU kunnskap og erfaring er tilgjengeleg som kan omsetjast i praksis. Det kan dessutan hentast inn kunnskap og erfaringsgrunnlag frå utlandet og tilpassast norske tilhøve. Desse tiltaka kan setjast i uavhengig av klimaendringar og kan vera med å betra agronomien slik at avlinga aukar med forbetra driftsresultat. Det er viktig med heilskapstenking slik at ikkje berre enkeltfaktorar vert justerte.

2. Nye arter og sortar

Eple er eit av dei viktigaste fruktslaga internasjonalt og utgjer to tredje deler av det norske fruktarealet. Sortimentet er avgrensa i Noreg og det stor trong for tilgang på nye sortar. Nibio Ullensvang har ansvar for rettleiingsprøvinga i frukt og prøver ut nye sortar frå det norske foredlingsselskapet Graminor og utanlandske foredlingsprogram med årleg finansiering frå LMD. Målsetinga er å få dokumentert kva sortar som har dei beste dyrkingseigenskapane for norske tilhøve. Til dømes i Europa er det foredlingsprogram innan eple i dei fleste landa og om lag 25 program samla. Tilsvarande er det for oversjøiske land. Hovudmålsetjinga i foredlingsprogramma i desse landa (som i regelen har betre klima enn Norge) er å foredla produktive lagringssortar med høg kvalitet med raud eller gul - grøn farge som er klimatilpassa til veksestaden. I praksis vil det seia sortar med så lang veksetid og krav til temperatur at dei ikkje når salskvalitet i Noreg. Dei det er difor få foredlingsprogram i verda som bidreg med sortar som er aktuelle for

dyrking hjå oss. Eit unnatak er søtkirsebær og delvis plomme der utanlandske foredlingsprogram gjev oss verdfulle sortar som vanlegvis er tilpassa norske dyrkingsvilkår.

Sortsprøvinga er langsiktig. Årleg vert det tek inn aktuelle sortar saman med sortar frå Graminor. I den praktiske utprøvinga vert prøvinga av sortskandidatar testa i felt i 4-5 år etter utplanting med årleg vurdering av pomologiske eigenskapar, fruktkvalitet, smak og dyrkingseigenskapar under norske klimatilhøve. Eit omløp frå import av podekvist, og oppformeiring av tre og dyrking i felt tek minst 7 år. Det er no høve til direkte import av plantemateriale av frukttre frå sjukdomsfrie soner i Europa. Dette gje høve til ei meir effektiv og raskare utprøving av nytt sortsmateriale i kjernefrukt enn om ein berre tek inn podekvist.

Også gamle genressurser kan få større betydning i en framtid med endret og mer ustabilt klima. Materiale som er utvalgt under norske forhold og tilpassa gjennom lang tid kan tenkjast å få ny aktualitet enten ved å tas i bruk på nytt eller som del i foredling av nytt sortsmateriale. I Noreg er det for tida om lag 200 gamle eplesortar og 100 plommesortar. Genetisk, pomologisk og kjemisk kartlegging kan gje informasjon om sortar som er godt tilpassa klimaet vårt og kan verta viktig for framtidige produksjon i handelsdyrkinga.

Ved Nibio Ullensvang vert det også prøvd meir varmekjære vekstar som aprikos og fersken. Begge artene har problem med at noverande vekstsesong er for kort for å gje god årviss avling med kvalitetsfrukt. Druedyrking til vinproduksjon vert det prøvd i ei beste klimatiske området i landet.

Eit varmare verlag fører til at ein kan dyrka sortar som har lengre krav til utvikling frå blomstring til hausting enn me kan i dag. Mange av desse sortane som vert dyrka sør for oss er kvalitetssortar med stort avlingspotensiale, men er meir kravfulle enn dei me dyrkar i dag. Noverande sortar kan dyrkast i eit eit større området av landet og produksjonen kan aukast. Tilpassing av eit meir kravfullt sortsmateriale er ei langsiktig oppgåve som tek tid og ekstra ressursar.

3. Forbetra dyrkingsteknikk

I moderne epledyrking er intensive plantesystem med høgt plantetal pr. arealeining, bruk av svaktveksande, produktive grunnstammer som gjev tidleg avling og sortar tilpassa dyrkingsteknikken avgjerande for å få god økonomi (Maas, 2008; Meland 2011). Ved planting av greina og kraftige to-årige tre, kan trea allereie gje ei lita avling året etter planting og nå opp i full produksjon etter 6-8 år avhengig av kva plantesystem som vert nytta (Heijerman and Roeloffs, 2010). Grunnlagsinvesteringane er heller høge og det er avgjerande med god fruktsetjing, stor avling med god fruktkvalitet som gjev god økonomi for dyrkaren.

Gjødslingspraksisen i den norsk frukt- og bærproduksjonen er i mindre grad forskings- eller kunnskapsbasert. Grunnen til dette er at innan frukt har det vore lite FoU-aktivitet innen næringsforsyning over fleire tiår. Tilrådingane no er stort sett baserte på utanlandske rettleiarar sine råd som har vore aktive som rådgjevarar i Noreg gjennom mange år. Mellom anna vert det tilrådd eit stort tal med bladgjødslingar av ulike makro- og mikronæringsemne. Dette er ressurskrevjande og manglar dokumentasjon under norske tilhøve. Den generelle teorien bak disse tilrådingane er til ei viss grad relaterte til planteutviklingsstadium.

Men manglar ofte ei forankring til norske sorter, norsk klimaforhold og ei objektiv vurdering om dette er turvande.

Fruktsetjing: For å få god fruktsetting, dvs pollinering av fruktblomane som fører til frøing og fruktsetjing, er fleire faktorar avgjerande: Det må vera tilgjengeleg pollen frå ein genetisk kompatibel pollensort, overlapping i blomstringstid mellom hovudsort og pollensort og tilstrekkeleg tid og høveleg ver for at pollenet skal spira og nå fram til eggcelle (effektiv pollineringsperiode). Genetiske metodar kan nyttast både for å kartlegge DNA hjå sortar, hybridar og slektskap mellom desse, også om sortar er kompatible for krysspollinering eller ikkje. Informasjon om såkalla S-allel er viktig for å avgjera om sortar er kompatible eller ikkje, og molekylære/genetiske metodar vert rutine messig brukt for å finne ut kva sortar som kan fungere bra som pollineringstre (Mota et al., 2008).

Kontrollert krysspollinering kan utførast for å teste om aktuelle nye sortar er genetisk kompatible og blømingsperiodane regsitrerast. Meteorologiske data kan nytast å studera samanhengen mellom fruktsetjing og fruktutvikling.

Avlingsregulering: Vekselbering er eit naturleg fenomen, og førekjem i epledyrking over heile verda, men det er eit større problem i marginale klimaområde der ein dyrkar eple. Difor er problemet større i Noreg enn lenger sør i Europa. Vekselbering er eit alvorleg problem for omsetningsledda, og fører til at dei ikkje klarer å omsetja så stort kvantum som dei ville klart om avling og kvalitet var meir stabile frå år til år. Hovudprinsippet er å regulera avlinga i bereåret og auka blomstermengd og fruktsetjing i kvileåret. Det er viktig å finna ein balanse mellom vegetative og generative sporar slik at det er grunnlag for ei årleg avling (Meland 2009). Vanleg dyrkingspraksis er å regulera avlinga kjemisk eller med hand under blomstringa eller på kartstadiet.

Kjemisk avlingsregulering er den mest effektive og kostnadssparande rådgjerda til å redusera mengda av blomar eller kart på epletreet. Det er viktige med presise rådgjerder. Konsekvensane er stor og kostbare ifall det vert overtynning eller for lita tynning . Mekanisk tynning under blomstringa er ny teknologi i Noreg og ikkje prøvd kommersielt til eple.

Rotskjering vert nytta for å redusere skotvekst i eple- og pæretre (Ferree, 1989, 1992; Maas, 2007, 2008;). Rotskjering som vert utført tidleg om våren, reduserer skotvekst, gjev betre farga frukt, fremjar blomeknoppdanning for neste år og reduserer tendensen til vekselbering. På den andre sida, kan rotskjering også verka negativt på avlinga, ved at fruktstorleiken går ned. I Nederland har rotskjering vore vanlig praksis i kommersielle tettplantingar med eple og pærer i mange år. I nyplanta frukthagar førekjem det ofte for sterk skotvekst som resulterer i låg blomeknoppdanning eller svak fruktsetjing i andre eller tredje vekstsesongen. I dag nyttar somme fruktdyrkarar rotskjering, men det er ingen dokumentasjon på verknaden under norske tilhøve.

Tunneldyrking: Nyare forsøk ved Nibio Ullensvang har vist at dyrking av søtkirsebær i tunnel gjev større avling og større frukter enn på friland. I tillegg er produksjonen under tak for å unngå sprekking av fruktene og gjev også høve til å påverka klimaet under dekket. Dyrkingsopplegget er intensivt, og

etableringskostnadane er høgare samanlikna med friland. Det er då viktig at dyrkingopplegget er optimalt for å få eit godt økonomisk resultat.

I plomme som i søtkirsebær er det viktig med store og jamne avlingar med kvalitetsfrukt. Dette er avgjerande for det økonomiske resultatet. Mange dyrkingstiltak verkar inn for å nå dette resultatet. Utover å ha rett avlingsnivå (Meland 2009, 2011) er særleg balansen mellom vasstilførsel og ulike næringsemne viktig.

Dyrking av søtkirsebær i tunnel med dekking frå føre blomstring til etter hausting er avslutta, gjev ei framskunding av modninga med om lag ei veke på grunna betra klima Det er forventa at plomme reagerer på same måten. Tunneldyrking kan difor vera med å lengja den norske sesongen.

KUNNSKAPSSTATUS – TRONG FOR NY FORSKING

Forsking og utvikling innan frukter er vesentleg både for å få opp ein stabil høg produksjon, og for å sikra at produkta som går ut frå fruktlagera har ein stabil god kvalitet som gir forbrukarane ei god smaksoppleving. I den korte norske vekstsesongen må ein dyrka andre sortar enn i dei store produsentlanda lenger sør. Tilpassing av plantemateriale til eit endra klima er eit langsiktig arbeid. Blomsterdanning, pollinering, fruktutvikling og tilvekst er døme på prosessar som samspelar i kompleks tilhøve. Det er viktig å finna gode metodar og sikre prosessar gjennom FoU, som kan gje mest mogeleg økonomi til dyrkarane og stabil kvalitet til forbrukarane.

KONKLUSJON

Auka middeltemperaturar og lengre vekstsesong gjev betre vilkår for norsk frukt- og bærdyrking. Særleg fruktdyrkinga er på nord grensa allereie i dag og med 2 grader auka middeltemperatur kan klimaet samanliknast med det som ein har i Nord Tyskland eller Nederland i dag. Daglengda og innstrålinga vert den same. Men det er venta at karbon produksjonen i trea vert auka med auka temperatur.

Dyrkingsområda kan utvidast og trekkjast lengre nordover og i høgd over havet. Meir kravfulle sortar kan dyrkast som treng lengre utviklingstid. Det kan dyrkast andre arter som aprikos, fersken og druer med betre resultat enn i dag som nisjeproduksjonar. Avlingsnivået vil auka og fruktkvaliteten vert høgare. Tidlegare blomstring gjer større sjansar for frostskadar under blomstringa og dermed redusert fruktsetjing og avling.

Tilpassing av nytt plantemateriale som krev ein lengre vekstsesong er viktig . Auka fokus på utbreiing og evt andre sjukdomar og insekt krev ny kunnskap.

LITTERATUR

Blanke, M. and A. Kunz. 2011. Effects of climate change on pome fruit phenology and precipitation. Ata. Hort. 922:381-386.

Ferree, D.C., 1989. Growth and carbohydrate distribution of young apple trees in response toroot pruning and tree density. HortScience 24: 62-65.

Ferree, D.C., 1992. Time of root pruning influences vegetative growth, fruit size, biennial bearing, and yield of 'Jonathan' apple. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 198-202

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland,I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. 2015. Klima i Norge

2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NKSS rapport no. 2/2015. p. 204

Heijerman-Peppelman, G., Roelofs, P.F.M.M. (2010). Kwantitatieve Informatie Fruitteelt 2009/2010. Report nr. 2009-41, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen

Universiteit & Research Centre (in Dutch).

Luedeling, E. 2012. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. Scientia Horticulturae 144:218-229

Maas F. 2007. Thinning strategies for 'Elstar'apples – Experiences with ammonium thiosulfate, calcium hydroxide and benzyladenine. Erwerbs-Obstbau 49: 101-105.

Maas F., 2008. Strategies to control tree vigour and optimise fruit production in 'Conference' pears. Acta Horticulturae 800: 139-146.

Meland, M and G. Lang. 2009. High tunnel production systems for the late season Sweet cherry market: 6th Int.C herry Symposium. Nov. 15-19, Chile.

Abstract Book. pp18.

Meland, M. 2009. Effects of different crop loads and thinning times on yield, fruit quality and return bloom in *Malus* x *domestica* Borkh. 'Elstar'. The Journal of Horticultural Science & Biotechnology ISAFRUIT Special Issue 117-121.

Meland, M. 2011. Effects of different blossom densities and crop loads of 'Aroma' apples (*Malus x domestica* Borkh) on yield, fruit quality and return bloom.

European J. Plant Science and Biotechnology 5 (Special issue 1): 67-71

Meland. M., C. Kaiser and J.M. Christensen. 2014. Physical and Chemical Methods to Avoid Fruit Cracking in Cherry. AgroLife Scientic Journal 3(1):177-183

Mota, M., Tavares, L. and Oliveira, C.M. (2008). Identification of S-alleles in the pear cv.Rocha and other European pear cultivars. Acta Hort. 800: 431-437.

Måge, F. 2005. klimaendring og klimaskadar i norsk fruktdyrking. Forelesingsnotat.

PHA.232. Fruktdyrking. NMBU. 26 sider

Webster, A.D. 2005. Sites and soils for temperate tree-fruit production: their selection and amelioration. In.: Fundamentals of Temperate Zone Fruit production. Eds: Tromp, J.,

A.D. Webster and S.J. Wertheim. Backhuys Publisher. 400 pp

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRINGENE

EFFEKTER AV ENDRET KLIMA OG BEHOV FOR TILPASNINGER

PLANTEHELSE OG SKOGHELSE

Bidragsytere i tilfeldig rekkefølge: Paal Krokene; Berit Nordskog; Guro Brodal; Andrea Ficke; Christer Magnusson; Dag-Ragnar Blystad; Juliana Irina Spies Perminow; Richard Meadow; Annette Folkedal Schjøll; Nina Svae Johansen; Tor J. Johansen; Bjørn Arild Hatteland; Jan Netland; Carl Spetz, Halvor Solheim og May Bente Brurberg; alle NIBIO.

FORORD

Utredningen er et resultat etter innspill fra grupper ved Divisjon Bioteknologi og plantehelse som har sitt faglige område knyttet til de ulike kapitler og underkapitler nedenfor. Det er to hovedkapitler: (1) Jord- og hagebrukets skadegjørere er mest omfattende, mens (2) Skogbrukets skadegjørere er kortere, men her er det henvist til to relativt detaljerte (men populært anlagt) egne publikasjoner.

Vi har i denne utredningen valgt å gjøre en inndeling for noen av temaene i fire «grupper» skadegjørere. Disser er nærmere beskrevet i innledningskapitlet.

Når det gjelder selve klimaendringsperspektiver og vekstforhold er dette tatt opp i andre utredninger.

Ås, 16.12.2015

dan.aamlid@nibio.no

INNLEDNING

Inndeling av skadegjørere

Det er fire kategorier organismer, eksempelvis insekter og skadesopper, som kan skape økte problemer for landbruket ved en endring i klimaet og bli såkalte klimavinnere.

(1) Arter som gjør betydelig skade i Norge i dag, og som kan gi enda verre skader i framtiden. Disse kan vi kalle "verstingene".

(2) Arter som finnes i Norge i dag uten å gjøre betydelig skade, men som er alvorlige skadeinsekter skadegjørere andre steder i Europa. Disse kan vi kalle "ulv i fåreklær".

(3) Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som er alvorlige skadeinsekter skadegjørere lenger syd i Europa. Disse kan vi kalle "de tålmodige", siden det kan ta lang tid før disse artene vil skape problemer i Norge etter som deres habitater først må forflytte seg nordover.

(4) Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som kan komme hit som blindpassasjerer med tømmerimport og annen handel med frø, planter og plantemateriale og trives i et varmere klima. Disse kan vi kalle "jokerne", siden vi ikke nødvendigvis kan forutse hvilke arter dette vil være.

Klimapåvirkninger på skadegjørerne

(1) Direkte effekter = effekter som påvirker organismene direkte, f.eks. gjennom endret utviklingshastighet, endret vinteroverlevelse, endret fenologi. Det vil ofte være forholdsvis enkelt å modellere de direkte effektene dersom en har grunnleggende kjennskap til skadeorganismenes temperatur- og fuktighetskrav. Forventede direkte effekter: raskere utviklingshastighet for skadeinsekter, endret *voltinisme* for skadegjørere (overgang fra en til flere generasjoner per år, overgang fra 2-årig til 1-årig livssyklus), økt utbredelsesområde mot nord og oppover i høyden for skadeinsekter og sykdomsorganismer, større utbruddsområde (det området der organismen er så tallrik at den forårsaker betydelige skader) for skadeinsekter og sykdomsorganismer, økt forekomst av fremmede invaderende arter (fordi klimaet blir levelig for flere arter).

(2) Indirekte effekter = effekter som påvirker organismene indirekte gjennom samspillet med deres naturlige fiender, konkurrenter, og vertsplanter. Det er ofte vanskelig å modellere de indirekte effektene fordi de omfatter kompliserte biologiske samspill med andre organismer. Forventede indirekte effekter: økt stressnivå for vertsplantene gir hyppigere eller mer omfattende skader, fenologisk "mismatch" mellom skadegjørere og vertsplanter eller naturlige fiender kan gi bedre forhold for skadegjørerne (men kan også gi dårligere forhold).

(3) Ikke-lineære effekter. Effektene og endringene vil ikke nødvendigvis være lineære – endringer i f.eks. antall generasjoner per år vil først finne sted når temperaturen har økt tilstrekkelig til at organismen kan gjennomføre en ny generasjon innenfor vekstsesongen. Dette vil skje brått, når temperaturen har kommet over den nødvendige terskelen.

JORD- OG HAGEBRUKETS PLANTESKADEGJØRERE

Sopp

Skadegjørere

(1) Arter som gjør betydelig skade i Norge i dag, og som kan gi enda verre skader i framtiden, "verstingene".

Potettørråte - Potettørråte (*Phytopthora infestans*) er den viktigste sjukdommen i potet i Norge, og skyldes en pseudosopp som angriper både blad, stengler og knoller. Patogenet overvintrer i settepoteter eller som hvilesporer i jorda, og gjør mest skade i fuktig vær ved temperaturer mellom 10 og 20 grader. Omtrent halvparten av soppmiddelforbruket i landbruket benyttes til å bekjempe tørråtesoppen. Potettørråte er utbredt overalt hvor det dyrkes potet i Norge. I Nord-Norge og i fjellbygdene er temperaturen i veksttida enkelte år for lav for utvikling av sjukdommen. Det forventes at et varmere klima vil medføre større problemer med dette patogenet i områder hvor sjukdommen i dag er lite problematisk.

Aksfusariose og mykotoksiner i korn - Aksfusariose, forårsaket av *Fusarium* spp. er en utbredt og destruktiv sjukdom i korn. I tillegg til å redusere avlingsmengde og frøspiring, kan ulike Fusarium-arter produsere en rekke ulike soppgifter (mykotoksiner) som kan være giftige for mennesker og dyr (Hofgaard et al 2012). Fra ca år 2004 har det vært betydelige problemer med mykotoksiner i norsk korn (Vitenskapskomiteen for mattrygghet 2013). Økte angrep av Fusarium-sopp og mykotoksiner skyldes økte forekomster av Fusarium-arten *Fusarium graminearum*, og en kan ikke utelukke at endret klima kan være medvirkende årsak til denne endringen i Fusarium-populasjoner (Aamot et al 2015). Analyser av norsk såkorn i perioden 1970-2014 har vist at forekomst av *Fusarium spp*. og *Microdochium spp*. har hatt en betydelig økning i denne perioden. Det er relativt tydelig at samtidig som vi har hatt økt nedbør og noe høyere temperatur i juli måned de siste 10-15 årene, har vi fått en dramatisk økning (ca 100%) i angrep av disse soppene, sammenlignet med foregående 30 år (Brodal et al 2012). I en studie av hvordan klimaendringer kan påvirke produksjon av mykotoksinet DON (deoksynivalenol) i hvete i Nordvest-Europa i 2031-2050, beregnet Van der Fels-Klerx et al (2012) at blomstring og modning i hvete kan forventes å inntreffe 1-2 uker tidligere enn i referanseperioden 1975-1994, med inntil 3 ganger så mye DON i kornet. Fuktige værforhold i perioden rundt blomstring av kornet øker risikoen for angrep av Fusarium. I tillegg kan dyrkningspraksis påvirke forekomsten av aksfusariose og utvikling av mykotoksiner i kornet (Hofgaard et al 2012).

(2) Arter som finnes i Norge i dag uten å gjøre betydelig skade, men som er alvorlige skadegjørere andre steder i Europa, «ulv i fåreklær».

Gulrust - For første gang på over 25 år var det sommeren 2014 til dels sterke angrep av gulrust (*Puccinia striiformis*) i norsk hvete. Sjukdommen gjorde seg også sterkt gjeldende sommeren 2015. Kartlegging har vist at vi har fått inn nye aggressive raser av gulrustsoppen, sannsynligvis ved sporespredning gjennom lufta fra Sør-Sverige og Danmark. Mildere vinterklima som tillater mer dyrking av høsthvete, og som gir gode overvintringsforhold også for soppen, har i tillegg til hvetesorter som ikke er resistente mot de nye rasene, bidratt til at sjukdommen på ny har etablert seg i Norge. God overlevelse gjennom vinteren medfører tidlige angrep påfølgende sesong. Det mest aktuell tiltak uten sortsresistens er sprøyting med fungicider (kjemiske soppdrepende midler). Tidlige angrep medfører behov for tidlig sprøyting og må ofte følges opp

med en eller to sprøytinger til. Sammen med behov for sprøyting mot andre hvetesjukdommer, som bladflekksjukdommer og aksfusariose, vi fungicidforbruket øke, og dyrking av hvete kan bli mindre lønnsomt, og dermed bidra til enda mindre dyrking av mathvete i Norge.

Ramorum greinvisning (*Phytophthora ramorum*) - Ramorum-greinvisning er en ny plantesykdom i Europa og Amerika forårsaket av en sopplignende organisme, *P. ramorum* . Langs vestkysten av USA har den forårsaket stor dødelighet i eikeskog og er kjent som Sudden Oak Death (SOD). I Europa ble den først oppdaget i planteskoler der den hovedsakelig angrep rododendron og krossved. I Norge ble patogenet påvist første gang i 2002 og første etablering var i 2005. Opprinnelsen er ukjent og forventet levetid er usikker. Patogenet har økende vertsplantespekter i Europa. Her i landet er *P. ramorum* funnet i slektene rododendron (*Rhododendron),* pyramidelyng *(Pieris),* eik *(Quercus),* krossved *(Viburnum)* og bærlyng (*Vaccinium)* på konstruert fastmark og fastmarks-skogsmark. Patogenet er trolig innført til Europa og videre til Norge med infisert plantemateriale, spesielt med importerte Rhododendron-planter. Lokalt spres *P. ramorum* med vann og vind. Patogenet er funnet på trær i parker og skog i Europa, men har foreløpig ikke resultert i en epidemi, som i Amerika. Artsdatabanken har definert *P. ramorum* som fremmed art med svært høy risiko (Artsdatabanken.no, Plantevernleksikonet.no). Arten overlever i milde kyststrøk i Norge. Det kan forventes at en økt middeltemperatur vil medføre økt utbredelse, ogVi står overfor et stort skadepotensiale i skog, parker og hager dersom denne skadegjøreren får etablert seg i større omfang.

(3) Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som er alvorlige skadegjørere lenger syd i Europa, «de tålmodige»

Phytophthora cinnamomi - *Phytophthora cinnamomi* er globalt en av de mest aggressive invaderende pseudosoppene. Globalt er det kjent over 1000 vertplanter for patogenet, og den har ført til store økologiske endringer i Australia og Nord-Amerika. I Europa er den funnet i de fleste land på kontinentet (EPPO Data Sheet). Første funn i Norge var i 2005, men den er ikke funnet på friland. Den er påvist påvist i *Rhododendron* spp, *Cassiope* sp. og tyttebær (*Vaccinium vitis-idaea)* i veksthus (http://databank.artsdatabanken.no/FremmedArt2012/N84998). Dette patogenet regnes mest som et veksthusproblem i Norge. Arten regnes som varmekjær, og det usikkert om den kan overleve i norsk natur. Det er uvisst hvor stor skade dette patogenet kan medføre i et endret klima.

(4) Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som kan komme hit som blindpassasjerer og trives i et varmere klima, «jokerne»

Phytophthota kernoviae er eksempel på en slik skadegjører. *P. kernoviae* er så langt ikke funnet i norsk planteimport. Dette er en art som blant annet vil kunne gjøre store skader på vår egen blåbærart, *Vaccinium myrtillus*, slik som det er observert i England. *Phytophthora alni* er et annet eksempel som kan illustrere konsekvensen av å få inn «jokerarter». Denne pseudosoppen ble påvist på or i Norge første gang i 2012, og symptomer har siden blitt observert en rekke steder på Vest- og Østlandet. Det antas at smitten har spredd seg fra importerte prydplanter i hager og grøntanlegg. I flere land er det påvist smitte av *P. alni* på plantemateriale fra planteskoler, og ved import av slikt plantemateriale kan det være risiko for smittespredning. *P. alni* kan lett spres med elver og bekker over store avstander. Angrep kan føre til at trær dør, og for or som har en viktig funksjon ved etablering av skog i nitrogenfattig jordsmonn og som

erosjonshindring langs vassdrag, kan dette få betydelige konsekvenser. Det er derfor av stor betydning å begrense smitte med importert materiale.

Svartrust i korn. - Svartrust (*Puccinia graminis*) kan angripe alle fire kornarter i Norge og mange grasarter. Denne sjukdommen kan under optimale forhold forårsake over 70 % avlingstap i hvete. En relativt ny rase av svartrust kalt Ug99 er den første kjente rasen av *P. graminis f.sp. tritici* som har brutt resistensgenet Sr31. Det vil si at dette er en aggressiv rase som kan medføre store tap i områder hvor den er utbredt. I et verdensomspennende overvåkingsprogram (http://rusttracker.cimmyt.org) kartlegges spredning av Ug99. Denne rasen finnes foreløpig i Afrika og Midtøsten, men det forventes at den kan spres med luftmasser over store avstander. Det er uvisst hvor stor skade denne rasen kan gjøre om den skulle komme til Norge, men det forventes at soppen vil ha større potensiale som skadegjører i et varmere klima. Økt produksjon av høsthvete vil gi bedre muligheter for etablering i Norge. Svartrust har berberis som vekselvert, og vil ha muligheter for å fullføre sin utvikling og overvintre i Norge om nye og aggressive raser får etablert seg her.

KLIMAPÅVIRKNINGER SOM KAN FREMME JORD- OG HAGEBRUKETS PLANTESKADEGJØRERE

Et varmere og våtere klima vil kunne påvirke plantesjukdommer, både i geografisk utbredelse, angrepstidspunkt og angrepsgrad. De fleste plantesjukdommer som er forårsaket av ekte sopp og pseudosopp trenger fuktig vær for å kunne utvikle seg. Temperaturøkning i kombinasjon med et fuktig klima kan derfor medføre raskere oppformering av smitte, mer aggressive angrep og større behov for planteverntiltak. Et eksempel på direkte konsekvens av et slikt scenario er *Fusarium* i korn. Utbredelse av *F. graminearum* forventes å øke i Nord-Europa som følge av klimaendringer, redusert jordarbeiding og forventet økning av maisdyrking i Nordiske land (Parikka et al. 2012), og dermed også økte forekomster av mykotoksinet DON (deoksynivalenol) (Van der Fels-Klerx et al 2012). Dagens gjennomsnittstemperatur ligger som regel like under soppens optimum og begrenser dermed potensielt skadeomfang. Dersom vi står overfor en økt gjennomsnittstemperatur, i kombinasjon med fuktige værforhold under kornets blomstringsperiode vil konsekvensen bli økt angrep med påfølgende økning av mykotoksiner som reduserer kornets verdi som mat og fôr.

Som følge av klimaendringer forventes det mer styrtregn og større regnflommer, noe som igjen kan medføre problemer med å komme ut på jordet for å gjennomføre tiltak til riktig tid. Det vil også bli behov for å gjøre endringer i agronomiske tiltak, samtidig som nye arter og sorter kan dyrkes. Innen kornproduksjon kan økt bruk av høstkorn, i kombinasjon med redusert jordarbeiding, medføre at plantesjukdommer får gode muligheter for overvintring i vertplanten eller i planterester. Dette vil utvide og forenkle soppenes mulighet for å overleve vinteren, og bidra til tidligere spredning av smitte neste sesong. Det er derfor viktig å videreutvikle gode strategier for integrert plantevern, med tilpassede strategier som imøtekommer de utfordringer en til enhver tid står overfor.

Vellykkede plantepatogener har stor genetisk variasjon og bryter lett resistens hos vertplantene, samtidig som det også utvikles resistens mot plantevernmidler. Det er derfor viktig å satse på å foredle frem plantesorter med bedre og mer varig resistens, samtidig som det er vesentlig å sikre at en unngår å fremme resistens mot plantevernmidler gjennom ensidig bruk av kjemiske preparater.

Ifølge klimaframskrivninger for vekstsesongen i perioden 2071-2100, er det beregnet inntil 90 flere vekstdøgn i kystnære områder (RCP 8,5), basert på antall døgn med middeltemperatur over 5°C. Det er mange faktorer som påvirker vekstsesongen i tillegg til temperatur, blant annet vil lysforholdene være konstante i forhold til dagens situasjon. Det er likevel å forvente at nye kulturvekster kan dyrkes i et fremtidig Norge, samtidig som en forlenget vekstsesong vil gi muligheter for å intensivere produksjonen av vekster med kort rotasjon, for eksempel kan en forvente flere hold per år ved produksjon av enkelte grønnsakslag. Mer intensiv drift kan medføre økt smittepress av plantepatogener, og større press på landarealene i forhold til forebyggende tiltak som for eksempel vekstskifte.

KUNNSKAPSSTATUS

Klimaendring vil uten tvil påvirke spredning og angrepsgrad av planteskadegjørere i skog- og landbruk, men hvorvidt slike endringer vil forårsake mer ødeleggende epidemier av plantesjukdommer har vært lite i fokus i klimadebatten. I en review-artikkel med fokus på potensielle effekter av klimaendring på sjukdommer i hvete (Juroszek og Tidemann 2013), er mjøldogg, rustsjukdommer, hvetebladprikk, hvetebrunflekk og stråknekker (i tillegg til *Fusarium*/aksfusariose) eksempler på sjukdommer som kan få økt betydning ved endret klima. Ellers nevnes også at *Tilletia indica* kan ha økt risiko for etablering i Europa. Det vil kreve detaljert kunnskap om klimaets påvirkning på den enkelte skadegjører og deres vertplanter for å møte disse utfordringene med effektive og virksomme tiltak.

Forskning basert på lange tidsserier kan allerede nå gi oss et inntrykk av hvordan klimaendringer kan påvirke angrep av skadegjørere. Siden 1970 har nær 80 000 prøver av norsk såkorn vært testet for forekomst av soppsmitte av *Fusarium* og *Microdocchium*, og det er påvist en betydelig økning i forekomst av disse soppene frem til i dag. Det er også en klar sammenheng mellom juli-nedbør og andel infiserte frø (Brodal et al, in prep). Det er imidlertid behov for mer forskning på slike lange dataserier, hvor tallmateriale fra årlige observasjoner og kartlegging av en rekke skadegjørere gjennom årtider kan finnes i forskningsarkivene. Eksempelvis finnes det nær 40 år lange dataserier for epleskurv og rognebørmøll, samt mange år med observasjoner av kålflue, gulrotflue, tørråte i potet og flere andre sopp og skadedyr. Dette utgjør et unikt grunnlagsmateriale for forskning som kan øke vår kunnskap om hvordan endringer i klima påvirker forekomst og utbredelse av skadegjørere over tid. Et annet eksempel er *P. cinnamomi* (jf. over) som regnes som en varmekjær art med størst utbredelse i middelhavsland, men det er påvist overvintring i jord i Skottland. Det er behov for å studere om dette kan ha potensiale for å overvintre i milde strøk i Norge.

Været utgjør den viktigste miljøpåvirkningen på plantesjukdommer og påvirker overlevelse og spredning, selv om faktorer som endring i vertplantenes utbredelse, dyrkingsintensitet og dyrkingspraksis også kan påvirke angrepsgrad. Det er vanskelig å forutse hvordan endringer som påvirker både kulturplantene og deres sjukdommer kan påvirke avlingskvalitet, siden interaksjonene er komplekse og ikke lineære. Videre er det sannsynlig at økt konsentrasjon av atmosfærisk CO_2, kan ha direkte påvirkning på avlinger og plantepatogener (review av West et al 2011), og potensielle effekter av endringer i CO2, O3 og UV-B bør inkluderes i studier av plantepatogener (Manning et al 1995). Plantesjukdommer påvirker både avlingstall og truer matsikkerheten. Det er derfor vesentlig å sikre at vi allerede nå utvikler gode strategier for integrert plantevern, tilpasset et klima i endring.

TILPASSET FOR/TIL FRAMTIDIGE KLIMAENDRINGER OG AKTUELLE TILPASNINGSTILTAK

Det vil være vesentlig å videreutvikle gode strategier for integrert plantevern, med tilpasninger som imøtekommer de utfordringer en til enhver tid står overfor. Foredling av sortsmateriale med ny og varig resistens blir stadig mer viktig. Samtidig bør det utvikles dyrkingsstrategier som imøtekommer fremtidens klimautfordringer. Det er viktig å utarbeide strategier som bidrar til å begrense faren for utvikling av resistens mot plantevernmidler, både gjennom varslingsmodeller som verktøy for å finne riktig tidspunkt for å gjennomføre tiltak med optimal virkning, regelverk for bruk og variasjon mellom midler med ulike virkemekanismer, og utvikling av nye kjemiske og biologiske plantevernmidler.

Ugras

Skadegjørere

(1) Arter som gjør betydelig skade i Norge i dag, og som kan gi enda verre skader i framtiden, «verstingene».

Flerårige åkerugras: Kveke, åkertistel og åkerdylle.

Dette er arter som er meget vanlige i åpenåker omløp og det blir også i dag brukt store ressurser på bekjempelse, både kjemisk og mekanisk. Felles for dem er at de hovedsakelig formerer seg vegetativt ved hjelp av krypende røtter eller underjordiske stengler. Disse plantedelene tjener også som opplagsnærings- og overvintringsorgan. I det strategiske instituttprogrammet WINSUR ble det undersøkt betydningen av økt temperatur, økt CO_2-konsentrasjon og redusert lysnivå om høsten på de flerårige artene kveke, åkertistel og åkerdylle. Resultatene viser at disse kan vokse lenger utover høsten dersom temperaturen økes med 2-2,5 °C i forhold til vanlig utendørs temperatur. Kveka har størst potensial i så måte, mens tistel og spesielt dylle er mer daglengdetilpasset og visner ned tidligere og vil ikke vokse så langt utover høsten som kveka. Spesielt kveka ble også påvirka av økt CO_2-konsentrasjon. Konsekvensen av utvidet vekstperiode vil være at flerårige arter vil bli større og vanskeligere å bekjempe i etterfølgende vekstsesong. Enkelte mener også at artene blir mer tolerante overfor glyfosat med økt CO_2-konsetrasjon

Hønsehirse (*Echinochloa crus galli*).

Hønsehirse er et sommerettårig ugras. Den voksne planten kan bli opptil 1,5 m høy, og har trevlerot. Opptrer som ugras i mange åkerkulturer, globalt særlig i mais og ris (anaerobe økotyper), hos oss i korn, potet og grønnsaker. I verdenssammenheng er hønsehirse det tredje verste ugraset. Arten som er etablert og nå sprer seg på Østlandet, kommer opprinnelig fra tropiske og subtropiske strøk, men har vist stor evne til å tilpasse seg til kaldere område som i Norge og Canada. Selv om hønsehirsen er godt tilpasset vårt klima vil den fortsatt profitere på høyere jordtemperatur i spirefasen. Siden hønsehirse er en C4-plante vil den trolig også få økt konkurranseevne ved høyere sommertemperatur. (C4- planter har en enn annen form for fotosyntese enn våre vanlige kultur- og ugrasplanter. Denne formen gir redusert fotorespirasjon, og finnes hos planter tilpasset et varmt og tørt klima med høy solinnstråling.)

(2) Arter som finnes i Norge i dag uten å gjøre betydelig skade, men som er alvorlige ugras andre steder i Europa, «ulv i fåreklær».

Vinterettårige åkerugras: Åkerreverumpe (*Alopecurus myosuroides*) og åkerkvein (*Apera spica-venti*).
Dette er arter som skaper store utfordringer i Europa så langt nord som Sør-Sverige og Danmark. Særlig åkerreverumpe har vist stor evne til å utvikle resistens mot kjemiske ugrasmiddel. I Norge opptrer de ikke som ugras for dette er arter som er tilpassa omløp med stort innslag av høstsådde kulturer som høstkorn og høstraps. Høstsådde kulturer har høyere avlingspotensiale enn vårsådde. Ved klimaendringer som gir tidligere vår og lengre høst, forventes det derfor økt høstkorn og høstrapsdyrking også her til lands. Dette vil kunne gi innpass for disse grasugrasartene og for andre vinterettårige ugras.

(3) Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som er alvorlige ugras lenger syd i Europa, «de tålmodige».

Beiskambrosia. *Ambrosia artemisiifolia*
Beiskambrosia er et vanskelig og avlingsnedsettende åkerugras, men er mest kjent for å ha ekstremt allergifremkallende pollen. Arten skaper store utfordringer i sør og sør-øst Europa, men det er etablerte bestand så langt nord som Skåne. Det blir stadig meldt om funn av enkeltplanter også her til lands, men ennå er det ikke påvist etablerte bestand. Det er påvist at importert fuglefrø kan inneholde store mengder beiskambrosiafrø. Derfor blir det også ofte gjort funn av enkeltplanter i nærheten av foringsplasser for fugler her til lands. Åpen spredningsvei kombinert med forventet lenger vekstsesong kan føre til etablering og oppformering av beiskambrosia også her til lands.

Klimapåvirkninger på ugrasskadegjørere

(1) Direkte effekter

Mildere høst med mulighet for lenger vekstperiode vil styrke og gjøre flerårig ugrasarter mer konkurransedyktige. Tidligere vår vil gi vilkår for tidligere spiring av ettårige ugrasarter og gjøre dem mer konkurransedyktige. Det vil også gi bedre vilkår for innførte aggressive arter som i utgangspunktet ikke var tilpasset norsk klima. En kan også forvente økt utbredelsesområde mot nord og oppover i høyden.

(2) Indirekte effekter

Effekt av større variasjon i været (ekstremværepisoder) – Klimaendringer kan også gi større og raskere svingninger i temperatur og nedbør gjennom vekstsesongen. Slike forhold kan gjøre det vanskelig å komme utpå jordet til rett tid og gi mindre tid til jordarbeiding, såing, mekaniske tiltak og sprøyting. Ugrasproblemet kan bli større fordi en da ikke får gjort våronn og bekjempelsestiltak til optimal tid. Bøndene kan ønske å utføre ”forsikringssprøyting” når værforholda er gode, uten at utviklingsstadiet til ugraset er optimalt eller når det egentlig ikke er behov for tiltak. Det blir også krav om ytterligere reduksjon i jordarbeidinga for å unngå erosjon og utvasking noe som også vil være gunstig for ugraset og gi økt behov for kjemiske tiltak.

Effekt av mer høstkorn og høstrapsdyrking

Ugras med en livssyklus som gjør at de kan etablere seg og gjøre skade på høsten vil føre til større behov for bekjemping om høsten.

Konsekvens for flerårige vekster

Bedre overvintringsmuligheter for ugraset vil også øke skadelig konkurranse i frukt- og bærhager og i prydplanter, planteskoler, grøntanlegg og naturlike areal.

Resistens mot plantevernmidler - Resistens mot ugrasmidler

Flere ugrasarter vil utvikle resistens mot ugrasmidlene fordi det blir flere generasjoner per vekstsesong som må følges opp med flere behandlinger.

Populasjoner med høy frekvens av resistente individ innført fra sydligere land med import av såkorn og frø, fuglefrø og prydplanter med jordklump, kan forventes å etablere seg her til lands. De klimarelaterte årsakene til resistens blir forsterket av at det blir stadig færre virksomme stoff tilgjengelig

KUNNSKAPSSTATUS:

Behov for ny kunnskap / prioriterte områder for forskning:

Grunnleggende biologisk kunnskap om hvordan ugraset opptrer under ulike klimatiske forhold med formål å utvikle scenarioer og modeller som kan være grunnlag for beslutningsstøttesystem utarbeidet for forvaltninga og bonden.

Ny kunnskap og forskning på overvåkingsmetoder og -teknologi. Innsamling av stedsbestemte observasjoner av ugras online kombinert med elektroniske kart vil være et kraftig verktøy i arbeidet med å overvåke utbredelse av ugraset.

Videreutvikling av kraftige og nøyaktige beslutningsstøttesystemer er avgjørende fordi raskere og større skiftninger i værforhold vil kunne gi større utslag for behovsvurderte tiltak. Dette er et utslag av at bøndene i enda høgre grad enn i dag kan ønske "å utføre forsikringssprøyting" når værforholda er gode. Uten god beslutningsstøtte kan bruken av plantevernmiddel dermed øke betydelig.

Forskning for å kunne utnytte moderne sensorteknologi til å påvise romlig utbredelse av ugraset i en åker med bedre selektiv og behovsvurdert bekjempelse som formål.

Mer kunnskap om hvordan utvidede vekstperioder og endret jordarbeidingspraksis påvirker ugraset og behovet for bekjempelse

TILPASSET FOR/TIL FRAMTIDIGE KLIMAENDRINGER OG AKTUELLE TILPASNINGSTILTAK

Overvåkning av spredningsbilde for nye problematiske ugras med spesiell fokus på arter som krever egne arbeidsoperasjoner for bekjemping, er giftige i seg selv eller danner gifter i planteproduktene, er allergifremkallende eller reduserer biodiversitet. Det vil være behov for økt overvåking av skadegjørersituasjonen for å kunne sette i verk forebyggende tiltak i tide.

De viktigste måtene å kontrollere ugraset per i dag er ved hjelp av kjemiske ugrasmidler og/eller mekaniske tiltak som blir utført over hele arealet selv om deler av det ikke er infisert. Siden det kan bli nødvendig å redusere jordarbeidinga pga økt nedbør og fare for erosjon vil en trolig måte øke bruken av kjemiske ugrasmidler. For å begrense denne økningen er det nødvendig å utvikle presisjonstiltak, herunder avansert automatiske registrerings- og artsgjenkjenningsmetoder for samtidig vurdering av behov og utføring av nødvendige tiltak. Utstyr som gjør at disse tiltaka kan utføres mekanisk må også utvikles. Utnyttelse av ugrasroboter som fjerner ugraset mekanisk eller med presisjonssprøyting av enkeltugras vil være aktuelt i noen kulturer. Dette er metoder som kan redusere bruken av både jordarbeiding og kjemiske middel.

Det bør stilles krav om større grad på produksjon og sertifisering av såvare fritt for ugrasfrø. Dette er særlig viktig ved import av frø og såkorn.

Risikoanalyser (Pest Risk Assessment, PRA). Det blir økt behov for fortløpende risikoanalyser for nye skadegjørere, men også for skadegjørere som kan få større betydning ved et endret klima.

Skadedyr (insekter, edderkoppdyr)

Generelt

Insekter og edderkoppdyr er vekselvarme og kroppstemperaturen tilsvarer grovt sett temperaturen i omgivelsene. Derfor har temperaturendringer direkte innvirkning på aktivitet, utbredelse, utviklingshastighet, overlevelse og reproduksjon. Framtidig skadeomfang er likevel vanskelig å forutsi på grunn av komplekse sammenhenger mellom svært mange faktorer i miljøet som også påvirkes klimaendringene.

De viktigste faktorene, i tillegg til temperatur, som bestemmer framtidig skadeomfang av skadedyr er samspillet med skadedyr og naturlige fiender, klimafaktorer som nedbør, snødekke, fryse/tinesykler og ekstremvær, nye og etablerte vertplanters utvikling og egenskaper (ved høyere CO_2 nivå) og endret dyrkingspraksis (f.eks. mer vinterkorn). Alt dette i en situasjon med uendret daglengde, noe som kan ha innvirkning på både planters og potensielle skadedyrs tilpasning.

De fleste studier på dette området er basert på laboratorieforsøk med få faktorer involvert. Resultatene gjenspeiler derfor ikke fullt ut hva som skjer under naturlige forhold. Det er likevel sannsynlig at utviklingen vil gå i retning av økt diversitet (flere arter) av ulike organismer i et varmere klima. Det betyr at nye arter kan få skadedyrstatus i framtiden og at noen etablerte skadedyr kan få økt eller redusert betydning. Et

hovedspørsmål for Norge er om forventede økninger i avlingene kan overstige eller holde tritt med eventuell økning i skadeomfang eller ikke? Vi vet ikke svarene før det skjer, men basert på nåværende kunnskap kan en likevel anta følgende hovedtrekk i utviklingen:

Raskere vekst og flere generasjoner

Hovedtrekkene i klimaprognosene tilsier høyere temperaturer og en lengre vekstsesong. Det betyr i de fleste tilfeller tidligere opptreden, raskere utvikling og flere generasjoner av skadedyr i sesongen. Utvikling av flere generasjoner gjelder spesielt arter med kort generasjonstid. Ut fra dette kan en forvente tidligere angrep, sterkere angrep, større økonomiske tap og hyppigere planteverntiltak for å begrense skadevirkningene.

Utviklingshastigheten har ofte en tilnærmet lineær sammenheng med temperaturen innenfor en artsspesifikk nedre og øvre grense. Et bestemt krav til temperatursum (døgngrader) kan da knyttes til ulike stadier i livssyklusen. Denne sammenhengen er ofte brukt ved modellering av utvikling og beregning av muligheten for flere generasjoner ved ulike temperaturframskrivninger.

Men hver art har sitt spesielle levevis og tilpasning til vertplanter og miljø. Høye sommertemperaturer kan for eksempel overstige øvre temperaturgrense for utvikling for enkelte arter slik at utviklingen stopper eller forsinkes (induksjon av sommerhvile). Andre arter har genetisk bestemt bare en generasjon i sesongen.

Større geografisk utbredelse

I et varmere klima forventes større utbredelse av stedegne/naturlig forekommende skadedyr ved at grensen for eksistens forflyttes nordover og høyere over havet. Nye arter med naturlig utbredelse utenfor Norge vil også kunne etablere seg og øke skadeomfanget hos oss. I tillegg kan et varmere klima hos oss gi bedre forhold for migrerende arter med opprinnelsessted utenfor Norge. Flere av disse er alvorlige skadedyr (f.eks. kålmøll, som også har kort generasjonstid) og kan få økt betydning hos oss.

Bruk av nye vekster kan også gi betingelser for etablering av nye skadedyr knyttet til disse. Mindre dyrking av en vekst vil på samme måte kunne redusere forekomsten av skadedyr. Ved økt utbredelse av skadedyr, og ved introduksjon av nye, vil skadeomfanget være svært avhengig av om viktige naturlige fiender følger med eller ikke, og i hvilken grad det finnes arter i norsk fauna som kan holde populasjonen av den nye skadegjøreren nede.

Endret vinteroverlevelse

Mildere vintre kan gi bedre overlevelsesmuligheter for mange arter, spesielt arter som ikke har diapause (vinterdvale) som en obligatorisk del av livssyklus. Arter som hittil bare klarer overvintringen innendørs (veksthus) og migrerende arter som når fram til oss bare enkelte år kan få alvorlig betydning om de klarer å overvintre i naturlig i Norge.

Noen arter i nordlige tempererte områder som overvintrer i diapause (vinterdvale) kan få redusert betydning i ved mildere vintre. Diapausen krever ofte lave stabile temperaturer (gjerne under frysepunktet) over en viss periode før utviklingen fortsetter. Høyere temperaturer kan da ødelegge denne tilpasningen. For mange arter kan også mildere vintre med fryse/tinesykluser, oversvømmelser, is og anaerobe forhold føre til økt dødelighet som følge av energitap, sjukdomsorganismer, m.m.

Forandret insekt-vertplanteforhold

Endret CO_2 innhold kan ha indirekte virkning på insektene gjennom planten. Økt konsentrasjon av CO_2 i atmosfæren forventes å gi økt plantevekst og endringer i plantestruktur og kjemisk sammensetning. I noen tilfeller kan skadedyr bli stimulert av et høyere innhold av enkle sukkerarter. I andre tilfeller er det vist at økt C/N-forhold (karbon/nitrogen) kan forlenge utviklingstiden til skadeinsekter ved at proteinopptaket (N) tar lengre tid når konsentrasjonen er lavere. Dette kan gjøre dem mer utsatt for naturlige fiender og øke dødeligheten. Et økt C/N forhold kan også svekke forsvarsmekanismer basert på N (f.eks. alkaloider) og styrke mekanismer som er basert på C (tanniner).

Klimaendringene kan ellers føre til ekstra stress for enkelte plantearter og dermed svekke motstandsevnen mot skadegjørere. For eksempel ved økt nedbør, i tørkeperioder og ved sterk varme. Et bedre produksjonsklima kan på den annen side føre til mer motstandsdyktige planter. Samtidig kan raskere generasjonsveksling av skadedyrene gi raskere bryting av denne resistensen, oksygenmangel (ved vannmettet jord over tid), kuldeskade (tine/fryse-sykluser på ettervinteren kan gjøre at noen skadedyr kommer for tidlig ut av det kuldeherdige stadiet og får kuldeskader ved neste frysesyklus), mv.

Endret synkronitet mellom vertplanter, skadedyr og naturlige fiender

I et varmere klima kan planter, skadedyr og naturlige fiender reagere ulikt på endringene og kunne komme i utakt. Det kan både begrense og øke skadeomfanget fra tilfelle til tilfelle. Men mange skadedyrarter har stor tilpasningsevne innenfor rimelige grenser. Ved for eksempel å justere temperaturterskler og krav til temperatursum for utvikling, og endre sine daglengderesponser, kan noen arter gradvis tilpasse en optimal utviklingstid i forhold til utviklingen av plantene. Flere arter har også allerede ulike biotyper som kan lette tilpasningen til nye miljøbetingelser.

Økt fare for resistens mot plantevernmidler

Flere skadedyr og sterkere angrep vil kunne føre til økt bruk av plantevernmidler, med økt fare for resistensutvikling hos skadedyrene. Kortere generasjonstid hos skadedyrene vil bidra i samme retning. En annen faktor er at mer nedbør kan gi dårligere virkning av noen plantevernmidler og gi behov for hyppigere behandlinger. Det er påvist plantevernmiddelresistens i andre land hos flere arter som kan gjøre skade i norsk jord- og hagebruk, både mot midler vi har på det norske markedet og mot andre midler som kan ha potensiale for bruk i Norge. Etablering av nye resistente skadedyr og økt geografisk utbredelse av resistente populasjoner av naturlig forekommende skadedyr kan gi nye og økte resistensproblemer til Norge.

Virkning på enkelte arter/artsgrupper

Kornvekster

Bladlus er regnet som gode indikatorer på klimaendringer på grunn av rask utvikling og kort generasjonstid. Arter som havrebladlus (*Rhopalosiphum padi*) og kornbladlus (*Sitobion avenae*) er i dag de viktigste skadeinsektene i korn, og vil mest sannsynlig få økt betydning med økt temperatur. De overvintrer som egg i Norge og med mildere vintre forventes bedre overvintring, større aktivitet over en lengre periode i vekstsesongen, sterkere direkte skader ved suging av plantesaft, og større indirekte skader ved økt

spredning av skadelig sjukdomsvirus (f.eks. gul dvergsyke). I Danmark regnes det med at 1 °C økning temperaturen kan doble behovet for direkte bekjempelse.

Grasbladlus (*Metopolophium dirhodum*) gjør enkelte år skade i korn på Østlandet. Et endret klima kan endre omfanget av denne skadegjøreren i korn.

IRAC (Insecticide resistance action committee) har advart om fare for pyretroidresistens hos *Sitobion avenae*: «Recent surveys of the grain aphid (*Sitobion avenae*) in the United Kingdom and Ireland have revealed the presence of pyrethroid resistant aphids. If they spread, these resistant aphids could present a new challenge to Cereal growers in other parts of Europe» (http://www.irac-online.org/documents/sitobion-resistance-alert-english/?ext=pdf).

I Sverige vurderes også fritflue (*Oscinella frit*) og korngallmygg (*Mayetiola destructor*) å få økt betydning i vinterkorn).

Grønnsaker og potet

I korsblomstra grønnsaker er stor og lita kålflue (*Delia floralis* & *D. radicum*) to alvorlige skadegjørere), løkflue (*D. antiqua*) det viktigste skadedyr i løk og gulrotflue (*Psila rosae*) det viktigste skadedyr i gulrot (i områder som ikke har gulrotsuger, *Trioza apicalis*). Alle disse overvintrer som pupper i jorda og starter utviklingen om våren ved temperaturer rundt 4 °C. Her kan en i utgangspunktet forvente tidligere klekketid og egglegging ved tidligere oppvarming av jorda om våren, og økt skadeomfang. Alle disse artene har lang generasjonstid (1-2 generasjoner i Norge) og det forventes ikke økning i antall generasjoner ved de forventede klimaendringene. Men ved tidligere klekking av overvintret generasjon kan den økonomiske betydning av neste generasjon bli større.

Britiske studier viser at lita kålflue kan klekke en måned tidligere ved 3 °C økt middeltemperatur, men likevel ikke vil få økning i antall generasjoner. Samtidig vil denne arten få en dårligere synkronisert klekking på grunn av forsinket diapauseavslutning (dvale) hos noen individer så tidlig om våren. Ved større temperaturøkning (5-10 °C) kan flere generasjoner oppnås, men slike temperaturøkninger ligger utenfor våre scenarier for framtidige sommertemperaturer. Høye temperaturer i sommersesongen kan indusere stopp i utviklingen hos mange individer (sommerdvale) og da begrense eggleggingen sterkt, men det er uklart om vi kan forvente særlig økning i Norske maksimumstemperaturer.

Bildet er ytterligere komplekst ved at økt høst og vintertemperatur og manglende snødekke kan påvirke livssyklus og overvintringsevne. For eksempel for stor kålflue ved at en lengre sesong og økt høsttemperatur kan indusere klekking av ikke-overvintringsdyktige fluer om høsten. Det kan føre til kraftig desimering av bestanden og at artens betydning som skadegjører reduseres (slik tilfellet er lenger sør i Europa).

Kålmøll, *(Plutella xylostella)* en alvorlig skadegjører i kålvekster, kommer som masseinvasjon med sørøstlige vinder fra Øst-Europa enkelte sesonger og blir stadig vanskeligere å bekjempe, delvis på grunn av resistens mot enkelte plantevernmidler som er brukt der. Ved vellykket overvintring i lenger nord (og i Norge) en forvente hyppigere invasjoner og sterk økning i skade på plantene. Økt nedbørsfrekvens kan imidlertid redusere betydningen av denne skadegjøreren.

Kålfly (*Mamestra brassicae*) har fakultativ (ikke obligatorisk) diapause. Sør i Europa utvikler denne arten 2-3 generasjoner i løpet av vekstsesongen. I Ås ble vintermortaliteten hos kålfly funnet å være svært høy i perioden 1988-1992-tallet, og det ble antatt at dette delvis skyldtes at kombinasjonen av varmesum og daglengde førte til at populasjonen startet på en andre generasjon i løpet av vekstsesongen, men ikke klarte å fullføre denne. Dersom varmesummen øker vil denne arten kanskje kunne fullføre 2 hele generasjoner og økt overlevelse gjennom vinteren.

I potet er det i dag få alvorlige skadeinsekter i Norge som forårsaker direkte skade. Men bladlus kan overføre virus i potet, noe som har stor betydning for produksjon av friskt plantemateriale, for avlinger og økonomi. For bladlus generelt kan en forvente større aktivitet, flere generasjoner og større spredning og dermed økt skadeomfang ved temperaturøkning. Det vil også være fare for etablering av nye arter med stort skadepotensial.

Potetsikade (*Empoasca vitis*) er utbredt i hele Sør-Norge og kan gjøre betydelig skade i potet i tørre perioder. Varmere og tørrere perioder i sommersesongen vil kunne øke både skadeomfang og utbredelse av arten. Potetsikade kan også være en skadegjører i eple.

Ferskenbladlus (*Myzus persicae*) gjør stor skade i veksthus og på friland i Norge. Både ved suging av plantesaft, injisering av giftstoffer som forstyrrer planteveksten og gjennom spredning av en rekke alvorlige virussykdommer. Ferskenbladlus har utviklet resistens mot tilsammen 76 ulike virksomme stoff globalt sett (APRD), og dersom grensen for utbredelse forskyves nordover vil dette kunne bety økt utbredelse av resistente individer/stammer. Ved handel med planter i veksthussektoren er det også fare for å få med resistente bladlusindivider.

Ved varmere klima vil det være økt fare for smitte og etablering av resistente stammer på friland. Resistens mot pyretroider og Pirimor er utbredt i Norge, og vi har sett økt toleranse for imidakloprid (dette er midler fra tre middelgrupper). Økte resistensproblemer hos virusvektor er alvorlig, fordi det vil redusere muligheten til effektiv viruskontroll. I tillegg til i potet vil ferskenbladlus vil kunne bli et økt problem i grønnsaker og krydderurter på friland, og i mange veksthuskulturer. Vi må også forvente økt smitte mellom friland og veksthus ved varmere klima. Ferskenbladlus er vektor for bl.a. PVX/PVY i potet.

Koloradobille (*Leptinotarsa decemlineata*) ikke etablert i Nord-Europa. Dette er det mest alvorlige skadedyr i potet i verden og er en karanteneskadegjører med meldeplikt til Mattilsynet. Økt temperatur øker faren for mer nordlig utbredelse og etablering i Norge på sikt.

Forekomst og skade av ulike sneglearter har sterk sammenheng med vinteroverlevelse og fuktighetsforhold i sesongen. Milde og våte vintre gir god overlevelse, og fuktige somre letter aktivitet og formering. Dermed er det sannsynlig med økte forekomster med antatte klimaendringer i Norge. Spredning og etablering i nye områder er imidlertid avhengig av forflytning med planter og jord. Den invaderende brunskogsneglen forventes å ha en fremtidig utbredelse nord til Vesterålen med dagens klima. Men endring i klima kan føre til en enda større utbredelse samt større forekomster og dermed større skade i områder som tidligere ikke har vært plaget med brunskogsnegl. Nettkjølsnegl, også kalt åkersnegl, er også et viktig skadedyr i Norge, og denne har potensiale til å reprodusere flere ganger i løpet av året om klimaet tillater det.

Oljevekster

Rapsglansbiller (*Meligethes* spp.) er de viktigste skadeinsektene i oljevekster (raps og rybs). Disse er i dag mer problematiske (bl.a. pga. resistensproblematikk) lenger sør i Europa enn i Norge og vi kan regne med at et varmere klima kan øke skadeomfanget i Skandinavia. Andre arter som kan få økt økonomisk betydning i oljevekster er kålstengelsnutebiller (*Ceutorrynchus pallidactylus* og *C. assimilis*).

Frukt og bær

Vanlig pæresuger (*Cacopsylla pyri*) er et av de viktigste skadedyrene i pæreproduksjonen i Norge og denne kan forventes å bli et enda større problem med et fuktigere og varmere klima. Den skaper grobunn for svertesopper som enkelte år fører til stor frasortering, og dette gjelder særlig år med fuktige somre. Videre kan denne arten få flere generasjoner ved et varmere klima som igjen kan eskalere problemene ytterligere.

Plommeveps (*Hoplocampa flava* & *H. minuta*) er et annet viktig skadedyr i frukt og kan enkelte år føre til stor økonomisk skade på plommeavlingene. Den er særlig et problem i Ryfylke, men i de siste årene ser det ut som den sprer seg nordover. Med et endret klima kan man forvente at den blir vanlig også lenger nord og kan dermed gjøre stor skade i de store fruktdistriktene i Hardanger og Sogn.

Eplebladgallmyggen (*Dasineura mali*) er et relativt nytt skadedyr i Norge som først ble registrert i Telemark på 90-tallet og har videre spredt seg til Hardanger. Den er nå vanlig i store deler av Hardanger og er særlig skadelig for planteskoler og nyplantinger. Vi kan forvente videre spredning i Norge med endret klima samt flere generasjoner enn det som er tilfelle i dag.

Problemer med andre viktige skadedyr i frukt som rognebærmøll og frostmåler har endret seg de siste 20-30 årene. Herjingsårene man opplevde før har blitt uvanlige og overvåkning og varsling av rognebærmøll har blitt vanskeligere siden topp og bunnårene ikke er så tydelige. Det ser ut som angrepene har blitt mer lokale, men overvåking og varsling er fremdeles viktig for å fange opp angrep.

Det er også fare for at amerikansk blomstertrips (*Frankliniella occidentalis*) vil kunne etablere seg på friland og øke tripsproblemer i frukt og bær.

Veksthus

Etablering på friland av nye skadedyrarter og arter som tidligere bare kunne overleve i Norge i veksthus (f.eks. amerikansk blomstertrips, ferskenbladlus og karanteneskadegjøreren sør-amerikansk minerflue, *Liriomyza huidobrensis*) vil øke problemene med smitte av skadedyr i veksthuskulturene fra friland. Dette vil øke behovet for bekjempelse både i og utenfor veksthusene.

Diverse kulturer

Migrerende arter opptrer uregelmessig i sentral og nord Europa inkl. Norge og kan angripe flere vekstgrupper. En slik art er stort jordfly (*Agrotis ipsilon*) som angriper røttene på ulike vekster. Gammafly (*Autographa gamma*) har larver som eter på blader, blomster og frukter på ulike vekster. Ulike *Heliothis*-arter kommer også på besøk og kan opptre som skadegjørere. Ingen av disse overvintrer i Norge i dag, men i et varmere klima kan de trolig forflytte seg stadig lengre nord være potensielle skadegjørere i flere kulturer.

Tiltak/kunnskapsstatus/forskningsbehov:

Klimaendringer øker behovet for beredskap og forebyggende tiltak. I dag er det utarbeidet prognose- og varslingsmodeller for en rekke skadeorganismer i norsk jord- og hagebruk som er tilgjengelig på nett (VIPS, Varsling Innen PlanteSkadegjørere). I tillegg foreligger Plantevernguiden og Plantevernleksikonet også på nett som gir råd om tiltak og opplysninger om skadegjørerne. Dette systemet bidrar til effektiv bekjempelse ved behov og reduserer bruken av kjemiske plantevernmidler.

Et bedre kunnskapsgrunnlag gjennom forskning og utprøving vil kunne øke antallet arter i VIPS. Et prognose- og varslingssystem krever at hver enkelt skadegjører og dens utvikling i samspill med klima, naturlige fiender, vertplanter og miljø ellers, studeres systematisk. Økt kunnskap gir økt mulighet for reduksjon av skadeomfang i tillegg til redusert bruk av plantevernmidler. For eksempel gjennom optimal tilpasning av så/plantedato og høstetidspunkt, samt valg av optimalt tidspunkt for bekjempelse (i skadeorganismens mest sårbare stadium).

Totalt sett vil en lengre sesong og høyere middeltemperaturer mest sannsynlig føre til økte angrep og skader av de fleste skadedyr (både økning i antall arter, bestandsstørrelse, angrepsfrekvens) og økt behov for bruk av plantevernmidler. Økt middelbruk (hyppigere, over lengre tid, sterkere dosering) vil ha konsekvenser før både miljø og resistensutvikling hos skadegjørerne, med fare for ytterligere økning av plantevernmiddelbruk. Allerede i dag er det utviklet resistens mot flere vanlig brukte planevernmidler flere steder i Norge (Johansen 2012, Johansen et al. 2015). Det er derfor viktig at utvikling og implementering av nye miljøvennlige tillegg til og alternativer til dagens bekjempelsesmetoder intensiveres straks. Dette kan være utvikling av metoder for massefangst av skadedyr (feller med tiltrekkende stoffer), fysisk utestengning, biologisk bekjempelse (tilrettelegging for eller utsetting av naturlige fiender) og nye alternative plantevernmidler og anti-resistensstrategier.

Det vil være viktig med god overvåking av skadedyrutviklingen for å finne trender og være best mulig forberedt. Spesielt for nye vekster/arter/sorter og endrede dyrkingsmåter bør en kartlegge sammenhengen mellom klimaet, planteresistens, skadegjørere og naturlige fiender og plantevernmiddelresistens hos skadedyr.

Man trenger også en mer basal kunnskap om hvor strengt skadegjørere følger vertsplanten, eller om endret klima, eller større grad av «unormale» år vil føre til at skadegjørere kommer ut av fase i forhold til gitt vertsplante/kultur. Dette vil igjen ha store følger for plantevernet siden anbefalinger om tiltak i stor grad baseres på fenologien til vertsplanten. En kombinasjon av temperatur og daglengde er sentralt, men hvordan endringer i temperatur påvirker skadegjørere og deres vertsplanter er ikke gitt.

Aktuelle forskningsområder:

- populasjonsdynamikk og økologi
- overvintringsevne
- utvikling av VIPS og LMT (modellutvikling, flere klimaparametre)

- overvåking av utbredelse av viktige arter
- utvikling av bedre metoder for integrert bekjempelse (flere ben å stå på)
- utarbeide risikoanalyser for viktige skadegjørere
- nye arter og sorter
- resistensdynamikk hos skadegjørere (utvikle anti-resistensstrategier)

Bakteriesykdommer

I Norge har man lenge tillagt soppsykdommer mer betydning enn bakteriesykdommer. En av grunnene har vært at forholdene i Norge ikke var så velegnet for utbredelse og skade av bakteriesykdommer: kort vekstsesong, kaldt klima og landbruksarealer som ligger spredt i landet.

Kombinasjonen av høyt smittepress, ved at flere og flere bakterier kommer til landet som blindpassasjerer i importert plantemateriale, og klimaendring, kan komme til føre til en markant forandring av dette. Økt temperatur samt kortere, mildere vintre med lite snø vil øke sjansen for etablering av plantepatogene bakterier som er nye for landet. Flere stormer med for eksempel vinddreven regn vil legge til rette for utbredelsen av bakterier over lengre avstander, samtidig som de skaffer inngangsporter for bakteriene, nemlig sår etter avrevne blader, kvister osv. Flomhendelser kan føre til anaerobe forhold i jorden, noe som virker svært fremmende for enkelte bakterier, de samme flomhendelsene kan også føre til lekkasje fra kommunale renseanlegg. Som følge av dette kan urenset flytende fraksjon, som kan inneholde plantepatogene bakterier, spres utover jordbruksarealer.

Bakteriesykdommer som eksisterer i Norge i dag og som kan få større utbredelse og skadepotensiale i et varmere klima er for eksempel pærebrann (*Erwinia amylovora,* EPPO A2) og grasvisnesyke (*Xanthomonas translucens* pv. *graminis,* EPPO A 2). De siste 40 år har det i Norge blitt brukt atskillig med anstrengelser og ressurser for å begrense spredningen av pærebrann for å verne om fruktproduksjonen. Man har hittil lykkes med dette i og med at pærebrann bare er påvist i prydplanter, spesielt av mispelslekten. Inntil nylig har det vært forbudt å importere vertplanter for pærebrann til Norge, men myndighetene har nå åpnet for import av kjernefrukt. Import av slikt materiale fra land hvor pærebrann forekommer, kombinert med et mildere klima kan gjøre pærebrann til en stor klimavinner.

Grasvisnesjuke finnes over hele landet, men den gjør lite skade under kjølige forhold. Dette kan endre seg i et varmere klima. Tilsvarende er det nylig blitt påvist bakterien *Xanthomonas arboricola* pv. *prun*i (EPPO A 2) i både plomme og laurbærhegg i Norge. Skadeomfanget er hittil lite, men denne bakterien har ikke store temperaturkrav, slik at allerede en liten temperaturøkning vil legge til rette for videre etablering av sykdommen, som angriper både produksjons- og prydvarianter av *Prunus* (Morell, plomme, fersken osv.), samt den mye brukte hekkplanten *P. laurocerasus*, laurbærhegg.

Blant de bakterier som trives under anaerobe forhold i jorden er spesielt den store gruppen av bløtråtebakterier (på grønsaker, prydplanter m.m.) å nevne, især de som angriper potet. Studier i tidligere år viste at i Norge dominerte de artene av «*Erwinia*», nå *Pectobakterium* og *Dickeya,* som hadde et

forholdsvis lavt temperaturoptimum (*P. atrosepticum*). De siste 4-5 år har det her i landet gjentatte ganger blitt påvist nye, aggressive og mer varmekjære varianter av bakterien som *Pectobaterium wasabiae* og *Dickeya solani* (i potetplanter med utenlandsk opprinnelse). Vi mangler foreløpig oversikt over skadeomfanget, men våtere og varmere klima vi legge til rette for videre spredning av disse organismene.

I tillegg til disse bakteriene, som allerede er i Norge eller som nylig har blitt introdusert til Norge, er det med stadig økende import av plantemateriale og svekket fytosanitær beskyttelse stor fare for at det kommer bakterier til Norge som er nye for landet og som har et stort potensiale for skade i viktige kulturer som potet, jordbær og steinfrukt. Mildere klima vil virke fremmende på disse (og/eller for deres vektorer).

Potet: Mørk ringråte (*Ralstonia solanacearum*, EPPO A 2) har aldri blitt påvist i Norge, men en risikovurdering gjennomført av VKM konkluderte med at bakterien ville kunne etablere seg i Norge dersom den ble introdusert. Smitteveier som kan tenkes er importpotet og avløpsvann fra potetbearbeidende industri (jfr. ovennevnte flomhendelser). *Candidatus Liberibacter solanacearum* (EPPO A 1) er ganske hyppig forekommende i Norge i gulrot, men ikke i potet, hvor den kan gjøre størst skade. Grunnen til dette er at den er vektoroverført og insektvektoren (*Bactericera cockerelli)* som smitter potetplanter hittil ikke forekommer i Norge og antagelig er mer varmekjær en vektoren *Trioza apicalis*, som smitter gulrot.

Jordbær: Bakteriebladflekk på jordbær (*Xanthomonas fragariae*, EPPO A 2), forekommer i Israel, Nord- og Sør-Amerika, New Zealand, Australia og i mange land i Europa. Bakterien er ikke funnet i Norge, Sverige og Danmark. Myndighetene i Norge har nylig åpnet for import av jordbærplanter til Norge og det er fare for at uønskede skadegjørere følger med på lasset.

Steinfrukt og mange andre vertplanter:

Bakterien *Xylella fastidiosa* (EPPO A 1) gir for tiden grunn til stor bekymring i hele Europa. Opprinnelig forekommende i Syd-Amerika har den nylig blitt introdusert til Italia og gjort stor skade i landets olivenproduksjon. Skadegjøreren har spredt seg videre til Corsica og det franske fastlandet med infiserte prydplanter. Det som gjør denne bakterien så enestående farlig er kombinasjonen av enorm vertplantekrets (ca 100 planteslag, eksempler: steinfrukt, oliven, vin, sitrus, platan, eik, selje, blåbær, rosmarin, oleander, myrt, kaffe) og mulighet for smittespredning ved hjelp av alle xylemsugende insektvektorer. Bakterien er påvist så nær som i Danmark, i kaffeplanter (til prydformål) importert fra sydamerika.

Konklusjon:

Det er stor sannsynlighet for at bakterieproblemer i norsk planteproduksjon og natur vil øke i et mildere, våtere og mer stormfull klima. Det vil være nødvendig med flere risikovurderinger og mer forskning på epidemiologi av bakteriene og eventuelle vektorer for å gjøre oss forberedt på disse utfordringene.

Virus

Det er grunn til å tro at et varmere klima med høyere sommertemperaturer og mildere vintre vil gjøre mange plantevirus til «klimavinnere» på grunn av at en trolig vil få flere vektorarter (bladlus, sugere, mjøllus, midd og nematoder) tilstede, og at disse sannsynligvis vil overleve bedre og ha en større aktivitet. Anderson et al. (2004) skisserer at plantevirus vil stå for nesten halvparten av alle «emerging infectious diseases» på planter.

Nye virus ("emerging") og ny spredning av kjente virus («re-emerging») forårsaker store tap i plantedyrking og matproduksjon verden over. Det rapporteres om epidemiske utbrudd som kommer uventet og uregelmessig og ofte overraskende på landbruket. Årsaken til slike utbrudd er ofte vanskelig å finne ut av og ikke til fulle forstått. Men en regner med at en økning i temperatur, på grunn av klimaendring, forårsaker endringer i utbredelsen av virusvektorer (bladlus, mjøllus, etc.), og til endringer i plantenes fysiologiske reaksjon på infeksjon av plantepatogene virus.

Det har vært flere tilfeller av nye virussjukdommer i andre verdensdeler. For eksempel, både Afrika, Sør-Amerika og Asia har hatt flere tilfeller av nye virus epidemier. I flere tilfeller har det vært vanskelig å identifisere viruset (selv om en har hatt mistanke om at virus er hovedårsaken), noe som gir oss grunn til å tro at disse nye sjukdommene skyldes nye og ikke-karakteriserte virus.

I Norge har vi også sett nye og uventende virusutbrudd de siste ti årene. For eksempel, har det vært en økning i bladlus-overførte virus i settepotetdyrking (Klingen et al., 2013). I tillegg har det også blitt funnet en ny skade assosiert med potetvirus Y i sorten 'Juno' (Ørstad et al., 2008). I hvete ble det i 2013 observert uventet mye skade av stripesjuke forårsaket av virus i enkelte områder.

For å kunne unngå økt skade på grunn av plantevirus i fremtiden er det nødvendig å ha et så presist bilde som mulig av hvilke virus som forårsaker utfordringer i Norge i dag (Blystad & Munthe 1997). Det er derfor viktig å ha "state-of-the-art" metodikk for påvisning og identifisering, slik at vi kan ha en kunnskapsbasert bekjempelse av kjente og nye sjukdommer forårsaket av plantevirus. Faktisk kan vi gjennom å fremskaffe detaljert kunnskap om sjukdomstilfeller i Norge også være med å trekke generelle konklusjoner som kan komme andre miljøer og land til gode.

Følgende viktige kulturer vil være utsatt:

Potet

Bladlusoverførte virus er i dag et stort problem i norsk potetdyrking. Det gjelder særlig potetvirus A (PVA) og potetvirus Y (PVY). Disse to virus kan spres med flere bladlusarter og kan derfor lett spres fra smittede åkre over til felt som har friske settepoteter som utgangspunkt. En lengre periode med gunstig vær for bladlus, enten det er om våren / forsommeren eller på høsten kan forsterke virusspredningen.

Jordboende virus i potet vil kunne fremmes av høyere temperatur (Rattelvirus som spres av nematoder) og mer nedbør (Mopptoppvirus som spres av vorteskurv).

Korn

Gul dvergsjuke i korn vil bli et økende problem om vi får økt bladlusaktivitet om våren. Dersom det blir vanlig med dyrking av vinterbygg og/ eller vinterrug vil vi kunne få problemer med jordboende virus i korn –

en problematikk vi aldri har hatt i Norge. Forekomsten av stripemosaikk i høsthvete våren 2014 var et uventet sjukdomsutbrudd, men vi kan ikke pr nå si om denne sjukdommen er i ferd med å bli et økende sjukdomsproblem.

Stripemosaikk forårsakes av *European wheat striate mosaic virus* (EWSMV), et virus som er lite karakterisert, men som trolig tilhører slekten *Tenuivirus*. EWSMV spres med sikader, engsikade (*Javesella pellucida)* og *J. dubia,* og har vært funnet i flere tilfeller tidligere, både i Norge og Norden for øvrig.

Jordbær

Jordbær kan infiseres av et stort antall virus. Både Norge og andre land har systemer for å produsere virusfritt plantemateriale (Fremavl). I Norge blir ikke friske jordbærplanter smittet med bladlusoverførte virus, men holder seg friske. Dette skyldes at vi ikke har liten jordbærbladlus (*Chaetosiphon fragafoliae*) i Norge. Dette er den mest effektive bladlusvektoren for bladlusoverførte virus i jordbær. Denne bladlusarten er vanlig i Polen, Tyskland og Nederland, men ikke i Norden. En klimaendring kan gjøre at denne arten etablerer seg i våre dyrkingsområder. Dette vil gjøre skadegjørersituasjonene i jordbær vanskeligere.

I enkelte områder i Norge har vi også jordboende, nematodeoverførte virus som kan gi skade i jordbær. Dersom disse nematodeartene får større utbredelse og større aktivitet vil det gjøre flere jorder uegnet for jordbærdyrking.

Bringebær

Dyrking og forbruk av bringebær har hatt en eventyrlig vekst i Norge de siste 15 årene. Dette har vært drevet fram av innovative dyrkermiljøer, med god støtte fra næringsrettede forskningsprosjekter. Bringebær er utsatt for en rekke skadegjørere, og EPPO lister hele 15 virusarter som relevante for bringebær under europeiske forhold. Bringebær i Norge kan infiseres av virus som overføres med bladlus, nematoder, bladmidd eller pollen. Virus har allerede et stort potensiale til å skade bringebær og bjørnebær i Norge. Det er vanskelig å forutse effekter av klimaendringer, men dersom noen av disse vektorene får bedre forhold vil vi også kunne få større skade av virusene.

Nye planteslag

En klimaendring kan gi muligheter for dyrking av arter vi ikke dyrker i dag, f. eks vinterbygg, mais og vindruer. Det er svært viktig at dyrking av nye arter følges nøye slik at en om mulig kan unngå medfølgende plantehelseproblemer. Spesielt for vindruer, som formeres vegetativt, kan ha mange plantevirus som kan følge plantematerialet. Det er viktig at nye plantinger i Norge kan etableres med så friskt utgangsmateriale som mulig.

Konklusjon-virus

Det vil med stor sannsynlighet bli større utfordringer med plantvirus i Norge. Vi vil måtte øke innsatsen for ha kompetanse og gode diagnoseverktøy tilgjengelig for å kunne sørge for en kunnskapsbasert bekjempelse.

Fytoplasma

Generelt

Fytoplasma er små veggløse bakterier som lever i ledningsvevet i planter. De spres fra plante til plante med insektvektorer i gruppene sugere og sikader. Generelt vil bakterier vokse bedre ved litt høyere temperaturer og derfor potensielt kunne gi større skade. I varmere strøk er bakteriesykdommer et relativt større problem enn i norsk klima. Vi har de siste årene fått et nytt fokus på fytoplasma-sjukdommer. Heksekost i eple har vist seg å være utbredt i alle viktige dyrkingsområder (Blystad et al., 2013), dvergsjuke i bringebær har vist seg å ha et stort potensiale som skadegjører de sist årene, og pære-visnesjuke har blitt påvist for første gang i Norge i 2015.

Aktuelle arter/artsgrupper

Heksekost i eple

Heksekost i eple (Apple proliferation phytoplasma, *Candidatus* Phytoplasma mali) gir i infiserte trær små frukter med dårlig fargeutvikling. Smaken blir oftest dårlig på grunn av redusert mengde sukker og syre, og i tillegg blir enkelte sorter beske i smaken. Symptomene variere med sort og årsvaria-sjoner i klima. Sannsynligvis er hagtornsuger (*Cacopsylla melanoneura*) vektor under norske forhold. Kartleggingsprogrammet for heksekost som har løpt siden 2011, har vist at denne sjukdommen er langt mer utbredt i Norge enn vi tidligere har trodd.

Bringebær-dvergsjuke

Dvergsjuke-fytoplasma (Rubus stunt phytoplasma, *Candidatus* Phytoplasma rubi) har forekommet i Norge siden 1950-tallet, men har de siste to årene kommet mer i fokus på grunn av stor smitte-spredning i enkelte felt. Vi vet ikke om dette skyldes større vektoraktivitet eller om det er andre forhold som spiller inn.

Pærevisnesjuke

Pære-visnesjuke (Pear decline, *Candidatus* Phytoplasma pyri) fører til redusert vekst og i siste runde tredød. Dette er en alvorlig sjukdom i Sør-Europa. I Norge ble denne påvist for første gang i 2015.

Konklusjon – fytoplasma

Fytoplasma vil potensielt kunne gjøre mer skade i varmere klima fordi bakterier generelt vokser bedre ved høyere temperatur. Fytoplasma-sjukdommene blir spredt av insektvektorer. Derfor er framtidig skadeomfang også sterkt avhengig av om disse utvalgte insektartene vil trives bedre i et endret klima. Det er imidlertid viktig å merke seg at smitteprednigen skjer i samspill med infiserte planter. Dersom dyrkerne er raske til å fjerne infiserte planter slik at disse ikke fungerer som smitte-kilder for nye generasjoner av insektvektorer, vil en sannsynligvis kunne redusere framtidig smitte-omfang.

Forskningsbehov virus og fytoplasma

- Kartlegging av virusforekomst i viktige kulturer
- Virus og vektorer i potet
- Virus i løvfellende skogstrær?
- Etablering av Next generation sequencing til virusdiagnostikk
- Fytoplasma-sjukdommer i Norge
- Vektorer for fytoplasma-sjukdommer

Nematoder

Skadegjørere

(1) Arter som gjør betydelig skade i Norge i dag, og som kan gi enda verre skader i framtiden, «verstingene».

Gul potetcystenematode (*Globodera rostochiensis*) er i dag den viktigste skadegjøreren i norsk potetproduksjon. Man har hittil antatt at denne arten kun har én generasjon per år. Preliminære forsøk ved NIBIO (Holgado *et al*. 2015) har imidlertid vist at en andre generasjon infektive ungstadier kan utvikles under norske forhold. Dette støttes også av tidlige rapporter fra England (Jones 1950, Evans 1969). I Italia medgir det varme klimaet utvikling av to fulle generasjoner av *G. rostochiensis* (Greco *et al*. 1988). Et varmere klima i Norge vil derfor øke oppformeringen av *G. rostochiensis* gjennom utviklingen av to generasjoner og herved føre til større avlingstap og utfordringer i norsk potetproduksjon.

(2) Arter som finnes i Norge i dag uten å gjøre betydelig skade, men som er alvorlige skadeinsekter andre steder i Europa, «ulv i fåreklær».

På verdensbasis er rotgallnematodene (*Meloidogyne* spp.) den alvorligste skadegjøreren blant de planteparasittære nematodene. Disse nematodene har et meget stort vertsplantespekter med flere tusen vertsplanter. Vi har i løpet av seinere år registrert en økt utbredelse i felt av den vanligste arten *M. hapla*, den såkalt nordlige rotgallnematoden på grønnsaker, samt oppdaget en for oss ny art, *M. naasi*, på korn. I dag er forekomsten av disse nematodene notert i kystnære strøk. Et varmere klima vil sannsynligvis øke etableringsmulighetene til rotgallnematodene i Norge, en tendens som for øvrig allerede er merkbar i flere Europeiske land. Den største utfordringen med *Meloidogyne* spp. er nematodenes store vertsplantespekter som vil føre til problem med å finne effektive rotasjoner.

(3) Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som er alvorlige skadeinsekter lenger syd i Europa, «de tålmodige».

Nematodene behøver ikke vente på at habitat blir forflyttet nordover. Nematodene blir flyttet via handel og og transport av jord, bl.a. i forbindelse med planter til videre dyrking. Flere arter av rotsårnematoder (*Pratylenchus* spp.), rotgallnematoder (*Meloidogyne* spp.) og dolknematoder (*Xiphinema* spp.) som i dag lever i det kontinentale Europa vil med stor sannsynlighet kunne etableres i Norge i et varmere klima.

(4) Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som kan komme hit som blindpassasjerer f.eks. med tømmerimport og annen handel og trives i et varmere klima, «jokerne».

Furuvednematoden *Bursaphelenchus xylophilus* utgjør i dag et meget stort trussel mot furuskogen i det kontinentale Europa. Denne nematoden har siden 1999, efter introduksjon fra Nord Amerika, forårsaket katastrofale angrep på middelhavsfuru *Pinus pinaster* i Portugal. Nematoden gir opphav til visnesyke hos trærne pga. sammenbrudd i karstrengsvevet sin evne til vanntransport. Som ved annen visnesyke vil skadene øke med økt temperatur. Noen temperaturscenarier tilsier at temperaturen i Oslo området om 70 år vil nå samme nivåer som i dag gjelder i de nordlige lokaliteter i Japan hvor skader er notert (VKM 2008). Nematoden føres til trærne av furubukker i slekten *Monochamus*. Et varmere klima vil gi innsektene bedre utviklingsmuligheter da generasjonstiden forventes å bli kortere, noe som vil øke spredningen av nematoden. Man kan heller ikke se bort fra at arter som er mer effektive som vektorer kan etableres i skogene våre.

Klimapåvirkninger som kan fremme nematodeskadegjørere

Nematoder tilhører jordvannfaunaen og vil dra nytte av økt nedbør særlig i kombinasjon med førhøyde temperaturer. Allerede i dag har Norge et gunstig klima med lav vintermortalitet hos nematodene. Med klimaendringene vil særlig nordområdene tilby bedre overvintringsmuligheter til disse skadegjørerne.

Kunnskapsstatus:

Vi mangler spesifikk kunnskap om de fleste potensielle klimavinnerne blant nematodene, og vi kan derfor slå fast at kunnskapsmangelen er betydelig.

SKOG – SKADEGJØRERE PÅ SKOGSTRÆR

Generelt - Klimapåvirkninger som kan fremme skogskadegjørere

Hyppigere/kraftigere vindfellinger kan gi mer vindfall (ynglesubstrat for barkbiller) og mer skader på stående skog. Større temperatursvingninger og frost/tine-sykluser kan gi økt plantestress som fremmer sykdomsorganismer (*Gremeniella*). Økt temperatur og endrete nedbørsmønstre kan gi trærne økt tørkestress og gi bedre forhold for skadeinsekter og soppsykdommer, direkte tørkeskader, og samspillseffekter mellom tørkestress og skadegjørere (sammensatte «decline»-fenomener slik som grantørke). Vi kan få økte problemer med frosttørke på grunn av høye temperaturen på senvinter/tidlig vår mens bakken er frosset. Vedvarende vind kan forsterke problemene (jfr. vinteren 2014?).

Sopp

Mange sopper har sporer som kan spres over lange avstander og dermed være blant organismene som raskt kan etablere seg på nye steder om klimaet tillater det. Det er derfor mange sopparter blant klimavinnerne. De kan plasseres i forskjellige kategorier alt etter deres levested i dag og hvilken skade de gjør.

«Verstingene»

Verstingene er arter som gjør betydelig skade i Norge i dag, og som kan gi enda verre skader i fremtiden. Dette kan skje ved at de får endrede og bedre betingelser for sin «virksomhet » eller ved at de kan nå nye områder. Et eksempel er rotkjuke. Det er flere forhold som kan føre til økt skade grunnet klimaendringer. Kortere vintersesong vil gi en lengre sesong for sporespredning med gode infeksjonsbetingelser. Flere og sterkere stormer øker hyppigheten av rotrykking som letter muligheten for spredning via rotkontakter. Og til slutt kan fururotkjuka nå lenger mot nord enn den gjør i dag.

«Ulv i fåreklær»

Dette er arter som fins i Norge i dag, men som gjør ubetydelig skade her foreløpig. Artene er gjerne alvorlige skadegjørere lenger sør i Europa. To eksempler som er knyttet til furu er furuskytte og rødbandsopp. Furuskytte har tidligere gjort en del skade i planteskoler, men ved endret planteskoledrift gjør den i dag ubetydelig skader. Den opptrer imidlertid også ute i skogen og kan gi problemer for gjenveksten i fremtiden. Rødbandsoppen er ny her til lands, og gjør foreløpig lite skade. Den er imidlertid en av klimavinnerne som det er mest fokus på både i Europa og Nord-Amerika.

«De tålmodige»

Dette er arter som ikke fins i Norge i dag, men som fins lenger sør i Europa og gjør skade der. Disse artene betegnes gjerne som dørstokkarter, de venter på å kunne etablere seg lenger nord i Europa i takt med klimaendringene. Ett eksempel er *Sphaeropsis sapinea (Diplodia pinea*) som gjør mye skade på furuarter i mange deler av verden, og som er vel etablert i Europa.

«Jokerne»

Jokerne er arter som ikke fins i Norge i dag, men som har potensialet til å etablere seg her i et mildere klima. Dette kan være arter som er skadegjørere på andre kontinenter, og som står på Mattilsynets liste

over arter det er forbudt å introdusere i Norge. Disse er en oppmerksom på og det er et regelverk en må forholde seg til ved import av planter og plantemateriale, se Lovdata - Forskrift om planter og tiltak mot planteskadegjørere. Den største trusselen er imidlertid arter som ikke gjør skade eller ubetydelig skade i sine respektive hjemmeområder, men som kan endre karakter i møte med nærstående europeiske arter eller de blir mer patogene når de møter treslag som ikke har den nødvendige resistensen mot angrep. Et av de mest kjente eksemplene er almesjuke. Denne sjukdommen har herjet mye med europeiske og amerikanske almearter etter at den begynte sine angrep for omtrent hundre år siden.

Noen eksempler (se Solheim, H. (red.) 2013) for flere detaljer):

Rotkjuke

Vi har to arter av rotkjuke i Norge, gran- og fururotkjuke. Som navnet sier så har de hvert sitt treslag som hovedvert, men begge kan gå på andre treslag, også løvtrær. Soppens spesielle biologi gjør at en kan forvente økende råteproblemer grunnet klimaendringer. Mer stormaktivitet gir mer rotrykking og lettere tilgang for rotkjuke, mens mildere klima med lengre vekstsesong gjør at perioden med sikker hogst blir kortere.

Honningsopp

Vi har flere arter av honningsopp i Norge, og to av dem, skog- og hagehonningsopp, er svært aktive ute i skogen. Begge artene forårsaker innråte i trær, men kan også opptre mer aggressivt og drepe svekkede trær nokså raskt. Honningsopp er involvert i grantørke som i de senere årene har utviklet seg til det verre, trolig i takt med klimaendringer.

Furuas knopp- og grentørkesopp

Furuas knopp- og grentørkesopp er en av furuskogens verste skadegjørere, og forårsaker år om annet store tap. Det største angrepet skjedde i 2001 hvor enorme områder i Sør-Norge og Sør-Sverige ble berørt. Milde høster og ustabile vintre kan føre til flere slike angrep.

Granrustsoppen

Granrustsoppen angriper unge nåler. Sterke og gjentagende angrep kan gi tilveksttap. Størst skade gjør imidlertid soppen i juletreplantasjer. Fuktige forhold i infeksjonsfasen er viktig. I de siste 20 årene har det i varierende grad vært observert sterke angrep. Om det er klimaendringer eller bare tilfeldige variasjoner som er årsaken er usikkert.

Bjørkerust

Bjørkerust er vanlig i hele landet hvor vi har bjørk. Hvert år kan en finne angrepne bjørketrær, men enkelte år er soppangrepene store og omfattende. En fuktig forsommer i kombinasjon med en fuktig og varm ettersommer er avgjørende for store angrep. De siste 20 årene har det i varierende grad blitt observert store angrep. Om dette skyldes tilfeldige variasjoner eller klimaendringer er usikkert.

Almesyke

Almesyke går på flere almearter og har nesten utradert alm fra store deler av Europa og Nord- Amerika. Til tross for at vanlig alm (*Ulmus glabra*) er særdeles mottakelig for almesyke, har den en begrenset utbredelse

og betydning i Norge. Almesykesopp spres primært ved hjelp av almesplintborere i slekta *Scolytus*. I Norge har vi bare en art av almesplintborere og den er ikke så effektiv til å spre sykdommen. Klimaendringer vil trolig føre til at almesplintborere som er mer effektive til å overføre sykdommen, etablerer seg i Norge, noe som vil øke skadeomfanget betraktelig.

Rødbandsopp

I 2009 ble rødbandsoppen registrert for første gang i Norge. De første årene var angrepene forholdsvis beskjedene, men våren 2012 ble det registrert sterke angrep i enkelte bestand. Rødbandsjuke har de siste 20 årene i stadig større omfang gjort skade på mange forskjellige furuarter og blir derfor regnet som en av de store klimavinnerne.

Phytophthora

Phytophthora-arter, er aggressive, sopp-lignende skadegjørere, som fremmes av fuktig og mildt klima. I Norge er flere arter oppdaget på trær i parker eller skogholt nær hager. Varslede klimaendringer, med økt temperatur og nedbør, kan skape gode vekstforhold slik at flere arter kan etablere seg også i skogområder.

Furuskytte

Furuskytte har lenge vært kjent som en skadegjører i planteskoler. Lenger sør i Europa har furuskytte vært regnet som en av de viktigste skadegjørerne i furuforyngelser. De senere årene er det også registrert mye skade på furuforyngelse i de sørlige deler av Norge med et toppår i 2001. Mildvær med mye fuktighet på ettersommeren og høsten gir soppen gode betingelser for infeksjoner.

Ospeflekk

Ospeflekk er en forholdsvis ukjent skadegjører som i forrige århundre bare var rapportert noen få ganger i Norge. De siste 10 årene har det imidlertid skjedd en eksplosjonsartet oppblomstring, noe som kan skyldes endringer i klima. Og soppen ser ut til å spre seg til nye områder.

Einertørke

Einertørke, forårsaket av *Stigmina juniperina*, ble første gang registrert i Norge i 2012. Det ble gjort funn av soppen mange steder i Sør-Norge. Om den er ny i Norge i dette århundre, eller om den har en oppblomstring grunnet klimaendringer er vanskelig å si nå, men soppen har hatt en oppblomstring både i Finland og Sverige.

Insekter

Insektene er blant de organismene som reagerer raskest på klimaendringer. De har kort generasjonstid, er svært mobile og utviklingshastigheten deres er direkte påvirket av temperaturen. Dette betyr at utviklingen fra egg til voksent insekt går raskere når temperaturen øker, noe som kan få store praktiske konsekvenser for skogbruket. Det er fire kategorier insekter som kan skape økte problemer for skogbruket ved en klimaendring:

«Verstingene»

Arter som gjør betydelig skade i Norge i dag, og som kan gi enda verre skader i framtiden. Eksempel: Granbarkbillen. Insektene i denne kategorien finnes allerede i Norge og kan reagere svært raskt på endringer i klimaet. Men responsen behøver ikke være gradvis - det kan også være at insektene først reagerer når klimaendringene har passert en viss grense. I så tilfelle vil vi kunne oppleve plutselige endringer – såkalte ikke-lineære endringer. Et aktuelt eksempel er generasjonstiden til granbarkbillen. Så lenge varmesummen om sommeren er under en bestemt grense vil granbarkbillen bare kunne fullføre en generasjon per år. Dette skyldes at kun voksne barkbiller er i stand til å overleve vinteren, mens larver og pupper fryser i hjel. En påbegynt, men ikke fullført andre generasjon, er dermed et rent tapsprosjekt for billene. Men med en gang sommerens varmesum passerer en viss grense vil billene kunne gjennomføre to generasjoner per sommer. Dette kan få store konsekvenser for skogen siden vi da vil få to perioder per sommer der billene kan angripe levende trær.

«Ulv i fåreklær»

Arter som finnes i Norge i dag uten å gjøre betydelig skade, men som er alvorlige skadeinsekter andre steder i Europa. For noen av artene trenger man ikke reise lenger enn til Sør-Sverige eller Finland for å finne tilfeller av ødeleggende angrep på skogen. Eksempler: Barskognonnen, furumåler, furuspinner, furufly og vanlig furubarveps.

«De tålmodige»

Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som er alvorlige skadeinsekter lenger syd i Europa. Eksempler: Arter på eik og andre treslag som har sitt tyngdepunkt lenger sør i Europa. Det vil ta lang tid før disse artene eventuelt kan skape problemer i Norge, siden deres habitater først må forflytte seg nordover.

«Jokerne»

Arter som ikke finnes i Norge i dag, men som kan komme hit og trives i et varmere klima. Dette er de uforutsigbare jokerne - arter som kan komme hit med tømmerimport og annen handel. Eksempler er sibirfuruspinner og furuvednematode, som begge kan angripe både gran og furu. Andre kandidater er nord-amerikanske barkbiller, slik som den fryktede «mountain pine beetle» som er i ferd med å ødelegge store deler av furuskogen i British Columbia.

Noen eksempler (se Krokene & al (2010) for flere detaljer):

Granbarkbillen

Granbarkbillen har gitt store tap for skogbruket. Forskning ved Skog og landskap viser at problemene kan forsterkes ytterligere med klimaendringer. Varmere vær vil trolig føre til to angrepsperioder per år, og hyppigere stormer kan starte flere utbrudd.

Vanlig furubarveps

Mange kjenner til rød furubarveps som har hatt omfattende masseangrep i norske furuskoger. Vanlig furubarveps er, til tross for navnet, en mindre vanlig art hos oss i dag, men den kan komme til å bli et større problem dersom klimaet blir varmere og tørrere.

Vanlig furubukk

Vanlig furubukk (*Monochamus sutor*) er rundt 2 cm lang og har imponerende antenner. Den går både på furu og gran i det meste av landet, og de dype larvegangene kan gi teknisk skade på virket. Furubukken er likevel ikke blant de verste skogskadegjørerne. Den går oftest på levende trær som er betydelig svekket, for eksempel på grunn av skogbrann. Det alvorlige er at furubukken kan bli vert (vektor) for furuvednematoden (*Bursaphelenchus xylophilus*) dersom den skulle komme til Norge. Til tross for sin mikroskopiske størrelse (< 1 mm), kan den marklignende nematoden føre til omfattende skogskader. Og den er avhengig av furubukkene (*Monochamus*) for å kunne spre seg.

Barskognonne

Mange insekter vil utvide sitt utbredelsesområde mot nord dersom klimaet blir varmere. Det kan føre til at norske skog er får nærkontakt med nye og ødeleggende skadegjørere. En av artene vi har størst grunn til å frykte er en vakker sommerfugl med et uskyldig navn.

Fjellbjørkmåler

Fjellbjørkmåler, som er den viktigste skadegjøreren på bjørk i Nord-Norge og fjellskog i Sør-Norge, er på vei nordover. Studier over 15-20 år viser at utbruddsområdene til fjellbjørkmåler har ekspandert mot de kaldeste og mest kontinentale områdene lengst nord i Norge.

Furuspinneren

Furuspinneren, som tidligere har hatt alvorlige utbrudd i Norge, kan gi hyppige skader ved et endret klima. Det kan være at lange tørkeperioder utløser utbrudd av denne arten.

Heggspinnmøllet

Heggspinnmøllet er en bladetende sommerfugl som har gjort mye ut av seg de siste somrene. Tidligere forekom masseangrep kun på Østlandet, men de siste 10 årene ser møllet ut til å ha spredd seg nordover.

Kongleinsekter

Insektene som forsyner seg av granas kongler og frø har tradisjonelt ikke vært regnet som noe stort problem i norske skoger. Men nå som stadig flere av granplantene som skal danne framtidas skog stammer fra frøplantasjer, er dette bildet i ferd med å endre seg. Trusselbildet kan også være i endring, siden klimaet ser ut til å påvirke forekomsten av to viktige kongle insekter, granfrøgallmygg og kongleglansvikler.

KUNNSKAPSSTATUS

Vi mangler spesifikk kunnskap om de fleste potensielle klimavinnerne blant insektene og soppene og kan derfor slå fast at kunnskapsmangelen er betydelig. Eksempelvis: For mange skadegjørere mangler vi grunnleggende kunnskap om hvordan utviklingshastigheten er påvirket av temperaturen. Uten slik kunnskap kan vi ikke lage presise modeller for hvordan utviklingshastigheten og generasjonstiden vil endre seg i et endret klima.

Tilpasset for/til framtidige klimaendringer og aktuelle tilpasningstiltak

Skogbrukets vekster

Rett treslag/proveniens på rett sted, slik at trærnes stressnivå er lavest mulig. Vurdere treslagsskifte. Det er lite vi kan gjøre for å begrense skadegjørernes utbredelse, bortsett fra at gode importrutiner kan forhindre at fremmede arter får etablere seg i Norge.

REFERANSER

Sopp

Aamot H, Ward J, Brodal G, Vrålstad T, Larsen G, Klemsdal S, Elameen A, Uhlig S & Hofgaard IS. 2015. Genetic and phenotypic diversity within the Fusarium graminearum species complex in Norway. European Journal of Plant Pathology 142: 501-519

Brodal G, Elen O & Hofgaard IS. 2012. Fusarium og mykotoksiner i norsk korn før og nå. Bioforsk-konferansen 2012. Bioforsk Fokus 7 (2): 57-59.

Hofgaard, I.S, Elen, O & Brodal, G. 2012. Feekt av dyrkingspraksis på utvikling av Fusarium og mykotoksiner i korn. Bioforsk Fokus 7(2):60-61.

Juroszek, P & von Tiedemann, A. 2013. Climate change and potential future risks through wheat diseases: a review. Eur J Plant Pathol 136:21 DOI 10.1007/s10658-012-0144-9

Manning, William J., and Andreas V. Tiedemann. "Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO 2), ozone (O 3), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases." Environmental Pollution 88.2 (1995): 219-245.

Parikka, P., Hakala, K. & Tiilikkala, K. 2012. Expected shifts in Fusarium species' composition on cereal grain in Northern Europe due to climatic change. Food Additives & Contaminants: Part A, 29 (10), 1543-1555.

Strømeng GM, Brurberg MB, Herrero, M-L, Couanon, W, Stensvand, A, Børja, I & Talgø, V. 2012. Phytophthora alni forårsaker sjukdom på or (Alnus spp.) i Norge. Bioforsk TEMA 7(12) 8pp

Van der Fels-Klerx, H.J., Olesen, J.E., Madsen, M.S. & Goedhart, P.W. 2012. Climate change increases deoxynivalenol contamination of wheat in north-western Europe. Food Additives & Contaminants: Part A, 29 (10), 1593-1604.

West, Jon S., et al. "Comparative biology of different plant pathogens to estimate effects of climate change on crop diseases in Europe." European Journal of Plant Pathology 133.1 (2012): 315-331.

Virus

Anderson PK, Cunningham AA, Patel NG, Morales FJ, Epstein PR & Daszak P. 2004 Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change And agrotechnology drivers. TRENDS in Ecology and Evolution 19, 535-544.

Blystad D-R & Munthe T.1997. Plantevirus i Norge. Report 10/97. The Norwegian Crop Research Institute. 150 pp.

Blystad, D.-R., Lund, G., Riiser E. S., Skogen, M., Steen, H. S., Ørstad, K, Hauger, H. I., Knudsen,R. & Brurberg, M. B. 2013. Heksekost – en trussel for norsk epleproduksjon. Bioforsk Fokus 8(2):285-286

Klingen, I., Sagen Eklo, T., Spetz, C., Glorvigen, B., Abrahamsen, S. & Leidal, S. 2013. Virusoverførende bladlus, et problem i norsk potetproduksjon. Gartneryrket nr 5/2013

Ørstad, K., Munthe, T., Leidal, S. & Blystad, D-R. 2008. Kan potetvirus Y være årsak til sprekking i potet? Bioforsk FOKUS 3 (1).

Nematoder

Evans K 1969. Changes in a Heterodera rostochiensis population through the growing season. Ann. Appl. Biol. (64) 31-41

Greco N, Inserra RN. Brandonisio A, Tirrò A and De Marinis G. 1988. Life-cycle of Globodera rostochiensis on potato in Italy. Nematologia Mediterránea (16) 69-73.

Holgado, R., Magnusson, C., Davies, K. & Strandenæs, K-A. 2015. Generational times of potato cyst nematodes (PCN) in relation to life cycle strategies in Norway. Association of applied biologists (Abstract in press).

Jones FGW. 1950. Observations on the beet eelworm and other cyst-forming species of Heterodera. Ann. Appl. Biol. (37) 407-440

VKM 2008. Pest risk assessment of the Pine Wood Nematode (PWN) Bursaphelenchus xylophilus in Norway - Part 1. Norwegian Scientific Committee for Food Safety 08/906-4.

Skog

Krokene, P., Økland, B. & Nilssen, A.C. (2010). Klimavinnerne - blant insektene. Brosjyre fra Skog og landskap, 11 s.

Solheim, H. (red.) 2013. Klimavinnerne - blant soppene. Brosjyre fra Skog og landskap: 15 s.

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRINGENE

EFFEKTER AV ENDRET KLIMA OG BEHOV FOR TILPASNINGER DRENERING OG HYDROTEKNIKK

Atle Hauge* og Johannes Deelstra

NIBIO, Fagavdeling Miljø og naturressurser, Ås

*atle.hauge@nibio.no

HYDROTEKNIKK I LANDBRUKET

Hydroteknikk i landbruket, også kalt agrohydrologi, omfatter håndteringen av vann på landbruksarealene, herunder oppsamling og bortledning av vann (drenering), og tilførsel av vann (vanning) med formålet å ha optimale vekst- og dyrkingsforhold.

Dreneringen kan en dele inn i anlegg for å kontrollere grunnvannstand, vanligvis i form av drensgrøfter, og oppsamlings- og bortledningssystemer i form av rørledninger, kanaler, avskjæringsgrøfter, kummer og andre tekniske detaljer.

I tillegg er vanning og vanningsanlegg en del av landbrukets hydroteknikk.

Status for dreneringstilstanden i Norge

Naturlig dreneringsgrad er en måte å definere jordas dreneringstilstand uten menneskelig inngripen. Grunnlaget for dreneringsbehovet følger av de naturlige forholdene i jordsmonnet og naturtilstanden kan en finne gjennom jordsmonnkartleggingen. Vannforholdene er av stor betydning for utviklingen av jordprofilet.

Jordtyper som er kartlagt med klassifiseringen «dårlig naturlig drenering» trenger i de fleste tilfeller et dreneringssystem for å forbedre jordfukt-/vannforholdene i jordprofilet. Mye nedbør kan på jordtyper med dårlig naturlig drenering gi forhold med høyt grunnvannsnivå, noe som kan føre til;

1. dårlige vekstforhold om sommeren
2. dårlige forhold for jordarbeiding med fare for jordpakking (Hove, 1981)
3. fare for økt overflateavrenning, erosjon og P-tap (Skaggs og Youssef, 2008)
4. fare for økt utslipp av lystgass (ref. Tesfai et al. 2015,).

Tap av næringstoffer

Ifølge Hove (1981) har rundt to tredeler av den dyrka jorda i Norge et grøftebehov, mens en tredel er selvdrenerende. Store deler av de dyrka arealene med naturlig dårlig drenering er i dag kunstig drenert.

I Landbrukstellinga 2010 var det tatt inn et spørsmål om hvor mange dekar de brukte som kunne karakteriseres som dårlig drenert. Definisjonen av «dårlig drenert jord» er foretatt av grunneiere og kan være relatert til både den naturlige dreneringsgrad på ugrøftet jord, eller at det eksisterende grøftesystemet på arealet ikke fungerer etter behovet. På bakgrunn av svarene kunne det konkluderes med at i gjennomsnitt for hele landet var det 8 prosent av arealet som havnet i denne kategorien. Av det dårlig drenerte arealet på landsplan er 48 prosent leid jord.

At et anlagt grøftesystem ikke fungerer etter behovet kan være på grunn av ødelagte grøfterør, tilslamming av rør eller ikke fungerende filter, eller andre funksjonelle feil. Eller det kan være at brukeren opplever for våte forhold på jordene og derfor ønsker en høyere grøfteintensitet/tettere avstand mellom grøftene.

Resultatene av spørreundersøkelse kunne ha blitt fulgt opp gjennom gårdsbesøk/undersøkelser for å kartlegge den egentlige grunnen til svaret.

Resultatene av spørreundersøkelsen er presentert i rapporten «Dreneringsbehov i norsk landbruk – økonomi i grøftingen». (Hauge et al., 2011)

For Østfold og Akershus var andelen 12 og 15 prosent. I fylkene rundt Oslofjorden hvor andelen dårlig drenert jordbruksareal var oppgitt høyest, dominerer åkerarealet med over 80 prosent av jordbruksareal i alt. Korndyrking er der den vanligste produksjonen, og dårlig drenering kan by på problemer både i våronna og i skuronna, men også under vekstsesongen. Dekaravlingen av korn har stagnert, og drenering nevnes som en av årsakene til dette (Hoel et al., 2013).

I fylker hvor eng og beite er mest utbredt, synes dreneringstilstanden å være bedre, vurdert i forhold til bruken av arealene. I Rogaland oppgis bare 4 prosent av jordbruksarealet å være dårlig drenert. I Nord-Norge er 9-10 prosent av arealet oppgitt som dårlig drenert. Det er sannsynlig at definisjonen av dårlig drenert gjenspeiles av hvilken vekst som dyrkes, og at grasarealer har høyere terskel for å bli vurdert som dårlig drenert. Svarene gjenspeiler likevel et dreneringsbehov, vurdert ut fra vekst, driftsforhold og driftsøkonomi.

Det er en viss sammenheng mellom andel jord som er oppgitt å være dårlig drenert, og andel kartlagt jordareal som har naturlig dårlig dreneringsgrad. Østfold, Akershus og Oslo, Vestfold og Telemark er de fylkene som har størst andel med naturlig dårlig dreneringsgrad (størst andel marine leiravsetninger), og også størst andel areal som anses å være dårlig drenert i spørreundersøkelsen. Vestlandsfylkene har lavest andel areal med naturlig dårlig drenering (skjønt bare 2 % av arealet med dyrka mark er jordsmonnkartlagt her) og lavest andel areal som anses å være dårlig drenert i spørreundersøkelsen.

Status for vanningsbehov i Norge

Ved utarbeidelse av denne rapporten har en valgt å ikke fokusere på vanning, selv om dette vanligvis er en del av landbrukets hydroteknikk. En går dermed ikke inn på denne problematikken i rapporten.

KLIMAENDRINGER – NEDBØR OG AVRENNING I NORGE FRAM TIL 2100

Nedbør

Den nylig publiserte rapporten om effekter av klimaendringer gir informasjon om den forventede økningen i nedbør og temperatur i perioden fram til 2100 (Hanssen-Bauer et al., 2015)

Norsk jordbruk kan stå ovenfor store utfordringer, på grunn av den varslete endring i været, med høyere temperaturer og mer nedbør. Denne rapporten tar for seg de potensielle effekter endret nedbør kan ha for landbrukets hydroteknikk, og om det er behov for tilpasning av intensitet, utforming og dimensjonering av grøftesystemer og andre hydrotekniske anlegg i et endret klima.

Kort oppsummert sier rapporten at dersom utviklingen i klimagassutslipp fortsetter som i dag (RCP8.5), beregnes det en økning i temperatur på ca. 4,5 grader (årsmiddel for Norge) mens årsnedbøren øker med ca. 18 % fram mot slutten av dette århundret (2071 – 2100). Samtidig blir det en dobling av antall dager med kraftig nedbør og en økning i nedbørmengden på dager med kraftig nedbør på 19 %. Med redusert utslipp av klimagasser kan klimaendringer bli betydelig mindre. Endringene er betydelig mindre når man bare ser fram mot 2031 - 2060

Årsnedbøren har for perioden 1985-2014 og for alle regioner vært høyere enn for 1971-2000. Endringene i nedbør for perioden 1985 – 2015 er presentert for noen utvalgte områder i tabell 1. Gjennomsnittlig økning i årsnedbør er på 8 % med den største økningen (7-8 %) på Østlandet, Sørlandet, Sør-Vestlandet (6 – 7 %) og på Finnmarksvidda (8 %, ikke vist i tabell). Det er særlig om sommeren nedbøren har økt, i gjennomsnittlig med 14 % for Norge men med 13 – 16 % på Østlandet, Sørlandet og Sør-Vestlandet. Samme områder viser også en betydelig økning for vintersesongen. Om høsten har derimot nedbørmengdene blitt redusert i de fleste områder.

For de neste 10-20 år vil naturlige variasjoner i stor grad dominere over «klimasignalet» som skyldes økt drivhuseffekt. Rapporten anbefaler at resultater for denne perioden benyttes for planleggingsformål for de neste 10-20 årene.

Framskrivningene viser på landsbasis en økning i nedbør for alle årstider. De største relative forandringene i årsnedbør er beregnet for nordlige deler av Norge, mens i absolutte tall er forandringene størst på Vestlandet og Midt-Norge. Det er betydelig variasjon mellom årstidene for de forskjellige landsdeler (se tabell 1, endringer for noen utvalgte områder).

Spørsmålet er om man må endre kriterier for dimensjoneringen av drenering og hydrotekniske tiltak på grunn av de endringene som allerede er registrert, eller eventuelt de endringer man forventer på grunn av klimaframskrivinger.

Tabell 1; Relativ forandring (%) i årsnedbør fra 1971–2000 til periodene 1985 – 2015 (A), 2031-2060 (B) og 2071–2100 (C). (Median framskrivning)

	1			2			3			4			5			6		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
År	8	-	18	7	7	15	7	6	10	6	7	11	1	8	17	2	9	21
DJF	5	-	16	11	14	28	17	10	28	12	8	23	0	4	13	1	4	10
MAM	4	-	13	6	18	25	3	15	23	7	11	18	13	7	8	15	4	6
JJA	14	-	16	16	1	4	19	1	-1	13	6	-2	4	7	16	-4	16	26
SON	1	-	16	-3	5	12	-3	0	4	-2	4	10	-7	6	14	-2	13	27

1 – Norge; 2 – Østlandet; 3 – Sørlandet; 4 – Sør-Vestlandet; 5 - Sogn og Fjord/Nordhordland; 6 – Trøndelag/Helgeland

Endringer i årsnedbør i den siste rapporten er forskjellig fra endringer i den forrige rapporten «Klima i Norge 2100», utgitt i 2009. Dette gjelder særlig endringer i sesongnedbør. Fram mot 2071 – 2100 er økningen i årsnedbøren for Norge på 18 %, likt den tidligere rapporten. For Østlandet var økningen 12 % mot 15 % nå i den siste rapporten, for Sør-Vestlandet var det 19 % mot 11 % nå, og for Sogn og Fjordane/Nordhordland er det mindre økning i årsnedbør, 22 % mot 17 % nå.

For Østlandet var økningen i vårnedbør (MAM) 14 % mot 25 % nå. Også for Sørlandet er økningen i vårnedbør betydelig større nå, 12 mot 23 % nå. Derimot er den betydelig mindre nå for Sogn og Fjordane/Nordhordland. For Sør-Vestlandet og Trøndelag/Helgeland er endringene omtrent det samme. Også for de andre sesonger er det visse endringer i framskrivingen for nedbør. Når det gjelder nedbør om sommeren (JJA) så er den forventede økningen fram mot 2071 – 2100 for Norge på 16 %. For Østlandet er det en mindre økning på 4 %, mens det for Sørlandet og Sør-Vestlandet er en nedgang i sommernedbør. En betydelig økning er forventet for Sogn og Fjordane/Nordhordland og Trøndelag/Helgeland (16 og 26 %).

Det er forventet en betydelig økning i høst (SON) og vinternedbør (DJF). For Norge er økningen på 16 %, mens dette for de forskjellige områder varierer fra 10 – 28 %.

Framskrivningene når det gjelder årsavrenning gir relativt liten endring for Norge de neste 50 årene, men mot slutten av århundret beregnes en liten økning for det høyeste utslippsscenarioet (RCP8.5). Sesongendringene er imidlertid betydelig større. Det beregnes økt avrenning om vinteren og redusert avrenning om sommeren. En hovedårsak til dette er en mer jevn avrenning gjennom vinterhalvåret på grunn av mildere vintre.

Gjennom JOVA-programmet har det blitt samlet inn data blant annet for nedbør og avrenning siden begynnelsen på 90 – tallet. Egne studier samlet inn fra små jordbruksdominerte nedbørsfelt i JOVA-prosjektet (Deelstra et al., 2011) og fra tilsvarende nedbørsfelt i Norden/Baltiske land (Øygarden et al.,

2011) viste den positive sammenhengen mellom nedbør og avrenning, dvs at en økning i nedbør gir en økning i avrenning og at dette også førte til en økning i tap av næringsstoffer og jordpartikler.

Resultatene fra JOVA-undersøkelsene er forskjellig fra det rapporten «Klima i Norge» sier om avrenning, for her registreres økt avrenning også i sommerperioden.

En gjennomgang av nedbør- og avrenningsdata fra JOVA bør vurderes, for å sammenlikne med de prognosene for nedbør og avrenning som Klimarapporten gir.

Tørke

Klimarapporten sier at i deler av landet kan gjennomsnittlig markvannstørke om sommeren bli 1 til 2 måneder lengre mot slutten av århundret. Avhengig av valgt framskrivning viser resultatene at tørke vil variere fra å dekke stort sett hele Sørøst-Norge til kun å ramme områder i deler av Telemark, Buskerud, Oppland, Hordaland og Sogn og Fjordane. Økt markvannsunderskudd og lengre varighet på tørkehendelsene vil ha følger for blant annet jord- og skogbruk, vanningsbehov og skogbrannfare.

Høyere nedbørintensitet

For alle nedbørregioner for alle årstider blir det en dobling av antall dager med kraftig nedbør og en økning i nedbørmengden på dager med kraftig nedbør på 19 %. Forandringene skal være størst i det nordlige Norge mens i absolutte verdier (forandring i antall millimeter) er forandringene kraftigst i kystnære strøk, spesielt på Vestlandet. Om vinteren er de relative forandringene størst på Østlandet og i Nord- Norge, mens i sommerperioden er endringene størst fra Trøndelag og nordover.

I Klimarapporten er kraftig døgnnedbør definert som ettdøgnsnedbør som ble overskredet i 0,5 % av dagene i perioden 1971–2000. For slike dager tilsier medianframskrivningen på lands- og årsbasis en økning i antall på 89 % ved slutten av århundret for RCP8.5 scenarioet og 49 % for RCP4.5 scenarioet. Det største utslaget ses om vinteren (143 % i RCP8.5). Det kan ikke utelukkes at antall dager med kraftig nedbør vil mer enn fordobles ved slutten av århundret i alle årstider (høyt estimat ligger over 100 % for alle årstider) under RCP8.5 scenarioet. Det estimeres en økning i antall dager med kraftig nedbør i alle nedbørregioner for alle årstider.

Det er viktig å få mer informasjon om hvorvidt de framtidige intensiteter overstiger jordas infiltrasjonskapasitet og hvilken betydning dette i så fall skal ha for kontroll med overflateavrenning og dimensjoneringen av hydrotekniske anlegg innenfor landbruksdominerte nedbørsfelt.

Kortere sesong med snødekke og flere fryse-/tineperioder

Økningen i temperatur vil føre til senere snølegging og tidligere snøsmelting. I tillegg vil økt temperatur føre til flere smelteepisoder om vinteren. I lavtliggende områder vil snøen bli nesten borte i mange år, men det vil fortsatt være enkelte år med betydelig snøfall i kystnære lavlandsområder (Hansen-Bauer et al., 2015).

Men manglende snødekke kan gi også barfrost og telelag. Med nedbørepisoder når jorda delvis er frosset kan en få kraftig overflateavrenning og store erosjonsskader.

Snøsmeltingsflommen har hatt forholdsvis liten betydning for dimensjoneringen av landbrukets hydrotekniske systemer. Det er ikke snøsmeltingsflommen som bestemmer dimensjonene på rør og kanaler, men kraftige nedbørepisoder.

Men det er stor forskjell på vannmengde og erosjonsskader om snøsmeltningen skjer sakte i sol og stille vær, eller om den skjer på grunn av snøsmelting kombinert med kraftig regn noe som framskrivinger varsler for. Med mildere og våtere vintre, kan en få flere snøsmeltingsepisoder den typen som kan kreve nye kriterier for dimensjoneringen.

HVILKE UTFORDRINGER SKAPER KLIMAENDRINGENE FOR DET HYDROTEKNISKE SYSTEMET?

Dimensjoneringskriterier for dreneringstiltak

Dimensjonering av drenering og hydrotekniske anlegg, anlagt/etablert i perioden 1960-1990, er dimensjonert etter klimaforholdene som fantes da.

Grøftesystemene er i dag konstruert med varierende intensitet (fra 6–10 m avstand) og varierende grøftedybde (fra 0,80–1,00 meter) i leirjordområdene på Østlandet. Grunnlaget for dimensjoneringen av nåværende grøftesystemer er i hovedsak basert på ruteforsøk med korn. Formålet med disse forsøkene har vært å undersøke effekter på avlingen ved ulik grøfteintensitet. Av særlig stor betydning var drenering/opptørkingen for tidspunktet for våronna, der forsinkelser om våren førte til nedsatt avling (Hove 1991). Men grøftingen hadde også betydning for mulighetene for jordarbeiding om høsten.

Grøftesystemer har som formål å drenere bort det såkalte lett drenerbare vannet som befinner seg i jordprofilet over grøftenivå (dvs jordas vanninnhold mellom metning (pF =0) og feltkapasitet (pF = 2)). Det er en direkte sammenheng mellom grøfteintensitet/-dybde, grunnvannsnivå, jordart og nedbør. Kunnskap om denne sammenhengen er viktig for å kunne foreta de riktige valg når det gjelder dimensjoneringen av grøftesystemer. Inntil nylig var det lite kunnskap om sammenhengen mellom grøftedistansen og grunnvannsnivå, for dette var ikke blitt målt. Det er likevel dette som er viktig og som blir enda viktigere i framtiden med økt nedbør, fordi dette påvirker vekstforholdene og har stor betydning for laglighet for kjøring/jordarbeiding. For å unngå jordpakking er det i tillegg viktig å ikke kjøre under forhold med for høyt fuktinnhold i jorda.

Dette er kompliserte sammenhenger, som kan framstilles gjennom formler/modeller. De to dominerende metodene for å beregne grøfteavstand er basert på henholdsvis Hooghoudt's likning (Ritzema, 2006), som er en stasjonær tilnærming av sammenhengen mellom grunnvannsnivå og grøfteavrenningen, og Glover–Dumm's likning (Ritzema, 2006) som er basert på en ikke–stasjonær tilnærming. Det har ikke blitt gitt noen klare retningslinjer for hvilken metode man skal anvende og Oosterbaan (1994) antyder at begge metodene over lengre tid kan gi samme resultatet.

Men vil man beregne riktig grøfteavstand for å øke tidsrommet der en kan drive med jordarbeiding, kan det være nødvendig å benytte seg av den ikke stasjonære tilnærming, for dermed å dimensjonere grøftesystemer ved å stille krav til synkehastighet av grunnvannet. Det blir særlig viktig framover å vurdere

grøftesystemers evne/kapasitet til å håndtere store nedbørsmengder som fører til høye grunnvannsnivåer og for å få redusert disse fortest mulig. Dette er viktig under vekstsesongen, siden høye grunnvannsnivåer påvirker vekstforhold på en negativ måte, men særlig med hensyn til laglighet for kjøring og jordarbeiding om våren/høsten. Grøftene kan ha drenert det drenerbare vannet men det er dermed likevel ikke sagt at man oppnår forhold som tillater kjøring uten fare for jordpakking (Riley, 2015). Man trenger fortsatt en videre redusering av fuktforhold. Spørsmålet man kan stille er hvor tett grøftene må ligge for å oppnå optimale forhold for jordarbeiding. Er det i det hele tatt mulig? Skal man i framtiden ha nok tørre dager for å få et fuktinnhold som tillater jordarbeiding uten å påføre jorda varig skade i form av pakking.

Når det gjelder laglighet og kjøring så er det i AGROPRO-prosjektet gjort tilpasning til norske forhold av jordpakkingsmodellen TERRANIMO. (www. Terranimo.dk) Modellen beregner risiko for jordpakking i ulike dyp ved valg av traktorstørrelse, utstyr, dekkutrustning og en kan sammenligne kjøring på tørr, fuktig og våt jord. Det er et mål at modellen i framtiden skal kunne bruke reelle nedbørdata og foreta simuleringen av jordas fuktinnhold, som er bestemmende for laglighet for kjøring.

Riley (2015) har utviklet en modell for beregninger av antall tilgjengelige dager for jordarbeiding ved ulike vanninnhold i jorda. Her brukes ulik % av feltkapasitet fra 75- 95 %, og en teller antall dager som er tilgjengelig for jordarbeiding. Som et eksempel fra denne beregningen vises at dersom en skal vente til jorda er optimal for jordarbeiding, eks vanninnhold 70 % av feltkapasitet, så viser resultatet at det bare er 4 slike dager på våren på Sør-Østlandet, 13 dager ved 75 % og 26 dager ved 80 % vanninnhold. Endret nedbør i vårperioden vil dermed ha stor betydning for mulighet for tidlig våronn. Våtere vær vil gjøre det enda viktigere å unngå jordpakking.

Igjen kan man stille spørsmål hva som må være dimensjoneringen av grøftesystemet for å unngå tap på grunn av sein våronna og eventuelt kombinert med jordpakking.

Terranimomodellen (http://www.terranimo.dk/), en web-basert kalkulator, er et eksempel på et nyttig hjelpemiddel som kan bli enda viktigere i tilpasningsarbeidet. Modellen er utviklet gjennom et EU samarbeidsprosjekt. I Danmark blir DAISY modellen (https://code.google.com/p/daisy-model/) brukt i real-time simuleringen av jordas fuktinnhold. Det tas sikte på også å få til en slik simulering av jordas fuktinnhold i den Norsk tilpasset Terranimomodellen.

Det må gjøres en god del arbeid/forskning for å få en slik velfungerende modell på plass for Norske forhold. Til dette trenges det nemlig tilgang til gode data for å kunne kalibrering/validering av en slik modell. Det er behov for data for grøfte-/overflate avrenning, fordfysiske data (pF, vannledningsevne, infiltrasjonskapasitet, værdata, annet). Modeller som er aktuelle for Norske forhold og som blir vurdert av NIBIO er; SWAP (http://www.swap.alterra.nl/), Hydrus (http://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?hydrus-1d) og DRAINMOD (http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/drainmod/index.html)

Et viktig spørsmål er hvordan grøftesystemer skal dimensjoneres, hvilken metode man skal anvende. Modeller blir et viktig verktøy i dette arbeidet men ofte blir simulering og resultater kun presentert som døgnverdier. Ut i fra driftsbehov (laglighet for kjøring, optimale vekstforhold) så er den ikke-stasjonære tilnærmingen sannsynligvis å anbefale, dvs man skal stille krav til effekten av grøfteavstand på grunnvannets synkehastighet. For eksempel er veiledningen for dimensjonering av grøftesystemer fra

Minnesota i USA, basert på at grøftesystemer må være i stand til å fjerne det lett drenerbare vannet fra rotsonen innen 24-48 timer etter et kraftig regnvær (Wright & Sands 2012). Som en del av prosjektet «Riktig dren» ble det foretatt målinger av sammenhengen mellom grøftesystemet og grunnvannsnivå i Øvre Time, et småfelt i sør-vest Norge (Deelstra, 2015). Resultatene viste at det er en veldig høy synkehastighet på grunnvannet/grøfteavrenningen med en halveringstid på mindre enn et døgn.

Disse endringer kommer ikke fram som resultat ved bruk av modeller som genererer døgnverdier. Målingene som foretatt i Øvre Time er unike i Norge, og har ikke tidligere blitt foretatt. Flere slike målinger burde så absolutt foretas for å se på denne sammenhengen under forskjellige jord- og grøftesystemer. Muligheter kunne være gjennom målinger i nåværende (Bye, Øvre Time) og tidligere småfelt (Vandsemb) i JOVA-prosjektet men også andre data fra andre felt kan anvendes. Resultatene kan ses i sammenheng med jordtype og sammen med bruk av modeller kan være med på å utforme dreneringskriterier.

Høyere nedbørintensitet etter klimaendringer kan gi enda større kapasitetsproblemer i drensledningene, særlig i samleledninger. Dersom grøftesystemer ikke har nok kapasitet kan dette fører til oppstuvning i selve grøfterøret og føre til høyt grunnvannsnivå lenger enn ved optimal fungerende grøftesystemer.

Dersom man legger sidegrøfter tettere på hverandre så blir arealet som et rør drenerer mindre, noe som igjen har effekt på diameter av røret. Det behov for en gjennomgang når det gjelder dimensjoneringen (diameter) av både side- og samlegrøfter. Avrenningstall samlet inn gjennom JOVA prosjektet er også viktig i å skaffe informasjon om avrenningsintensiteter.

Vinterforhold

Mildere vintre kan føre til flere fryse- og tineperioder i deler av landet. En detaljert analyse av framtidig vær er viktig for å få et inntrykk av hvordan vinteren blir for de forskjellige jordbruksområdene i Norge. For kornarealene er det viktig å vite hvordan utviklingen blir når det gjelder fryse/tine perioden fordi slike episoder reduserer jordas aggregatstabilitet samtidig som også jordas infiltrasjonskapasitet blir redusert.

Tineperioder og snøsmelting, eventuelt kombinert med nedbør, fører i så fall til mer overflateavrenning og erosjon. Nedbøren er forventet å øke gjennom vintersesongen samtidig som vi skal få flere nedbørsepisoder med høy intensitet og i tillegg en økning i nedbørintensitet. (Hanssen-Bauer m.fl., 2015).

Kontroll med overflateavrenning og vannets strømningsveier i nedbørfelt

Kontroll med overflateavrenning er allerede et viktig tiltak for å redusere dagens tap av næringsstoffer og erosjon. Ved et endret klima med økt nedbør og spesielt under perioder med høy nedbørintensitet blir det enda viktigere å ha kontroll over vannets strømningsveier i landskapet, særlig når det gjelder overflateavrenning, men også via drenssystemet. Mangel på kontroll kan føre til stor erosjon og graveskader, bekkekanterosjon med påfølgende utvasking og transport av næringsstoffer og partikler. Igjen er et godt fungerende grøftesystem med høy synkehastighet for grunnvann viktig. Høy synkehastighet fører nemlig til at lagringsevnen for nedbør blir optimert (fuktinnholdet mellom feltkapasitet og metning) ved at

de større porene er tømt for vann når ny nedbør kommer. Dette gjelder likevel kun for nedbørintensiteter som er mindre enn jordas infiltrasjonsevne.

Vurdering/planlegging av avskjæringsgrøfter er viktig for å hindre uønsket avrenning fra andre arealer som nabojorder, skog, gårdsplasser, veier, stikkrenner m.m.

Det er viktig at nedløpskummer for overflatevann må plasseres der vannet samler seg, og konstrueres etter forskriftene (se faktaark på www.klimakommune.no). Grasdekte vannveier i forsenkninger, sikring av grøfteutløp i bekkeskråninger kan redusere erosjon. Steinsetting av bekkeløp kan bli mer nødvendig ved økte avrenningsmengder. Det er generelt en stor utfordring at endret klima med mye nedbør og mye vann i jordsmonnet kan føre til ustabile forhold i skråninger og lede til utglidninger og større ras i jordbruksområdene. Dette har det vært flere eksempler på blant annet i vannområdet Morsa, høsten 2007 og januar 2008. Slike ras kan ha effekt på vannkvaliteten i flere år etterpå. Vegetasjonssoner og erosjonssikring i bekkekanter kan bli tiltak som må prioriteres opp i framtiden.

Når en skal utforme et dreneringsanlegg for lukka drensgrøfter, er det flere faktorer som kan varieres. Dimensjon på rørene, avstand mellom rørene, dybde og fall vil ha betydning for dreneringseffekten og avrenningen.

Ved høyere totalnedbør kan det være aktuelt å øke dimensjonene på dreneringsrørene, for å sikre at bortledningskapasiteten er høy nok.

Lukka drensgrøfter har vanligvis høy nok kapasitet til å føre vekk vannet selv om totalnedbøren øker, fordi jorda bremser tilførselen, og fordi en vanligvis prøver å unngå lengder over 300 meter på en drensgrøft/sugegrøft. Men grøfter som får direkte tilførsel av overflatevann gjennom kummer, grusfiltre eller andre overflateinnløp vil kunne få betraktelig høyere vanntilførsel. Også samlere som har flere sugegrøfter koblet inn på seg kan trenge oppdimensjonering i framtida.

Planleggingsverktøy, integrert i et GIS system, trenges for å kunne foreta riktig valg av tiltak for å ha kontroll/hindre erosjon og tap av næringsstoffer, både på gårds- og nedbørsfelt nivå.

Dimensjonering og tap av næringsstoffer

Dersom krav til optimale vekstforhold og jordarbeiding fører til at det er nødvendig å redusere grøfteavstanden, må det foretas en gjennomgang/vurdering av de eventuelle negative konsekvensene dette kan ha. Forskning/forsøk i utlandet har vist at en redusering fører til en økning i nitrogenavrenning (Kladivko et al., 2004; Nangia et al. ,2009). Man er nødt til å få inn mer informasjon om dette for eksempel gjennom litteraturgjennomgang og gjennom kontakter/diskusjoner med forskere i Norden/verden. Samtidig må dette bekreftes nærmere for Norske forhold gjennom målinger.

Også utslipp av drivhusgass (N_2O) kan bli påvirket av grøftesystemer, ved at dårlig dreneringstilstand kan føre til en økning i utslipp. (Tesfai 2015)

DRAINIMP- prosjektet som gjennomføres på Fureneset ser nærmere på blant annet dette. Samtidig ser DRAINIMP-prosjektet på avlingsnivå og fare for jordpakking ved forskjellige grøfteintensitet. Data som samles inn blir også brukt i modeller(DRAINMOD, andre) som simulerer jordfukt/avrenning/N-tap mm

Forsøket som foregår på Fureneset er representativt for grasproduksjon i Vest Norge. Tilsvarende forsøk er viktig å få initiert/gjennomført andre steder i Norge som representer andre driftsformer/vær/jordtyper.

Rør type og filtermaterialer

Sugegrøfter kan ha forskjellig design når det gjelder perforering, hullstørrelse og antall hull og dette kan ha betydning for motstanden vannet møter for å trenge inn i røret. Inntil nylig ble rør brukt som kun hadde perforering på toppen og dette kan føre til økt motstand for innstrømming og dermed fører til en økning i grunnvannstand skjønt bruk av filtermaterialer kan bedre innstrømningsforholdene. Økte nedbørmengder vil øke betydningen av lav innløpsmotstand, både når det gjelder antall perforeringer og bruk av godt filtermateriale.

Det er behov for å foreta en litteraturgjennomgang for å få innsikt i erfaringene med rørdesign og filtermaterialer i andre land, for å velge riktige grøftematerialer for norske forhold.

Bæreevne og andre driftsmessige hensyn

Det er ofte de driftsmessige behov som utløser grøftingen, som jordas bæreevne og jordas lagelighet for jordarbeiding. Dårlig dreneringstilstand fører til dårlig bæreevne og sein opptørking. Dette kan gi seinere våronn, og gardbrukeren kan bli nødt til å gjøre våronna selv om forholdene ikke er gode. Det kan også gi vanskelige innhøstingsforhold, og jord kan bli stående uhøstet. Det blir driftsavbrudd, pakkingsskader, store synlige kjøreskader og behov for investeringer i flyteutstyr og mer trekkraft. Investeringer i maskiner for å kunne håndtere en dårlig dreneringstilstand kan bli dyrt.

Vurdering av om bæreevnen er god nok i forhold til maskinpark og driftsopplegg må gjøres på det enkelte bruk (ref AGROPRO-prosjektet/TERRANIMO-modellen). En del jord vil ha problemer med dårlig bæreevne selv om dreneringen er tilstrekkelig i forhold til plantes behov. Behovet for hurtig senkning av grunnvannsspeilet er størst for å sikre bæreevnen på jorda i forbindelse med våronn og slåttonn/tresking.

Dreneringen fjerner bare det frie vannet i jorda, til feltkapasitet. Finkornet jord, f.eks marin leirjord som en har mye av på Østlandet og i Trøndelag, vil kreve ytterligere opptørking etter at det frie vannet er drenert bort (feltkapasitet) for å være kjørbar for dagens landbruksmaskiner. Den må også tørke mer enn feltkapasitet før jorda er tilstrekkelig tørr for pløying og jordarbeiding. Om våren har en ofte mye innstråling og varmt vær som gir stor fordamping, og denne ekstra opptørkingen går fort. Om høsten derimot vil opptørking etter regnepisoder gå langt seinere. Selv om dreneringen er god, slik at det frie vannet er borte i løpet av få timer, vil jorda være for våt til å kjøres på i lengre tid etter nedbør. En kan ikke ordne dette med tettere grøfting, eller ved å dimensjonere opp grøftene, så en kan ikke drenere seg bort fra dette problemet. Det er i hovedsak solhøyde og temperatur som bestemmer fordampingen. Dermed kan det også bli vanskelig å få utnyttet de mulighetene forlengelsen av vekstsesongen gir, fordi driftsforholdene ofte blir umulige.

Plantenes behov

Avlingen er den andre siden av regnestykket, der en stor avling av god kvalitet kan bli belønningen for en god dreneringstilstand. Jord kan være for dårlig drenert ut fra plantenes behov, selv om det er mulig drive arealet med den maskinparken en har.

En god rotutvikling er en betingelse for en stor avling. Rotutviklingen er størst i de øverste 20-25 cm. Røttene trenger luft, og der grunnvannsspeilet normalt står høyt, utvikles røttene bare i det helt øverste lag av jorda. Dette gir dårlig plantevekst og også dårlig utnyttelse av den gjødsla som tilføres. Måling av avlingsøkning ut fra bedret dreneringstilstand er i hovedsak gjort på kornarealer, der det er registrert stor avlingsøkning med bedre grøfting. Mye av avlingsøkningen kommer på grunn av tidligere våronn, fordi jorda tørker fortere. God dreneringstilstand som gir en tidlig sesong vil være helt avgjørende ved dyrking av korn, grønnsaker og poteter der en er nærmere dyrkingsgrensen for vekstene.

Rask opptørking kan også være en stor fordel på eng der snøen går seint. Sollyset er på sitt mest intense i juni, og det er viktig å få planteveksten i gang. Andre steder i kan en ha store nedbørmengder i innhøstingsperioden, og innhøstingen blir vanskelig dersom jorda ikke tørker fort.

Pakkingsskader har vist seg å være stadig mer omfattende etter som utstyret blir tyngre. Kjøring på våt jord gir større pakkingsskader, og pakkingen går dypere. Tyngre maskiner pakker også dypere, selv om en greier å holde marktrykket under store hjul lik mindre hjul på lettere utstyr. Pakking under 40 cm er det svært vanskelig å rette opp. Så ekstra flyteutstyr på våt jord hjelper ikke hvis også totalvekta på utstyret økes.

For å unngå jordpakking trenger man et godt fungerende grøftesystem, tilpasset jordtype/vekster/værforholdene. Spørsmålet er hvordan å dimensjonere. Det er sannsynlig å anvende den ikke stasjonære måten. Det er behov å fa kjennskap til sammenhengen mellom synkehastighet, jordtype, være og grøfteavstand. Denne kunnskapen må innarbeides i en såkalt «drainage calculator». Slike kalkulators er i bruk andre steder, som fe Minnesota og gjennom samarbeid kunne man e på mulighet å utvikle tilsvarende for Norge.

Dårlig drenert jord er mer utsatt for vinterskader på eng og høstkorn, ved at vann blir stående på overflata i mildværsperioder om vinteren og i forbindelse med avsmeltingen. Hindringer for overflateavrenning har stor betydning. En får isbrann og drukning av plantene.

DIMENSJONERING AV BORTLEDNINGSSYSTEMER OG LUKKINGSANLEGG

Risikovurdering ved dimensjonering

Bortledningstiltak dimensjoneres etter avrenningsdata og en risikovurdering. Det er uhensiktsmessig og dyrt å dimensjonere for de største flomtoppene. Vanligvis vil en kunne redusere dimensjonene mye i forhold til de mest ekstreme værforholdene, uten at dette ødelegger anleggets funksjonalitet. Det er likevel noen faktorer som må vurderes før en bevisst "underdimensjonerer" anlegget. Økte nedbørmengder vil også føre til at flere gamle anlegg allerede er underdimensjonert.

Det er mangel på lange serier av avrenningsdata i mindre nedbørfelt men data fra JOVA prosjektet kan vurderes/er viktig i beregning av flom og gjentaksintervall på bakgrunn av nedbørtall og målte data. Egenskaper i nedbørfeltet er komplisert, og flere overvåkingsstasjoner hadde gitt bedre grunnlag for beregninger. GIS-baserte modellverktøy kan være et viktig redskap, men slike modeller må utvikles/kalibreres når det gjelder jordtype, vekstforhold, være, avrenning, andre, men er viktig i planleggingen av landskapet.

En vurdering av faren for skader og erosjon er viktig når en skal dimensjonere kanaler og åpne løp. Ved en risikovurdering når en dimensjonerer kan det også være stor forskjell på hvilket skadeomfang en oversvømmelse fører med seg. Ofte er det bare snakk om at noe avlingstap eller at løsmasser eroderes og føres bort med vannet. Kostnadene kan få helt andre dimensjoner dersom tekniske anlegg som veier, hus og kjellere blir ødelagt. En kan kostnadsmessig veie erosjonsdempende tiltak som steinsetting og bygging av stryk opp mot det å øke dimensjonene på kanalen.

Ved fastsetting av verdier for avrenningsintensitet må en vurdere investeringen i forhold til den skade en oppstuvning av vann over kortere perioder vil medføre. De ekstreme flomtoppene som en må ta hensyn til ved erosjonssikring kommer vanligvis over en kort periode etter ekstrem nedbør, ofte utenom vekstsesongen og av og til sammen med snøsmelting. Klimaendringene har i noen viktige landbruksområder på Østlandet gitt en forskyvning av den perioden der en kan forvente høyeste maksimalavrenning, fra høsten eller snøsmeltingen, til kraftige nedbørepisoder på ettersommeren. Dette gir større skader på jord og avling.

Bortledning av overflatevann på senhøsten kan være svært viktig for å hindre vinterskader på eng. Om våren vil det være viktig at vannet ledes raskt bort etter snøsmelting eller nedbørepisoder, slik at en kommer i gang med våronna.

Nærhet til bebyggelse eller andre tekniske anlegg som kan påvirkes av en flom må dermed vurderes. Landbruket har stor betydning for avrenningsmønsteret og skadepotensialet ved kraftige avrenningssituasjoner.

Is og frost

Isforholdene kan også få betydning ved dimensjonering, og ved planlegging av detaljer som innløpsåpninger og stikkrenner.

Mange steder vil barfrost kunne bygge opp is i stikkrenner og kanaler, slik at disse ikke har full vannføringskapasitet når vårflommene kommer. Det kan derfor være aktuelt med sterk overdimensjonering i forhold til naturlig vannføring og kapasitetsvurderinger. Enkelte steder kan det være aktuelt å bygge overløp eller avlastningsrør som sikrer vannføring dersom hovedløpet tettes av is.

En annen mulig skadeårsak på bunnledninger er kalde luftstrømmer om vinteren, slik at det blir mange fryse/tine-episoder gjennom vinteren. Dette kan både gi skade på bunnledningene og på kummene. Ved typisk strålingsfrost vil det bli betydelig lågere temperatur ved utløpsenden enn ved innløpsenden i store bekkedaler med betydelig fall. Det vil da bli en skorsteinseffekt, der luftstrømmen går oppover i

rørsystemet. Dette er mest utpreget ved liten vannføring, som er typisk for kalde vinterperioder. De store åpningene på toppen av moderne kuminnløp, kumhatt med spiler i kjegleform, kan dermed være et problem når det gjelder kalde luftstrømmer.

I utløpet av rørgata er det vanlig at frosten beveger rørene, og en får dermed dratt ytterste rør litt ut, og vannet begynner å renne i glipen mellom siste og nest siste rør. Isoppbygging i utløpet kan også tette utløpet. Etter hvert eroderes jorda vekk, og siste rør faller ut. Dette kan så gjenta seg innover rørgata, så flere rør etter hvert faller ut.

Spesielle problemer i bakkeplanerte områder

Bakkeplanerte områder er den dyrka jorda som kanskje har de største utfordringene med gamle og dårlige hydrotekniske anlegg, og ved økte avrenningsmengder vil problemene eskalere.

Da landbruket ble mekanisert oppstod behovet for å få større, sammenhengende områder med lavere hellingsgrad enn i ravinesidene begynte en å jevne ut en del av de mindre bakkene ved hjelp av bulldosere. Seinere kom bedre maskiner, og en kunne foreta store terrenginngrep. Fra 1973 kom det et betydelig statstilskott til bakkeplanering. Deretter økte bakkeplaneringen sterkt, og det ble totalt planert ca 400000 dekar.

I bakkeplanerte områder er de fleste bekkene lukket med betongrør, mens det enkelte steder er brukt korrugerte metallrør. Betongrørene var av variabel betongkvalitet, og det var dårligere falser på eldre rørtyper. I tillegg er det manglende erosjonssikring og utette rør og kummer som skaper erosjonsproblemer. (Njøs, 1999)

Belastningen på disse anleggene, som begynner å bli gamle, vil øke med økende flommer. Mange av anleggene er allerede underdimensjonerte, og forskyvninger, sedimenter og skader kan minske vannføringsevnen ytterligere. Siden anleggene ligger dypt og i erosjonsfarlig jord, vil overbelastning kunne gi store konsekvenser når det gjelder erosjon.

Bioforsk/NIBIO har de siste årene foretatt en lang rekke områdekartlegginger og kabelkamerakjøringer for å avdekke erosjonsskader og behov for reparasjoner av hydrotekniske anlegg i typiske bakkeplaneringsområder, særlig i Akershus og Østfold. Undersøkelsene avdekket et stort vedlikeholdsbehov, og behov for rådgivning når det gjelder løsninger for renovering av anlegg. (Hauge et al. 2009-2013)

Profilering

På myrjord og jord med dårlig permeabilitet i nedbørrike strøk, eller i områder der telen sitter svært lenge, er det aktuelt å profilere overflata slik at overflateavrenningen lettes. Systematiske teiger på 35-60 meter bredde, med helning mot åpne kanaler er mest vanlig. Denne løsningen kan bli enda mer aktuell i nedbørrike strøk på Vestlandet og i Nord-Norge.

Forurensing/erosjon

Problemene landbruket skaper for vannkvaliteten i ferskvann i Norge er i hovedsak knyttet til avrenning av partikler og fosfor. De hydrotekniske anleggene i landbruksområdene påvirker i stor grad mengden av fosfor og partikler som når vassdragene i leirjordsområdene.

Det er langt større tilførsler ved overflateavrenning enn ved drensavrenning. Likevel er også grøfter ikke bare en transportvei for nitrogen men også for jord/fosfor, særlig på jordtyper md makroporer/svell-krympe egenskaper. En endring i grøftedistansen kan påvirke dette tapet

Nedbørepisoder som overstiger jordas vannledningsevne, og dreneringens kapasitet vil gi overflateavrenning og dermed erosjon av fosforrike partikler. Med en god utforming av hydrotekniske anlegg kan en skjære av overflateavrenningen, og føre vannet bort på en sikker måte.

Fosfor er som oftest minimumsfaktoren for algevekst i ferskvann, og kan gi økt algevekst og kanskje oppblomstring av giftige blågrønnalger. Partiklene gir også grå farge, lav siktbarhet og kan slemme opp vassdraget. Fosforet er i hovedsak bundet til partikler. Partikler som er erodert fra dyrka jord vil ofte være langt mer fosforrike enn partikler fra naturlig erosjon som leirras eller ravineerosjon.

Med økende overflateavrenning på grunn av kraftige nedbørepisoder vil tilførslene av partikler til vassdragene øke. Bygging av fangdammer blir enda mer aktuelt under slike forhold, for å fange opp næringsrike partikler.

Erosjon av partikler i landbruksområdene er et problem i seg selv, da det etter hvert kan ødelegge dyrka jord ved at matjordlaget vaskes bort, eller jorda ikke lenger er drivverdig av på grunn av arrondering eller helling.

Dersom det blir mindre snøsmelting kan det likevel bli stor overflateavrenning. Det vil avhenge av fryse /tine forhold. Ved nedbør på delvis tint jord kan det bli stor overflateavrenning og erosjon. Ved frost i jorda er dreneringsmulighetene begrenset.

Flomfare og erosjonsfare

Opprinnelig fantes det i landbruksområdene åpne bekker, skog, myrer og dammer, som kunne holde tilbake vann ved store nedbørmengder. Nå er ofte myrene drenert ut, skogen dyrket og drenert, dammene senket og bekkene lukket. I tillegg er jorda systematisk drenert. Hele området responderer derfor langt hurtigere ved nedbør, og flomtoppene blir mye større enn før. Dette skaper større erosjonsfare i bekkene og i landskapet.

Gjenåpning av lukkingsanlegg, etablering av dammer, terskler, bredere bekker og flomarealer kan dempe flomtoppene, særlig de ekstreme toppene etter kortvarige regnskyll.

Tørke-vanning

Større tørkeproblemer på forsommeren vil gi økt behov for jordbruksvanning, men dette fordeler seg ujevnt i de forskjellige deler av landet.

AKTUELLE TILTAK OG ØKONOMISKE VURDERINGER AV TILTAK

Status for hvor godt vi er tilpasset til klimaendringene

For å kunne vurdere hvor godt vi er tilpasset klimaendringene når det gjelder landbrukets hydrotekniske systemer burde en hatt et større forskningsprosjekt. Det er ikke mulig å gjøre opp en fullstendig status, men en får mange tilbakemeldinger på lavere avlingsnivå, erosjonsskader, pakkingsskader og avlingsskade som tyder på at situasjonen ikke er tilfredsstillende.

Med klimaendringene vil vi oppleve flere år med høye nedbørstall, og ekstremepisodene vil komme oftere. Vi vil også få ekstremepisoder som er så kraftige at de har vært ukjent hos oss tidligere.

En må dele inn tilpasningen til klimaendringene i behovet for drenering av landbruksarealer, og hvilke skader en kan forvente av dette

Drenering er i hovedsak gjort for å bedre lønnsomheten i landbruket ved å øke avlingene. Det er også et mål for samfunnet å øke produksjonen av mat, og det gis dermed også tilskudd til dreneringsaktiviteten og til produktene, slik at lønnsomheten av drenering bedres. Den samfunnsmessige nytten og den privatøkonomiske nytten for gardbrukeren vil ikke være lik. Og drenering kan også ha negative effekter på økosystemer og flomsituasjonen i andre deler av vassdraget. Man bør også ta med kostnadene av disse i totalvurderingen.

Et spørsmål som kommer opp ofte i Norge men også i utladet er hva som er effektene av grøftesystemer på avrenningen i større elver, fører dette fortere til flom eller reduserer dette flomfare.

TILPASSING PÅ BRUKSNIVÅ

Grøftebehovet kan vurderes ut fra økonomisk lønnsomhet for den enkelte bedrift. Fordeler en oppnår må holdes opp mot de kostnadene tiltaket medfører. Slik sett kan en si at den riktige grøftetilstand er den som er mest økonomisk lønnsom på lengre sikt for den enkelte bonde. I hvilken grad en er tilpasset endret klima er dermed et økonomisk spørsmål, og avhengig av inntektsmålene i landbruket.

Fordelene ved grøfting omfatter økte inntekter som følge av avlingsøkning og dessuten bedre lagelighet for kjøring, som fører til større fleksibilitet i jordarbeidingstidspunkt, bedre jordstruktur, tidligere såtid og ofte som følge av dette økt avling. Tørrere jord gir mindre pakkingsskader dypt i profilet, noe som kan være nærmest uopprettelig. I tillegg kan dårlig drenering gi driftsavbrudd, ventetid, og dette kan dermed gi overinvesteringer i maskinpark for å bedre flyteevne og få mer trekkraft.

Sammenhengene er kompliserte, både mellom grøftetiltak og avlingsrespons, og videre den økonomiske sammenhengen mellom kostnadene av tiltaket og fordelene en oppnår. Fordelene kommer også over lang tid, som regel lenger enn brukerens egen driftstid. Gardbrukerne er dermed svært avhengige av gode råd for å kunne ta riktige beslutninger. Det er skrikende behov for kunnskap om dette fagfeltet. Viktig er at studenter blir interessert og har mulighet til å studere/fordype seg i dette.

Klimaendringene vil gi økt behov for drenering, både hvilken jord som trenger å dreneres, og kravet til intensitet på systematisk grøfting. Dimensjonene på bortledningssystemer må økes, og mange anlegg vil være underdimensjonerte. Økt nedbør er i hovedsak negativt for landbruksproduksjonen i Norge, fordi vi stort sett har tilstrekkelig med nedbør. Klimaendringene knyttet til nedbør vil dermed svekke lønnsomheten i landbruket og minske landbruksproduksjonen. Lenger nede skriver dere at det kan bli positive effekter. Litt uklart dette og her er det basert på synsing og ikke noen analyser som er gjort (og som det kanskje er behov for å gjøre). Det er kanskje slik at notatet deres viser til hvordan prosesser henger sammen , påvirkningsfaktorer og mulige effekter, men det er ikke gjort noen/nok analyser fot å kvantifisere dette ?

Med bakgrunn i brukernes egne vurderinger av grøftebehov er det klart at vi ikke er tilpasset et endret klima med økte nedbørmengder i forhold til ønske om optimal avling. Tilpasningsproblemene blir størst når det gjelder jordas kjørbarhet, der en i perioder heller ikke kan drenere seg ut av problemet.

I tillegg vil kraftige nedbørepisoder øke skadeomfanget ved flom, der en kan få skader på jordarealet, og i selve de hydrotekniske systemene, noe som øker kostnadene for gardbrukeren.

Erosjon vil også gi økt forurensing til vassdrag, og behovet for fangdammer og erosjonsdempende tiltak vil øke. Avskjæringsgrøfter, grasdekte vannveier og buffersoner blir viktigere. Dette kan gi gardbrukeren økt ansvar og økte kostnader.

Lengre vekstsesong og høyere temperaturer kan også gi positive virkninger. Det er sannsynlig at nye gras- og kornsorter har større potensial til å utnytte gode år og god dreneringstilstand, slik at avlingsgevinsten blir større. Dyrkingsgrensen for mange vekster vil forskyve seg, slik at større arealer kan produsere grønnsaker og korn. Dette er avhengig av at grøftetilstanden er god nok. God drenering vil ofte være en forutsetning for å kunne ta ut det potensialet disse endringene gir.

SAMFUNNSØKONOMISKE TILPASNINGER

God drenering har klare samfunnsmessige fordeler, med en stabil og høy matproduksjon på arealer i drift. Det er et mål med en høy matproduksjon i Norge, og tilfredsstillende drenering er en forutsetning for dette.

I tillegg til at drenering er viktig for en klimasmart jordbruk er det behov for en klimasmart drenering. Det er viktig å utforme denne typen drenering på en helhetlig måte. Det er på en måte å sørge for en type drenering som optimaliserer mellom maksimer avling, amt minimere de miljø- og klimamessige konsekvenser.

Dette sikrer en høy selvforsyning, og kan spare naturområder fra oppdyrking, selv med en økende befolkning. God dreneringstilstand og høyere temperaturer gir lengre vekstsesong for korndyrking, og dette kan øke de begrensede arealene en har for korndyrking i Norge.

Landbrukspolitikken og tilskuddssystemene er helt avgjørende for lønnsomheten i Norge, og den negative virkning endret nedbør vil gi må følges opp med økonomisk kompensasjon dersom avlingsnivået skal kunne opprettholdes eller økes. Større vekt på arealtilskudd, og lavere pris på produkter og investeringstilskudd til drenering har svekket lønnsomheten for god drenering.

Med sterkt varierende nedbør over år vil dårlig drenering kunne gi sterk avlingssvikt enkelte år. Dette kan gjelde veldig våte somre og høster, særlig når det gjelder korn og grønnsaker. For varig eng kan isbrann være et større problem på dårlig drenert jord, noe som kan gi stor avlingsskade i enkeltår med spesielle forhold. Sterkt varierende avling mellom år er et stort problem for bonden, men i tillegg kan dette gi grunnlag for erstatning i forhold til avlingsskade eller naturskade.

Den høye andelen leiejord er en stor utfordring for langsiktige investeringer som grøfting.

MILJØEFFEKTER

God drenering gir også god utnyttelse av tilført gjødsel, og mindre overflateavrenning. Flomtoppene kan imidlertid øke med økende grøfteintensitet samtidig som næringsstofftap, særlig nitrogen, gjennom jorda øker med økt grøfteintensitet. God drenering reduserer overflateavrenning og dermed erosjon og tap av partikkelbundet fosfor og plantevernmidler.

Men som tidligere antydet kan en økning i grøfteintensitet føre til en økning i nitrogen avrenning. Også effekter av grøftesystemer på tap av partikler/fosfor bør ses nærmere på. Denne typen tap er særlig forekommende på jordtyper med forekomst av makroporer og/elelr svell/krymp egenskaper.

Målinger foretatt av NIBIO antyder også lavere lystgassutslipp fra tilfredsstillende drenert jord. Det er mye usikkerhet mht. utslipp av lystgass og dreneringstilstand/fuktinnhold i jord. Unntaket er nydyrking av myr, der grøfting gir sterkt økte utslipp av lystgass og karbondioksid.

DRAINIMP prosjektet ser blant annet på utslipp av lystgass. Der er å anbefale å ha tilsvarende prosjekter andre steder

KUNNSKAPSBEHOV - BEHOV FOR FORSKNING

Etter at tilskudd til grøfting ble tatt bort på åttitallet har dreneringsaktiviteten i jordbruket gått ned. Planleggerkompetansen i kommuner og på fylkesnivå er redusert og det er mangel på entreprenører med aktuell praktisk erfaring.

Det har også vært lite forskning på drenering og landbrukets hydroteknikk i Norge i flere tiår. Unntaket er koblingen mellom avrenning og forurensing, der det har vært en stor innsats. Rapporten lister derfor opp emner der en ser mangler i kunnskaper, og fagområder der det er potensiale for resultater som kan gi nyttige verktøy for landbruksnæringen og samfunnet.

- Klarlegging av effekter av ekstremvær for drenering og landbrukets hydrotekniske systemer.
- Utforming og dimensjonering av dreneringsanlegg og andre hydrotekniske anlegg for ekstremværspisoder. Dette både med hensyn på bedre dreneringstilstand og med hensyn på muligheter for erosjonsskader. Vurdering av konsekvenser ved IKKE å være tilpasset. Tiltak i de store planeringsfeltene spesielt.
- Oversikt over ved hvilke situasjoner vi ikke kan drenere oss ut av våte forhold- og hvilke tiltak som da kan anbefales (kobling til planteforedling, vekst og sortsvalg, maskinvalg opp mot jordart, sted, klima.)
- Behov for å studere sammenhenger og konsekvenser basert på de nye anslagene for nedbørintensitet, for forskjellige typer nedbørfelt og i ulike distrikter/landsdeler i Norge.
- Klimasmart jordbruk må inneholde tilpasning av de hydrotekniske systemene til klimaendringene, sammen med flere fagdisipliner som jordfag/jordfysikk, plantekultur, klimakunnskap, økonomi, miljøfag (tap til luft/vann), sosialfag, og andre.
- Klimaendringer og drenering med hensyn på avlingsrespons og miljøeffekter av bedret drenering. Det er få feltforsøk som kan gi grunnlag for gode råd om kostnadseffektiv drenering og den avlingsøkningen en kan få.
- Drenering og nitrogen. Klarlegge sammenhengen mellom dreneringsgrad, gjødsling, avling og lystgassutslipp. Kunnskapen om klimagassutslipp i forhold til drenering er sparsom og det er behov for langvarige forsøk og gjennom hele året. Det er behov for forsøk under kontrollerte forhold for å bestemme effekten av grøftetilstand og jordas fuktighet på lystgassutslipp. Også sammenhengen mellom dreneringsgrad og nitrogenavrenning er viktig og lite klarlagt.
- Betydningen av drenering for avrenning av næringsstoffer fra jordbruksarealer og kunnskap om effekter av tiltak på tap av nitrogen, fosfor, partikler og plantevernmidler er mangelfull.
- Klimaeffekten ved drenering av organisk jord (myr). Muligheter for å begrense CO2-tap. Metoder for restaurering av tidligere dyrka myr.
- Dimensjoneringen og intensiteten av grøftesystemer blir bestemt av klima, jordfysiske egenskaper og type jordbruksvekst slik at man oppnår optimalt avlingsnivå. Samtidig må man minimalisere næringsstofftap og lystgassutslipp. Sammenhengene er kompliserte, og det er behov for forsøk som kan klarlegge og kvantifisere disse. Modellering vil være et viktig verktøy for å kunne få bedre systemer for dimensjonering og avrenningsberegninger. Kunnskap/data om jordfysiske egenskaper,

vær/klima, jordbruk, agro-hydrologi, jordkjemi og flere andre disipliner er helt avgjørende. Egenskapene spiller en dominerende rolle i vanntransport gjennom jorda til grøftesystemer, og er avgjørende for vannforsyningen til jordbruksvekstene. De jordfysiske egenskapene er viktige for funksjonen til grøftene, behovet for grøfteintensitet og valg av metode.

- Mulighetene og behovet for å bedre dreneringstilstanden for å utnytte lengre vekstsesong og ta i bruk andre sorter – Vurdering av om det er mulig med jordforhold og værsituasjon i Norge. Modellberegninger vil være et viktig hjelpemiddel.
- Sammenhengen mellom pakking og jordas vanninnhold er klar, men det ser ikke ut som om dette tas hensyn til i stor nok grad i dagens driftspraksis. Sammenligning mellom drenering, driftspraksis og pakkingsskader bør belyses nærmere ved forskning. Og man må vurdere å utvikle varselsystemer/webbaserte verktøy som simulerer jordas fuktinnhold på nå-tid og som linkes opp mot verktøy som TERRANIMO.
- Filtermaterialer er svært viktig for funksjonen, og en ser i dag stor usikkerhet hos bønder og entreprenører om hvilke filtermaterialer som skal brukes. Samtidig er det nødvendig å foreta en vurdering om hvordan grøftesystemer utformes, særlig med hensyn til perforeringen i selve sugegrøfter samt plassering av filtermaterialet.
- Det er behov for flere godt fungerende småfelt og/eller ruteforsøk for slike undersøkelser av de nevnte sammenhengene. Man må ta sikte på å ta i bruk eksisterende felt. Dersom en må anlegge nye forsøk kan resultatene av slike forsøk de første årene etter grøfting være usikre på grunn av påvirkning av nygrøftingen. Forsøk med grøfting bør være langvarige for å oppnå pålitelige resultater. Dessuten vil effekter av drenering variere mye fra år til år på grunn av varierende værforhold. Derfor er det behov for å tenkte langsiktig vedrørende forsøksfelt for forskning på både agronomiske og miljømessige virkninger av grøfting.
- Lønnsomheten av grøfting varierer mye, og både avlingsøkning, levetid på grøfter, investeringskostnader og rentenivå er usikre faktorer som har stor betydning for resultatet. En mangler gode tall for både investeringskostnader og avlingsøkning, samt levetiden på eksisterende grøfter. Disse opplysningene ville kunne gjøre det lettere å beregne lønnsomheten av grøftingen for ulike produksjoner i forskjellige deler av landet.
- Utdanning innen agrohydrologi. Et veldig viktig moment er at kunnskap om agrohydrologi forsvinner. Det er viktig å ta vare på det om finnes, men kanskje enda viktigere er det å satses på forskning, utdanning og veiledning inne emnet.

LITTERATUR

Deelstra, J., Øygarden, L., Blankenberg, A-G.B. & Eggestad, H. 2011. Climate change and runoff from agricultural catchments in Norway. International Journal of Climate Change Strategies and Management, Vol 3, Iss: 4, pp.345-360.

Deelstra J., Iital A., Povilaitis A., Kyllmar K., Greipsland I., Blicher-Mathiesen G., Jansons V., Koskiaho J., Lagzdins A., 2014. Hydrological pathways and nitrogen runoff in agricultural dominated catchments. Agriculture, Ecosystems and Environment. Agriculture, Ecosystems and Environment 198 (2014) 65–73.

Deelstra, J. 2015. Climate change and subsurface drainage design: results from a small field-scale catchment in south-western Norway. Soil & Plant Science, Acta Agricultaræ Scandinavica Section B, Volume 65 – Suppl. 1: 58 – 65.

Deelstra, J. 2015. Subsurface drainage behaviour in Norway. In: Nordic View to Sustainable Rural Development. Ed.: Zeverte–Rivza, S. Proceedings of the 25th NJF Congress, Riga, Latvia, 16th – 18th of June 2015. ISBN 978-9934-14-548-3.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland,I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. 2015. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NKSS rapport no. 2/2015.

Hauge, A., Kværnø, S.H., Deelstra, J., Bechmann, M. Hovland, I., Kristian Stornes, O. 2011. Dreneringsbehov i norsk landbruk – økonomi i grøftingen. Bioforsk rapport, Vol. 6, nr. 128.

Hauge, A. Hydrotekniske problemer i leirjordområdene på Østlandet. Bioforsk Rapport 104/2009

Hauge, A, og H. Borch. Tiltaksplanlegging i landbrukets hydrotekniske systemer i deler av Haldenvassdragets nedbørfelt. Bioforsk rapport 180/2012

Hauge, A, og H. Borch. Tiltaksplanlegging i landbrukets hydrotekniske systemer i deler av Eidsberg og Rakkestad. Bioforsk rapport 93/2012

Hauge, A., Tiltakskartlegging i landbrukets hydrotekniske systemer i deler av Trøgstad kommune – problemer i områder med mye bakkeplanering. Bioforsk rapport 102/2013.

Hoel, B., Abrahamsen, U., Strand, E., Åssveen, M. & Stabbetorp, H. 2013. Tiltak for å forbedre avlingsutviklingen i norsk kornproduksjon Bioforsk Rapport Vol. 8:14.

Hove, P. 1981. Bæreevne og stabilitet i jorda i relasjon til drenering. Sluttrapport Norges Landbruksvitenskapelige Forskningsråd. nr.362. ISBN 82-7290-076-9. 10 s.

Kladivko, E.J., Frankenberger, J.R., Jaynes, D.B., Meek, D.W., Jenkinson, B.J., Fausey, N.R., 2004. Nitrate leaching to subsurface drains as affected by drain spacing and changes in crop production system. J. Environ. Qual. 33, 1803–1813.

Nangia, V., Gowda, P.H., Mulla, D.J., Sands, G.R., 2009. Modeling impacts of tile drain spacing and depth on nitrate-nitrogen losses. Vadose Zone J. 9, 61–72.

Njøs, A. Sikrere og rimeligere hydrotekniske tiltak i jordbruket – Bunnledninger i Store fyllinger etter bakkeplabnering – Eksempler fra Romerike. 1999

Njøs, A. Slyngstad B. Sikrere og rimeligere hydrotekniske tiltak i jordbruket - Samlerapport. Jordforskrapport 57/99

Oosterbaan, R.J. 1994. AGRICULTURAL DRAINAGE CRITERIA. Kapittel 17 i: Ritzema, H.P. (Ed.), Drainage Principles and Applications. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 16, second revised edition, 1994, Wageningen, The Netherlands. ISBN 90 70754 3 39.

Ritzema, H. 2006. Subsurface flow to drains. . Kapittel 8 i: Ritzema, H.P. (Ed.), Drainage Principles and Applications. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 16, second revised edition, 1994, Wageningen, The Netherlands. ISBN 90 70754 3 39

Ritzema, H. (editor in chief), 2006. Drainage principles and applications. ILRI Publication 16 3rd edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement. P.O. Box 45, 6700 AA, Wageningen, The Netherlands. ISBN 90 70754 3 39.

Riley, H. 2015. Laglighet for jordarbeiding til korn i Norge AVLINGSTAP SOM FØLGE AV JORDPAKKING OG SÅTIDSFORSINKELSE OG KONSEKVENSENE FOR OPTIMAL MASKINKAPASITET I FORHOLD TIL AREAL. Presentasjon på AGROPRO samling, Gjerdrum 20.10.15.

Skaggs, R.W., Youssef, M.A. 2008. Effect of Drainage Water Management on Water Conservation and Nitrogen Losses to Surface Waters. North Carolina State University. 16th National Nonpoint Source Monitoring Workshop, September 14-18, 2008 Columbus, Ohio

Tesfai, M., Hauge, A., and Hansen, S. 2015: N2O emissions from a cultivated mineral soil under different soil drainage conditions, Acta, Vol. 65: 128:138.

Wright, J. & Sands, G. 2012. Planning an Agricultural Subsurface Drainage System. University of Minnesota (http:// www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/ DC7685.html dd. 15.12.2012)

Øygarden, L. (2003), “Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway”, Catena, Vol. 50, s. 217–242.

Øygarden, L., Deelstra, J., Lagzdins, A., Bechmann, M., Greipsland, I., Kyllmar, K., Povilaitis, A., Iital, A. 2014. Climate change and the potential effects on runoff and nitrogen losses in the Nordic–Baltic region. Agriculture, Ecosystems and Environment 198 (2014) 114–126

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRIGNENE

GJØDSLING I JORDBRUKET OG KLIMATILTAK

Bernt Hoel[1*], Lars Nesheim[2], Hugh Riley[1], Tor Lunnan[3], Annbjørg Ø. Kristoffersen[1], Audun Korsæth[4]

[1] NIBIO Avdeling Korn og frøvekster, Apelsvoll,

[2] NIBIO Avdeling Grovfôr og grovfôrbaserte produksjonssystemer, Kvithamar

[3] NIBIO Avdeling Grovfôr og grovfôrbaserte produksjonssystemer, Løken

[4] NIBIO Avdeling Systemanalyse og landbruksteknologi, Apelsvoll

*bernt.hoel@nibio.no

GJØDSLING I JORDBRUKET

INNLEDNING

En arbeidsgruppe nedsatt av Landbruks- og matdepartementet (LMD) skal innen 15. februar 2016 levere en rapport om «Landbrukets klimautfordringer». For å skaffe faglig grunnlagsmateriale til denne rapporten innhentes informasjon om ny kunnskap om klimagassutslipp og klimatilpasning i jordbruket. Fra Miljødirektoratet og LMD har NIBIO i denne forbindelse mottatt en bestilling (Vedlegg 1) av et notat med tittel «Gjødsling i jordbruket».

Notatet skal oppsummere kunnskap om nitrogengjødsling/-dosering, hvorvidt det gjødsles for mye i forhold til avlingene, hvor mye det utgjør og hvorfor det skjer. Spørsmål om hvor mye det utgjør skal gi grunnlag for å vurdere potensialet for utslippsreduksjoner ved å tilpasse gjødslinga.

Utslipp av klimagasser i forbindelse med næringsforsyning og gjødsling er knyttet til overskudd og tap av nitrogen. Tap av nitrogen til omgivelsene er uønsket både av produksjonsmessige, økonomiske og miljømessige hensyn. Forskning og rådgiving som bidrar til løsninger som fremmer høy N-effektivitet er derfor av stor betydning og må prioriteres for å realisere potensielle utslippsreduksjoner og samtidig sikre høy utnyttelse av avlingspotensialet. For å tilpasse jordbruket til et klima i endring, blir det økende behov for kunnskap som kan forsterke de positive og dempe de negative effektene av et endret klima.

GJØDSLINGSPLANLEGGING OG TILPASSET N-GJØDSLING

For at dyrkerne skal gjødsle mest mulig riktig, er det siden 1998 krav om at det skal utarbeides en gjødslingsplan hvert år for hvert enkelt skifte (jordstykke) på alle driftsenheter som mottar arealtilskudd. Målet med gjødslingsplanlegging er en miljøvennlig gjødslingspraksis som samtidig bidrar til høy utnyttelse av avlings- og kvalitetspotensialet hos vekstene, at dyrkingsjordas fruktbarhet opprettholdes og at lønnsomheten i dyrkinga optimaliseres.

Gjødslingsplanlegging

Gjødslingsplanen er et verktøy for å sikre en systematisert og faglig basert tilnærming med mål om gjødsling best mulig tilpasset plantenes behov. Næringstilstanden og produksjonspotensialet i dyrkingsjorda varierer fra sted til sted og innen det enkelte skifte, og er i kontinuerlig endring. For å kunne drive en god gjødslingsplanlegging kreves kjennskap til flere parametere som er avgjørende for næringstilstanden og produksjonspotensialet. Kunnskap om jordart, moldinnhold, pH, fosfor- og kaliumtilstand er et minimumskrav. I tillegg må dyrkeren ha god oversikt over avlingspotensialet og de reelle avlinger som oppnås, slik at realistiske avlingsforventninger kan legges inn i planen. I NIBIO sin Gjødslingshåndbok (www.bioforsk.no/gjodslingshandbok) er det faglige grunnlaget for gjødslingsplanene samlet. Der finner en normene for nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K) for de viktigste jordbruksvekstene. Korrigeringer ut fra næringsinnhold i jorda ligger også i gjødslingshåndboka.

Gjødslingsplanen skal følges og brukes aktivt som et utgangspunkt for innkjøp av gjødsel og gjennomføring av gjødslingstiltakene. Man må likevel ha en dynamisk tilnærming i den forstand at man fortløpende gjør justeringer for å tilpasse gjødslingen til de aktuelle forholdene i vekstsesongen. Med hensyn til nitrogen vil det for eksempel innebære at man reduserer på gjødslingen i forhold til planlagt mengde dersom man vurderer det slik at avlingene blir lavere enn man forventet ved planleggingstidspunktet og motsatt øker tildelingen dersom avlingene vurderes til å bli høyere enn forventet.

Hovedtypene av gjødsel som benyttes i jordbruket er mineralgjødsel og husdyrgjødsel. Mineralgjødsel inneholder definerte mengder av næringsstoffene, og disse er stort sett i en form som er lett tilgjengelig for plantene. Utslipp av klimagasser skjer i hovedsak i tilfeller med overdosering av N-gjødsling i forhold til plantenes behov. Potensialet for reduserte utslipp ligger i en ytterligere effektivisering av utnyttelsen av nitrogen. Effektiv utnyttelse handler om optimalisering av mengde, tildelingstidspunkt og gjødselplassering.

En utfordring med husdyrgjødsel og andre typer organisk gjødsel er usikkerheten knyttet til varierende innhold av nitrogen og andre næringsstoff. Nitrogenet i denne type gjødsel vil være i ulike former som varierer i grad av plantetilgjengelighet og hvor synkronisert frigjøringen/tilgjengeligheten av nitrogen er i forhold til plantenes behov. Noe som innebærer risiko for tap til omgivelsene. Husdyrgjødsel kan gi punktutslipp fra gjødsellager og episodisk utslipp ved spredning, i tillegg til diffuse utslipp ved overdosering. Nitrogentap ved lagring og spredning er primært ammoniakk som ikke er en klimagass, men som skaper andre problemer både i miljøet og for gjødslingsplanlegging.

Gjødslingsnormer og anbefalinger

Gjødslingsnormene er anbefalte gjødselmengder til et gitt avlingsnivå for de enkelte vekster. NIBIO har utarbeidet og kvalitetssikrer N-normer for de fleste av vekstene som dyrkes på friland i Norge. I de fleste tilfeller er disse basert på resultater av gjødslingsforsøk, men antall forsøk varierer sterkt mellom vekstgruppene. For korn, gras og potet er det gjort svært mange forsøk, mens for en del grønnsaker er antallet ofte lite, og erfaringene med enkelte vekster må derfor brukes også for andre liknende vekster (f.eks. innen kål- og løkfamiliene). Normene skal sikre at dyrkerne oppnår den avling (mengde og kvalitet) som er forventet, under forutsetning av at andre vekstvilkår (vanntilgang, plantevern osv.) også blir optimalisert. Samtidig tas det sikte på at normene bidrar til å hindre unødvendig overforbruk av gjødsel. Det er fastsatt justeringer som gjøres når de forventete avlingene er høyere eller lavere enn normalnivået. I noen tilfeller, f.eks. korn, hvor det finnes resultater fra et stort antall gjødslingsforsøk, baseres slike justeringer på målte responser ved ulike avlingsnivå.

Avlingene som normalt oppnås på det enkelte skiftet er et godt utgangspunkt for fastsetting av forventet avlingsnivå. Gjødslingsbehovet, basert på forventet avling, korrigeres så for stedegne variasjoner i jordas fruktbarhet som kan påvirke næringsbehovet. Det kan være tidligere husdyrgjødselbruk, ettervirkning av andre vekster i omløpet og moldinnholdet i jorda. En slik tilnærming er imidlertid en utfordring i grovfôrproduksjonen hvor grasavling per dekar er en større utfordring å tallfeste.

En utfordring med å bruke forventet avling som utgangspunkt er at mange dyrkere naturligvis ofte ønsker å oppnå et høyere avlingsnivå enn det man har målt over en årrekke. Gjødsling etter gjennomsnittsprinsippet innebærer risiko for at næringstilgangen kan være begrensende under gunstige vekstforhold. Derfor fokuseres det i dag på å utvikle metoder for å evaluere plantenes N-status i selve vekstsesongen, som grunnlag for å styre delgjødsling. Disse metodene omfatter f.eks. måling av plantenes N-tilstand (N-sensor), en metode som allerede i noen grad er tatt i bruk. Et annet verktøy er Nitrogenstatus, ett nettbasert verktøy (http://lmt.bioforsk.no/agrometbase/ncalc/), som med grunnlag i forutsetningene på det aktuelle skiftet estimerer mengde tilgjengelig N i vekstsesongen.

Fra så vel et miljøperspektiv, som av ressursmessige og økonomiske hensyn, er det ønskelig å oppnå best mulig utnyttelse av tilførte næringsstoff. I den forbindelsen er såkalt balansegjødsling (der tilført mengde balanserer med mengden som fjernes i produkt) ofte en målsetting. Tanken er at en slik praksis vil sikre bærekraft over tid, men det er flere årsaker som begrenser dens gyldighet under visse forhold, i hvert fall innenfor samme vekstsesong eller for den enkelte veksten i et omløp. Eksempler på dette finner man hos mange grønnsaker (f.eks. i kålvekster), som stiller høye krav til næringstilgang, men hvor bare en mindre andel av næringa fjernes med produktene. I slike tilfeller tilstreber man heller å oppnå balanse over en årrekke.

Status for anbefalte N-normer og N-balansen i ulike vekstgrupper er oppsummert nedenfor. De fleste av N-normene ble sist revidert, og i flere tilfeller redusert, i perioden 1995-2000:

Grønnsaker: Kravene til N-gjødsling varierer betydelig mellom de ulike kulturene i denne gruppen. Vekster som f.eks. gulrot og kålrot er relativt lite krevende og N-normene gir ofte tilnærmet balanse mellom tilførsel og bortførsel. Høsteindeksen (andelen av den totale vekten som høstes) er høy, slik at de etterlater lite N i planterestene og som regel lite fritt nitrogen i jorda etter høsting. Kålvekster (f.eks. kål, brokkoli osv.) har store N-krav, som gjenspeiles i høye N-normer (15-30 kg N/daa). Disse vekstene har dype røtter som sørger for stort N-opptak, men bare 30-50 % av det som tas opp i plantene fjernes med produktene. Det er mye N i planterestene som frigjøres relativt raskt og som kan potensielt nyttes av neste års vekst. Det er funnet stor ettervirkning av slike vekster på jord med god vannlagring under stabile vinterforhold, men på lett jord i mildt klima er det ofte stor risiko for at utvaskingstap skjer før den neste sesongen. Løkvekster har også middels høye N-krav, men gjødsel- utnyttelsen er ofte lav, bl.a. fordi de har grunne røtter. Det er små mengder med N i planterestene, og desto mer som fritt N i jorda etter høsting. Muligheten for bruk av fangvekster etter løk er ofte begrenset pga. kort veksttid om høsten. Derfor anbefales det å dyrke vekster med dype røtter i omløp med løk, slik at disse røttene kan få tak i en del av nitrogenet som vaskes nedover i jorda.

Potet: For seine og halvseine potetsorter gir N-normene tilnærmet balanse mellom tilførsel og bort-førsel når forventet avling oppnås. En regner med at dyrkerne følger normene, spesielt fordi for sterk N-gjødsling senker tørrstoffinnholdet. Til tidlige potetsorter anbefales det å gjødsle med mer enn det som fjernes i avling, fordi man har sett at denne kulturen krever mye næring på et tidlig tidspunkt. Lavt tørrstoff blir vektlagt mindre her. Det betyr at det ofte vil være en relativt stor N-rest i jorda etter tidligpotet og det

anbefales derfor å redusere gjødsling til evt. 2. kultur samme år (f.eks. salat) eller å dyrke en fangvekst (f.eks. raigras) for å hindre utvasking.

Korn: Som nevnt ovenfor er det gjort mange gjødslingsforsøk i korn. Disse ga grunnlag for N-normene som ble etablert rundt år 2000 (Riley *et al*. 2002). Forventet avling er satt til 400 kg/daa i vårkorn og 500 kg/daa i høstkorn, som er i nærheten av de gjennomsnittlige avlingsnivåene på landsbasis. For de nevnte avlingsnivåene er N-normene 8,5 kg/daa i havre, 9,5 kg/daa i bygg, 10,5 kg/daa i vårhvete og 12,1/daa kg til høstkorn. Høyere krav til proteininnhold er bakgrunnen for høyere normer i hvete. Justeringen av normen ved høyere eller lavere forventet avling enn normalnivået er for alle kornartene satt til ± 1,6 kg N pr. 100 kg korn/daa, på bakgrunn av avlingsresponsene i forsøk gjort på '90-tallet. Det ble tidligere brukt en verdi på 1,2 kg N pr. 100 kg korn/daa, basert på balanseprinsippet. Nyere undersøkelser, etter gjennomgang av ca. 300 forsøk gjort i perioden 1991-2014, tyder på at en justering på 1,6 kg N pr. 100 kg korn/daa stemmer for vår- og høsthvete, men at den trolig kan reduseres til 1,0 kg i bygg og havre. Denne endringen vurderes gjennomført nå.

Grovfôr: I gjødslingsplanlegginga er forventet avlingsnivå en viktig faktor for gjødslingsbehovet for nitrogen ved enggjødsling (www.bioforsk.no/gjodslingshandbok). Andre faktorer virker også inn, som for eksempel kløverinnhold i enga, nitrogenforsyning fra jord, utnyttingsgrad av husdyrgjødsel, tap av nitrogen fra dyrkingssystemet og dyrkingsintensitet. Normene for nitrogen i ulike distrikter er knyttet opp til N-mengden som etter forsøk og erfaringer må tilføres for å få normale avlinger. Ved avvik i forventa avling blir N-mengdene korrigert.

Dyrkingspraksis har også betydning for gjødslingsbehov. Intensiv dyrking med høsting på et ungt utviklingsstadium krever sterkere gjødsling i forhold til samme avling ved en mer ekstensiv dyrking med høsting på et senere utviklingsstadium. Kritisk N-konsentrasjon i plantene går mye ned med økende utviklingsstadium. Dette gjør at tidligere og hyppigere høstinger fjerner mer N med avlinga, sammenlignet med sjeldnere høsting utført på seinere utviklingsstadier hos plantene. Dette er det korrigert for i gjødslingshåndboka til NIBIO ved at en har to normtabeller for engvekster; en for normal dyrking og en for intensiv dyrking.

I praksis kan det være store avlingssvingninger fra år til år selv om gjødslinga er lik. Spesielt vil avlingene gå ned i tørre somre, og dette er vanskelig å ta hensyn til i planlegginga. Dette fører til at utnyttingsgraden av nitrogen i gjødsel kan variere en god del fra år til år. I tørre år med små avlinger vil det være restmengder av nitrogen i jorda etter siste høsting, som kan gi større avrenningstap gjennom høst og vinter. I år med store avlinger vil det derimot være små restmengder om høsten og liten risiko for tap. Årsvariasjoner i vær kan i noen grad justeres for gjennom korreksjon av gjødsling til andre- eller tredjeslått dersom en har fått en annen utnyttingsgrad av nitrogen i husdyrgjødsel eller et annet avlingsnivå enn planlagt.

Ved bruk av mye husdyrgjødsel vil en få et overskudd av total-N siden husdyrgjødsel spres ut fra forventet gjødseleffekt i sesongen og ikke etter total-N i husdyrgjødsla. Det er knyttet usikkerhet både til utnytting av uorganisk N i husdyrgjødsel, som er sterkt avhengig av spredemetode og værforhold ved overflatespredning på grasmark, og til utnytting av organisk bundet N i husdyrgjødsla, som er avhengig av

omsetning av organisk materiale i jorda. Det blir regnet med en ettervirkning av organisk nitrogen for etterfølgende år. Men dette er en faktor som er vanskelig å estimere korrekt. Ved stor mineralisering av N fra organisk materiale, vil plantene ta opp mye N sent i vekstsesongen, og dette fører til høyere proteininnhold i avlinga. Dette er positivt når proteinforsyninga er lav, men et unødvendig høyt proteininnhold gir dårligere N-utnytting både i husdyrfôringa og i dyrkingssystemet som helhet.

Hvordan definere overforbruk?

Et sentralt stikkord i bestillingen er «overforbruk» og kvantifisering av dette. I denne sammenheng oppstår utfordringer både med hensyn til definisjon av overforbruk, aktuell statistikk som kan belyse overforbruket og hvor egnet statistikken er til å dokumentere overforbruk.

Det er ikke mulig å ha en gjødslingspraksis som sørger for at N-gjødslingen er perfekt tilpasset avlingenes behov. En kommer ikke nærmere det optimale enn at gjødseltildelingen er mest mulig riktig ved tildelingstidspunktet. Det vil alltid gjenstå en betydelig del av vekstsesongen, og hvordan vekstforholdene blir i denne perioden vil være avgjørende for hva som i ettertid viser seg at ville vært riktig gjødsling. Derfor vil man etter vekstsesongen, med fasit i hånd, finne variasjoner fra betydelig underforbruk, via godt tilpasset gjødsling til betydelig overforbruk. Denne situasjonen vil man også ha i liten skala over korte avstander, for eksempel innen det enkelte skifte.

Det vil være situasjoner der N-gjødslingen var på et nærmest optimalt nivå, basert på forutsetningene ved gjødslingstidspunktet, men at avlingen svikter av ulike årsaker som inntreffer seinere i sesongen. Det vil være misvisende dersom denne type avvik defineres som overforbruk. En annen situasjon kan være i vekstsesonger der N-tap ved utvasking og/eller til luft er større enn normalt, og man kompenserer med tilleggsgjødsling for å dekke plantenes behov. Ser man da på samlet N-gjødsling i forhold til avlingsnivå uten ytterligere vurderinger, vil dette framstå som overforbruk. Som følge av dette må definisjonen av overforbruk være slik at nevnte situasjoner holdes utenfor.

Av dette følger at definisjonen av overforbruk må være av en karakter som beskriver det reelle overforbruket som kan oppstå som en konsekvens av uheldig gjødslingspraksis, for eksempel med hensyn til gjødselmengde, spredemåte, gjødselplassering og/eller tildelingstidspunkt, som gir lav N-utnytting.

Kornavlinger og gjødsling i praksis

Det er tilgjengelig statistikk over omsatt mengde mineralgjødsel for det enkelte år, men det er flere svakheter med disse tallene i forhold til å bruke de til å analysere mineralgjødselforbruket det enkelte år. For det første er det ikke spesifisert hvor mye av gjødsla som går til jordbruket. Det er heller ikke sikkert all omsatt mineralgjødsel blir brukt det året den omsettes. Statistikken sier heller ikke noe om hvilke vekster som gjødsla brukes på.

I 2013 gjennomførte derfor SSB en undersøkelse på bruk av gjødselressurser i jordbruket (Gundersen og Heldal 2015). Undersøkelsen kartla forbruket av mineralgjødsel og husdyrgjødsel i jordbruket. Gjennomsnittlig N-tilførsel per dekar ble blant annet utregnet for alle kornartene. I rapporten ble det brukt total N (totalforbruket av mineralgjødsel + husdyrgjødsel) for å beregne tilført kg N per daa. Men bare 30 % av kornarealet ble tilført husdyrgjødsel. Det vil si at 70 % av kornarealet kun ble gjødslet med mineralgjødsel. Der det kun ble gjødslet med mineralgjødsel-nitrogen, ble det tilført henholdsvis 10,6 kg N/daa til bygg og havre, 12,3 kg N/daa til vårhvete og 14 kg N/daa til høsthvete. Verdiene ligger i gjennomsnitt 16 % over normen til kornartene.

Avlingsnivået i 2013 lå under normavling. I 2014 var det gjennomsnittlige avlingsnivået svært lik norm, mens det i 2015 ligger noe over norm, særlig for hvete. Det betyr at for 2013 ble N-forbruket større enn det reelle avlingsnivået skulle tilsi. Blant årsakene var stedvis mye nedbør og dermed utvasking på forsommeren som skapte behov for tilleggsgjødsling. Betydelig sykdomspress og tørke mot slutten av vekstsesongen var andre forhold som i mange tilfeller gav avlingssvikt dette året i forhold til normal avlingsforventning. Hvis en legger til grunn samme gjennomsnittlige forbruk av mineral-N per dekar i 2014 og 2015, ligger N-forbruket nær norm-nivået.

Balanseberegninger gjennomført for tre JOVA-felt har vist et gjennomsnittlig N-overskudd for korn på 2,2-6,0 kg N/daa (Øgaard 2014). En annen beregning basert på data fra JOVA-programmet har vist at det tapes i snitt 22 % av N tilført som gjødsel (mineralgjødsel, husdyrgjødsel og slam) (Bechmann *et al*. 2012). Riley *et al*. (2012) har gjort flere undersøkelser av N-balansen i korn ved bruk av ulik N-gjødsling og ulikt avlingsnivå. Hvis man ser på balansen hvor bare kornet er fjernet (dvs. halmen moldes ned), gir bruk av normene N-overskudd ved lavt-middels avlingsnivå, og tilnærmet balanse ved et høyt avlingsnivå. Dersom man senker N-gjødselmengden til et nivå som gir balanse ved lavt-middels avlingsnivå, viser beregninger at man vil risikere å tape opp til 20 % avling. Dette vil være svært økonomisk belastende. Fordi det forekommer et visst N-tap til utvasking, også ved balanse mellom N-tilførsel og N-bortførsel (i størrelsesorden 2,5 kg/daa/år, ifølge målinger på Apelsvoll (Korsæth og Eltun 2008)), kan det argumenteres at et visst N-overskudd må aksepteres for å opprettholde jordas N-reserver over tid.

HUSDYRGJØDSEL

Særskilte utfordringer knyttet til husdyrgjødsel

Alle bruk med husdyr får en viss mengde husdyrgjødsel fra dyra som i ulik form blir ført tilbake til dyrkingssystemet. Det er vanskelig å estimere husdyrgjødselmengden nøyaktig, den varierer med ulike faktorer som dyreslag og produksjonsnivå (Karlengen *et al*. 2012, Nesheim og Sikkeland 2013), lengde på innefôringssesongen, lagringsmåte, vanninnblanding og bruk av strø. For blautgjødsel gir volumet gjødsel i gjødsellageret et godt bilde av totalmengden, men næringsinnholdet i gjødsla kan variere mye på grunn av ulik innblanding av vann og strø. For tørr gjødsel, som for eksempel talle, er både mengde gjødsel og næringsinnhold vanskelig å fastsette.

Direkte måling av næringsinnhold i husdyrgjødsel gir sikre svar på innholdet av prøven, men det er store problemer knyttet til uttak av representative prøver av gjødsla. Analyser fra gårdsbruk viser store variasjoner i næringsinnhold (Daugstad *et al.* 2012), og bruk av tabellverdier kan gi betydelige feil i gjødslingsplanlegginga dersom det er stort avvik mellom aktuelt innhold i gjødsla og tabellverdien. Tørrstoffinnholdet i gjødsla kan måles relativt enkelt, og bruk av rett tørrstoffinnhold vil redusere feilen i næringsinnhold mye i mange tilfeller. Både næringsinnhold og tørrstoffinnhold kan også variere betydelig i ulike deler av et gjødsellager avhengig av omrøring og separering av gjødsla.

Næringsinnholdet i gjødsla speiler i stor grad fôringa. Som eksempel vil kaliuminnholdet i storfegjødsel være helt avhengig av kaliuminnholdet i grovfôret. Er det spesielt høyt eller lavt innhold av kalium i grovfôret, vil dette gi avvikende verdier fra normtabellene, og dette kan gi feil kaliumgjødsling i gjødslingsplanlegginga. For nitrogen og fosfor vil bruk av kraftfôr og produksjonsnivå bety mer for innholdet i gjødsla, og her vil variasjonen oftest være mindre enn for kalium.

For nitrogen, og til en viss grad for svovel, er det også vanskelig å fastsette virkningsgraden ved bruk av husdyrgjødsel. En har uunngåelige tap både under lagring og ved og etter spredning av gjødsla. Ved overflategjødsling på grasmark kan ammoniakktapene ved og etter spredning bli store under ugunstige værforhold med stor fordamping. Høstspredning kan gi høye utvaskingstap over vinteren dersom en får store nedbørmengder uten tele i jorda.

Usikkerhet både knytta til mengde gjødsel, næringsinnhold i gjødsla og utnyttingsgrad av spesielt nitrogen fører til at det er vanskelig å optimalisere suppleringsgjødsling med mineralgjødsel. Det blir lett overdosering av nitrogen dersom en får god utnytting av husdyrgjødsla og underdosering dersom utnyttinga blir dårlig. Organisk bundet nitrogen i husdyrgjødsel blir omsatt i jorda og blir i stor grad plantetilgjengelig etter ei tid. Ved gjentatt bruk av store husdyrgjødselmengder vil organisk bundet nitrogen bety mye og dekke en god del av nitrogenbehovet, spesielt seint i vekstsesongen. Fosfornormene er satt ned både for korn og eng, og jevnlig bruk av husdyrgjødsel vil normalt dekke fosforbehovet for disse vekstene. Suppleringsgjødsel med fosfor vil derfor i de fleste tilfelle være unødvendig for avlingsnivået og øke belastninga av fosfor på miljøet.

Spredepraksis for optimalisert utnytting av husdyrgjødsel

I rapporten «Reduserte nitrogenutslipp gjennom bedre spredningsrutiner for husdyrgjødsel» (Hansen *et al.* 2009) er de mest brukte spredemetodene for husdyrgjødsel beskrevet, og de er gjengitt her:

- **Gjødselvogn for spredning av fast gjødsel.** Spesialspreder for fast gjødsel. Brukes mest til fast sau- og fjørfegjødsel og talle fra ulike dyreslag. Det blir ikke brukt trykk, men mekanisk spredning.
- **Breispreder (bladspreder eller fanespreder) for spredning av bløtgjødsel, med og uten vogn.** Metode for spredning av bløtgjødsel, med og uten vanntilsetning. Bladsprederen kan monteres på

vogn, eller på traktor med slepeslange. Lavt trykk, spredebredde 8-10 meter. Betydelig eksponering av gjødsla i luft.

- **Stripespreder, med og uten vogn.** Legger gjødsla i striper (5-8 cm brede) på bakken, med 20-40 cm radavstand. Spredebredde 8-16 meter. Stripesprederen kan monteres på vogn, eller på traktor med slepeslange. Kan brukes til bløtgjødsel, fordel med vanninnblanding. Lavt trykk, liten eksponering mot luft.

- **Nedfeller.** Gjødsla blir plassert ned i bakken, ved hjelp av ulike metoder. I Norge er det et visst omfang av DGI-metoden (Direct Ground Injection), der gjødsla blir skutt ned i bakken med høgt trykk. Ikke nødvendig med vanninnblanding, men en fordel. Liten eksponering mot luft, men noe gjødsel og jord blir liggende på overflata. I andre land er nedfelling ved hjelp av skiver mer vanlig. I Danmark er det påbudt å felle ned all husdyrgjødsel, både i åker og grasmark.

- **Tankvogn med kanon.** Gjødsla blir kastet opp til 60 meter ut fra sprederen ved hjelp av høgt trykk (> 5 bar). Blir også kalt jetvogn. Stor eksponering mot luft og stor fare for NH_3-tap. De fleste jetvogner har også bladspreder.

- **Vanningsvogn med kanon.** Metode som mest er aktuell i tørre distrikt, der en har behov for vanningsanlegg. Betinger innblanding av mye vann. Krever høgt trykk (> 5 bar), gir potensiell risiko for danning av aerosol, partikkelspredning. På grunn av høy vanninnblanding er faren for NH_3-tap mindre enn for tankvogn med kanon.

Utvalgsundersøkelsen fra 2000 (Gundersen og Rognstad 2001) viste at 94 % av husdyrgjødsla i 2000 ble spredd med bredspreder eller kanonspreder på etablert eng og beite. Resten av husdyrgjødsla ble tilført med stripespreder eller nedfeller. Det finnes ingen opplysninger om fordelingen mellom bredspreder og kanonspreder, og mellom stripespreder og nedfeller. Men omfanget av nedfelling var svært lite. I åpen åker var tilsvarende tall 95 og 5 %. I 2013 gjennomførte Statistisk Sentralbyrå en ny undersøkelse om bruk av husdyrgjødsel (Gundersen og Heldal 2015). Nå ble det skilt mellom de ulike metodene, og på eng- og beitearealet var fordelingen slik, i prosent av total mengde: Bredspreder (57 %), kanonspreder (20 %), stripespreder (18 %), nedfeller (1 %) og gjødselvogn for fast gjødsel (4 %). I åpen åker ble 4 % av husdyrgjødsla felt ned, 14 % ble stripespredd, 9 % ble spredd med fastgjødselvogn, 20 % ble spredd med kanon og 53 % med breispreder.

I utvalgsundersøkelsen (Gundersen og Heldal 2015) ble det beregnet at husdyrgjødsla bidro med 49 % av alt tilført fosfor på jordbruksarealet, 54 % av kalium og 32 % av alt tilført nitrogen (tot.-N). Det ble brukt husdyrgjødsel på 55 % av eng- og beitearealet i 2013. Det var bare små regionale forskjeller om husdyrgjødsel ble tilført engareal eller ikke. Derimot betyr arealstørrelse og driftsform mer. På bruk med mindre enn 100 dekar eng ble 41 % av engarealet gjødsla med husdyrgjødsel, mens på bruk med mer enn 200 dekar eng var tilsvarende tall 61 %. I gjennomsnitt ble det spredd 3,2 tonn husdyrgjødsel per dekar eng- og beite. I 2000 var middels mengde 4,3 tonn per dekar. To tredjedeler av husdyrgjødsla som ble spredd til eng og beite ble fortynna med vatn før spredning. Det er beregnet at av alt tilført nitrogen i husdyrgjødsel

til eng og beite ble 59 % spredd om våren, 38 % om sommeren og bare 3 % av N-mengden ble tilført om høsten. Fordelinga mellom spredetidspunktene har endra seg lite fra 2000. Den største forandringen er at andel av gjødsla spredd om høsten har gått ned fra 6 til 3 %.

I 2013 ble det spredd 2,9 tonn husdyrgjødsel per dekar på ca. 1 million dekar åpen åker, det utgjør 30 % av arealet med åpen åker. I 2000 var tilsvarende tall 4,1 tonn på 1,2 mill. dekar. I bygg ble 26 % av arealet tilført husdyrgjødsel i 2013, tilsvarende tall for Rogaland var 45 %. På 56 % av arealet med åpen åker som ble tilført husdyrgjødsel ble gjødsla moldet ned mellom 4 og 12 timer etter spredning, på 28 % av arealet ble gjødsla nedmoldet innen 4 timer. På 14 % av arealet lå gjødsla mer enn 12 timer før den ble pløyd eller harvet ned. Tilsvarende tall i 2000 var 25 %. Av alt tilført nitrogen i husdyrgjødsel til åker ble 62 % spredd om våren, 23 % om sommeren og 15 % av N-mengden ble tilført om høsten.

I 2013 ble 59 % av gjødsla lagret i kjeller for bløtgjødsel, i 2000 var tilsvarende tall 67 %. I 2000 ble 9 % av gjødsla lagret i gjødselkum, mot 18 % i 2013. Hele 71 % av gjødsla som ble lagret i kum var i kummer uten tak eller annet dekke. Husdyrgjødsla fra melkekyr ble enten lagret som bløtgjødsel i kjeller (75 %) eller i kum (23 %), for ammekyr var andelen fast gjødsel større; 12 % av gjødsla ble lagret utendørs direkte på bakken, mens 12 % var innendørs talle og 4 % var utendørs talle. Grisegjødsla ble stort sett lagret i kjeller (63 %) eller i kum (30 %). Andelen av kummer med tak/dekke var langt større enn for storfegjødsel, 36 % mot 26 %. Halvparten av gjødsla fra sau lagres som bløtgjødsel i gjødselkjeller, 25 % som fast gjødsel i gjødselkjeller, mens 14 % lagres som innendørs talle og 6 % utendørs direkte på bakken. Hoveddelen av gjødsel fra verpehøns blir lagret i gjødselkjeller/gjødselhus (55 %), mens store deler av gjødsla fra fjørfe til slakt blir lagret utendørs direkte på bakken (82 %).

Vurderinger omkring dagens praksis og forbedringspotensial

Dersom husdyrgjødsel ligger på overflata vil den være utsatt for ammoniakktap. Da skyves likevekten mellom ammoniakk og ammonium mot venstre. Dersom det er forhold for det kan 100 % av uorganisk nitrogen tapes. Siden jorda har en pH-verdi på under 7, vil ammonium som blandes med jord bli mer eller mindre bundet i jorda. Det er i hovedsak tre hovedfaktorer som bestemmer størrelsen på N-tapet ved spredning av husdyrgjødsel:

Vær: Utslippet av ammoniakk øker med faktorer som øker evaporasjonen (temperatur, vind, luftfuktighet m.m.).

Gjødsel: Mer lettflytende gjødsel trenger lettere ned i jorda. Det er ca. 10 % reduksjon av tapet per prosent redusert tørrstoffinnhold. Det er lavere tap fra grisegjødsel enn fra storfegjødsel. Ved å redusere pH-verdien skyves likevekten mot høyre, og tapet reduseres. Dette kan oppnås ved å tilsette syre til husdyrgjødsla. Denne metoden har fått et visst omfang i Danmark, og husdyrgjødsel tilsatt svovelsyre kan spredes på overflata, og dermed unngår en påbudet om nedfelling.

Spredeteknikk: Tapet vil i stor grad avhenge av eksponering mot luft og hvor lenge gjødsla blir liggende på overflata. Etter bredspredning kan ammoniakktapet være 25-100 %. For stripespredning kan tapet være 20-60 %. Ved nedfelling av husdyrgjødsla kan tapet til luft være så lite som 5 % (Hansen *et al*. 2009, Kval-Engstad 2011, Kval-Engstad 2012).

Ammoniakktapet fra lager er først og fremst avhengig av overdekning, og kan variere fra 10-40 % (Hansen *et al.* 2009). Det beste er fast dekke, som i gjødselkjellere. Utendørs lagerkummer kan gi store tap avhengig av tilstedeværelsen av flytedekke, og ved kun naturlig flytedekke uten tak kan ammoniakktapet komme opp i 40 % av innholdet av mineralsk nitrogen i gjødsla. Tak over kummene vil kunne gi mindre tap av nitrogen.

Utvalgsundersøkelsene til Statistisk Sentralbyrå (Gundersen og Rognstad 2001; Gundersen og Heldal 2015) har gitt god kunnskap om produksjon og bruk av husdyrgjødsel, og undersøkelsene har også gitt innsikt i endringer av praksis fra 2000 til 2013. Dette, i sammen med kunnskap om næringsstofftap ved bruk av ulike spredemetoder gir et godt grunnlag for å vurdere konsekvensene av å for eksempel bruk av mer miljøvennlige spredemetoder og utvidet lagerkapasitet.

Flaskehalser for optimalisert utnytting av husdyrgjødsel

Utnyttingen av næringsstoff i husdyrgjødsla er ikke optimal i Norge, og det gjelder i større grad for nitrogen og svovel enn for fosfor og kalium. Utnyttingsgraden kan økes mye ved å utnytte eksisterende kunnskap, som for eksempel ved å ta i bruk mer miljøvennlige spredemetoder, utvide lager for å kunne spre gjødsla på optimale spredetidspunkter og ved å spre husdyrgjødsel på en større del av jordbruksarealet. Effekten av nitrogenet i gjødsla er best ved å spre små mengder per dekar. En viktig flaskehals for god utnytting av husdyrgjødsla er at det på mange bruksenheter er lang avstand fra gjødselkjeller til eng- og åkerareal. Og det betyr at tilført mengde gjødsel per arealenhet blir større enn optimalt. Men utnytting av eksisterende kunnskap kan innebære et stort behov for investeringer i utstyr og lager.

Selv om det er gjennomført en del forskning om husdyrgjødsel i de senere årene, mangler vi fortsatt kunnskap om utnytting og virkning av næringsstoff i husdyrgjødsel. For eksempel vet vi for lite om hvilke faktorer som påvirker tap til luft og tap ved avrenning. Slik forståelse er viktig for å kunne øke matproduksjonen, hindre tap av nitrogen og fosfor, og redusere klimagassutslipp ved å velge de mest kostnadseffektive tiltakene. Det er således behov for økonomiske analyser for bedre å kunne ta de rette valgene. Det er en stor utfordring å få gårdbrukerne til å ta i bruk ny og eksisterende kunnskap om bruk og utnytting av husdyrgjødsel. Å utvikle bedre verktøy for gjødslingsplanlegging vil være en del av nødvendig formidlingsarbeid.

Utvikling over tid, øker eller minker eventuelt overforbruk?

I rapporten fra Statistisk Sentralbyrå (Gundersen og Heldal 2015) er dyretallene i 2013 sammenlignet med tall fra 2000. Totalt antall storfe har gått ned med 14 %, antall melkekyr har minket fra 298.000 til 229.000 og antall ammekyr har økt fra 45.000 til 75.000. Men den største prosentvise endringen er økningen i antall slaktekyllinger fra 8,7 millioner til 16,0 millioner. Total mengde husdyrgjødsel ble beregnet til 15.900 tusen tonn i 2000. I 2013 var tilsvarende mengde 11.650 tusen tonn i 2013, det betyr en nedgang på 27 %. Som vist i kapittel 5.2 minket tilført mengde husdyrgjødsel til eng fra 4,3 tonn per dekar til 3,2 tonn, for åker var nedgangen fra 4,1 tonn til 2,9 tonn. Mengde husdyrgjødsel per arealenhet blir regulert gjennom spredearealforskrift som sikrer en balanse mellom næringstilførsel og fjerning av næring i avling. Med maksimal husdyrproduksjon i forhold til spredearealet vil en få overskudd av fosfor på arealer med lavt avlingsnivå. Slike arealer får økt fosforinnhold i jorda og større risiko for tap av fosfor. Utviklinga mot større bruk og større transportavstander fører trolig også til at større mengder husdyrgjødsel blir spredd på arealer nært lageret og mindre mengder på arealer langt fra lageret. Men dette kan ikke dokumenteres i utvalgsundersøkelsen til Statistisk Sentralbyrå. Slik bruk av gjødsla kan føre til økt fosforinnhold i jorda på arealer som får mye gjødsel og større risiko for tap.

Økning i bruk av stripespreder, en viss nedgang i omfanget av høstspredning og en nedgang i middels mengde tilført husdyrgjødsel per dekar burde bety en bedre utnytting av nitrogenet i gjødsla. Og således medføre mindre behov for nitrogen fra mineralgjødsel. Men mindre mengder husdyrgjødsel per dekar vil til en viss grad motvirke effekten av bedre utnytting av nitrogenet. Endringen i spredepraksis vil trolig ha mindre betydning på virkningsgraden av fosfor og kalium. Men som vist har den totale husdyrgjødselmengden gått ned, og det burde derimot bety økt behov for særlig fosfor og kalium fra mineralgjødsel, forutsatt samme areal og avlingsnivå.

AKTUELLE VIRKEMIDLER FOR Å REALISERE UTSLIPPSGEVINSTER

Bedre gjødslingsplaner

De tekniske hjelpemidlene for å utarbeide en gjødslingsplan er i stadig utvikling. Mulighetene for å skreddersy en plan for næringstilførsel på skiftenivå er mange. En viktig aktør innen gjødslingsplanprogrammer; Skifteplan, introduserer på nyåret 2016 en web-løsning, slik at gjødslingsplanen blir tilgjengelig online. En kartfunksjon samler info om gjødsling, vekster, jordanalyser m.m. på respektive skifter. Det betyr at mulighetene for effektiv og god gjødslingsplanlegging bør bli bedre enn noen gang tidligere.

I tillegg vil det fortsatt skje forbedringer av planleggingsverktøyet, både i forhold til brukervennlighet og ved stadig oppdatering av grunnlagsmaterialet ut fra ny viten. Det faglige grunnlaget i gjødslingsplanprogrammene baseres på kunnskap fremskaffet av Bioforsk (nå NIBIO), Norsk Landbruksrådgiving m.fl. Forskning innen gjødsling/planteernæring vil føre til en stadig forbedring av grunnlagsmaterialet, og må prioriteres høyt. Det er viktig at det er god dialog mellom forskningen,

rådgivningen og utviklere av gjødslingsplanprogrammer, slik at ny kunnskap fører til oppdateringer av tabellverktøyet.

Selv det beste planleggingsverktøyet, om det er online eller mer manuelt, krever kompetente brukere. I de fleste tilfeller er det rådgivere som utarbeider gjødslingsplaner. Fokus på gjødslingslære/planteernæring under utdannelsen ved NMBU/høyskolene er viktig for å sikre god kompetanse hos de som lager gjødslingsplaner. I tillegg er det viktig at agronomiutdannelsen også har tilstrekkelig fokus på gjødslingslære. Kurs innen planteernæring/gjødslingsplanlegging bør utarbeides, og tilbys, for å sikre at dyrkere og gjødslingsplanleggere har nødvendig kompetanse.

Fra plan til praksis

Koblingen mellom beregnet gjødselbehov i forkant av våronn på den ene siden og innkjøpt gjødsel, samt faktiske gjødselmengder spredd på jordet på den andre siden, baserer seg på tillit til produsentene. Det er per i dag ikke kontroll av hvordan gjødslingsplanen blir fulgt opp i praksis. Det gjør det mulig å gjødsle langt sterkere enn det gjødslingsplanen anbefaler. I praksis er det imidlertid mange faktorer som vil motvirke et sterkt overforbruk av gjødsel, selv om det ikke er noen kontroll. For det første er mineralgjødsel en betydelig kostnad i produksjonen, noe som i seg selv regulerer bruken. For flere vekster fører også for kraftig N-gjødsling til forringet kvalitet på produktet, og dermed dårligere lønnsomhet i produksjonen.

Men på tross av disse faktorene, kan det være et alternativ å iverksette tiltak for å sikre enda bedre oppfølging av gjødslingsplanene. Tiltak som kan bidra til å korrigere praksis hos de av dyrkere som på grunn av manglende kompetanse eller av andre årsaker har en gjødslingspraksis som bidrar til unødvendige utslipp til omgivelsene.

En god dialog mellom den som setter opp gjødslingsplanen (ofte rådgiver fra Norsk Landbruksrådgiving) og den som skal bruke planen, er viktig for å forankre resultatene fra gjødslingsplanen hos gårdbrukeren og sikre at planen følges opp i praksis.

Formidling hvor det fokuseres på viktigheten av å følge gjødslingsplanene, og understrekes at planleggingsverktøyet er basert på et omfattende forsøksmateriale og lang erfaring, er viktig for å stimulere til god gjødslingspraksis.

Kontroll av innkjøpt mengde gjødsel i forhold til beregnet behov, vil redusere risikoen for at det tilføres mer gjødsel enn beregnet behov. En stikkprøvekontroll vil også kunne omfatte kontroll av bruken av organisk gjødsel. Det skal være en dynamisk tilnærming i forhold til at man fortløpende justerer gjødslingen til de aktuelle forholdene i vekstsesongen. Derfor vil det ofte kunne være avvik mellom gjødslingsplanen og reell gjødsling. Men det kan stilles krav til at dyrkeren må begrunne slike avvik.

Forventet avling

Gjødslingsnivået som beregnes i et gjødslingsplanprogram er koblet til hvilken avling som forventes på det enkelte skiftet. Forventet avlingsnivå er en utfordrende variabel. Forventet avlingsnivå betyr ikke det avlingsnivået en oppnår i svært gode år. En slik tilnærming vil føre til at det gjødsles for mye de årene en ikke tar de høyeste avlingene, noe som gjelder i de fleste år. Gjennomsnittsavling over år kan være en annen løsning på forventet avlingsnivå. Det kan praktisk gjøres ved at gjennomsnittet av tidligere års faktiske avlinger med samme vekst fra skiftet legges inn som avlingsforventning.

I korndyrkinga har en mulighet for å tilpasse gjødslinga til vekstforholdene og avlingspotensialet i den aktuelle vekstsesongen ved å benytte delt gjødsling. Delt gjødsling er standard strategi i hvete og rug, og har også en viss utbredelse innen bygg- og havredyrkinga. Ved delt gjødsling blir det kortere tid mellom tildeling av gjødsel og planteopptak, slik at tida nitrogenet er eksponert for tap til omgivelsene reduseres, og dermed reduseres også risikoen for uønsket tap.

Etter tiltak som øker avlingspotensialet, som for eksempel drenering av jordet, vil det være rett å øke gjødslingsnivået i tråd med det økte avlingspotensialet.

Presisjonsgjødsling

Før industrialismen gjorde sitt inntog i jordbruket, var jordstykkene små og relativt ensartede. Bonden hadde god lokalkunnskap om jorda, og forholdene ellers på det enkelte jordstykket, og kunne tilpasse drifta deretter. Så kom maskinene. Med maskinene kom et behov for større og bedre arronderte jordstykker. Bekker ble lagt i rør, bekkedaler utplanert, hekker og steingjerder fjernet, og nydyrkingen skjøt fart. En bieffekt av dette var ofte økt jordvariasjon innenfor hvert jordstykke. Samtidig som jordvariasjonen dermed generelt sett økte, var de nye og effektive maskinene ikke egnet til å variere behandlingen i særlig grad innenfor jordstykker. Gjennomsnittsbetraktninger dannet dermed grunnlaget for de fleste avgjørelser med hensyn til valg av vekster, jordarbeiding, gjødsling og plantevern, og det industrialiserte jordbruket ble sterkt preget av et slikt "gjennomsnittsregime". Dette er i stor grad fortsatt gjeldende i Norge.

Det eksisterer imidlertid et alternativt konsept som tar i bruk avansert teknologi for å tilpasse behandlingen av jord og vekst til den variasjonen en finner innenfor jordstykker. Dette konseptet går under navnet presisjonsjordbruk. Hovedmålet med presisjonsjordbruk er å øke utnyttingsgraden av innsatsfaktorene, gjennom å tilpasse mengdene av f.eks. gjødsel og plantevernmidler etter det steds-spesifikke behovet.

Mange studier har vist at stedstilpasset gjødsling (presisjonsgjødsling) gir en avlingsgevinst, som for eksempel til vårhvete (Walley m.fl. 2001), vinterbygg (James og Godwin 2003), og vårbygg (Korsaeth og Riley 2006). Såkalte ”high-value crops”, slik som poteter og grønnsaker har imidlertid et enda større potensial for økonomisk gevinst enn det kornartene har.

Det finnes svært få studier som viser miljøeffekter av presisjonsgjødsling direkte. Ferguson m.fl. (2002) fant redusert mengde nitrat i rotsonen (0-0,9 m dyp) etter presisjonsgjødslet mais i tre av 13 felt-år, sammenlignet med ledd der gjødsla var jevnt fordelt. Imidlertid har flere studier vist indirekte at

presisjonsgjødsling har en miljøeffekt. For eksempel rapporterte Koch m.fl. (2004) at presisjonsgjødsling av mais reduserte bruken av N-gjødsel med 6-46 % sammenlignet med en konvensjonell gjødslingspraksis. I en norsk studie ble effekter av presisjonsgjødsling av bygg dyrket på morenejord undersøkt i to feltforsøk over en fireårsperiode (Korsaeth og Riley 2006). Resultatene viste at det var en potensiell nedgang i mengden ikke forbrukt N-gjødsel (altså N eksponert for tap til miljøet) ved presisjonsgjødsling. I et nylig gjennomført gjødslingsforsøk i vårhvete (Russenes m.fl. under publisering), viste omfattende målinger av lystgass at riktig gjødslingsnivå (f.eks. bestemt gjennom presisjonsteknikker) ga minst utslipp per kilo korn. Lystgassutslippene (per kg korn) økte ikke bare når det ble gitt for mye gjødsel. Gjødselmengder under det optimale ga også økte utslipp.

Oppsummert ser det altså ut til at presisjonsgjødsling har et klart potensial for å redusere tapet av N til miljøet, både når det gjelder tap av nitrat til overflate- og grunnvann og tap av lystgass til atmosfæren.

Forbedret spredeteknikk, husdyrgjødsel

I rapporten «Klimatiltak i jordbruket – mindre lystgassutslipp gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal og optimalisering av dyrkingsforhold» (Øygarden *et al*. 2009) ble det beregnet kostnader og konsekvenser for klimagassutslipp ved å øke bruken av stripespreder eller nedfeller, ved økt lagerkapasitet og ved å tilsette vatn til husdyrgjødsla. For eksempel ble det regnet på hva det ville koste å utvide bruken av stripespreder fra 7 % av engarealet (som var situasjonen i 2000) til 15 % (i 2013 var andelen 18 %). Det ville innebære å bruke stripespreder på 200.000 nye dekar, noe som ville kreve 250 nye stripespredere, som hver ville benyttes på 780 dekar. Differansekostnaden til avskrivinger, vedlikehold, drivstoff m.m. ble beregnet til 6 millioner kroner, en ville kunne spare 3,8 millioner kroner i mineralgjødsel og redusert utslipp av lystgass ville tilsvare 2.700 tonn CO_2-ekvivalenter. Dersom husdyrgjødsla på halvparten av engarealet hadde blitt spredd med stripespreder ville reduksjonen av lystgassutslipp blitt 14.500 tonn CO_2-ekvivalenter. Ved å bruke nedfeller på halve engarealet ville en spart 20.000 tonn CO_2-ekvivalenter, og kostnadene med mineralgjødsel ville vært 34,5 millioner kroner mindre. Det vil være mulig å lage tilsvarende beregninger av virkningene av å bruke mindre mengder husdyrgjødsel på et større areal og effekten av å spre mer gjødsel om våren og mindre om sommeren og høsten.

Økt lagerkapasitet

Større lager kan gi bedre muligheter til å velge mer optimale spredetidspunkt for å oppnå bedre utnytting av husdyrgjødsla. Utvalgsundersøkelsen (Gundersen og Heldal 2015) gir ikke svar på hvor store lager brukene har, eller om lagerkapasiteten er begrensende for valg av spredetidspunkt. Men som vist i kapittel 3.2 ble 41 % av husdyrgjødsla til eng spredd enten om sommeren eller høsten, tilsvarende tall for spredning på åker var 38 %. I rapporten av Øygarden *et al.* (2009) ble det beregnet virkninger og konsekvenser av å flytte spredning av husdyrgjødsla til mer optimale tidspunkt. Grunnlaget var tallene fra undersøkelsen i 2000 (se kapittel 3.2). En halvering av mengde spredd husdyrgjødsel på eng om sommeren ville utgjøre 1 980 000 tonn. Ved å spre denne mengden om våren ville økt virkningsgrad medføre et potensial på 495 000 kg N i spart mengde mineralgjødsel. Ved å flytte all høstspredning til våren, i alt 598 000 tonn, kunne en redusere forbruket av mineralgjødsel med 299 tonn nitrogen. Totalt sett vil disse endringene utgjøre 21,2

tonn lystgass, eller 6.600 tonn CO_2-ekvivalenter i redusert utslipp. Total årlig kostnad ved å øke lagerkapasiteten ville være 76,3 million kroner. Sparte mineralgjødselkostnader ville utgjøre 9.1 mill. kroner.

En halvering av mengde spredd husdyrgjødsel i åpen åker om sommeren ville utgjøre 896 000 tonn. Ved å spre denne mengden om våren ville økt virkningsgrad medføre et potensial på 224 000 kg N i spart mengde mineralgjødsel. Ved å flytte all høstspredning til våren, i alt 1 102 000 tonn, kunne en redusere forbruket av mineralgjødsel med 551 tonn kg nitrogen. Totalt sett vil disse endringene utgjøre 21,0 tonn lystgass eller 6.500 tonn CO_2-ekvivalenter i redusert utslipp. Total årlig kostnad ved å øke lagerkapasiteten ville være 59,2 million kroner. En kunne redusere mineralgjødselkostnadene med 8,9 million kroner.

I regneeksemplene overfor, der en viser mulige konsekvenser av å flytte deler av eller all spredning til våren, forutsetter en at utnyttingen av større mengder husdyrgjødsel blir like god som ved å fordele mengden på flere tidspunkt. Dette er nok ikke tilfelle i praksis, på mange gårdsbruk bør en ikke spre større mengder om våren enn det en gjør i dag, for å unngå dårligere utnytting av næringsstoffene. Skal store deler av spredningen av husdyrgjødsel flyttes fra sommer/høst til våren, må en da ta i bruk areal som i dag ikke får husdyrgjødsel. Det er derfor ikke lagerkapasiteten, men tilgang på spredeareal med kort avstand fra lageret som blir flaskehalsen. Men uansett er det nok et potensial for bedre utnytting av gjødsla ved å spre minst mulig om høsten, og heller endre spredetidspunktet til sommeren.

LITTERATUR

Bechmann, M., Greipsland, I., Riley, H. and Eggestad, O. 2012. Nitrogen losses from agricultural areas – a fraction of applied fertilizer and manure (FracLEACH). Bioforsk Report: 7(50). 31 s.

Daugstad, K., Kristoffersen, A. Ø. og Nesheim, L. 2012. Næringsinnhald i husdyrgjødsel. Analyser av husdyrgjødsel frå storfe, sau, svin og fjørfe 2006-2011. Bioforsk Rapport 7 (24). 29 sider.

Ferguson, R.B., Hergert, G.W., Schepers, J.S., Gotway, C.A., Cahoon, J.E., Peterson, T.A. 2002. Site-specific nitrogen management of irrigated maize: Yield and soil residual nitrate effects. Soil Science Society of America Journal **66**, 544–553.

Gundersen, G. I. og Rognstad, O. 2001. Lagring og bruk av husdyrgjødsel. Rapporter 2001/39. Statistisk sentralbyrå. 47 sider.

Gundersen, G. I. og Heldal, J. 2015. Bruk av gjødselressurser i jordbruket 2013. Metodebeskrivelse og resultater fra en utvalgsbasert undersøkelse. Rapporter 2015/24. Statistisk Sentralbyrå. 87 sider.

Hansen, S., Morken, J., Nesheim, L., Koesling, M. og Fystro, G. 2009. Reduserte nitrogenutslipp gjennom bedre spredningsrutiner for husdyrgjødsel. Bioforsk Rapport 4 (188). 47 s.

James, I.T. and Godwin, R.J. 2003. Soil, water and yield relationships in developing strategies for the precision application of nitrogen fertiliser to winter barley. Biosystems Engineering 84, 467–480.

Karlengen, I. J., Svihus, B., Kjos, N. P. og Harstad, O. M. 2012. Husdyrgjødsel; oppdatering av mengder gjødsel og utskillelse av nitrogen, fosfor og kalium. Sluttrapport. Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, Universitetet for miljø- og biovitenskap. 107 sider

Korsaeth, A. and Riley, H. 2006. Estimation of economic and environmental potentials of variable rate versus uniform N fertilizer application to spring barley on morainic soils in SE Norway. Precision Agriculture 7: 265-279.

Korsaeth, A, & R. Eltun 2008. Synthesis of the Apelsvoll cropping system experiment in Norway – nutrient balances, use efficiencies and leaching. In: Organic Crop Production – Ambitions and Limitations (Eds. Holger Kirchmann and Lars Bergström), p. 117-141. Springer Science+Business Media B.V., springer.com.

Kval-Engstad, O. 2011. Nye spredeteknikker – betre bruk av blaut husdyrgjødsel. Rapport fra Norsk Landbruksrådgiving. 20 sider.

Kval-Engstad, O. 2012. Bedre utnyttelse av husdyrgjødsel fra storfe. Fagrapport. Landbruk Nordvest. 23 sider

Nesheim, L. og Sikkeland, E. H. 2013. Mengd utskilt husdyrgjødsel – forslag til nye standardtal. Bioforsk Rapport 8 (109). 20 s.

Riley, H. Hoel, B., Kristoffersen, A.Ø. og Tandsæther, H. 2002. N-gjødsling til korn: Anbefalinger og praksis, Jord- og Plantekultur 2002. 75-80.

Riley, H., Hoel, B. and Kristoffersen, A. 2012. Economic and environmental optimization of nitrogen fertilizer recommendations for cereals in Norway. Acta Agric. Scan. Sec. B. 62:387-400.

Walley, F., Pennock, D., Solohub, M., Hnatowich, G. 2001. Spring wheat (Triticum aestivum) yield and grain protein responses to N fertilizer in topographically defined landscape positions. Canadian Journal of Soil Science 81, 505–514.

Øgaard, A. 2014. Nitrogen balance and nitrogen use efficiency in cereal production in Norway. Acta Agric. Scan. Sec. B. 63(2):146-155.

Øygarden, L., Nesheim, L., Dörsch, P, Fystro, G., Hansen, S, Hauge, A. Korsæth, A., Krokann, K. og Stornes, O. K. 2009. Klimatiltak i jordbruket – mindre lystgassutslipp gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal og optimalisering av dyrkingsforhold. Bioforsk Rapport 4 (175). 78 s.

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRINGENE

KARBONBALANSEN I DYRKET MARK

Teresa G. Bárcena*, Arne Grønlund, Adam O' Toole, Daniel Rasse

NIBIO, Divisjon Miljø og Naturresurser, Avdeling Jordkvalitet og biogeokjemi

*Kontakt: teresa.barcena@nibio.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
- lagring, opptak og frigjøring av næringsstoffer
- vannhusholdning
- farge (som påvirker albedo-effekten) og jordtemperatur

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

Dyrking av jord har imidlertid 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. CO_2-utslipp fra jord og vegetasjon som følge av dyrking er anslått til å utgjøre ca 1/3 av de totale menneskeskapte utslippene de siste 150 årene globalt sett (Lal, 2004). Redusert tap og økt binding av karbon i jord er derfor viktige mål for et bærekraftig landbruk og en reduksjon av CO_2-utslippene til atmosfæren.

KARBONBALANSEN I JORD

Karbondynamikk og likevekt

Jordas innhold av organisk karbon (C) er bestemt av balansen mellom tilførsel og tap av C. Tilførselen skjer gjennom fotosyntesen, enten direkte i form av røtter og planterester, eller indirekte ved bruk av organisk gjødsel og jordforbedringsmidler. Tap av C skjer først og fremst i form av CO_2 som oppstår ved nedbryting og mineralisering av biomasse, men også i form av ulike organiske forbindelser ved erosjon og utvasking.

Fotosyntesen og respirasjonen er de viktigste prosessene som styrer balansen og innholdet av C i jorda. Tiltak som øker fotosyntesen eller senker respirasjonen bidrar derfor til lavere CO_2-innhold i luften. Tilførsel av organisk gjødsel kan bidra til å øke karboninnholdet i jorda lokalt, men påvirker ikke den globale karbonbalansen og gir derfor ingen effekt på CO_2-innholdet i atmosfæren.

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 ny likevekt.

Nedbrytingshastigheten av organisk materiale er tilnærmet proporsjonal med mengden organisk C i jorda (Riley & Bakkegard 2006). Dette innebærer bl.a. at:

- Ved høyt C-innhold vil det kreves større tilførsel av organisk materiale for å opprettholde likevekten enn ved lavere innhold
- Potensialet for C-tap øker med økende C-innhold i jorda
- Potensialet for C-opptak er størst når C-innholdet i utgangspunktet er lavt

Faktorer av betydning for karboninnholdet

Karbonbalansen i jord er bestemt av en rekke faktorer og prosesser som påvirker tilførsel og tap (Figur 1). Fotosyntesen på stedet er den viktigste prosessen for tilførsel av C. 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 (Figur 1).

Figur 1. Karbon innhold i jord øker med høyere breddegrad (Kilde: de Brogniez et al. 2015)

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 C 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 rotdybde. Røtter har vist seg å brytes langsommere ned enn overjordiske plantedeler (Rasse m.fl. 2006). 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 C gjennom økt erosjon.

Figur 2. Faktorer som påvirker C-innhold i jord

Virkning av dyrkingspraksis

Dyrkingspraksisen har stor betydning for karboninnholdet (Uhlen 1991). De viktigste dyrkingssystemene kan rangeres etter antatt C-opptak eller -tap (Grønlund m.fl. 2008b):

1. Varig eng (opp til 100 kg C dekar^{-1} år^{-1})
2. Vekstskifte gras-åker, direktesådd korn, åkerdyrking med husdyrgjødsel (+0-20 kg C dekar^{-1} år^{-1})

3. Åkerdyrking med redusert jordarbeiding, fangvekster eller nedmolding av halm (+0-10 kg C dekar^{-1} år^{-1})
4. Ensidig åkerdyrking med høstpløying (-30-60 kg C dekar^{-1} år^{-1})
5. Brakk (-50-100 kg C dekar^{-1} år^{-1})

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, som blir fornyet sjeldnere enn hvert 10-ende år, er omtrent i likevekt (Smith, 2014).

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 C som fortsetter så lenge dreneringen fungerer, helt til torvlaget er brutt ned og jorda er omdannet til mineraljord. Myrjord utgjør ca 7 prosent av dyrket jord i Norge og inneholder ca 25 prosent av all C lagret i dyrket mark. I gjennomsnitt per dekar inneholder dyrket myr ca 4 ganger så mye C 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 C 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 karboninnholdet høyest på gårdsbruk med 10-50 % eng. En mulig forklaring på dette er at jord med naturlig høyt karboninnhold (myr som er omdannet til mineraljord) er foretrukket som åkerjord i Nord-Norge.

Tabell 1. Gjennomsnittlig prosent C jordprøver fra mineraljord (0-20 cm) 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

Gjennomsnittlig karboninnhold i ulike jordarter på mineraljord er vist i tabell 2. Tallene er beregnet på grunnlag av glødetapsanalyser av ca 103 000 jordprøver tatt i årene 2000-2007. I alle landsdeler med unntak av Sørlandet er karboninnholdet høyest i sandjord. Dette kan virke overraskende siden leirjord er antatt å kunne lagre mer C gjennom dannelse av aggregater. Det er imidlertid flere faktorer enn jordart som har betydning for karboninnholdet. Sandjord omfatter både morenejord og sorterte elv- og breelvavsetninger og utgjør det aller meste av mineraljorda over marin grense. Jorda finnes i områder med lavere temperatur, som bidrar til langsommere nedbryting av organisk materiale, og brukes hovedsakelig til grasdyrking, som bidrar til høyere karboninnhold enn åkerdyrking. Forskjellene i karboninnhold mellom jordarter er derfor snarere et resultat av klima og driftsform enn av jordarten.

Tabell 2. Gjennomsnittlig karboninnhold i topplaget i mineraljord, fordelt på jordarter og landsdeler.

	Sandjord	**Siltjord**	**Leirjord**
Østlandet	3,1	2,9	2,5
Sørlandet	3,2	4,3	4,4
Vestlandet	7,1	4,2	3,9
Trøndelag	4,6	2,9	2,9
Nord-Norge	4,2	2,9	3,4
Hele landet	4,8	3,0	2,6

Tabell 1 indikerer et gjennomsnittlig karboninnholdet på 2,5 prosent for jord med ensidig åkerdyrking og ca 3,5 prosent for langvarig eng. På grunnlag av disse tallene og arealer av ulike vekstgrupper (fra søknad om produksjonstilskudd) kan den totale karbonmengden i det øverste laget i dyrket jord estimeres (tabell 3).

Arealet med dyrket myr anslås til 700 000 dekar, hvorav 50 000 dekar antas brukt til andre matvekster (potet og grønnsaker) og 650 000 dekar til høstet grovfôrareal. Arealet med korn og oljevekster er ca 3 millioner dekar. På grunnlag av søknad om produksjonstilskudd kan en anta at om lag 2 millioner dekar av

dette arealet fins på gårdsbruk uten eng og derfor drives uten vekskifte med gras, mens ca 1 million dekar fins på gårdsbruk med eng. Arealet med høstet grovfôrareal er ca 5 millioner dekar. Av dette kan en anta om ca 600 000 dekar dyrkes i vekstskifte med korn.

Volumvekten i topplaget forutsettes å være 1,2 og 0,15 kg/liter for henholdsvis mineraljord og myr. Den totale karbonmengden i de øverste 20 cm dyrket jord er estimert til i underkant av 80 millioner tonn C, mens det totale årlige karbontapet er estimert til i underkant av 390 000 tonn C, som utgjør ca 0,5 prosent av den totale mengden i topplaget. Dyrket myr, som bare utgjør ca 7 prosent av jordbruksarealet, bidrar med så mye som 90 prosent av karbontapet.

Mulighetene for økt karbonopptak er størst gjennom tiltak på jord med lavt karboninnhold, det vil si hvor vekstskifte domineres av åkervekster. Det synes imidlertid urealistisk at karbonopptak kan bli stor nok til å kompensere for tapet på dyrket myr. Dersom det skal være mulig å redusere tapet fra myr, må arealet av dyrket myr reduseres vesentlig. Dette kan skje gjennom restriksjoner mot nydyrking av myr og restaurering av dyrket myr. Omgraving av myr har vært brukt som metode for nydyrking. Man forventer at metoden kan bidra til å redusere klimagassutslippene fordi man graver og dermed beskytter det organiske materiale under et mineraljordlag som finnes under torvlaget (http://www.tunrappen.no/fagartikler/7765/). Omgraving av myr krever likevel en rekke forutsetninger (mest aktuelt for grunn myr, flette arealer med homogent torvlag) for at det kan være lønnsomt. Det kan også være en aktuell metode i allerede dyrket myr hvis forholdene tillater det.

Tabell 3. Karbonlagring og karbonbalanse i dyrket jord i Norge.

		Karbonlagring						
	Areal (daa)	% C	Tonn C/daa	Tonn C totalt	Kg C/ daa	Kg CO_2/daa	Tonn C totalt	% av oppr.-innhold
Mineraljord								
Korn	3 000 000	2,5	6	18 000 000	-30	-110	-90 000	-0,5 %
Andre matvekster	200 000	2,5	6	1 200 000	-40	-147	-8 000	-0,7 %
Høstet grovfôrareal	4 350 000	3,5	8,4	36 540 000	10	37	43 500	0,1 %
Innmarksbeite	1 550 000	3,5	8,4	13 020 000	10	37	15 500	0,1 %
Annet jordbruksareal	100 000	3,5	8,4	840 000	10	37	1 000	0,1 %
Sum mineraljord	*9 200 000*	*3,2*	*7,6*	*69 600 000*	*-4*	*-15*	*-38 000*	*-0,1 %*
Myr								
Andre matvekster	50 000	45	13,5	675 000	-500	-1835	-25 000	-3,7 %
Høstet grovfôrareal	650 000	45	13,5	8 775 000	-500	-1835	-325 000	-3,7 %
Sum myr	*700 000*	*45*	*13,5*	*9 450 000*	*-500*	*-1835*	*-350 000*	*-3,7 %*
Sum dyrket jord	**9 900 000**	**45**	**8,0**	**79 050 000**	**-39**	**-144**	**-388 000**	**-0,5 %**

En studie fra CARBOEUROPE-prosjektet om utslipp fra jordbruk i ulike Europeiske lokaliteter (Kutsch m.fl., 2010) estimerte et tap på 380 g C/m^2 over en 4-års periode, hvilket tilsvarer et utslipp av ca. 95 Kg C/daa årlig. I tabell 3 viser estimatene et utslipp av ca. 4 Kg C/daa årlig og 500 Kg C/daa årlig for henholdsvis mineraljord og organisk jord. Jordbruksarealet har vesentlig større spenn i karboninnholdet i utgangspunktet i Norge (og Nordiske land generelt) og dette innebærer større kontraster i utslipp enn det man oftest finner i for eksempel den sentrale Europeiske jordbruksjord som var representert i Kutsch m.fl., 2010.

UTFORDRINGER OG TILTAK

På grunn av stor andel grasareal (ca 65 % av jordbruksarealet) og relativt høyt karboninnhold, er potensialet for å ta opp mer C i dyrket mark begrenset. Varmere klima kan ventes å øke karbontapene, også fra grasmark. Utfordringen vil i like stor grad være å begrense tap av C som å øke innholdet. Muligheter for karbonopptak kan omfatte: i) tiltak på myr, ii) omlegging av jord til gras på jord med lavt C-innhold, for eksempel på bakkeplanert jord og iii) bruk av biokull etter pyrolyse av skogsvirke eller organisk avfall.

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 ^{o}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 C som å binde mer i dyrket jord.

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 4). 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 karboninnholdet når utgangspunktet var lavere enn ca 1,7 %. Denne undersøkelsen viste at karboninnholdet fortsatt går ned i de fleste distriktene på Sør-Østlandet. Unntakene finnes på jord med lavt karboninnhold, hvor det er omtrent likevekt mellom tilførsel og nedbryting, og på jord med høyt leirinnhold som beskytter det organiske materialet mot nedbryting.

Tabell 4. Karboninnholdet i matjorda (g C/100 g jord i matjordlaget; 0-20 cm) målt på et utvalg av skifter med åpenåker 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**	***

[1] Gjennomsnittlig antall år mellom første og andre måling
[2] P-nivå av enveis t-test (*** P<0,001 ** P<0,01 * P<0,05 + P<0,1 i.s. P>0,1)

Endret jordarbeiding

Intensiv jordarbeiding fører til raskere nedbryting av organisk materiale og fare for økt erosjon og er en hovedårsak til redusert karboninnhold i jord. Endret jordarbeiding, bruk av fangvekster, tilbakeføring av halm, vekstskifte med gras og bruk av organisk gjødsel vil bidra til å stabilisere eller øke karboninnholdet i jord.

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 (Grønsten m.fl., 2007; Børresen m.fl., 2011). Både direktesåing og overvintring i stubb fører til større problemer med ugras og soppangrep.

En nyere artikkel om effekter av redusert jordarbeiding på avling og ulike jordegenskaper fra en 30-års dataserie i sørøst Norge (Riley, 2014), fant ikke forskjeller i jordas innhold av organisk materiale mellom ikke redusert og redusert jordarbeiding i pløyelaget. Likevel viser studiet at redusert jordarbeiding førte til en betydelig økning i aggregat-stabilitet og økt meitemark-aktivitet. Disse resultatene tyder på at mindre jordarbeiding ikke påvirker det totale karboninnholdet, men den har en positiv effekt på stabiliteten av jordkarbon og kan dermed redusere risiko for tap.

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

Halm som jordforbedringsmiddel eller bioenergi

I Nordisk sammenheng har man rapportert at nedpløying av halm kan bidra til karbonbinding i jordbruksjord. Effekten kan imidlertid variere avhengig av nitrogengjødsling (Kätterer m.fl., 2012). I Norge har langvarige forsøk vist at nedpløying av halm kan bidra til å binde C i jorda med 0.1 tonn C per hektar årlig (Singh m.fl., 1997).

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 1 kg olje. En halmavling på 400 kg per dekar med 85 % tørrstoff kan erstatte 113 kg fyringsolje med ca 100 kg C og ca 360 kg CO_2. En slik bruk av halmen vil kunne bidra til en reduksjon i CO_2-utslippene som er langt 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 klimanytte som energikilde enn som jordforbedringsmiddel. Men hvis pyrolyse[1] teknologi kan bli kombinert i en forbrennings anlegg så at biokull er produsert og tilbakeført til land, kan både energi utvinning og jordforbedring til en viss grad kombineres. Bioenergi systemer beregnes som C-negativ. Dvs. bedre en C-nøytralt med en netto reduksjon av atmosfærisk CO_2. Karbon negativ tiltak har blitt beregnet som nødvendig for å holde global gjennomsnitt temperatur stigning under 2◦C (UNFCCC, 2015)

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 og C i dypere jordlag

Arealbruksendringer kan ha større effekt på karbonlagre, men dette er oftest kun målbart lang tid (flere tiår) etter endringen er skjedd. Endringer fra åker til gras fører oftest til en økt tilførsel av organisk materiale dominert av røtter, som danner et omfattende rhizosfære. Biologisk aktivitet øker (f.eks. meitemark) i jord under gras. Dette fører til økt binding av C i mineralpartiklene og transport mot dypere jordlag, hvor det organiske materialet er mer beskyttet mot nedbryting. En studie på tvers av Europa, som undersøkte effekter av ulike arealbruksendringer på jordkarbon, viste at ved omlegging fra åker til gras eller omvendt er det betydelige forskjeller på C i både det øvre (0-30 cm) og nedre jordlag (0-80 cm) (Poeplau & Don, 2013). Omlegging fra åker til gras kan føre til en signifikant økning av karbonlagre ned til 80 cm dybde, mens den motsatte arealbruksendring fører til tilsvarende signifikant tap (Figur 3).

1 Pyrolyse av biomasse innebærer termisk oppvarming av biomasse uten tilførsel av O_2, Utbytte er 3 fraksjoner: syngas, bioolje og biokull.

Figur 3. Endring i karbonlager i ulike jorddybder (inklusiv dype jordlag ned til 80 cm) etter arealbruksendring fra ulike plasser i Europa. Positive verdier i Y-aksen indikerer økt karbonlager etter arealbruksendring og negative verdier det motsatte. Datagrunnlaget inkluderer prøver fra Nordiske og Baltiske land. Kilde: Poeplau & Don, 2013.

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 C og er mer erosjonsutsatt. Det er derfor på bakkeplanert jord en kan vente de største positive effekter ved omlegging til gras.

Men det er to aspekter i karbonregnskapet under arealbruksendringer som bør betraktes og vurderes: 1) Karbonlager (den «stabile» komponenten av karbonregnskapet): hvordan endrer et eksisterende karbonlager seg over tid ved konvertering (som er presentert i figur 3); 2) Klimagassflukser (den «dynamiske» komponenten av karbonregnskapet, dvs. opptak/utslipp).

Når gras fordøyes av drøvtyggere blir ca 6 % av C omdannet til metan som har 25 ganger så stort oppvarmingspotensial som CO_2 (etter GWP_{100} metodikk). En grasavling på f. eks. 500 kg tørrstoff per dekar inneholder ca 215 kg C og bidrar til et utslipp på ca 17 kg metan som tilsvarer ca 430 kg CO_2-ekvivalenter. Dersom omlegging til gras skal kunne gi en netto reduksjon i klimagassutslipp må den årlig C-bindingen være minst 115 kg C per dekar, som må anses som usannsynlig høy. Klimaeffekten av karbonlagringen kan derfor være oppveid av økte utslipp av metan 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.

Dyrket myr

Myr består hovedsakelig av organisk materiale som består av ca 50 % C. Verdens myrareal dekker bare 2-3 % av landoverflata, men inneholder likevel så mye som ca en tredjedel av jordsmonnets totale lager av organisk C og omtrent like mye C som i hele atmosfæren eller all biomasse på land (figur 4).

Figur 4. Utbredelse og plassering av myr-områder i verden. Omfattende arealer finnes i nordlige strøk, hvor betydelige karbonmengder lagres (se figur 1). Kilde: Lappalainen, 1996.

Høyt vanninnhold og anaerobe forhold er en forutsetning for konservering av C i myr. Drenering og dyrking av myr fører til en dramatisk endring i betingelsene for lagring av C. 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 drensvann. 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 CO_2. I Norge er det årlige CO_2-utslippet fra dyrket myr beregnet til mellom 2 og 3 tonn per dekar (Grønlund et al. 2008a), og er den største kilde til CO_2-utslipp fra landbruket. Nedbrytingen vil fortsette til hele torvlaget er brutt ned, eller til dyrkingen har opphørt og grunnvannet er hevet til opprinnelig nivå.

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 CO_2 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 energivekster.

Restaurering av myr er antatt å være blant de klimatiltakene innenfor landbrukssektoren som har størst potensial for karbonlagring. Tiltaket innebærer tiltetting av grøfter, heving av grunnvannstanden og gjeninnføring av myrvegetasjon, slik at nedbrytingen stopper og myra begynner å bygge opp C 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 CO_2 og lystgass ser ut til å fortsette etter skogplanting, men karbonakkumuleringen i biomassen kompenserer omtrent CO_2-tapet fra torvlaget.

Biokull som jordforbedringsmiddel og karbonlagrings materiale

Biokull er forkullede rester av biomasse, f. eks. halm, trevirke og skogsavfall, med høyt innhold av C, 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 5. Foto av biokull. Kilde: NIBIO

Det bindes årlig ca 60 milliarder tonn C 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 C 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 C 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. I Norge, har vi målt en begynnende nedbrytningshastighet av <1% per år, men det antas at denne nedbrytningshastigheten vil reduseres over tid. Produksjon og lagring av biokull betraktes som en C-negativ prosess, siden den bidrar til å fjerne CO_2 fra atmosfæren. Selv om bare en liten del av biomassen fra planterester omdannes til biokull, vil det kunne oppveie for en stor del av de antropogene CO_2-utslippene. Det har vært antydet at biokull kan fjerne opp til 4 milliarder tonn atmosfærisk C per år (Mathews, 2008) eller omtrent like mye som nettoøkningen i atmosfærisk CO_2-innhold forårsaket av forbrenning av fossilt brensel og drivstoff.

Alle typer biomasse kan i prinsippet omdannes til biokull. I Norge er halm og skogsavfall de mest aktuelle råstoffene. En halmavling på 400 kg per dekar inneholder ca 160 kg C. Ved tilbakeføring som biomasse til jorda vil mesteparten være nedbrutt i løpet av relativt få år. Dersom halmen brukes til bioenergi med kombinert med biokull produksjon, vil omtrent 80 kg C kunne langtidslagres i jorda. Dette er ca 50 % mer enn det som tapes av C ved ensidig korndyrking med høstpløying.

I Sør-Amerika er det påvist opp til 9 % C som biokull i jord, som tilsvarer en mengde på 20-25 tonn C 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 kondensert 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) Økt vannlagringsevne, 2) Økt retensjon av næringsstoffer, og dermed 3) redusert fare for utvasking, 4) immobilisering av miljøgifter, 5) redusert utslipp av lystgass, 6) bedre jordstruktur. Som et resultat av disse egenskapene kan en vente større avling i jordsmonn som er mindre produktiv. I Norge kan en vente best virkning i sandjord hvor vannlagringsevnen og kationbyttekapasiteten er generelt lav.

I en meta-studie av forsøk med biokull fra ulike områder i verden ble det funnet en gjennomsnittlig avlingsøkning på 10% i det første år etter tilførsel av 3 tonn ha^{-1} (Crane-Droesch et al. 2013). I et 4-årig feltforsøk på lettleire i Ås (utført av NIBIO), ble opptil 30 tonn ha^{-1} av biokull nedpløyd i mineraljord, men ingen forskjeller var observert i avling sammenlignet med kontrolleddet (O'Toole et al. i prep).

I en parallell studie ble isotoper tatt i bruk for å følge både nedbrytning av C i biokull og organiske materiale i jorda. Det visste seg at biokull-C var svært stabilt (>98%) og at det var ingen priming effekt (dvs. akselerert nedbrytning av det opprinnelig jordkarbon forårsaket av biokull) (Rasse et al. i prep).

Effekten av biokull på N_2O-utslipp er tidligere undersøkt av NIBIO. Vi målte N_2O-gass fra samme forsøksfelt på NMBU campus Ås i 2012 og 2014 ved bruk av standardiserte metoder for måling av drivhusgasser fra jord. Vi observerte 3-5 ganger mer N_2O i 2012 enn i 2014 pga av værforholdene i 2012 som var gunstigere for N_2O-produksjon. I 2012 var akkumulert N_2O-utslipp 27 % og 45 % lavere i de 2 biokulleddene sammenlignet med kontrolleddet. Men på grunn av høy variabilitet innenfor hvert ledd var disse forskjellene ikke statistisk signifikante og bør dermed betraktes som generelle trender heller enn effekter. I våte perioder, hvor denitrifikasjon og høyt N_2O-utslipp ofte finner sted, observerte vi at nylig tilført biokull hadde en sterkere reduserende effekt på N_2O enn biokull som hadde vært i jorda siden 2010. Vårt arbeid viser at biokulltilsetning i hvert fall ikke vil føre til høyere N_2O-utslipp fra jord og gir derfor større sikkerhet for biokulls totale bidrag til et positivt klimaregnskap i livsløpsperspektiv. (O'Toole et al. 2014).

Før biokull er tilført til jorda burde det analyseres for tungmetall innhold på lik linje som andre jordforbedringsmiddel for eksempel avløpsslam og kompost. Høy tungmetall innhold kan forventes hvis biokull og laget fra skogsavfall som stammer fra område med naturlige høye tungmetall inhold i jordsmonnet. Undersøkelser i NIBIO viser at biokull fra rent biomasse har faktisk veldig gode egenskaper til å nøytralisere negative effekter på plantevekst av tungmetaller i forurenset jord (NIBIO, upublisert).

Kostnader knyttet til produksjon av biokull antas som usikkert siden det ikke finnes produksjon i Norge. I 2016, skal første demonstrasjons gårdsanlegg være på plass i Vestfold, hvor prosjektet Capture + (2013-17) (SINTEF, NIBIO, NMBU, og bygdeforskning) skal se nærmere på økonomi for biokull i Norge, og hvordan man kan få til optimal utnyttelse av tilgjengelig biomasse. Det er mulig å oppnå større produksjon av biokull disponibelt for jordbruket dersom det også blir produksjon i Norge av trekull for smelteindustrien. Her er trekull brukt som reduksjonsmiddel for silisiumproduksjon. Det er høyt kvalitetskrav til trekull som brukes og det ønskes ikke finfraksjonen som har høyt askeinnhold. Denne typen biokull er derimot egnet for bruk i jordbruk og kan derfor være synergier for begge sektorer. Biokull kunne også blitt et biprodukt fra fremstilling av 2.generasjons drivstoff laget fra norske skog ressurser (O'Toole og Grønlund, 2012)

Det har vært mye media oppmerksomhet rundt åpning av en nytt biokull fabrikk i Follum. Biokullet som skal produseres her ved bruk av Arbaflame teknologi er mer riktig beskrevet som «torrifisert trepellets» enn «biokull» som vi har definert det i dette dokumentet. Forskjell ligger i produksjonstemperatur. Torrifisering opererer på temperaturer rundt 250 grader, mens pyrolyse ligger over 400 grader. Høyere temperaturer over 400 grader kreves for å lage en biokull som ikke er biologisk nedbrytbart i jord. Derfor har Follum anlegget lite å si som et kilde til biokull for norsk landbruk.

Optimalt nivå for karboninnhold 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 CO_2-utslipp ved åkerdyrking og frigjøring og tap av nitrogen utenom vekstsesongen.

Tabell 5 viser gjennomsnittlig byggavling for årene 1990-2007 for gårdsbruk på Østlandet fordelt på klasser for gjennomsnittlig C-innhold i jordprøver. Bruk som har gjennomsnittlig karboninnhold lavere enn 1 prosent har betydelig lavere gjennomsnittsavling enn bruk med høyere karboninnhold. En kan likevel ikke på dette grunnlaget trekke den slutningen at 1 prosent representerer noen kritisk grense for karboninnholdet. 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 karboninnholdet er årsaken til den lave gjennomsnittsavlingen, eller om lav avling er årsak til det lave karboninnholdet, 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 prosent. Høyest gjennomsnittlig byggavling finner vi på bruk med gjennomsnittlig C-innhold mellom 3 og 5 prosent. Ut fra en total vurdering av avling og fare for tap av C og N ved jordarbeiding, bør karboninnholdet være mellom 1 og 5 % ved åkerdyrking, der 2-3 prosent C kan anses optimalt. Ved grasdyrking er trolig karboninnholdet mindre kritisk og det er derfor vanskeligere å antyde noe optimalt innhold. Et høyt innhold av nedbrytbar organisk materiale (ikke biokull) i jorda kan ha uønskede effekter i form av mineralisering og frigjøring av nitrogen utenfor vekstsesongen, som kan føre til utslipp av lysgass ut utvasking av nitrat. Unntaket for økt karboninnhold over 5% er når man bruker biokull som karbonlagringsmateriale som ikke nedbrytes på samme tidskalen som ubehandlet halm og dermed vil ikke føre til økt mineralisering eller utilgjengelighet av N på grunn av høyt C:N forhold.

Tabell 5. Fordeling av jordprøver på klasser for karboninnhold i Norge.

Gj.sn. C-innhold	Antall jordprøver	% av jordprøver	Antall gårdsbruk	Gjennomsn. 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

Så lenge det er god 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 prosent, er årsaken først og fremst kraftig erosjon.

Mulighet for økning med 4 ‰

I forbindelse med FN-klimakonferansen i Paris (COP21, http://www.cop21paris.org), har franske myndigheter foreslått et initiativ om 4 ‰ årlig økning av karboninnholdet i jord, som et tiltak for økt matsikkerhet og reduserte CO_2-utslipp. En 4‰ årlig økning av karboninnholdet i jord tilsvarer ca 40 CO_2-C per dekar. For Norge vil en slik økning by på flere utfordringer. Karboninnholdet i dyrket jord i Norge er relativt høyt som følge av en betydelig andel dyrket myr (ca 7 prosent), kjølig og fuktig klima som hindrer nedbryting av organisk materiale og en stor andel grasmark som binder C. Ved dyrking av myr er tap av C uunngåelig, og utfordringen er å begrense tapet. På langvarig eng og beite antas karboninnholdet å være nær likevekt, og ytterligere karbonbinding antas å være begrenset, neppe mer enn 10 kg C per dekar og år, som tilsvarer en årlig økning på ca 1 ‰. Areal med ensidig åkerdyrking antas å ha en fortsatt nedgang i karboninnhold på ca 5 ‰ per år. Denne nedgangen antas å reduseres etter hvert som innholdet nærmer seg likevekt mellom tilførsel og nedbryting. Den nedadgående trenden kan reduseres og kanskje snues gjennom tiltak som f. eks. rotasjon med vekster med større rotsystem, nedpløying av halm og djupere pløying. Tilførsel av biokull er det tiltaket som antas å ha størst potensial for økning av karboninnhold ved åkerdyrking, men krever teknologiutvikling og bredere utprøving i Norge. Omlegging av åker til gras vil med stor sannsynlighet kunne føre til økning i karboninnholdet på minst 4 ‰ årlig, men kan ikke anses som noe effektivt klimatiltak som følge av metanutslipp ved fordøyelse av gras. Redusert kornproduksjon vil dessuten føre til økt import og redusert selvforsyning. En gjennomsnittlig årlig økning av karboninnholdet på dyrket jord i Norge på 4 ‰ anses derfor å være urealistisk inntil det er mulig å implementere karbonlagring via biokull på en større skala.

KUNNSKAPSBEHOV

Det har vært gjort lite forskning i Norge på karbonlagre og mulighetene for karbonopptak og -lagring 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 C, og samtidig sikre høy og stabil avling, med mindre risiko for skadegjørere.

Interessen for **biokull** som klimatiltak og jordforbedringsmiddel har økt betydelig 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:

- Effekt på jord fysiske effekter, næringsstoffer og avlinger i forskjellige jordsmonn
- Skjebnen til biokull i feltet, inklusive nedbrytningshastighet under norske forhold
- Effekt på jordlevende organismer om biokull er flyttet nedover jordsmonnen ved hjelp av meitemark aktivitet

- Mer kunnskap om effekt av biokull på nitrogenprosesser i jorda spesielt mer kunnskap om mekanismer som styrer reduksjon av N_2O etter biokull tilførsel
- Kostnader knyttet til biokull produksjon fra demonstrasjons anlegg og assosiert kostnader for biokull som et CO_2 reduksjonstiltak
- Analyse og utprøving av biokull under kommersiell praksis i landbruk. Hvilke driftsformer vil dra mest nytte fra biokull produksjon og tilførsel?
- Synergier med samlokalisering av biogass, biokull, og komposterings teknologier i et anlegg

Dyrket myr er den største kilden til karbontap og CO_2-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 energivekster, for å øke karbonbindingen og redusere klimagassutslippene

Effekter av **arealbruk og arealbruksendringer** på C: estimater for karbonlager i jord under pløyelag/øvre jordlag er manglende i Norge og vesentlig for å kunne sammenligne den totale karbonlager for et bestemt arealbrukstype. Dessuten finnes det ingen undersøkelser som viser effekter av arealbruksendringer på jordkarbon i Norge. Dette er grunnleggende kunnskap for å kunne forvalte karbonlagre i ulike arealbrukstyper. For å undersøke disse aspekter i Norge, trenger man studier som blant annet viser:

- Tidsdynamikker for C i ulike arealbruk og etter arealbruksendringer under like klima- og jordforhold, som kan avklare karbonresponsen i ulike jorddybder
- Balansen mellom jordkarbonets kvalitet og kvantitet under ulike arealbruk og etter arealbruksendring
- Effekter av klima, jord og miljøfaktorer på jordkarbon i ulike arealbrukstyper. Utvikling av scenarioer og sensitivitetsanalyser
- Transport og lagring av C i dype jordlag. Effekter av bruk av vekster med stort og dypt rotsystem (f. eks. kløver og bladfaks) som kan lagre karbon i større dybder
- Jordfauna og mikrobiell aktivitet og dens betydning for karbonlagre og karbon- og klimagassdynamikk
- Karbontap i oppløselige form (Dissolved Organic Carbon, DOC) under ulike arealbrukssystemer og skjebne av C som eroderes

LITTERATUR

de Brogniez, D., C. Ballabio, A. Stevens, R. J. A. Jones, L. Montanarella and B. van Wesemael, 2015. A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model. European Journal of Soil Science 66(1): 121-134.

Børresen, T., 2011. Erosion studies in plot field experiments with different tillage systems in Norway. In: K. Banasik, L. Øygarden and L. Hejduk (eds.) Prediction and Reduction of Diffuse Pollution, Solid Emission and Extreme Flows From Rural Areas- Case Study of Small Agricultural Catchments, Warsaw University of Life Science Press, pp. 153-169.

Crane-Droesch,A., S.Abiven,S.Jeffery, M.S. Torn, 2013. Heterogeneous Global Crop Yield Response to Biochar: A Meta-Regression Analysis. Environmental Research Letters 8 (4): 44049.

Grønlund, A., Hauge, A., Hovde A. & Rasse, D., 2008a. Carbon loss for cultivated peat soils in Norway: a comparison of three different methods. Nutrient Cycling Agroecosystem 81: 157-167.

Grønlund, A., K. Knoth de Zarruk, D. Rasse, H. Riley, O. Klakegg, & I. Nystuen, 2008b. Kunnskapsstatus for utslipp og binding av karbon i jordbruksjord. Bioforsk rapport nr 132, vol. 3.

Grønsten, H.A, Øygarden, L. & Skjevdal, R. M., 2007. Jordarbeiding til høstkorn - effekter på erosjon og avrenning av næringsstoffer. Bioforsk Rapport, Vol. 2, No. 60, 70 pp.

Kutsch WL, Aubinet M, Buchmann N, Smith P, Osborne B, Eugster W, Wattenbach M, Schrumpf M, Schulze ED, Tomelleri E., 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. Agriculture, Ecosystems & Environment. 139(3):336-345.

Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 304 (5677), 1623-1627.

Lappalainen, E., 1996. Global Peat Resources. International Peat Society, Jyskä, Finland, 161 pp.

Lehmann, J., Skjemstad, J.O., Sohi, S., Carter, J., Barson, M., Falloon, P., Coleman, K., Woodbury, P. and 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.

O'Toole, A. and A. Grønlund., 2012. Produksjon av 2. generasjons- biodrivstoff via termokjemiske prosesser: Kunnskapsstatus, kostnader, og klimagass reduksjonspotensial i Norge. Bioforsk Rapport, 7 (112).

O'Toole, A., Silvennoinen, H., Moni, C., 2014. Effekt av biokull på N2O-utslipp: Resultater fra 2 års feltforsøk på Ås. Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 174, 2014.

Poeplau, C., Don, A., 2013. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. Geoderma 192: 189–201

Preston, D.M. and 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.

Rasse, D.P., C. Rumpel, M.-F. Dignac., 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. Pland and Soil. Volume 269, Issue 1, pp 341-356.

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

Singh, B. R., Borresen, T., Uhlen, G. & Ekeberg, E., 1997. Longterm effects of crop rotation, cultivation practices, and fertilizers on carbon sequestration in soils in Norway. In R.Lal, L. Kimble, R. Follett & B. A. Stewart (eds.) Management of Carbon Sequestration in Soil. (Boca Raton, FL: CRC Press), pp. 195-208.

Smith, P., 2014. Do grasslands act as a perpetual sink for carbon? Global Change Biology 20, 2708–2711.

Uhlen, G., 1991. Long-term effects of fertilizers, manure, straw and crop rotation on total-N and total-C in soil. Acta Agric. Scand. 41, 119-127.

UNFCCC, 2015. Report on the structured expert dialogue on the 2013–2015. Review, Forty-second session Bonn, 1–11 June 2015. Available online at: http://unfccc.int/resource/docs/2015/sb/eng/inf01.pdf

LANDBRUKET I MØTE MED KLIMAENDRINGENE

FORBRUK AV MAT OG KLIMAENDRINGER

Forsker Anna Birgitte Milford, Divisjon for mat og samfunn, NIBIO

Anna.Birgitte.Milford@nibio.no

INNLEDNING

Med klimaendringene kan det være grunner til å forvente at folks forbruksvaner vil endre seg. Dette kan skje som en generell trend eller tendens, etter hvert som kunnskapen øker som hvilke konsekvenser ulike forbruksmønstre har for klimaendringene. Det kan også tenkes at politiske virkemidler blir tatt i bruk for å få forbrukere til å endre forbruksmønsteret i mer klimavennlig retning. Dette notatet belyser sammenhenger mellom forbrukeradferd, etterspørsel og faktorer som påvirker forbrukeradferden.

HVILKE MATVARER GIR HØYEST KLIMAGASSUTSLIPP?

Sammensetningen av nordmenns gjennomsnittlige kosthold har stor påvirkning på mengden klimagasser som produseres, ettersom det er stor forskjell mellom utslippene relatert til forskjellige typer mat.

Figur 1 viser den gjennomsnittlige sammensetningen av inntaket av de viktigste matvarene per innbygger i Norge, basert på Norkost3 undersøkelsen (Totland et al. 2012), og de korresponderende klimagassutslippene omregnet til CO2-ekvivalenter (Abadie et al. 2015). Vi ser at kjøtt og ost står for 20 % av matinntaket regnet i gram per dag, men samtidig for 65 % av CO2-utslippene fra det samme kostholdet.

Figur 0.1 Prosent matinntak og CO_2-utslipp fra gjennomsnittlig norsk kosthold.
Kilde: Norkost3 (Totland et al. 2012) og Abadie et al. 2015

I tillegg til klimagassutslipp har animalske produkter en mer negativ innvirkning på matsikkerhet, fordi mer landareal og vann trengs per kilo produsert animalsk mat enn vegetabilsk mat (Nijdam et al. 2012). Kjøtt står for 15% av det totale globale menneskelige kostholdet, men omtrent 80% av landarealet i verden er brukt til beiteareal eller til å produsere dyrefôr (Smith et al. 2013), og 35% av all jordbruksproduksjon blir gitt til dyr (Bellarby et al. 2013).

Tabell 1 er hentet fra Gonzalez et al. (2011), og viser utslipp relatert til et lite utvalg ulike matvarer, regnet fra ankomst til havnen i Gøteborg og Sverige. Tallene er hentet fra ulike LCA-studier fra Sverige og andre land, og inkluderer utslipp forbundet med transport til Sverige.

Tabell 1 Klimagassutslipp fra ulike typer matvarer. Kilde: Gonzalez et al. 2011

Type produkt	Opprinnelsesland	Kg CO2 ekv/kg matvare
Storfekjøtt	Sverige 1	32
	Sverige 2	20
	Storbritannia	23
	Frankrike	39
	Irland	29
	Argentina	22
	Uruguay	29
	Brazil	40
Svin	Sverige	7.2
	Storbritannia	9.2
Kylling	Sverige	2.9
	Storbritannia	6.6
Oppdrettslaks	Norge	2.6
	Chile	3.6
	Canada	3.6
Egg	Sverige, lokalt fôr	5.5
	Sverige, importert fôr	1.6
	Storbritannia	1.9
Hvete	Sverige	0.38
	Storbritannia	0.83
	USA	0.8
Poteter	Sverige	0.16
	Sveits	0.14
	Danmark	0.09
	Storbritannia	0.27
	USA	0.35
Agurk	Sverige, drivhus oppvarmet med olje	2.6
	Sverige, friland	0.08
Tomater	Sverige, drivhus oppvarmet	3.7
	Spania, friland	0.37

Vi observerer at studier av samme produkt i samme land kan gi ulike resultater angående utslipp, noe som er illustrert ved de to studiene av storfekjøtt i Sverige. Den ene har funnet at gjennomsnittlige klimagassutslipp per kg matvare er 20 kg CO2-ekvivalenter, mens den andre finner 32. Dette kan enten skyldes ulike beregningsmetoder, eller forskjeller mellom de ulike produksjonsmetodene som er studert.

Vi ser også at det gjennomgående er høyere utslipp forbundet med mat som er importert fra andre land, enn mat som er produsert lokalt. For eksempel har hvete importert fra USA eller Storbritannia utslipp på ca. 0.8 CO2 ekvivalenter, mens hvete produsert i Sverige har 0.38. Forskjellene er likevel mye større hvis man sammenligner ulike matvaretyper, da spesielt storfekjøtt og vegetabilske produkter.

Det er også stor forskjell på om grønnsaker er produsert i oppvarmet drivhus eller ikke. Fra tabellen ser vi at tomater fra oppvarmet drivhus i Sverige har ti ganger større klimautslipp enn tomater dyrket på friland i Spania, når transport er medregnet.

Ettersom det er stor forskjell i næringsinnholdet per kg for ulike mattyper, gir det mening å sammenligne klimagassutslipp per g protein i de ulike mattypene, enn bare per kg, noe som er vist i figur 2.

Figur 0.2: Proteininnhold og proteineffektivitet per enhet utslipp av CO2-ekvivalenter fra ulike matvare. Kilde: Gonzalez et al. 2011

Vi ser av figuren at det er langt større utslipp av CO2 per enhet proteiner som kommer fra storfekjøtt enn som kommer fra soyabønner. Selv om egg og storfekjøtt inneholder mer proteiner per kg enn vegetabilsk mat, er disse produktene likevel mindre effektive som leverandør av proteiner per kg klimagassutslipp. Unntaket er agurker som er produsert i oppvarmet drivhus, her er klimagassutslippene per gram protein høyere enn for animalske produkter.

En studie fra USA finner at 83% av klimagassutslippene fra matproduksjonen oppstår i produksjonsfasen, mens transport i snitt bare bidrar til 11% av utslippene, og levering fra produsent til distributør står for bare 4%. Samtidig finner de at rødt kjøtt har 150% mer klimagassutslipp enn kylling eller fisk, og forfatterne konkluderer med at husholdninger som ønsker å redusere sitt karbonfotavtrykk heller bør endre kosthold heller enn å «kjøpe lokalt» (Weber og Matthews 2008). Ulikhet i den totale mengden utslipp for ulike produkter gjør at transport får ulik betydning for de ulike produktene. En studie fra Danmark viser at utslipp fra transport utgjør mindre enn 1 % av de totale klimagassutslippene for storfekjøtt, mens for grønnsaker kan de utgjøre opptil 50 % (Edjabou og Smed 2013). En studie av LCA-analyser av storfekjøtt finner at de store forskjellene mellom CO2-utslipp fra ulike produksjoner, innebærer at det i stor grad bare vil gi en

klimagevinst å substituere import med lokalprodusert dersom den lokale produksjonen gir lavere CO2-utslipp enn produksjonen i landet det importeres fra (Avetysian et al 2013).

Selv om det også er mulig å redusere klimautslipp ved å spise mer kortreist mat, er resultatene angående klimagevinsten mer sikre når det gjelder omlegging av kostholdet i retning mer plantebasert mat. Selv om det altså også ligger klimagevinster i det å redusere transportkostnader forbundet med matforbruk, vil jeg i dette notatet fokusere på forbruk av kjøtt.

UTVIKLINGEN I KJØTTFORBRUK I VERDEN OG I NORGE

Mellom 1961 og 2011 økte verdens befolkning fra 3 til nesten 7 milliarder, mens det globale, gjennomsnittlige kjøttforbruket per innbygger økte med 75 % (FAO 2011), slik at det totale forbruket av kjøtt i verden ble nesten firedoblet.

Figuren nedenfor viser økningen i forbruket av kjøtt i de ulike verdensdelene fra 1960 og fram til i dag. Vi ser at det har vært en økning i alle de forskjellige verdensdelene, også i den vestlige verden, som i hele perioden har ligget langt over de andre landområdene. Til gjengjeld er økningen i den vestlige verden noe avtagende det siste tiåret.

Figur 0.3: Utviklingen i forbruk av kjøtt i de ulike verdensdelene. Kilde FAO.

Det er imidlertid stor forskjell i utviklingen for de ulike kjøttproduktene. Som figuren under viser, er det først og fremst svin- og kyllingproduksjonen som har økt, mens økningen har vært svakere for storfe, sau og geit.

Figur 0.4: Utviklingen i forbruk av ulike kjøttprodukter. Kilde: FAO

Ser vi på utviklingen i Norge, ser vi at også her har det totale forbruket av kjøtt økt, og at det også her i landet hovedsakelig skyldes økningen i forbruket av kylling og svin.

Figur 0.5: Utviklingen i forbruk av ulike kjøttprodukter Norge. Kilde: Helsedirektoratet 2014

Et annet trekk ved utviklingen siden 1960, er at det er mindre forskjell i sammensetningen av kostholdet mellom ulike land, noe som skyldes økt produktivitet innen jordbruket, lavere inntektsforskjeller mellom ulike land, mer matvarehandel og økt internasjonalisering av matvaner (de Boer et al. 2006). Figuren under viser utviklingen i 5 forskjellige land i EU, fra 1960 til 2011, med tall hentet fra FAO. Vi ser at Frankrike og Tyskland de senere år har hatt en nedgang i kjøttforbruket, mens England, Sverige og Norge har hatt en jevn økning, og at forskjellen mellom disse landene er mindre i dag enn for 20 og 40 år siden. Tallene på kjøttforbruket i Norge fra FAO er lavere enn tallene som er brukt i "Utviklingen i norsk kosthold 2014" (Helsedirektoratet 2014).

Figur 0.6 Utviklingen i forbruk av kjøtt i Norge sammenlignet med et utvalg andre europeiske land. Kilde: FAO 2011

ÅRSAKER TIL ØKNING I KJØTTFORBRUK

Generelle årsaker: Inntekt, pris og urbanisering

Flere faktorer har tidligere blitt identifisert som viktige drivere for økt kjøttforbruk, blant disse er kanskje inntekt den som oftest er nevnt. De siste 50 år har det vært en generell økning i inntekt per innbygger i de fleste land i verden. For utviklingsland har dette ført til, i første rekke, en økning i mengden mat per innbygger, og som et steg nummer to, i sammensetningen av kostholdet (Schmidhuber og Shetty 2005). Det siste steget innebærer et skifte fra basismat rik på karbohydrater (korn, røtter, knoller) til vegetabilske oljer, sukker og animalsk mat (ibid). Dette betyr at høyere inntekt generelt gir et høyere kjøttforbruk. Sammenhengen mellom inntekt og kjøttforbruk er også studert av Cole og McCoskey (2013), som i en økonometrisk analyse av 150 land, finner at kjøttforbruket på nasjonalt nivå øker med økte inntekter, og at kurven først flater ut ved en inntekt på 36 USD per innbygger, noe som i 2009 bare gjaldt åtte land i verden.

Forbruket av kjøtt påvirkes også av prisen. Studier har funnet at priselastisiteten på kjøtt er negativ, det betyr at lave kjøttpriser fører til økt forbruk. Det er også funnet at biff og lam er mer elastisk enn kylling (Gallett 2010). De siste tiårene har det vært en generell nedgang i prisen på kjøtt på verdensbasis. Årsakene til nedgangen i kjøttpriser er teknologisk utvikling, gevinst fra stordriftsfordeler og økt tilgang til billige innsatsfaktorer, og dette har ført til at også forbrukere som ikke har opplevd en inntektsøkning har fått økt tilgang til animalsk mat (FAO 2009). Også i Norge har prisene på kjøtt gått ned relativt til prisene på andre matvarer, noe som er illustrert i figur 7 under.

Figur 0.7: Konsumprisindeksen for utvalgte matvaregrupper i Norge. Kilde: Helsedirektoratet 2014

Vi ser at prisen på kjøtt er den som har økt minst av alle matvarene i perioden mellom 1998 og 2013, noe som betyr at kjøtt har blitt relativt billigere. En beregning av priselastisiteter i Norge viser at forbruket av storfekjøtt er spesielt tilbøyelig til å bli påvirket av prisendringer, men kylling er mindre priselastisk (Abadie et al. 2015).

Tidligere studier har også funnet ut at en mer urbanisert befolkning spiser mer kjøtt (York og Gossard 2003). En forklaring kan være at folk i byer spiser mer utenfor hjemmet og større mengder ferdigmat enn folk i rurale områder (Schmidhuber og Shetty 2005). Veksten i kjøttforbruket de siste tiårene kan derfor også delvis forklares ved økt urbanisering i de fleste land i verden.

SPESIELLE PÅVIRKNINGSFAKTORER: RÅD FRA HELSEMYNDIGHETER, REKLAME, MATSKANDALER OG SLANKEKURER

Kjøttforbruket i de fleste industrialiserte land er på et høyere nivå enn det som er anbefalt fra et helseperspektiv. Norkost3-studien finner at 55 % av norske menn og 33 % av kvinner har et høyere forbruk av rødt kjøtt (storfe og svin) enn det som er anbefalt. Høyt forbruk av kjøtt er funnet å være en del av årsaken til overvekt (Gonzalez et al. 2011, hjerte- og karsykdommer (Westhoek et al. 2014) og en del former for kreft (WHO 2003, Pan et al. 2012). Dette er grunnen til at helsemyndighetene i en rekke land har gått ut med anbefalinger om redusert forbruk av rødt kjøtt. Disse anbefalingene ser ut til å ha en viss påvirkning på utviklingen i kjøttforbruket. Kinnucan et al (1997) finner at økningen i forbruket av kylling i stor grad er et resultat av informasjon fra helsemyndighetene om skadevirkningene ved rødt kjøtt. En prosentvis endring i helseinformasjon fører i større grad til at folk substituerer storfekjøtt med kyllingkjøtt, enn det som er tilfelle ved en endring i relative priser på kylling og storfekjøtt (ibid). På samme måte finner Rickertsen et al. (2003) at helseråd i de nordiske landene har en påvist effekt på forbruket av fisk, kylling og storfekjøtt, og at det har ført til at kostholdet er mer i tråd med anbefalingene.

Det brukes årlig store beløp på forbrukerrettet reklame, og dette er en faktor som man regner med påvirker forbruket i ulike retninger. En studie fra SIFO i 2014 viste at av det totale beløpet som ble brukt på reklame for kjøtt, fisk, og frukt og grønt mellom 1995 og 2010, ble 62 % brukt på reklame for kjøtt, 20 % på fisk og 18 % på frukt og grønt (Vittersø og Rosenberg 2014). Det er grunn til å tro at disse reklamekampanjene for kjøtt påvirker forbrukere til å velge kjøttprodukter framfor fisk eller plantebasert mat.

Nyheter om helsefare forbundet med kjøttforbruk fører til at forbruket går ned. Her er tilfellet med kugalskap (BSE) et godt eksempel. Studier har vist at faren for Creutzfeldt-Jakobs sykdom gjør at forbrukere unngår storfekjøtt i perioden like etter at man har oppdaget slike tilfeller. Figur 1.8 viser månedlig storfeproduksjon i Tyskland i perioden 1999 til 2015. I 2000 ble det oppdaget BSE i Tyskland, noe som vises tydelig på kurven ved en nedgang i produksjonen som følge av denne oppdagelsen. Men som kurven også viser, tok det ikke lang tid før produksjonen var tilbake på samme nivå som tidligere. Det tilsvarende ser man i andre land som har hatt tilfeller med BSE (Schlenker and Villas-Boas 2006). Effekten av slike matskandaler er altså ikke særlig langvarig. Per i dag opplever kyllingnæringen i Norge en nedgang i etterspørselen etter kyllingkjøtt, og det antas at dette delvis skyldes oppmerksomhet i media om funn av antibiotikaresistente bakterier i kylling (Nationen 2015) Dersom dette følger mønsteret til andre lignende episoder, er det liten grunn til å tro at effekten vil være langvarig.

Figur 0.8 Utvikling produksjon av storfekjøtt Tyskland 1999-201. Kilde: Eurostat

En annen påvirkningsfaktor er ulike slankekurer og helseråd. Slankekurer basert på lavt fett- og kolesterolinntak gjør at folk reduserer kjøttforbruket, mens den såkalte lavkarbodietten har motsatt effekt. I en studie av påvirkningen fra antallet artikler skrevet om ulike slankekurer, fant Miljkovic og Mostad (2005) at populariteten til lavkarbodietten førte til en økning i forbruket av storfekjøtt i USA, og denne effekten var mer langvarig enn effekten av artikler skrevet om slankekurer basert på lavt fett- og kolesterolinntak.

HVOR STORE OG HVOR RASKE ENDRINGER KAN VI FORVENTE, FRA ULIKE PÅVIRKNINGSKILDER?

Forventet naturlig utvikling

Uten noen form for politisk intervenering, antar man at på verdensbasis må kjøttindustrien øke sin produksjon med 50-73 % (Bonny et al 2015). Økningen skyldes både en forventet vekst i innbyggertall (mot 9 milliarder), men hovedsakelig vekst i forbruk per innbygger, på grunn av økt inntektsnivå og økt urbanisering. Det meste av denne økningen er forventet å komme i utviklingsland, mens i Nordamerika og Europa forventer man en økning i gjennomsnittlig kjøttforbruk per innbygger på 7 % (FAO 2009). Det er forventet at det totale forbruket av kylling vil øke mest. På samme måte forventes en økning i forbruket av meieriprodukter, også her hovedsakelig i utviklingsland. Det er mye usikkerhet knyttet til disse tallene, spesielt fordi matvarepriser, som kan ha stor påvirkning på forbruket, er vanskelig å forutsi. De fleste analytikere forventer at det i fremtiden vil bli generelt høyere matvarepriser, og at de vil være mer ustabile enn i dag (FAO 2009).

	2000	2050
Sentral- og Vest-Asia og Nord-Afrika	**20**	**33**
Øst og Sør-Asia og Oceania	**28**	**51**
Latinamerika og Karibia	**58**	**77**
Nord-Amerika og Europa	**83**	**89**
Afrika sør for Sahara	**11**	**22**

Figur 0.9 Forventet per innbygger forbruk av kjøtt i ulike regioner, kg/person/år. Kjelde: FAO 2009

Et resultat av økt etterspørsel etter og høyere priser på kjøtt vil være at etterspørselen etter billige alternativer, som kjøttsubstitutter, vil øke (Bonny et al 2015). Slike substitutter kan enten være laget av planteproteiner, men også etter hvert fra insekter.

Utvikling under ulike scenarier

En FN-rapport fra 2013 tar for seg andre scenarioer enn “business as usual”, og hvilke konsekvenser disse får. Mer spesifikt ser de på konsekvensene av at enten kjøttforbruket går ned, eller at mengden matavfall reduserers, eller begge deler samtidig (FN 2013). I scenarioet med lavere kjøttforbruk og lavere matavfall forventes det at Europa reduseres kjøttforbruket med 30 % og matavfallet med 29 %. Utviklingsland vil enten øke sitt kjøttforbruk eller mengde matavfall, eller i mindre grad redusere den. Dette vil føre til at det totale behovet for dyrket areal reduseres med 19 %, og produksjonen av animalsk mat reduseres med 16 % i forhold til «business as usual»-scenariet. Rapporten ser ikke på konsekvenser for CO2-utslipp.

Westhoek et al. (2014) ser på konsekvensene for klimagassutslipp og arealbruk dersom forbruket av kjøtt, meieriprodukter og egg ble halvert i EU, og finner at dette ville føre til at klimagassutslippene ble redusert med 40 %, behovet for landareal ble redusert med 23 %, samt at bruken av soyamel ville gå ned med 75 %, og EU ville blitt en netto eksportør av korn. I dette scenariet har de forutsatt at sau og geiteforbruket er på samme nivå som dagens, på grunn av den viktige rollen disse dyrene har som beitedyr.

Ved hjelp av en modell for globalt landbruk (MAgPIE) finner Popp et al. (2010) at dersom kjøttforbruket reduseres med 25 % fram mot år 2055, vil klimagassutslippene bli redusert med 51 % sammenlignet med baseline-modellen, der den animalske andelen av det globale kostholdet er konstant. Hvis kjøttforbruket derimot øker, viser modellen at de globale klimagassutslippene vil øke med 76 % fram mot år 2055.

FRIVILLIG ENDRING I FORBRUK SOM RESULTAT AV MER BEVISSTHET OM KLIMAENDRINGER

Foreløpig er det fortsatt mange som ikke er kjent med de negative virkningene kjøttforbruket har på klima, og det er mange som ikke tror på disse argumentene (Kildahl 2015). Et problem når det gjelder storfe og sau, er at disse dyrene riktignok slipper ut store mengder metan, men samtidig kan de ta til seg næring fra beiteområder, som ikke kan brukes hverken til menneskemat eller produksjon av dyrefôr. Dyr som for en stor del lever av grovfôr er derfor også på mange måter en miljøvinner. Dette kan skape usikkerhet om hva som er det beste miljøvalget.

Den manglende kunnskapen om, eller troen på at redusert forbruk av kjøtt har en positiv effekt på miljøet er sannsynligvis en del av årsaken til at ikke flere bevisst reduserer kjøttforbruket sitt. En spørreundersøkelse gjort i Norge i 2012 viste at bare 14 % hadde redusert kjøttforbruket som følge av miljøproblemer, mens 20 % hadde redusert klesforbruket, og 51% forbruket av strøm (Austgulen 2012). En studie fra Finland viser at mangel på tro på at matforbruk påvirker klima er en viktig årsak til at folk ikke reduserer kjøttforbruket sitt (Mäkiniemi og Vainio 2014). Andre studier finner at årsaker til at folk ikke velger å redusere kjøttforbruket sitt, er gleden ved å spise kjøtt, mangel på vilje til å endre vaner, tro på at mennesket er ment å spise kjøtt, og mangel på kunnskap om vegetarisk mat (Ruby 2012). Det kan tenkes at dersom det i fremtiden blir en økende kunnskap og konsensus om at forbruket at kjøtt bør reduseres som et klima- og miljøtiltak, vil flere forbrukere frivillig redusere kjøttforbruket sitt.

Vi ser at det har vært en økning i antallet vegetarianere i vestlige land (Leitzmann 2014). I land som England, Tyskland og Italia er det regnet at 9 % av befolkningen er vegetarianere, mens det i en undersøkelse fra Norge i 2007 ble funnet at bare 1% av befolkningen regnet seg som vegetarianere, og dette var det samme som ble funnet i tilsvarende undersøkelse i 1997 og 2004 (Lavik 2008). Den samme undersøkelsen viste likevel en svak økning fra 1997 til 2004 i antall personer som oppgir at de reduserer kjøttforbruket sitt. Blant disse var helse den viktigste årsaken til at man ønsket å redusere kjøttforbruket. Til forskjell ble det i en undersøkelse fra England i 2014 funnet at 12 % av befolkningen regnet seg som vegetarianere (Express 2014), og det registreres en økning i salget av plantebaserte kjøttsubstitutter. I 2009 var 6 % av alle nye produkter lansert i England merket med «suitable for vegetarians». I 2013 hadde

dette økt til 12 %. I enkelte andre land er det altså i utgangspunktet langt flere som er vegetarianere enn i Norge, og det er en økning i dette antallet i de senere år.

Trender fra utlandet kommer ofte senere til Norge, og dette gir grunn til å forvente i økning i antallet vegetarianere her til lands. I tillegg til de som avstår helt fra å spise kjøtt, er det stadig flere såkalte «fleksitarianere» som bare spiser kjøtt av og til (Dagevos og Voordouw 2013).

ENDRING I KJØTTFORBRUK SOM RESULTAT AV POLITISKE VIRKEMIDLER

Dersom det oppstår politisk vilje om å redusere kjøttforbruket for å redusere klimagassutslipp eller av andre hensyn, finns det ulike virkemidler som kan tas i bruk. I følge Global Nutrition Report for 2015 er nasjonale retningslinjer for kosthold som anbefaler redusert forbruk av rødt kjøtt et viktig steg mot endret forbruksmønster. Helsemyndigheter i Nederland og Sverige har gått foran som eksempler her. I forbindelse med utviklingen av USAs kostholdsanbefalinger for 2015 kom en rådgivningskomité med en rapport med anbefalinger for et kosthold som ikke bare er sunt, men som også gir mindre skade på miljøet, og en av disse anbefalingene var redusert forbruk av animalske produkter (International Food Policy Research Institute 2015, US Office of Disease Prevention and Health Promotion 2015).

Helsemyndigheter har i mange år gått ut med råd om redusert forbruk av rødt kjøtt av helsemessige årsaker, noe som studier har vist at har bidratt til en lavere økning i kjøttforbruket enn hva man ellers ville ha sett (Rickertsen et al 2006, Kinnucan et al 1997). Mer informasjon om kjøttforbruk og klimaendringer kan også for eksempel inngå som en del av undervisningen i skolen. En annen mulighet er tiltak som reduserer mengden reklame for kjøttprodukter, ettersom det er funnet at nordmenn eksponeres for mye mer av denne typen reklame enn reklame for frukt og grønt (Vittersø og Rosenberg 2014). Andre tiltak vil være å bidra til utvikling og innovasjon av matprodukter som kan erstatte kjøtt som proteinkilde, spesielt innen ferdigmat.

Et mer drastisk tiltak rettet mot forbrukere ville være å øke utsalgspriser på kjøttprodukter gjennom skattelegging, for eksempel ved ulik momslegging på plantebaserte på animalske produkter. Dette har fordeler i forhold til å plassere skatten hos produsenten, noe som vil defavorisere lokale produsenter i konkurranse med import, og effekten kan bli en økning i produksjonen og klimagassutslippene i kjøtteksporterende land, som ikke nødvendigvis har mer klimaeffektiv produksjon. Det er også vanskelig å overvåke utslipp fra de enkelte produksjonsenhetene, i tillegg gjør de begrensede teknologiske mulighetene for å redusere utslippene fra kjøttproduksjon at en reduksjon i produsert mengde blir eneste mulighet (Wirsenius 2011). Dessuten, selv om det er store forskjeller i utslippene fra de ulike produksjonskildene, så er de likevel mye mindre enn forskjellene mellom ulike matvarer. Siden forbrukere har gode muligheter for å substituere mellom ulike matvarer, er det bedre å plassere skatten på utbytte, altså hos forbrukeren, enn hos produsenten (ibid).

I en studie av EU-land, finner Wirsenius at det å sette en skatt på 60 euro per tonn CO2-ekvivalenter fra animalsk produksjon, vil redusere klimagassutslippene fra EU27 med 7 %. En senere studie fra Danmark finner at en klimaskatt på ulike produkter, der blant annet prisen på storfekjøtt vil øke med 32.4 % og

prisen annet kjøtt med 14.3 %, vil føre til en reduksjon i karbonavtrykket til en gjennomsnittlig husholdning på 10.4-19.4 % (Edjabou og Smed 2013).

MATAVFALL OG KLIMAENDRINGER

Et annet område som det er fokusert mye på som et mulig klimatiltak, er redusert matavfall. Det antas at rundt en tredjedel av maten som produseres blir kastet før den blir spist. Globalt gir kasting av mat utslipp på 3.3 gigatonn CO2-ekvivalenter i året, noe som gjør det til den tredje største klimagassutslipperen, etter USA og Kina (FAO 2014). Disse utslippene er knyttet både til produksjonen av denne maten, og til metanutslipp fra mat som er deponert. I de senere år er det igangsatt tiltak i de fleste europeiske land for å redusere mengden matavfall, også i Norge. Tiltak omfatter blant annet informasjonskampanjer og tilrettelegging for utdeling av mat fra butikker som er spiselig, men ikke lenger salgbar. Det kan være vanskelig å estimere effekten av slike tiltak, men i følge en nylig utgitt rapport fra Danmark har de ulike kampanjene i landet ført til at matavfall per person er redusert fra 60-65 kg i 2006 til 47 kg i 2012 (Landbrug & Fødevarer 2015). En reduksjon i matavfall vil føre til redusert etterspørsel etter matvarer, og i en beregning gjort for KLIF i 2013 kom NILF fram til at en halvering av det totale matavfallet innen 2030 ville føre til at kjøttproduksjonen ville være ca. 16500 tonn lavere enn ellers forventet. Fordelingen på ulike kjøttsorter er vist i tabell 2.

Tabell 2. Forventet reduksjon i kjøttproduksjon som følge av halvering av matsvinn innen 2030. Kilde: NILF 2013

Redusert produksjon (i tonn) i 2030 som følge av halvering av matsvinn	
Storfe	**3 611**
Sau	**1 134**
Svin	**7 470**
Fjørfe	**4 334**
Meierivare	**27990**

AVSLUTTENDE KOMMENTARER

På verdensbasis er det forventet en sterk økning i produksjon og forbruk av animalske produkter i de kommende år, men for OECD-land er det bare forventet en svak økning. Trenden for de fleste europeiske land har vært en jevn økning, som de senere år har vært svakere enn tidligere. Denne trenden har kun i liten grad blitt brutt av spesielle hendelser som kugalskap og ulike slankekurer. Råd fra helsemyndigheter om redusert forbruk av rødt kjøtt ser ut til å ha en mer langvarig effekt, ved for eksempel å få folk til å substituere rødt kjøtt med kylling eller fisk. Kunnskap om negative klimaeffekter fra animalske produkter ser foreløpig ikke ut til å hatt stor påvirkning på folks forbruksvaner, men dette kan skyldes at denne kunnskapen fortsatt er ukjent for svært mange. Ser en på en del europeiske land, som for eksempel Storbritannia, er der en økning i antallet personer som avstår helt fra å spise kjøtt, og det er også et stadig

voksende antall mennesker som reduserer kjøttforbruket sitt. En slik trend kan også bli sterkere i Norge, men det er lite trolig at det vil oppleves som et brått fall i etterspørselen etter animalske produkter.

Den forventede økningen i kjøttproduksjonen på verdensbasis vil både føre til økte klimagassutslipp og redusert matsikkerhet. For å eventuelt kontrollere kjøttproduksjonen er det nødvendig å adressere de skattemessige, lovgivningsmessige, kontekstuelle og sosiokulturelle faktorene som påvirker etterspørselen (International Food Policy Research Institute 2015). I tråd med dette har flere land, deriblant Sverige, kommet med kostholdsråd som anbefaler redusert forbruk av animalske produkter. Slike råd vil sannsynligvis ha en viss effekt på etterspørselen, men den blir neppe sjokkartet, og det vil være rom for gradvis tilpasning blant produsentene.

REFERANSER

Abadie, L.M., Galarraga, I., Milford, A.B., Gustavsen, G.W. (2015) Using food taxes and subsidies to achieve emission reduction targets in Norway. Forthcoming in *Journal of Cleaner Production*

Austgulen, M.H. (2012). Nordmenns holdninger til klimaendringer, medier og politikk. SIFO prosjektnotat nr. 4-2012

Avetisyan, M., Hertel, T., & Sampson, G. (2014). Is local food more environmentally friendly? The GHG emissions impacts of consuming imported versus domestically produced food. *Environmental and Resource Economics*,*58*(3), 415-462.

Bellarby, J., Tirado, R., Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J. P., Smith, P. (2013). Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global change biology,* 19(1) 3-18.

Bonny, S. P., Gardner, G. E., Pethick, D. W., & Hocquette, J. F. (2015). What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry?.*Journal of Integrative Agriculture*, *14*(2), 255-263.

Cole, J. Rivers, McCoskey, S. (2013). Does global meat consumption follow an environmental Kuznets curve. *Sustainability: Science. Practice and Policy*, 9(2), 26-36.

Dagevos, H., & Voordouw, J. (2013). Sustainability and meat consumption: is reduction realistic. *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, *9*(2), 60-69.

de Boer, J., Helms, M., & Aiking, H. (2006). Protein consumption and sustainability: Diet diversity in EU-15. *Ecological Economics*, *59*(3), 267-274.

Edjabou, L.D., Smed, S. (2013). The effect of using consumption taxes on foods to promote climate friendly diets–The case of Denmark. *Food Policy,* 39, 84–96.

Eurostat (2015). http://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database

Express (2014). "Meat is off the menu as more Britons become vegetarian." 01.10.14 http://www.express.co.uk/life-style/health/517246/Vegetarians-are-on-the-increase-in-Britain

FAO (2009) The state of food and agriculture – Livestock in the balance. http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e00.htm

FAO (2011). Food Balance Sheet. http://faostat3.fao.org/home/E (Accessed October 2014).

FAO (2014) «Food wastage footprint. Impact on Natural Resources. Summary Report" http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf (nedlastet september 2014)

FN (2013) Global Food and Nutrition Scenarios. Final Report. Millenium Insitute http://www.un.org/en/development/desa/policy/wess/wess_bg_papers/bp_wess2013_millennium_inst.pdf

Gallet, C. A. (2010). Meat meets meta: a quantitative review of the price elasticity of meat. *American Journal of Agricultural Economics*, *92*(1), 258-272.

González, A. D., Frostell, B., Carlsson-Kanyama, A. (2011). Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: potential contribution of diet choices to climate change mitigation, *Food Policy*, 36, 562–70.

Helsedirektoratet (2014). Utviklingen i norsk kosthold. https://helsedirektoratet.no/publikasjoner/utviklingen-i-norsk-kosthold

International Food Policy Research Institute. 2015. *Global Nutrition Report 2015: Actions and Accountability to Advance Nutrition and Sustainable Development*. Washington, DC.

Kildahl, Charlotte L. (2015): Introducing Sustainable Food Policies. The Case of the Norwegian Armed Forces. Master thesis in Culture, Environment and Sustainability. Centre for Development and Environment. University of Oslo.

Landbrug & Fødevarer (2015): Madspild i Danmark. Et overblik over undersøgelser og igangværende projekter om madspildet i Danmark. Rapport. http://www.lf.dk/~/media/lf/Tal%20og%20analyser/Forbrug%20og%20detail/Madspild%20i%20Danmark.ashx

Lavik, Randi. 2008. "10 år - endring og stabilitet i forbruk og holdninger til kjøtt. 1997 - 2007." (Oppdragsrapport nr. 2 - 2008). Oslo: Statens Institutt for Forbruksforskning (SIFO). Accessed 24.01.2015. http://www.sifo.no/files/file73957_oppdragsrapport_2008-2-web.pdf.

Kinnucan, H. W., Xiao, H., Hsia, C. J., & Jackson, J. D. (1997). Effects of health information and generic

advertising on US meat demand. *American Journal of Agricultural Economics*, *79*(1), 13-23.

Leitzmann, C. (2014). Vegetarian nutrition: past, present, future. *The American journal of clinical nutrition*, *100*(Supplement 1), 496S-502S.

Mäkiniemi, J. P., & Vainio, A. (2014). Barriers to climate-friendly food choices among young adults in Finland. *Appetite*, *74*, 12-19.

Miljkovic, D., & Mostad, D. (2005). Impact of changes in dietary preferences on US retail demand for beef: health concerns and the role of media. *Journal of Agribusiness*, *23*(2), 183.

Nationen (2015) Kyllingnedgangen held fram – to års produksjonsvekst borte. 14.09.2015 http://www.nationen.no/landbruk/kyllingnedgangen-held-fram-to-ars-produksjonsvekst-borte/).

NILF (2013). Tall utarbeidet i forbindelse med rapporten "Forslag til handlingsplan for norske utslipp av kortlevde klimadrivere» http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2014/September-2014/Forslag-til-handlingsplan-for-norske-utslipp-av-kortlevde-klimadrivere/

Nijdam, D., Rood, T., Westhoek, H. (2012). The price of protein: review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy,* 37, 760–770.

Pan, A., Sun, Q., Bernstein, A. M., Schulze, M. B., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Hu, F. B. (2012). Red meat consumption and mortality: results from 2 prospective cohort studies. *Archives of internal medicine*, *172*(7), 555-563.

Popp, A., Lotze-Campen, H. Bodirsky, B. (2010). Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. *Global Environmental Change*, 20(3), 451–462.

Rickertsen, K., Kristofersson, D., & Lothe, S. (2003). Effects of health information on Nordic meat and fish demand. *Empirical Economics*, *28*(2), 249-273.

Ruby, M. B. (2012). Vegetarianism. A blossoming field of study. *Appetite*,*58*(1), 141-150.

Schmidhuber, J., & Shetty, P. (2005). The nutrition transition to 2030. Why developing countries are likely to bear the major burden. *Acta agriculturae scand section c*, *2*(3-4), 150-166.

Schlenker, W., & Villas-Boas, S. B. (2009). Consumer and market responses to mad cow disease. *American Journal of Agricultural Economics*, *91*(4), 1140-1152.

Smith, P. et al. (2013). How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? *Global Change Biology,* 19, 2285–2302. doi: 10.1111/gcb.12160;pmid: 23505220.

Totland, T. H., Melnæs, B. K., Lundberg-Hallèn, N., Helland-Kigen, K. M., Lund-Blix, N. A., Myhre, J. B., Andersen, L. F. (2012). Norkost 3; En landsomfattende kostholdsundersøkelse blant men og kvinner i Norge i alderen 18–70 år, 2010–11. *Helsedirektoratet, Oslo. Available in Norwegian from: http://helsedirektoratet. no/publikasjoner/norkost-3-en-landsomfattendekostholdsundersokelse-blant-menn-og-kvinner-i-norge-i-alderen-18-70-ar/Publikasjoner/norkost-3-is-2000. pdf*.

US Office of Disease Prevention and Health Promotion. 2015. *Scientific Report of the 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee*. Accessed June 18, 2015. http://www.health.gov/dietaryguidelines/2015-scientific-report/.

Vittersø, G og T. G. Rosenberg (2014). Kjøtt og reklame. En studie av annonsering og reklame for kjøtt i det norske matmarkedet. SIFO oppdragsrapport nr. 4 2014

Weber, C. L., & Matthews, H. S. (2008). Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the United States. *Environmental science & technology*, *42*(10), 3508-3513.

Westhoek, H., Lesschen, J. P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D., Adrian Leip, A., van Grinsven, H., Sutton, M.A., Oenema, O. (2014). Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change,* 26, 196–205

WHO (World Health Organization) (2003). *Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation* (Vol. 916). Diamond Pocket Books (P) Ltd.

Wirsenius, S., Hedenus, F. &Mohlin, K. (2011). Greenhouse gas taxes on animal food products: rationale, tax scheme and climate mitigation effects. *Climatic Change,* 108, 159–184.

York, R., and Gossard, M. H. (2004). Cross-national meat and fish consumption: exploring the effects of modernization and ecological context. *Ecological economics*, 48(3), 293-302.