



NIBIO
NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet



Bygdeforskning



Norsk
Landbruksrådgiving



HØGSKOLEN
i INNLANDET

Økt norsk kornproduksjon gjennom forbedret agronomisk praksis

En vurdering av agronomiske tiltak som kan bidra til
avlingsøkninger i kornproduksjonen

NIBIO RAPPORT | VOL.3 | NR. 87 | 2017



Uhlen, A.K.¹, Børresen, T.², Kværnø, S.³, Krogstad, T.², Waalen, W.⁴, Strand, E.^{4,5}, Bleken, M.A.², Seehusen, T.³, Deelstra, J.³, Sundgren, T.⁵, Lillemo, M.⁵, Riley, H.³, Abrahamsen, U.³ og Øygarden, L.³.

¹ NMBU - Fakultet for biovitenskap, ² NMBU - Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, ³ NIBIO - Divisjon miljø og naturressurser, ⁴ NIBIO - Divisjon Matproduksjon og samfunn, ⁵ – NLR, Norsk Landbruksrådgiving.

TITTEL/TITLE

Økt kornproduksjon gjennom forbedret agronomisk praksis.

En vurdering av agronomiske tiltak som kan bidra til avlingsøkninger i kornproduksjonen.

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Uhlen, A.K.¹, Børresen, T.², Deelstra, J.³, Krogstad, T.², Waalen, W.⁴, Strand, E.^{4,5}, Bleken, M.A.², Seehusen, T.³, Kværnø, S.³, Sundgren, T.⁵, Lillemo, M.⁵, Riley, H.³, Abrahamsen, U.³ og Øygarden, L.³.

¹ NMBU - Fakultet for biovitenskap, ² NMBU - Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, ³ NIBIO - Divisjon miljø og naturressurser, ⁴ NIBIO - Divisjon Matproduksjon og samfunn, ⁵ – NLR, Norsk Landbruksrådgiving.

| | | | | |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| DATO/DATE: | RAPPORT NR./ REPORT NO.: | TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY: | PROSJEKTNR./PROJECT NO.: | SAKSNR./ARCHIVE NO.: |
| 19.06.2017 | 3/87/2017 | Åpen | 8576 | 17/02105 |
| ISBN: | | ISSN: | ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES: | ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES: |
| 978-82-17-01888-9 | | 2464-1162 | 47 | |

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Norges Forskningsråd

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Lillian Øygarden

STIKKORD/KEYWORDS:

Kornproduksjon, jordstruktur, jordpakking, jordarbeiding, drenering, pH i jord, kornproduksjon og omløp, kornsorter og sortsforedling, økte kornavlinger

Cereal production, soil structure, soil compaction, tillage, drainage, soil pH, rotations in cereal production, varieties and breeding, increased grain yield

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Planteproduksjon, jordfag, hydrologi, miljø og naturressurser

Crop production, soil science, hydrology, environmental science

SAMMENDRAG:

Økt produksjon av korn er viktig for å øke matproduksjonen i Norge i tråd med landbrukspolitiske målsettinger. Men den norske kornproduksjonen er betydelig redusert siden 1990, både på grunn av redusert areal og fravær av avlingsframgang. Å øke avlingene per areal enhet vil være nødvendig for å snu trenden og å øke den norske kornproduksjonen.

I BIONÆR-prosjektet AGROPRO (Agronomi for økt matproduksjon. Utfordringer og muligheter) er det forsket på jord, jordkultur og samspillet mellom jord og planter for å oppnå økt avling med



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

bærekraftige produksjonsmetoder. I denne rapporten beskrives kunnskapsstatus for et utvalg av agronomiske tiltak, og deres betydning for å oppnå økte kornavlinger.

Arbeidet er gjennomført av forskere og andre nøkkelpersoner med ekspertise på fagområdene innen jord og jordarbeiding, hydrologi og drenering, kornproduksjon og avlingsfysiologi, kornsorter og planteforedling. For hvert agronomisk tiltak er det tatt utgangspunkt i kunnskapsstatus, resultater fra feltforsøk, og andre relevante rapporter og statistikker. For å kvantifisere mulige avlingsøkninger av tiltakene er det i tillegg brukt faglig skjønn som er utfordret i gruppediskusjoner. Rapporten konkluderer med at kornavlingene kan økes med 20-25% gjennom de forbedrede agronomiske tiltakene som er vurdert. Tiltak som forbedrer dyrkingsjordens kvalitet og som reduserer/forebygger jordpakking er særlig viktige, og legger grunnlaget for ytterligere økninger av andre tiltak.

SUMMARY:

To increase the grain production is needed to meet the national goals of increased food production in Norway. But the grain production is being reduced since 1990 due to reductions in the cereal area in this period and also due to stagnations in yields. The research project AGROPRO (Agronomy for increased food production in Norway. Challenges and solutions), funded by the BIONÆR programme, the Research Council of Norway, has conducted research on soil science and soil-plants interaction in particular, to achieve increased grain production by improved agronomic practices. This report describes the potential to increase the grain yields by improved agronomic measures.

The work is carried out by researchers and experts on soil science, tillage, crop physiology, plant production and genetics and breeding. The status of knowledge is review for each agronomic measure, and quantifications of possible yield increases are being estimated. It is concluded that yield increases of 20-25% can be obtained based on the improved agronomic measures that have been evaluated. To improve soil quality and reduce, or prevent soil compaction is of overall importance, and are the prerequisites to obtain further yield increases from other measures.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Hele landet

GODKJENT /APPROVED



JANNES STOLTE

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



LILLIAN ØYGARDEN

Forord

Denne rapporten er utarbeidet i prosjektet «AGROPRO – Agronomi for økt matproduksjon. Utfordringer og muligheter» (2013 – 2017). AGROPRO er finansiert av Forskningsrådets Bionærprogram prosjektnummer 225330 og med egenfinansiering fra NMBU og NIBIO.

Agropro har fokusert på muligheter for å øke avlinger i grovfor og kornproduksjonen. Det ble organisert og gjennomført en egen aktivitet i prosjektet for å vurdere hvordan forbedret agronomisk praksis kan bidra til økt norsk kornproduksjon. Denne rapporten gir en kunnskapsstatus for et utvalg av agronomiske tiltak som har betydning for å oppnå økte kornavlinger. Det er også gjort en samlet vurdering av det totale avlingspotensiale ved å gjennomføre slike forbedringer. Det er det agronomiske potensialet for avlingsøkninger som er vektlagt i denne rapporten. Rapporten ble også utarbeidet for å gi et grunnlag for videre analyser av økonomi, lønnsomhet og muligheter for økt matproduksjon i andre deler av prosjektet.

Arbeidet er gjennomført av forskere og andre nøkkelpersoner med ekspertise på fagområdene innen jord og jordarbeiding, hydrologi og drenering, kornproduksjon og avlingsfysiologi, kornsorter og planteforedling. Det har vært et omfattende arbeid med å prøve å fremskaffe ny dokumentasjon.

Arbeidet har også vært knyttet til det internasjonale arbeidet med «Yield gap atlas» via den norske delttagelsen med Till Seehusen som kontaktperson i nettverket TempAg (Temperate Agriculture) der NIBIO er kontaktinstitusjon. Deltagelsen i TempAg er finansiert av LMD via kunnskapsmidler for nettverkstøtte til NIBIO. I dette samarbeidet med forskere i Nederland er teoretisk avlingspotensiale for korn beregnet for norske forhold. Prosjektgruppen i Agropro har vært knyttet til dette arbeidet med å fremskaffe data nødvendig for modellering, men også for å prøve å kvantifisere de enkelte faktorer som påvirker avlingsnivå. Dette arbeidet har vært ledet av Anne Kjersti Uhlen, NMBU - som også har koordinert arbeidet med denne rapporten. For de enkelte kapitler i rapporten er forfattere angitt.

Det rettes en spesiell takk til Arne Grønlund, NIBIO for arbeid med å fremskaffe data for kornavlinger siste ti år og tilrettelegge for dataanalyser på fylkes og kommunenivå. Karsten Dax, NIBIO har bidratt med kartfremstillinger av areal med kornavlinger på land, fylke og kommunenivå. Det rettes også takk til de som har bidratt til arbeidet med å fremskaffe data, men ikke er nevnt på forfatterlista.

Vi håper denne rapporten kan være til nytte og inspirasjon for videre arbeid med agronomiske forbedringer som kan øke kornavlingene.

Ås 15.06 .2017

Lillian Øygarden

Prosjektleder

Innhold

| | |
|--|----|
| 1 Innledning..... | 6 |
| 2 Arbeidsmetode og samarbeid | 7 |
| 3 Økt kornavling gjennom bedre jordstruktur, redusert jordpakking og tilpasset jordarbeiding | 8 |
| 3.1 Virkning av pakking under ploglaget | 8 |
| 3.2 Virkning av grunn pakking og ikke laglig jord ved jordarbeiding og såing..... | 9 |
| 3.3 Mer optimal jordarbeiding og kjøremønster på vendeteiger..... | 11 |
| 3.4 Jordløsning..... | 12 |
| 4 Virkning av drenering på kornavlingene | 13 |
| 4.1 Hvorfor drenering?..... | 13 |
| 4.2 Naturgitt dreneringsbehov | 14 |
| 4.3 Reelt dreneringsbehov | 15 |
| 4.4 Avlingseffekter..... | 16 |
| 4.5 Estimert nasjonal effekt..... | 17 |
| 4.6 Konklusjon | 17 |
| 5 Økt kornavling gjennom bedre vekstskifte | 19 |
| 5.1 Vekstskifte med åpenåkervekster; kornarter, oljevekster, erter/åkerbønne | 19 |
| 5.2 Næringstilgang..... | 21 |
| 5.3 Jordstruktur | 21 |
| 5.4 Konklusjon | 22 |
| 6 Økt kornavling gjennom forbedrede sorter og mer optimal bruk av arter og sorter | 23 |
| 6.1 Avlingsøkning i norsk korndyrking og betydning av sortsframgang | 23 |
| 6.2 Utnytte avlingsframgangen i nye sorter | 24 |
| 6.3 Økt dyrking av høstkorn | 24 |
| 6.4 Mer optimal arealfordeling av vårkornartene..... | 25 |
| 6.5 Kornsorter med toleranse mot vannmetning..... | 25 |
| 6.6 Konklusjon | 27 |
| 7 Økt kornavling gjennom mer optimal kalking | 28 |
| 8 Økt kornavling gjennom mer optimal bruk av plantevernmidler (soppmidler)..... | 30 |
| 9 Økt kornavling gjennom økt innhold av organisk materiale i jorda og omløp med eng..... | 31 |
| 9.1 Oppbygging og nedbryting av mold i jorda | 31 |
| 9.2 Aggregatstabilitet etter eng er viktigere enn moldinnhold for kornavlingene..... | 34 |
| 9.3 Endringer i klima og tiltak for å realisere en større andel av avlingspotensialet. | 36 |
| 9.4 Karboninnhold i jord og miljøeffekter | 37 |
| 9.5 Konklusjon | 37 |
| 10 Oppsummering og diskusjon | 38 |
| Litteratur | 43 |

1 Innledning

Denne rapporten er utført i prosjektet «AGROPRO – Agronomi for økt matproduksjon. Utfordringer og muligheter» i perioden 2013 - 2017. AGROPRO er finansiert over BIONÆRPROGRAMMET, Norges Forskningsråd, og forskningsutførende partnere er NIBIO, NMBU, Norsk Landbruksrådgivning (NLR), Bygdeforskning og Høyskolen Innlandet. Et av målene i AGROPRO er å bidra med kunnskap for å øke matproduksjonen basert på norske ressurser gjennom forbedret agronomisk praksis.

Økt produksjon av korn, både matkorn og fôrkorn, er en viktig forutsetning for å kunne øke matproduksjonen i Norge og opprettholde selvforsyningsgraden. Imidlertid har den norske kornproduksjonen stagnert på 90-tallet, og den har vært synkende på 2000-tallet. Årlige reduksjoner i kornarealet siden 1991 er en årsak til denne utviklingen, samtidig som avlingsøkningen per daa, som var sterkt økende i perioden fra 1960, har flatet ut. Det er kompliserte årsakssammenhenger bak denne utviklingen som omfatter både økonomiske forhold, strukturelle forhold i landbruket, og sosio-kulturelle faktorer i tillegg til de agronomiske.

Mulighetene for å snu denne trenden og øke kornproduksjonen har vært behandlet i flere rapporter (Vagstad et al. 2012, Hoel et al. 2013, Strand et al. 2013) der både de viktigste flaskehalsene og mulige tiltak er diskutert. Gjennom arbeidet i AGROPRO er det gjort mer forskning og flere vurderinger av mulighetene for å oppnå økt kornavling gjennom forbedret agronomisk praksis. AGROPRO har i særlig grad vektlagt forskning på jord, jordkultur og samspillet mellom jord og planter for å kunne oppnå økte avlinger basert på bærekraftige produksjonsmetoder for fremtiden. Innen produksjon av korn har AGROPRO gjort omfattende studier av forhold knyttet til jordas laglighet for jordarbeiding og kjøring for å unngå skadelig jordpakking, organisk innhold i jord og næringsforsyning, rot-studier og funksjonalitet av røtter, og kornarter- og sorters toleranse mot vannmettet jord. Dette er begrunnet i at det innen disse områdene er muligheter for å oppnå betydelige forbedringer i agronomien gjennom å bygge dypere kunnskap.

I denne rapporten oppsummeres kunnskapsstatus for et utvalg av tiltak som vi anser som viktige for å oppnå økte avlinger samtidig som krav om bærekraftige dyrkingsmetoder ivaretas. Det er også gjort anslag over hvor mye avlingene kan øke gjennom de forbedrede tiltakene, og en oppsummering av disse er gitt i rapportens siste kapittel (kapittel 10). I dette arbeidet har vi tatt utgangspunkt i agronomiske tiltak som er knyttet til forskningsaktivitetene i AGROPRO, og der vi har bygget dypere kunnskaper gjennom prosjektet. Noen tilgrensende tema er i tillegg trukket inn som også kan være av stor betydning for å oppnå økte avlinger. For disse tiltakene er kunnskapsstatus kun overflattisk beskrevet i denne rapporten.

Det må også presiseres at denne rapporten konsentreres om agronomiske forbedringer som kan gi økte kornavlinger uten å trekke inn vurderinger av økonomi og andre forhold som kan påvirke korndyrkernes valg. Analysene som er utført i dette arbeidet som en del av arbeidspakke 1 - «Forbedret agronomisk praksis» i AGROPRO, vil bli brukt videre i en total analyse av muligheter for økt matproduksjon sett i lys av ulike scenarier for samfunnsutviklingen i Norge som en del av arbeidspakke 4 – «Agronomisk potensiale for økt og bærekraftig matproduksjon».

2 Arbeidsmetode og samarbeid

Agronomiske tiltak som er vurdert i dette arbeidet er i hovudsak knyttet til de tema for forskning og kunnskapsoppbygning som er inkludert i AGROPRO. Med **agronomisk tiltak** menes i denne sammenheng "Ett tiltak (mann + redskap/teknologi) som brukes for å oppnå mål for planteproduksjonen gjennom å legge til rette for, styre eller høste produksjonen i et plantebestand av en jordbruksvekst.

Det er nedsatt flere arbeidsgrupper i prosjektet med sentrale forskere og ressurspersoner som har vurdert muligheter for avlingsforbedringer av ulike tiltak. Arbeidsgruppene har tatt utgangspunkt i resultater fra feltforsøk, relevante spørreundersøkelser, statistikker over avlinger eller andre agronomiske og naturgitte forhold. I tillegg har gruppe medlemmene brukt faglig skjønn som er utfordret i gruppediskusjoner. Ved gruppearbeid på prosjektsamling har også tverrvitenskapelig sammensatte grupper diskutert potensialet for avlingsøkninger av ulike faktorer. Resultatet har blitt beskrivelser av forbedrede agronomiske tiltak, og der det har vært mulig er det gjort en vurdering av hvor stor avlingsøkning det er mulig å oppnå av det enkelte tiltaket. Tiltakene som er vurdert og arbeidsgruppene sammensetning er vist i tabell 2.1.

Tabell 2.1. Agronomiske tiltak som er vurdert, og arbeidsgruppene sammensetning.

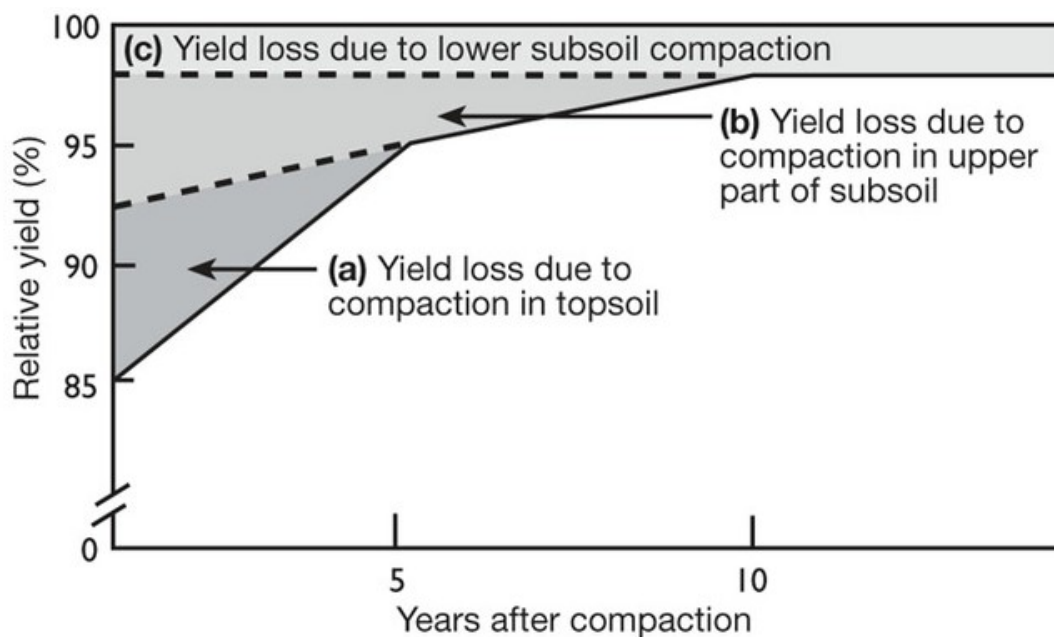
| Agronomisk tiltak | Arbeidsgruppene sammensetning |
|--|--|
| Økt kornavling (kg/daa) gjennom bedre jordstruktur, redusert jordpakking og tilpasset jordarbeiding. <ul style="list-style-type: none">- Virkning av pakking under ploglaget- Virkning av grunn pakking og ikke laglig jord ved jordarbeiding og såing- Mer optimal jordarbeiding og kjøremønster på vendeteiger- Jordløsning | <i>Trond Børresen, NMBU</i> <i>Hugh Riley, NIBIO</i> <i>Till Seehusen, NIBIO</i> |
| Økt kornavling gjennom optimal drenering | <i>Sigrun Kværnø, NIBIO</i> <i>Johannes Deelstra, NIBIO</i> |
| Økt kornavling gjennom bedre vekstskifte i kornområdene | <i>Wendy Waalen, NIBIO</i> <i>Unni Abrahamsen, NIBIO</i> |
| Økt kornavling gjennom forbedrede sorter og mer optimal bruk av arter og sorter <ul style="list-style-type: none">- Generell avlingsframgang- Økt kornavling gjennom bedre utnyttelse av dagen sorter- Utnytte kornsorters toleranse mot vannmetning | <i>Anne Kjersti Uhlen, NMBU</i> <i>Morten Lillemo, NMBU</i> <i>Tove Sundgren, NMBU</i> |
| Økt kornavling gjennom optimal kalking | <i>Tore Krogstad, NMBU</i> |
| Økt kornavling gjennom mer optimal bekjempelse av soppsykdommer | <i>Einar Strand, NIBIO/NLR, Unni Abrahamsen, NIBIO</i> |
| Økt kornavling gjennom å øke innholdet av organisk materiale i jorda | <i>Marina A. Bleken, NMBU</i> <i>Tore Krogstad, NMBU</i> |

3 Økt kornavling gjennom bedre jordstruktur, redusert jordpakking og tilpasset jordarbeiding

Till Seehusen, Hugh Riley og Trond Børresen

3.1 Virkning av pakking under ploglaget

Mens pakkeskadene i det øverste jordlaget ofte kan rettes opp ved mekaniske tiltak etc, kan pakking av jorda under ploglaget ha negative virkninger på avlingene i mange år selv om det pløyes og jorda ikke utsettes for videre pakking (Gysi et al. 1999, Håkansson et al. 1987). Siden hverken jordarbeidings-tiltak, planterøtter eller klimaprosesser virker særlig dypt, blir pakkingsskader under 50 cm dybde ofte karakterisert som varige skader (Håkansson et al. 1987). Dess dypere jordstrukturen påvirkes dess lengre varighet vil effekten på avlingene være. Forsøk har vist at disse skadene kan redusere viktige jordprosesser som drenerings hastighet og kan gi en varig nedgang i arealproduktiviteten (Håkansson and Reeder 1994).



Figur 3.1.1 Relativ avling på pakket jord sammenliknet med upakket jord med pløyning (Håkansson and Reeder 1994).

Jordas fuktighetsforhold ved kjøring, maskinens vekt, antall overkjøringer, dekkutrustning, luftrykk i dekk og ikke minst jordart er avgjørende for hvor dypt jorda påvirkes (Håkansson et al. 1987, Botta et al. 2002, Chamen et al. 2003). Terranimo er et planleggingsverktøy som kan brukes for å beregne risikoen for pakkingsskader nedover i jordprofilen. Terranimo (www.terranimo.dk) vil derfor kunne hjelpe bonden til å ta beslutninger om kjøretidspunkt og tilpasse maskinene sine til rådene jord- og nedbørsforhold. I Agropro er Terranimo tilpasset norske forhold med bla, jordtyper, maskiner.

Agronomisk tiltak som er vurdert: Bedre jordstruktur og redusert jordpakking gjennom å ta i bruk Terranimo som beslutningsstøtteverktøy (for eksempel; tidspunkt for jordarbeiding, råd om hjulutrustning, dekktrykk, maskintyngde etc., unngå pakking også ved spredning av husdyrgjødsel og ved høsting). Utfra eksisterende data og kunnskap om pakking i dybden så antar vi følgende avlingseffekt på kornavlinger i gjennomsnitt pr år:

Uten tiltak: -3 %

Med bruk av Terranimo: -1,5 %

Effekten av pakkeskadene er også avhengig av klimaforholdene og tallene nevnt ovenfor er basert på dagens klimaforhold. Klimamodellene (Hanssen-Bauer et al. 2015) derimot, varsler en økning i nedbørmengde både i sesongen og om høsten slik at pakkeskadene (reduisert infiltrasjon etc.) kan ha langt større avlingseffekt i framtida .

Welcome to Terranimo® International

Terranimo® is a model for prediction of the risk of soil compaction due to agricultural field traffic

Start Terranimo® by clicking one of the buttons to the right

The different versions provide country-specific soil types

Terranimo® Global Terranimo® Finland

Terranimo® Denmark Terranimo® Switzerland

Terranimo® Norway Terranimo® Belgium-Flanders

An introduction to Terranimo®

Terranimo finnes på norsk her: www.terranimodk

Terranimo er et hjelpemiddel for å kunne beregne risiko for jordpakking ved ulik maskinbruk. Bilde: www.terranimodk

3.2 Virkning av grunn pakking og ikke laglig jord ved jordarbeiding og såing

Dårlig jordstruktur i den øvre delen av jordprofilen, ploglaget og såbedet, oppstår gjerne i forbindelse med jordarbeiding og såing av kornet. Skaden her oppstår som en følge av pakking, men også av at jorda ikke er laglig dvs. passe tørr, for de arbeidsoperasjoner som skal foregå (Marti 1983, Riley 1983a, Keller et al. 2007). Strukturen i såbed og plogsjikt styrer veldig mange prosesser som er viktige for etablering av plantene og dermed kornavlingen og derfor blir også avlingsutslagene mye større sammenlignet med skader av strukturen dypere ned i jordprofilen. Imidlertid regnes disse skadene som relativt kortvarige og spesielt hvis en pløyer jorda, så vil effekten ofte være ettårig (Håkansson 2005). Bruk av Terranimo og Hugh Rileys modell «Laglighet for jordarbeiding til vårkorn i Norge:

Avlingstap ved jordpakking og utsatt såtid, og konsekvensene for optimal maskinkapasitet i forhold til kornareal» vil begge gi nyttig informasjon til bøndene til å bli enda bedre med å utføre våronnsarbeidet til rett tid og med passende maskiner (Riley 2016).

Tabell 3.2.1 viser prosentvis avlingstap som forventes i hver periode ved enten forsinket såing eller jordpakking når det ikke tas hensyn til jordas laglighet. Tidlig i perioden vil det være gunstig å vente med å utføre våronna til jorda er mer laglig da det ikke er noe vesentlig tap ved å utsette såingen. Mot slutten av april og i første halvdel av mai vil det også være mulig å oppnå gevinst ved å vente til jorda er mer laglig, uten veldig stort tap som følge av utsatt såing. Ved seinere såing enn dette begynner den negative effekten av utsatt såing å overskygge effekten av jordpakking.

Tabell 3.2.1. Avlingstap (%) ved forsinket såing og middels tap ved jordpakking for tre regioner beregnet med Hugh Rileys modell dersom man ikke tar hensyn til laglighet.

| Tidsrom | | 16.3 – 31.3 | 1.4 – 15.4 | 16.4 – 30.4 | 1.5 – 15.5 | 16.5 – 30.5 |
|---|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| <i>Avlingstap ved forsinket såing</i> | | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 8,1 | 26,9 |
| <i>Tapsrisiko pga. ved jordpakking:</i> | | | | | | |
| Sandjord | Sør-Østlandet | 19,0 | 14,4 | 9,5 | 6,9 | 6,7 |
| | Nord-Østlandet | 20,0 | 17,7 | 12,7 | 7,7 | 6,7 |
| | Midt-Norge | 20,1 | 17,2 | 14,6 | 9,6 | 8,3 |
| Leire/siltjord | Sør-Østlandet | 19,8 | 17,2 | 13,3 | 10,7 | 8,4 |
| | Nord-Østlandet | 20,2 | 19,1 | 15,9 | 11,9 | 10,0 |
| | Midt-Norge | 20,3 | 18,8 | 17,2 | 13,5 | 11,8 |

Tiltak som er vurdert: Riktig valg av tidspunkt av jordarbeiding/såing gjennom bedre kompetanse og bedre tilpasset maskinkapasitet. Det er vanskelig å sette tall på forbedringspotensial fordi dette vil variere fra gård til gård, og det er ikke mulig å vurdere maskinkapasiteten som brukes. For å få tall på dette må en vurdere hver enkelt enhet. Likevel antar vi følgende avlingseffekt på kornavlinger i gjennomsnitt pr år:

Uten tiltak: -15 %

Med bedre tilpasset maskinkapasitet i forhold til areal: -10 %



Kjøring med tunge maskiner kan gi jordpakking og reduserte avlinger. Her måles fysiske endringer i jordprofilen under kjøring. Bilder: Till Seehusen.

3.3 Mer optimal jordarbeiding og kjøremønster på vendeteiger

Vendeteigene blir utsatt for stor belastning ved gjentatt vending med alt arbeid på et skifte. Forsøk viser at vendeteiger blir overkjørt opp til 40 ganger i løpet av sesongen (Duttmann et al. 2013). Fra forsøk med jordpakking vet vi at antall kjøring har stor betydning for omfanget av skadene som oppstår på jorda og dermed også avlingsnedgangen (Seehusen et al. 2014a, Seehusen et al. 2014b). På vendeteiger vil det i tillegg til vertikal belastning (vekt av maskin) oppstå horisontal belastning (skjærspenninger) på grunn av snuing og rygging som forsterker den totale belastningen på jorda (Kirkby 1991, Horn et al. 1995). Det er gjort noen studier av virkningen på avlinger av vendeteiger i Norge som er brukt som grunnlag for vår vurdering i tillegg til annen litteratur om jordpakking der antall overfarer er studert (Solberg 2013). Når det gjelder hvor mye areal som brukes som vendeteig, så vil det variere mye med størrelse og form av skiftet, men også av mekaniseringslinje og arbeidsoperasjoner. Jo mer uregelmessig utformet skiftene er og jo større forholdet mellom lengde og bredde, jo større blir den interne kjørestrekningen. Andelen av kjøresporene kan utgjøre så mye som 60 % av arealet (Duttmann et al. 2013), avhengig av mekaniseringslinje, kjøremønster og arbeidsoperasjoner. Vi har angitt et grovt estimat for dette arealet. Når det gjelder tiltak så har vi forutsatt at en ved tilpasset kjøremønster og bruk av GPS kan forenkle og redusere belastningen på vendeteigen, men ikke ta den helt bort.

Det er ikke vurdert andre effekter som kan virke negativt inn på avlingene på vendeteiger slik som kantvegetasjon som reduserer lysforhold og opptørking.

Vendeteig som % av skiftets areal vil variere veldig mye. Vi anslår 15% av arealet brukes som vendeteig, men vi har ikke funnet statistikk som kan underbygge dette.

Ut fra eksisterende data og kunnskap om forholdene og bruk av vendeteigene så antar vi følgende avlingseffekt på kornavlinger i gjennomsnitt pr år:

Uten tiltak: -3% (20 %avlingsreduksjon på 15% av arealet)

Med bedre tilpasset kjøremønster på vendeteiger: -1,5 %

Disse avlingstapene er sett i forhold til normal avlinger på skiftet som er påvirket av forholdene i punkt 1 og 2.

3.4 Jordløsning

Jordløsning er jordarbeiding som går dypere enn vanlig bearbeidingsdybde på skiftet og er utført med redskap som ikke forstyrrer og blander jorda mye slik som ved grubbing. Det er utført flere forsøk for ca 25 år siden, men også i den seinere tid med denne type jordløsning (Riley 1983b, Enger 1989, Erbach et al. 1992, Hansen 2016, Seehusen 2017). Vi har her vurdert jordløsning som arbeider etter samme prinsipp som Dalbo Ratoon eller Kverneland CLE og mye av det utstyret som selges vil kunne sammenlignes med disse. Det er heller ikke vurdert andre tiltak sammen med mekanisk jordløsning f.eks kalking, eller bruk av pionervekster.

Det er mange forhold med jordløsning som vil kunne påvirke den effekten som en får på avling; vanninnhold i jorda ved løsning, arbeidsdybde, jordart, dreneringsforhold etc. Det kan også være slik at jordløsning er aktuelt på arealer som har stor erosjonsrisiko sammenlignet med høstpløying.

Det er midlertidig knyttet noen problemer til denne typen jordløsning. Forsøk og erfaringen viser at jordarbeiding under pløyelaget er svært kostbar i form av mye arbeid og stort dieselforbruk (Spoor 2006, Hansen 2016). Studier fra andre land viser at jordløsningen kan føre til at jorda løses så mye at den er utsatt for pakkeskader under påfølgende arbeidsoperasjoner og at jorda derfor pakkes enda mer (Chamen et al. 2003, Spoor 2006). Mekaniske tiltak alene kan sjelden gjenskape den originale jordstrukturen og jordløsningen kan resultere i store aggregater som er mindre porøse (Horn et al. 1995).

Dersom jordløsning gjennomføres med samme arbeidsdybde flere år på rad, kan dette føre til en etablering av en plogsåle i større dybde, som kan bli vanskelig å løse opp.

Ut fra eksisterende data og kunnskap om jordløsning til 30 – 50 cm dybde så antar vi følgende avlingseffekt på kornavlinger i gjennomsnitt pr år av jordløsning:

På skifter som pløyes til 20-25 cm: 0 %

På skifter som ikke pløyes: +10 %

Her er det antatt at det er hensynet til erosjon som gjør at areal ikke pløyes. Vi har derfor ikke lagt inn endring til f.eks høstpløying på disse arealene fordi det vil gi negativ virkning med hensyn til erosjon.



Forsøk med jordløsning av type Dalbo Ratoon/Kverneland CLE. Her studeres effekter på jordstruktur etter jordløsning i kornåker. Bilde: Håvard Simonsen.

4 Virkning av drenering på kornavlingene

Sigrun Kværnø og Johannes Deelstra

4.1 Hvorfor drenering?

En viktig konklusjon av Bioforsk-rapporten «Økt norsk kornproduksjon» (Hoel et al. 2013) er at kornavlingene (kg/daa) har stagnert. I rapporten er det omtalt begrensninger og tiltak innenfor en rekke temaer, blant annet at grøfting og dårlig drenering kan være en mulig årsak til stagnering i avling. Rapporten konkluderer blant annet med at et viktig tiltak er å heve kompetansen innen drenering, både i form av nye undersøkelser om hva som er optimalt, og gjennom å heve kompetansen i rådgivingsapparatet.

Klimaendringer er forventet å gi både økt temperatur og økt nedbør. Den forventede økningen i nedbør og antall nedbørsepisoder med høy intensitet kan, særlig på Østlandet og i Trøndelag, gi problemer med innhøstingen av korn, jordarbeiding og såing av høstvekster. Framtidas klima kan dermed føre til andre krav til dimensjonering av hydrotekniske tiltak.

Et formål med grøftesystemer er å sørge for optimale vekstforhold, og økt kjørlighet på jorda mht. jordarbeiding og transport. Plantenes rotsystem trenger luft. Drenering medvirker til raskere opptørring etter regnvær og mulighet for bedre utvikling av rotsystemet. På dårlig drenert, våt jord kan det ved gjentatte fryse-/tineepisoder dannes tette telelag, hvilket medfører forsinket våronn, og økt risiko for vinterskader/isbrann i f.eks. høstkorn.

På godt drenert jord er det bedre mulighet for å kjøre, jordarbeide og så på et tidligere tidspunkt etter snøsmelting om våren enn på dårlig drenert jord. Drenering gir også bedre mulighet for jordbruksaktiviteter etter nedbørsepisoder om våren og høsten, og det er større sjans for innhøsting til riktig tid. I mange tilfeller kan det være driftsmessige behov som utløser grøfting. Tendensen innen landbruket i dag er større driftsenheter, og større og tyngre maskiner. Dersom det ikke tas hensyn til jordas bæreevne, kan avlingsnivået bli negativt påvirket av dårlig jordstruktur pga. jordpakking og kjøreskader. Sentralt i denne problemstillingen er jordas såkalte *laglighet* for kjøring og jordarbeiding. Jordas vanninnhold er den viktigste faktoren som bestemmer om jorda er laglig eller ikke, og derfor er drenering viktig.



Kornåker med misvekst på grunn av dårlig drenering og vannmettet jord. Bilde: Wendy Waalen

I teorien er jorda laglig for jordarbeiding når den har et vanninnhold mellom krympegrensa og utrullingsgrensa, dvs. at jorda verken er tørr/hard eller våt/plastisk, men "fuktig" med "smuldrende" konsistens. Optimalt vanninnhold for jordarbeiding er definert som det vanninnholdet som gir størst andel små aggregater og minst andel store klumper (Dexter og Bird, 2001). Dette optimale vanninnholdet har vært oppgitt på flere måter, for eksempel som 90 % av vanninnholdet ved feltkapasitet (Riley, 1988), til en viss prosent (50-95 %) av vanninnholdet ved utrullingsgrensa (Allmaras et al. 1969; de Toro og Arvidsson, 2003; Keller et al. 2007), som en funksjon av utrullingsgrensa og flytegrensa (Kretschmer, 1996) eller korresponderende til infleksjonspunktet på jordas fuktighetskaraktistikk (Dexter og Bird, 2001). På sandige jordarter kan laglighet oppnås i løpet av relativt kort tid, fordi vanninnholdet ved utrullingsgrensa generelt er høyere enn ved feltkapasitet, mens på leirjord er vanninnholdet ved utrullingsgrensa lavere enn ved feltkapasitet (de Toro og Arvidsson, 2003). Dette tilsier at man på sandjord kan oppnå laglige forhold ved drenering alene, mens på leir- og siltjord må det i tillegg skje fordamping ettersom drenering kun tømmer det drenerbare porevolumet (vann mellom metning og feltkapasitet). Dette må man ha i bakhodet ved vurdering av om en høyere grøfteintensitet (tettere grøfting) kan være en løsning for å oppnå mer optimalt vanninnhold i jorda, særlig i forbindelse med forventede nedbørsforhold pga. klimaendring.

4.2 Naturgitt dreneringsbehov

I henhold til Jordsmonnsmarkkartlegging, som i dag dekker om lag halvparten av dyrka mark i Norge og gir et grovt anslag basert på utbredelsen av ulike jordsmonnsgrupper (klassifisert etter World Reference Base for Soil Resources, WRB) og disses dreneringsegenskaper, anslås det at ca. 60 prosent av den dyrka jorda i Norge fra naturens side er ufullstendig til svært dårlig drenert. Norsk institutt for skog og landskap (nå del av NIBIO) har i senere år utviklet temakart, basert på jordsmonnsmarkkartet, som viser hvor det er dreneringsbehov. Utfra dette kartmaterialet framgår en fordeling av andel jordbruksareal med dreneringsbehov som gitt i tabell 4.2.1.

Tabell 4.2.1 Jord med dreneringsbehov (Nyborg og Olsen, 2013).

| Fylke | Grøftebehov (% av jordsmonnsmarklagt areal) | Andel av dyrka areal som er jordsmonnsmarklagt (%) |
|----------------|---|--|
| Østfold | 83 | 100 |
| Akershus | 73 | 100 |
| Oslo | 67 | 100 |
| Vestfold | 66 | 100 |
| Telemark | 59 | 65 |
| Buskerud | 57 | 78 |
| Nord-Trøndelag | 57 | 64 |
| Hedmark | 24 | 50 |
| Oppland | 17 | 48 |

Årsakene til dreneringsbehovet varierer, og inkluderer: 1) høyt innhold av leir og/eller silt, 2) lettere jord med tett leire under, 3) flomutsatt jord som er vannmettet over lengre perioder, 4) grunnvannspåvirket organisk jord, og 5) diverse andre årsaker som er vanskelige å påvise ved kartlegging: grunnvannspåvirkning, tette lag dypere enn 1 m, etc. Klimaforhold (nedbørmengde og –intensitet) vil også påvirke det naturgitte dreneringsbehovet (temakartene tar ikke høyde for dette).

4.3 Reelt dreneringsbehov

Det reelle dreneringsbehovet, som følge av tilstanden til eksisterende dreneringssystemer og utfra hvilke områder som allerede er drenert eller ikke, finnes det ingen «objektiv» oversikt over. Vi kjenner til to undersøkelser som har gått inn på problemstillingen, og begge baserer seg på spørreundersøkelser. Tallene baserer seg derfor på brukernes egen opplevelse av situasjonen, og ikke på empiriske måledata.

I rapporten «Dreneringsbehov i norsk landbruk – økonomi i grøftingen» (Hauge *et al.*, 2011) er det vist til en spørreundersøkelse blant gårdbrukere i Østfold og Akershus (Refsgaard *et al.*, 2010), der brukerne ble bedt om å gi en vurdering av grøftetilstanden på jordbruksarealene (eid og leid areal). 515 brukere ble spurt, og svarprosenten var kun 35 %. Det kom fram at dersom en regner prosent utfra antall brukere som har svart, skulle 4 % av eid areal og 12 % av leid areal være svært dårlig til dårlig drenert, mens henholdsvis 50 og 21 % var svært godt til godt drenert. Omregnet til prosent av areal, var tallene 5-6 % svært dårlig til dårlig drenert for eid og leid areal, og henholdsvis 47 og 34 % svært godt til godt drenert.



Dårlig drenert jord trenger lang tid for opptørking etter regnvær. Kjøring på våt jord kan føre til jordpakking.

Bilder: Anne Grete Buseth Blankenberg

I Landbrukstellinga fra 2010 var det tatt inn et spørsmål om hvor mange dekar som kan karakteriseres som dårlig drenert, og i gjennomsnitt for hele landet var det 8 prosent av arealet som havnet i denne kategorien (tabell 4.3.1). Tallene for Akershus og Østfold var høyere i Landbrukstellinga enn det som kom fram av spørreundersøkelsen som referert til i Hauge *et al.* (2011).

Det er nødvendig å få kartlagt dreneringsstatus bedre for å kunne vurdere fremtidige behov for grøfting. Vurderingen av dreneringstilstand som kom fram gjennom Landbrukstellinga 2010, har ikke gitt informasjon om hva som ligger i begrepet «dårlig drenert». Er det for eksempel sidegrøfter eller samlegrøfter som ikke fungerer, er det jordpakking eller er det rett og slett jord som ikke er drenert?

Tabell 4.3.1. Jordbruksareal i 2010 og dårlig drenert jord etter fylke. Dekar. Fylker der grasproduksjon dominerer var også med i undersøkelsen, men resultatene gjengis ikke her. (Landbrukstellinga 2010).

| Fylke | Jordbruksareal (dekar) | Dårlig drenert jord (%) | Andel av dårlig drenert jord som er leid (%) |
|------------------|------------------------|-------------------------|--|
| Østfold | 744 464 | 12 | 53 |
| Akershus og Oslo | 782 478 | 15 | 49 |
| Hedmark | 1 057 011 | 7 | 49 |
| Oppland | 1 025 293 | 4 | 40 |
| Buskerud | 516 361 | 9 | 48 |
| Vestfold | 414 438 | 14 | 56 |
| Telemark | 250 895 | 10 | 54 |
| Aust-Agder | 110 589 | 9 | 62 |
| Sør-Trøndelag | 747 378 | 7 | 43 |
| Nord-Trøndelag | 878 716 | 6 | 35 |
| Norge | 10 067 804 | 8 | 48 |

4.4 Avlingseffekter

Det er få **forsøk** som sier noe om hvordan dreneringstilstand påvirker kornavlinger i Norge. Vi oppsummerer her det som foreligger av tilgjengelig informasjon:

Norske forsøk: Hove (1981) sammenliknet 4, 8, 16 og 32 m grøfteavstand på et leirjordsfelt i Vestby kommune i Akershus. Økt dreneringsintensitet ga en økning på 25-30 kg korn ved halvering av grøfteavstanden (4 m: ca 350 kg/daa, 8 m: ca 330 kg/daa, 32 m: ca 280 kg/daa). Avlingsøkningen hadde nær sammenheng med muligheten for tidligere våronn og såing. Grensen for laglighet (satt til en fasthet på over 200 Newton) ble nådd tidligere ved 4 m grøfteavstand, mens det ved de større grøfteavstandene ble forsinkelse pga. senere opptørking og nye nedbørsepisoder. Midlere såtid ble dermed forsinket med i gjennomsnitt 5-6 dager ved doubling av grøfteavstanden. Målinger på høsten viste at jorda var laglig for jordarbeiding i opptil 30 % lengre tid ved halvering av grøfteavstanden under fuktige forhold, mens det var lite forskjell i tørre år. Hove påpeker at forsøket er gjort på nydyrka granskogsmark, og at gammel kulturjord kan reagere på en annen måte.

Svenske forsøk: I Bohuslän og Värmland fant man en avlingsnedgang i vårkorn mellom 4-10 % 4 meter fra en grøft, og mellom 5-14 % avlingsnedgang i vårkorn 8 meter fra en grøft i grøfteforsøk med 16 og 32 m grøfteavstand. Forsøkene har imidlertid ikke benyttet seg av såtidspotensialet.

Spørreundersøkelse: I rapporten «Dreneringsbehov i norsk landbruk – økonomi i grøftingen» (Hauge et al., 2011) blir det henvist til en spørreundersøkelse blant gårdbrukere i Østfold og Akershus (Refsgaard et al., 2010). I undersøkelsen ble det også spurt om avlingsnivåer på jord med ulik grøftetilstand (tabell 4.3.1). Dataene antyder at det for alle kornarter unntatt høstvetete er en klar tendens til at avlingen øker med bedret grøftetilstand: kornavlingen (høstvetete, vårhvete, bygg og havre) øker i gjennomsnitt med 80 kg/daa (knapt 20 %) når grøftetilstanden forbedres fra «Dårlig» til «Svært god», og en forbedring fra «Brukbar» til «Svært god» grøftetilstand øker avlingen med 60 kg/daa (drøyt 10 %). Slike data er imidlertid forbundet med stor grad av usikkerhet. En feilkilde kan være at brukerne kan tro at dreneringen er bra fordi avlingene er høye selv om avlingsnivået egentlig skyldes andre forhold som god jordkvalitet, jordkultur eller sterk gjødsling. Data fra mer systematiske forsøk er derfor nødvendig for å si noe mer sikkert om avlingseffekter.

Tabell 4.4.1. Kornavlinger etter grøftetilstand 2007-2009, kg/daa. Antall svar i parentes. (Hauge et al., 2011).

| Vekst\tilstand | Ikke oppgitt | Dårlig | Brukbar | God | Svært god |
|----------------|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Høsthvete | 547 (33) | 549 (8) | 522 (65) | 519 (75) | 594 (18) |
| Vårhvete | 445 (29) | 375 (9) | 426 (75) | 438 (90) | 486 (19) |
| Bygg | 360 (36) | 364 (18) | 387 (127) | 416 (132) | 446 (23) |
| Havre | 403 (42) | 387 (20) | 428 (144) | 435 (139) | 467 (30) |
| Rug | 601 (5) | 0 | 414 (10) | 526 (23) | |
| Korn i alt | 436 | 407 | 431 | 445 | 497 |

4.5 Estimert nasjonal effekt

Det er egentlig ikke mulig å tallfeste hvilke avlingsnivåer som kan forventes nasjonalt dersom dreneringstilstanden forbedres der den i dag ikke er tilfredsstillende. Til det er det empiriske datagrunnlaget altfor svakt. Vi har kun ett forsøk på norsk jord der effekter av drenering på avling er dokumentert (se avsnitt 4.4), i tillegg til at vurdering av reell dreneringstilstand er basert på spørreundersøkelser der det ikke framgår hva deltakerne i undersøkelsen legger i begrepet «dårlig drenering» (se avsnitt 4.3 og 4.4).

Dersom vi bruker denne informasjonen uten å stille spørsmål ved forutsetningene og gyldigheten av resultatene, kan vi gjøre en grov beregning av mulig nasjonal avlingsøkning av å forbedre dreneringstilstanden. Vi antar da at avlingsøkningen kommer kun som resultat av forbedret drenering der det allerede dyrkes korn, og ikke omlegging fra eng til korn. Vi forutsetter videre en økning på 80 kg/daa der det er ansett å være dårlig drenert, basert på tallene fra avsnitt 1.3. Den nasjonale avlingsøkningen beregnes deretter som følger, pr. fylke (kun korndominerte fylker):

Nasjonal avlingsøkning (tonn) = jordbruksareal (daa) * andel dårlig drenert areal (%) * mulig avlingsøkning (tonn/daa)

Summert for de viktigste kornfylkene utgjør dette ca. 45 kilotonn korn. Total kornproduksjon i Norge er på ca. 1200 kilotonn, så avlingsøkningen tilsvarer da omtrent 4 %.

4.6 Konklusjon

Grøfting er utvilsomt en nødvendighet på mye av jordbruksarealene i Norge, og det er grunn til å tro at det kan forventes en avlingsøkning der dreneringstilstanden i dag er utilfredsstillende fordi det enten ikke er grøftet, eller fordi grøftesystemet fungerer dårlig pga. skader eller feil/utilstrekkelig dimensjonering. Det er imidlertid meget dårlig dokumentert hvor store arealer som er utilfredsstillende drenert, hvorfor de er det, og hvilke grep som må tas for å forbedre situasjonen. Det er også dårlig dokumentert hvilke effekter ulik dimensjonering av grøftesystemer har på hydrologi, avlingsnivåer og miljøeffekter (klimagassutslipp og næringsstofftap) i ulike regioner. Derfor er det tilnærmet umulig å kvantifisere hvilken effekt «forbedret dreneringstilstand» i Norge vil ha på avlingene. Basert på det tynne datamaterialet som er tilgjengelig, har vi i denne rapporten regnet oss fram til en mulig nasjonal meravling på om lag 45 kilotonn (4 % økning i forhold til dagens totale kornavling på om lag 1200 kilotonn) ved å forbedre dreneringstilstanden der denne oppfattes som «dårlig», men dette tallet er forbundet med meget store usikkerheter. Usikkerhetene øker ytterligere når man tar framtidig klimaendring med i betraktning – hvilke tiltak må til når nedbør, nedbørsintensitet og temperatur øker?

Det er ikke gitt at oppgradering av grøftesystemer og/eller økt grøfteintensitet alene holder som tiltak på jord som av naturgitte og menneskeskapte årsaker har en begrenset evne til å kvitte seg med overskuddsvann. Jordpakking og kjøreskader er et helt konkret problem som hindrer transport av vann ned i og gjennom jorda, og under slike forhold vil økt dreneringsintensitet antakelig ikke få tilsiktet effekt. Mer generelt inneholder leir- og siltjord så mye vann at drenering ikke er tilstrekkelig til å få ut nok vann til at jorda blir laglig for kjøring og jordarbeiding – fordamping må også til. Da må tørkeperioder mellom nedbørsepisoder være så langvarige at jorda rekker å tørke ut nok, og ved framtidig klimaendring vil dette bli en enda større utfordring.

Vi vil på det sterkeste anbefale at forskning (eksperimentelt og modellering) på effekter av grøfting på plantevekst, jordkvalitet og vannkvalitet kommer på agendaen, slik at man kan få bedre dokumentasjon og kvantitative tall for de positive og negative konsekvensene av ulik dimensjonering av grøftesystemer.



Etter at tilskudd til drenering ble gjeninnført har dreneringsaktiviteten økt. Bilde: Lillian Øygarden

5 Økt kornavling gjennom bedre vekstskifte

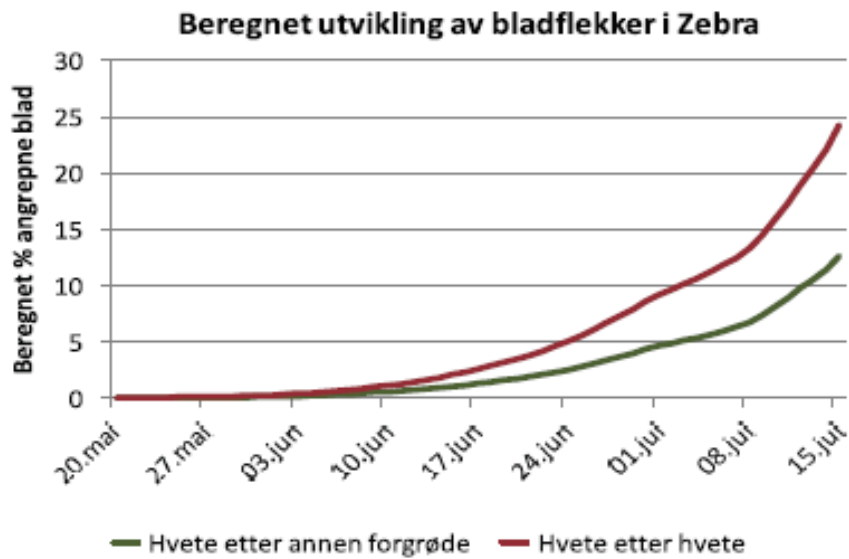
Wendy Waalen og Unni Abrahamsen

5.1 Vekstskifte med åpenåkervekster; kornarter, oljevekster, erter/åkerbønne

Vekstskifte er et viktig men ofte undervurdert jordforbedrings- og plantevern tiltak i korndyrkinga. Vekstskifte er kjent for å ha positiv effekt på både avlingsmengde 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 ugrasbekjempelse, moldinnhold og mikrobiologisk aktivitet i jorda, og kan redusere problemer med skadeinsekter. Noen av effektene er kortvarige, andre varer over flere år. Mulighetene for gode vekstskifter i korndyrkinga i Norge er relativt begrenset og varierer med tilgjengelig veksttid, jordart og med leveringsmuligheter for avlinga. Skal en ha gode vekstskifter uten å investere mye i nye maskiner, er de mest aktuelle vekstene for de fleste kornprodusentene vårrybs, vårraps, erter eller åkerbønner. Havre har også stor verdi i vekstskifter med mye bygg og hvete, fordi havre har få felles skadegjørere med disse kornartene. For noen er det aktuelt å dyrke gras- og kløverfrø. Flerårig eng, poteter og grønnsaker er også gode vekselvekster. For de som selv ikke ønsker å drive så allsidig, kan jordbytte være gunstig både for grønt-produsent, for husdyrprodusent og for kornbonde.

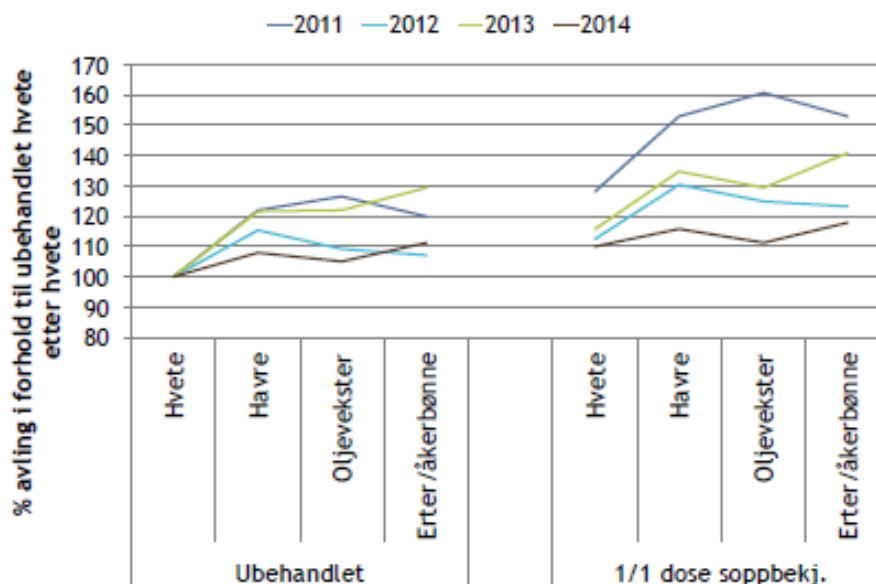
Soppsjukdommer er en vanlig og viktig årsak til avlingsnedgang ved ensidig korndyrking. Best effekt av vekstskifte får en derfor ved å veksle mellom arter som har få eller ingen felles sjukdommer. Vekstskifte er effektivt mot sjukdommer hvor smitten overlever i jorda og på planterester fra forrige år. Planterestene brytes ned av mikroorganismer i jorda, og ett år med ikke-mottagelig art vil redusere smittenivået betraktelig. Ved redusert jordarbeiding uten pløying, og dersom halmstubb blir revet opp ved f. eks. harving på våren, vil smitte kunne overleve lenger, og det kan dermed være behov for to år med vekselvekst. Enkelte sjukdommer som lever på planterester, kan i tillegg spres med sporer i lufta, som f.eks. hveteaksprikk, hvetebladprikk og aksfusariose. Effekten av smittesaning ved vekstskifte kan da bli redusert, men «gode» forgrøder vil likevel ofte avverge tidlige angrep og dermed redusere skader og plantevern-behov. Sjukdommer som mjøldogg og gulrust påvirkes ikke av vekstskifte, men er avhengig av å overvintre på levende plantemateriale. I områder der høstkornet har spirt før vårkornet er tresket, risikerer en tidlige angrep av disse sjukdommene fordi smittespredning og angrep kan skje allerede om høsten (grønn bro).

Figur 5.1.1 viser beregnet utvikling av bladflekksjukdommer i VIPS i Zebra vårhvete uten pløying med hvete som forgrøde (rød kurve), og med annen vekst som forgrøde (grønn kurve). I praksis vil forskjellen i angrepsutvikling hos hvete med annen forgrøde enn hvete, kunne utsette «varsel» om behov for sjukdomsbekjempelse med rundt 10 dager.



Figur 5.1.1 Forventa utvikling av bladfleksjukdommer i hvete etter ulike forgrøder.

I en forsøksserie der en undersøkte virkningen av ulike forgrøder på angrep av bladfleksjukdommer i Zebra vårhvete (figur 5.1.2), ga ubehandlet hvete med sjukdomssanerende forgrøde avling på nivå med hvete etter hvete med full dose soppbekjempelse. Kombinasjon av «gode forgrøder» og soppbekjempelse ga ytterligere meravlinger. Meravlingene var størst i år med sterke sjukdomsangrep. I gjennomsnitt for ulike soppbekjempingsstrategier ga «sjukdomssanerende forgrøder» en merverdi av hveteavlingen på 180 kr/ daa (14 %) i gjennomsnitt for alle felt og år.



Figur 5.1.2. Prosentvis avlingsøkning i hvete ved ulike forgrøder, sammenlignet med hvete etter hvete. Gjennomsnitt av 5 felt hvert år.

5.2 Næringstilgang

De fleste aktuelle vekselvekster har planterester som er mer nitrogenrike enn kornhalm, og bidrar dermed til neste års næringsforsyning. Erter, åkerbønner og kløver har i tillegg nitrogenrike bakterieknoller på røttene. Planterestene etter havre er som for de andre kornartene nitrogenfattig. Best utnyttelse av næringsstoffene i nitrogenrike planterester fra f.eks. høstraps, rybs og erter får en dersom en sår høstkorn. Det vil imidlertid i de fleste år være for seint å så høsthvete etter vårraps og åkerbønne. Risikoen for tap av nitrogen fra planterestene varierer med vinterklima, jordart og jordarbeiding. Forsøksresultater tilsier at en etter gode forgrøder bør øke den forventede avlingen noe ved gjødslings-planleggingen.

Abrahamsen & Brodal (2016) viser at i gjennomsnitt har meravlingen for korn etter ulike proteinvekster vært 10 prosent i norske forsøk (tabell 5.2.1), sammenlignet med hvete som forgrøde. En har oppnådd en øking i hektolitervekten på mellom en halv og en kg, en øking av 1000-kornvekten på noe over 1 g. Proteininnholdet har økt med 0,3 prosentenheter. På grunn av at avlingen ble betydelig større etter proteinvekster, har opptaket av nitrogen i kornavlingen økt med 1,2 kg per dekar i gjennomsnitt for alle feltene. Største delen av det økte opptaket har gått til å øke avlingen, en mindre andel til økt proteininnhold.

Tabell 5.2.1. Avlingsmengde og andre avlingsparametre for hvete i gjennomsnitt for til sammen 34 sammenligninger av hvete etter hvete med hvete etter en proteinvekst (oljevekster, erter eller åkerbønne) i perioden 2013 – 2016. Feltene ble behandlet mot sjukdommer dersom feltverten har vurdert det som nødvendig (Abrahamsen & Brodal, 2016).

| Forgrøde | Avling kg/daa | Rel. Avling | Avlings- verdi kr/daa* | HI-vekt kg | 1000- korn vekt g | Vann % v/ høsting | Protein % | Opptatt N kg/daa |
|--------------|------------------|----------------|------------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------------|
| Hvete | 594 | 100 | 1817 | 78,9 | 36,0 | 18,9 | 12,4 | 10,8 |
| Proteinvekst | 652 | 110 | 1999 | 79,6 | 37,2 | 19,4 | 12,7 | 12,0 |
| P % | 0,08 | | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 1,5 | 0,4 | <0,01 |
| LSD 5 % | 31 | | 92 | 0,3 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 0,5 |

*Priser og vilkår 2016/17.

5.3 Jordstruktur

Flerårige vekster har stor rotmasse, og vil ha gunstig effekt på jordstruktur og moldinnhold. Moldinnholdet har betydning for næringstilgang, mikrobiologisk aktivitet og vannlagring. Blant de ettårige vekstene er det også stor forskjell på røttenes voksemåte. Raps og åkerbønner har kraftige pålerøtter som har evne til å løsne jord. Rybs har også pålerøtter, men de er ikke så kraftige som hos raps. Høstoljevekster har kraftigere og dypere røtter enn våroljevekstene. Erter har en stor hovedrot ved gode vekstforhold, men erter trives svært dårlig i tett jord, og har liten evne til å løsne pakket jord. Arter med lang veksttid bruker mer vann utover høsten enn kornplantene. Opptørring og spreking påvirker jordstrukturen positivt. Vekster med mye rotmasse og/eller dype røtter vil ha gunstigst effekt.

En oppsummering av effekter av ulike forgrøder er gitt i tabell 5.2.2, der betydningen av positive og negative effekter er angitt med henholdsvis antall + og -.

Tabell 5.2.2 Effekter av ulike forgrøder til bygg/hvete

| | | Sjukdoms- sanering | N-effekt | Ugras | Jordstruktur |
|---------------|--|-----------------------|----------|-------|--------------|
| Havre | | ++ (-)* | | + | + |
| Erter | | +++ | +++** | - | + |
| Åkerbønne | | +++ | +++ | - | ++ |
| Vårrybs | | +++ | ++ | - | +(+) |
| Vårraps | | +++ | ++ | - | ++ |
| Høstraps | | +++ | +++** | - | +++ |
| Eng | | ++++ | ++ | + | ++++ |
| Kløverrik eng | | ++++ | ++++ | + | ++++ |
| Potet | | +++ | + | + | ± |

* (-) Havre som forgrøde gir økt risiko for fusarium,** +++ ved såing av høsthvete, ++ ved vårsådd korn, ± Det er fare for jordpakking ved ulagelige forhold spesielt ved innhøsting

5.4 Konklusjon

Vekstskifte har mange positive effekter, men korndyrkinga i Norge foregår i stor grad i ensidige kornomløp. Kanaliseringspolitikken i Norge med konsentrasjon av korn/åpenåkervekster på Østlandets flatbygder og i Trøndelag er en viktig årsak. Mulighetene for gode vekstskifter i dette åpenåkerbruket i Norge er relativt begrenset og varierer med tilgjengelig veksttid, jordart og med leveringsmuligheter for avlinga. De viktigste vekstskiftene å ta inn i et kornomløp er erter, åkerbønne, oljevekster, potet og i noen grad frøproduksjon av gras og kløver.

NIBIO har utført nye forsøk som sammenligner forgrøder til korn og ulike omløp av oljevekster og havre, og flere resultater vil komme i løpet av de nærmeste årene. Resultatene av tidligere forsøk viser at også havre er en god forgrøde til hvete. Proteinvekster som forgrøde til hvete har gitt en meravling av størrelsesorden 10%.

Mulighetene for å få til bedre vekstskifter i korndyrkinga vil være begrenset av etterspørselen av korn og andre frøvekster. For tiden er det norsk markedet dekket for havre, men det er mulig å øke produksjonene av erter, åkerbønne og oljevekster.

Estimering av økt kornavling ved mer optimale vekstskifter er vanskelig. Gruppen har anslått tapt avlingspotensiale i korndyrkinga på grunn av ikke-optimale vekstskifter til 6%. Gjennom forbedringer i vekstskifte, og at disse forbedringene kan skje på 50% av arealene, kommer gruppen fram til redusert tap i kornproduksjonene på 3 %.

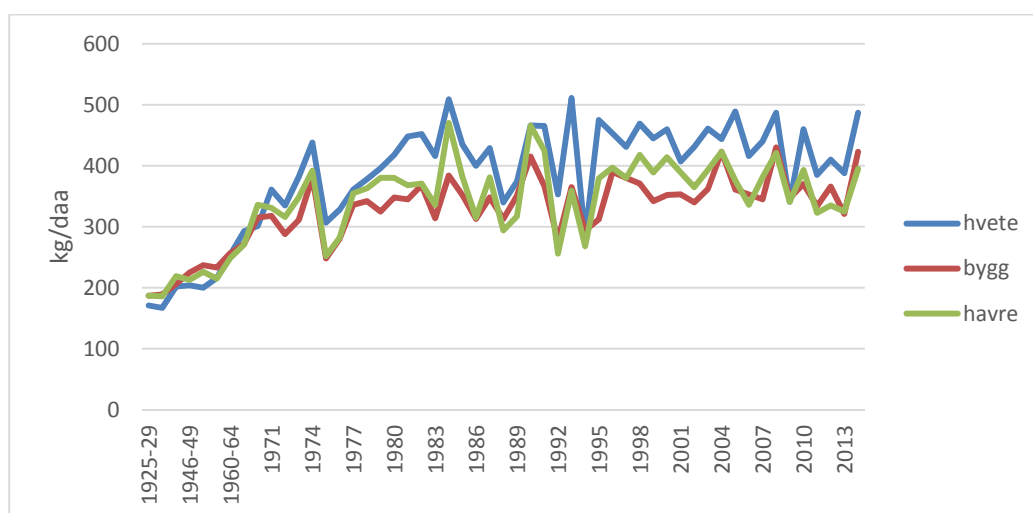
6 Økt kornavling gjennom forbedrede sorter og mer optimal bruk av arter og sorter

Anne Kjersti Uhlen, Morten Lillemo og Tove Sundgren

6.1 Avlingsøkning i norsk korndyrking og betydning av sortsframgang

Gode og tilpassede sorter er et nødvendig grunnlag for en effektiv planteproduksjon av god kvalitet. Kornproduksjonen i Norge foregår på arealer som ligger lengre mot nord enn i de fleste andre kornområder og dette betyr at vi må ha tilgang på sorter som er tidlige nok og som er tilpasset vår relativt korte vekstsesong. Vi har i gjennomsnitt lavere temperaturer gjennom sesongen enn de fleste andre korndyrkingsområdene. Dette påvirker fenologisk utvikling slik at plantene bruker lengre tid til aksskyting og får en lengre kornfyllingsperiode. Lengre varighet av disse fasene vil normalt føre til høyere avling, men setter begrensning for hvor sene våre kornsorter kan være. Det betyr at de relativt tidlige sortene som vi dyrker i Norge har et lavere avlingspotensial enn de som dyrkes i sørligere områder som f. eks. Danmark, Tyskland, Frankrike og UK. Tilgang på sorter som er tilpasset vårt klima i dag og i fremtiden er av stor betydning for at vi kan utnytte våre naturgitte forhold og potensialet for kornproduksjon.

Avlingsframgangen (kg/da) i den norske kornproduksjonen (figur 6.1.1) viser sterkt avlingsøkning i perioden fra ca 1960 og til midten av 80-åra. Dette er en periode med både viktige endringer i sortsmaterialet (utvikling av nye plantetyper med kortere strå og høyere høsteindeks), og med viktige forbedringer av dyrkingsteknikken. De nye sortene gav grunnlag for mer intensiv dyrking, og dette ga muligheter for å øke avlingene ytterligere. I gjennomsnitt økte byggavlingene på Østlandet med ca 200 kg/daa i denne perioden. Beregninger viser at ca. en tredel av denne avlingsøkningen skyldes bedre sortsmateriale (Strand 1994). En studie av byggdyrkingen i Trøndelag 1946-2008 viser en lignende utvikling (Lillemo et al. 2010), med avlingsøkninger (bondens avling) på 25,6% i perioden 1960 – 1980. Den genetiske framgangen gjennom nye sorter utgjorde 43,4% av denne avlingsøkningen.



Figur 6.1.1 Avlingsutvikling i kornproduksjonen 1925 – 2014. Data fra SSB.

I perioden etter 1990 viser ikke avlingsstatistikken i Norge økende avlinger (Figur 6.1.1). Resultatene fra sortsforsøkene (offisiell verdiprøving) viser imidlertid en fortsatt avlingsframgang i nye sorter fram

til for perioden 1990 – 2014 tilsvarende 0,5% og 0,8% i henholdsvis bygg og vårhvete (Seehusen et al. 2017). Stabbetorp (2017) har i sine beregninger funnet en sortframgang de siste 20 årene i bygg, havre og mathvete på henholdsvis 30, 50 og 70 kg korn per dekar. Dette betyr at avlingsframgangen vi har hatt gjennom forbedrede sorter siden 1990 ikke har gitt utslag på avlingsstatistikken over oppnådde avlinger i gjennomsnitt. Dette betyr også at dagens markedssorter har et betydelig høyere avlingspotensial enn det som blir oppnådd i praksis.

Årsakene til at vi ikke har fått meravling på grunn av nye sorter de siste tiår kan ha kompliserte årsakssammenhenger. Det er imidlertid store variasjoner i avlingene som oppnås på ulike bruk og i ulike regioner. Det er derfor rimelig å anta at dyrkere som tar store avlinger har hentet ut en god del av avlingspotensialet som nye sorter har gitt. Likevel har dette ikke kommet frem i de oppnådde gjennomsnittsavlingene i perioden etter 1990.

6.2 Utnytte avlingsframgangen i nye sorter

I beregningene legges det til grunn at dagens sorter har et avlingspotensiale som er betydelig høyere enn det som tas ut i dagens avlinger, og at det vil være mulig å ta ut mer av dette potensialet enn det vi gjør i dag. Dersom vi har hadde tatt ut avlingsframgangen i nye sorter i perioden 1992 – 2014 i bygg og vårhvete på henholdsvis 0,5 og 0,8% per år (Seehusen et al. 2017), ville dette ha gitt en avlingsøkning på henholdsvis 10% og 16% i den siste 20-års-perioden. Resultater fra sortsforsøkene som gir høyest avling («beste sortforsøk») viser at dagens markedssorter kan gi grunnlag for større meravlinger enn dette. En forutsetning for at dette skal tas ut i aktuelle avlinger (bondens avling) er at både jordkultur og dyrkingsteknikken følges opp. Forventet meravling må følges opp i gjødselplaner (jfr. prinsipp om bærekraftig intensivering). Det må legges til grunn at gjødslingen (mengde og tidspunkt) skal tilpasses forholdene på det enkelte skifte i den enkelte sesong for å hindre økte miljøavtrykk. Det vil også være en forutsetning at plantevern utføres på en optimal måte, og andre at andre avlingsbegrensende faktorer må løses. Vår vurdering er at dagens sorter har et betydelig større avlingspotensial enn det som blir tatt ut i dagens avlinger, og at det er andre avlingsbegrensende faktorer som må løses for å oppnå økt kornavling. Det kan fortsatt forventes avlingsframgang i nye sorter som vil bidra til en ytterligere heving av avlingspotensialet i årene som kommer.

6.3 Økt dyrking av høstkorn

Høstkorn gir høyere avlinger enn vårkorn, og høstrug har gitt de aller høyeste kornavlingene. Høstrug har imidlertid mindre avsetningsmuligheter i det norske markedet. Høsthvete har i gjennomsnitt gitt ca. 20% meravling i forhold til vårhvete (SSB, Seehusen et al. 2017). Å øke arealet av høsthvete kan dermed gi betydelig økning i avlingene. Imidlertid viser arealstatistikken for høsthvete store svingninger, og forholdene for såing på høsten synes å være den viktigste årsaken. Mye nedbør i perioden som er aktuell for såing av høstkorn har i enkelte år gjort det svært vanskelig å få etablert høstkornet. Når forholdene ligger til rette for å så høstkorn, har arealet med høsthvete blitt stort. Det viser at interessen for å dyrke høstkorn er stor, og at bøndene i stor grad utnytter disse mulighetene i dag. For å kunne utnyttet norsk korn som matkorn er det av kvalitetsmessige grunner viktig å dyrke et stort areal av vårhvete med mindre det kommer høsthvetesorter på markedet med forbedret bakekvalitet. Det betyr at økt høsthvededyrking ikke bør føre til reduksjoner i arealet av vårhvete. Dyrking av høstbygg kan bli mer aktuelt, men per i dag har vi liten erfaring med hvilken meravling vi kan oppnå med høstbygg sammelingen med vårbygg. Vår vurdering er at økt høstkorndyrking kan ha et stort potensial for å øke kornavlingene, men at værforholdene på høsten fortsatt vil føre til store svingninger i arealet. Det bør likevel være mulig å øke arealet av høstkorn noe. Endringer i markedsførholdene (eks. marked for fôrhvete og evt. også for rug) kan gi økte muligheter for høstkorndyrking.

6.4 Mer optimal arealfordeling av vårkornartene

Avlingsstatistikken i Norge viser at vårhvete tar høyere avlinger enn havre, og bygg får litt lavere avlinger enn havre. Dette avspeiler ikke kornartenes innbyrdes avlingspotensiale, men heller at vårhvete ofte blir prioritert i produksjonen på de beste arealene, etter bedre forgrøder, og får det beste stellet. Behov i markedet blir i stor grad bestemmende for hvordan den optimale fordelingen av kornartene bør være, og endringer i målprisen kan stimulere til endringer i arealfordelingen. Utsiktene for de kommende årene er at markedet ønsker mer hvete, og mindre av havre og bygg. Dette vil stille økte krav til dyrkingsteknikken og særlig til bevisst bruk av forgrøder for å unngå avlingsreduksjon i vårhvete dersom arealet skal økes betydelig. Vår vurdering er at det ikke kan forventes avlingsøkninger av betydning gjennom en mer optimal arealfordeling av vårkornartene.

6.5 Kornsorter med toleranse mot vannmetning

Økte utfordringer knyttet til utilstrekkelig drenering, økt jordpakking og klimaendringer som vil gi mer nedbør var bakgrunnen for at AGROPRO startet opp et studie av kornsortenes toleranse mot vannmetning/anaerobe forhold i jorda. Et stort antall sorter og linjer i bygg og hvete har blitt testet i feltforsøk som ble utsatt for vannmetning i en periode fra 3-bladstadiet hos kornplantene. Resultatene har påvist genetisk variasjon i sortenes toleranse mot vannmetning, og de indikerer også flere mulige mekanismer bak denne egenskapen. Tabell 6.1 viser relative avlingstall for noen utvalgte sorter og linjer av vårhvete i 2015 og 2016, samt bygg i 2016. Tallene oppgir relativ avling oppnådd etter en vannmetningsbehandling i forhold til kontroller (uten vannmetningsstress). Sortene i tabellene er de som har vist best toleranse. Gjennomsnittlig relativ avling var 34% for vårhvete i 2015 og 2015. I bygg var den 15%. Bjarne og GN07525 hadde best resultat på 37 og henholdsvis 43%, mens Brage var den byggsort som hadde høyest relativ avling. Differensen mellom gjennomsnitt og høyest relativ avling (dvs. Bjarne, GN07525 og Brage) var 3, 9 og 1%. Disse verdiene kan muligens betraktes som en indikasjon på avlingsøkningen som kan oppnås dersom foredling av mer tolerante sorter skulle iverksettes.

Kvantifisering av hva dette kan bety i form av % avlingsøkning er komplisert. Vi trenger mer utprøving for å kunne si noe om hvor mye meravling tolerante sorter kan gi under praktisk dyrking. Men resultatene har vist at noen av våre viktige markedssorter, som Bjarne, Zebra, Mirakel, Brage og Arve er blant de som har en god toleranse mot vannmetning. Resultatene tyder også på at det kan være mulig å foredle nye sorter som har en noe bedre toleranse mot vannmetning enn de beste av dagens sorter. Samtidig kan kunnskap om toleranse mot vannmetning i dagens sortsmateriale utnyttes gjennom å anbefale de mer tolerante sortene for områder og skifter som er utsatt for strukturskader og vannmettet jord. Det er sannsynlig at disse sortene kan gi store meravlinger på areal som får strukturskader og dersom vannmetning inntreffer. Et forsiktig estimat basert på at tolerante sorter brukes på vendeteiger og andre areal med dårlig struktur tilsvarende 20% av arealene, og at disse gir 4% avlingsøkning i forhold til andre sorter gir en årlig avlingsøkning totalt på 0,8%.

Tabell 6.5.1. Relativ avling etter vannmetningsbehandling i vårhvete 2015 og 2016, samt bygg i 2016.

| Vårhvete 2015 | | Vårhvete 2016 | | Bygg 2016 | |
|---------------------------|----------------|----------------------------|----------------|--------------------------|----------------|
| Sort | Relativ avling | Sort | Relativ avling | Sort | Relativ avling |
| NK93602 | 33 | Zebra | 29 | Arve | 14 |
| Zebra | 33 | Mirakel | 30 | Henni | 15 |
| Mirakel | 34 | Bjarne | 31 | Brage | 16 |
| Bjarne | 37 | GN05551 | 32 | | |
| | | NK93604 | 36 | | |
| | | NK93602 | 39 | | |
| | | GN07525 | 43 | | |
| Gjennomsnitt | 34 | Gjennomsnitt | 34 | Gjennomsnitt | 15 |
| Diff. Bjarne-gjennomsnitt | 3 | Diff. GN07525-gjennomsnitt | 9 | Diff. Brage-gjennomsnitt | 1 |



Feltforsøk med testing av kornsorter for toleranse mot vannmetning. Bilde: Tove Sundgren

6.6 Konklusjon

Dagens sorter har et betydelig større avlingspotensiale enn det som tas ut i dag, og kan gi grunnlag for store meravlinger dersom andre avlingsbegrensende faktorer kan løses. Det kan fortsatt forventes avlingsframgang i nye sorter som vil bidra til en ytterligere heving av avlingspotensialet i årene som kommer. Økt dyrking av høstkorn, og å utnytte ny kunnskap om sortene toleranse for vannmetning kan også bidra til avlingsøkning. Gruppen har estimert fortsatt sortframgang på 0,5 % per år, og i tillegg en økning på 3 % på grunn av økt høstkorndyrking og bedre utnyttelse av sorter med bedre toleranse mot vannmetning.



Byggplanter i god vekst under optimal agronomisk praksis. Bilde: NIBIO

7 Økt kornavling gjennom mer optimal kalking

Tore Krogstad

Ulike jordbruksvekster har ulik toleranse for pH i jorda. Det er også store forskjeller mellom kornsortene med bygg som den mest følsom for lav pH, mens havre er en langt mer robust sort som klarer seg på lavere pH. I utgangspunktet er mye av jorda i Norge sur, det vil si har en pH omkring 6 eller lavere målt i ekstraksjon med vann.

Det er ikke pH i seg selv som er et problem for plantene, men den effekten pH har på tilstedeværelse av positivt ladde aluminiumsforbindelser i jorda. Dette er først og fremst et problem på leirjord med høyt aluminiumsinnhold, mens organisk jord ikke har samme skadelige effekter på plantene ved lav pH. Aluminium skader røttene, hindrer opptak av næringsstoffer og fører dermed til nedsatt avling. Planter som har god evne til å skille ut organiske syrer fra røttene vil i større grad avtoksifisere aluminium i jordvæska enn planter som ikke har samme egenskap, slik som dagens sorter av bygg. Kalking av sur mineraljord vil derfor vært et tiltak som kan øke avlingene på grunn av mindre skadelig effekt av aluminium.

Det finnes ikke mye publisert materiale som viser variasjoner i pH i norsk dyrka jord. Landbruksrådgivere rapporterer imidlertid at pH på store arealer vurderes å være i grenseområdet for skade på plantene. Det er også svært vanskelig å isolere ut effekten av pH på avling i publiserte resultater fra feltforsøk da forsøkene ofte er lagt på jord med ens pH over hele feltet. Men i gjødslingsplanleggingen brukes normer for pH relatert til jordart og organisk innhold for best mulig å minimere de skadelige effektene på røttene som skyldes aluminium. Tabell 7.1 viser hva som er satt som laveste akseptable pH på ulike jordarter ved dyrking av ulike kornsorter i Norge ved et normalt innhold av organisk innhold i jorda:

Tabell 7.1. Laveste anbefalte pH for at det ikke skal påvirke avlingen negativt.

| | Bygg | Hvete | Havre og rug |
|----------------------------|------|-------|--------------|
| Sand og siltig sand | 5.8 | 5.6 | 5.2 |
| Sand/morene med <10% leire | 6.0 | 5.8 | 5.4 |
| Silt | 5.8 | 5.6 | 5.2 |
| Lettleire og mellomleire | 6.2 | 6.0 | 5.6 |
| Stiv leire | 6.4 | 6.2 | 5.8 |

Det er godt kjent at bruk av ammoniumholding mineralgjødsel virker forsurende på jorda og det er vanlig at pH reduseres med 0.1-0.2 enheter over en 3 års periode i leirjord med pH omkring 6.

Upubliserte data fra jordanalyser tatt i de viktigste kornområdene i Norge i perioden 2009-15 viser at pH på leirjord kan være så lav at det kan være en avlingsbegrensning. Antall jordprøver er ikke nødvendigvis et godt mål på arealet som er prøvetatt, men gir likevel en god indikasjon på status. Både på lettleire og mellomleire (ca 25000 jordprøver) hadde 40-45% av alle prøvene en pH på 6.2 eller lavere. Ut fra tabellen over er pH 6.2 grenseverdien for bygg. For lettleire og mellomleire hadde henholdsvis 25 og 12% av jordprøvene pH 6.0 eller lavere. Ut fra dette er det tydelig at pH på store leirjordsarealer er for sur til å dyrke bygg med optimale avlinger.

Det finnes en god del litteratur på at sur jord skader røttene på kornplantene, men det er vanskelig å finne gode tall på hva dette har å si for avlingen. At kalking vil øke avlingene av bygg dersom pH i

leirjord kommer ned mot 6 er det imidlertid liten tvil om. En fornuftig strategien vil være å kalke sur jord hvor det skal dyrkes korn opp til en pH minst 0.3 enheter over kritisk pH nivå med utgangspunkt i bygg som den mest følsomme sorten.

Effekten av kalking opp til optimal pH anslåes å ha en avlingsøkende effekt på bygg totalt sett på **minst 5%**, for de andre kornsorten som har lavere pH-krav vil effekten være noe mindre. Men det trengs nye undersøkelser for å fastsette dette mer nøyaktig.

8 Økt kornavling gjennom mer optimal bruk av plantevernmidler (soppmidler)

Einar Strand og Unni Abrahamsen

Bruken av plantevernmidler mot soppangrep i korn kan bety mye for avlingsnivået på det enkelte skifte. Forgrøde, sortsvalg og klimaforhold det enkelte året vil ha stor betydning for effekten.

I følge Aarstad & Bjørlo (2016) ble ca. 70 % av byggarealet behandlet med midler mot soppjukdommer i 2014, mens hhv. 84 % og 88 % av vårhvete og høsthvetearealet ble behandlet. Det kan være ulike årsaker til at de resterende arealene ikke blir behandlet. Ulike forbyggende tiltak kan redusere behovet for behandling og en behandling vil ofte ikke være lønnsomt ved avlingsnivåer på omkring 300 kg/daa og lavere. Det kan imidlertid ikke utelukkes at soppbehandling på noen av disse arealene likevel ville ha ført til en avlingsøkning.

Siden mesteparten av arealet blir behandlet mot soppjukdommer blir det i denne sammenhengen interessant å se på om ulike strategier eller en mer optimal behandling mot sopp kan føre til økte avlinger.

I en forsøksserie i vårhvete med sprøyting etter VIPS-varsel (beslutningsstøttemodell) (Abrahamsen 2015a) ga en tidlig soppsprøyting med $\frac{3}{4}$ dose av et soppmiddel en avlingsøkning i forhold til usprøytet ledd på i størrelsesorden 7 %. En mer optimal behandling mot sopp som innebar en tidlig og en sein behandling med $\frac{1}{2}$ dose hver gang ga en gjennomsnittlig avlingsøkning i disse årene på om lag 12 %. Det illustrerer at det kan være et potensiale for økte avlinger med en mer optimal behandling. Denne optimaliseringen behøver nødvendigvis ikke bestå i økt bruk av plantevernmidler, men kan også oppnås gjennom et mer optimalt valg av middel og ikke minst ved at behandlingen foretas til rett tid. I disse forsøkene var flere vårhvetesorter på den norske markedet representert med ulik grad av sjukdomsresistens.

En annen forsøksserie i samme periode (Abrahamsen 2015b), illustrerer tydelig den store betydningen valg av resistente sorter har for resultatene. Her ble ulike vårhvetesorter sammenlignet med og uten behandling mot soppjukdommer. Den tidlige kvalitetssorten Bjarne ga en meravling for behandling på om lag 30 % mens den noe seinere og mer motstandsdyktige sorten Zebra ga en avlingsøkning på i størrelsesorden 8 %. En forventer at nye sorter vil være mer på linje med Zebra når det gjelder respons på behandling mot soppjukdommer.

Resultatene stemmer overens med inntrykk fra andre forsøksserier og kan også illustrere effekten av behandling mot soppjukdommer i bygg.

På denne bakgrunn vil en ved en beregning av mulig avlingstap som følge av underoptimal soppbehandling kunne benytte 4-5 % som et anslag.

9 Økt kornavling gjennom økt innhold av organisk materiale i jorda og omløp med eng

Marina A. Bleken

Omdannede planterester og mikrobiell masse utgjør hovedforskjellen mellom den øverste næringsrike og fruktbare del av jorda, som med et veldig godt beskrivende ord kalles matjord, og undergrunnen. Det er i matjorda at mesteparten av røttene befinner seg. Evnen plantene har til å utvikle røttene i dybden varierer sterkt mellom artene. Hvorvidt de kan realisere den er avhengig av jorda, og litt forenklet kan man si at det er moldinnholdet som er avgjørende, selv om mekanismene er forskjellige i ulike jord.

I grov jord dominert av sandfraksjon er moldinnholdet viktig for lagring av både næringsstoffer og vann. I siltig og i tung leirjord er moldinnhold helt nødvendig for å danne en gunstig aggregatstruktur med tilstrekkelig porer som planterøtter kan vokse i, og som drenerer vann. Som regel kan ikke planterøtter åpne en kompakt jordstruktur, men de kan trenge seg gjennom smale sprekker og så utvide dem. Med unntak av nitrogen er næringsinnholdet i dyp leirjord som regel god, men uten noe moldinnhold vil både fysisk motstand og lavt oksygeninnhold nedsette veksten av røttene i jorda.

I Norge kjenner man godt til de dramatiske konsekvensene av å fjerne matjorda og prøve å dyrke direkte på undergrunnsjord, særlig fra bakkeplanering på jord med mye silt. Lignende alvorlige konsekvenser har man fått i andre land når matjorda har blitt fjernet pga av jorderosjon, som regel etter at den naturlige vegetasjonen har vært erstattet med korn. En kjent eksempel er vinderosjonen som forårsaket 'the dust bowl' i Nord Amerika, etter at præriene ble pløyd med traktor på 1920 tallet. Utslagene ble så dramatiske at mange gårder ble lagt øde. Når eng erstattes med korn går moldinnholdet ned selv uten jorderosjon.

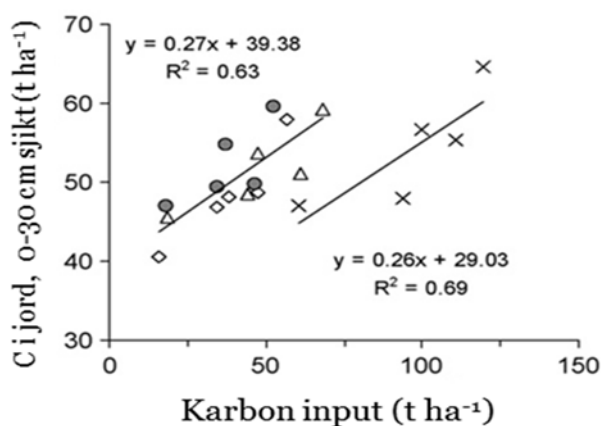
Vi vet at 1) jorda trenger et visst moldinnhold for å være fruktbar, 2) tykkelsen av matjorda er et resultat av vegetasjonen og 3) eng er særlig gunstig for å opprettholde og også øke moldinnholdet. Som regel forsterker bruk av husdyrgjødsel den gunstige effekten av eng. Allikevel har man erfaring for at avlingene fortsatt kan være gode etter lengre perioder med ensidig korn eller korn i omløp med flere ettårige vekster. Riley og Bakkegard (2006) har dokumentert et gjennomsnittlig årlig tap i sentrale kornområder i perioden 1991-2001 på 1% av moldinnholdet i jorda. Stadig bedre gjødsling, riktig kalking, god drenering, god kontroll av ugras og sykdommer og nye sorter kan bidra til å øke avlingen, og muligens kamufflere en negativ effekt av redusert moldinnhold i jord. I praksis er det vanskelig å vite om det er nødvendig og lønnsomt å drive med tiltak for å øke moldinnholdet. I de følgende avsnittene oppsummeres mekanismene som bidrar til oppbygging og nedbryting av mold i jorda og hvordan den kan bidra til bedre plantevekst avhengig av jordtype og klima.

9.1 Oppbygging og nedbryting av mold i jorda

I drenert jord brytes molden kontinuerlig ned av mikroorganismer. Nematoder som 'beiter' på bakteriene bidrar til videre nedbryting. Små dyr bidrar også til denne prosessen. Deler av materialet inkorporeres i mikroorganismene, noe slippes ut som CO₂ og noe blir igjen som omdannet materiale som fortsatt kan brytes videre ned. Man kan klassifisere planterester etter hvor raskt de brytes ned, avhengig av deres kjemiske sammensetning. Sukker og stivelse brytes ned raskere enn lignifiserte deler. Nedbrytningsprosessen er påvirket av kontakten mellom det organiske materialet og jorda. I sandjord er denne kontakten mindre, mens den er mye større i leirjord. Leire kan både beskytte organiske rester ved å kapsle dem inn (fysisk beskyttelse) og ved å adsorbere eller danne kjemiske forbindelser. Leire kan også nedsette aktiviteten til enzymene som mikroorganismer avgir, og hindre

nematoder fra å spise bakterier. Som følge av dette er nedbryting av organisk materiale vesentlig langsommere i leirholdig jord enn i jord med grovere tekstur. Tidligere har man antatt at nedbryting av ferske planterester bestemmes av plantenes egenskaper, men nye resultater viser at jordtypen også påvirker nedbrytningsprosessene (Frøseth og Bleken 2015). Dette har betydning for gjødslingseffekten av grønnjødsel, som er raskere i sand enn på leirjord (Frøseth et al., 2014)

Med hensyn til oppbygging av molden i jorda, er det mer relevant å spørre om hvor mye av det som nedbrytes som bidrar til vekst av mikroorganismer og til omdannet mold, enn hvor raskt planterester brytes ned. Mange studier har funnet at ved lik tilførsel er bidraget fra røtter 3 til 7 ganger større enn fra blad, stengler eller halm. Figur 9.1.1 viser karbon (C) i jorda mot den totale tilførselen av C per år etter 11 år med ulike vekster/omløp. Der man dyrket korn (mais) til modning ble store mengder stengler og bladresten returnert til jorda og den totale C tilførselen ble større, men den bidro likevel ikke mer til jordas moldinnhold. Omløpet med mais for ensilering kombinert med ettårig eng ga mest C i jorda i forhold til tilførsel, noe som var forventet fordi en større andel av tilførselen var røtter. Selv om dette forsøket gjaldt mais så illustrerer det godt at ikke all tilførsel av planterester er like nyttig.



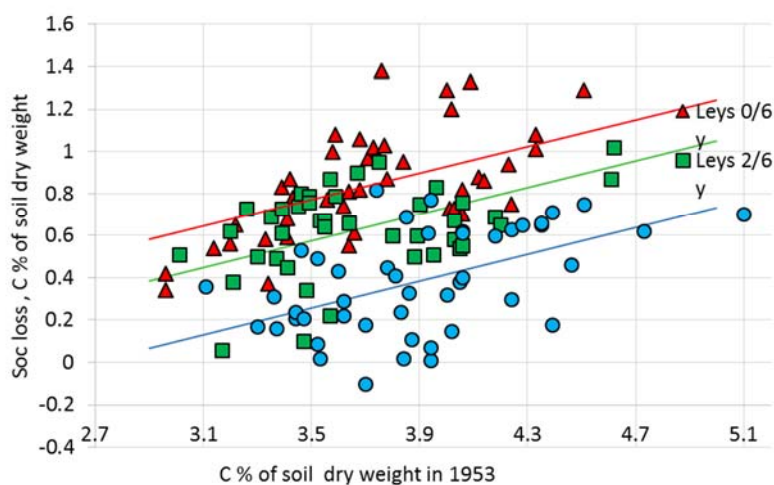
Figur 9.1.1. C innhold i jord etter 11 år i forhold til total tilførsel av C via husdyrgjødsel, røtter og andre planterester. Ms: mais for ensilering; Mg: mais til modning; Mr: mais for ensilering + italiensk raigras om høsten; MI: mais for ensilering i omløp med eng. Hvert punkt er gjennomsnitt av tre gjentak og representerer en av fem gjødselbehandlinger, inklusiv husdyrgjødsel. Mais i Mr hadde kortere veksttid en mais i Ms. (Grignani et al 2007).

Hvor effektivt husdyrgjødsel bidrar til å øke moldinnholdet i jorda er også avhengig av gjødselas sammensetning. Som regel bidrar blautgjødsel mindre enn fast gjødsel kompostert sammen med strø (men den siste taper mer C under kompostering). Rester fra biogassproduksjon er som regel mer omdannet enn husdyrgjødsel og den faste delen som er igjen har en langsommere nedbryting. I eksempelet i figur 9.1.1 var fast gjødsel kompostert sammen med halm dobbelt så effektivt for å bygge opp moldinnholdet som blautgjødsel, som igjen var omtrent 2/3 så effektivt som tilførsel via planterøtter.

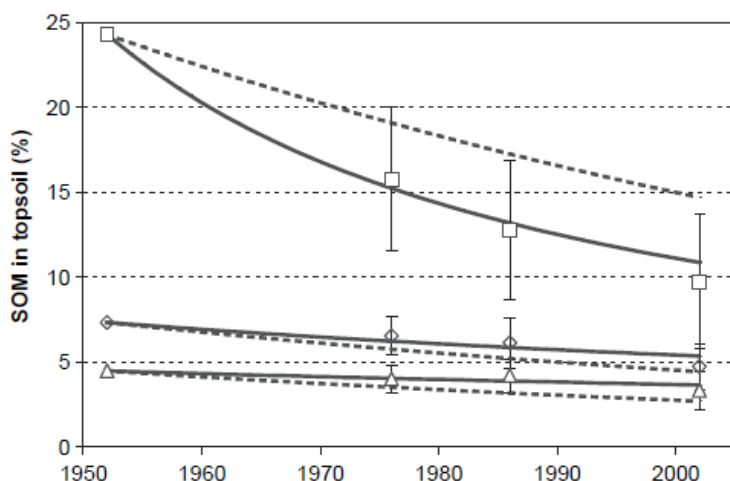
Når langvarig eng pløyes og dyrkes med korn, reduseres moldinnholdet. Det er fortsatt debattert hvorvidt pløying i seg selv akselererer nedbrytingen. Eksponering av jorda til tele, sol, vind og regn øker nedslamming og reduserer den kjemiske og fysiske beskyttelsen av mold og planterester. Ettårige vekster, inkludert korn etterlater mye mindre røtter enn flerårige vekster, og særlig mindre enn grasarter. Redusert jordarbeiding uten pløying forårsaker en relativt rask (Riley et al. 1994) akkumulering av planterester og mold nærmere jordoverflaten (øverste 10 cm) sammenlignet med pløying. Om dette ikke øker den totale mengde av mold så bringes den opp der hvor den er viktigst for noen nøkkelprosesser, som spiring, infiltrasjon av nedbør og motstand mot jorderosjon. Man kan

spekulere om det kan være en ulempe at moldinnholdet blir lavere lengre nede, men så langt har vi ikke dokumentasjon for at dette har vært skadelig for planteveksten. Det er stor forskjell mellom jordartene mht. hvor godt de er egnet til redusert jordarbeiding (Tørresen et al. 2015)

I absolutte verdier er det årlige tapet av mold proporsjonalt med mengde mold i jorden. Figur 9.1.2 viser at nedgangen i moldinnholdet i løpet av 60 år i det langvarige omløpsforsøket på Ås er større på ruter som hadde størst innhold i 1953. Det viser også at både to eller fire års eng i et 6 års omløp med korn (og noen poteter i begynnelsen av forsøket) bidro til å redusere tapet. Riley og Bakkegard (2006) samlet jordprøver fra ca 300 åpenåkerskifter i sørøst Norge i en 11-års periode, og fant en lignende sammenheng mellom opprinnelig moldinnhold og tapet av mold gjennom denne perioden. Også data fra jorda på Kise forskningsstasjon støtter antagelsen om en raskere nedbrytingsrate per år der hvor moldinnholdet var større (Figur 9.1.3). Resultatene illustrerer at det er lite realistisk å opprettholde et høyt moldinnhold uten eng i omløpet.



Figur 9.1.2. Tap i moldinnhold gjennom 60 år sett i forhold til C i jorda i begynnelsen av forsøket (C i % av tørr jord på begge aksene). Data er fra det langvarige omløpsforsøket på Ås 1953 – 2012. C er målt i plogsjiktet (øverste 20 cm). Verdiene vises for tre omløp med korn: bare korn, 2 av 6 år med eng, 4 av 6 år med eng. Det var ulike gjødslinger samt husdyrgjødsel (ikke identifisert i figuren) som bidrar til den store spredning mellom data (Bleken 2016).



Figur 9.1.3. Nedgang i moldinnhold gjennom 50 år i tre jordgrupper med forskjellig innhold av organisk materiale på Kise forsøksstasjon, beregnet ved å anta en årlig konstant nedbrytingsrate på 1% per år (stiplede linjer) eller med en varierende nedbrytingsrate på 1/10 av moldinnholdet (kontinuerlig linjer). Gjennomsnitt (+/- standard avvik) for målte verdier er angitt. Fra Riley og Bakkegard (2006)

9.2 Aggregatstabilitet etter eng er viktigere enn moldinnhold for kornavlingene

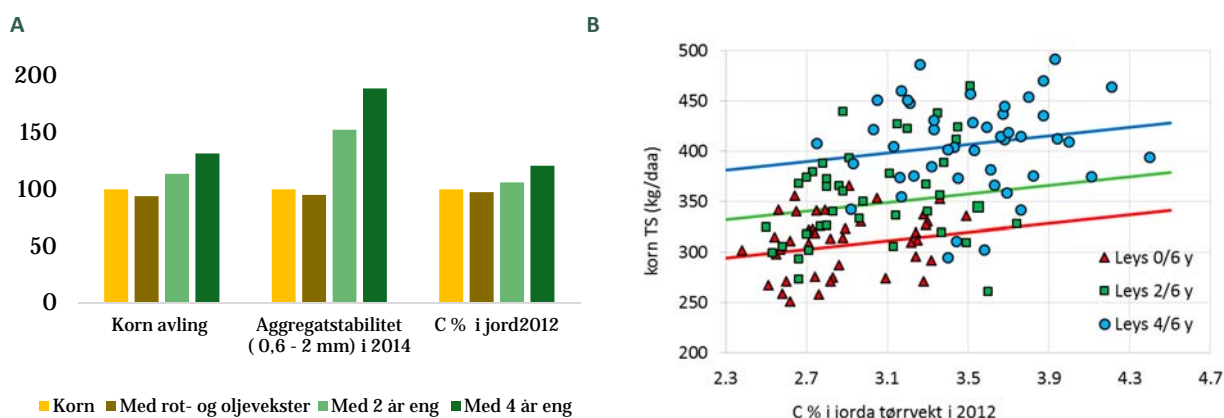
Det finnes få publiserte arbeider som prøver å kvantifisere avlingsøkning som funksjon av moldinnhold. Årsaken kan være at effekten av mold er avhengig av jordtypen som igjen er avhengig av klima og geologi, og at den er blandet sammen med andre positive effekter av omløpet, f. eks effekt på plantesykdommer. En omfattende undersøkelse fra Danmark viste ingen sammenhenger mellom moldinnholdet i jorda (øverste 25 cm) og potensiell avling (definert som ikke N-begrenset), og heller ikke med avling uten gjødsling (Oelofse et al. 2015). Det siste er mest overraskende, fordi mineralisering av organisk materiale er den største kilden til nitrogen i fravær av gjødsel. Dette indikerer at andre lokale forhold kan ha påvirket resultatene, og viser hvor vanskelig det er å isolere effekten av mold fra andre påvirkninger. I motsetning til den danske situasjonen, fant Zhang et al. (2016) i Kina tydelig avlingsøkning med stigende moldmengde i jorda. Sammenhengen varierte mellom ulike regioner, men var alltid positiv inntil den nådde en øvre terskel; over denne terskelen økte ikke avlingen noe mer. Noen av forskjellene mellom den danske og den kinesiske studien var at den siste brukte mengde mold i jordprofilen, men den danske studien så bare på de øverste 25 cm. I Norge fant Arne Grønlund ved å analysere avlingsdata fra 2600 gårder at byggavlingene var større på jord med 4.5 - 6 % mold enn på jord med lavere moldinnhold, mens det var ingen avlingsøkning assosiert med større moldinnhold (referert av Riley og Bakkegard (2006)).

For å studere effekten av moldinnholdet nærmere har vi brukt det langvarige omløpforsøket på NMBU som startet i 1953. I 2014, etter 60 år, ble hele feltet gjødslet likt og sådd med havre. Avlingene på ruter etter 2 og 4 år eng i 6 årig omløp med korn ble hhv. 13 og 32% større enn etter bare korn. Overraskende ga havre etter omløp med rot og oljevekster 6% mindre avling en omløpet med bare korn (figur 9.2.1). Variasjonen i avlingen kan hverken forklares med ulikheter i jordas næringsinnhold eller med pH. Eksempelvis var både lett tilgjengelig kalium og pH i jord bedre i omløpet med bare korn enn i omløpene med også eng. Havreplantene var friske, nesten fullstendig fri for synlige sykdom eller insektangrep, så heller ikke disse faktorene kan bidra til å forklare det gunstige effekten av eng i omløp.

Avlingen økte med innholdet av organisk materiale i jorda, men det var i tillegg positiv effekt på avling av eng i omløpet som ikke kunne tilskrives innholdet av organisk materiale alene og som hang sammen med en mer stabil struktur av de fine aggregatene (0.6-2 mm og 2-6 mm) (figure 9.2.1 og 9.2.2). Også vanninfiltrasjon målt ved 20 cm jorddybde varierte mellom omløpene på samme måte som avlingene, i rekkefølge omløp med olje og rotvekster < bare korn << 1/3 eng < 2/3 eng. Konsekvensene er bedre infiltrasjon og drenering, noe bedre tilgang til vann samt mindre anaerobiske forhold, og dermed bedre fysisk miljø for røttene og mindre tap av nitrogen via denitrifikasjon og, ikke minst, mindre jorderosjon.

I en regresjon av enkelte ruteobservasjoner forklarte C i jorda 28 % av variasjonen i kornavlingen mellom enkelte ruter, mens aggregatstabilitet alene forklarte 42 % av variasjonen.

Også 6 tonn husdyrgjødsel tilført en gang hvert 6 år økte aggregatstabiliteten, men mye mindre enn to år med eng. Den gunstige effekten av eng på jordstruktur og stabilitet er dokumentert tidligere. Haynes et al. (1999) målte aggregatstabilitet på flere felt med ulike jordtyper og fant at den var best etter flere år med eng og dårligst etter flere år med ettårige vekster. Denne studien viste på hvert felt at aggregatstabiliteten var mer relatert til forgrøde enn til moldinnholdet (selv om sammenheng med moldinnholdet ikke var ubetydelig)



Figur 9.2.1. Resultater fra omløpsforsøket på Ås med havre dyrket i 2014. A) Effekt av omløp på kornavling, aggregatstabilitet og C innhold i jorda, oppgitt i relative verdier i forhold til omløp med bare korn. B) Kornavling (kg tørrstoff/daa) versus C innhold i jorda (% av tørrvekt) målt i 0-20 cm jorddybde. Verdiene vises for tre omløp med korn: bare korn, 2 av 6 år med eng, 4 av 6 år med eng. Det var ulike gjødslinger samt husdyrgjødsel (ikke identifisert i figuren) som bidrar til den store spredningen mellom data innen et omløp (Bleken 2016).

Flere mekanismer bidrar til aggregatdannelse og stabilisering. Forenklet kan man gruppere dem i tre kategorier: 1) Binding mellom godt omdannet organisk materiale og fine jordpartikler 2) mikrobiell vekst ved nedbryting av lett tilgjengelig organisk materiale og 3) aktivitet til røtter. Betydningen av mikrobiell vekst ble godt demonstrert ved å tilsette stivelse til slammet jord (Guggenberger et al. 1999). Etter bare 4 dager hadde vekst av sopp filamenter dannet fine aggregater (diameter 0.3 til 8 mm), senere overtok bakterier som skiller ut slimstoffer som bidrar til å styrke stabiliteten til aggregatene. Hvis de fine aggregatene er skadet mekanisk vil de ikke gjendannes uten tilføring av ferskt materiale.

Planterøtter avgir organiske forbindelser (eksudater) som promoterer mikrobiell vekst og aggregatdannelse. Røttene kan også utvide sprekker og mildt presse partiklene sammen, samt 'armere' og binde aggregater sammen (samt bidra til omdannet mold etter nedbryting). Nedbryting av tilsatte

planterester, og særlig halmen, er mindre effektiv enn røtter for forbedring av jordstruktur. Tilsetning av biorest (Frøseth et al. 2014) og husdyrgjødsel kan raskt bidra til bedre og mer stabil struktur, og kan en mer langvarig effekt på moldinnholdet enn halm.

Sommeren 2014 var veldig tørr og like før skyting var det tydelig symptomer på alvorlig tørkestress etter omløp med bare korn og enda verre etter omløp med andre ettårige vekster, mens det etter omløp med 1/3 eng var lite synlige tegn på tørkestress, og ingen etter omløp med 2/3 eng. Vi kan dermed konkludere at det var en sterk sammenheng mellom mindre tørkestress og større stabilitet av de fine aggregatene. Uten at dette har vært testet, kan vi spekulere om en bedre jordstruktur har økt rotutviklingen og på denne måten også tilgjengeligheten av næring. Vi kan derimot utelukke at meravlingen skyldes en nitrogeneffekt alene fra nedbryting av det organiske materialet, fordi den ikke ville ha beskyttet mot tørkestress.

Antagelige var de tørre vekstforholdene i 2014 særlig gunstige for å fremme fordelene av omløpet med eng. Vi har derfor sammenlignet avlingene i periode 1992-2006 (etter den perioden opphørte avlingsregistreringen). Fordelene av vekstskiftet varierte mye mellom årene. I noen år var det ingen eller til og med små negative effekter, men i gjennomsnitt var det tydelige og signifikante fordeler av omløp med eng. Det var forskjell mellom kornartene i forhold til effekten av omløp med rot og oljevekster: bygg hadde størst fordel (7.5 % meravling) mens havre hadde ingen positive utslag. Det var ikke forskjell mellom kornartene i forhold til effekten av eng i omløpet, i gjennomsnitt omtrent 10% meravling). Det var liten effekt av å øke eng i omløpet fra 1/3 til 2/3.

Tabell 9.2.1. Effekt av ulike 6-års omløp på kornavling i periode 1992-2006, oppgitt som % meravling i forhold til avling etter omløp med bare kornarter i omløpsforsøket på Ås startet i 1953. Havre var ikke tilstede i omløpet med 2/3 eng.

| Omløp | Bygg | Hvete | Havre | Gjennomsnitt |
|---------------------------|------|-------|-------|--------------|
| Korn, rot- og oljevekster | 7.5 | 2.2 | 0.3 | 3.3 |
| Korn og 2 års eng | 9.6 | 1+.1 | 11.2 | 10.8 |
| Korn og 4 års eng | 12.6 | 10.8 | | |

9.3 Endringer i klima og tiltak for å realisere en større andel av avlingspotensialet.

Ekspertene forventer varmere og mer ekstremt klima, dvs. mer intensiv, men mer variabel nedbør. Varmere klima vil øke nedbryting av organisk materiale. Dette betyr at molden tapes raskere selv med uforandret praksis. Tiltak vil dermed måtte både motvirke effekten av varmere klima og forbedre jordas tilstand i forhold til dagens situasjon. Økt nedbør og tørke vil bety at det blir enda viktigere å bevare god jordstruktur og aggregatstabilitet.

Eng i omløp med korn vil være et effektivt tiltak for å opprettholde et høyere moldinnhold, og forsøk har vist 10% avlingsøkning i gjennomsnitt. Andre tiltak for å unngå en forverring vil inkludere også omfattende bruk av fangvekst og redusert jordarbeiding. Raigras brukt som fangvekst kan øke moldinnholdet og samtidig redusere tap av nitrogen via avrenning eller som klimagass N₂O (lystgass) (Bleken og Rørstad 2003). Hvis godt håndtert, vil et lite avlingstap som skyldes konkurranse mot korn bli kompensert etter noen få år pga. bedre vekst. Selv om halmen er lite effektiv som mold-økende tiltak, vil det fortsatt være en fordel å beholde halmen når det ikke er bedre alternativ bruk for den. Dette gjelder særlig i forbindelse med redusert jordarbeiding, forutsatt at sykdom er kontrollert med

vekstskift ellers. På systemforsøket på Apelsvoll ga redusert jordarbeiding like bra aggregatstabilitet på omløpet uten eng som på omløp med eng (men andre strukturegenskaper var mindre gunstige), mens pløying ga vesentlig dårligere resultater (Riley et al. 2008). Også alle tiltak som bidrar til redusert jorderosjon vil bidra til å ta vare på molden. For å øke moldinnhold og bedre utnytte de positive effektene på jordstruktur vil man måtte rasjonalisere spredningen av biorest og kompost fra byer på de områdene som har mest behov for det. Dette vil kreve en helt ny tilnærming på måten disse ressursene er forvaltet.

I områder der det fortsatt finnes allsidig produksjon og melkegårder burde omløp med eng og spredning av husdyrgjødsel optimaliseres. Det er teknisk mulig å inkludere eng som grønn gjødsel i mangel på dyr som kan utnytte eng, men dette vil bety år uten inntektsgivende avling, og dessuten risiko for økt nitrogenavrenning og lystgasseemisjon, med mindre man har anledning til å høste og levere biomassen til et biogassanlegg. Foreløpig er grønn gjødsling aktuelt bare i økologisk landbruk og i ekstreme tilfeller.

9.4 Karboninnhold i jord og miljøeffekter

Karbonet (C) utgjør litt mer enn halvparten av det organiske materialet i jord. Når det brytes ned frigjøres karbonet i form av CO₂. På det langvarige omløpsforsøket på Ås kunne man sammenligne C-innholdet i 2012 med det opprinnelige C-innholdet. Sammenlignet med omløpet med bare korn, reduserte 1/3 eng C tapet med 27%, og 2/3 reduserte C-tapet med 65%, mens omløpet med rot- og oljevekster ga en liten økning i C-tapet. Omregnet til CO₂-utslipp per dekar, utgjør dette 0.1 til 0.13 ton CO₂ mindre utslipp per ett år med eng i forhold til omløp med bare korn. Resultatene har gitt nye data om karbonbinding i jord ved ulike dyrkingssystemer fra et unikt forsøk, og disse kan, sammen med andre data, brukes videre i totale analyser av landbrukets klimautslipp. Det kan analyseres hvordan økt vekstskifte (mer eng i omløpet) og dermed økt grasareal vil påvirke produksjonsomfanget i plante- og husdyrproduksjonen og hvordan det vil påvirke miljøeffekter som utslipp av klimagasser.

I tillegg til den positive effekten av eng i omløp på avling så har økt moldinnhold positiv effekt på aggregatstabilitet. Aggregatstabilitet har stor betydning for å redusere jorderosjon. Det er klart at et omløp med eng ville være gunstig på skifter med risiko for jorderosjon.

9.5 Konklusjon

Det er dokumentert at moldinnholdet har en positiv effekt på planteveksten og kornavlingen. Det er forskjell mellom organisk materiale i hvor effektive de er til å vedlikeholde moldinnholdet og til dannelsen av en god og stabil jordstruktur. Særlig røtter, men også husdyrgjødsel og biorest er adskillig mer effektive enn halm og blad-rester.

Eng i omløpet med korn vedlikeholder moldinnholdet, og reduserer forekomst av visse plantesykdommer. I tillegg øker eng dannelsen og stabiliteten av små jordaggregater, noe som er gunstig for vanninfiltrasjon og rotvekst, og som vil være særlig fordelaktig i år med mye tørke eller med mye nedbør. Basert på data fra det 60 års omløpsforsøk på NMBU kan vi konkludere at i gjennomsnitt vil innslag av 1/3 eng i omløpet gi 10% mer avling i kornårene, sammenlignet med korn i omløp med andre kornarter. Det er også fordelaktig for miljøet at innslag av eng i omløpet med korn reduserer CO₂ utslipp fra jord.

For å øke oppnåelsen av avlingspotensialet til kornvekster foreslås å utnytte alle mulighetene til å dyrke kornvekster i omløpet med eng, anvende husdyrgjødsel og biorest, bruke fangvekst med raigras og redusert jordarbeiding hvor disse tiltakene er mulige.

10 Oppsummering og diskusjon

Tabell 10.1 oppsummerer anslåtte avlingstap knyttet til flaskehalsen i kornproduksjonen som er beskrevet i de tidligere kapitlene i denne rapporten og avlingstap etter at forbedrede agronomiske tiltak er gjennomført.

Tabell 10.1. Anslåtte avlingstap (i %) for viktige flaskehalsen i kornproduksjonen, og hvordan disse kan reduseres gjennom forbedrede agronomiske tiltak.

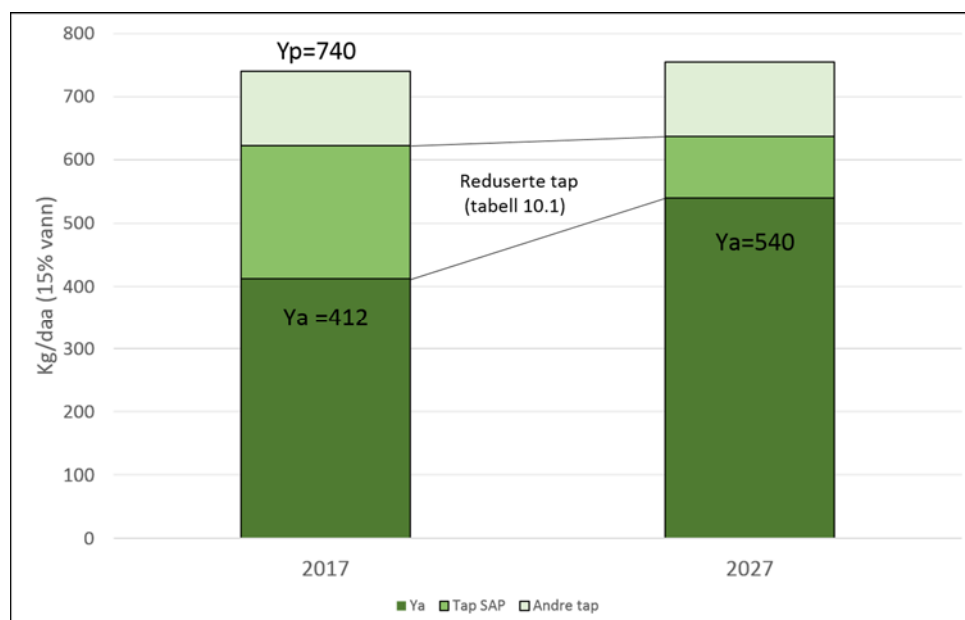
| Årsaker til avlingsgap | Dagens situasjon, anslått tap, % | Anslått tap etter gjennomført tiltak, % | Beskrivelse av tiltak |
|--|----------------------------------|---|---|
| Dyp pakking | 4 | 3 | Bruk av Terranimo for å få info om risiko for pakkingskader nedover i jordprofilen Jordløsning 30-50cm etter prinsipp som for Dalbo Ratoon eller Kverneland CLE på jord som ikke pløyes. |
| Grunn pakking | 15 | 10 | Bruk av Terranimo/Rileys modell for "Laglighet ved jordarbeiding" for bedre å treffe optimalt tidsrom for jordarbeiding, samt bedre tilpasset maskinkapasitet |
| Tap vendeteiger | 3 | 1,5 | Bedre tilpasset kjøremønster/bruk av GPS, og tiltak for å løsne jorda på vendeteiger? |
| Dårlig drenering | 4 | 0 | Drenering og/eller vedlikehold av drensssystem er gjennomført på areal som er dårlig drenert |
| Ensidig vekstskifte | 6 | 3 | Forgrøde som oljevekster, erter/åkerbønne eller havre er gjennomført før hvete på 50% av vårhvetearealet |
| Kalking | 5 | 0 | Kalking opp til minimumsnivå for bygg på alle kornarealer. Vedlikeholdskalking for å holde pH på minst dette nivået. |
| Ikke-optimalt plantevern | 4-5 | 0 | Optimalt plantevern i forhold til anbefalinger er gjennomført |
| Lavt innhold av organisk materiale pga ensidig korndyrking | 10 | 6 | Omløp med eng er innført på ¼ del av kornarealet. Raigras er innført som fangvekst på det resterende kornarealet. Økt bruk av biogass-rest og andre organiske nedbrytningsprodukter gir ikke netto økning i avling pga klimaendring |

Anslagene som er gjort indikerer totale avlingstap ved dagens situasjon på ca. 50% på grunn av årsakene som er listet i tabell 10. Tilsvarende indikerer anslagene at disse avlingstapene kan reduseres til litt over 20% dersom agronomiske tiltak som er beskrevet blir gjennomført. I disse anslagene ligger det vurderinger over hvor stor del av kornarealene det er realistisk at tiltakene kan utføres på, og som er beskrevet tidligere i rapporten. I mange praktiske situasjoner kan forventet avlingsøkning av ett enkelttiltak også påvirke effekten av andre tiltak. Forbedringer av dreneringstilstanden vil for eksempel kunne gi både tidligere våronn og et større tidsrom med laglig jord for jordarbeiding, og det kan gi mindre problemer med både grunn og dyp jordpakking. Å summere de prosentvise effektene av enkelttiltak vil kunne gi et feilaktig bilde, og bør ikke vektlegges. Tiltak som forbedrer dyrkjingsjordas kvalitet vil være en forutsetning for å oppnå økte kornavlinger gjennom andre tiltak som f. eks. gjødsling og plantevern, og for å bedre ta ut sortenes avlingspotensiale. Det er derfor svært viktig at tiltak knyttet til drenering, kalking og som kan hindre eller redusere skadelig jordpakking prioriteres der disse er ikke-optimale.

Det legges til grunn for anslagene en fortsatt sortsframgang på 0,5 – 0,8% per år. Økt høstkorndyrking, og en bedre utnyttelse av dagens sorter etter deres toleranse mot vannmetning er estimert til ytterligere 3 % økning i kornavlingene.

I gjødselplanleggingen legges forventet avling til grunn for valg av gjødselmengder. Gjennomføring av tiltak for å øke avlingene (tabell 10) må derfor følges opp i gjødselplanleggingen for at disse skal resultere i økte kornavlinger. Det foregår for tiden mye forskning og utvikling for å tilpasse gjødselmengde- og type til plantenes behov, inkludert stedsspesifikk gjødsling som kan øke kornavlingene når det er grunnlag for dette. Dette har vi ikke vært blant forskningstemaene i AGROPRO, og er derfor heller ikke behandlet i denne rapporten.

Figur 10.1 illustrerer dagens situasjon for vårhvete på Østlandet sammenlignet med hva som kan være tilfellet i 2027 dersom forbedrede agronomiske tiltak gjennomføres.



Figur 10.1. Oppnådd avling i vårhvete (Y_a) i 2017 (gjennomsnitt 2001-2013) sammenlignet med Y_a i 2027 etter gjennomføring av forbedrede agronomiske tiltak og med fortsatt sortsframgang. Avlingstap (Tap SAP= Tap ved sub-optimal agronomisk praksis) er beregnet basert på tabell 10.1. Andre tap omfatter årsaker som ikke er vurdert i denne rapporten. Teoretisk avlingspotensiale (Y_p) er beregnet som angitt i Seehusen et al. (2017).

Figur 10.1 er basert på gjennomsnittavling i vårhvete i dag og beregninger av hva som er teoretisk oppnåelige avlinger, modellert for norsk hveteproduksjon i samarbeid med «The Global Yield Gap Atlas (www.yieldgap.org), og publisert i rapporten «Analyses of yield potential and yield gaps for the Norwegian production of wheat and barley (Seehusen et al. 2017). Tapspostene beskrevet i tabell 10.1 utgjør 210 kg/daa i dette regneeksemplet. I en tenkt situasjon i 2027 er det lagt til økt avlingspotensiale pgs sortfremgang på 5%, og tapspostene beskrevet i tabell 10.1 er redusert på grunn av bedre agronomi. Dette regneeksemplet har gitt avlingsnivå på 529 kg/daa for vårhvete

Arbeidsgruppen har også innhentet data over leveranser av bygg koplet til byggarealet det er høstet fra i en 10-års periode, og beregnet hvordan byggarealet fordeler seg på ulike avlingsklasser (tabell 10.2). Data er også stilt sammen som viser fordelingen på avlingsklasser for hvert fylke (figur 10.2), og vi har også studert fordelingen for enkelte kommuner i de viktigste kornfylkene. Gruppen har diskutert potensialet for avlingsøkning i de ulike avlingsklassene basert på kriterier som er listet opp i tabell 10.3, og regnet på hvor store meravlinger de agronomiske forbedringene kan utgjøre. Tabell 10.2 viser anslått avlingsøkning for hver avlingsklasse og hvor mye dette vil utgjøre i meravling angitt i %. Resultatet har gitt en samlet avlingsøkning i bygg på 20%.

Tabell 10.2. Areal av bygg i Norge gruppert i 6 ulike avlingsklasser (<200, 200 – 300, 301 – 400, 401 – 500, 501 – 600 og >600) etter oppnådde avlinger i perioden 2005 – 2014, oppgitt i daa og i % av det totale byggarealet, samt gjennomsnittsavling for hver klasse. I tillegg vises anslåtte avlingsøkninger (kg/daa meravling) for hver klasse dersomforbedrede agronomiske tiltak settes inn, og det er beregnet hvilken meravling dette gir for hver klasse (i tonn og i %) for hver klasse og totalt. Data er hentet fra Landbruksdirektoratet og er tilrettelagt av Arne Grønland, NIBIO.

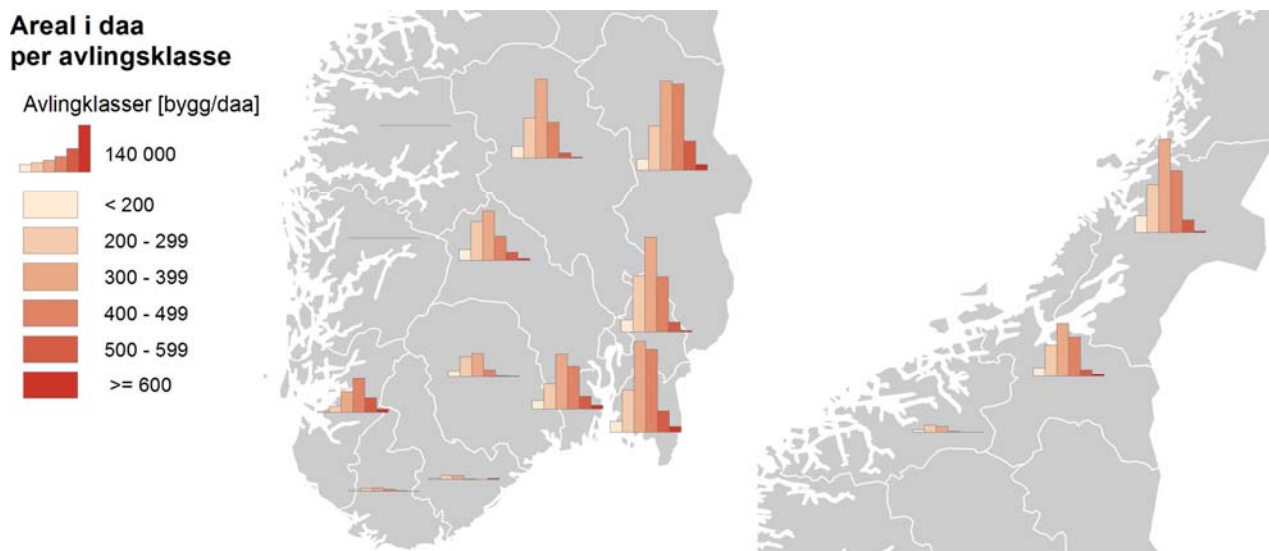
| Avlings-klasse, Kg/ daa | Areal, daa | Areal, % | Middel-avling, Kg/daa | Anslått avlings-økning, Kg/daa | Anslått meravling, tonn | % økning |
|-------------------------|------------|----------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|
| <200 | 967038 | 6,7 | 147 | 20 | 19 340 | 14 |
| 200-300 | 3026370 | 21,1 | 259 | 65 | 196 714 | 25 |
| 301 -400 | 5570529 | 38,9 | 351 | 90 | 501 348 | 26 |
| 401 -500 | 3826902 | 26,7 | 441 | 70 | 267 883 | 16 |
| 501 -600 | 858589 | 6,0 | 553 | 40 | 34 344 | 8 |
| >600 | 83139 | 0,6 | 667 | 20 | 1 663 | 3 |
| Sum | | | | | 1 021292 | 20 |

De to ulike tilnæringsmåtene som er benyttet av arbeidsgruppen har gitt omtrent samme svar på hvor store avlingsøkninger som man kan forvente dersom forbedrede agronomiske tiltak settes inn. Det er mange usikre estimater som er gjort i disse beregningene, men gruppen har forsøkt å bruke resultater fra feltforsøk og spørreundersøkelser som det viktigste grunnlaget, samt også ulike typer av statistikker.

Tabell 10.3. Kriterier for vurderingene av potensialet for avlingsforbedringer i de ulike avlingsklassene.

| | | |
|-----------------|----------------|--|
| Klasse 1 | <200 | Arealene har klare naturgitte begrensninger, eller drives svært ekstensivt. Kan omfatte areal som i enkeltår har fått betydeig misvekst pga jordpakking/dårlig struktur eller spesifikke næringsmangler. Det er lite realistisk å forvente store avlingsøkninger pga agronomiske forbedringer. |
| Klasse 2 | 200-300 | Kan gjøre mange agronomiske forbedringer. Krever trolig investeringer i jordkultur-tiltak. Klassen kan omfatte en del marginale områder/skifter. |
| Klasse 3 | 300-400 | Kan gjøre agronomiske forbedringer som gir betydelig meravling. |
| Klasse 4 | 400-500 | Har noe uutnyttet potensial for agronomiske forbedringer |
| Klasse 5 | 500-600 | God agronomisk drift i dag. Henter ut avlingsgevinst av nye sorter, og kan gjøre noen andre forbedringer. |
| Klasse 6 | >600 | Svært god agronomisk drift, og har trolig gunstige naturgitte forhold. Kan hente ut framtidige avlingsøkninger knyttet til sortsframgang, men gjør ellers «alt riktig». |

Areal i daa per avlingsklasse



Figur 10.2 Areal av bygg fordelt på avlingsklasse for hvert fylke.

I denne rapporten er potensialet for økte kornavlinger vurdert ut fra mulige forbedringer i agronomisk praksis. Det er lagt til grunn en fortsatt sortsframgang av samme størrelsesorden som vi har hatt tidligere. Vi har ikke vurdert effekter av klimaendringer, og hvordan disse kan påvirke kornavlingene i framtida. Muligheter for økt kornproduksjon på grunn av klimaendringer er omtalt i rapporten «Effekter av endret klima og behov for tilpasninger i norsk kornproduksjon» (Seehusen et al. 2016), som konkluderer med at det er behov for agronomiske, tekniske og også politiske tiltak for å kunne realisere potensialet for økt kornproduksjon som klimaendringer sannsynligvis kan gi. Nylig ble det publisert et studie som modellerer avling i vårhvete, dyrket i Østfold og Akershus, for perioden 2046-65 på bakgrunn av klimaframskrivninger (Persson and Kværnø 2017). Modelleringen gav økte avlinger for alle klimaframskrivningene, og med en variasjon på 5 – 21 %, der de fleste modellene lå i

strørrelsesorden 7-11%. Denne undersøkelsen ble basert på avlingspotensialet i dagens markedsorter. I en annen rapport, «Økt matproduksjon på norske ressurser» (Arnoldussen et al. 2015) blir forvaltningen av norske arealressurser vurdert med sikte på å få en høyest mulig framtidig matproduksjon på norske arealer. Rapporten konkluderer med at det er muligheter å øke matproduksjon med om lag 16 % gjennom en mer optimal bruk av arealene, og der økt dyrking av korn/proteinrike vekster og bedre vekstskifte på kornarealene er viktige elementer. Samlet kan disse rapportene/publikasjonene utfylle hverandre og gi perspektiver om at et er gode muligheter for økt kornproduksjonen (korn og åpenåkervekster) i Norge i framtida. Gjennom forbedrede agronomiske tiltak, som er temaet for denne rapporten, konkluder arbeidsgruppen med at det er mulig å oppnå avlingsøkninger på 20- 25% i løpet av en 10-års periode dersom tiltakene som er beskrevet her iverksettes.



Agronomiske tiltak og avlingspotensiale er hyppig diskutert. Markdag på korngård som deltok i gårdstudier i Agropo. Bilde: Wendy Waalen

Litteratur

- Aarstad, P.A., & Bjørlo, B. Bruk av plantevernmidler i jordbruket i 2014. SSB Rapporter 2016/02
- Abrahamsen, U. 2015a. Bioforsk Fokus Vol. 10 nr.1 2015. s.118-126.
- Abrahamsen, U. 2015b. Bioforsk Fokus Vol. 10 nr.1 2015. s.127-135.
- Abrahamsen, U. 2015. Forgrødens betydning for avling og kvalitet i vårhvete. Bioforsk Fokus 1 (9) «Jord- og Plantekultur 2015» s. 106-117.
- Abrahamsen, U., Brodal, G. & Waalen, W. 2016 Virkning av ulike forgrøder på neste års avling av hvete. NIBIO BOK 2 (1) «Jord- og Plantekultur 2016» s. 106-111.
- Allmaras, R.R., Burwell, R.E., Holt, R.F., 1969. Plow layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. *Soil Science Society of America Proceedings* 31, 550–556.
- Arnoldussen, A., Forbord, M., Grønlund, A., Hillestad, M., Mittenzwei, K., Pettersen I., og Tufte, T. Økt matproduksjon på norske ressurser. Agri Analyse AS, Oslo. ISSN 1894-1192 (online: 1894-1192), 99 s.
- Bergkvist, G. 2015. Sluttrapport for Prosjekt H0633195. Effekter av samspel mellom forfrukt och bearbeiningssystem på patogena svampar i höstvet. 10 s.
- Bleken, M. A. (2016). Contribution to C-sequestration by leys in arable rotation during a 60 years long-term trial in southeast Norway. 26th General Meeting of the European Grassland Federation - The multiple role of grassland in the European bioeconomy. Trondheim, Norway, Wageningen Academic Publishers. *Grassland Science in Europe* 21: 874-876.
- Bleken M.A. og Rørstad (2003) Consequences of policies for reducing N-leaching on C sequestration by agricultural soils in Norway. Key Note COST ACTION 627: CARBON STORAGE IN EUROPEAN GRASSLANDS, Clermont-Ferrand, 7–8 September 2003
- Botta, G.F., Jorajuria, D., Draghi, L.M. 2002. Influence of the axle load, tyre size and configuration on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics* 39, 47-54.
- Chamen, T., Alakukka, L., Pires, S. et al. 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. *Soil & Tillage Research*, 73 (1-2), 161 – 175.
- Dexter, A.R., Bird, N.R.A., 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil & Tillage Research* 57, 203–212.
- De Toro, A., Arvidsson, J., 2003. Influence of spring preparation date and soil water content on seedbed physical conditions of a clayey soil in Sweden. *Soil & Tillage Research* 70, 141–151.
- Duttmann, R., Brunotte, J., Bach, M. 2013. Evaluierung der schlaginternen Bodenbelastung durch Befahrung und Ableitung von Optimierungshilfen fuer den Praktiker. *Landbauforschung. Agriculture and Forestry research* 63, 171-190.
- Enger, S. 1989. Jordpakking og jordløsning: Virkningen av mekanisk jordløsning på jord med ulik pakkingsgrad. Hovedoppgave ved Norges landbrukshøgskole. Ås
- Erbach, D., Benjamin, J., Cruse, R., Elamin, M., Mukhtar, S. & Choi, C. 1992. Soil and corn response to tillage with paraplow. *Transactions of the ASAE (USA)*.
- Froseth, R. B., Bakken, A. K., Bleken, M. A., Riley, H., Pommeresche, R., Thorup-Kristensen, K., & Hansen, S. (2014). Effects of green manure herbage management and its digestate from biogas

- production on barley yield, N recovery, soil structure and earthworm populations. *European Journal of Agronomy*, 52, 90-102. doi:10.1016/j.eja.2013.10.006
- Grignani C., Zavattaro L. Sacco D., Monaco S. (2007). Production, nitrogen and carbon balance of maize-based forage systems. *European Journal of Agronomy* 26: 442–453.
- Guggenberger G, Elliott ET, Frey SD, Six J, Paustian K. Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch. *Soil Biology and Biochemistry*. 1999;31(3):407-19
- Gysi, M., Ott, A., Fluhler, H. 1999. Influence of single passes with high wheel load on a structured, unploughed sandy loam soil. *Soil & Tillage Research* 52, 141-151.
- Hansen, T. O.T. 2016. Forsøk med ulike jordløsningsmetoder til korn på jord med dårlig plantevekst i Rakkestad og Nannestad. Virkning på jordfysiske egenskaper, kornavling og trekraftbehov, Masteroppgave ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Hanssen-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.
- Hauge, A., Kværnø, S.H., Deelstra, J., Bechmann, M. (Bioforsk) og Hovland, I., Stornes, O., K. (NILF). 2011. Dreneringsbehov i norsk landbruk – økonomi i grøftingen. *Bioforsk Rapport* Vol. 6 Nr. 128. ISBN-nr.:978-82-17-00859-0
- Haynes R.J., Swift R.S. og Stephen R.C. (1991) Influence of mixed cropping rotations (pasture – arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil & Tillage* 19: 77 – 87.
- Hoel, B., Abrahamson, U., Strand, E., Åssveen, M., Stabbetorp, H. 2013. Tiltak for å forbedre avlingsutviklingen I norsk kornproduksjon. *Bioforsk rapport* Vol. 8. Nr 14, 2013
- Hofsvang, T. 2010. Integrert plantevern. *Bioforsk Tema* 5 (12), 12 sider.
http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/75510/TEMA_5-12_IPV.pdf
- Horn, R., Domzal, H., Slowinskajurkiewicz, A., Vanouwerkerk, C., 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil & Tillage Research* 35, 23-36.
- Hove, P., 1981. Bæreevne og stabilitet i jorda i relasjon til drenering. *Sluttrapport nr. 362*. ISBN 82-7290-076-9. 10 s.
- Håkansson, I. 2005. Machinery-induced compaction of arable soils: Incidence, consequences, counter-measures. *Div. of soil management, Swedish Agric. Univ. Report no. 109*, 153 pp.
- 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.
- Håkansson, I., Voorhees, W.B., Elonen, P., Raghavan, G.S.V., Lowery, B., Vanwijk, A.L.M., Rasmussen, K., Riley, H. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. *Soil & Tillage Research* 10, 259-268.
- Keller, T., Arvidsson, J. & Dexter, A.R. 2007. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of the soil. *Soil & Tillage Research* 92:45-52.
- Kirby, J.M. 1991. Strength and deformation of agricultural soil - measurement and practical significance. *Soil Use and Management* 7, 223-229.
- Kirkegaard, J., O. Christen, J. Krupinsky and D. Layzell. 2008. Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crop Res.* 107: 185-195.

- Kretschmer, H., 1996. Koernung und Konsistenz. In: Blume, H.-P., Felix-Henningsen, P., Fischer, W.R., Frede, H.G., Horn, R., Stahr, K. (Eds.), *Handbuch der Bodenkunde*, vol. I, Ecomed, 1st ed. Chapter 2.6.1.1.
- Landbrukstelling 2010, Steffenstorpet, R. og Bye, A. S. Statistisk sentralbyrå. Statistics Norway, Oslo–Kongsvinger. ISBN 978-82-537-8712-1.
- Lillemo, M. Reitan, L., and Bjørnstad, Å. 2010. Increasing impact of plant breeding on barley yields in central Norway from 1946 to 2008. *Plant Breeding* 129, 484–490.
- Marti, M. 1983. Effects of soil compaction and lime on yield and soil parameters on three silty clay soils in South Eastern Norway. *Meld. Norg. Landbr. Høgsk.* 62 (24): 1-28.
- Njøs, A. 1978. Effects of Tractor Traffic and Liming on Yields and Soil Physical Properties of a Silty Clay Loam Soil. Norges landbrukshøgskole, Institutt for jordkultur. Melding nr. 94.
- Nyborg, Å., Olsen, H. 2013. Dreneringsforhold på dyrka mark. Fakta 09/13. skogoglandskap.no/filearchive/fakta_09_13_dreneringsforhold_pa_dyrka_mark.pdf
- Oelofse M, Markussen B, Knudsen L, Schelde K, Olesen JE, Jensen LS, et al (2015). Do soil organic carbon levels affect potential yields and nitrogen use efficiency? An analysis of winter wheat and spring barley field trials. *European Journal of Agronomy*, 66:62-73.
- Persson, T. and Kvernø, S. 2017. Impact of projected mid-21st century climate and soil extrapolation of simulated spring wheat grain yield in southeastern Norway. *Journal of Agricultural Science* 155, 361-377. doi: 10.1017/S0021859616000241
- Refsgaard, K., Bechmann, M., Blankenberg, A., Skøien, S. & Veidal, A. 2010. Kostnadseffektivitet for tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealer i Østfold og Akershus. NILF Rapport 2010-2. ISBN: 978-82-7077-775-4
- Riley, H. 1983a. Forholdet mellom jordtetthet og kornavling. *Forsk. Fors. Landbr.* 34:1-11.
- Riley, H. 1983b. Forsøk med Paraplow jordløsner 1982/83. Statens forskningsstasjon Kise.
- Riley, H., 1986. Forsøk med jordløsning ved bruk av Paraplow. NJF-seminarium 28-30 oktober, Sigtuna Sverige
- Riley, H., 1988. Virkningen av redusert jordarbeiding på jordfysiske og jordkjemiske forhold. Rapporter från jordarbetsavdelingen – Reduseret jordarbejdning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, 77, 45-57.
- Riley, H. 2016. Tillage timeliness for spring cereals in Norway: Yield losses due to soil compaction and sowing delay, and their consequences for optimal mechanisation in relation to crop area. NIBIO rapport 2 (112) 2016.
- Riley H. og Bakkegard M. (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., Børresen, T., Ekeberg, E., & Rydberg, T. (1994). Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia. In M.R.Carter (Ed.), *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. Lewis Publishers Boca Raton, pp. 23-45.
- Riley H., PommerscheR., Eltun R., Hnasen S. og Korsæth A. (2008) Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124: 275–284.
- Seehusen, T. 2017. Pakking, løsning og jordarbeiding til vårkorn (under publisering).
- Seehusen, T. og Uhlen, A.K. 2017. Analyser av «Yield Gap» for å øke kornproduksjonen på eksisterende areal. Poster AGROPROs sluttkonferanse, Oslo 21 – 22 juni 2017.

- Seehusen, T., Børresen, T., Rostad, B.I., Fleige, H., Zink, A., Riley, H. 2014a. Verification of traffic-induced soil compaction after long-term ploughing and 10 years minimum tillage on clay loam soil in South-East Norway. *Acta Agric. Scand. , Sect. B*, 64, 312-328.
- Seehusen, T., Riley, H., Riggert, R., Fleige, H., Børresen, T., Horn, R., Zink, A. 2014b. Traffic- induced soil compaction during manure spreading in spring in South-East Norway. *Acta Agric. Scand. , Sect. B.*, 220-234.
- Seehusen, T., Waalen, W., Hoel, B., Uhlen, A.K., Persson, T., og Strand, E. 2016. Effekter av endret klima og behov for tilpasninger I norsk kornproduksjon.
- Soane, G.C., Godwin, R.J., Spoor, G. 1986. Influence of deep loosening techniques and subsequent wheel traffic on soil structure. *Soil & Tillage Research* 8, 231-237.
- Solberg, H.. 2013. Varisjon på skiftenivå. Forsøksmelding 2013 Hedmark landbruksrådgiving og Norsk landbruksrådgiving Oppland
- Spoor, G. 2006. Alleviation of soil compaction: requierements, equipment and techniques. *Soil use and management* 22, 113-122.
- Stabbetorp, H. 2017. Dyrkingsomfang og avling i kornproduksjonen. I Strand, E. (red.): *Jord- og Plantekultur 2017*, NIBIO BOK Vol. 3 nr. 1. 2017, 16-27
- Strand, E., 1994: Yield progress and the sources of yield progress in Norwegian small grain production 1960–92. *Norsk landbruksforskning* 8, 111–126.
- Strand, E., Sundgren, T. & Hage, I. 2013. Forprosjekt «Fra utredning til handling» - en oppfølging av rapporten «Økt norsk kornproduksjon – Utdfordringer og tiltak. *Bioforsk rapport Vol 8, Nr. 116*, 25s.
- Tørresen K.S, Skarbovik E., Kværnø S., Bechmann M., Eklo O.M., Brudal g., Hofgaard I.G., Björkman M., Riley H., Kvakkestad V., Refgaard K., Børresen T., Dörsch P., Stappetorp J., Strand E. (2015) Effekter av ulike jordarbeiding I korn. NIBIO POP 1, 5-12 sider.
- Vagstad, N. et al. 2013. Økt norsk kornproduksjon. Utdfordringer og tiltak. Rapport frå Ekspertgruppe til LMD. <http://www.regjeringen.no/upload/LMD/Vedlegg/Brosjyrer veiledere rapporter/Korn Rapp 030213.pdf.39.pp>
- Zhang X, Sun N, Wu L, Xu M, Bingham IJ, Li Z. (2016) Effects of enhancing soil organic carbon sequestration in the topsoil by fertilization on crop productivity and stability: Evidence from long-term experiments with wheat-maize cropping systems in China. *Sci Total Environ.* 562:247-59.

NOTATER

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.