

Faste kjørespor i eng



JULIE WIIK¹, ANDERS GJERLAUG², ATLE LENDE³

¹NLR Viken, ²NLR Øst, ³NLR Rogaland

Rapport er skrevet i prosjektet «faste kjørespor i eng, et tiltak for å øke karbonbinding i jorda og redusere lystgassutslipp?» som er finansiert av Forskningsmidler over jordbruksavtalen



Forskningsmidlene
for jordbruk og matindustri

Forord

Det dyrkes gras (fulldyrka eng) på ca. 4,7 millioner dekar jord i Norge (Korsæth et al., 2019). På grunn av de naturgitte forholdene er grasbasert husdyrhold bærebjelken i Norsk landbruk (LMD 2016). Grovfôrproduksjon er derfor en viktig ressurs og vi må hele tiden etterstrebe og dyrke gras på en mest mulig klimaeffektiv måte. Presisjonsjordbruk og økt lagring av karbon er tiltak som stadig trekkes frem i klimadebatten som viktige for å redusere utslipp av klimagasser fra landbruket. Presisjonsjordbruk vil si å bruke ny teknologi til å tilpasse behandlingen av jord og vekst etter behov (Korsæth et al. 2019).

De siste 100 årene i Norge har hovedtendensen i temperaturutviklingen vist at det blir varmere. Fra 1985 og frem til i dag har det vært varmere enn normalt og oppvarmingen fortsetter. Samme utviklingen gjelder for nedbør. Det har blitt våtere, spesielt de 20 siste årene (Meteorologisk institutt 2019). Norsk klimaservicesenter spår mer kraftig, kortvarig nedbør og økning i årsnedbøren i Norge hvis det fortsatt økende klimagassutslippet fortsetter (Hanssen-Bauer et.al 2015). Landbruket er nødt til å tilpasse produksjonen til et klima i endring, men det må også gjøres tiltak for å bremse utslippene av skadelige klimagasser. Jordas infiltrasjonsevne er en av de viktigste jordegenskapene, og blir enda viktigere i sammenheng med klimaendring og større nedbørsmengder (Seehusen 2021).

I grasproduksjon med mange overkjøringer i løpet av sesongen har faste kjørespor et stort potensial. Jordpakking, i hovedsak av tunge maskiner, kan føre til avlingstap fra 9-19%, flom, og jorderosjon (Chyba et al. 2014). Jordpakking gir dårligere jordstruktur og dårligere forhold for plantevekst. Det kan påvirke forholdet mellom luft og vann i jorda, og de fysiske mulighetene for rotutvikling og utnyttning av gjødsel (Øygarden et al. 2009). LMD (2016) nevner mer bruk av faste kjørespor som et driftsmessig tiltak for å tilpasse driften til våtere dyrkingsforhold. Med økt krav til effektivitet er det stadig økende størrelse og vekt på landbruksmaskinene. I Danmark har eksempelvis traktorvekten økt fra 2,6 tonn i 1970 til 6,6 tonn i 2000 (Gasso et al. 2013). Endret kjøremønster kan være nødvendig for å opprettholde tilstrekkelig god jordstruktur. I grasproduksjon med mange overkjøringer i løpet av sesongen har faste kjørespor et stort potensial. Det er ofte den første overkjøringen på jorda som gir størst pakkeskader (Kroulik et al. 2014).

Norsk Landbruksrådgiving Viken fikk i 2017 innvilget forskningsmidler over jordbruksoppgjøret å undersøke hvordan faste kjørespor kan redusere klimagassutslipp og øke karbonbindingen i grasproduksjon. I prosjektet har det vært forsøksvirksomhet i Østfold og Vestfold med faste kjørespor, kunnskap og erfaringer har blitt hentet inn og videreformidlet fra de beste fagpersonene på området i Europa, teknikk og

presisjonsteknologi er belyst, klimagevinst fra faste kjørespor har blitt regnet på ved hjelp av landbrukets klimakalkulator.

Rapporten er delt i tre deler. Del 1 er en litteraturgjennomgang på ulike tema innen faste kjørespor, utenlandske forsøk og erfaringer med faste kjørespor, samt norske forsøk med jordpakking. Del 2 er forsøk og erfaringer fra norske gårdbrukere i prosjektet. Del 3 er en gjennomgang av tilnærming til faste kjørespor ved ulike transportlinjer.

Del 1 er skrevet av Julie Wiik i NLR Viken, del 2 er skrevet av Julie Wiik og Anders Gjerlaug, del 3 er skrevet av teknikkrådgiver Atle Lende i NLR Rogaland. Ingvild Evju, NLR Viken, Maren Holthe, NLR Øst og Jogeir Magnar Agjeld, NLR sentralt har også bidratt vesentlig i prosjektet. Det rettes en stor takk til forsøksverter og andre delaktige bønder.

Foto framside: Julie Wiik.

Sammendrag

Denne rapporten inneholder resultater fra prosjektet «Faste kjørespor i eng – et tiltak for å redusere lystgassutslipp og binde karbon». Rapporten er delt i tre deler, og er finansiert av forskningsmidler over jordbruksavtalen. Del 1 er en litteraturgjennomgang på ulike tema innen faste kjørespor, utenlandske forsøk og erfaringer med faste kjørespor, samt tidligere norske forsøk med jordpakking. Del 2 er forsøk og erfaringer fra norske gårdbrukere og rådgivere. Del 3 er en gjennomgang av tilnærming til faste kjørespor ved ulike transportlinjer.

I grasproduksjon med mange overkjøringer i løpet av sesongen har faste kjørespor et stort potensial. Jordpakking, i hovedsak av tunge maskiner, kan føre til avlingstap fra 9-19%, flom, og jorderosjon (Chyba et al. 2014). Jordpakking gir dårligere jordstruktur og dårligere forhold for plantevekst. Det kan virke på forholdet mellom luft og vann i jorda, og de fysiske mulighetene for rotutvikling og utnytting av gjødsel (Øygarden et al. 2009). Jordpakking og mekanisk skade på gras og belgvekster kan føre til endret botanisk sammensetning. Forsøk viser at spesielt rødkløver påvirkes av kjøring (Lunnan et al. 2017, Hansen 1996).

Forsøk i prosjektet viser at jordpakking i mange tilfeller vil påvirke grasavlingene. Det var klare forskjeller i jordstruktur mellom behandlinger uten pakking og tung pakking.

Beregninger på klimagassutslipp fra forsøksfelt ved hjelp av Landbrukets klimakalkulator viser at økte avlinger, uten ekstra innsatsfaktorer, gir reduksjon i lystgassutslipp per produserte enhet og potensiale til økt karbonbinding gjennom økt avling og rotmasse.

Erfaringer fra norske bønder er at faste kjørespor gir økte avlinger, raskere gjenvekst, raskere opptørking av jorda, innsparing på gjødsel og plantevernmidler grunnet mer presis kjøring og mindre overlapp, lenger holdbarhet av rødkløver og bedre jordhelse.

Innhold

Sammendrag	3
DEL 1 Litteraturgjennomgang	6
1 Faste kjørespor	6
1.1 Hva er faste kjørespor?	6
1.2 Hvorfor faste kjørespor	7
1.3 Utbredelse og historikk	8
2 Innvirkning på vekstforhold.....	10
2.1 Jordpakking og jordfysiske forhold.....	10
1.1 Effekt på botanisk sammensetning, kløver og nitrogenfiksering	11
2 Innvirkning på klima.....	12
2.1 Lystgassutslipp.....	12
2.2 Karbonlagring	13
2.3 Dieselforbruk og trekkraftbehov.....	14
3 Avlingsrespons med faste kjørespor.....	15
3.1 Avlingsrespons gras	15
3.2 Avlingsrespons korn	16
4 utfordringer med faste kjørespor.....	17
5 Diskusjon.....	17
6 Konklusjon	19
Litteraturliste	21
DEL 2 Egne forsøk og erfaringer fra Norge	24
1 Mål	24
2 Materiell og metode.....	24
2.1 Utvalg av gårder og beskrivelse av gårdene	24
2.2 Forsøksfelte	25
2.3 Våre undersøkelser	27
2.3.1 Avlingskontroll	27
2.3.2 Vurderinger av jord	27
2.3.3 Beregning av klimagassutslipp og karbonbinding	28
3 Resultater.....	29
3.1 Avling	29
3.2 Visuelle registreringer av jord, plantevekst og jordliv	31
3.3 Jordmotstand (Penetrometermålinger).....	35
3.4 Infiltrasjon.....	35
3.5 Aggregatstabilitet	36

3.6	Beregning av klimagassutslipp i forsøksfelt.....	38
4	Erfaringer fra norske bønder.....	39
5	Diskusjon.....	40
6	Konklusjon	41
7	Litteratur	42
DEL 3	Aktuelle løsninger for faste kjørespor med forskjellige transportlinjer.....	43
1	Lessevogn.....	44
2	Eksaktsnittet	44
3	Rundballer.....	46

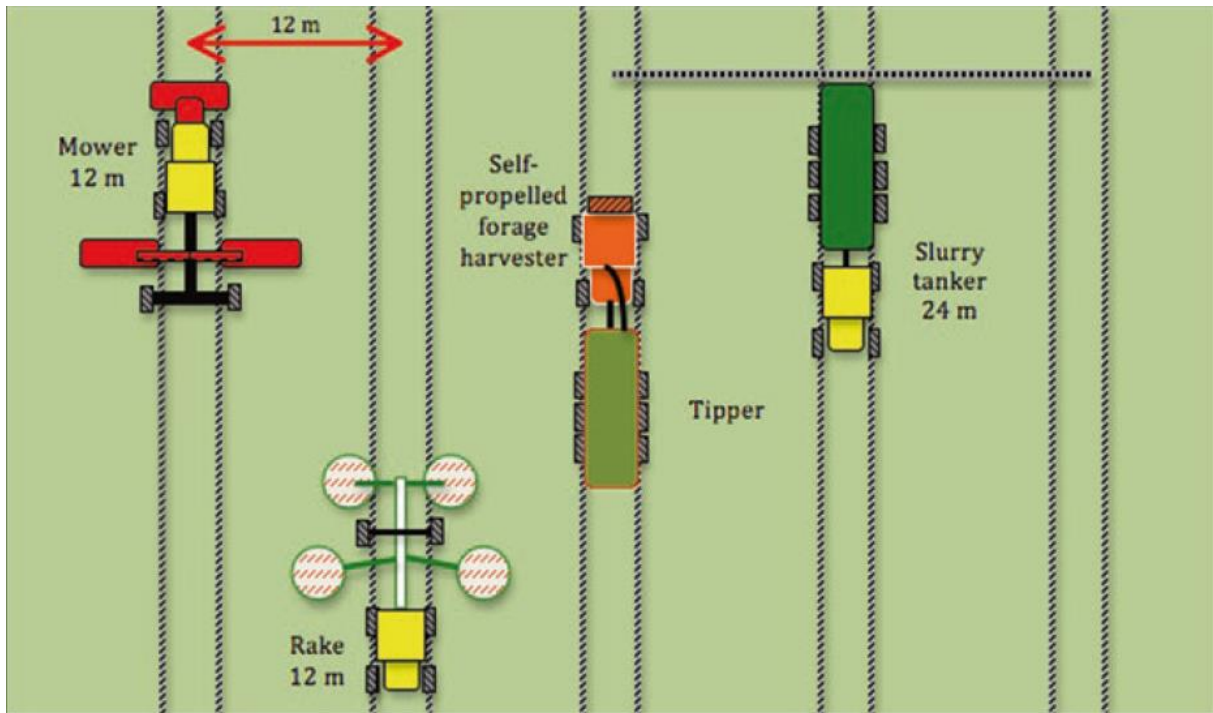
DEL 1 Litteraturgjennomgang

1 Faste kjørespor

1.1 Hva er faste kjørespor?

Faste kjørespor, eller controlled traffic farming (CTF), innebærer at alle operasjoner på jorden foregår på faste arbeidsbredder, og alle kjøringene skjer i samme spor. CTF omtales internasjonalt ikke bare som tilpassede arbeidsbredder og kjøremønstre, men som et helt system som optimaliserer alle aspekter av dyrkingen, ikke bare kjøringa (Chamen 2015). Faste kjørespor omtales videre bare som arbeidsbredder og kjøremønstre, og de positive eller negative konsekvenser det fører med seg. For å kjøre med faste kjørespor må maskiner og hjulavstand være tilpasset de samme faste sporene. På den måten blir det ingen kjøring utenom sporene. For å kunne kjøre i de samme sporene igjen og igjen, er det i de fleste tilfeller en forutsetning at maskinene er utstyrt med autostyring og posisjonsutstyr med tilstrekkelig nøyaktighet, helst ned mot to til tre centimeters avvik. Et slikt system bygger på GNSS-signaler fra satellitter (Global Navigation Satellite Systems, der GPS er den mest utbredte). GNSS-signalene har for stort avvik til å kunne brukes direkte, og de vandrer, slik at de i seg selv ikke er repeterbare over tid og fra år til år. Derfor må de korrigeres for å bli nøyaktige nok. Den mest nøyaktige og egnete korreksjonen er RTK-signaler (real time kinematic - sanntids korreksjon) (Alvemar et al. 2017). Dette for å sikre at trafikken blir begrenset til faste spor, som lar seg repetere både fra time til time og fra år til år. I grasproduksjon er det ikke nødvendigvis kritisk at ikke alle traktorene som benyttes har autostyring. Hvis traktoren med slåmaskinen har autostyring med RTK-signaler, og graset legges i skår, trengs ikke autostyring på traktorene som raker og plukker opp grasrankene (Alvemar et al. 2017). Hvis det brukes vogn for spredning av husdyrgjødsel bør denne traktoren ha RTK-precisjon da dette er den tyngste operasjonen med tanke på jordpakking (Alvemar et al. 2017).

Med faste kjørespor i grasproduksjon er det vanlig at grashøstingen, spredning av mineralgjødsel og gjødsling med husdyrgjødsel inngår i arbeidsbreddene, men at jordarbeiding og såing utelates. Jordarbeiding og såing utelates fordi det er mer krevende å få til å passe i systemet. Arbeidsbredder på åtte, ni og 12 meter er praktisk gjennomførbart, men i Norge vil arbeidsbredder mellom tre og ni meter være mest aktuelt. Det vil kreve investeringer for å tilpasse hele høstelinja til faste arbeidsbredder. (Alvemar et al. 2017)



Figur 1: CTF system for grashøsting tilpasset 12 meters arbeidsbredde. (Alvemar et al. 2017)

1.2 Hvorfor faste kjørespor

Formålet med faste kjørespor er blant annet å øke avlingsmengdene ved å redusere andelen av jorda som blir kjørt på. Den potensielle avlingen er høyere der jorden ikke har blitt kjørt på, og faste kjørespor gir mulighet til å få større avling i gjennomsnitt på den enkelte åker (Alvemar et al. 2017). Jord som ikke er pakket har bedre infiltrasjonsevne av vann og gjødsel gjennom større porevolum. Det gir bedre rotvekst.

I grasproduksjon med mange overkjøringer i løpet av sesongen har faste kjørespor et stort potensial. Hansen og McKinnon (1999) hevder at det i utgangspunktet er best å samle all kjøring i samme sporet, istedenfor å fordele kjøringen over hele arealet. Det er den første overkjøringen på jorda som gir størst pakkeskader (Kroulik et al. 2014). Når man ikke kjører med faste kjørespor styrt av GPS-verktøy omtales dette ofte som uorganisert eller tilfeldig kjøring (Chamen 2015). Tilfeldig kjøring reduserer porevolumet og gir dårligere jordstruktur på et større areal (Chamen 2015, Alvemar et al. 2017).

Det trafikkerte området med faste kjørespor avhenger av arbeidsbredder. Et system med seks til åtte meter arbeidsbredde resulterte i at omtrent 25 prosent av jordet ble trafikkert. Økes bredden til 12 meter reduseres det trafikkerte området til 17 prosent (Hargreaves et al. 2017). Overgang fra tilfeldig kjøring til faste kjørespor, med arbeidsbredde mellom tre til 12 meter, reduserte trafikkert område fra 80-90 prosent til 13-40 prosent (Hargreaves et al.

2017). Kroulik et al. (2014) ved Harper Adams Universitet i England har kartlagt kjøremønster til to grashøstingsteknikker ved tilfeldig kjøring med to høstelinjer, rundballer og eksaktsnitter. Resultatet var at henholdsvis 63,4 prosent og 63,8 prosent av arealet ble trafikkert. I snitt blir alt areal overkjørt minst en gang i løpet av en sesong med tilfeldig kjøring (Munkholm og Green 2006). Antall overkjøringer i løpet av en sesong ved grashøsting i Norge er illustrert i tabell 1.

Tabell 1 Antall overkjøringer i løpet av en sesong ved x antall slåtter. Laget av Atle Lende, teknikkrådgiver i NLR.

Arbeidsoperasjon	1 slått/år	2 slått/år	3 slått/år	4 slått/år	5 slått/år
Husdyrgjødsel	1	2	2	3	3
Mineralgjødsel	1	2	3	4	4
Sprøyting*	1	1	1	1	1
Slåing	1	2	3	4	5
Vending	1	2	3	4	5
Raking	1	2	3	4	5
Høsting	1	2	3	4	5
Transport	1	2	3	4	5
Antall kjøringer totalt	8	15	21	28	33

*ved sprøyting i sesong mot f.eks. høymole. Ikke vanlig praksis alle steder.

1.3 Utbredelse og historikk

Utenfor Norge er det jobbet med faste kjørespor i eng i flere år, men det er i korn og grønnsaker systemet er mest utbredt. Korsæth et al. (2019) har kartlagt utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi med presisjonsjordbruk i Norge, men har ikke inkludert bruk av faste kjørespor. Videre skriver Korsæth et al. (2019) at det er nesten ingen i Norge som praktiserer denne metoden i eng i dag, og at det først og fremst skyldes at det er utfordrende og kostbart å oppgradere hele maskin- og utstyrsparken så det passer med et slikt regime.

Norsk Landbruksrådgiving har utført en spørreundersøkelse hos norske gårdbrukerne om bruk av presisjonsutstyr og hvilket utstyr som finnes på gårdene (Agjeld & Dyrdal 2019). Av de 2794 bøndene som har svart på undersøkelsen bruker en tredjedel presisjonsutstyr. Videre har 165 bønder svart at de bruker faste kjørespor. Ut fra påfølgende oppfølgingsspørsmål, er det grunn til å tro at en del av disse kan ha en annen oppfatning av hva faste kjørespor er. Mange svar ser ut til å gjelde sprøytespor, som kun er faste gjennom sesongen. I spørreundersøkelsen av Agjeld & Dyrdal (2019) har 41 av de 165 personene som svarte ja på faste kjørespor oppgitt at det er arbeidsbredde mellom seks og tolv meter, men her kan det også være feilkilder. Agjeld og Dyrdal anslår ut fra undersøkelsen at det er godt under 100, kanskje rundt 50 bønder, som praktiserer faste kjørespor i Norge i dag (Rådata fra undersøkelsen/personlig meddelelse Agjeld 2019).

I Norge er det mer utbredt med faste kjørespor i grønnsaks og potetdyrking. Allerede på tidlig 80-tallet ble det utført forsøk med faste kjørespor (kjøregater) i grønnsaks og potetdyrking (Guren 1985). I Nederland ble det fra 1976-84 gjennomført flere forsøk med faste kjørespor i grønnsaker (Lamers et al. 1986).



Bilde 1: Høsting av sukkerbeter med faste kjørespor (Lamers et al. 1986)

Chamen (2015) hevder at begrepet CTF ikke dukket opp i vitenskapelige databaser før 1982. Fra tidlig 1980 til 2000 dukket det opp stadig flere artikler basert på forsøk med faste kjørespor sammenlignet med tilfeldig kjøring. Fra 2000 tallet kom det også resultater fra langvarige forsøk med faste kjørespor, men også sammendrag av flere tidligere forsøk.

Thomsen et al. (2018) har hatt en større spørreundersøkelse av gårdbrukere i åtte europeiske land om deres oppfatning av faste kjørespor og tilhørende teknologi. Begrenset tilpasning til denne formen for kjøring ser ut til å være høye kostander på maskintilpasning, innkjøp av *RTK* (Real Time Kinematic), mangel på kompatibelt utstyr og GPS systemer, og mangel på beslutningsstøttesystemer. Det kan altså trekkes likheter til situasjonen i Norge. Et aktuelt argument for at faste kjørespor kan være vanskelig å adaptere i Norge er mange og små jorder (arrondering).

2 Innvirkning på vekstforhold

2.1 Jordpakking og jordfysiske forhold

Ulike jordarter responderer forskjellig på jordpakking. Kornfordelingen, andelen leire, silt, sand, stein, og moldinnholdet har mye å si hvordan jorda tåler pakking. Leire, silt og finsand kan være svært utsatt for jordpakking, mens grovere sandjord tåler mer. Videre økes evnen til å motstå pakking med økt innhold av organisk materiale. Myrjord er derimot lite motstandsdyktig mot kjøring og jordpakking. Jordpakking reduserer andelen store luftførende porer mest, jordpartikler pakkes tettere sammen og aggregater blir brutt ned (Hansen og McKinnon 1999).

Jordpakking kan gi dårligere jordstruktur og dårligere forhold for plantevekst. Det kan virke på forholdet mellom luft og vann i jorda og de fysiske muligheter for rotutvikling, og utnytting av gjødsel (Øygarden et al. 2009). Kjøreskader og jordpakking er viktige faktorer som reduserer jordas evne til å ta unna store vannmengder. Chyba et al. 2014 har utført et forsøk der vanninfiltrasjon ble målt etter en og flere overkjøringer. Resultatene viste at jo mer jordpakking jo dårligere ble infiltrasjonsevnen til jorda. Det var imidlertid den første overkjøringen som ga mest jordpakking, og en økning i infiltrasjonsrate (infiltrasjon av mm vann per time) på 500 prosent. Forsøket ble utført under det de beskriver som tørre jordforhold. Alvemar et al. (2017) viser til at jord som ikke er pakket har fire til fem ganger større infiltrasjonsevne enn jord som er påvirket av landbruksmaskiner. Tilstanden på jordoverflaten er også kritisk for dreneringsevnen og for god plantevekst (Kroulik et.al 2014). Hansen (1996) fant at jordpakking reduserte antallet luftfylte porer i jorda fra 12 til syv prosent. Ifølge Gasso et al. (2013) kan faste kjørespor redusere avrenning med 27–42 prosent. Aggregatstabilitet er beskrivende for jordas evne til å motstå ytre påkjenninger slik som slagregn og mekaniske påvirkninger. Redusert jordpakking er igjen avgjørende faktor

for å opprettholde god aggregatstabilitet. Jordas infiltrasjonsevne antas også å ha mye å si for utnyttelse av overflatespredd husdyrgjødsel ved at gjødsla trekker raskere ned i bakken, det gir mindre tap av ammoniakk og dermed redusert utslipp av lystgass (Gasso et.al 2013). Jordpakking reduserer rotvekst noe som begrenser plantenes tilgang både til næringsstoffene (Colombi & Walter 2017), og til fuktighet i dypere jordlag (Seehusen 2019). Jordpakking reduserer karbonbinding i jorda og fører til dårligere utnyttelse av næringsstoffene, noe som igjen fører til økt utslipp av skadelige klimagasser (Rasse et al. 2019, Chamen 2015). Øygarden et al. (2009) antok at man på 20 prosent av all fulldyrka jord (0,9 mill daa korn og 1,5 mill daa eng) i Norge kunne redusere jordpakkingen og at emisjonsfaktoren fra pakka kornareal var 1,75 prosent og fra pakka engareal 2,25 prosent av tilført nitrogen. Potensiale for utslippsreduksjon ble estimert til 117 000 tonn CO₂ ekvivalenter for gras. Jordpakking kan også endre den botaniske sammensetningen i enga (Lunnan et al.2017, Hansen 1996)

1.1 Effekt på botanisk sammensetning, kløver og nitrogenfiksering

Kjøreskader i form av knusing av stengel og blad, skader på rotsystem og avslitte røtter er med på å endre den botaniske sammensetningen i enga. Rødkløver og alsikekløver tåler kjøring dårligere enn hvitkløver (Hansen og McKinnon 1999). Rød- og hvitkløver har ulik voksemåte og egenskaper. Rødkløver er en to- til flerårig plante uten overjordiske sideutløpere. Hvitkløver er en flerårig plante som har krypende, rotslående stengler (Hansen et al 2020). Rødkløver sprer seg ikke vegetativt og må bruke samme rota hele livet. Gjenveksten hos rødkløver skjer derfor i hovedsak ifra nydanna skudd i kronen (overgangen mellom skudd og pålerot) og spredning i enga skjer med frø. Kjøring med traktor og redskap, særlig under ugunstige forhold, kan gi knuseskader på rødkløveren og kløverplanta kan dø. Hvitkløveren har derimot krypende stengler og lager nye røtter fra leddknutene. Dette er med på å gjøre hvitkløver mer motstandsdyktig mot kjøring. Hvis en del av planta blir ødelagt vil det ofte ikke ødelegge for videre formering. I tillegg tåler grasartene våre kjøreskader dårligere enn ville arter som tunrapp og knereverumpe (Hansen og McKinnon 1999).

Belgvekster som kløver spiller en viktig rolle for å få et smakelig surfôr med høyt proteininnhold. Rødkløver er den mest vanlige kløversorten, men rødkløver går ofte ut på grunn av mange overkjøringer, jordpakking og knuseskader. Foruten om disse årsakene går kløver ofte ut på grunn av for høy tilførsel av nitrogengjødsel. Høy nitrogengjødsling gir graset bedre vekstvilkår og kløveren utkonkurreres.

Hansen (1996) fant en reduksjon i kløverinnhold på åtte prosent etter tre år på jord som var pakket sammenlignet med jord som ikke var pakket. I dette forsøket var det en reduksjon av rødkløver etter pakking, men en økning av kvitkløver og alsikekløver. Lunnan et al. (2017) fant derimot ingen signifikant effekt på det totale kløverinnholdet i forsøk med pakking, men også her endret sammensetningen av kløver seg etter pakking. Det ble mer hvitkløver og mindre rødkløver. Rødkløver klarer seg sjelden lengre enn tre år i eng som slås og beites (Hansen et. al 2020)

Belgvekstenes egne nitrogenfiksering kan bidra til å redusere behovet for nitrogentilførsel, da nitrogenfikseringen tilfører økt plantetilgjengelig nitrogen i jorda. Hvor mye nitrogen som fikseres med kløver kan være vanskelig å estimere. I en undersøkelse i Norge gjennomført av FØKO ble det funnet store variasjoner på hvor mye nitrogen som ble fiksert på hver enkelt gård (Hansen 2011). På gårdene varierte bindingen av nitrogen i første års eng mellom tre til 25 kilo nitrogen per dekar (Hansen 2011). Nitrogenfikseringen avhenger av mange faktorer noe som er medvirkende årsak til de store variasjonene (Pommeresche & Hansen 2017). Gras i blanding med fôrbelgvekster kan utnytte opp mot 80 prosent av nitrogenet belgvekstene fikserer (Pommeresche & Hansen 2017). Belgvekstene er avhengig av rikelig med oksygentilførsel til røttene for å ha en effektiv nitrogenfiksering. Jordpakking vil derfor redusere nitrogenfikseringen. Kløver er også med på å heve grovfôropptak hos drøvtyggere. Grassurfôr som inneholder 20-25 prosent kløver kan gi 1,0-1,5 kg høyere tørrstoffopptak per dag sammenlignet med et grassurfôr uten kløver (Mo 2005).

Videre spiller belgvekster en viktig rolle for lagring av karbon i jord. Årsaken til dette er at det må være en balanse mellom mengde karbon og nitrogen som blir tilført jorda for at karbonet skal bli lagret. Belgvekster forsyner systemet med mer nitrogen for lagring av karbon enn det korn og grasarter gjør. Dette gjelder også selv om korn og gras blir gjødslet. I tillegg bidrar økt plantediversitet til mer karbonlagring. (Hansen et al. 2020)

2 Innvirkning på klima

2.1 Lystgassutslipp

Oksygenmangel i jord fører til tap av nitrogen som lystgass og nitrogengass (Hansen og McKinnon 1999). Tullberg et al. (2018) har målt utslipp av lystgass og metan fra jord på seks korngårder i Australia over tre år. Lystgassutslippet fra trafikkert jord ga signifikant høyere utslipp enn utrafikkert jord. Fra dette arbeidet konkluderer de med at faste kjørespor, hvor kun 10-20 % av jorda blir kjørt på kan redusere utslipp av lystgass fra jorda med 30-50

prosent. Gasso et al. (2013) har sammenstilt flere forsøk innen faste kjørespor og sett på miljøgevinstene ved denne formen for kjøring. Det vises til at utslippet av lystgass fra jord kan reduseres med 21-45 prosent med faste kjørespor sammenlignet med tilfeldig kjøring. Bak disse tallene er det flest forsøk i grønnsaker og forsøkene er få. Bardalen et al. (2018) viser til tidligere nevnte forsøk av Rivedal et al. (2013) som fant at lystgassutslippet i perioden på cirka en måned etter gjødsling med seks kg nitrogen etter førsteslåtten var dobbelt så stort på areal pakket med tung traktor (33 g lystgass-N/daa) i forhold til upakket areal (17 g lystgass-N/daa). Året etter var utslippet på et høyere nivå, men med mindre forskjell mellom pakka (56 g lystgass-N/daa) og upakka (44 g lystgass-N/daa). Øygarden et al. (2009) viser til forsøk med lystgassmålinger på eng i Surnadal på 90-tallet som viste stor økning i lystgassutslippet etter pakking. Jord som er mest utsatt for pakking vil også ha størst potensiale for økte lystgassutslipp.

2.2 Karbonlagring

Karbon inngår i alle organiske forbindelser, og jorda fungerer som et lager for karbon. Dyrket jord inneholder karbon i form av levende og dødt organisk materiale (Serikstad et al. 2019). Innholdet av karbon i jord på en meters dybde er cirka to ganger større enn innholdet i atmosfæren (Höglind et al. 2016). Karbonlagring i jord blir regnet som et av de mest kostnadseffektive tiltakene for reduksjon av CO₂ i atmosfæren (Grønlund et al. 2008). Rasse et al. (2019) peker på forbedret drift av eng som et punkt for å øke karbonbinding i jord i Norge. Han skriver videre at eng er viktig for karbonlagring, men potensialet for økning av karboninnholdet trolig er lite fordi mye eng driftes på en god måte og allerede har et høyt karboninnhold i jorden. God agronomi som sørger for god plantevekst både over og under bakken er viktig for å opprettholde karbonmengden i jord (Rasse et al. 2019). Videre viser Rasse et al. (2019) til nye studier fra Canada som påpeker at avlingsnivå er viktig for å opprettholde eller øke karboninnhold i jord.

Det er også et stort potensial for å frigi karbon til atmosfæren i form av endret dyrkningspraksis. Jorden har en begrenset evne til å lagre store mengder karbon. Langvarige forsøk har vist at innlagringen avtar etter hvert som jorda nærmer seg en likevekt (Serikstad et al. 2019, Grønlund et al. 2014). Det er ikke noe bestemt tall for naturlig likevektsnivå for karboninnhold i norsk jord, men en antar at mineraljord med langvarig eng er omtrent i likevekt (Rasse et al. 2019). Karbon og organisk materiale i jorda er med på å lage god matjord og er derfor essensielt for matproduksjon (LMD 2016). Dyrking av gras vil bidra til mer binding av karbon enn dyrking av åkervekster (Grønlund et al. 2008). Ved

grasdyrking er det vegetasjonsdekke hele året, noe som gir fotosyntese over lengere perioder. Det er også mer underjordisk biomasse, både av døde og levede røtter. Røttene brytes langsommere ned enn overjordisk masse, og grasdekket hindrer lufttilgang til jorda og nedbrytingen går saktere (Grønlund et al. 2008). Karboninnholdet i jorda øker med rotmengde og rottybde (Grønlund et al. 2014, Höglind et al. 2016). Rottybde er essensielt for økt stabilisering av karbon. Rasse et al. (2019) viser at høyere artsmangfold bidrar til økte nivåer av jordkarbon, trolig fordi større rotbiomasse og aktivitet blir mulig gjennom et rikt mangfold av plantearter. Karboninnholdet i jorda er viktig for jordas vannlagringsevne. En fordobling av karboninnholdet i leirjord kan føre til 50-100 prosent mer plantetilgjengelig vann (Riley 2003). Karbonlagringskapasiteten er sterkt avhengig av jordstrukturen (Barnes 202). Jordstrukturen bestemmes av hvordan små og store partikler og porer i jorda er ordnet i forhold til hverandre (Pommeresche og Haugerud 2017). Rasse et al. (2019) henviser til en studie der det rapporteres om at for hver økte prosentenheter karboninnhold i jord fra organisk gjødsel, minket jordtettheten med fem prosent. Jordtetthet er avgjørende for rotvekst. Lite jordpakking er positivt for bevaring- og øking av karbon i jorda (Rasse et al. 2019).

2.3 Dieselforbruk og trekraftbehov

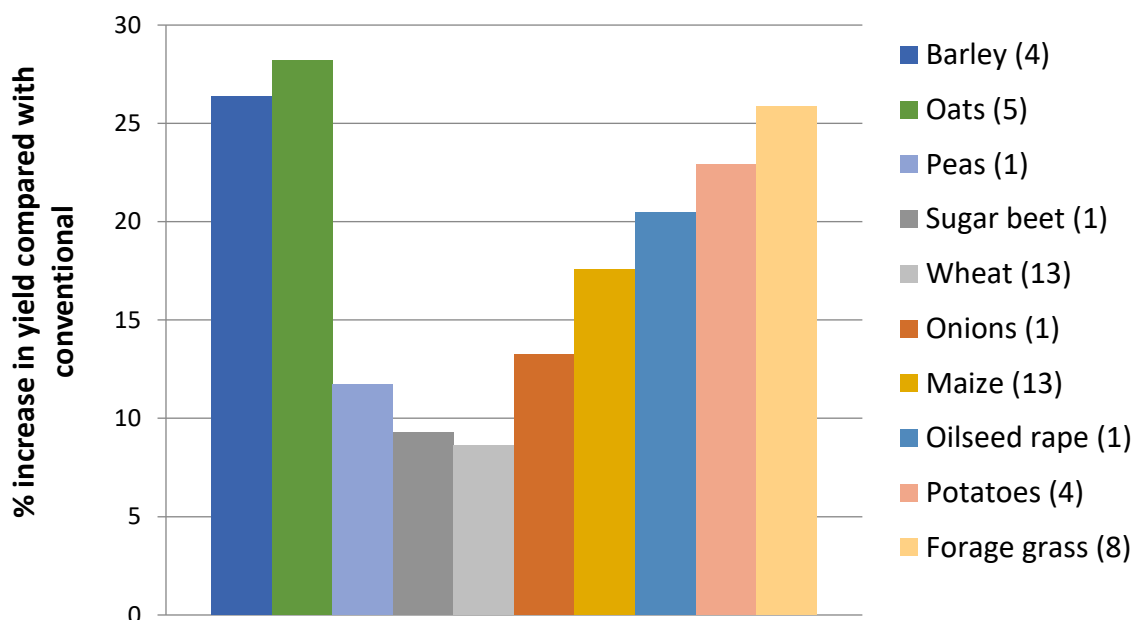
Trekraftbehov er ofte mye større ved jordpakking, pakket jord kan derfor gi et større drivstofforbruk ved jordarbeiding. Rullemotstand er imidlertid lavere når det kjøres på pakket jord. Munkholm (2006) skriver at energibehovet til jordarbeiding er 30-70% lavere ved faste kjørespor. I et faktaark fra Australia om faste kjørespor av Blackwell et al. (hentet 2019) skrives det at det er lavere drivstofforbruk ved faste kjørespor på grunn av mindre rullemotstand i kjørespor og ved jordbearbeiding. At det blir mindre rullemotstand i eng i Norge, slik at drivstoff kan bespares, er lite trolig (Till Sehusen pers med.) Kildene over refererer nok mest til faste kjørespor i korndyrking, der det også kanskje ikke sås planter i sporene. Det vil gi annen kjørebane enn i eng, med god vekst, også i spor. Det nevnes mye om redusert drivstofforbruk i utenlandsk litteratur, men ofte legges det også om til redusert jordarbeiding sammen med faste kjørespor (Chamen 2011). Reduksjonen i drivstofforbruk blir derfor høy og lite relevant i forhold til slik vi vurderer faste kjørespor i denne rapporten.

En planlagt kjøring på jordet kan redusere kjørelengden og overlapping på jordet og dermed gi redusert drivstofforbruk og utslipp av CO₂. Beregninger i Korsæth et al. (2019) viser at effekten av mer nøyaktig kjøring kan gi årlig reduksjon på nesten fire kg CO₂ ekvivalenter per dekar. Klimaeffekten kommer av reduksjon i dieselforbruk og innsatsfaktorer. Her kan det trekkes linjer over til faste kjørespor.

3 Avlingsrespons med faste kjørespor

3.1 Avlingsrespons gras

Det er foreløpig ingen andre forsøk med faste kjørespor i Norge enn forsøkene som er utført i dette prosjektet. Det er flere forsøk med jordpakking der resultatene kan være overførbare til hva man kan forvente med faste kjørespor.



Figur 2. Sammenstilling av forsøk med faste kjørespor/jordpakking og avlingsrespons i ulike kulturer. Kilde: Chamen 2011 Modifisert av Tim Chamen 2020 Including: Myhr & Njøs, 1983 Hansen, 1996

Chamen (2011) har sett på avlingsøkning med faste kjørespor sammenlignet med konvensjonell kjøring i flere kulturer. I grovfôrproduksjon er det 26% avlingsøkning i studiene som inngår i sammenstillingen.

Det er i flere forsøk funnet reduserte avlinger ved jordpakking (Hansen 1995, Alvemar et al. 2017). Douglas et al. (1992) sammenlignet grasets respons på tilfeldig kjøring, redusert marktrykk og arealer uten kjøring. Resultatet var en avlingsøkning på arealer med redusert marktrykk og ingen kjøring. Chamen et al. (1992) fant en signifikant avlingsøkning i raigras med både redusert marktrykk og der det ikke var kjørt. Alvemar et al. 2017 har oppsummert studier som har målt avlingsreduksjon som årsak av jordpakking/ekstra kjøring (Figur 3).

Study	Yield decrease (%)	Grass crop	Soil type	Location
Douglas and Crawford (1991)	32	Ryegrass	Clay loam	Scotland
Douglas et al. (1992)	13	Ryegrass	Clay loam	Scotland
Elonen (1986)	8–68	N/A	Clay loam	Finland
Frame (1982)	11–36	Red clover	N/A	Scotland
Frost (1988)	9–13	Ryegrass	Clay loam – Sandy clay loam	Northern Ireland
Hansen (1996)	27	Grass/clover	Sandy loam	Norway
Håkansson et al. (1990)	9	Grass/clover	Various	Sweden
Jorajuria et al. (1997)	74	Grass/clover	Silty loam	Argentina
Jørgensen et al. (2009)	4.6–23	Grass/clover	N/A	Denmark
Rasmussen and Møller (1981)	21–54	Ryegrass & Grass/clover	Sandy loam & silty loam	Denmark

Figur 3: Oppsummering av studier, avlingsrespons på jordpakking (Alvemar et al. 2017)

NIBIO har hatt et større feltforsøk med jordpakking på jord ved tre NIBIO-stasjoner, med tre pakkingsledd. På siltjord ga pakking stor avlingsnedgang (20 %), nedgangen var mer moderat (6 %) på siltig sandjord og det var ingen avlingseffekt på sandjord med god luftveksling. Det var i tillegg små forskjeller mellom bruk av lett eller tung traktor. (Rivedal 2013, Rivedal 2016).

3.2 Avlingsrespons korn

Harper Adams University (UK) etablerte i 2011 et langtidsforsøk kalt «Traffic and Tillage Project». Der de har undersøkt hvordan faste kjørespor og jordarbeidings-systemer påvirker jordforhold, plantevekst og avling og produksjonsøkonomi. Prosjektet har nylig blitt avsluttet, og publikasjoner fra prosjektet vil komme fortløpende. Forsøket er med ettårige åkervekster alle år (høsthvete – høstbygg – vårkorn – åkerbønner). Det er registrert avlinger fra 2013-2021. Avlingsresultater fra første året med avlingskontroll viser at system med faste kjørespor hadde signifikant høyere avling (Smith et.al 2014). Chamen (2011) viser til at jordpakking reduserer avlinger i hvete med opptil 16%.

Resultatene fra seks års forsøk i Sverige viser ingen avlingsøkning for systemer med faste kjørespor sammenlignet med konvensjonell tilfeldig kjøring. Det var høy avling også i kjørespor, og pakkingen i kjøresporene var ikke kritisk. Men det var mye bedre infiltrasjon og jordstruktur der det var kjørt med faste kjørespor. (Holm et al. 2017)

4 utfordringer med faste kjørespor

Når det kjøres på samme sted i enga år etter år kan det føre med seg spordannelse. Kjøresporene kan bli dypere enn resten av jordet, som igjen kan gjøre at det blir vanskelig å plukke opp fôret med riva og kan gi forurensing av jord. Maskiner må passe med hverandre i bredde, og overgang til faste kjørespor kan føre med seg et stort investeringsbehov. I tillegg kreves det disiplin, det kan ikke kjøres hvor som helt på skiftet lenger. Det kreves kunnskap om styringssystemer og god opplæring av ansatte og innleide.

I Norge er det mange som benytter seg av rundballer i høstelinja. Håndtering av rundballer i system med faste kjørespor kan være utfordrende. Løsninger på transportlinjer med og uten rundballer blir presentert i Del 3.

5 Diskusjon

Vi har allerede observert klimaendringer. Blant annet har nedbørsmønstrene endret seg, og det er observert endringer i mer ekstremvær (Dannevig & Harstveit 2019). Det faller generelt mest nedbør om høsten. (Dannevig & Harstveit 2019). Om høsten skjer mye av innhøstingen i Norge, det skal treskes korn og høstes andre- eller tredjeslått. Jord uten pakkeskader har en bedre infiltrasjonsevne, og med faste kjørespor får en redusert det trafikkerte området betraktelig (Hargreaves et al. 2017). Det er derfor å anta at arealer der det praktiseres faste kjørespor har en raskere opptørking etter regnværsperioder. I tillegg begrenses pakke- og kjøreskader til en liten del av jordet. Hargreaves et al. (2017) viser til at i år med normale værforhold vil jord og planteskade forekomme som et resultat av kjøring i vår og høstmånedene. Utviklingen i klimaendringene vil fortsette. Ved høyere breddegrader, Norge og Nord-Europa, vil det bli flere intense nedbørsepisoder. Klimaframskrivninger for 2050 viser at forlengelsen av vekstsesongen vil føre med seg flere slåtter (Höglind et al. 2016). Det gjør at vi må ruste enga for mer kjøring. Höglind et al. (2016) viser til beregninger basert på klimaframskrivningene i FNs fjerde rapport der periodene med sammenhengende

oppholdsvær («høstevindu») var kortere om høsten enn sommeren. Det vil gi økt risiko for pakkeskader grunnet høsting i ugunstige forhold. Forsøket til Tullberg et al. (2018), der det konkluderes med at utslipp av lystgass fra jorda kan reduseres med 30-50 prosent ved overgang til faste kjørespor, er gjort i korn og under andre klimaforhold. I Australia er det er varmere og tørrere klima, og andre jordarter, som vil påvirke utslipp av lystgass på en annen måte enn det er her. I med at det i norsk landbruksjord er et høyt innhold av organisk karbon og periodevist høyt vanninnhold er det gode muligheter for at redusert jordpakking kan medføre reduserte lystgassutslipp. Rivedal (2013) fant i sin studie høyere lystgassutslipp der det var kjørt med tung traktor. Lav oksygentransport som følge av jordpakking gir økende denitrifikasjon. Bruk av planter med dypt rotsystem og større rotmasse er et tiltak for å binde mer karbon i grasmark. Hvor mye som kan bindes i grasmark er vanskelig å anslå. Binding og tap av karbon i jord er sterkt avhengig av hvordan jorda drives. Høglund et al. (2016) konkluderer med at på grunn av stor andel grasareal (ca. 65 % av jordbruksarealet) og relativt høyt karboninnhold, er potensialet for å ta opp mer karbon i dyrket mark begrenset. Økte grasavlinger vil kunne binde mer karbon eller opprettholde karbonet på et likevekstnivå. Et dypt og stort rotsystem har i tillegg andre gunstige klima og miljøeffekter, som bedre opptak av næringsstoffer og mindre erosjon og avrenning. Dette er også faktorer som påvirker grasavlingen.

Belgvekster fikserer nitrogen fra luften. En høyere andel kløver og andre belgvekster vil redusere behovet for tilleggsgjødsling. Gårdbrukerne erfarer at kløverandelen avtar med engårene. En av årsakene til at kløver går ut er kjøre- og pakkeskader. Faste kjørespor kan bevare innholdet av kløver som er en viktig komponent i en næringsrik eng. Hvis gårdbrukeren tilpasser gjødslingsplanen ut fra andel kløver i enga vil dette redusere behovet for tilført nitrogen, som ofte blir gitt som mineralgjødsel. I en eng der det praktiseres faste kjørespor bør en ha med både rødkløver og hvitkløver grunnet ulik vekst, og respons på jordpakking (Hansen 1998, Lunnan et al 2017). Redusert nitrogengjødsling og innblanding av kløver gir reduserte lystgassutslipp, og kan bidra til økt karbonbinding.

Grovfôr dyrkinga er en produksjon med mange overkjøringer i løpet av en sesong, og dermed en produksjon som har mye å hente på å praktisere/legge om til et driftssystem med faste kjørespor. Maskinstørrelsen vokser i takt med areal på gårdsbrukene. Tunge maskiner øker faren for jordpakking. Avlingsresultater fra forsøk viser at faste kjørespor har et potensial for å øke avlingene, men mye av forsøksmateriale foreligger er på andre kulturer enn gras. Flere av forsøkene er ikke direkte sammenlignbare på hva vi kan forvente i Norge da både klima, arrondering, værforhold og jordsmonn er ulikt. Det har imidlertid vært flere forsøk med jordpakking i Norge, og blant annet Hansen (1992) viser en signifikant økning i grasavling der det ikke har blitt kjørt.

Skal faste kjørespor innarbeides som et godt klimatilskak er det antakelig viktig at bonden også ser en økonomisk gevinst av å gjennomføre klimatilskaket. Faste kjørespor kan for mange kreve større investeringer og oppgraderinger, og dette bør forsvare seg økonomisk i form av bedre driftsresultater. En begrensning for faste kjørespor i Norge kan være høye investeringskostnader i forhold til utbytte. Selv om forsøk og forskning viser gode resultater, er det vanskelig for hver enkelt bonde å se at dette lønner seg på egen gård. Det kan delvis komme av at resultatene først blir synlige etter noen år, samt at det er svært mange faktorer som påvirker produksjonsresultatene. Terskelen heves ytterligere av behovet for ny kunnskap. En stor investering ved konvertering til faste kjørespor er kostandene rundt autostyringsutstyr, fremtidige system og utvikling kan forhåpentligvis redusere disse kostandene. Økte priser på innsatsmidler i landbruket kan også være med på å hindre bøndene i å gjøre slike investeringer.

Det er viktig å ha med i betraktningene at det ikke nødvendigvis bare er positive aspekter ved et slikt system. Faste kjørespor kan være begrenset egnet på grunn av arrondering. I Norge har vi områder der det er mange og små jorder. Faste kjørespor har nødvendigvis ikke samme potensiale for avlingsøkning, eller er like rasjonelt på alle arealer.

Faste kjørespor kan være med på å opprettholde avlingspotensiale lenger enn det som oppleves i dag. Ofte avtar engavlingene fra tredje høsteåret. Ved å bevare kløver lenger, få mindre kjøreskader, mindre ugras og bedre forhold for grasartene kan faste kjørespor opprettholde avling og kvalitet. Dette reduserer omleggingskostnader, tidsforbruk ved omlegging, kan gi bedre disponering av arealer, gir mindre behov for plantevern og mindre behov for å rette kjøreskader.

6 Konklusjon

Resultater av forsøk viser at det er mulighet å redusere klimagassutslipp ved bruk av faste kjørespor i grovfôrproduksjon, både ved bedre jordstruktur, økt utnyttelse næringsstoffer, og økte avlinger. I tillegg viser forsøk og erfaringer at innsatsfaktorer som gjødsel og plantevern reduseres. Ved å øke avlingene med samme eller færre innsatsfaktorer vil utslipp av skadelige klimagasser reduseres. Hvordan faste kjørespor kan virke inn på totalt karboninnhold i jorda er vanskelig å konkludere rundt da eng allerede binder mye karbon. Økt rotmasse, kløver og biodiversitet kan imidlertid øke karbonbindingen til et likevektsnivå.

Det er også å anta at norske bønder kan ha mye å hente på å kjøre mer effektivt og gunstig på jorden uavhengig av faste kjørespor eller ikke. Spørreundersøkelsen til Agjeld og Dyrdal

(2019) forteller at over 70 prosent av bøndene som har svart og tatt i bruk presisjonsutstyr, mener at teknologien har hatt en større gevinst enn forventet. I samme undersøkelse kommer det frem at kun 27 prosent av grovfôrproducentene som har svart har inkludert noen form for presisjonsutstyr i grovfôrproduksjonen sin (Agjeld & Dyrdal 2019). Det viser at det er store mulighetene for å øke presisjonen i operasjoner på jordet, noe som igjen kan gi miljømessige og økonomiske gevinster.

Det er å anta at faste kjørespor har stort potensiale i Norge, men det trengs mer forskning, forsøk og erfaringer på feltet.

Litteraturliste

- Alvemar H, Andersson H & Pedersen H H (2017): Profitability of Controlled Traffic in Grass Silage Production. Precision Agriculture, Technology and Economics Perspectives, side 147-166.
- Agjeld J., & Dyrdal A. (2019) Omfanget av, og erfaringer med, presisjonslandbruk i Norge. Prosjektrapport
- Bardalen A., Rivedal, S., Aune A., O' Toole A., Walland F., Silvennoinen H., Sturite I., Bøe F., Rasse R., Pettersen I., Øygarden L. Utslippsreduksjoner i norsk jordbruk. Kunnskapsstatus og tiltaksmuligheter. Nibio rapport, vol.4, nr. 149.
- Blackwell, P., Isbister, B., Sheppard, J. Hentet/nettside oppdatert 2022. Årstall på publikasjon ukjent. Controlled traffic farming. Fact sheet. Tilgjengelig fra:
https://s3.amazonaws.com/soilquality-production/fact_sheets/13/original/Phys_-_Controlled_Traffic_web.pdf
- Bryn, Anders. (2019). Innføringskurs i klimagasser fra landbruket, Senter for etter- og videreutdanning (SEVU) (forelesning 23.01.2019).
- Chamen T. (2015) Controlled Traffic Farming – from Worldwide Research to Adoption in Europe and its Future Prospects. Acta Technologica Agriculturae 3 Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, side. 64–73
- Chyba J, Kroulík M, Křištof K, Misiewicz P, Chaney K. (2014) Influence of soil compaction by farm machinery and livestock on water infiltration rate on grassland. Project report. Harper Adams university.
- Chyba J, Kroulík M, Křištof K, Misiewicz P, Smith, E., (2014) Farm machinery passes, compaction and water flow through arable soil. Project report. Harper Adams university.
- Colombi T., & Walter A. (2017) Genetic Diversity under Soil Compaction in Wheat: Root Number as a Promising Trait for Early Plant Vigor.
- Dannevig, Petter & Harstveit, Knut. (2019). klima. I Store norske leksikon. Hentet 29. september 2019 fra <https://snl.no/klima>
- Douglas J.T., Campbell D.J., Crawford C.E, (1992) Soil and crop responses to conventional, reduced ground pressure and zero traffic systems for grass silage production 2
- Gasso V., Sørensen A.G, Oudshoorn F.W., Green O. (2013) Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts. European Journal of Agronomy 48. Side 66-73.
- Grønlund, A., K. Knoth de Zarruk, D. Rasse, H. Riley, O. Klakegg, & I. Nystuen (2008). Kunnskapsstatus for utslipp og binding av karbon i jordbruksjord. Bioforsk rapport vol. 3. nr. 132.
- Grønlund, A., og Harstad O.M. (2014) Klimagasser fra jordbruket. Kunnskapsstatus om utslippskilder og tiltak for å redusere utslippene. Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 11.
- Guren T. (1985) Virknings på avling, kvalitet og jordfysiske egenskaper av ulike kjøreintensitet og bruk av faste kjøregater. Hovedoppgave ved Norges landbrukshøgskole

Hansen, S. (1995) Effects of manure treatment and soil compaction on plant production of a dairy farm system converting to organic farming practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 56, Issue 3, Mars 1996, side 173-186

Hansen S. (2011) Hvor mye nitrogen blir tilgjengelig ved biologisk nitrogenfiksering? Agropub. Tilgjengelig fra: <https://www.agropub.no/fagartikler/hvor-mye-nitrogen-blir-tilgjengelig-ved-biologisk-nitrogenfiksering>

Hanssen-Bauer I., Førland E.J., Haddeland I., Hisdal H., Mayer S., Nesje A., Nilsen J.E.Ø., Sandven S., Sandø A.B., Sorteberg A. og Ådlandsvik B. (2015) Klima i Norge 2100.

Hargreaves, P., Peets, S., Chamen, W., White, D., Misiewicz, P. and Godwin, R. (2017). Potential for Controlled Traffic Farming (CTF) in Grass Silage Production: Agronomics, system design and economics. *Advances in Animal Biosciences*, 8:2, side. 776-781

Korsæth A, Lindgaard H.J, Veidal A, Asheim L.J (2019) Utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi med presisjonsjordbruk i Norge. Rapport.

Kroulik M, Paula M, Chyba J, White D (2014) Field traffic intensity for forage harvesting in the UK. HAU Project Report No. 099, Harper Adams University.

Lamers, J.G., Perdok, U.D., Lumkes, L.D. and Klooster, J.J., 1986. Controlled traffic farming systems in The Netherlands. *Soil Tillage Res.*, 8: Side. 65-76. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

Landbruks- og matdepartementet (LMD) (2016) Landbruk og klimaendringer - rapport fra arbeidsgruppe. Rapport.

Lunnan T, Rivedal, S., Stürite, I. (2017) Effekter av traktorkøyring, gjødsling og frøblanding på avling, botanisk samansetjing, førkvalitet, nitrogenopptak og nitrogenfiksering i eng. NIBIO rapport 3. Nr.81.

Höglind M., Persson T., Østrem L., Jørgensen M., Dalmannsdottir S., Rognli O.A., (2016) Landbruket i møte med klimaendringene. Effekter av endret klima og behov for tilpasninger. Norsk grovforproduksjon.

Meteorologisk institutt (2019) Klima siste 150 år. Tilgjengelig fra: <https://www.met.no/vaer-og-klima/klima-siste-150-ar>

Miljødirektoratet, 2019. Klimagassutslipp fra jordbruk. Tilgjengelig fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-jordbruk/>

Mo, M. (2005) Surfôrboka. Landbruksforlaget, Tun forlag.

NIBIO (2019) Jordbruk, lystgass og metan. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/miljo/tiltaksveileder-for-landbruket/tiltak-mot-klimagassutslipp-fra-landbruket/lystgassutslipp>

Rasse D., Økland I., Bárcena T.,G, Riley H., Martinsen V., Sturite I., Joner E., O'Toole A., Øpstad S., Cottis T., Budai A. (2019) Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord. NIBIO rapport Vol 5. Nr.36

Regjeringen (2019). Intensjonsavtale mellom jordbruket og regjeringen om reduserte klimagassutslipp og økt opptak av karbon fra jordbruket for perioden 2021-2030. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/ada13c3d769a4c64a0784d0579c092f4/klimaavtale-i-jordbruket.pdf>

Riley, H. Mold i jord. Planteforsk Grønn forskning 1-2003, side. 260-273, 2003.

Rivedal, S., Riley, H., Lunnan, T., Børresen, T. Øpstad, S., Stürite, I. 2016. Verknad av traktorkøyring på engavling og jordfysiske forhold. NIBIO Rapport 2.

Rivedal, S. (2013) Lystgassemisjon frå eng under ulik drift på moldrik jord på Vestlandet - Jordlyst, sluttrapport. Tilgjengelig fra: https://www.landbruksdirektoratet.no/no/miljo-og-okologisk/klima-og-miljoprogrammet/prosjekter-stottet-inntil-2012/utslipp/_attachment/34653?_ts=1436828dca8

Serikstad, G.L., Pommeresche, R., McKinnom, K., & Hansen, S. (2018) Karbon i jord – kilder, handtering og omdanning. Norsøk rapport, vol 3, nr. 9.

Seehusen T., (2019) Jordpakking – årsaker, konsekvenser og tiltak. NIBIO POP. Vol.5. Nr.2

Seehusen T., Kan mekanisk jordløsning løse opp pakkeskader under plogsjiktet? Jord- og plantekultur 2021: Forsøk i korn, olje- og belgvekster, engfrøavl og potet 2020. NIBIO-bok;7(1) 2021

Seehusen T., (2022). Personlig kommunikasjon (15.02.2022).

Smith, E. K.1 , Misiewicz, P.A.1 , Girardello, V.2 , Arslan, S.3 , Chaney, K.1 , White, D.R.1 , Godwin, R.J.1 (2014) Effects of traffic and tillage on crop yield (winter wheat *Triticum aestivum*) and the physical properties of a sandy loam soil. Prosjektrapport

Universitetet i Oslo. Uio Publisert 4. feb. 2011 10:38 - Sist endret 9. feb. 2019 12:19

Tilgjengelig fra:

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/n/nitrogensyklus.html>

Tesfai M. (2016) Emissions of N₂O from agricultural soils and mitigation options: A review with special reference to Norwegian agriculture. Vol. 2, Nr.25

Tullberg, J., Diogenes A.,L., Bluett C., Eberhard J., Scheer G. (2018) Controlled traffic farming effects on soil emissions of nitrous oxide and methane. Soil and Tilage Reaserch 176. Side 18-25.

Thomsen M., S., Tamirat T.,W., Pedersen, S.,M., Lind K.,M., Pedersen H.,H., de Bruin S., Nuyttens D., Vangeyte J., Forristal P.,D.; Sørensen C.,G. (2018) Farmers' perception of Controlled Traffic Farming (CTF) and associated technologies. IFRO Working Paper 2018 / 12.

Pommeresche R., Hansen S., (2017) Sjekk belgvekstenes egen nitrogenproduksjon. FertilCrop Technical Note.

DEL 2 Egne forsøk og erfaringer fra Norge

1 Mål

Målsetningen med prosjektet er å kartlegge og utrede mulighetene for et system med faste kjørespor i eng i Norge, heve kunnskapsnivå om systemet, og se på hvilke positive konsekvenser det kan få for klimagassutslipp i form av følgende forventede resultater:

- Lavere klimagassutslipp per produsert enhet
- Øke plantenes næringsutnyttelse gjennom god rotvekst
- Forbedret jordstruktur og jordhelse
- Økte avlinger
- Bevaring av kløver som reduserer det totale nitrogenbehovet
- Lengre omløp på enga uten nedsatt kvalitet

I tillegg samle inn erfaringer fra de produsentene som praktiserer dette i dag.

2 Materieell og metode

2.1 Utvalg av gårder og beskrivelse av gårdene

Det er foreløpig få gårdbrukere som praktiseres faste kjørespor i gras, men i løpet av prosjektperioden har det kommet til flere. Prosjektet er drevet av NLR Viken og NLR Øst, derfor er forsøksfelt lagt innenfor rådgivingsenhetenes geografiske område. Ved oppstart av prosjektet var det tre gårdbrukere i Vestfold som hadde faste kjørespor. I Østfold var det en, og to under oppstart. Ulike forsøksdesign og tilnærming ble diskutert i flere runder før feltene ble etablert. Det ble først etablert to felt våren 2018, men på grunn av sterk tørke i 2018 utgikk begge feltene samme år.

Det var ønske om å etablere nye forsøk i andreårseng, det var derfor litt krevende å finne passende arealer på nytt. De neste forsøkene ble lagt hos to økologiske melkeprodusenter, en i Aremark i Østfold, som var under oppstart med faste kjørespor, og i Våle i Vestfold der de har drevet med faste kjørespor i flere år.

2.2 Forsøksfelta

Østfold:

Feltet i Østfold ble etablert i en førsteårseng i 2019. Enga er sådd med vertens egen blanding som består av timotei 50%, engsvingel 15%, raisvingel 20%, rødkløver 10 % og hvitkløver 5%. For å kunne ta fire slåtter er det blandet inn raisvingel og hvitkløver. Raisvingel har rask gjenvekst etter slått, mens hvitkløveren er god til å tette glipper i enga som kan oppstå i kjøresporene.

Forsøket bestod av 3 behandlinger, ingen pakking, pakking med lett traktor og pakking med tung traktor, med to gjentak. Ved pakking av rutene ble det kjørt hjul i hjul. Rutene i feltet var 5x7 meter. Feltet ble høstet tre ganger begge år.

I 2019 ble pakkingen av rutene med lett og tung traktor utført etter 1.slått, når det var tørre og gode kjøreforhold. Dette var for å vise hvor lite som skal til før en får utslag for pakking på avlinga. I 2020 ble det pakket i de samme rutene etter 1.slått og 3.slått. Alle pakkingene ble gjort under laglige kjøreforhold. Jorddata, vekt på traktorer og tidspunkt for pakking vises i tabell 3.

Tabell 2 Informasjon om felt i Østfold

Østfold								
	Jordtype	P-AI	K-AI	Mold%	pH	Lett traktor	Tung traktor	Tidspunkt for pakking
Felt 2019-21	Lettleire	9	14	4	6,0	4,6 t	7,5 t	Etter 1. slått 2019 Etter 1. slått 2020 Etter 3. slått 2020

Vestfold:

Feltet i Vestfold ble etablert høsten 2019 i en andreårseng. Det er sådd rein timotei, med det var likevel ca.5% kløver, ettersom det trolig er en frøbank i jorda. Felt ble anlagt med ruter på 4x8 meter på tvers av kjøresporene. Vi fikk derfor en rute med kjørespor i, der vi høsten like mye på hver side av kjørespor. I tillegg høstet vi et areal mellom kjørespor som heter «ingen» i tabellen. Det var også pakking med lett og tung traktor som i Østfold. I 2020 ble det tatt tre slåtter. Til tross for veldig god merking av feltet, ble andreslått ved en feiltagelse og misforståelse mellom bonde og entreprenør slått av entreprenør. Til 2.slått ble det tilsatt ekstra med syrebasert ensileringsmiddel noe som resulterte i litt sviskader på hele enga, og gjenveksten ble satt litt tilbake. Dette er likt for alle ruter og påvirker ikke annet enn at avlingene er litt lavere. En uforutsett disponering av arealer hos bonden gjorde at han var tvunget å legge om arealet etter 2020. Vi anla derfor et nytt felt på et annet areal hos samme

bonde. Feltet ble etablert etter samme design som i Østfold, og deretter pakket etter 1.slått 2021. I dette feltet er tung pakking det dobbelte av tidligere vekt. Deretter ble det høstet 2.,3., og 4. slått. Ved pakking av rutene ble det kjørt hjul i hjul. Også i dette feltet er det pakket under laglige forhold.

Tabell 3 Informasjon om forsøksfelt i Vestfold.

Vestfold								
	Jordtype	P-AI	K-AI	Mold%	pH	Lett traktor	Tung traktor	Tidspunkt for pakking
Felt 2020	Siltig lettleire	20	15	4,3	5,8	7,2 t	9,5 t	Høst 2019 Vår 2020 Etter 1. slått
Felt 2021	Siltig lettleire	13	19	4,6	5,6	7,2	14 t (traktor med presse og plastruller)	Etter 1.slått



Bilde 2 Pakking av felt i Vestfold. Foto: Julie Wiik



Bilde 3 Pakking av felt i Østfold. Foto: Anders Gjerlaug

Feltene er ikke tilstrekkelig store, har mange nok behandlinger og gjentak, til at det kan kjøres statistiske analyser på resultatene.

2.3 Våre undersøkelser

2.3.1 Avlingskontroll

Feltet i Østfold ble høstet med en forsøksgrashøster (bilde 4). Høsteruta var på 1,5mx6,5m. I Vestfold ble feltet høstet med en tohjulstraktor (bilde 3) høsteruta er på 1,45mx6-7m. Hele avlingen ble veid, deretter ble det tatt ut en prøve på ca. 1 kg som ble veid rå og tørr for å bestemme tørrstoff. Botanisk sammensetning ble vurdert før hver slått.



Bilde 4 Høsting av felt i Østfold. Foto: Torgeir Ulsrød



Bilde 5 Høsting av felt i Vestfold. Foto: Nandor Siles

I 2021 ble gras fra alle slåtter i Østfold sendt til analyse for næring og mineraler. Disse analysene er ikke med videre resultater da det ikke var noe forskjell mellom behandlingene.

2.3.2 Vurderinger av jord

Spaden som det beste redskapet for enkelt å vurdere jordas struktur (Hansen et al. 2021). Penetrometer og infiltrasjonsmålinger kan i mange tilfeller gi god informasjon om jordas egenskaper, men fuktighetsforhold under måling og andel stein i jorda spiller mye inn på resultatene, og kan gi feil inntrykk. Er det tørt oppfattes jorda hard og det vil være mye mostand med penetrometer.

Det ble foretatt vurderinger av jordfysiske forhold i begge feltene. Jorda ble vurdert etter prinsippene fra VESS – metoden (Visual Evaluation of Soil Structure) og Jordlappen. I en VESS-analyse karakteriserer man jorda på bakgrunn av utseende og observasjon ved en spadediagnose. Jordlappen er 10 indikatorer og sjekkpunkter som gjøres ute i felt, på skiftenivå, for å vurdere jordkvalitet og jordhelse. Det som undersøkes sier noe om lufttilgang, vanntransport, biologisk aktivitet, plantevekst og rotutvikling.

I Østfold ble det foretatt vurderinger av jordfysiske forhold i alle ruter, høst 2020 og 2021 og gjort infiltrasjonsmålinger høst 2020. Høsten 2021 ble det tatt ut prøver for måling av aggregatstabilitet i alle behandlingene i begge feltene. I Vestfold tok vi også ut slike prøver i en syv år gammel eng, det ble tatt mellom kjørespor og i kjørespor. Aggregatstabilitet ble tatt ut ved 5-10 cm dybde, med spadestikk fra 3-5 steder per behandling.

I Vestfold ble det foretatt vurderinger av jordfysiske forhold i alle ruter høst 2019, 2020 og 2021. Infiltrasjonsmålinger høst 2019 og 2021.

Hvor fort vann trenger ned i jorda sier noe om hvor tett jorda er og hvordan jordstrukturen er. I en tett jord tar det lang tid før vannet siger ned i jorda. Infiltrasjonsmålingene ble gjennomført ved at et PVC-rør (10 cm diameter og 25 cm høyt) slås ned mellom 3-5 cm i bakken. Røret ble fylt med litt vann før selve målingen for å fukte opp jorda. Deretter ble det fylt opp vann til ca. 15 cm og målt med tommestokk hvor lang tid det tok før vannet sank 1 cm. Det kan være noe utfordrende å få gode målinger. I eng med godt plantedekke, og når det er tørt kan være vanskelig å få ned røret tilstrekkelig.

Det ble målt jordmotstand med analogt penetrometer i Vestfold høst 2019-2021. Vi tok 4 stikk i hver behandling og leste av psi på 21 cm dybde. Det ble målt under relativt tørre forhold og ikke målt jordfuktighet. Ved en jordmotstand opp til rundt 200psi vokser røttene greit, mellom 200 og 300 psi bruker planten ekstra energi for å få røttene gjennom jorda, over 300 er motstanden så stor at rotveksten hemmes markant og avlingen kan reduseres. Meitemark ble telt fra et spadetak ved jordvurderingene.

2.3.3 Beregning av klimagassutslipp og karbonbinding

Landbrukets klimakalkulator har blitt benyttet for å regne på klimagassutslipp fra forsøkene. Det ble tatt utgangspunkt i avlingene fra forsøksfeltene i 2020. Begge gårdbrukerne har klimaberegninger på hele produksjonen i klimakalkulatoren. Avlingene oppnådd i forsøksfeltene er lagt inn i klimakalkulatoren på det aktuelle skifte via planleggingsverktøyet Skifteplan. Siden det mangler data på andreslått i feltet i Vestfold er det lagt inn lik mengde på avling på alle behandlinger, 200 kg ts per dekar. Mest sannsynlig ville vi hatt forskjell i avling mellom behandlingene. I Østfold har avlingen med ingen pakking blitt korrigert for et kjørespor på 25% av arealet, da blir det et mer reelt avlingstall på hva en kan oppnå med faste kjørespor. Klimakalkulatoren beregner karbonbalansen i mineraljord (uorganisk jord) med karbonmodellen fra gårdsmodellene HolosNor og HolosNorBeef. Karbonmodellen er basert på den svenske modellen *Introductory Carbon Balance Model* (ICBM; Andrén og Kätterer, 1999; Andrén m.fl., 2004) og er justert til norske data for bruk i Norge. ICBM-modellen ble

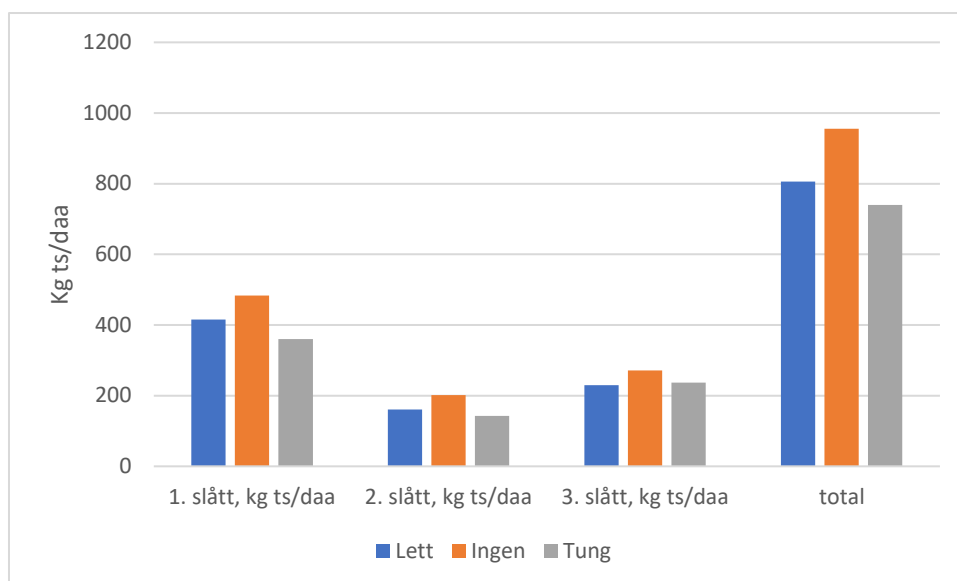
utviklet i Sverige basert på felldata fra Ultuna ved Uppsala for årene 1956-1990. Modellen henter informasjon om veksttype, avling og bruk av husdyrgjødsel fra Skifteplan. Karbonbalansen beregnes på bakgrunn av organisk karbon i jorda ved jordkartleggingen, karbon via vekst, røtter og planterester, tilførsel av husdyrgjødsel, uttak av karbon via avling, faktorer for planterester, humifiseringskoeffisient (planterester og husdyrgjødsel har ulik nedbrytningshastighet), jordarbeiding (pløyd/ikke pløyd) og stedsspesifikke jord- og værdata. Videre beregner modellen lystgassutslipp direkte fra jord og indirekte fra N-utvasking, avrenning og fordamping. Utslipp av lystgass beregnes på skiftenivå. Beregning av lystgassutslippene er basert på tilførsel av nitrogen, både fra husdyrgjødsel og mineralgjødsel, mineralisert nitrogen og nitrogen fra planterester. Jordsmonnsfaktorer som vannmetningsgrad og jordtemperatur er også med i beregningen av lystgassutslipp, da dette er forhold som påvirker andelen av nitrogen som omdannes til lystgass. Værdataene som inngår er fra meteorologisk institutt for årene 1981-2015, altså for 35 enkeltår.

Det er også brukt et svensk rådgivingsverktøy som baserer seg på den samme karbonmodellen (ICBM), for å vise hvordan avling påvirker rotvekst og planterester. Avling fra 2020 i Østfold fra tung pakking og faste kjørespor er lagt inn der.

3 Resultater

3.1 Avling

I Østfold var 2020 det første høsteåret. Mellom behandlingene er det tydelige avlingsforskjeller ved alle slåtter. De upakka rutene har høyest avling gjennom alle tre slåttene. Det skiller ca. 200 kg ts/daa mellom upakket og tungt pakket denne sesongen (figur 4). Det var også en endring i plantebestanden. Rødkløverandelen er redusert i de pakkede rutene, særlig i rutene som er pakket med tung traktor. Hvitkløveren ser ut til å påvirkes mindre negativt enn rødkløver og grasartene.



Figur 4 Totalavling og avling per slått Østfold 2020.

Ved å ta avlingen i ruta med ingen pakking og korrigere inn et kjørespor på 25 % av arealet, med utgangspunkt i avling fra tung pakking, gir det mer reelle avlingstall, og det vi kan forvente på gårdsnivå. Da ender avling i 2020 med faste kjørespor på 902 kg ts/daa. Avlingsøkning fra tung pakking til faste kjørespor er på 22%. Avlingsøkning fra lett pakking til faste kjørespor er på 12 %. Høst 2020 ble rutene med ingen pakking endevendt av jordrotter. Dette trolig fordi jordstrukturen var så løs og gunstig for jordroterne å grave ganger i. Kløverrøtter er attraktiv mat for jordrotter. Rødkløveren i disse rutene døde, og avlingen ble sterk redusert påfølgende år (tabell 4). I rutene med pakking ble det lite/ingen skader. Det resulterte i høyest avling i ruten som var pakket med tung traktor.

Tabell 4 Avlingsresultater i Østfold 2020-2021

2020					
	1. slått, kg ts/daa	2. slått, kg ts/daa	3. slått, kg ts/daa	Total, kg ts/daa	Relativ avling av gj.sn
Lett	416	161	230	806	97 %
Ingen	483	201	271	956	115 %
Tung	360	143	237	740	89 %
Gjennomsnitt totalavling				833	
2021					
	1. slått, kg ts/daa	2. slått, kg ts/daa	3. slått, kg ts/daa	Totalt, kg ts/daa	Relativ avling av gj.sn
Lett	404	70	191	665	100 %
Ingen	478	54	100	632	95 %
Tung	467	66	174	708	106 %
Gjennomsnitt totalavling				668	

Avlingsresultater fra feltene i Vestfold, fremkommer i tabell 6. I 2020 var det høyeste avling med ingen pakking ved alle slåtter. Etter ingen pakking var det høyest avling i rute med faste kjørespor til førsteslått, og likt mellom faste kjørespor og lett pakking til tredjeslått.

Totaltavlingen var høyest med ingen pakking, forskjellene mellom faste kjørespor, pakking med lett og tung traktor er små.

I 2021 var det høyest avling der det var lett pakking. Det er klar avlingsnedgang med tung pakking til 2. slått Til 3. slått var det lavest avling der det ikke var pakket.

Tabell 5 Avlingsresultater for felt i Vestfold, 2020-2021.

2020						
	1. slått, kg ts/daa	2. slått, kg ts/daa	3. slått, kg ts/daa	4. slått, kg ts/daa	total	Relativ avling av gj.sn
Lett	440	-	234	-	674	97 %
Faste kjørespor	464	-	233	-	697	101 %
Tung	452	-	198	-	650	94 %
Ingen	524	-	225	-	749	108 %
Gjennomsnitt, totaltavling		-		-	693	
2021						
	1. slått, kg ts/daa	2. slått, kg ts/daa	3. slått, kg ts/daa	4. slått, kg ts/daa	totalt	Relativ avling av gj.sn
Lett	-	220	382	57	659	110 %
Ingen	-	260	271	53	584	97 %
Tung	-	183	326	47	556	93 %
Gjennomsnitt totalavling	-				600	

3.2 Visuelle registreringer av jord, plantevekst og jordliv

Hardt pakket jord har lite innhold av porer og luft. Dette gir dårlige forhold for mikrobiologisk aktivitet, og jorda vil bestå av større klumper som er kittet sammen mekanisk. Leirpartikler, silt og organisk material i jorda vil naturlig danne små jordaggregater med en kjemisk binding mellom seg. Ved biologisk påvirkning av røtter og mikrobiologi kan disse aggregatene bli større og dermed gi plass for mye mer luft og rotvekst. Vi kaller det da grynstruktur. Og det kjennetegnes ved at de små jordklumpene er runde og gjerne litt porøse. Jord som blir gjentatt hardt pakket vil derfor gi lite biologisk aktivitet og tilby dårlige forhold for plantevekst. Det er en slags ond sirkel. Generelt sett er engdyrking et tiltak som gir god grynstruktur. Det

er stor rotmasse i en eng og grasartene gir opphav til mange stoffer som er god mat for mikrobiologien. Derfor ser vi ofte at engarealer skiller seg vesentlig ut fra åkerarealer med hensyn på grynstruktur, i positiv forstand.

Det var klare forskjeller mellom de ulike behandlingene under alle gravinger, der hvor det er pakket er det flere store og harde klumper. I kjørespor var det dårligere jordstruktur og til dels skivedannelse, men at det likevel var ok kvalitet, og bedre enn fryktet. Dette gjenspeiler nok at engdyrking i seg selv er positivt på jordstruktur. Der det ikke var pakket og mellom kjørespor var det veldig fin jordstruktur, fine aggregater og god grynstruktur.

Bilde 6 og 7 viser jordstruktur i hhv kjørespor og mellom spor på siltig lettleire. I kjørespor er det mer harde, kantete klumper som er vanskeligere å bryte fra hverandre. Mellom kjørespor er det mer avrundede og porøse aggregater. Runde aggregater er et godt tegn på god biologisk aktivitet i jorda. Bilde 8 og 9 viser jordstruktur i kjørespor og mellom kjørespor på mellomleire. Mellom kjøresporene er det fin, porøs jord med porøse jordaggregater, og jorda er gjennomvevd av røtter. I kjøresporet ser man at det er sterk tendens til platestruktur.



Bilde 6 I kjørespor Vestfold høst 2019. Foto: Julie Wiik



Bilde 7 Mellom kjørespor Vestfold høst 2019. Foto: Julie Wiik

Bilde 8 viser en sammenstilling av jordprofiler fra forsøket i Vestfold i 2021. Det er klare forskjeller i jordstruktur. Der det er tung pakking er det tegn på pakking og dårlig jordstruktur i

jordoverflata. Strukturkvaliteten på tung pakking ble vurdert som dårlig til moderat, på lett pakking som moderat, og ved ingen pakking til bra.



Bilde 8 Jordprofiler fra forsøksfelt i Vestfold 2021, tv tung traktor, midt lett traktor, th ingen pakking. Siltig lettleire. Foto: Julie Wiik

I Østfold, bilde 9, ser vi samme forskjeller, men her var det mindre forskjeller mellom lett og ingen pakking. Jorda med tung pakking sprekker mer opp, og har større kantete klumper.



Bilde 9 Spadetak fra toppjord forsøks felt i Østfold høst 2021, tv tung traktor, midt ingen pakking, th lett traktor. Foto: Julie Wiik

Det var lite forskjeller å se på jordkvalitet på pløyedybde ved alle feltene. Det var generelt god rotvekst i alle behandlingene, det var rotvekst helt ned til undergrunnsjord (ca 50 cm). Det er vanskelig å vurdere om det var noen forskjell i rotvekst mellom behandlingene.

Pakkingene som er utført i forsøket har blitt gjort under fine forhold, og har trolig ikke gitt noen kritisk pakking. Ved telling av meitemark fant vi ingen forskjell mellom behandlingene i noen av feltene.



Bilde 10 Ned til 50 cm dybde uten pakking. Foto: Julie Wiik



Bilde 11 God rotvekst og fin struktur i øvre jordlag uten pakking. Foto: Julie Wiik

3.3 Jordmotstand (Penetrometermålinger)

Penetrometermålinger ble kun utført i Vestfold-feltet. Det ble ikke observert vesentlige forskjeller mellom behandlingene ved måling med penetrometer ned til 21 cm. Måling av jordmotstand med penetrometer er forholdsvis vanskelig å gjøre slik at målingene er sammenliknbare. Jordfuktigheten har en viss betydning, og derfor er det vanskelig å sammenlikne jordmotstanden mellom år. Men det er godt mulig å sammenlikne behandlingene innen samme år, dersom målingen i de ulike behandlingene utføres samtidig. Dersom målingene utføres under tørre forhold vil forskjellen mellom behandlingene være mindre enn ved feltkapasitet (vannmetning). Sett i ettertid hadde det nok vært mer beskrivende for forsøksfeltet å måle hvor dypt man kan penetrere jorda før man når grensa på 300 psi. Da vet man noe om hvilket jordvolum plantene har å jobbe i.

3.4 Infiltrasjon

Det er å forvente at mer porøs jord infiltrerer vann raskere enn pakket jord. Pakket jord gir mindre og færre porer, som gjør at vanne fraktes saktere bort ved større nedbørsepisoder. Infiltrasjonsevne er en måling som vi har lært at er meget krevende å utføre korrekt. Man er avhengig av å utføre testen under helt like forhold, og det bør da være feltkapasitet i jord

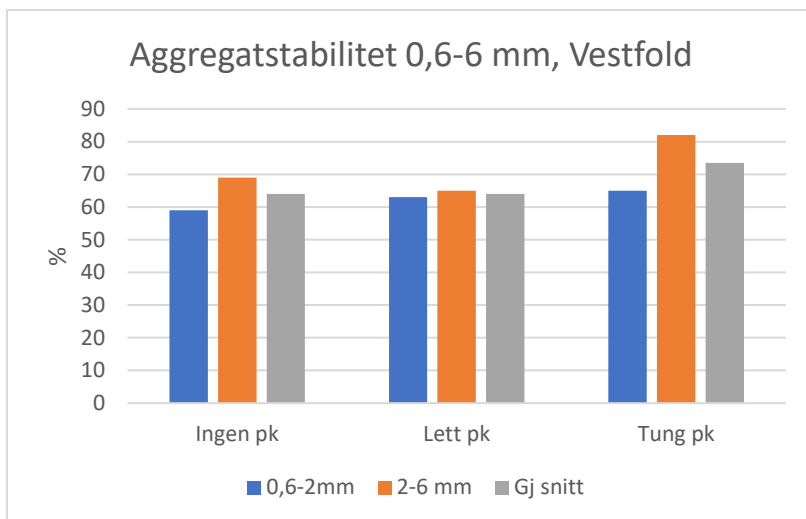
man måler på. Det fordrer at man væter opp jorda på forhånd, noe vi kanskje ikke har fått til godt nok. Infiltrasjonsmålingene våre ga ingen vesentlige forskjeller, og det var flere ganger vannet ikke infiltrerte noe på 15 min. Infiltrerer alt vann fra sylinder innen 2 minutter betraktes dette som god infiltrasjon. Målingene som er gjennomført er for usikre til å trekke noen slutninger ut fra.

3.5 Aggregatstabilitet

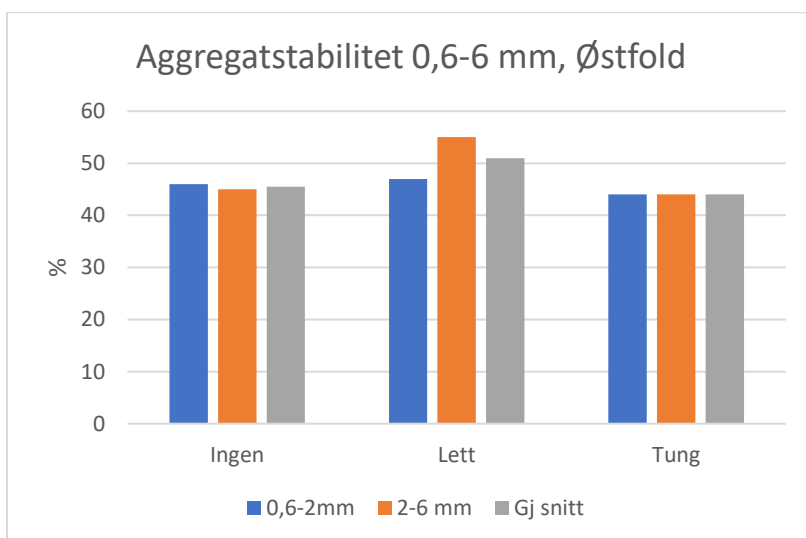
Aggregatstabilitet er en analyse som gjøres for å teste hvor motstandsdyktig jordaggregatene er mot fysisk påkjenning i form av kraftig regn. Analyseresultatet er hvor stor prosent masse av jordaggregatene som ble igjen i hver størrelsesklasse etter at aggregatene ble fordelt på en tynn sold og utsatt for kunstig regn. Høy aggregatstabilitet betyr at jorda er robust og tåler stor fysisk påvirkning før aggregatene går i oppløsning til enkeltpartikler, og renner bort. Aggregatstabilitet er meget sterkt knyttet til plantevekst. Mye røtter og rotmasse gir høy mikrobiell aktivitet som igjen gir høy aggregatstabilitet. Derfor ser man generelt at jord med eng har høy aggregatstabilitet i forhold til areal med åkervekster, da åkervekstene har betydelig mindre rotmasse. Høyt innhold av organisk materiale kan også påvirke aggregatstabiliteten positivt.

Før måling av aggregatstabilitet blir jordprøvene siktet til ulike fraksjoner, som blir analysert hver for seg. Det er de to fraksjonene 0,6-2 mm og 2-6 mm som er den mest interessante å analysere nærmere. Generelt bør minst 50 % av partiklene være i fraksjonene 0,6-6 mm. Mye store fraksjoner tyder på tett og kompakt jord. Prøvene fra Østfold skiller seg fra de andre ved at de inneholder mye mer store aggregater/klumper, over 6 mm. Dette er ikke ideelt, slike klumper er ofte mekanisk kittet sammen, og ikke biologiske aggregater.

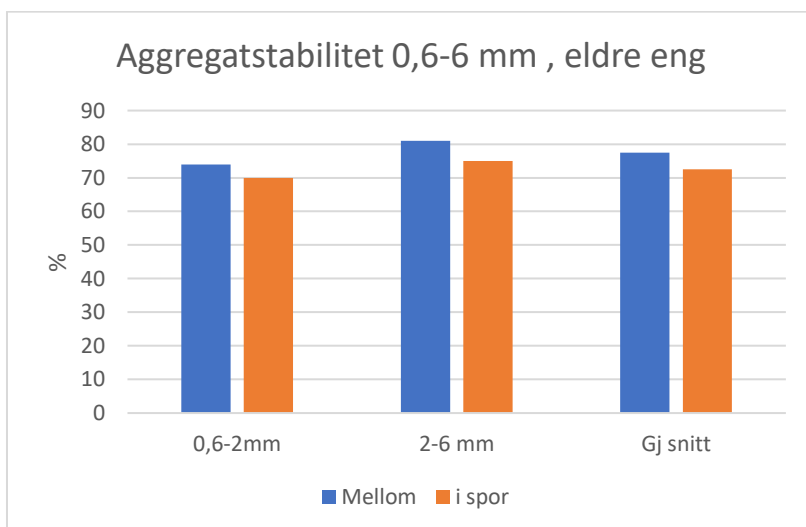
På begge arealene hvor våre forsøk lå, i Vestfold og Østfold, er det eng og husdyrgjødsel i vekstskiftet, som er ideelt for jordhelse og mikrobiell aktivitet. I tillegg er det høyt innhold av organisk materiale. Høyt innhold av organisk materiale øker også aggregatstabilitet. I Vestfold har alle prøvene generelt høy aggregatstabilitet. I Østfold er stabiliteten generelt noe lavere. Visuelle vurderinger viste at det ikke var kompakt og pakket jord. Dette er bare tre prøver et år så det kan ikke trekkes noe videre slutninger ut fra det. Prøvene fra den eldre enga viser også høy aggregatstabilitet, og det er ingen forskjell mellom prøvene mellom kjørespor og i kjørespor.



Figur 5 Aggregatstabilitet fra felt i Vestfold 2021



Figur 6 Fra forsøksfelt i Østfold 2021



Figur 7 Eldre eng, 7-årig 2021

3.6 Beregning av klimagassutslipp i forsøksfelt

Tabell 6 Utslipp av lystgass og binding av karbon fra forsøksskiftene i 2020.

	Avling kg ts/dekar	Kommentar	Lystgass CO2 ekv/kg ts	Karbon CO2 ekv/kg ts	Karbon binding kg/daa	Jordtype	Mold innhold %	Initiell organisk karbon
Vestfold	700	Norm skifteplan	0,23	-0,09	17,0	Siltig lettleire	4,3	7 944
	900	Tung pakking	0,20	-0,09	21,9	Siltig lettleire	4,3	7 944
	950	Faste kjørespor	0,19	-0,08	23,1	Siltig lettleire	4,3	7 944
Østfold	700	Norm skifteplan	0,21	-0,08	15,1	Lettleire	4	6 731
	740	Tung pakking	0,20	-0,08	17,3	Lettleire	4	6 731
	900	Faste kjørespor*	0,18	-0,07	19,5	Lettleire	4	6 731

*ingen pakking korrigeret for kjørespor

Begge feltene er hos økologiske gårdbrukere og det er derfor kun tilført husdyrgjødsel. I det ene feltet er det også tilført pelletert hønegjødsel. Lystgass (CO₂ ekvivalenter/kg ts) og karbon (CO₂ ekvivalenter/kg ts) er hentet ut fra landbrukets klimakalkulator. Basert på molekylvekt er 12/44-deler eller 27,3 % av CO₂ karbon. Karbonbindingen er beregnet ut fra det, og ganget med avling på den aktuelle behandlingen. Karbonbindingen øker med avlingen, men ikke per kg ts.

Sammanfattning och underlag till diagram efter 10 år

	Tilskott, kg kol/ha				Nedbrytning kg kol per ha	Ändring kg kol per ha
	Skörderester	Rötter	Fånggröda	Stallgödsel		
Bas in	82	270	0	306		
Bas ut					178	
Ändring bas						481
Nytt in	101	330	0	307		
Nytt ut					157	
Ändring nytt						581
	19	60	0	0	1	-21

Figur 8 Estimert tilskudd av karbon gjennom avlingsrest, rotmengde, husdyrgjødsel, nedbrytning og endring etter karbonmodellen ved avling på hhv 7400 kg ts/hektar og 9000 kg ts/hektar hentet fra rådgivingsverktøyet «Odlingsperspektiv» som baserer seg på ICBM.

I figur 8 vises hvordan avling påvirker tilskudd av karbon gjennom avlingsrester og rotmengde. Avlingsøkning gjennom faste kjørespor øker karbonbindingen og reduserer lystgassutslipp.

4 Erfaringer fra norske bønder

I prosjektet har vi hatt kontakt med flere produsenter, alle har faste kjørespor i gras, enkelte har det også til dels faste kjørespor i korn. Alle bøndene er lokalisert på Østlandet. Et viktig moment for mange av produsentene er at de bevarer rødkløveren lenger. Flere av produsentene som praktiserer faste kjørespor er økologiske og helt avhengig av rødkløver for å binde nitrogen, som igjen bidrar til viktig protein inn i grovfôret. I flere gårdsreportasjer fra inn- og utland har gårdbrukere som bruker faste kjørespor uttalt at de synes de klarer å bevare en høy kløverandel lengre ved faste kjørespor enn ved tidligere kjøremønster. I tillegg er det flere som har nevnt at de opplever en raskere gjenvekst og en bedre varighet på enga. Den raske gjenveksten kan være et resultat av at det ikke er noen mekanisk skade på grasets utenfor kjøresporene. Mindre ugras oppleves også etter overgang til faste kjørespor.

Flere av gårdbrukerne kjører med vogner som har vekt, ingen har gjort noen systematisk avlingskontroll, men flere uttaler at de har en avlingsøkning med faste kjørespor. Det pekes på generelt bedre jordhelse, jordstruktur og at engene tar unna nedbør raskere enn tidligere. Det merkes ved at de opplever at det blir raskere laglig etter regnværperioder. En bonde har kommentert at hvis han ble tvunget til å kjøre når forholdene ikke var helt optimale så opplever han at sporene bærer maskinene bedre, og at det sjeldent blir noen kjøreskader. Med en planlagt kjøring, i faste spor, blir operasjonene på jordet mer effektive og en unngår overlapp. Det opplever flere at gir innsparinger i plantevernmidler og gjødsel. En god planlegging av kjøremønster kan gi mindre kjøring på skiftene og lengre lengder. Trekkraftbehov ved pløying vurderes også til å være lavere fordi det blir bedre jordstruktur på større deler av skiftet (ca 75% urørt jord). Lavere trekkraftbehov kan redusere drivstofforbruk ved pløying. Eng gjør godt for jordstruktur uavhengig av jordpakking, og planteveksten i kjøresporene vurderes til å være ganske bra, sporene oppleves derfor ikke som så pakket.

Ny motivasjon har blitt nevnt av flere, at det gir ny giv å se at jorda og avlingene responderer på tiltaket. I tillegg er det lettere og mindre «slitsomt» å kjøre etter et fast mønster med autostyring.

Investeringer for å etablere faste kjørespor kan være stor, flere av produsentene har møtt denne utfordringen ved å bruke lang tid til å planlegge og gjøre investeringer over mange år. Flere har kommet med gode mellomløsninger, som f.eks. å holde slåmaskin utenfor sporene. Dette er en lett operasjon på jordet og bidrar ikke til kritisk jordpakking. Kjøresporene kan bli litt dypere enn den urørte jorda, noe som kan gi utfordringer med å plukke opp gras med rive som blir liggende i spor eller problemer ved at en ikke får høy nok stubbehøyde. Riktig

innstilling av riva er derfor ekstra viktig. Det pekes også på viktigheten av god opplæring. Bredder som blir praktisert hos produsentene er åtte, ni og tolv meter mellom kjørespor.

Gårdbrukerne la også godt merke til at engene klarte seg bedre enn mye annet i tørkesommeren 2018. En av årsakene til dette er blant annet at det er mye kløver i engene, kløver er mer tørkesterk på grunn av rot utforming.



Bilde 12 Det var lite som klare seg i den sterke tørken i 2018, rødkløveren klarte seg relativt bra. Eng med faste kjørespor 31.07.18. Foto: J. Wiik

5 Diskusjon

Forsøkene viser en endring i jordstruktur og en tendens til avlingsøkning der det ikke er blitt pakket. I Østfold så vi forskjell i rødkløverandel mellom behandlingene. I Vestfold var det generelt lite kløver i begge felt, og vi så ingen klare forskjeller. Forsøkene ble pakket under veldig laglige forhold, så at vi får en endring med høyere grasavlinger i upakket rute viser at det er lite pakking som skal til for å redusere avlingen. Det var ingen forskjell i jordmotstand (penetrometermålinger) i Vestfold, målingene ble utført når det var relativt tørt, så det kan

være med på å påvirke resultatene. Det heller ingen forskjell i vanninfiltrasjon, men det er også en usikkerhet rundt om utstyret og metoden vi har for å måle er godt nok.

Eng og gjødsling med husdyrgjødsel, er i utgangspunktet positivt for karbonlagring i jorda og jordstruktur. Binding av karbon i jord er langsomt og endringer vil skje over tid. Systemet er kompleks og vanskelig, med oppbygning og nedbryting. Større endringer i karboninnholdet i jorda på kort sikt er ikke realistisk, det er en prosess over mange år. Det vil til slutt oppstå en likevekt som varierer fra jord til jord, og fokuset da bør være å holde på karbonet i jorda. Det er mange usikkerheter, men likevel kan en si at med en økt avling øker karboninnholdet, både i røtter, avling og i jorda på kort og lang sikt. Røtter bidrar 2,4 ganger mer til karbonlagring i jord enn overjordisk biomasse (Rasse et al 2019), og økt rotmasse gjennom økt avling og mindre jordpakking er positivt. Av beregningene ser vi at en økt avling binder mer karbon per dekar. Lystgassutslipp per produsert enhet vil også gå ned som et resultat høyere avling. Jordpakking påvirker også utslipp av lystgass, men dette tas det ikke høyde for i modellene. Som vist i graveprøvene vil selv jord som er pakket med tung traktor, ha grei nok jordstruktur, så lenge dyrkningsmetoden på gården består av eng og gjødsling med husdyrgjødsel. Denne praksisen kan oppveie noe for økt pakking, men ikke nok til å motvirke avlingsnedgang. Så selv om jordstrukturen ser grei nok ut, har jordpakking negativ effekt.

Erfaringene fra bøndene underbygger mye av det vi ser i forsøkene våre, og det vi har funnet i litteratur.

6 Konklusjon

Det var avlingsforskjeller mellom behandlingene, til tross for lite pakking under gode forhold.

Forsøk i prosjektet viser at jordpakking i mange tilfeller vil påvirke grasavlingene.

Beregninger på klimagassutslipp fra forsøksfelt ved hjelp av Landbrukets klimakalkulator viser at økte avlinger, uten ekstra innsatsfaktorer, gir reduksjon i lystgassutslipp per produserte enhet og potensiale til økt karbonbinding gjennom økt avling og rotmasse.

Erfaringer fra norske bønder er at faste kjørespor gir økte avlinger, raskere gjenvekst, raskere opptørking av jorda, innsparing på gjødsel og plantevernmidler grunnet mer presis kjøring og mindre overlapp, lenger holdbarhet av rødkløver og bedre jordhelse.

Det er fortsatt mye kunnskap som må innhentes og utvikles om bruken av faste kjørespor i eng under norske forhold. For å få flere produsenter til å gå over på faste kjørespor trenger vi gode eksempler av praktisk bruk, økonomiske beregninger knyttet til investerings utgifter og

avlingsregisteringer. Det må totalt sett lønne seg å gå over til faste kjørespor som kan gi høyere avling og mer klimavennlig grovfôrproduksjon.

7 Litteratur

Andrén, O., Kätterer, T. 1997. ICBM: the introductory carbon balance model for exploration of soil carbon balances. *Ecol. Appl.* 7, 1226–1236.

Andrén, O., Kätterer, T., Karlsson, T., 2004. ICBM regional model for estimations of dynamics of agricultural soil carbon pools, in: *Nutr. Cycl. Agroecosys.*

<https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000048471.59164.ff>

DEL 3 Aktuelle løsninger for faste kjørespor med forskjellige transportlinjer

Alle element av mekanisering lar seg tilpasse gjennom endret arbeidsbredde med unntak av avlingstransport på enkelte høstelinjer. Grunnen til det er at vi samler opp og tar med oss plantemassen. Uansett transportløsning vil kapasiteten på et gitt tidspunkt være fullt utnyttet og vi må av arealet for å tømme. Rundballer er mest utfordrende, i og med at rundballen dessuten blir liggende som et hinder på arealet. Teknikkrådgivere i NLR har derfor sett på aktuelle løsninger for faste kjørespor med forskjellige transportlinjer.

Sporvidden på traktoren eller andre maskiner må/bør noen ganger justeres for å tilpasses til sporvidden til redskap eller selvgående eksaktsnitter. Alternativet er at man aksepterer at prosentandelen som blir kjørt på i opplegget med faste kjørespor går opp.

Forut for transporten forutsetter vi et mekaniseringssystem som dette:

Jordarbeiding: Holdes utenom systemet for faste kjørespor.

Mineralgjødning: Spreddebredder tilpasses bredden for faste kjørespor. Dette gjøres enkelt gjennom justering av spredereens kasteegenskaper.

Organisk gjødning: Kjøres ut i faste kjørespor, spreddebredder tilpasses. Kan medføre behov for skifte av spreddebom, hvis stripespreder benyttes.

Plantevern: Arbeidsbredde tilpasses bredden for faste kjørespor. Kan medføre behov for skifte av sprøytebom.

Slått: Fortrinnsvis front- og sidemonterte slåmaskiner (butterfly) med høvelig bredde, typisk 8-9 meter. Det er også mulig å gjennomføre systemer med andre slåmaskinkombinasjoner, men det gir mindre sporavstand for slåtteoperasjonen, og mer krevende mønster. Hos de fleste vil slåtteutstyret være vesentlig for å definere sporavstanden.

Vending og sammenraking: Riger med harmonisert arbeidsbredde kjøres i faste kjørespor.

Alle nevnte operasjoner er aktuelle, og likeverdige, uavhengig av om graset videre håndteres av lessevogn, eksaktsnitter eller rundballepresse.

1 Lessevogn

Enkleste løsning for å tilpasse innhøsting til faste kjørespor siden høsting og transport utføres samtidig. Ved fullt lass midt i streng løftes pick-up og sporet følges ut til vendeteig.

- + Innhøsting og transport i samme arbeidsoperasjon. Traktor og redskap går i samme spor. Kan utføres av en sjåfør på jordet. Lite tap av finstoff.
- Mindre kutting av fôr enn ekstaktsnitter. Avtakende kapasitet ved økende transportavstand, ved at arbeidsorganet følger transportorganet.

2 Eksaktsnitter

Her er flere løsninger:

Grasvogn kobles av og på bak eksaktsnitter

- + All trafikk foregår i faste kjørespor. Transportvogn følger i samme spor som snitter. Sparer en transportkjøring og en ekstra traktor og sjåfør. Lite tap av finstoff.
- Kostnadskrevenende, kan kreve utstyr for hurtigkobling. Av/påkobling tar kapasitet. Traktorsjåfør må ut av traktor for å koble hydraulikk/bremser/lys dersom det kjøres uten hurtigkobling. Kapasitet går i tillegg ned siden av- og påkobling bør foregå på vendeteig. Kupert terreng kan gi problem med fremkommelighet for eksaktsnitter ved bruk av store vogner.

Grasvogn med høytipp kobles bak eksaktsnitter.

- + All trafikk foregår i faste kjørespor. Sparer en transportkjøring og en ekstra traktor og sjåfør. Lite tap av finstoff.
- Kapasitet går ned siden lossing foregår på vendeteig. Krever vogn med høytipp. Større krav til logistikk, da vogna med høytipp må tippes i ventende transporthenger bak traktor, og denne må være klar for å ikke sinke snitteren.

Traktor og grasvogn kjører parallelt i kjøresporet ved siden av eksaktsnitter

- + All trafikk foregår i faste kjørespor. Stor kapasitet. Dagens utstyr kan brukes.
- Økt fare for tap av finstoff (dryss og vind) på grunn av lang kastelengde. Kan ikke brukes ved over 8 meter kjøresporavstand. En ekstra transportkjøring og en ekstra traktor og sjåfør. Krever ekstra lang stryke på eksaktsnitter.

Traktor og grasvogn kjøres parallelt på siden av eksaktsnitter mellom annenhvert kjørespor.

- + Stor kapasitet. Dagens utstyr kan brukes. Mindre endring av allerede etablerte rutiner.
- Økning i kjørespor. En ekstra transportkjøring og en ekstra traktor og sjåfør.



Bilde 13 Planlegging av kjøremønster med parallelspor til grasvogn mellom annethvert kjørespor. Illustrasjon AgLeader sms v/ Per Gunnar Kraggerud/NLR.

3 Rundballer

Standard kombipresse rundballer:

Ferdig pakkede rundballer blir lastet av kombipresse med langsiden på tvers av kjøreretningen midt på kjøresporet.

Ved korte skifter og kombipresse kan sjåfør ta med rundballen / pakke på vendeteig. Kan også brukes ved etablering av faste avkjøringsveier på tvers av faste kjørespor. Ferdig pakkede rundballer legges av samlet ved faste avkjøringsvei(-er).

- + Lite transport. Effektivt med bruk av dagens utstyr. Sparer faste kjørespor, spesielt ved ugunstige forhold.
- Mer trafikk på areal utenom faste kjørespor. Kan ta noe pressekapasitet.



Bilde 14 Graskart, Atle Lende NLR

Bruke kjørespor til transport, men avvike når rundballen skal plukkes opp

- + Krever lite endring av innarbeidede rutiner og eksisterende utstyr kan brukes.

- Gir mye tilfeldig trafikk utenom faste kjørespor.

Plukke opp rundballe med frontlesser med rundballeklype, og legge balle på skrå ved siden av kjørespor. Veksle mellom høyre og venstre side. Plukke opp etterpå med dobbel ballegriper bak. Kapasitet: 3 rundballer.

- + Krever lite endring av innarbeidede rutiner og eksisterende utstyr kan brukes.
- Gir noe tilfeldig trafikk utenom faste kjørespor.

Kombipresse rundballer med ekstraustyr:

Bruk av rundballetipper på kombipresse. Ballen blir stående på flatsida litt ut av senteret av kjøresporet. Bruke traktor med laster og rundballeklype, dobbel rundballeklype bak.

Kapasitet: Tre rundballer

- + Lite avvik fra kjørespor. Effektiv avkjøring.
- Krever rundballepresse med rundballetipper. Krever rundballeklype som kan håndtere stående rundballer.

Bruk av transportvogn bak presse. Kapasitet: 2-3 pluss rundballer i presse

- + Kun bruk av kjørespor. Kan spare en kjøring.
- Krever kjøp av transportvogn og tilpassing til rundballepresse. Ikke lovlig å kjøre slept redskap med flere ledd langs offentlig veg.

Spesialvogn for lossing og transport av rundballer, f.eks. Folbyvogna fra Steinkjer
Mekaniske.

- + Stor kapasitet. Kan brukes for å plukke opp rundballer i opplegg med faste avkjøringsspor.
- Rundballene må først flyttes fra på tvers av til langs med kjøresporet. Kostnadskrevende.