

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 60 stp
Institutt for miljøvitenskap

Forsøk med ulike jordløsningsmetoder til korn på jord med dårlig plantevekst i Rakkestad og Nannestad

- Virkning på jordfysiske egenskaper,
kornavling og trekkraftbehov

Experiments with different subsoiling methods on
soils with poor plant growth at Rakkestad and
Nannestad

- Effects on soil physical properties, cereal grain yield and
pulling force

Truls Olve Terjesønn Hansen
Plantevitenskap

Masteroppgave 2016 60 stp
Institutt for miljøvitenskap

Forsøk med ulike jordløsningsmetoder til korn på jord med dårlig plantevekst i Rakkestad og Nannestad

- Virkning på jordfysiske egenskaper,
kornavling og trekkraftbehov

Experiments with different subsoiling methods on
soils with poor plant growth at Rakkestad and
Nannestad

- Effects on soil physical properties, cereal grain yield and
pulling force

Sammendrag

Jordpakking er sett på som et problem og regnes som en av grunnene til at avlingsnivået har stagnert i norsk kornproduksjon. Jordløsning er et alternativ til å utbedre dette, men er omdiskutert fordi tidligere forsøk med jordløsning har hatt varierende effekt. I masteroppgaven, som er en del av forskningsprosjektet Agropo, har det blitt undersøkt om jordløsning kan være med å øke avlingene i norsk kornproduksjon. Det har blitt anlagt to forsøksfelt med jordløsning.

I Rakkestad (sandig silt m. organisk materiale) ble jordløsning utført høst og vår med Dalbo Ratoon med skråstilte løsnetinder ned til 40 cm dybde. Om våren ble den ene delen av feltet pløyd og det andre harvet. Det ble sådd bygg (*Hordeum vulgare*), hvete (*Triticum aestivum*) og havre (*Avena sativa*). De jordfysiske målingene viste få signifikante utslag. Jordløsning høst og vår kombinert med vårpløying ga en signifikant reduksjon i gjennomsnittlig kornavling. Jordløsning kombinert med vårharving ga en tendens til økning i kornavling. Jordløsningen ser ut til å ha hatt en dreneringseffekt, der årsaken til dårlig vekst tidligere kan ha vært dårlig dreneringsevne. Jordløsneren kan ha fungert mer som en torpedoplog (mole drain) og bidratt til bedre drenering ved å lede vannet til grøftene.

I Nannestad (siltig lettleire) ble jordløsning om høsten utført med Dalbo Ratoon med skråstilte løsnetinder og Kverneland CLE jordløsner med vinger ned til 35 og 45 cm dybde. Våren etter ble feltet vårarbeidet enten med plog (20 cm) eller stubbharv (12-15 cm). I tillegg til ordinær pløying ble plogen påmontert sålebrytere enten Økoskjær (12 cm) eller Løsnetinde (19 cm) på den først plogkroppen. De skal bryte opp plogsålen og løsne opp jorden like under plogsjiktet. Jordløsning om høsten gav en signifikant økning i luftpermeabilitet. Det ble funnet en signifikant økning i drenerbart porevolum for Løsnetinden sammenlignet med vårpløying og vårharving. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i kornavling, men ved jordløsning om høsten ned til 35 cm ga både Dalbo Ratoon og Kverneland CLE bedre avlinger sammenlignet med løsning med samme utstyret ned til 45 cm dybde. Sålebryting med Løsnetinden ga en vesentlig avlingsøkning sammenlignet med vårharving, vårpløying og vårpløying med Økoskjæret. Det ble funnet visuelt spor etter sålebryterne om våren et år etter at jordløsningen ble gjennomført. Jordløsnerene her ser ut til å ha brutt opp den tette og pakkede jorden.

Det ble gjort et forsøk på verifisering av jordpakking (CVT) mot drenerbart porevolum ved 50 cm dreneringssug (-50 hPa, AC=5 % v/v) og mettet vannledningsevne ($K_s = 10 \text{ cm x d}^{-1}$). I Rakkestad korrelerer modellen dårlig med avlingsnivå. I Nannestad ser det ut til å være noe bedre sammenheng, men modellen har sine svakheter og bør ta høyde for trykkfasthet.

Det ble gjennomført trekkraftmålinger av de ulike redskapene med unntak av Dalbo Ratoon. Økoskjær og Løsnetinde påmonter plog økte trekkraftbehovet med 18 og 25 % sammenlignet med en plogkropp. Kverneland CLE hadde et trekkraftbehov per arbeidsorgan som var 33 % høyere en plogkropp. Det spesifikke trekkraftbehovet, som er kraften fordelt på det bearbejdede arealet, for plog ($72,0 \text{ kN/m}^2$) økte det ved montering av Økoskjær ($78,2 \text{ kN/m}^2$) og Løsnetinde ($84,2 \text{ kN/m}^2$). Det laveste spesifikke trekkraftbehovet ble registrert for Kverneland CLE ($41,4 \text{ kN/m}^2$).

Abstract

Soil compaction is regarded as a problem and is considered as one of the reasons that yield levels have stagnated in Norwegian cereal production. Subsoiling is an alternative to rehabilitate the soil, but it is controversial because previous experiments with subsoiling have shown varying results. This master thesis is part of the research project AGROPRO. The possibilities of subsoiling as a solution to increase yields in Norwegian cereal production were investigated. Two field trials with subsoiling have been conducted during over a two year period (2013-2015).

At Rakkestad (silty loam with organic matter) subsoiling was performed in autumn and spring with a Dalbo Ratoon with slanted legs to a depth of 40 cm. In spring one part of the field was spring ploughed and the other part spring harrowed. Barley, wheat and oats were sown. The soil physical measurements showed few significant impacts. Subsoiling both autumn and spring combined with spring ploughing resulted in a significant reduction in mean grain yield. Subsoiling when combined with spring harrowing showed a tendency of increased yield. Subsoiling seems to have improved drainage of the soil, where the reason for poor plant growth may previously have been poor drainage capacity. The subsoiler seems to have functioned more like a mole plough and improved the effect of the drainage system.

At Nannestad (silty loam) subsoiling was carried out in the autumn with a Dalbo Ratoon with slanted legs and a Kverneland CLE conventional subsoiler with wings to a depth of 35 and 45 cm. In the following spring the field was ploughed (20 cm) or stubble cultivated (12-15 cm). In addition to ordinary ploughing, plough mounted subsoilers were used, either Eco share (12 cm) or Loosening tine (19 cm) on the first plough body. Their function was to break up the plough pan and loosen the soil just below the plough pan. Subsoiling in the autumn resulted in a significant increase in air permeability. A significant increase in air-filled porosity was shown for the Loosening tine compared with ploughing and spring harrowing. There were no significant differences in grain yield, but the subsoiling in the autumn at a 35 cm depth resulted in higher yields for both Dalbo Ratoon and Kverneland CLE compared to subsoiling with the same equipment at a depth of 45 cm. Breaking the plough pan with the Loosening tine gave a non-significant increase in yield compared with spring harrowing, spring ploughing and spring ploughing with Eco share. Visual traces were observed in the plough pan in spring following subsoiling. Subsoiling seems to have broken up the dense and compacted soil.

There was made an attempt to verify soil packing (CVT) against air capacity ($-50 \text{ hPa AC}=5\% \text{ v/v}$) and saturated hydraulic conductivity ($K_s = 10 \text{ cm x d}^{-1}$). At Rakkestad the model correlated poorly with grain yield. At Nannestad there is a better correlation, but the model has its weaknesses. Penetration resistance should be included to improve the model.

An experiment investigating the pulling force of the different implements with the exception of the Dalbo Ratoon was conducted. Mounting the Eco share and Loosening tine on the plough increased the pulling force with 18 and 25%. Kverneland CLE had a pulling requirement per working organ which was 33% higher than the plough body. The specific draft requirement is the force distributed to the tilled area. The specific draft requirement of the plough (72.0 kN/m^2) increased by mounting an Eco share (72.0 kN/m^2) or a Loosening tine (78.2 kN/m^2). The lowest specific draft requirement was measured for Kverneland CLE down to 35 cm (41.4 kN/m^2).

Forord

Formålet med denne oppgaven er å finne ut om jordløsning kan bidra til å øke avlingsnivået i kornproduksjon i Norge. I tillegg har det vært et mål å utvikle og teste en ny type Løsnetinde som kan monteres på plog. Det har også blitt gjennomført trekkraftmålinger på noen av jordløsnerene som er benyttet i forsøkene.

Denne masteroppgaven ble gjennomført ved Institutt for plantevitenskap og Institutt for miljøvitenskap på Norges miljø og biovitenskaplige universitet. Jeg har satt meg et mål om å bli en av Norges beste innen fagfeltet jordarbeiding, og hadde derfor et stort ønske om å skrive en masteroppgave med fokus på landbruksmaskiner og jordarbeiding. Når muligheten til å skrive en masteroppgave gjennom forskningsprosjektet AGROPRO bød seg, var det en unik mulighet til å komme enda nærmere målet. Gjennom prosjektet ble det bestemt at det skulle gjennomføres studier på jordløsning, og i den forbindelse ble det anlagt to forsøksfelt. Feltene ble anlagt høsten 2013 på gården Sandaker i Rakkestad og høsten 2014 på gården Rud Øde i Nannestad.

Jeg vil rette en stor takk til gårdbrukerne Ole Henrik Lauritzen og Håvard Simonsen, for disponering av arealer, anlegning av forsøksfelt, verdifull hjelp, gode råd og innblikk i deres gårdsdrift. Å skrive en masteroppgave inn i AGROPRO har vært veldig lærerikt og inspirerende. Der jeg har møtt mange flinke personer som har kommet med gode råd, diskusjoner og tips. Jeg vil takke alle deltakerne i prosjektet.

I forsøksfeltene ble det gjennomført registreringer, prøveuttak og observasjoner gjennom vekstsesongen både i 2014 og 2015. Laboratoriearbeidet ble gjennomført våren og høsten 2015, og skrivingen av masteroppgaven ble gjennomført våren 2016. Gjennom hele arbeidet med masteroppgaven fra anlegging av forsøksfelt, uttak av prøver og skriving av oppgaven har hovedveileder professor Trond Børresen vært helt fantastisk. Han har kommet med inspirasjon, oppmuntring, lærerike råd, og flotte dager både på forsøksfelt og i laboratorium.

Jeg vil rette en takk til forsøkstekniker Øyvind Peder Vartdal for hjelp både på felt og i laboratorium. Takk til Anne-Grethe Kolnes for hjelp til bearbeiding av forsøksresultatene. Takk til Espen Syljuåsen for dronefoto av forsøksfeltet. Takk til førsteamanuensis Kjell Mangerud for gode råd og korrekturlesing av oppgaven.

En stor takk til forsknings- og utviklingsavdelingen ved Kverneland Group Operations Norway, og mine ledere Odd Braut og Simen Skjøsberg som har gitt meg tid og støtte til å gjennomføre denne oppgaven. Jeg er utrolig takknemlig for at jeg har fått denne muligheten. Jeg ønsker å rette en takk til Stian Friis Helgesen ved testlaboratoriet for klargjøring og lån av utstyr til trekkraftmålinger og Stian Sigmundstad for produksjon av prototyper.

Takk til Felleskjøpet Agri for lån av traktor og redskap til gjennomføring av jordløsning og trekkraftmålinger.

Den økonomiske støtten gjennom Yara stipendet fra Yara Norge AS har ført til at oppgaven har fått et større omfang. Det er en stor ære å få tildelt et slikt stipend, og oppfølgingen fra Yara gjennom masteroppgaven har vært veldig motiverende.

Til slutt vil jeg rette en takk til familie og venner for hjelp, støtte og motivasjon gjennom arbeidet med masteroppgaven.

Ås, 13.05.2016

Truls Olve Terjesønn Hansen

INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	III
ABSTRACT.....	V
FORORD	VII
1. INNLEDNING	1
2. LITTERATURSTUDIE.....	3
2.1 JORDPAKKING	3
2.1.1 Porevolum og porestørrelsesfordeling.....	4
2.1.2 Jordpakking og jordtetthet	5
2.1.3 Jordpakking og jordfasthet	6
2.1.4 Jordpakking,luft-og vanntransport i jorden	7
2.2 VERKTØY FOR Å VERIFISERE JORDPAKKING (CVT).....	7
2.3 JORDPAKKING OG AVLING.....	8
2.4 MEKANISK JORDLØSNING	9
2.5 JORDFYSISKE MÅLINGER	11
2.5.1 Porevolum,.....	11
2.5.2 Drenerbartporevolum	12
2.5.3 Luft-og vanntransport i jorden.....	12
2.5.4 Jordtetthet	13
2.5.5 Porestørrelsesfordeling.....	14
2.5.6 Skjærfasthet.....	15
2.5.7 Trykkfasthet.....	15
2.5.8 Infiltrasjonmåling	16
2.6 PLANTEANALYSER.....	16
2.6.1 Plantehøyde og utvikling.....	16

2.6.2	<i>Ugrasmengde</i>	17
2.6.3	<i>Kornavling</i>	17
2.7	UTSTYRSTYPER FOR JORDLØSNING / UTFORMING AV ARBEIDSORGANET	19
2.7.1	<i>Utforming på arbeidsorganet</i>	19
2.7.2	<i>Andre kombinasjoner</i>	21
2.7.3	<i>Utforming av arbeidsorganet</i>	22
2.8	FORHOLD SOM PÅVIRKER EFFEKTEN AV JORDLØSNINGEN	22
2.9	BIOTISK OG ABIOTISK JORDLØSNING	23
2.10	TREKKRAFTMÅLING	25
3.	MATERIAL OG METODE	28
3.1	FORSØKSFELTET - RAKKESTAD	28
3.1.1	<i>Forsøksplan og behandlinger</i>	29
3.2	FORSØKSFELTET - NANNESTAD	31
3.2.1	<i>Forsøksplan og behandlinger</i>	32
3.3	BEHANDLINGER OG REGISTRERINGER	34
3.4	JORDANALYSE	36
	REGISTRERING AV GRUNNVANNSTAND	40
3.5	PLANTEANALYSER	40
3.6	BESKRIVELSE AV DE ULIKE JORDLØSNERENE:	42
3.7	TREKKRAFTMÅLING	46
3.8	STATISTISKE TESTER	48
4.	RESULTATER - RAKKESTAD	49
4.1	JORDFYSSKE MÅLINGER	49
4.1.1	<i>Porevolum, drenerbart porevolum, luftpermiabelitet og jordtetthet.</i>	49

4.1.2	<i>Porestørrelsesfordeling</i>	52
4.1.3	<i>Skjærfasthet og vanninnhold</i>	53
4.1.4	<i>Trykkfasthet</i>	55
4.1.5	<i>Vanninnhold</i>	57
4.1.6	<i>Infiltrasjonmåling</i>	57
4.1.7	<i>Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT)</i>	58
4.1.8	<i>Registrering av grunnvannstand</i>	59
4.2	PLANTEANALYSER	60
4.2.1	<i>Spiring</i>	60
4.2.2	<i>Plantehøyde og utvikling</i>	61
4.2.3	<i>Ugrasmengde</i>	62
4.3	KORNAVLING	63
5.	RESULTATER NANNESTAD	65
5.1	JORDFYSISKE MÅLINGER	65
5.1.1	<i>Porevolum, drenerbart porevolum, luftpermiabelitet, jordtetthet</i>	65
5.1.2	<i>Porestørrelsesfordeling</i>	69
5.1.3	<i>Skjærfasthet</i>	71
5.1.4	<i>Trykkfasthet</i>	72
5.1.5	<i>Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT)</i>	75
5.1.6	<i>Kornavling</i>	76
6.	RESULTATER TREKKRAFTMÅLING OG LØSNEPROFIL	77
7.	DISKUSJON - RAKKESTAD	79
7.1	JORDFYSISK	79
7.1.1	<i>Volumetriske parametre</i>	79
7.1.2	<i>Luft og vanntransport</i>	82

7.1.3	Jordfasthet.....	85
7.2	PLANTEANALYSER.....	87
7.2.1	Spiring.....	87
7.2.2	Plantehøyde og utvikling.....	88
7.2.3	Ugrasmengde	88
7.3	KORNAVLING	88
7.3.1	Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT) opp i mot kornavling	90
8.	DISKUSJON - NANNESTAD	92
8.1	JORDFYSISKE MÅLINGER.....	92
8.1.1	Volumetriske paramtre.....	92
8.1.2	Luft-og vanntransport jorden	96
8.1.3	Jordfasthet - skjærfasthet og trykkfasthet.....	98
8.2	PLANTEANALYSER.....	100
8.2.1	Kornavling	100
8.2.2	Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT).....	102
8.3	TREKKRAFTMÅLING	103
9.	SAMLET DISKUSJON.....	106
9.1.1	Feltene.....	106
9.1.2	Jordløsnerene.....	107
9.1.3	Bruken av CVT etter jordløsning.....	108
10.	KONKLUSJON	109
11.	LITTERATURLISTE	111

1. Innledning

I OECD/FAO (2012) sin rapport om framtidsutsiktene i landbruket, skrives det at landbruksproduksjon på verdensbasis må øke med 60 % de neste 40 årene for å møte den økende etterspørselen etter mat i verden. Globalt er det anslått at den totale dyrkbare jorden vil øke med mindre enn 5 % (69 Mha) frem til 2050. Ytterligere økning i produksjon må da komme fra økt produktivitet på allerede eksisterende arealer. OECD/FAO (2012) anser det å stimulere til bedre agronomiske praksis med de rette teknikkene og øke innovasjon i landbruket som viktige politiske utfordringer.

Stortingets melding nr 9 «Velkommen til bords» (Stoltenberg regjeringen II 2011) har et tydelig mål om å øke matproduksjonen i Norge i takt med befolkningsveksten. Der beskrev «Nasjonal kornproduksjon er av stor betydning for norsk selvforsyning». Selvforsyningsgraden ligger i dag for jordbruksvarer på 50 % målt i energi, og kun 3 % av norsk areal er jordbruksareal, og under 1/3 av dette er kornareal. Statistisk sentralbyrå anslår at innbyggertallet i Norge vil øke med 20 % de neste 20 årene (Stoltenberg regjeringen II 2011), dette vil si at kornproduksjonen må øke med 20 % de neste 20 årene.

For å oppnå dette må denne økningen i kornproduksjon tas på allerede eksisterende arealer og i form av forbedret agrobiologi, men i dag skjer det motsatte. Schjønning et al. (2012) skrev at mekaniseringen av arbeidsoperasjonene i landbruket er utviklet med fokus på å ta ut størst mulig økonomisk profitt. Størrelsen på driftsenhetene har økt, og ofte blir det leid inn entreprenører til å gjennomføre arbeidsoperasjoner. Dette fører til at bøndernes fokus på jordkvalitet reduseres, og de som kjører maskinene har fokus på økonomien og tar mindre hensyn til jordkvalitet.

Dette er en stor utfordring, og i det tverrvitenskapelige forskningsprosjektet AGROPRO (Øygarden 2016) er målet å undersøke muligheter og begrensninger for at forbedret agronomisk praksis kan bidra til økt og bærekraftig matproduksjon i Norge. I utredningen Strand et al. (2013) ble det skrevet at næringen er opptatt av hva som kan gjøres for å rette opp skader som følge av pakking, der de anbefalte at det bør etableres storskalaforsøk som både kan demonstrere effekt av skadelig pakking og eventuelle effekter av jordløsning.

På 70- og 80-tallet ble det gjennomført flere forsøk med jordløsning, med varierende resultat. De senere årene har størrelsen på landbruksmaskiner økt og det har medført økt risiko for jordpakking, i tillegg har utformingen av jordløsnere endret seg. Jordløsning blir derfor sett på som en mulighet til å rette opp pakkeskader. Mange bønder har gått til innkjøp av jordløsnere i den tro at bruk av disse kan bøte på pakkeskader. Det er derfor behov for å undersøke nærmere om disse løsningene kan rette opp noe av pakkeskadene og øke kornavlingene

Som en del av AGROPRO prosjektet ble to gårder plukket ut, der det var et mål om å forbedre agronomien. Jordpakking og/eller tett jord med dårlig drenering var antatt å være hovedproblemet for å øke kornavlingen. Forsøk med løsning ble anlagt med den hypotesen at det er mulig å rette opp problemer med pakking/drenering med en dyp mekanisk bearbeiding av jorden. På feltet i Rakkestad ble det gjennomført jordløsning med Dalbo Ratoon jordløsnere på høsten og om våren, der det i tillegg enten ble vårpløyd eller vårharvet. På det andre feltet i Nannestad ble det løsnet med Kverneland CLE, Dalbo Ratoon, Kverneland Økoskjær og nyutviklede Løsnetinden montert på plogen. På begge feltene skal det sees på om jordløsning kan bedre avlingen, og hvordan jordløsning påvirker de jordfysiske egenskapene.

Det har blitt større fokus på energiforbruket i landbruket, der målet er å redusere utslipp av klimagasser. Jordløsnere arbeider dypt og krever stor trekkraft, men dette er ikke målt tidligere i Norge. Hypotesen er at stort trekkraftbehov er avhengig av løsnedybden. Denne hypotesen skal testes i trekkraftmålinger med Kverneland CLE på en moldrik lettleire på Ås. Kunnskap om trekkraftsbehov for redskaper er viktig i arbeidet med jordbrukets utfordringer i det grønne skiftet. Det har blitt utviklet en ny type jordløsnere med utgangspunkt i Kverneland Økoskjær. Den nye løsningen er en Løsnetinde som skal testes i dette prosjektet. Dette er en kraftig tinde som er festet rett på plogkroppen som er en enkel og rimelig løsning. I en næring med en presset økonomi er det å finne løsninger som kan kombineres med allerede innkjøpt redskap viktig. Den skal løse opp jorden i og like under plogsålen. Løsnetinden bearbeider et relativt lite jordvolum, men vil likevel løsne opp plogsålen, og hypotesen er at den ikke påvirker trekkraftsbehovet så mye som andre løsninger. Hypotesen skal testes i trekkraftmålinger opp i mot eksisterende redskaper.

2. Litteraturstudie

2.1 Jordpakking

Jordpakking er definert som en prosess som øker tettheten og styrke mens porøsiteten og permeabiliteten reduseres, og dette fører til i endringer struktur og egenskaper i jorden (Soane & van Ouwerkerk 1994). Soil Society of America (2016) definerer jordpakking som en økning i jordtettheten og samtidig en reduksjon i porøsitet når jorden utsettes for mekaniske belastning. Jordpakking var et problem allerede på den tiden husdyrene ble brukt som trekkraft. Lane (1980) skrev i 1867 at hestene som gikk i plogfåra skapte en såle som hindret drenering, begrenset rotvekst og reduserte avlingene. Endringer i produksjonsteknikkene i landbruket i industrialiserte land de siste tiårene har vært dramatisk. Det økonomiske trykket og krav til effektivitet har favorisert økning i maskinstørrelse, effekt, vekt og redskapsstørrelse (Alakukku et al. 2003).

De vanligste formene for jordpakking er i følge Spoor (2006);

- Jevnt fordelt eller lokal pakking i jorden, der pakkingen går fra overflaten og nedover i sjiktet. Det er ofte forårsaket av tråkking eller kjøring på jord med svak struktur.
- Stedsspesifikk pakking som er skapt av redskap eller dekk på en viss dybde.
- Pakking under normal jordbearbeidingsdybde som skyldes høy belastning på overflaten.
- Sekundær pakking hvor en svak sone i jorden blir pakket mot en tidligere pakket sone i jorden.

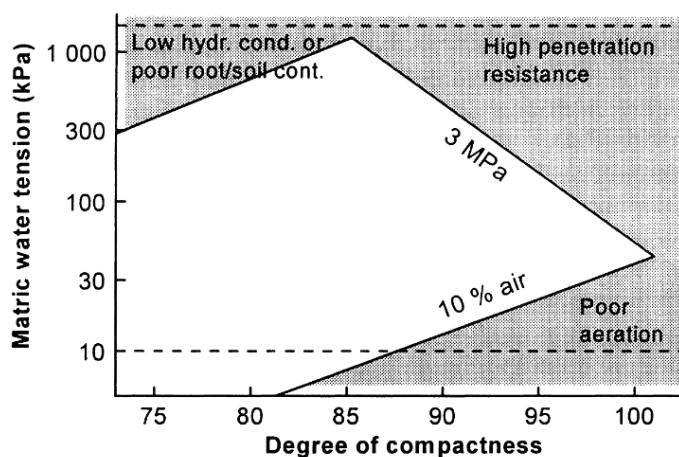
Økningen i vekt på landbruksmaskiner og kjøringer under ugunstige forhold har økt faren for jordpakking i undergrunnen (Horn et al. 1995). De største landbrukstraktorene som er serieprodusert og kan leveres i Norge i dag veier 14 Mg (Fendt 2016). På midten av 1980-tallet hadde gjennomsnittstraktoren en effekt på 47,8 kW, ti år senere hadde effekten økt til 65 kW. Effekten har fortsatt å øke, og i 2015 var effekten på gjennomsnittstraktoren 95,5 kW (Syljuåsen 2016). De fleste traktorer solgt i Norge i dag er rundt 90 kW og 4,5 Mg ifølge Seehusen (2014). Hillel (2004) skrev at det er spesielt jordpakking under pløying der traktorens hjul trækker i bunnen av tomfåren som er ugunstig. Der har jorden ofte et lavere innhold av organisk materiale, dårligere struktur og et høyere vanninnhold. I tillegg har plogskjærene en smørende effekt, som er med og danner plogesålen.

Det ble utført et forsøk med pakking av undergrunnsjord på en sandig leire i England av Pollard og Webster (1978). Der ble jorden i plogsjiktet fjernet og undergrunnsjorden ble pakket før jorden ble lagt tilbake igjen. Forsøket viste at det ble ingen forbedring i de jordfysiske målingene på den pakke jorden etter 6 år med dyrking og jordbearbeiding. Jorden var fortsatt pakket og avlingsnivået var redusert. Forsøk gjennomført av Lamandé et al. (2012) viste en reduksjon av jordkvaliteten i 30 år etter at jorden ble pakket med en last på 19,1 Mg.

2.1.1 Porevolum og porestørrelsesfordeling

Porestørrelse kan forenklet deles inn i to ulike størrelser, makro- og mikroporer. Makroporene ($> 30 \mu\text{m}$) er plassen mellom aggregatene og fungerer som transport-årer for vann, innfiltrering og drenering av vann, i tillegg til ventilasjon i jorden (Børresen 2004). Mikroporer ($< 30 \mu\text{m}$) er porene inne i aggregatene som er viktige for lagring av vann og næringsløsninger. Håkansson et al. (1988) har samlet konklusjonen til flere forfattere, og de skrev at den mest åpenbare endringen i jordens egenskaper som følge av jordpakking er en reduksjon i volumet av makroporer. Ifølge Børresen (2004) er grunnen til at jordpakking påvirker de store porene først, at de mindre porene tåler mer belastning og kanskje er fylt med vann. Det faste materiale pakkes ikke og derfor er det porene som forminskes (Håkansson 2000).

Håkansson og Lipiec (2000) skrev at den nedre kritiske grensen for luftfylteporer 10 % v/v målt ved feltkapasitet er begrensende for luftveksling i jorden og god rotutvikling, dette har de også brukt i Figur 1 som viser grenser for plante vekst. De store porene representerer også viktige vokseplasser for planterøtter og levesteder for jorddyr (Håkansson et al. 1988).



Figur 1 Diagram som viser hvordan drenerbare porer over 10% v/v og trykkfasthet over 3 MPa, brukt som kritisk grense til plante vekst. Hvordan de er knyttet opp i mot pakkningsgraden og dreneringssug i plogsjiktet (såbedet er utelatt). Vist i feltforsøk, problemer for plante vekst oppstår også i øvre venstre hjørne av diagrammet, der dette skyldes lav umettet vannledningsevne og dårlig rot jordkontakt. (Håkansson og Lipiec 2000)

Ifølge Børresen (2004) fører en reduksjon i makro porer til en opphopning av CO², reduksjon i plantenevekst, dårligere overvintring, dårligere bæreevne, dårligere utnyttelse av gjødsel og større erosjonsfare. Hillel (2004) skrev at når jorden pakkes så er det volumet av de makroporene som reduseres til mellomstore porer, og dette fører til at det blir færre luftfylteporer. Håkansson et al. (1988) skrev også at jordpakking noen ganger har ført til en liten økning i mindre porer (<30 µm), dette forutsetter en kollaps i større porer. Forsøk gjennomført av Alakukku (1996b) viste med fire overkjøringer med en last på 19 Mg fordelt på en tandemaksel, ble det totale porevolumet på en leirjord redusert med 8 % v/v i sjiktet 0,2-0,4 m og volumet av porer over >30 µm ble redusert med 30 % v/v i det samme sjiktet. Med den samme behandlingen på en organisk jord ble det totale porevolumet redusert med 3 % i sjiktet 0,2-0,4 m, der det var en større endring i porestørrelsesfordelingen, der porer over >30 µm ble redusert med 38 % v/v mens andelen porer under < 30 µm økte med 13 % v/v. Det samme skrev Håkansson (2000) der porer med en diameter > 30 µm forsvant jo mer jorden pakkes, mens de finere porene minskes noe ved kraftig pakking.

Lamandé et al. (2012) gjennomførte analyser av jord i Finland 30 år etter et pakkeforsøk som ble gjennomført av Alakukku (1996a) med en boggitilhenger med en last på 19 Mg, der maksimum hjullast var 79,3 kN og dekktrykket var 7 bar. Her ble det fortsatt funnet en signifikant reduksjon både i makro og mikroporer på den pakkede jorden. Volumet av luftfylteporer over 30 µm var 4,2 % v/v for kontrollen og på den pakkede jorden var det 1,9 % v/v. For luftfylteporer over 3 µm 5,3 % v/v for kontrollen og på den pakkede jorden var det 2,8 % v/v.

2.1.2 Jordpakking og jordtetthet

Forsøk med jordpakking gjennomført av Arvidsson (1999) på en siltig leire viste at både høy og lav jordtetthet førte til en reduksjon i avling. Ved ingen pakking var det en jordtetthet på 1,14 g/cm⁻³ og det ga en avling på 466 kg/daa. Med ni overkjøringer med et høyt marktrykk (150 kPa), ble det målt en jordtetthet på 1,34 g/cm⁻³ og en avling på 485 kg/daa. Den høyeste avlingen ble tatt ved tre overkjøring med et høyt marktrykk (150 kPa) der det ble målt en jordtetthet på 1,32 g/cm⁻³ og en avling på 565 kg/daa. Arvidsson (1999) skrev også at jordtetthet i seg selv er en dårlig indikator for å si noe om forholdene for plantevekst.

Arvidsson og Håkansson (2014) skrev at de finner en avlingsnedgang ved en jordtetthet over $1,4\text{--}1,45\text{ g/cm}^{-3}$. Alakukku (1996a) gjennomførte forsøk med en trukket tilhenger med en last på 21 Mg og to akslinger. Der de ulike behandlingene var ingen overkjøring, en- eller tre overkjøringer. På mellomleire økte tørr jordtetthet på henholdsvis 6 og 8 % på 0,4 m dybde i forhold til det upakkede leddet. Med tilsvarende behandling på en siltjord økte jordtettheten med 9 og 12 % på 0,4 m dybde. I følge Spoor (2006) er jordtetthet på en pakket lett jord 1,6 til $1,8\text{ g/cm}^{-3}$ og på tung jord 1,5 til $1,7\text{ g/cm}^{-3}$. På jord som har blitt formet av maskiner slik som bakkeplanering er finner en ofte jordtetthet opp imot $1,8\text{--}1,9\text{ g/cm}^{-3}$.

2.1.3 Jordpakking og jordfasthet

Håkansson (2000) skrev at de enkleste veiene for planterøttene i jorden er å vokse i de grove sammenhengende porene i form av vertikale sprekker og bioporer. I en del jordarter mangler slike porer eller de kan være usammenhengende, da er røttene avhengige av å penetrere jorden. Det er derfor viktig at trykkfastheten ikke er for høy. Håkansson og Lipiec (2000) skrev at flere forskningsrapporter angir en trykkfasthet over 3 MPa som kritisk grense for rotutvikling i jorden, denne har de også brukt som et av parameterne i Figur 1. Denne kritiske grensen kan variere noe i forhold til grøde, jordart og strukturstilstand ifølge Håkansson (2000). Hillel (2004) skrev at den begrensende trykkfastheten for plantevekst i undergrunnsjord er 4,6 til 5,1 MPa og i plogsjiktet 3,6 MPa. Horn og Kutilek (2009) skrev at trykkfasthet er en parameter som er dårlig til å si noe om jordpakking fordi den ikke gir noen indikasjon på poresystemet i jorda.

Penetrasjonsmålinger gjennomført av (Alakukku 1996a) viste en økning i trykkfastheten på en mellomleire i dybden 0,3-0,5 m på 22 % med fire overkjøringer med en tilhenger med boggi og en last på 19 Mg, sammenlignet med den upakkete kontrollen. Seks år etter var trykkfastheten 58 % høyere enn kontrollen. Trykkfastheten ble målt til 2,5 MPa i sjiktet 0,3-0,5m på det pakkede feltet. Det ble gjennomført et forsøk i Danmark (Andersen et al. 2013) med to pakkebehandlinger, lett ekvipasje på 6,0 Mg uten påfølgende pløying og tung ekvipasje på 20,1 Mg der jorden ble pløyd etter pakking. Resultatene viste at begge behandlingene hadde signifikant høyere trykkfasthet i sjiktet 0-40 cm enn upakket ledd. Feltet som ikke ble pløyd etter pakking hadde høyest trykkfasthet i sjiktet 10-20 cm.

Colombi og Walter (2016) gjennomførte pakkeforsøk i Sveits med pakking ved feltkapasitet, med en selvgående landbruksmaskin med en totalvekt på 34 Mg. Den hadde like store dekk foran og bak med en bredde på 1,05 m og et trykk i dekkene på 3,2 bar. Etterpå ble halve pakkerutene pløyd på 22 cm. Det oppløyde leddet hadde en trykkfasthet i sjiktet 20- 30 cm på 2,38 MPa, der det ble pløyd var det 1,51 MPa og på det upakket ledd var det 1,21 MPa.

2.1.4 Jordpakking,luft-og vanntransport i jorden

Soane et al. (1980) skrev at jordpakking reduserer porediameteren og kontinuiteten av porene og dette fører til en reduksjon i permeabiliteten og diffusjon av gasser og væsker i jorden. Ifølge Børresen (2004) er redusert infiltrasjon og mettet vannledningsevne i mange tilfeller de mest synlige og kanskje mest negativ virkning på jorda ved jordpakking. Jordens dreneringsevne er ofte begrenset av vannledningsevnen i undergrunnsjorden (Håkansson et al. 1988). dårlig luftveksling er ofte sett i sammenheng med redusert avling skrev Håkansson et al. (1988). Lamandé et al. (2012) fant i en studie av jord 30 år etter pakking har en signifikant reduksjon i luftpermeabilitet for det pakkede leddet.

Riley (1996) viste en sammenheng mellom luftpermeabilitet og luftfylteporer på en sandjord ganske så lik vann- og luftpermeabiliteten var også høyest på sandjorden. På leirjord var det også en sammenheng mellom porevolum, vann- og luftpermeabilitet, men her var det, det minste porevolumet og den laveste luftpermeabiliteten. På siltig jord var det større forskjell mellom luftpermeabilitet og porevolum.

2.2 Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT)

Zink et al. (2011) presenterte et verktøy for å verifisere jordpakking basert på kritiske verdier for viktige funksjoner i jorda (CVT). Der satte de en grense for mettet vannledningsevne på $K_s=10\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ og et luftinnhold målt ved -60hPa $AC_{60}=5\text{ \%v/v}$. Dette verktøyet ble utviklet for å klassifisere pakkingsgraden i jorda ved overkjøring med tunge maskiner, men det er interessant å kjøre verktøyet på jord som er antatt pakket. I tillegg kan det være med å si noe om effekten jordløsningen har hatt. Når jorden er i klasse 4 er jorden skadelig pakket og endring i driftsform bør vurderes skrev Seehusen (2014).

Fire klasser ble brukt for å dele inn skadelig jordpakking (Zink et al. 2011):

- Klasse 1, indikerer at både AC_{60} og K_s er over de kritiske verdiene for pakket jord, i tabellene i resultatdelen er disse merket med grønt.
- Klasse 2 eller 3, indikerer at bare en av parameterne under verdien for skadelig jordpakking, i tabellene i resultatdelen er disse merket med gult.
- Klasse 4, indikerer at begge parameterne er under de kritiske verdiene for skadelig jordpakking, i tabellene i resultatdelen er disse merket med rødt.

2.3 Jordpakking og avling

Børresen og Njøs (1986) skrev at jordpakking har redusert kornavlingene opp til 20 % ved kjøring på våt jord. Flere kjøringar har gitt større avlingsreduksjon enn en kjøring. Riley (1983b) gjennomførte et forsøk med pakking med en lett traktor (<2 Mg) og en middels tung traktor (3-3,5 Mg) og tre overkjøringar med middels tung traktor. Resultatene viste en avlingsnedgang på ca. 6 % ved en gangs kjøring mens tre overkjøringar førte til 20 % avlingsreduksjon.

Enger (1989) gjennomførte et pakkeforsøk i Aurskog-Høland på stiv leire og siltig mellomleire. De ulike forsøksleddene var upakket, pakking hjul i hjul med middels tung traktor (3,5-4,5 Mg) og pakking hjul i hjul med middels tung traktor med en enakslet tilhenger med last (4,8 Mg). Pakkebehandlingene ble gjennomført på pløyd jord om våren. På den stive leiren ble det ikke funnet signifikante forskjeller i avlingen, men gjennomsnittsavlingen på upakket leddet ga 305 kg/daa. Pakking med traktor ga en reduksjon i avling på 32 kg/daa, og pakking med traktor og henger ga en avlingsreduksjon på 49 kg/daa. På feltet med siltig mellomleire ble det funnet en signifikant forskjell på 1 % -nivå for leddet ingen pakking sammenlignet med de to andre pakkebehandlingene. På det upakkede leddet ble det tatt en gjennomsnittsavling på 426 kg/daa, mens på det som ble pakket med traktor ble det tatt 267 kg/daa, og på leddet som ble pakket med traktor og henger ble det tatt en gjennomsnittsavling på 245 kg/daa. Pakke og løseforsøk som ble gjennomført året etter forsøket beskrevet ovenfor, viser i følge Enger (1989) at jordpakkingen ikke hadde negativ effekt i mer enn ett år.

Nyere forsøk gjennomført av Andersen et al. (2013) med to pakkebehandlinger med lett ekvipasje på 6,0 Mg hvor jorden ikke pløyd etter pakkingen, og tung ekvipasje på 20,1 Mg hvor jorden ble pløyd etter pakking. Avlingsresultatet fra arealet hvor det ble pløyd etter den tunge ekvipasjen (5 kg/daa) viste tilnærmet samme avling som for kontrollen (475 kg/daa). Der det ikke ble pløyd etter pakkingen ble det en reduksjon i avlingen på 9 % (439kg/daa).

2.4 Mekanisk jordløsning

Mekanisk jordløsning defineres av Soil Science Society of America (2016) som; enhver behandling som ikke vender jorden under Ap-sjiktet og med et minimum av jordblanding, enhver behandling for å bryte opp og knuse jorden med smale arbeidsorganer under normal jordbearbeidingsdybde uten å vende og blande jorden. Jordløsning er ofte utført ved å løfte opp og forskyve tørr jord slik at den brytes opp.

Ødegaard skrev i 1919 om dyparbeiding der jorden ble bearbeidet ned til 30-40 cm dybde og at det fører med seg flere goder. Det ble større jordmasse til plantenes røtter, luften trenger lettere og dypere ned i jorden. Den dypt løsnede jorden vil også ha bedre tilgjengelighet på vann, samtidig vil det overflødige og stillestående vannet få tilgang til grøftene og dreneringen vil bli bedre. Dyparbeiding på leirerik jord har god virkning, der det ble et ugjennomtrengelig lag under plogsålen i overgangen mellom matjorden og undergrunnsjorden. Dyparbeiding er derfor sett på som et middel som kan gi større og stabile avlinger. Ødegaard (1919) skrev også at dyparbeiding kan ha en skadevirkning på jorden. Jordløsning på en leirerik, vannmettet jord vil føre til en elting av jorden og den vil bli tettere mer ugjennomtrengelig. Derfor må slik jord grøftes før den dyparbeides. Eller, en drar opp næringsfattig jord som fortynner matjorden. Det ble også skrevet at en med datidens moderne ploger kunne pløye ned til 25-30 cm dybde som kunne sees på som en dyparbeiding. Ødegaard (1919) påpekte at det er to ting som må til for at jordløsning skulle gi et fullgodt resultat er at jorden er vel grøftet og at den ble gjødslet og helst kalket etterpå.

Srivatava et al. (2006) skrev om bruken av jordløsnere som brukes til å bryte gjennom og knuse komprimerte, eller på annen måte tette jordlag og for å forbedre infiltrasjon. Jordløsnere blander og vender jorden lite. Gjennomføring av jordløsning er mest effektive under tørre og smuldrende forhold. Jordløsningen er ofte etterfulgt av en annen primær behandling før en sekundær jordbehandling. De fleste jordløsnere er utstyr med trepunktskobling, men noen typer er utstyrt med slepedrag. Jordløsnere er kraftig konstruert

og utstyrt med løsninger som beskytter dem mot jordfast stein og fjell. Det finnes i dag mye utstyr som kan løsne jorda mekanisk ved hjelp av tinder, skjær eller komprimert luft. Mekanisk jordløsning kan utføres fra 25 cm ned til 60-70 cm og dypere hvis ønskelig (Enger 1989). Ifølge Børresen (2004) er hensikten med jordløsning å skape bedre vekstbetingelser for plantene, der de får bedre muligheter til rotutvikling, økt ventilasjon, større infiltrasjonskapasitet i jorden og lavere trykkmotstand. Schjønning (1986) skrev at mekanisk løsning under det normale pløyesjiktet har til formål å forbedre jordens permeabilitet for luft og vann, og samt gi god rotvekst. Jordløsning kan derfor være en relevant løsning hvor det er sementerte eller pakkede lag i jorden.

Elonen (1986) skrev at en skal kunne tenke seg at mekanisk pakket jord også kan mekanisk løsnes, men forsøk og erfaringer viser at mekanisk jordløsning ikke gir lovende resultater. I følge Alakukku (1997) bør en unngå jordpakking istedenfor å stole på reparasjon av pakket jord. Dette fordi dyp jordløsning er kostnadskreven og kan sjelden reparere den pakkede strukturen. I verste fall kan jordløsning føre til en forverring av jordstrukturen om den pakkes til igjen. Löfkvist (2005) er også kritisk til effektene av mekanisk jordløsning til å reparere pakkeskadet jord, han skrev at ofte er effektene små og ikke varige.

Kooistra og Boersma (1994) viser til forskning der en bør endre jordbearbeidingssystemet etter jordløsningen. Dette for å unngå at den løsnete jorden blir pakket igjen i løpet av to til tre år, noe som kan gi dårligere jordfysiske tilstand enn før løsnebehandlingen. Datasimulering gjennomført av Kooistra og Tovey (1994) har vist at alle dyrkingstekniske metoder som fører til en større grad av biologisk aktivitet fører til bedre jordfysiske forhold for plantevekst. Kooistra og Tovey (1994) har observert en bedring i luftveksling og rotutvikling etter jordløsning i første årene etter jordløsning, men etter tre eller flere år var situasjonen forverret når jordbearbeidingssystemet og redskapen ikke var endret.

Plogen kan være den redskapen som kan rette opp mange av pakkeskadene i plogsjiktet i følge Børresen (2004). På ei sandjord kan plogen rette opp skadene nesten fullstendig, mens på ei leirjord krever det lengre tid med pløying og naturlige prosesser. Uten pløying foregår denne rehabiliteringen enda langsommere. Alakukku (1997) viser til at pløying ned til 30 cm på stivleire (48 % leir), mellomleire (30 % leir) og på organisk jord ser ut til å være den eneste mekaniske jordløsnings-metode som kan føre til positive avlingsresultater.

Kooistra og Tovey (1994) skrev at pakking av undergrunnsjord som fører til hemming av luftveksling og rotutvikling best kan behandles med grunn undergrunnsløsner montert på plog. Den bør da brukes de årene det er gunstige forhold. Denne metoden fører til at vertikale rotkanaler kan dannes før jorden blir pakket igjen.

2.5 Jordfysiske målinger

2.5.1 Porevolum,

Når en jord løsnes og jordvolumet øker er det først og fremst det grove poresystemet som øker skrev Håkansson (2000). Forsøkene som ble gjennomført av Enger (1989) med jordløsning viste ingen sikre forskjeller i porevolum i dybden 20-25 cm ved jordløsning, men han trekker den konklusjon at ved sterk pakking av jorden kan det føre til en reduksjon i porevolum. Jordløsning med Mac og Paraplow kan delvis rette opp dette, men på jord som ikke er skadet av jordpakking kan en ikke regne med å få noen økning i porevolum ved løsning. Han skrev også at på upakket jord var det ingen økning i porevolum etter jordløsning. Han konkluderer med at mekanisk jordløsning kan reparere en strukturskadet jord, men at jordløsning på jord som ikke er skadet er bortkastet arbeid.

Det ble gjennomført forsøk i Danmark av Schjønning (1986) på en fin sandblandet leirjord (12 % leir). Det ble under forsøket tatt ut jordprøver 9 måneder etter gjennomføring av jordløsning med en 5 tinders jordløsner med vingeformende vibrerende tinder. Resultatet av dette viste en tendens til redusert porøsitet, de grove porene større en 30 µm ble redusert. Det var derimot en liten tendens til økning i porene som var mindre enn 30 µm.

Forsøk gjennomført av Hansen (1971), referert i Hansen (1986), på jord med en svakt utviklet plogsåle, hvor det ble undersøkt om vanlig pløying på 20 cm, dyp pløying på 25-30 cm og pløying kombinert med løsning av plogsålen hadde noen løsneeffekt. Resultatene viste at løsneeffekten var liten, og porøsiteten i 20 -22 cm var høyest på jorden hvor det ble pløyd på 20 cm og lavest ved dyp pløying(25-30 cm). I dybden 32-34 cm var det en litt høyere porøsitet på vanlig pløye dybde, noe lavere der det ble kjørt med sålebryter og laveste ved dyp pløying.

Det har blitt gjennomført forsøk i Nord Kina (Ma et al. 2015) hvor de så på effekten av behandlingene pløying, rotorharving og løsning med ulik intervall mellom årene. Resultatene viste at jordløsning hvert andre eller tredje år forbedrer vannlagringskapasitet, opprettholder

høy jordfuktighet i 100-160 cm jordlag før såing, og reduserer jordfuktighet betydelig i 20-180 cm jordlag ved høsting.

2.5.2 Drenerbartporevolum

Forsøk gjennomført med Paraplow av Riley (1983a) viste reduksjon i drenerbart porevolum i dybden 13 til 18 cm, både der det ble kjørt med Paraplow høst eller vår og der det ble kjørt med Kverneland Grubb om høsten. I forsøk med å forbedre pakkeskader hvor jordløsning med Paraplow ble brukt, fant Riley (1983a) ut at det på det forsøksleddet som ikke ble pakket hadde jordløsning ingen effekt på drenerbart porevolum i sjiktet 10-15 cm. Der det ble pakket økte jordløsning det drenerbare porevolumet fra 3,5 % v/v til 5,4 % v/v.

Enger (1989) målte drenerbart porevolum i jorden ved feltkapasitet. Han fant ingen sikre forskjeller eller klare tendenser like etter gjennomføringen av jordløsning. I gjennomsnitt har han kommet til at Paraplow har det høyeste drenerbare porevolumet, mens Kverneland Grubb har det laveste drenerbare porevolumet ved feltkapasitet. Sommeren etter at det ble gjennomført jordløsning ble det fortsatt ikke funnet noen signifikante utslag, men Paraplow var den redskapen som ga det høyeste drenerbare porevolumet, forskjellene mellom de ulike behandlingene ser ut til å ha jevnet seg ut. Enger (1989) konkluderer med at jordløsning ikke har økt det drenerbare porevolumet, snarere tvert imot for Kverneland Grubb, men Paraplow har gitt en tendens til et høyere drenerbart porevolum. Der jordas vanninnhold ble målt ved vannmetting, pF 2, pF 3 og pF 4,2 der det kun er statistisk forskjell mellom vektprosent pF 4,2 for prøvene som ble tatt ut like etter løsning om høsten. Det er en tendens til at jordløsning gir et større vanninnhold. Dette beskriver Enger som merkelig i og med at det er jordas tekstur som er mest avgjørende for vanninnholdet ved visnegransen.

2.5.3 Luft-og vanntransport i jorden

Studier av jordpakking gjennomført Riley (1988), sitert i Riley (1996), antyder at en luftpermeabilitet under $3 \mu\text{m}^2$ er begrensende for plantevekst, der dette vil variere avhengig av jordart. Riley (1983a) gjennomførte flere forsøk med Paraplow på Østlandet. Der det ble funnet en reduksjon i luftledningsevnen på siltjord i 13-18 cm dybde, spesielt der det ble kjørt med Paraplow om våren i våt jord, men også der det ble kjørt om Kverneland Grubb og Paraplow om høsten. I forsøk der målet var å utbedre pakkeskader med hjelp av Paraplow, ble det funnet økning i luftpermeabiliteten der jorden ble pakket for så å bli løsnet i 10-15 cm dybde. Men luftpermeabiliteten ble ikke så høy som den var i jorden før den ble pakket.

Löfkvist (2005) fant ingen signifikante forskjeller i mettet vannledningsevne i forsøk på leirjord med Økoskjær på plog både med og uten tilføring av kalking, men den mettede vannledningsevnen var gjennomsnittlig høyere i det feltet som var løsnet og kalket første år. Det ble funnet en signifikant høyere mettetvannledningsevne der det ble gjennomført en jordløsning på pakket jord kombiner med luserne (*Medicago sativa*), sammenlignet med der det ble dyrket bare luserne eller på pakket jord som ble jordløsnet og hvor det senere ble dyrket vårkorn.

Målinger av luftpermeabilitet på prøver tatt ut samme høst som det ble utført jordløsning, gjennomført av Enger (1989), viste en tendens til at Kverneland Grubb og Mac vibrerende jordløsner ga en høyere luftpermeabilitet. På prøver tatt ut sommeren etter det ble gjennomført jordløsning ble det funnet på det ene forsøksfeltet signifikant forskjell mellom behandlet og ubehandlet ledd. Paraplow ga den største luftpermeabiliteten, mens de andre løsneredskapene ga en lavere luftpermeabilitet enn uløsnet. På det andre forsøksfeltet ble det ikke funnet noen sikre forskjeller.

2.5.4 Jordtetthet

En vellykket jordløsning, vil ifølge Schjønning (1986), i første omgang kunne registreres som en redusert volumvekt av jorden. Forsøkene til Enger (1989) viste at jordløsning ga en lavere jordtetthet når det måles like etter jordløsning, men det var kun for Paraplow at dette ga signifikante forskjeller i forhold til uløsnet ledd. Forsøk utført sommeren etter jordløsning viste at Kverneland Grubb ga en økning i jordtetthet. Mac og Paraplow ga her en reduksjon i jordtettheten. Erfaringer fra svenske forsøk med jordløsning i kornproduksjon, viser at jordarten og jordstrukturen har en betydelig innvirkning på hvor langvarige de positive effektene er. På struktursvak jord forbedres resultatet bare for en sesong, mens jordløsningseffekten på struktursterk jord kan vare i 4-5 år ifølge Bengtsson (1986).

Forsøk gjennomført av Mukhtar et al. (1985) i Iowa med Paraplow, viste ingen endringer i jordtettheten sammenlignet med pløying eller harving. Det var kun der det ikke ble jordarbeidet at en fikk en økning i jordtettheten.

I Danmark ble det gjennomført et jordløsneforsøk med Paraplow løsnedybde 40 cm, 5-tinders vingeform og vibrerende jordløsner på 40 cm dybde, 1-tinders smal jordløsner på 40 cm. Etter å ha kjørt med 1-tinders smal jordløsner på 60 cm, ble jordtettheten målt etter jordløsning på forskjellige jordtyper under tørre og våte forhold. På grovsand med 4 % leire

og løsning under tørreforhold, viste målinger av jordtettheten like etter jordløsning en markant og sikker statistisk reduksjon i jordtettheten i dybden 20- 40 cm for Paraplow og vibrerende 5-tindersjordløsner. For 1-tinders jordløsner ble det funnet en økning i jordtettheten som tilsier en pakking. Ifølge Schjønning (1986) skyldes dette at traktorhjulet trækker i den allerede løsnede jorden. Løsningen under 40 cm med de to 1-tinders jordløsnerene viser ingen effekt, og dette kan skyldes at løsningen ble gjennomført under kritisk jordarbeidings dybde.

Jordløsning gjennomført på finsand (11 % leire) under veldig våte forhold viste ingen tydelig effekt. Det viser at jordløsning bør gjennomføres på en forholdsvis tørr jord, hvor bearbeiding vil resultere i en forskyvning eller løsning, og ikke en elting og pakking av jorden rundt løsneredskapet. Det ble også gjennomført løsning på tilsvarende finsand (14 % leire), under tørre forhold, viste en oppbrytning av et tett jordlag i dybden 25-30 cm og en løsning i dybden 35-40 cm, med Paraplow og 5 tindersjordløsner. Her ble ikke den 1-tinders jordløsneren brukt. Etter både Paraplow og den 5-tinders jordløsneren var jordtettheten i var mellom 1,3 og 1,6 g/cm⁻³, der den optimale vekten for plantevekst i ploglaget er 1,45 g/cm⁻³ ifølge Schjønning (1986).

Det ble gjennomført et forsøk av Soane et al. (1986) med jordløsning før pløying, jordløsning etter pløying og pløying kombinert Wye double digger. Resultatene viste en reduksjon i jordtettheten der det løsnet ned til 20 cm dybde. Under 30 cm ble det litt lavere jordtetthet der det ble løsnet etter pløying og der det ble løsnet i kombinasjon med pløying. Der det ble løsnet før pløying økte jordtettheten og ble høyere enn der det ikke løsnet.

2.5.5 Porestørrelsesfordeling

I forsøk med skålharving ned til 10 cm, pløying ned til 40 cm og jordløsning ned til 50 cm gjennomført av Pagliai et al. (2004), ga jordløsning den høyeste prosentandelen av lagringsporer i aggregater (0,5-50 µm) i 0-60 cm dybde. Håkansson et al. (1988) skrev at jordpakking kan gi en liten økning av mindre porer (30µm) og pakking kan volumetrisk gi en økning i plantetilgjengelig vann, men en liten endring i den totale mengden av plantetilgjengelig vann siden, jordvolumet er redusert.

2.5.6 Skjærfasthet

Forsøk gjennomført av Löfkvist (2005) med pakket jord kombinert med jordløsning, ble det funnet en signifikant lavere skjærfasthet der det ble løsnet. Enger (1989) gjennomførte skjærfasthet målinger i plogsålen i forbindelse med pløying etter jordløsning. Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller for jordløsning. Det var en tendens til at Mac vibrerende undergrunnsløsner hadde best løsnevirkning på det ene felte, men på det andre kom Paraplow best ut. Kverneland Grubb ga på begge feltene den høyeste skjærfastheten av de ulike jordløsnerene.

Ifølge Enger (1989) ble det også funnet et høyere vanninnhold på feltet der det ble kjørt med Kverneland Grubb, noe som er med å forsterke inntrykket av at Kverneland Grubben løsner opp plogsålen dårlig. Vanninnholdet i jorden ble målt tre ganger etter det ble gjennomført jordløsning, like etter jordløsning om høsten, før våronn og om sommeren. Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller, og Enger (1989) skrev at det uløsnede felt kun en gang i gjennomsnitt ga den fuktigste jorden, og to ganger ga det uløsnede leddet den tørreste jorden. Av forskjellige de løsneredskapene er det ingen som skilte seg ut når det gjaldt vanninnhold.

2.5.7 Trykkfasthet

Ifølge Ehlers et al. (1983) så vil innholdet av vann i jorden påvirke hvor mye trykkfastheten endrer seg, og ved høyere jordtetthet jo mer utslagsgivende er jordfuktigheten på trykkfastheten. Håkansson et al. (1988) skrev at flere rapporterer om at en trykkfasthet i mellom 2-5 MPa er begrensende for plante veksten.

Ehlers et al. (1983) skrev at begrensende trykkfasthet for rotvekst for havre var 3,6 MPa i bearbeidet jord. I jord som ikke var bearbeidet var begrensende trykkfasthet for rotvekst mellom 4,6-5,1 MPa både i plogsjiktet og undergrunnsjorden. Høyere trykkfasthet i ubearbeidet jord, forklares med at det er flere sammenhengende bioporer skapt av meitemark og røtter. Soane et al. (1986) gjennomførte et forsøk med jordløsning før pløying, jordløsning etter pløying og pløying kombinert Wye double digger. Hvor det på det uløsnede leddet var en trykkfasthet rundt 3 MPa i 20 cm dybde. Forsøksleddet hvor det ble løsnet med pløying kombinert med sålebryting ble det funnet veldig lav trykkfasthet ($<0,1$ MPa), og denne effekten fant de ned til 50 cm. Der det ble løsnet før pløying fant de en økning i trykkfasthet når en kommer ned på 35 cm dybde og videre nedover.

Forsøk gjennomført av Löfkvist (2005) viste at sålebryting hvert år ga signifikant lavere trykkfasthet, mens sålebryting kombinert med kalk ikke hadde en signifikant lavere trykkfasthet. Kalk har en stabiliserende effekt på jordaggregatene. I forsøk med jordløsning og jordpakking gjennomførte Enger (1989) trykkfasthetsmålinger. Ut fra forsøket ble det konkludert at jordløsning hadde en gunstig virkning på å redusere trykkmotstanden i jorden, spesielt under pløedybden og nedover. Der jordløsningen til en viss grad hadde klart å løsne opp i plogsålen. Paraplow gjorde den beste løsnejobben i dybden, mens Kverneland grubb og Mac vibrerende undergrunnsløsner hadde den beste effekten i overflaten. Kverneland grubb hadde en negativ effekt på trykkfastheten i 40 cm dybde.

2.5.8 Infiltrasjonmåling

Mukhtar et al. (1985) gjennomførte et forsøk med dobbelring infiltrometer for å måle infiltrasjon i jorda, ved bruk av Paraplow på en siltigmellomleire i Iowa. Paraplow ga den høyeste kumulative infiltrasjonen både etter 1 og 30 minutter på tre ulike forsøks steder. Ut fra resultatene konkluderte de med at dype sprekker fra overflaten og ned i jorden forbedret jordens infiltrasjonsevne. Löfkvist (2005) gjennomførte et forsøk med pløying og løsning med Økoskjær, i tillegg til en kombinasjon med å tilføre brent kalk. Der førte ikke løsningen til noen økning i den mettede vannledningsevnen som ble målt i 23-28 cm dybde, mens det ble funnet en ikke-signifikant tredobling i den mettede vannledningsevnen når det ble løsnet og kalket i kombinasjon.

2.6 Planteanalyser

2.6.1 Planterhøyde og utvikling

Forsøk gjennomført i Marokko av Oussible og Crookston (1987) på en siltigletteleire, ga en signifikant økning i planterhøyden for hvete fra såing og frem til høsting. De fant også en signifikant økning i antall skudd der det ble jordløsnet. De skrev at tilgjengeligheten av vann gjennom vekstsesongen i forholdsvis tørre år i forsøksperioden, kan være årsaken til økningen i både lengde og antall skudd. I de samme forsøkene ble det ikke funnet noen signifikant øking i avling.

2.6.2 Ugrasmengde

I forsøk over 6 år med dyppløying og grunn pløying i kombinasjon med jordløsning, fant Roberts (1963) ingen forskjeller mellom antall levedyktige frø og ugras-mengde. Seehusen (2015) har presentert at en av konsekvensene av jordpakking er at en får svake kulturplanter. Dette kan igjen føre til at ugraset konkurrere bedre med kulturplanten.

2.6.3 Kornavling

I forsøk gjennomført i Nord Kina av Ma et al. (2015) med behandlingene pløying, rotorharving og løsning med ulik intervall mellom årene, viste resultatene at jordløsning med et intervall på to til tre år gir de høyeste avlingene. Der avlingsøkningen med jordløsning hvert andre- og tredje år økte med henholdsvis 27,7 og 24,7 % sammenlignet med bare rotorharving. Forfatterne konkluderer med at dette skyldes økt tilgang på vann i vekstsesongen.

Riley (1986) gjennomførte ni forsøk på siltjord og siltig mellomleire i sørøst Norge med Paraplow. Der ble det på seks av feltene ble funnet en positiv virkning av løsningen, spesielt uten pløying. På de tre andre feltene ble det funnet en avlingsreduksjon med bruk av Paraplow. I forsøk med jordløsning på bakkeplanert leire fant (Riley 1983a) en økning i avling der det ikke ble pløyd, mens der det ble pløyd antok han at sprekkesystemet i jorden ble ødelagt etter pløying.

Hansen (1971) gjennomførte et forsøk, referert av Hansen (1986), på en jord med en svakt utviklet plogsåle, der det ble undersøkt pløying på 20 cm, 25-30 cm og pløying kombinert med grubbing av plogsålen. Resultatene viste at løsneeffekten var liten og avlingsresultatet var nesten upåvirket uansett behandling. Grubbing ned til 50 cm med fylling av grus eller kalk i grubbesporene har vist små ikke signifikante meravlinger. Grubbing kan ikke sidestilles med vanlig jordløsning ifølge Børresen og Njøs (1986).

Enger (1989) gjennomførte pakke- og løsneforsøk i Aurskog-Høland, på et felt med stiv leire og et felt med siltig mellomleire, der det ble pakket på våren. Forsøksleddene var upakket, pakking hjul i hjul med middelstung traktor (3,5-4,5 Mg) og pakking hjul i hjul med middels tung traktor med en enakslet tilhenger med last (4,8 Mg). Pakkebehandlingene ble gjennomført på pløyd jord.

Etter høsting ble feltet løsnet med Kverneland grubb (35 cm), Mac vibrerende undergrunsløsner (45 cm) eller Howard Paraplow (45 cm), og et ledd forble uløsnet. Enger fant ingen signifikante utslag av løsningen året etter. I gjennomsnitt hadde det uløsnede leddet størst gjennomsnittsavling på begge feltene. Mac vibrerende jordløsner var nærmest avlingsresultatet på det uløsnede leddet, Paraplow kom nest best ut og grubben som kom dårligst ut.

Forsøk gjennomført av Børresen i 1984 til 1986, referert i (Enger 1989), (Tabell 1) viste at Howard Paraplow ga positivt utslag i et av årene, det samme året har grubben det dårligste resultatet. De to

Tabell 1 Avling i kg/daa v 15 % vann etter ulike løsnebehandling. Børresen referert i Enger (1989)

Sted	Ås			Øsaker		Aurskog-Høland	
Jordart	Lettleire			Stivleire		Stivleire	Siltig mellomleire
Årstall	1984	1985	1986	1987	1988	1988	1988
Kverneland Grubb	580	510	415	510	332	415	498
Howard Paraplow	609	487	368	505	340	440	544
Mac Vibrator	-	-	-	512	345	461	601
Uløsnet	601	513	425	530	327	425	614

påfølgende årene ga ingen løsning det beste avlingsresultatet, mens Howard Paraplow gir det dårligste resultatet og Kverneland grubb ligger mellom de to behandlingene.

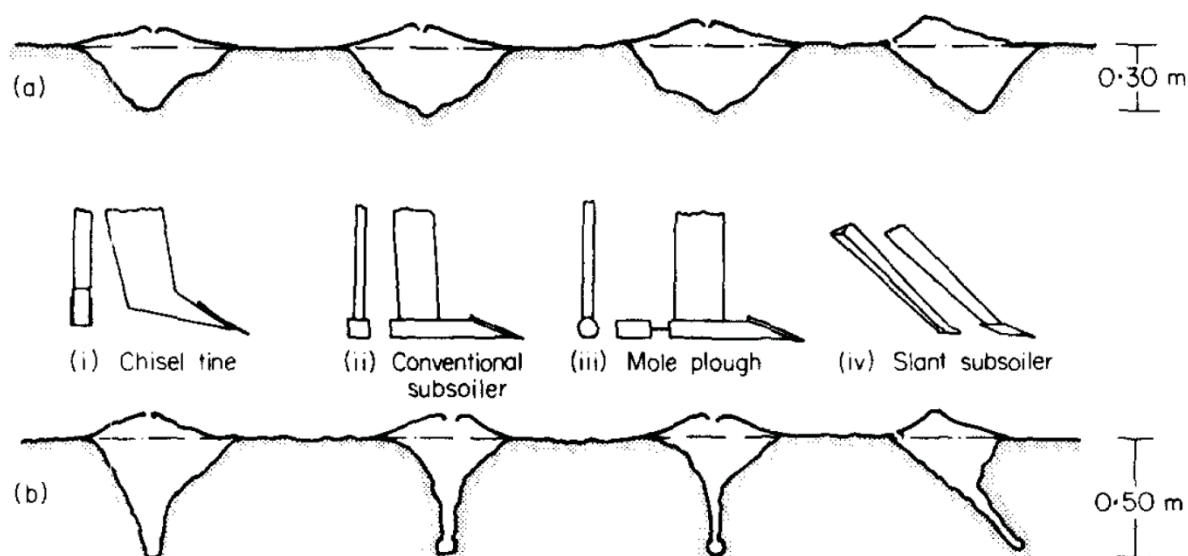
Det ble også gjennomført jordløsneforsøk på Øsaker, der det i 1987 ble observert den største avlingen på arealet uten løsning. Året etter ble derimot den laveste avlingen observert på det samme arealet, dette går fram av Tabell 1.

Forsøk gjennomført av Löfkvist (2005) med pløying kombinert med Kverneland økoskjær og kalking første år, viste resultatene signifikant høyere avling det fjerde året. Pløying med Kverneland økoskjær hvert år ga den laveste avling i forhold til det ubehandlede ledd det fjerde året.

Forsøk med bruk av Segmentplog sammenlignet med vanlig jordløsning, viste en tendens til økning i avling der det delvis ble løsnet med Segmentplogen skrev Håkansson og Petelkau (1994). Der det også er en mer varig effekt som kan registreres både fjerde og femte år etter løsningen, den samme effekten for vanlig jordløsner var nesten helt borte fjerde år.

2.7 Utstyrstyper for jordløsning / utforming av arbeidsorganet

2.7.1 Utforming på arbeidsorganet



Figur 2 Bearbeidet jordprofil for ulike løsneorganer. Der (a) er der organen er kjørt over den kritiske bearbeidingsdybden og (b) er under den kritiske jordbearbeidingsdybden. (i) Grubb, (ii) Rettindet (iii) Torpedo plog (iv) Skråstilt jordløsner (Spoor & Godwin 1978)

Grubb (engelsk, chisel tine): Vist som (i) i Figur 2. Eksempel: Kverneland CLG II og Väderstad Top Down. Kraftige tinder som river opp jorden i relativt store jordklumper og blander jorden. Tindene er ofte fjærbelastet slik at de løser ut om de møter jordsfast stein eller fjell. Grubbing kan ikke sidestilles med vanlig løsning. Grubbing har en jordblandende effekt og andre formål, som ikke kan sammenlignes med løsning (Børresen & Njøs 1986).

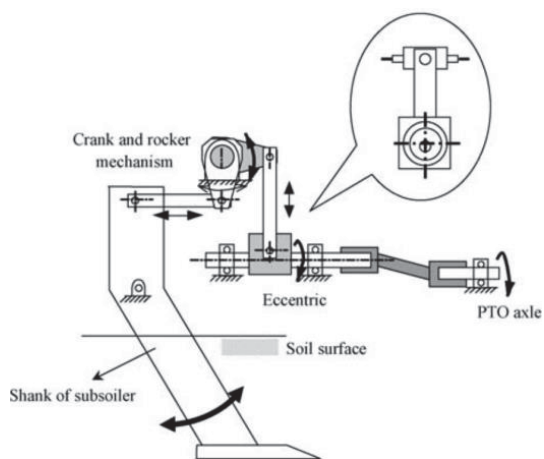
Rettindetjordløsner (engelsk, conventional subsoiler): Vist som (ii) i Figur 2. Eksempel: Kverneland CLE og DalBo SuperMax. Leggene går vertikalt ned i jorden (Børresen 2004), og de har relativt slanke legger med en spiss som kan være med utstyrt med vinger. Spissen og vingene skal løfte opp jorda slik at den sprekker opp. Rettindet jordløsnere forstyrrer jordoverflaten lite (Bilodeau 2015).

Torpedo plog (Engelsk, mole plough): Vist som (iii) i Figur 2. Eksempel: Proforge MonoMole. Hensikten er å lage en stabil kontinuerlig kanal (Godwin et al. 1981). Tinden kjøres i jorden når den er plastisk og energien brukes til elting nær tinden og en oppnår ingen løsning, men det dannes en kanal som kan fungere som drenering en viss tid avhengig av jordart (Børresen 2004). Arbeidsorganet består at en legg som går ned i jorden der det på enden er festet en sylindrisk aksling som presser jorden til siden, ofte etter denne akslingen

er det festet en større kon som har til hensikt å utvide og glatte veggene i grøfterøret (Godwin et al. 1981).

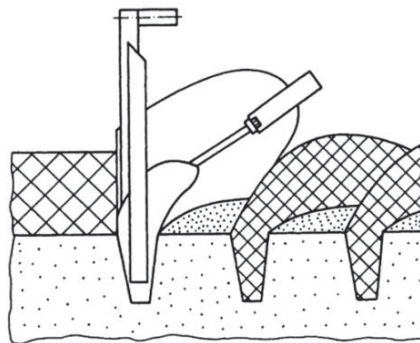
Skråstilt jordløsner (engelsk, slant subsoiler): Vist som (iv) i Figur 2. Eksempel: Howard Paraplow, Dalbo Ratoon og Kverneland CLI. Leggene går skrått ned i jorden som løftes opp (Børresen 2004). Howard Paraplow har blitt utprøvd i forsøk i Norge (Enger 1989) og i utlandet (Erbach et al. 1992). Arbeidsorganet for denne typen jordløsner er skråstilte legger som er utstyrt med skjærspisser og noen har landsider. Jorden løftes av leggene og skjæret, og løftes oppover og til siden slik at jorda sprekker langs naturlige svakhetsplan. Mengden sprekker kan reguleres ved å justere den regulerbare løftefinnen bak hvert bein (Enger 1989). Ifølge (Riley 1986) vil løftevirkningen fra de skråstilte arbeidsorganene føre til sammenhengende sprekkedannelse langs naturlige svakhetsplan.

Vibrerende undergrunnsløsner (engelsk, vibrating subsoiler): Vist i Figur 3. Eksempel: MAC vibrerende undergrunnsløsner, Vedafarming Shaker. Jordløsner med eksentrisk lagret svinghjul som drives av traktorens kraftuttak. Hele redskapet vibrerer under kjøring, vist i Figur 3. (Børresen 2004) Vibreringen skal føre til bedre løsevirksomhet samtidig som virkingen skal være mer varig. Trekkraftbehovet skal også bli lavere med vibrering (Enger 1989).



Figur 3 Prinsippskisse for vibrerende jordløsner (Radite et al. 2010)

Plog i kombinasjon med jordløsner (engelsk, plough mounted subsoiler): Eksempel: Wye double digger, Kverneland Økoskjær, Segmentplog, se Figur 4. Wye doubledigger er en kombinasjon av plog og fres, der freseaggregatet arbeider på plogsålen og løsner opp plogsålen, og plogkroppen kommer så og legger matjord over den opp freste matjorden (Børresen 2004). Denne er vist som Deep rota digger i Figur 5.



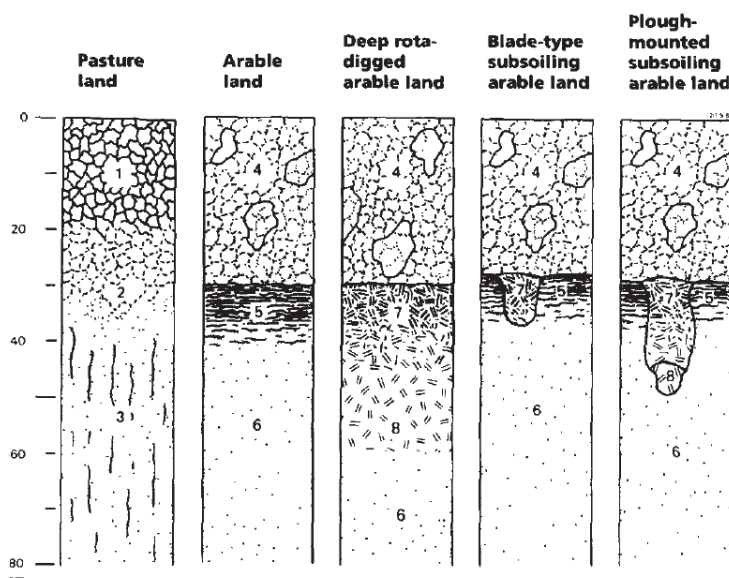
Figur 4 Segmentplog (Håkansson & Petelkau 1994)

I tidligere Øst-Tyskland ble en Segmentplog utviklet som er en kombinasjon av plog og en kultivatortinde, der tinden løsner opp et spor i plogsålen og den fylles med jord fra plog sjiktet. Sporene fra tinden lager slisser ned i den pakkede jorden som røttene kan vokse ned i. Mens de uløsnede delene av jorden tar vekten fra maskinene (Håkansson & Petelkau 1994).

En slik type jordløsning gir et profil som vist av i Kooistra og Boersma (1994) i Figur 5.

Kooistra og Boersma (1994) konkluderte med at den beste måten å løsne opp plogsålen i det lange løp er og bruke en liten plog montert undergrunnsløsner, de årene det er laglige forhold i jorden. Der de skrev at det sporet som

brytes opp er for smalt til å bli pakket til i løpet av et par år i fra hjulene på landbruksmaskiner. Før jorden blir pakket til igjen vil vertikale rotkanaler blitt laget som opprettholder et minimum av jordfysiske forhold.



Figur 5 Jordstrukturen på eng, pløyd jord med jordpakking, jord som er frest i plogsålen, retttindet jordløsner og plog montert sålebryter (Kooistra & Boersma 1994)

1. Godt utviklet blokkfomede aggregater, diam <5 mm
2. Svakt utviklet blokkfomede aggregater, diam. <5 mm
3. Dårlig strukturert jord, men biologiskekanaler, diam opptil 5 mm
4. Dårlig jordstruktur med grove klumper, delvis aggregert, diam 5-20 mm
5. Pakket jordmed dårlig struktur, noen med noen sammenhengende bioporer, diam. opp til 1,5 mm, noen ganger med platestruktur.
6. Dårlig strukturert jord med noen sammenhengende bioporer, diam. opp til 1.5 mm
7. Dårlig strukturert jord, med noen hulrom diam. opp til 1.5 mm
8. Svakt utviklet blokker og klump, delvis igjen pakket, diam.<20mm

2.7.2 Andre kombinasjoner

På markedet finnes det andre kombinasjoner. Jordløsnerne med både rette og skråstilte legger kan leveres i kombinasjon med etterfølgende grunne jordbearbeidingsredskaper. Med slike redskaper kan en få ferdig såbed uten mer kjøring på jorda.

2.7.3 Utforming av arbeidsorganet

Ved å feste vinger til jordløsnetinden og bruke grunne tinder for å bryte opp jorden i overflaten, vil det reduserer det spesifikke trekkraftsbehovet, øke den kritiske jordbearbeidingsdybden og tillate en mer effektiv restrukturering av jorden viste Spoor og Godwin (1978).

Komplett jordløsning i hele bredden og samtidig en jevn overflate kan oppnås ved å velge den optimale avstanden mellom tindene. Denne avstanden kan økes ved å bruke vinger eller grunnere harvtinder i kombinasjon til løsnetinden (Spoor & Godwin 1978). Vingene vil løfte jorda i et breiere område og skape flere sprekker. Vinkelen på vingene i forhold til horisontalplanet påvirker mengden sprekker. På enkelte jordløsere kan denne vinkelen endres ved å justere vinkelen på selve løsnetinden skrev Spoor (2006).

Det er mange variabler som påvirker den kritiske bearbeidingsdybden slik som arbeidsbredde, vinger, form på skjær, jordart og fuktighet viste Spoor og Godwin (1978). Derfor er det viktig at det er enkelt og endre de ulike innstillingene på løsneredskapen. Graden av løsning og oppbrytning av jorden reduseres jo dypere redskapen kjøres og jo mer den nærmer seg kritisk jordbearbeidingsdybde (Spoor 2006).

2.8 Forhold som påvirker effekten av jordløsningen

Jordfuktigheten har avgjørende betydning for resultatet av jordløsningen. Ved jordløsning skal energi fra traktoren overføres til jorden via løsneorganet, og energien skal forplante seg ut i en størst mulig sektor som når opp til overflaten. Hvis jorden er så fuktig at den er plastisk, vil energien brukes opp til elting nær tinden og en oppnår ikke ønsket løsneeffekt (Børresen 2004). Schjønning (1986) anbefaler at løsning av undergrunnsjord skal foregå i forholdsvis tørr jord og med bearbeidningsdybde over den kritiske bearbeidningsdybde.

Copas et al. (2009) skrev at den optimale dybden for jordløsning kun kan finnes ved å finne ut hvor jorden er pakket, hvor dypt og tykkelsen av den pakke jorden. Det anbefales å kjøre jordløseren like under det pakke laget. Ifølge Spoor og Godwin (1978) er det en kritisk arbeidsdybde for alle stive tinder. Ned til denne dybden vil jorda over spissen brytes opp og utover, og danne et trekantformet spor hvor jorda er løsnet. Den kritiske jordbearbeidingsdybden avhenger av bredden, vinkelen og løftehøyden på arbeidsorganet, i

tillegg vil fuktigheten og tettheten i jorden påvirke dette. Under den kritiske arbeidsdybden vil en få pakking foran og rundt arbeidsorganet istedenfor en effektiv jordløsning.

Ofte regnes 35 cm som tilstrekkelig arbeidsdybde ved jordløsning, selv om det meste av utstyret på markedet kan kjøres ned til 45-60 cm. Ved dypere jordbearbeiding er det vanskeligere å vurdere vanninnholdet i jorda (Børresen 2004). Om våren vil jorden som regel være for fuktig nede ved 30-40 cm dybde til å kunne løsnes. Ifølge Børresen (2004) er tidspunktet like etter høsting av kornet den perioden det er mest aktuelt å utføre jordløsning. Tegn på en vellykket jordløsning er ifølge Schjønning (1986), et bredt løsneprofil hvor områder med høy jordfasthet i den bearbeidede jorden er redusert til et minimum. Umiddelbart etter jordløsning kan effekten registreres ved endring i volumvekten på tvers av løsnesporet (Schjønning 1986). Kjøring med jordløser bør planlegges både med tanke på terrengets helning og grøfteretningen. Vannet vil følge kanalene som jordløseren danner. Det bør kjøres med en viss vinkel på grøfteretningen for å få den optimale effekten ifølge Bilodeau (2015).

2.9 Biotisk og abiotisk jordløsning

I forsøk der effekten av klimatiske og biologiske prosesser på den pakkede jordstrukturen ble undersøkt, ble det funnet små sprekker i den pakkede undergrunnsjorden, sannsynligvis kommer disse av frysing og tørking av jorden skrev Alakukku (1997). Dyp uttørking og sprekkdannelse under sommerens tørkeperioder er sannsynligvis den viktigste enkeltfaktoren som kan bidra til naturlig jordløsning skrev Heinonen (1986). Praktiske erfaringer fra jordbrukere viser at en tørkeperiode kan bedre en pakkets jords infiltrasjonskapasitet og dreneringsevne.

Fungerende drenering betyr i midlertidig ikke at sporene etter en jordpakking ikke er borte. Forsøksresultater viser at det er behov for flere tørkesykluser før de negative resultatene forsvinner eller blir ubetydelige. Et nytt sprekkmønster er fra rot-utviklings-synspunkt for spredt og ustabilt (Heinonen 1986). van den Akker et al. (2012) studerte jordens egenskaper til å lege seg selv etter pakking i plogsålen, der de tok ut sylindre fra jorden som ble vannmettet for så å tørke med et sug på 0,8 bar. Mettetvannledningsevne ble målt før og etter tørking. De fant at svelling- og tørkesyklusen generelt er positiv for å bedre jordens vannledningsevne, men virkningen varierer med jordart.

Tidligere har det vært antatt at tele har vært effektivt til å reparere pakkeskader. Dette ble motbevist av Blake et al. (1976), sitert av (Heinonen 1986), som har vist et mer nyansert bilde av tele. Telens effekt er mest effektiv på siltjord, der overflaten kan heves titalls centimeter når islinsene vokser gjennom teledannelse. Men denne effekten forsvinner etter opptining når jorden setter seg. En viss løsning ble igjen og forsterkes etter sykluser med frysing og tining. Etter 3 til 15 tine-frysesykluserer nås det en likevektstilstand, og flere sykluser forbedrer ikke jordstrukturen.

I massive leirer er bildet noe annet, der er det kun er svake sprekkdannelse som oppstår ved frysing. Dette har ikke så stor effekt på infiltrasjonskapasiteten, men det har større innvirkning på trykkfastheten og gjør grunn jordarbeiding lettere Heinonen (1986). I dypere lag med lite porer med vann og kun en telesyklus i året, vil det være en svært liten løsnevirkning. I leirklumper nær overflaten på en høstpløyd jord der det kan være flere tine-fryse sykluser, vil en ha en større effekt. Det er vanskelig å få til samme televirkning under ploglaget ifølge Enger (1989).

Meitemarken skaper og er et kjennetegn på god jordstruktur. For infiltrasjon og luftveksling er deres ganger/kanaler til tider viktigere en noen andre makroporer. Dette fordi de alltid holder sine kanaler åpner. For å holde på meitemarken anbefaler Heinonen (1986) å holde overflaten beskyttet. Dette kan gjøres med planter eller planterester, pløye jorden så sjeldent som mulig, sørge for å ha godt drenerte arealer, tilfredsstillende pH, sørge for god tilførsel av organisk materiale med for eksempel husdyrgjødsel, ikke overdrive bruken av kunstgjødsel og være forsiktig i bruken av fungicider. Bestanden av leddyr og meitemark har vist seg å bli alvorlig redusert av trafikk på jordoverflaten ifølge Håkansson et al. (1988).

Røttene påvirker jordstrukturen ved å ta opp vann, noe som fører til at leirholdig jord sprekker opp. Røttene penetrerer den massive jorden og disse etterlater et sammenhengende nettverk av større og mindre porer. Døde røtter etterlater seg organisk materiale som er med på å stabiliserer poreveggene. Bakken (2016) foreslår å bruke rødkløver(*Trifolium pratense*) etter jordløsning i forhold til luserne, der rødkløveren har større rotsystem enn luserne i forsøk gjennomført i Midt-Norge. I forbindelse med vekstskifte i korndyrking anbefaler Abrahamsen et al. (2016) å bruke raps (*Brassica napus ssp. oleifera*) og åkerbønner (*Vicia faba*), spesielt fordi de har kraftige pålerøtter som har evne til å løse opp jord. Høstraps er spesielt positiv fordi den har kraftigere og dypere røtter enn vårraps og rybs (*Brassica rapa*). Permanent eng har vist seg å ha bedre jordfysiske forhold enn arealer som jordbearbeides

hvert år ifølge Kooistra og Tovey (1994), profilet av slik permanent eng er vist i Figur 2. Forsøk gjennomført av Munkholm (2016) fant en økning i luftledningsevne i jorden ved bruk av oljereddiker som fangvekst, der de fant en signifikant reduksjon i trykkfastheten i 30-35 cm dybde ifra 2 MPa til 1,75 MPa. I tillegg ble det funnet en økning i det drenerbare porevolumet.

Ifølge Alakukku (1997) er biologisk jordløsning ikke veldig kostbart, og bioporene er mer stabile enn makroporer laget ved hjelp av mekanisk jordløsning. Löfkvist (2005) skrev noe motstridende; at det å bruke planterøtter til å løsne opp jorden er en kostbar prosess som tar tid. Dette kan da ha sammenheng med hvorvidt en kan høste en vekst som kan gi økonomisk avkastning dette året, eller om den kun dyrkes for løsnervirkningen. Forsøk med bruk av ulike planter som jordløsnere gjennomført av, viste Löfkvist (2005) at planter har en løseeffekt på jorden.

Sikori (*Cichorium intybus*) førte til en mettetvannledningsevne som var like høy som før jorden ble pakket i forsøkene til Löfkvist (2005). Fordelen er at planterøttene etterlater seg rotkanaler for veksten som kommer etter. Den signifikant høyeste avling etter at jorden ble løsnet med planter var ved å så luserne etter at jorden ble pakket. Löfkvist (2005) gjennomførte også forsøk der han kombinerte mekanisk og biologisk jordløsning. Der konkluderte han med at luserne forlenget effekten av løsningen sammenlignet med å dyrke korn. Allerede i 1919 skrev Ødegaard at kløver eller annen belgvekst burde sås etter en dypbearbeiding, der belgvekstrøttene vare med og holde undergrunnen løs og gjennomtrengelig, i tillegg være med og fortsette å fullføre arbeidet.

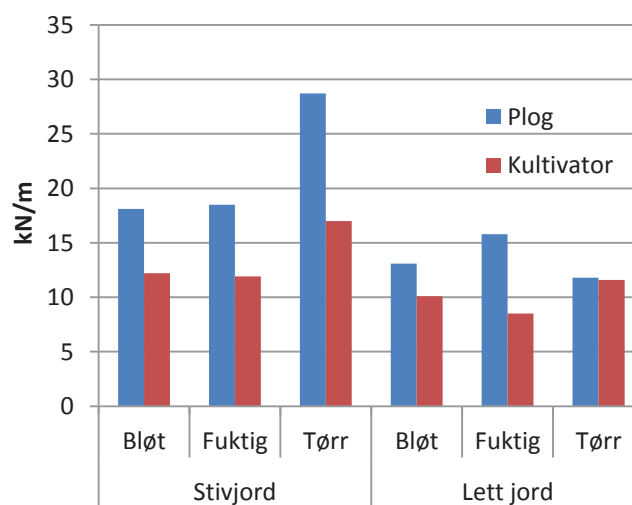
2.10 Trekkraftmåling

Spoor og Godwin (1978) gjennomførte forsøk med en traktor som trakk en annen traktor som fungerte som redskapsbærere. Mellom traktorene var det en lastcelle som registrerte kraften som måtte til for å dra den ene traktoren med redskapen, der rullemotstanden av traktoren som fungerte som redskapsbærer ble trukket ifra. I tillegg ble den forstyrrede jorden målt med et profilmeter. Der de i det forsøket kjørte et løsneorgan ned til 35 cm dybde, fant et trekkraftbehov på 20,4 kN. Ved montering av løsnevinger, som enten var 30 eller 42 cm brede, økte trekkraftbehovet henholdsvis med 26,6 og 28,7 kN. Der det spesifikke trekkraftbehovet for de tre ulike tinde-kombinasjonene er 208, 143 og 144 kN/m².

Spoor (2006) har målt effektforbruket på landbrukstraktor i forhold til dybden de trekker en løsnetinde. Resultatene viste at effektbehovet øker med økt arbeidsdybde. Fra 25 cm til 35 cm ble effektbehovet nesten fordoblet, og opp til 50 cm nesten tredoblet. Arbeidsdybde er den viktigste faktoren når det kommer til energibehovet for å gjennomføre løsningen Bilodeau (2015). Energibehovet vil variere mellom jordarter, men generelt er effektbehovet 80 hk per tinde. Forsøk gjennomført av Payne (1956) med trekkraftmålinger på en enkel kultivatortinde, viste at det totale trekkraftbehovet økte med 20 til 30 % ved en økning i hastigheten fra 0,8 til 9,7 km/h. Det spesifikke trekkraftbehovet øker med bearbeidingsdybde, dette mente han skyldes trykket ifra den overliggende jorden og at et større areal ble bearbeides når tinden kjøres dypere i jorden.

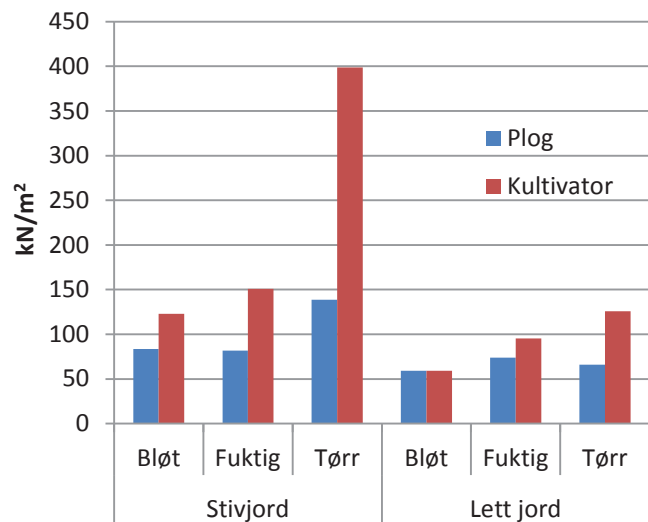
Forsøk med trekkraftmålinger med plog gjennomført av Ibrahmi et al. (2015) i en jordrenne fylt med en sandig lettleire, viste de at energibehovet økte med økt arbeidsdybde og fremdriftshastighet. Trekkraftbehovet ved pløying på 15 cm var 6,7 kN. Det økte til 25 kN ved pløying på 25 cm dybde. Ved en hastighet på 3,6 km/t var trekkraftbehovet 9,66 kN, men om hastigheten ble doblet (7,2 km/t) økte trekkraftbehovet til 13 kN. Davies et al. (1993) gjennomførte en større studie med trekkraftmålinger med plog. Resultatene viste at det totale trekkraftbehovet økte med 25 % når hastigheten økte fra 4,8 til 9,6 km/t. Gustafsson et al. (2003) forklarer at når hastigheten øker, så øker jordens fasthet med økt deformasjonshastighet. Hvor mye jordfastheten øker med deformasjonshastigheten varierer mye i forhold til jordart.

Gustafsson et al. (2003) målte det totale trekkraftbehovet (kraften per meter arbeidsbredde) for plog og kultivator på 21 cm dybde på to ulike jordarter, under tre ulike fuktighetsforhold, se Figur 6. Resultatene viste at de pløyde leddene hadde signifikant høyere trekkraftbehov. Spesielt på en stiv jord under tørreforhold er det et høyt totalt trekkraftbehov både for plog og kultivator.



Figur 6 Totalt trekkraftbehov for plog og kultivator i 21 cm dybde (Gustafsson et al. 2003)

Gustafsson et al. (2003) registrerte også det spesifikke trekkraftbehovet i de samme målingene. Spesifikt trekkraftbehov er den målte kraften fordelt på det bearbeidede arealet. De fant at det spesifikke trekkraftbehovet ble lavere for de pløyde leddene enn der det ble kjørt med kultivator, se Figur 7. De fant også at forskjellen mellom bearbeidingene ble større under tørre forhold enn mellom bløte og fuktige. Det spesifikke trekkraftbehovet var alltid høyest på den stive jorden.



Figur 7 Spesifikt trekkraftbehov for plog og kultivator i 21 cm dybde (Gustafsson et al. 2003)

3. Material og metode

3.1 Forsøksfeltet - Rakkestad

Forsøksfeltet ligger i Østfold fylke, i Rakkestad kommune på gården Sandaker (59.46°N. 11.39°Ø) (Figur 8) Jordarten i plogsjiktet er en sandig silt med et høyt innhold av organisk materiale. I undergrunnen er det en sandig silt. Tabell 3 og Figur 9 som viser data og bilde fra jordprofilet. Feltet ble grøftet i 2011, men gårdbrukeren syntes ikke å se noen god effekt av dette. Det ble derfor anlagt et forsøksfelt høsten 2013. Feltet ligger 148 moh. (yr.no 2016b) Nedbør for vekstsesongene 2013, 2014 og 2015 går frem av Tabell 2.



Figur 8 Dronefoto av forsøksfeltet i Rakkestad tatt 17.01.2015 Foto: Espen Syljuåsen

Tabell 2 Nedbørsdata for Sandaker sesongen 2013, 2014 og 2015 (LMT 2016), normalen (1961-1990)

Måned	Rakkestad målestasjon			
	2013	2014	2015	Normal
April	70	64	29	41
Mai	104	91	102	54
Juni	134	64	70	69
Juli	25	53	123	72
August	142	203	72	84
September	31	31	217	89
Oktober	159	245	17	99



Figur 9 Jordprofil Rakkestad, grøft til venstre i bildet

Tabell 3 Tekstur og noen jordkjemisk parametere i Rakkestad

		Tot. C	Tot. N	K-AL	P-AL	Kornfordeling %			Jordart
		%	%	mg/kg	mg/kg	Leir	Silt	Sand	
Ap	0-30 cm	7,99	0,34	36	110	9,3	63,6	27,1	Sandig silt
Bg	30-48 cm	0,39	<0,05	19	24	4,4	71,3	24,4	Sandig silt
BCg	48-71 cm	0,18	<0,05	18	23	6,3	74,9	18,8	Sandig silt
Cg	> 71 cm	0,13	<0,05	35	22	10	77,8	12,2	Sandig silt

3.1.1 Forsøksplan og behandlinger

Forsøksfeltet i Rakkestad ble anlagt høsten 2013. I forsøket inngår det 4 faktorer; løsning om høsten, løsning om våren, vårpløying/vårharving og 3 kornarter. Det er to gjentak. Faktorene og forkortelser er samlet i Tabell 4. Feltet består av 48 ruter som er 6 m x 11 m. Størrelsen på hele forsøksfeltet er 44 m x 75 m = 3300 m².

Tabell 4 De ulike faktorene i forsøket i Rakkestad

Løsning høst:		Løsning vår:		Kornarter:		Jordarbeiding:	
Ingen løsning	ULH	Ingen løsning vår	ULV	Bygg	B	Vårpløying	Vp
Løsning høst 40 cm	LH	Løsning vår 40 cm	VL	Havre	H	Vårharving	Vh
		Løsning høst og vår 40cm	HL+VL	Hvete	Hv		

Feltkarter går frem av Figur 10 som viser de ulike faktorene. Kornartene ble sådd i vekstskifte der det i 2015 ble sådd bygg der det var hvete i 2014 og tilsvarende havre etter bygg og hvete etter havre. Feltet i Rakkestad ble løsnet høsten 2013 (12.09.2013) og våren 2014 (26.04.2014) med en Dal-Bo Ratoon (Dal-Bo 2016b) med skråstilte løsnetinder. Løsningen ble kjørt på 40 cm dybde. Traktoren som ble brukt var en New Holland 8360 med en shipping vekt på 5,9 Mg og maksimal vekt på 8.9 Mg (TractorData 2014). Løsningen om høsten og om våren ble kjørt vinkelrett på hverandre med gjennomgående ruter. Etter løsning ble den ene delen av feltet pløyd med en fire skjærs Kverneland ES plog og en New Holland TS 115 med en shipping vekt på 4,7 Mg (TractorData 2014). Det harvede leddet ble harvet med en Kronos stubbharv (Kronos 2016) trukket av en New Holland 8360. Før såing ble feltet harvet med en Multiva topline Super XL (Multiva 2016) trukket av en New Holland 8360. Feltet ble sådd med en 3 m Väderstad Rapid med radavstand 12,5 cm i kombinasjon med en Case 5150 med tvilling montasje på begge akslingene.

Detaljer om behandlinger og datoer er gitt i Tabell 8. Rundt forsøksfeltet ble det sådd med Havre (Belinda) i 2014 og hvete (Zebra) 2015. Etter såing ble feltet sprøytet mot ugras, vekstregulert og behandlet mot gulrust og septoria av gårdbrukeren

Feltplan 2015 - Jordløsning - Rakkestad - Sandaker - Agropo											
	Jordløsning høsten 2013										
	Løsnet		Uløsnet		Løsnet		Uløsnet				
6 m	<u>101</u>	Havre	<u>113</u>	Havre	<u>201</u>	Havre	<u>213</u>	Havre	Uløsn et vår 2014	V å r ø y d	
6 m	<u>102</u>	Hvete	<u>114</u>	Hvete	<u>202</u>	Hvete	<u>214</u>	Hvete			
6 m	<u>103</u>	Bygg	<u>115</u>	Bygg	<u>203</u>	Bygg	<u>215</u>	Bygg			
6 m	<u>104</u>	Bygg	<u>116</u>	Bygg	<u>204</u>	Bygg	<u>216</u>	Bygg	Løsne t vår 2014		
6 m	<u>105</u>	Hvete	<u>117</u>	Hvete	<u>205</u>	Hvete	<u>217</u>	Hvete			
6 m	<u>106</u>	Havre	<u>118</u>	Havre	<u>206</u>	Havre	<u>218</u>	Havre			
3 m											75m
6 m	<u>107</u>	Bygg	<u>119</u>	Bygg	<u>207</u>	Bygg	<u>219</u>	Bygg	Løsne t vår 2014	V å r v e t	
6 m	<u>108</u>	Hvete	<u>120</u>	Hvete	<u>208</u>	Hvete	<u>220</u>	Hvete			
6 m	<u>109</u>	Havre	<u>121</u>	Havre	<u>209</u>	Havre	<u>221</u>	Havre			
6 m	<u>110</u>	Havre	<u>122</u>	Havre	<u>210</u>	Havre	<u>222</u>	Havre	Uløsn et vår 2014		
6 m	<u>111</u>	Hvete	<u>123</u>	Hvete	<u>211</u>	Hvete	<u>223</u>	Hvete			
6 m	<u>112</u>	Bygg	<u>124</u>	Bygg	<u>212</u>	Bygg	<u>224</u>	Bygg			
	11 m		11 m		11 m		11 m		N→		
	44 m								Mot gård		
			Skogkant								

Figur 10 Feltkart sesongen 2015 Rakkestad

3.2 Forsøksfeltet - Nannestad

Forsøksfeltet ligger i Nannestad kommune i Akershus fylke, på gården Øde-Rud (60.23°N, 11.06°Ø). Jordarten i plogsjiktet er en sandig silt og i undergrunnen en siltig leittleire. Jordprofilet er vist i Figur 11. Forsøksfeltet ligger i et bakkeplanert dalsøkk, vist i Figur 12. Der bakkeplaneringen ifølge gårdbrukeren ble dårlig utført der matjorden ble skjovet ned i bunnen av dalsøkket og det ble igjen en leirjord, med forholdsvis lavt moldinnhold.

Dette er en jordart på Sør-Øst Norge som ofte karakteriseres med lav luftkapasitet, liten vannledningsevne og dårlig struktur (Riley 1986). Mer informasjon er samlet i Tabell 6. Feltet ligger 200 m.o.h. (yr.no 2016c). Nedbørsdata ifra målestasjonen på Oslo Lufthavn Gardermoen og gårdbrukerens egne registreringer går frem av Tabell 5.



Figur 11 Jordprofil Nannestad



Figur 12. Feltforsøket klart til såbedsharving etter pløye- og harvebehandlingene er gjennomført våren 2015

Tabell 5 Nedbørsdata Gardermoen (yr.no 2016a) for Rud-Øde sesongen 2014 og 2015 (Simonsen 2016) og normalen (1961-1990)

	Gardermoen målestasjon		Rud-Øde	
	2015	Normal	2014	2014
April	12	48		
Mai	131	61	101	136
Juni	88	73	49	94
Juli	99	79	73	93
August	130	90	150	146
September	201	96	42	
Oktober	9	100		

Tabell 6 Jordkjemisk innhold, prosentandel leir, silt og sand og jordart Nannestad

Sjikt	Dybde	Tot. C	Tot. N	K-AL	P-AL	Kornfordeling			Norsk jordartstrekant
		%	%	mg/kg	mg/kg	Leir	Silt	Sand	
Ap	0-22 cm	1,38	0,13	77	71	11,3	71,6	17	Sandig silt
B	25-70 cm	0,15	0,05	55	100	24,5	74,6	0,8	Siltig lettleire
C1	70 - 100 cm	0,15	<0,05	46	150	20,1	78,9	1	Siltig lettleire
C2	>100 cm	0,24	<0,05	47	130	16,2	81,6	2,1	Siltig lettleire
	Sandlomme	0,15	<0,05	22	67	3,4	46	50,7	Siltig fin sand

3.2.1 Forsøksplan og behandlinger

Forsøksfeltet i Nannestad ble anlagt høsten 2014 og våren 2015. Dette er et to-faktorielt forsøk (løsning høst og løsning vår) og to gjentak, de ulike faktorene i forsøket går fem av Tabell 7. Feltet består av 40 ruter og størrelsene på anleggsrutene var 5 m x 7,5 m der total rutestørrelse var 37,5 m². Den totale feltstørrelsen var 2 x 25 m x 30 m = 1500 m². Feltkartet for forsøkssesongen går frem av Figur 5. De to gjentakene i forsøksfeltet ligger på hver sin side av et bakkeplanert dalsøkk.

Feltet ble løsnet høsten 2014 (17.09.2015) med en Kverneland CLE jordløsner med vinger og en Dalbo Ratoon med skråstilte løsnetinder, fremdriftshastigheten ved løsningen var 5 km/t. Traktoren som ble brukt til løsningen, var en John Deere 6150R med en maksimal vekt på 11 Mg (TractorData 2015). Våren 2015 ble feltet vårarbeidet enten med plog eller stubbharv der noen av pløyebehandlingene ble kombinerte sålebrytere montert på plogen.

Tabell 7 De ulike faktorene i forsøket i Nannestad

Løsning høst:		Løsning vår:	
Ingen løsning (kontroll)	UL	Vårpløying 20 cm (kontroll)	VP
Løsning med dalbo Ratoon 35 cm	DB1	Vårpløying 20 cm med Økoskjær	VPØ
Løsning med dalbo Ratoon 45 cm	DB2	Vårpløying 20 cm med Løsnetinde	VPL
Løsning med Kverneland CLE 35 cm	KV1	Vårharving 15 cm	VH
Løsning med Kverneland CLE 45 cm	KV2		

Løsning om våren ble gjort den 28.04.2015 med Massey Ferguson 3050 med en shippingvekt på 3,8 Mg (TractorData 2015) og Kverneland E to-skjærsvendeplog (Kverneland 2014c) med en fremdriftshastighet på 5 km/t. I tillegg til ordinær pløying ble plogen påmontert enten Økoskjær eller Løsnetinde på det første skjæret. Det ble i tillegg montert to ekstra flyndrefjorblader for å sikre at plogen ikke løste ut for lett. Det ble pløyd på 20 cm. Dette var noe under den tidligere plogsålen. Jorden smuldret fint ved pløying. Avlesningsdybden på Økoskjær var 12 cm og arbeidsbredden på skjæret var 20 cm og på Løsnetinde var arbeidsdybden 19 cm og bredden 23 cm. For mer inngående informasjon om løsneutstyret se avsnitt 3.2.

Det harva leddet ble harvet med Väderstad Swift (Väderstad 2016) dybde på 8-10 cm og en hastighet på 10 km/t med en John Deere 6930 (TractorData 2011). Hele feltet ble harvet med en Väderstad NZ såbedsharv før såing med en Tume 3000 JC Star XL såmaskin med skåler på gjødsel- og sålabber. Feltet ble sådd med bygg (Fairytale).

Jordarbeidingsfelt Rud-Øde					
Kornørke					
N ↓	Plog	Økoskjær	Løsnetinde	Harv	
Ingen løsnin	101	107	113	119	5 m
Dalbo Ratoon 35cm	102	108	114	120	5 m
Dalbo Ratoon 45cm	103	109	115	121	5 m
Kverneland CLE 35cm	104	110	116	122	5 m
Kverneland CLE 45cm	105	111	117	123	5 m
Ingen	106	112	118	124	
Dalsøkk	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	
30 m					
	Harv	Plog	Økoskjær	Løsnetinde	
Dalbo Ratoon 35cm	201	207	213	219	5 m
Ingen løsnin	202	208	214	220	5 m
Kverneland CLE 45cm	203	209	215	221	5 m
Ingen løsnin	204	210	216	222	5 m
Dalbo Ratoon 45cm	205	211	217	223	5 m
Kverneland CLE 35cm	206	212	218	224	5 m
	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	
30 m					

Figur 13 Feltkart Nannestad sesongen 2015

Etter såing ble hele feltet delgjødslet med 12 kg/daa med Kalksalpeter og senere med 17kg/daa OPTI-KAS 27-0-0 for å kompensere for utvasking. Gårdbrukeren sprøytet feltet mot ugress, sopp og i tillegg ble det vekstregulert kombinert med flytende bladgjødslet (Gramitrel (Yara 2016))

3.3 Behandlinger og registreringer

Tabell 8 Behandlinger av de to forsøksfeltene for de ulike årene

Arbeidsoppgave	Rakkestad 2013	Rakkestad 2014	Rakkestad 2015	Nannestad 2014	Nannestad 2015
Løsning høst	12.sep.	-	-	17. 9.	
Løsning vår		26. 4.	-		
Pløying		26. 4.	21. 4.		28. 4.
Stubbharving		28. 4.	22. 4.		28. 4.
Såbedsharving					
Sådato		29. 4.	23. 4.		3. 5.
Art og sort		Bygg, Brage 21 kg/daa	Bygg, Brage 19,5 kg		
		Havre, Belinda 22 kg/daa	Havre, Belinda 22 kg/daa		Bygg,Fairytail 20kg/daa
		Hvete, Zebra 24 kg/daa	Hvete, Zebra 25 kg/daa		
		27-3-5 45 kg/daa	24-3,5-6 50 kg/daa		22-2-12
Gjødsel type		12 kg N/daa	12 kg N/ daa		39 kg/daa
Gjødsel mengde					
Høsting av bygg			21. 8.		
Høsting		28. 8.	21. 9.		29. 9.

Tabell 9 Registreringer og prøveuttak på de to feltforsøkene

	Rakkestad 2014		Rakkestad 2015		Nannestad 2014		Nannestad 2015	
	Dato	Registrering	Dato	Registrering	Dato	Registrering	Dato	Registrering
Skjærfasthet	28.3.	5 målinger 3 dybder			1.10.	5 målinger 2 dybder		
	6/7.10.	10 målinger 3 dybder						
Vanninnhold	28.3.	2 dybder	29.5.	0-20 cm 20-40 cm			4.6.	1 måling 0-20 cm
			30.9.	0-20 cm 20-40 cm				
Jordprofil	28.3.						15.6.	
Fuktighetsmålinger TDR	23.5.	3 målinger						
Antall spirer	16.5.	0,25 m ²						
	23.5.	0,25 m ²						
Plantehøyde	17.5.	3 målinger						
	23.5.	3 målinger						
	21.6.	3 målinger						
Registrert utviklingsstadium	21.6.		13.8.				13.8.	
Ugras visuelt bedømt	21.6.		13.8.				13.8.	
			11.6.					
Penetrasjonsmålinger			20.5.	5 stikk			4.6.	5 stikk
			30.9.	5 stikk			12.10	5 stikk
Eikjeldkamp Innfiltrasjon	26.9.							
Uttak av sylindre	6/7.10.	2 sylindre 25-30 cm 35-40 cm			1.10.	2 sylindre 20-25 cm 30-35 cm	4.6.	2 sylindre 25-30 cm 30-35 cm
							11.11.	2 sylindre 22-27 cm
Oppmåling	28.3.						12.9.	
Håndhøsting av bygg			21.8.	0,37 m ²				
Dronefoto			3.6.					
			17.8.					
Jordprofil			15.4.				15.6.	

3.4 Jordanalyse

Prøveuttak

Jordprøver for pF analyser ble tatt ut på begge forsøksfeltene. Tidspunkt for uttak og dybdene går frem av Tabell 9. Uforstyrrede jordprøver ble tatt ut med 100 cm³ stålsylindre. I Rakkestad ble disse prøvene tatt ut tilfeldig på rutene i alle dybdene og ved alle tidspunktene. I Nannestad ble prøvene tatt ut etter løsning høsten 2014 ble tatt 20 cm til siden for løsnesporet i de angitte dybdene i Tabell 9. Prøvene våren og høsten 2015 ble tatt ut i det løsnede sporet der dette ble visuelt bedømt, de ble tatt ut i dybdene angitt i Tabell 9. Der det ble brukt spade for å grave seg ned på ønsket dybde, for å finne rett dybde ble meterstokk og rettholt brukt. Slaghode og hammer ble brukt for å slå ned sylindrene. Overflødig jord ble skåret bort og sylindrene ble dekket til med plastlokk og lagret kaldt før analysering. Totalt ble det tatt ut 124 sylindre i Rakkestad og 95 sylindre i Nannestad fordelt på henholdsvis to og tre prøveuttak. Det ble tatt ut to sylindre i hver rute. Fra et jordprofil ble det på begge forsøks stedene tatt ut prøver for tekstur og kjemisk analyse i hvert sjikt for å beskrive jordprofilene I tillegg ble det tatt ut tre sylindre i hvert sjikt for volumetrisk analyse og vannretensjon (pF). De gangene det ikke ble tatt ut sylinderprøver i kombinasjon med måling av trykkfasthet eller skjærfasthet ble det tatt ut prøver med et håndholdt jordbor for å bestemme gravimetrisk vanninnhold i jorda.

Bestemmelse av porevolum, jordtetthet, vanninnhold og luftinnhold

Stålsylindre på 100 cm³ ble brukt for å ta uforstyrrede jordprøver å bestemme volumetriske forhold i jorda, inkluder vannretensjon (pF). Analysene ble gjennomført etter beskrivelse i (Børresen & Haugen 2003).

Porestørrelsesfordeling i jord ble målt ved å bruke keramiske plater i ett trykkammer (Richards 1947; 1948). De keramiske platene (Eijkelkamp 2016b) ble kjørt ved 0,05 bar (pF 1.7), 0,1 bar (pF2), 1 bar (pF3) og 15 bar (pF 4,2) trykk. Tilhørende porestørrelser kan beregnes med formelen: $hc = 0,3/d$ der hc er dreneringsug (cm vannsøyle) og d er porediameter (cm). (Porediameter (cm) = $0,3/\text{trykk/sug i cm vannsøyle}$). Sammenhengen i mellom disse går frem av Tabell 10

Tabell 10 Porestørrelser (i μm) beregnet for ulike dreneringssug (trykk)

cm vannsøyle	Trykk (bar)	pF	Porestørrelse
50	0,05	pF 1,7	60 μm
100	0,1	pF 2	30 μm
1000	1	pF 3	3 μm
15 000	15	pF 4,2	0,2 μm

Porer større enn 30 μm er definert som drenerbart porvolum eller jordens luftvolum ved feltkapasitet som tilsvarer luftfylte porer ved 100 cm dreneringssug (pF2). Luftfylte porer ved pF 2 ble målt med luftpyknometer (Torstensson & Eriksson 1936), og den totale porøsiteten ble regnet ut som summen av luftfylte porer (%v/v) og volum vann (%v/v) ved et dreneringssug på 100cm (pF2) (Børresen & Haugen 2003)

Før hver måleserie ble det utført en kalibrering av utstyret. Målingene ble utført etter 100 cm dreneringssug (pF2) og det ble målt 2 ganger pr sylinder.

Luftpermeabilitet

Luftpermeabilitet ble målt ved feltkapasitet (100 cm sug) (Green & Fordham 1975). Luftgjennomstrømningen gjennom jordprøven ved et visst trykk, kan luftpermeabiliteten beregnes etter følgende formel: $K=V * (l/A) * (N/P)$. Der:

K= permeabilitet

V= luftgjennomstrømning (cm^3/min)

L= sylinderhøyde (3,7 cm)

N = luftviskositet (0,00018, fuktig luft ved 15°C)

A= prøvens areal ($27,03 \text{ cm}^2$)

P= Trykkforskjell, dyne/ cm^2

Omgjort til SI enheter og for mine prøvestørrelser kan formelen forenkles til: $K=(V/60)*(2,59*P)$

Der enheter for de ulike faktorene er:

$K= \mu\text{m}^2$

$Q = \text{cm}^3/\text{min}$

P =cm vannsøyle

Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT)

Zink et al. (2011) presenterte et verktøy for å verifisere jordpakking basert på kritiske verdier for viktige funksjoner i jorda (CVT). Der de satt en grense for mettet vannledningsevne på 10 cm/døgn ($K_s=10\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$) og et luftinnhold målt ved -60 hPa (60 cm dreneringssug) på 5 %v/v ($AC_{60}=5\text{ \% v/v}$). Luftpermeabilitet kan brukes for å beregne mettet vannledningsevne (Riley 1996) der vannpermeabilitet er gitt som $0,106\cdot\text{luftpermeabilitet}^{1,31}$. Mettet vannledningsevne kan da beregnes ved å multiplisere med en faktor knyttet til vannets viskositet ved en gitt temperatur. I denne masteroppgaven ble temperaturen 10 °C valg og da er faktoren 2,7. Luftvolumet som ble brukt var målt ved et sug på 50 hPa som er noe strengere en 60 hPa som Zink et al. (2011) beskriver. I praksis vurderes disse to sugene å gi tilnærmet samme luftinnhold på de aktuelle jordtypene.

Dette verktøyet ble utviklet for å klassifisere pakkingsgraden i jorda ved overkjøring med tunge maskiner, men det er interessant og kjøre verktøyet på jord som er antatt pakket. I tillegg kan det være med å si noe om effekten jordløsningen har hatt.

Pakkingstilstanden er delt inn i fire klasser. Klasse 1 indikerer at jorda ikke er pakket og da er både $AC_{60}\geq 5\text{ \% v/v}$ og $K_s\geq 10\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$. Tabellene i resultatdelen er klasse 1 merket med grønt. Klasse 2 eller 3 indikerer at bare en av parameterne under kritisk verdi for skadelig jordpakking. I tabellene i resultatdelen er disse merket med gult. Klasse 4 indikerer at begge parameterne er under de kritiske verdiene for skadelig jordpakking, disse er merket med rødt i tabellene i resultatdelen.

Skjærfasthet

Skjærfasthet ble målt med momentnøkkel påmontert vingebor. Boret hadde 4 vinger der høyden på vingene var 100 mm og vingediameteren var 50 mm. Vingeboret ble presset eller banket ned til ønsket dybde og momentnøkkelen ble rotert sakte rundt. Tidspunkt for skjærfasthetsmålinger og dybder fremgår av Tabell 9. For utregning av skjærfasthet ble formelen for en endeflate på vingeboret brukt:

$$S = M / (2\pi h r^2 + 2/3\pi r^3) \text{ (Børresen \& Haugen 2003)}$$

S: skjærfasthet (Pa)

H: vingehøyde (m)

R: vingeradius (m)

M: dreiemoment (Nm)]

Trykkfasthet

Trykkfastheten i jorden ble målt med et penetrometer av typen Eijkelkamp Penetrologger (Eijkelkamp 2016a). På denne typen penetrometer er det en digital lastcelle som registrer kraften som må til for å presse konen i jorden. I tillegg er det en sensor som registrer høyden over bakken slik at kraften og dybden registreres i en operasjons og lagres digitalt i penetrometret. Konen presses ned i jorden med en jevn hastighet 2cm/sek (Børresen & Haugen 2003). Ved å angi dimensjon på konen gir Penetrologgeren trykkfastheten i kPa direkte i et Excel ark. Dimensjon på konen var 1 cm² og en vinkel på 60°, hastigheten på konen ved pressing ned i jorden var 2 cm/s. Antall målinger og tidspunkt for penetrasjonsmålinger fremgår av Tabell 9.

Jordfuktighet

Registreringen av jordfuktighet ble gjort med to forskjellige metoder. Den ene metoden er å ta ut fuktighetsprøver med jordbor. Der prøvene ble lagt i plastposer og lagret kaldt frem til tørking. Jordprøvene ble veid med plastskåler før tørking ved 105°C i et døgn. Etter tørking ble prøvene veid for å finne innholdet (gravimetrisk) av vann. Den andre metoden for registrering av fuktighetsmålinger (volumetrisk) er å bruke TDR målinger (Devices 2016). Tidspunkt for fuktighetsmålinger og dybder går frem av Tabell 9.

Infiltrasjon måling med dobbelring infiltrometer

Infiltrasjon måling med dobbelring infiltrometer er en metode å bestemme infiltrasjonshastigheten av vann i jorden (Børresen & Haugen 2003). Der det brukes to stålringer som slås 10 cm ned i jorden. Ringene fylles med vann og vannhøyden måles i den indre ringe. Der høydeforskjellen først ble registrert etter 2 min. Videre ble det fylt opp med vann igjen og endringen i vannhøyde ble registrert etter 6 min ved andre registrering. Denne prosessen ble gjentatt 4 ganger for å få endringen i infiltrasjonshastighet over en lengre tidsperiode.

Formelen for infiltrasjonshastigheten = $H1-H2/T2-T1$ (Børresen & Haugen 2003)

H1 er utgangshøyden på vannet i cm

H2 er høyden på vannet i cm etter en viss tid T2

T1 er tiden man har i min når vannet er ved H1

T2 er tiden i min ved H2

Registrering av grunnvannstand

For å måle grunnvannstanden på forsøksfeltet i Rakkestad ble det satt ned 6 rør etter såing våren 2014. Rørene som ble brukt var perforerte i veggene slik at vannet fritt kunne bevege seg inn og ut av røret. Avstanden fra rørene til grøftene ble registrert. Sesongen 2015 ble det satt ned 4 rør der to ble plassert der det ikke var kjørt jordløsning, og to der det var jordløsnet. Avstanden i fra rørene til grøften var 0,5 m og 2,5 m. Rørene var 90 cm lange og hadde en diameter på 3 cm. For å måle høyden på vannspeilet ble det brukt en målesnelle (GEONOR 2016) og avlesningene ble gjort i cm. Målingene ble gjennomført ved jevne tidspunkter og for å kunne se hvordan grunnvannet beveger seg i jorden for de ulike behandlingene.



Figur 14 Utstyr brukt for å registrere grunnvannstand

3.5 Planteanalyser

Spiring

Igjennom vekstsesongen ble antall planter registrert manuelt i Rakkestad. Den 16.05.2014 ble første registrering gjennomført. Det ble målt opp 1 m lange sårader der det ble gjort 3 tellinger på hver rute, en telling i sårad nr 2 og to i sårad nr 3 med 2 meters mellomrom i mellom hver registrering. Hvert enkelt skudd ble telt opp. De registrerte såradene ble merket med stikker for å kunne komme tilbake å gjøre registreringer på samme såraden senere i vekstsesongen. For å regne om fra antall meter sårad til plantetettheten ble gjennomsnitt av de tre registreringene av antall planter pr m sårad multiplisert med 8 dette gir antall planter pr m²

Plantehøyde og utvikling

Registrering av plantehøyde ble gjennomført ved at det ble brukt en meterstokk til å måle høyden på plantene. Det ble gjort tre målinger av plantehøyden inne på hver rute. Slike målinger ble gjennomført både i Rakkestad og Nannestad, for mer informasjon om tidspunkt se Tabell 9. Registrering av utviklingsstadium ble gjennomført ved å benytte Zadoksskala for å se hvor langt plantene har kommet i utvikling.

Avlingsanalyse

Forsøksfeltet i Rakkestad ble høstet av Landbruksrådgivningen Sørøst, mens feltet i Nannestad ble høstet av Romerike Landbruksrådgivning. Tidspunkt for høsting av forsøksfeltene fremgår av Tabell 9. I Rakkestad var høsterutene $6,75 \text{ m}^2$ og i Nannestad var de mellom $8,01$ og $11,70 \text{ m}^2$ avhengig av lengden på høsterutene. Etter høsting ble kornet sendt til NIBIO Apelsvoll for analysering. Tørrstoff, vanninnhold, proteinavling og 1000-kornvekt ble analysert etter standard metoder på Apelsvoll. Av disse er det kun tørrstoff som er brukt for å beregne avling ved 15 % vanninnhold.

Bygget på feltet i Rakkestad høsten 2015 ble vesentlig tidligere modent enn feltet rundt. For å sikre avlingsprøver fra bygggrutene, ble deler av feltet håndhøstet 21.8.2015 med en elektrisk hagesaks. Der 2 rader på $0,5 \text{ m}$ på 3 ulike steder inne på hver rute ble høstet. Dette gav høsteruter på $3 * 2 * 0,5 \text{ m} * 0,125 = 0,375 \text{ m}^2$. Tilnærmet samme sted på alle forsøksrutene med bygg ble høstet. Hele planten ble høstet, like over jordoverflaten.

Plantematerialet ifra hver rute ble samlet i striesekker og veid før de ble tørket ved 65° i to døgn i tørkeskap. Etter tørking ble prøvene tresket manuelt med treskeverk (Kurt Pelz Saatmeister Allesdrescher K34) beregnet for små avlingsprøver. I mellom hver tresking ble treskeverket rengjort med trykkluft og børste. Etter tresking ble det tatt ut prøver av halmen for å måle vanninnhold. Det utreskede kornet ble samlet i papirposer og veid. Prøver for å registrere vanninnhold ble tatt ut og tørket i tørkeskap ved 65° i to døgn.

3.6 Beskrivelse av de ulike jordløsnerene:

I dette studiet ble det kjørt med to ulike typer traktormonterte jordløsner, Dalbo Ratoon og Kverneland CLE. I tillegg ble det kjørt med to ulike sålebrytere montert på plog, Økoskjær ifra Kverneland og en Løsnetinde som var en prototype utviklet i forbindelse med denne masteroppgaven. I Rakkestad ble det kun kjørt med Dalbo Ratoon, der den ble kjørt både høst og vår. I Nannestad ble det kjørt både med Dalbo Ratoon, Kverneland CLE, Økoskjær og Løsnetinde.

Dalbo Ratoon

Løsneprinsippet for Dalbo Ratoon er skråstilte skjær som løfter opp og bryter jorden sideveis slik som har skråstilt løsnetinde se Figur 15. Denne type jordløsner omtales i Spoor og Godwin (1978) som slant subsoiler. I enden av løsnetinden er det en torpedo som skal lage et tilsvarende drenerings kanal som Kverneland CLE. Denne typen jordløsner har to rekker med løsnetinder der den ene tinden går i sporet til den andre og bryter opp jorden vist i Figur



Figur 15 Dal-Bo Ratoon bøyde løsnetinder med torpedo.

16. Totalt har denne jordløsneren 6 løsnetinder og en arbeidsbredde på 2,50 m. Vekten på jordløsneren er oppgitt av Dal-Bo (2016c) til å være 0,4 Mg.



Figur 16 Dal-Bo Ratoon jordløsner Foto:(Dal-Bo 2016a)

Kverneland CLE

Kverneland CLE tre tinders jordløsner med en arbeidsbredde på 1,80 – 2,70m (Kverneland 2014a) se Figur 18 Dett er en vanlig jordløsner med rette slanke tinder som er utstyrt med løsnevinger omtalt i Spoor og Godwin (1978) som conventional subsoiler. Jordløsneren ble kjørt i dette forsøket med 90 cm avstand i mellom tindene og på to dybder 35 cm og 45 cm. Tinden på denne jordløsneren kan kjøres ned til 70 cm dybde. Tindene er utstyrt med fjørblader slik at de løser ut når de møter en viss

motstand. Spissen har en bredde på 7,5 cm. Løsnetinden er også utstyrt med 30 cm brede vinger for å forbedre løsnevirkningen bak løsneorganet er det festet en dreneringskon som har en diameter på 8 cm, se Figur 17. Under plastiske forhold skal denne konen i teorien danne en kanal som kan fungere for drenering en viss tid (Børresen 2004), dette omtales av Spoor og Godwin (1978) som mole drain. Vekten på jordløsneren er 0,7 Mg (Kverneland 2014a).



Figur 17 Kverneland CLE løsnetinder med vinger og dreneringskon Foto: Håvard Simonsen



Figur 18 Kverneland CLE brukt i forsøkene

Kverneland Økoskjær

Økoskjær er et løsneskjær som Kverneland leverer for montering på plog, der tanken er å kjøre kombinert jordløsning og pløying i samme operasjon. Økoskjæret er utviklet for å løsne opp jorden i og like under plogsålen. Fordelen med en slik kombinerte løsning og pløying er at en unngår jordløsning under den kritiske bearbeidningsdybden (Spoor & Godwin 1978). Målet er å bryte opp plogsålen og åpne for bedre drenering. Dette skjæret boltes fast i landsiden på plogen, vist på Figur 19. Utformingen består av en knekt plate med en viss vinkel, der det er påmontert to vendbare spisser i bredden og to på siden som fungerer som slidedeler. Løsnebredden er målt til 20 cm. Skjæret arbeider ca.

10 cm under pløedybden (Kverneland 2014b) vist på Figur 20. Det ble kjørt med økoskjær på annen hvert skjær. Ved pløying bør plogen utstyres med en til to ekstra bladfjører for at plogen ikke skal løse ut for lett.



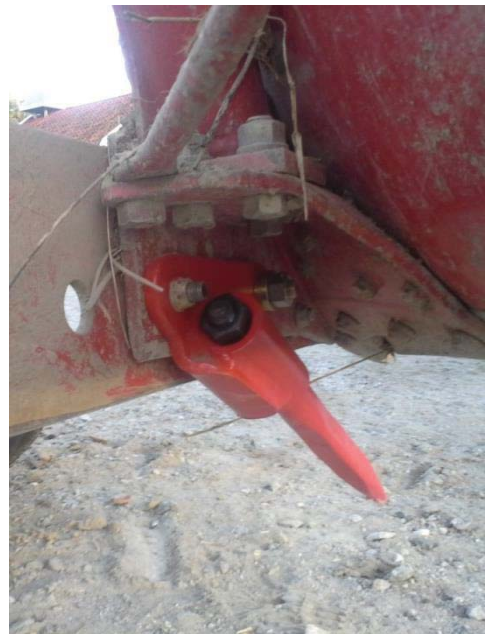
Figur 19 Kverneland Økoskjær montert på plog sett bakfra



Figur 20 Kverneland Økoskjær montert på plog sett fra siden

Løsnetinde

I forbindelse med denne masteroppgaven ble det konstruert en ny type Løsnetinde i samarbeid med Kverneland. Løsnetinden er basert på en Kverneland steinsvanstinde. Med en holder som boltes fast i landsiden på plogen vist på Figur 21. Angrepsvinkelen på tinden er 30° i forhold til landsiden. Løsnetinden jobber 18–20 cm under plogskjæret se Figur 22. Denne tinden er vesentlig smalere enn økoskjæret og det har blitt laget 4 prototyper for testing i feltforsøk og for trekkraftmålinger. Ideen bak tinden er å ha en smalere tinde som ikke løsner opp jorden så mye i bredden. I



Figur 21 Løsnetinde montert på plog sett bakfra

tillegg er det en tanke om at en så smal tinde ikke lager en såle slik som økoskjæret kan gjøre. Tinden er også lettere en dagens økoskjær noe som vil redusere vekten på plogen



Figur 22 Løsnetinde montert på plog sett fra siden

3.7 Trekkraftmåling

For å måle kraftbehovet for ulike metoder for jordløsning ble det brukt en metode som ble utviklet av Spoor og Godwin (1978). Der en traktor som holdt redskapen, ble slept av en annen traktor. I mellom slepestroppen var det plassert en lastcelle (Vishay Tedeo Huntleigh 620 S) (VPG 2016) som sendte et signal til en datalogger. Fremdriftshastigheten ble satt til 1.66 m/s (6km/t). Det ble registrert 2000 målinger i sekundet ifra lastcellen og i forsøket ble det kjørt målinger i 10 sekunder. Hver kjøring gir da 20 000 målinger, dette gir en målelengde per kjøring på 36 m. I tillegg til lastcellen ble det også brukt en GPS under kjøringene, dette for å registrere fremdriftshastigheten. Måleforsterkeren er levert fra IMC devices (imc 2016). Registreringene ifra lastcellen ble registrert i måleforsterkeren og videre overført til en datamaskin. Rullemotstanden til traktoren/redskapsbæreren ble trukket ifra kraftmålingene, ved og kun måle rullemotstanden til traktoren (Spoor & Godwin 1978). Traktoren som ble brukt som redskapsbærer var en Massey Ferguson 4225, den har en



Figur 23 Trekkraftmålinger med traktorer og plog

motoreffekt på 48,5 kW. Egenvekten på traktoren er oppgitt i vognkortet til å være 3,4 Mg. I tillegg hadde traktoren påmontert laster uten redskap. Denne traktoren ble kun brukt til å løfte og holde redskapen i arbeidsstilling. Traktoren som ble brukt for å trekke ekvipasjen, var en John Deere 6195R med en motoreffekt oppgitt i vognkortet på 145 kW. Dette er en traktor med en trinnløsgirkasse slik at en sikrer eksakt ønsket hastighet og en jevnest mulig fremdriftshastighet på alle kjøringene.

Vekten på traktoren er oppgitt i vognkortet til å være 7,8 Mg. Plogen som ble brukt i målingene er var en Kverneland E 85 (Kverneland 2014c), 2 skjærs plog med kropp 8, fast arbeidsbredde på 41 cm pr kropp og ved rett innstilling vil denne pløye 82 cm bredt. Utstyret på denne er standard skjær for denne veltebredda (35 cm), vendbarspiss, forploger og rulleskjær. Pløedybden var stilt inn til å være 20 cm. Dette er også en referanse som Testlaboratoriet på Kverneland Klepp bruker for sine trekkraftmålinger. Plogen med denne utrustningen veier 0,7 Mg. Jordløsneren, en tretinders Kverneland CLE (Kverneland 2014a) jordløsner, ble stilt på 35 cm arbeidsdybde. Hvor mye jord som ble bearbeidet ble registrert ved å grave et spor på tvers av redskapens arbeidsretning og den forstyrrede jorden ble fjernet og det bearbeidede arealet ble registrert (Spoor & Godwin 1978).

Trekkraftmålingene ble gjennomført i ved Norges Miljø- og Biovitenskaplige Universitet på Ås. (59.66°N, 10.75°E) høsten 2015. Høyden over havet er ca 70 m på Ås. Grunnmaterialet er tykk havavsetning. Området var dårlig drenert i naturlig tilstand og har blitt grøftet. Jorda

Tabell 12 Teksturen for jorden i ulike sjikt (Børresen 1999)

	Sand	Silt	Leire
0-20 cm:	44 %	36 %	20 %
20-32cm:	52 %	32 %	16 %
32-45 cm:	61 %	28 %	11 %
45-75 cm:	57 %	30 %	13 %

er en lettleire med et innhold av organiske materiale på 7,5 g per 100 g og pH (H₂O) var 6,2 i sjiktet 0-30 cm. Teksturen i de ulike sjiktene går frem av Tabell 12. Forsøksfeltet ble delt inn i tre deler som utgjorde gjentakene, 50 m lange og 21 m brede. I disse gjentakene ble vanninnhold, skjærfasthet og trykkfasthet i jorda registrert for målingene startet (Tabell 11). Det har tidligere vært fast pløedybde på feltet på 20 cm. Feltet lå i stubb etter at det har vært dyrket bygg på feltet. Etter høsting har

Tabell 11 Jordfysiske egenskaper ved jordløsning

feltet blitt sprøytet med glyfosat. Feltet er forholdsvis flatt, men kjøringene ble lagt slik at redskapen kjøres i svak motbakke (0,5-1 % stigning). Trekkraftbehovet ble registrert på plog, plog med Økoskjær, plog med Løsnetinde og Kverneland CLE.

	Skjærfasthet kPa	Trykkfasthet MPa	Vanninnhold w/w%
0-10 cm	46,5	0,8	
10-20 cm	81,6	1,3	
20-30 cm	146,5	2,5	
0-20cm			19 %
20-40cm			16 %

3.8 Statistiske tester

Data for jordfysiske analyser, avlingsanalyser og trekkraftmålinger ble statistisk analysert med SAS Anova. Forsøket i Rakkestad er en blanding av splitt blokk og splitt plott (Nissen & Ringlund 1983). Av praktiske hensyn var forsøksbehandlingene gjennomgående og faktorene er testet mot en feil som er rep x behandling. Forsøket i Nannestad er et splitt blokk forsøk (Nissen & Ringlund 1983) med gjennomgående behandlinger, men med randomisering. Symboler og signifikansnivå som er brukt i resultatdelen, går frem av Tabell 13.

Tabell 13. p-verdi og korresponderende symbol brukt i resultater.

P-verdi	Symbol
>0,01	is
0,05-0,01	*
0,01-0,001	**
<0,001	***

4. Resultater - Rakkestad

4.1 Jordfysiske målinger

4.1.1 Porevolum, drenerbart porevolum, luftpermiabilitet og jordtetthet.

Porevolumet sier noe om hvor stor andel av jorden som er porer, enten vannfylte eller luftfylte. Resultatet av porevolummålingene går frem av Tabell 14. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i porevolum for noen av behandlingene eller uttakene. Gjennomsnittlig porevolum registrert like etter høstløsning i 2013 i dybden 30-35 cm viste 10 % økning i porevolum for behandlet ledd sammenlignet med ubehandlet. I 40-45 cm dybde fant en ikke den samme økningen.

Målingene av porevolum våren 2014 i dybden 25-30 cm viser at det største porevolumet ble funnet på de rutene som var vårpløyd, men ikke løsnet hverken høst eller vår. På de vårharvede rutene er det funnet et litt høyre porevolum på leddet som er løsnet på våren eller løsnet både høst og vår. I dybden 35-40 cm på det vårpløyde leddet ble det høyeste porevolumet funnet på ubehandlet ledd, mens høstløsning ga det laveste porevolumet. På det vårharvede leddet var det jevnt over et lavere porevolum sammenlignet med det vårpløyde leddet. Det høyeste porevolumet på det vårharvede leddet ble funnet der det ikke løsnes hverken vår eller høst. Det laveste porevolumet ble funnet ved høstløsning eller høst- og vårløsning.

Drenerbart porevolum ved feltkapasitet sier noe om andelen luftfylte porer i jorden ved 100 cm dreneringssug. Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller i drenerbart porevolum for de ulike behandlingene. Resultatet av målingene av drenerbart porevolum går frem av Tabell 14. I dybden 30-35 cm er det høsten 2013 en vesentlig, men ikke signifikant økning i det drenerbare porevolumet ved jordløsning sammenlignet med ubehandlet ledd. I 40-45 cm dybde fant en ingen forskjell mellom behandlingene. Høsten 2014 ble det i sjiktet 25-30 cm funnet lavest drenerbart porevolum på det vårpløyde leddet etter løsning om høsten, mens det høyest drenerbare porevolumet ble funnet etter løsning om våren. Andelen drenerbart porevolum i ubehandlet ledd ligger mellom andelen drenerbart porevolum i ledd med høst- og vårløsning. På det vårharvede leddet ble det lavest drenerbare porevolumet funnet på leddene som ikke ble løsnet om våren og det høyest drenerbare porevolumet ble funnet der det ble løsnet om våren.

I dybden 35-40 cm ble det på det vårpløyde leddet funnet lavest drenerbart porevolumet der jordløsning ble gjennomført bare om høsten, mens det høyest drenerbare porevolumet ble funnet der det ble løsnet både høst og vår. På det vårharvede leddet var det drenerbare porevolumet jevnt over lavere sammenlignet med vårpløyd ledd. Det laveste drenerbare porevolumet ble funnet der det ble løsnet både høst og vår, mens det høyeste drenerbare porevolumet ble funnet på ledd som ikke ble løsnet.

Luftpermeabilitet er et mål på hvor stor luftmengde som kan strøme igjennom en prøve med et vist areal. For prøvene som ble tatt ut høsten 2013, ble det ikke funnet signifikante forskjeller og det er forholdsvis lave verdier for luftpermeabiliteten ($0,6 - 1,1 \mu\text{m}^2$). I prøvene som ble tatt ut høsten 2014 var det i dybden 25-30 cm ingen signifikante forskjeller, men det var jevnt over litt høyere verdier enn høsten før. Den høyeste verdien for luftpermeabiliteten i det vårpløyde leddet ble funnet der det ble løsnet både høst og vår. På det vårharvede leddet ble også den høyeste luftpermeabiliteten funnet på det leddet som ble løsnet både høst og vår.

I dybden 35-40 cm ble det funnet en hovedeffekt av løsnebehandlingen om våren sammenlignet med ingen løsning om våren. På det vårpløyde leddet ble det funnet en signifikant økning i luftpermeabilitet (LSD 5%: $0,17 \mu\text{m}^2$) ved løsning om våren ($0,53 \mu\text{m}^2$) sammenlignet med ingen løsning om våren ($0,36 \mu\text{m}^2$). Dette går ikke frem av Tabell 14. For det vårharvede leddet ble det ikke funnet signifikante forskjeller på behandlingene. Her ble den laveste luftpermeabiliteten funnet der det ble løsnet på våren, men det var også lave verdier både på ubehandlet ledd og for vår- og høstløsning. Den høyeste luftpermeabiliteten ble funnet der det kun ble løsnet om høsten.

Jordtettheten er massen av jordprøven delt på volumet av jordprøven. Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller for jordtetthet for noen av behandlingene. Om høsten 2013 ble det funnet en litt lavere jordtetthet på det høstløsede leddet sammenlignet med det ubehandlede leddet i dybden 30-35 cm. For dybden 40-45 cm var det nesten ingen endring i jordtetthet etter løsnebehandlingen. I dybden 25-30 cm på det vårpløyde leddet ble den laveste jordtettheten funnet på de ubehandlede leddene. For vårharving ble den høyeste jordtettheten funnet på det leddet hvor det kun var høstløsning. I dybden 35-40 cm ble den laveste jordtettheten ved vårpløying funnet på ubehandlet ledd.

Høsten 2013 ble det ikke gjort målinger av nyttbart vann. Dette ble gjort høsten 2014. Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller i nyttbart vann mellom leddene. I dybden 25-30 cm ble det laveste innholdet av nyttbart vann for vårpløying funnet der det ble løsnet kun om våren, mens høyeste innhold av nyttbart vann ble funnet på det uløsnede leddet. På det vårharvede leddet ble det funnet høyest innhold av nyttbart vann der det ble løsnet både høst og vår. I dybden 35-40 cm på vårpløyd ledd var det et lavere innhold av nyttbart vann ved gjennomført jordløsning sammenlignet med ubehandlet ledd. På det vårpløyde leddet ble den laveste mengden av nyttbart vann funnet der det ble løsnet om høsten, mens den høyeste andelen ble funnet der det ble løsnet om våren.

Tabell 14. Porevolum, drenerbart porevolum luftpermeabilitet, jordtetthet og nyttbart vann for jordløsningsfeltet i Rakkestad, 2013 og 2014.

Tidspunkt for uttak	Dybde cm	Høst- behand- ling	Vår- behand- ling	Jord- arbeid- ing	Pore- volum % v/v	Drener- bart- porevolum % v/v	Luft- permea- bilitet µm ²	Jord- tetthet g/cm ³	Nytt- bart vann % v/v
17.9. 2013	30-35 cm	ULH	-	-	43,9	2,7	0,66	1,66	-
		HL	-	-	53,4	10,6	1,08	1,57	-
	40-45 cm	ULH	-	-	45,1	2,8	0,61	1,63	-
		HL	-	-	46,5	2,9	0,68	1,62	-
Like etter løsning				SN	is	is	is	is	-
7.9. 2014	25-30 cm	ULH	ULV	vp	63,3	10,7	3,14	0,83	43,3
		HL	ULV		52,3	7,2	5,54	1,21	34,7
		ULH	VL		55,9	16,2	2,88	1,10	29,5
		HL	VL		51,9	9,1	6,63	1,21	33,9
				SN	is	is	is	is	is
	25-30 cm	ULH	ULV	vh	59,5	8,5	1,08	0,95	37,7
		HL	ULV		52,1	5,4	1,48	1,18	36,6
		ULH	VL		61,7	15,2	4,97	0,91	36,1
		HL	VL		63,7	13,3	20,09	0,82	41,4
				SN	is	is	is	is	is
	35-40 cm	ULH	ULV	vp	42,5	6,2	0,28	1,52	27,1
		HL	ULV		37,2	2,9	0,44	1,68	25,8
		ULH	VL		41,0	5,8	0,50	1,59	25,0
		HL	VL		40,7	8,4	0,57	1,55	26,0
				SN	is	is	is	is	is
	35-40 cm	ULH	ULV	vh	39,1	3,5	0,34	1,64	24,5
		HL	ULV		35,4	3,2	1,41	1,72	22,6
		ULH	VL		37,1	3,0	0,07	1,71	25,8
		HL	VL		35,4	2,1	0,37	1,72	23,2
				SN	is	is	is	is	is

vp: vårpløying, vh: vårharving, ULH: uløst høst, ULV: uløst vår, VL: vårløst, HL: høstløsning is: Ikke signifikant SN: Signifikans nivå

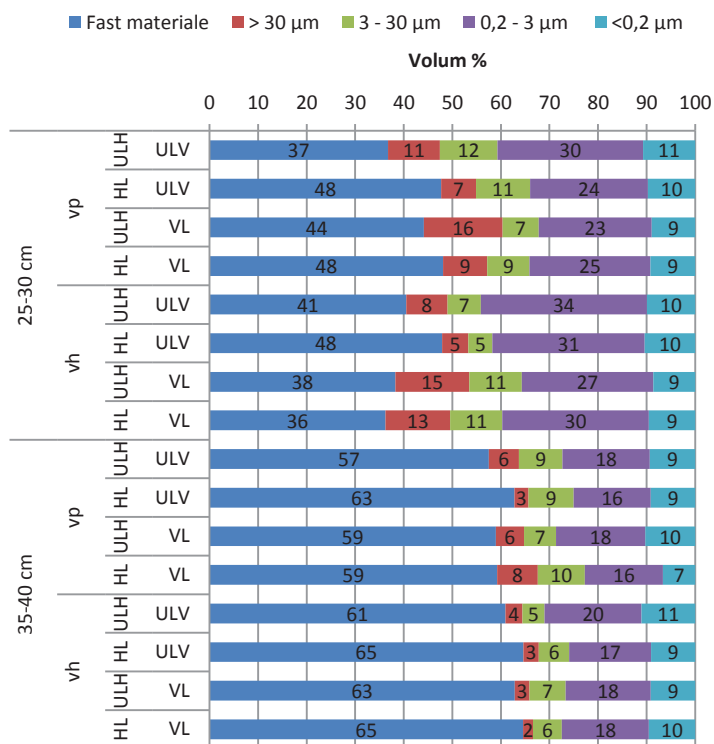
4.1.2 Porestørrelsesfordeling

Porestørrelsesfordelingen viser for eksempel hvor stor andel av porene som kan holde på lett tilgjengelig vann (3 -30 μm) og tungt tilgjengelig vann (0,2 -3 μm). For og vise helheten er andelen fastmateriale, drenerbart porevolum (>30 μm) og ikke nyttbart vann tatt med.

Måling av porestørrelsesfordeling for de ulike behandlingene i Rakkestad målt høsten 2014 fremgår i Figur 24. Det ble funnet som hovedeffekt av høstløsning i forhold til ingen løsning om høsten en signifikant reduksjon i feltkapasiteten (LSD 5 %: 2,0 % v/v) på vårharvet ledd i 30-35 cm dybde når det ble løsnet om høsten (32,8 % v/v) sammenlignet med ingen løsning om høsten (34,8 % v/v). Ingen av de andre statistiske analysene viste signifikante forskjeller i porestørrelsesfordelingen.

I dybden 25-30 cm fant en den

laveste volumprosenten av fast materiale for vårpløyde ledd der det ikke var løsnet vår eller høst, og i det vårharvete leddet var fant en den laveste volumprosenten av fast materiale det var løsnet både høst og vår. Høyeste andel fastmateriale ble i vårpløyde ledd funnet der det var løsnet både høst og vår, mens for vårharvete ledd ble det funnet der det kun var løsnet om høsten. For porer over 30 μm , fant en laveste volumprosenten i både vårpløyde ledd og vårharvete ledd i ledd som kun var løsnet om høsten, og høyeste volumprosent der det kun var løsnet om våren. Andelen porer mellom 3 og 30 μm for det vårpløyde leddet var lavest der det kun var vårløsnet og høyest der det ikke var løsnet. For porer mellom 0,2 og 3 μm var det for både vårpløyd ledd og vårharvet ledd lavest volumprosent der det var løsnet kun om våren og høyest der det ikke var løsnet. For porer mindre enn 0,2 μm var forskjellene små.



Figur 24. Andelen fast material og andel av de ulike porestørrelsene i Rakkestad, 2014 vp: vårpløyning, vh: vårharving, ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning.

I dybden 35–40 cm så det ut som at de høstløsede leddene hadde en mindre andel volumprosent fastmateriale enn de som ikke var løsnet om høsten. Det så også ut som at de vårharvete leddene hadde noe mer fastmateriale enn de vårpløyde, mens det var motsatt for volumprosent av porestørrelser over 30 µm og mellom 0,2 og 3 µm. For porer mindre enn 0,2 µm var det liten variasjon.

4.1.3 Skjærfasthet og vanninnhold

Tabell 15. Skjærfasthet (kPa) for tre dybder i Rakkestad, 28.03.2014. Vanninnholdet er målt i vekt prosent sjiktene 0-20 cm og 20-40cm

	Skjærfasthet (kPa)				Vanninnhold (w/w %)	
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Gj.snitt	0-20 cm	20-40 cm
UL	191,6	189,0	327,1	235,9	46,3	52,1
HL	157,4	122,9	185,4	155,3	42,1	53,9
SN	is	is	is	**	is	is
LSD 5 %				40,3		

UL: uløsnet høst, , HL: høstløsning is: ikke signifikant SN: signifikans nivå **: signifikant på 1% nivå.

Skjærfasthet er et mål på jordens styrke, som hvor mye energi som må til for å skjære av jorden. Skjærfastheten før våronn 2014 viste en signifikant reduksjon der det var løsnet (LSD 5 %: 40,4 kPa) i alle de tre dybdene (Tabell 2). Vanninnholdsmålingene viste ingen signifikante forskjeller. Der det ble løsnet om høsten var vanninnholdet noe høyere i sjiktet 0-20 cm, mens det i sjiktet 20-40 cm var et noe lavere vanninnhold der det ble løsnet om høsten.

Tabell 16. Skjærfasthet (kPa) i tre dybder i Rakkestad, 06.09.2014. Vanninnholdet er målt i sjiktet 25-30 cm

Jorda	Høst	Vår	Skjærfasthet (kPa)				Vanninnhold (% w/w)
			0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	Gj.snitt	25-30 cm
vp	ULH	ULV	162,0	233,8	490,8	295,5	60,4
	HL	ULV	162,0	222,2	382,0	255,4	36,2
	ULH	VL	132,0	203,7	349,6	228,4	34,7
	HL	VL	162,0	250,0	426,0	279,3	34,4
		SN	is	is	is	is	is
vh	ULH	ULV	229,2	370,4	382,0	327,2	52,4
	HL	ULV	238,4	303,3	555,6	365,8	59,3
	ULH	VL	201,4	252,3	317,2	257,0	37,0
	HL	VL	208,3	333,4	419,0	320,2	49,7
		SN	is	is	is	is	is

vp: vårpløying, vh: vårharving, ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning is:
Ikke signifikant SN: Signifikans nivå

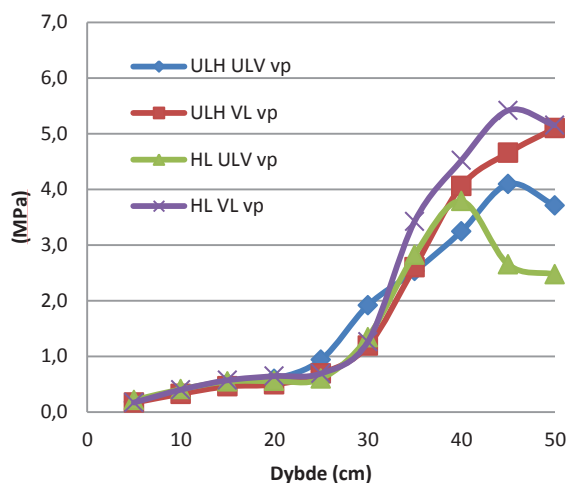
Høsten 2014 ble det som en hovedeffekt jordløsning om høsten funnet en signifikant (LSD 5%: 14,7 kPa) økning i skjærfastheten i 10-20 cm dybde ved jordløsning om høsten (236,1 kPa) sammenlignet med ingen løsning om høsten (218,8 kPa) på det vårpløyd leddet. Det var ingen andre signifikante forskjeller i skjærfasthet høsten 2014 (Tabell 16). Det var tendens til lavere skjærfasthet i 20-30 cm dybde der det ble løsnes på det vårpløyde leddet, men den samme tendensen var ikke til stede på det vårharvede leddet.

Det var ingen signifikante forskjeller i vanninnholdet mellom de ulike behandlingene. Imidlertid viste resultatene fra det vårpløyde leddet i dybden 25-30 cm at vanninnholdet var nesten dobbelt så høyt på det uløsede leddet sammenlignet med de løsede leddene. På det vårharvede leddet i dybden 25-30 cm var det ikke like store forskjeller i vanninnhold, hvor det laveste vanninnholdet ble funnet der det kun var vårløsnet.

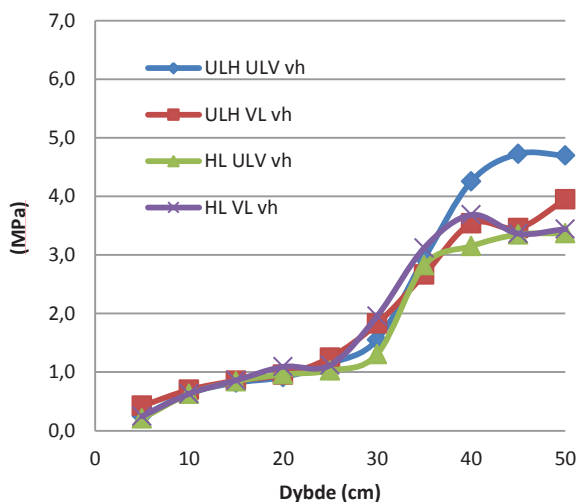
4.1.4 Trykkfasthet

Trykkfastheten sier noe om jordas bæreevne og hvor stor motstand planterøttene møter i jorda. Trykkfasthetsmålingene våren 2015 ble gjennomført ett år etter høstløsning på vårpløyd ledd (Figur 25). De statistiske analysene viste ingen signifikante forskjeller. I pløyesjiktet var det heller ingen tydelige forskjeller mellom behandlingene. I sjiktet 25-30 cm var trykkfastheten noe høyere der det ikke var jordløsnet. På 40 cm dybde var den laveste trykkfastheten der det ikke var jordløsnet. Dypere enn 45 cm var den laveste trykkfastheten der det var løsnet om høsten og ikke om våren. Løsning høst og vår ga den høyeste trykkfastheten.

Figur 26 viser trykkfastheten på leddet som vårharves om våren i kombinasjon med de ulike løsnebehandlingene. Det ble funnet signifikant høyere trykkfasthet der det ble løsnet om våren i 15 cm dybde (LSD 5 % 0,018 MPa) sammenlignet med ingen løsning. For de andre behandlingene eller dybdene var det ingen signifikante forskjeller. I sjiktet 40-50 cm var det en tendens til en høyere trykkfasthet enn der det ikke ble kjørt jordløsner.

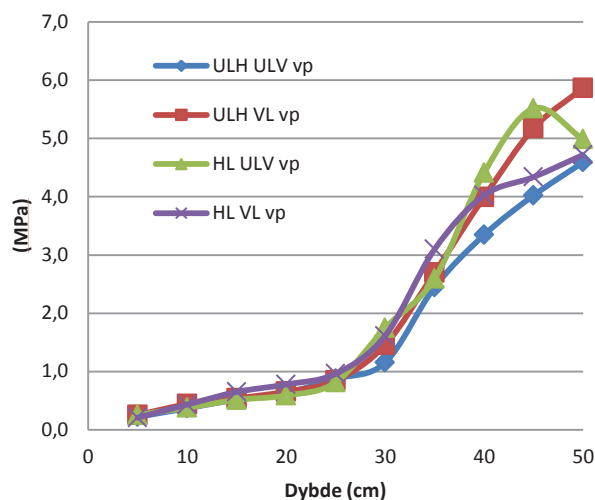


Figur 25. Trykkfasthet for det vårharvede leddet målt 20.05.2015, Rakkestad ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning



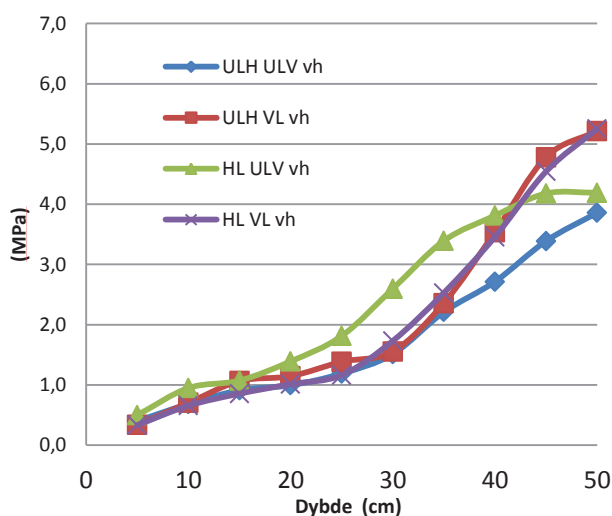
Figur 26. Trykkfasthet for det vårpløyde leddet målt 20.05.2015, Rakkestad ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning

Måling av trykkfasthet etter høsting sesongen 2015 på vårpløyd ledd (Figur 27) viste signifikant høyere trykkfasthet i 30 cm dybde der det ble løsnet om våren sammenlignet med ingen løsning om våren (LSD 5 %: 0,04 MPa). Det var en tendens til lavere trykkfasthet der det ikke ble løsnet i resten av profilet.



Figur 27. Trykkfasthet for det vårpløyde leddet målt 30.09.2015, Rakkestad ULH-uløsnet høst, ULV-uløsnet vår, VL-vårløsnet, HL-høstløsning

Figur 28 viser trykkfastheten på vårharvet ledd målt etter høsting høsten 2015. Det var ingen signifikante forskjeller, men det ser ut til at høstløsning gir en høyere trykkfasthet i 20-40 cm dybde. Under 40 cm dybde var det løsning om våren og løsning både høst og vår som ga den høyeste trykkfastheten. Uløsnet ledd ga jevnt over den laveste trykkfastheten.



Figur 28. Trykkfasthet for det vårharvede leddet målt 30.09.2015, Rakkestad ULH-uløsnet høst, ULV-uløsnet vår, VL-vårløsnet, HL-høstløsning

4.1.5 Vanninnhold

Tabell 18 viser vanninnholdet i % w/w målt samtidig med trykkfasthetsmålingene. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller, men det ser ut til å være et litt høyere vanninnhold på ledd som ikke var løsnet på høsten. I Tabell 17 er vanninnholdet i vektprosent målt for noen av behandlingene i Rakkestad. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller og det var heller ingen tydelige tendenser.

Tabell 17. Vanninnhold (%w/w) i Rakkestad, 20.5.2015

Jorda	Høst	Vår	0-20 cm	20-40 cm
vp	ULH	ULV	35,6	36,4
	HL	ULV	33,0	38,7
	ULH	VL	37,0	35,9
	HL	VL	36,4	35,0
		SN	is	is
vh	ULH	ULV	36,2	36,2
	HL	ULV	33,9	34,9
	ULH	VL	35,0	33,5
	HL	VL	33,3	34,7
		SN	is	is

vp: vårpløying, vh: vårharving, ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning is: ikke signifikante forskjeller SN: Signifikans nivå

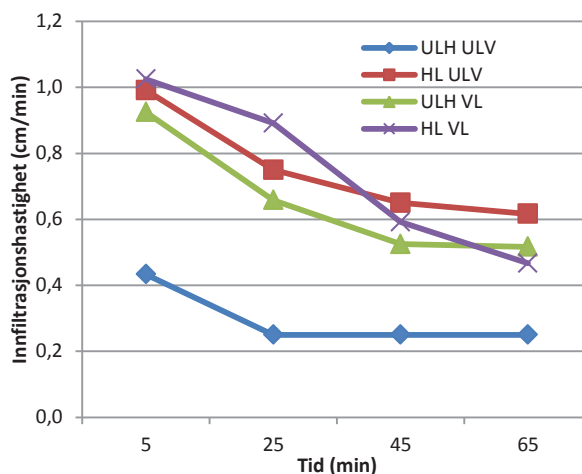
Tabell 18. Vanninnhold (%w/w) i Rakkestad, 30.9.2015

Jorda	Høst	Vår	0-20 cm	20-40 cm
vp	HL	ULV	28,1	31,9
	HL	VL	27,0	36,2
		SN	is	is
vh	HL	ULV	29,8	35,3
	HL	VL	32,4	30,5
		SN	is	is

vp: vårpløying, vh: vårharving, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning is: ikke signifikante forskjeller SN: Signifikans nivå

4.1.6 Infiltrasjonmåling

Infiltrasjonsevnen til jorden sier noe om jordas kapasitet til å drenere og lede bort vann. Infiltrasjonsmålinger ble gjennomført høsten 2014 på det vårpløyde leddet i jordløsningsforsøket i Rakkestad (Figur 29). Det ble ikke funnet signifikante forskjeller. Det var en tendens til at den laveste infiltrasjonshastigheten ble funnet på leddet som ikke var løsnet.



Figur 29. Infiltrasjon målt med dobbelt ring infiltrometer i Rakkestad, 26.09.2014 målt på det vårpløyde leddet. ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning

4.1.7 Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT)

Tabell 19. Resultat av CVT test for data fra Rakkestad 07.09.2014. Grønt >minimum, rødt <minimumsverdi. Gult merke en av de to parameterene er over minimumsnivå. vp: vårpløying, vh: vårharving, ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning is: ikke signifikante forskjeller

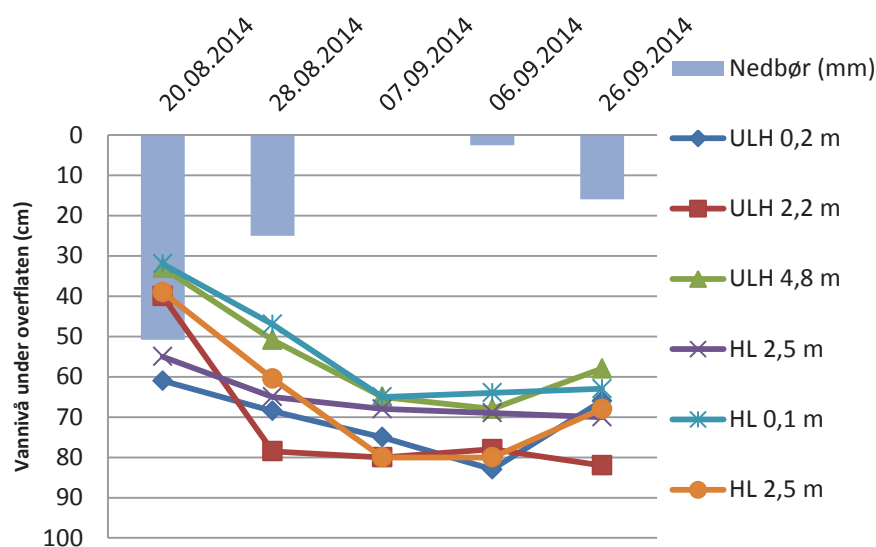
Dybde	Jord-arbeiding	Høst	Vår	AC < 5 % v/v	Ks < 10cm*d ⁻¹	CVT
30-35 cm	-	ULH	-	2,0	2,1	4
		HL	-	9,5	3,8	2
		ULH	-	0,9	1,8	4
		HL	-	1,3	2,0	4
25-30 cm	vp	ULH	ULV	9,0	15,3	1
		HL	ULV	5,6	32,2	1
		ULH	VL	14,5	13,7	1
		HL	VL	8,0	40,8	1
	vh	ULH	ULV	7,4	3,8	3
		HL	ULV	4,5	5,7	4
		ULH	VL	13,8	28,0	1
		HL	VL	11,6	174,4	1
35-40 cm	vp	ULH	ULV	4,9	0,7	4
		HL	ULV	2,2	1,2	4
		ULH	VL	5,0	1,4	4
		HL	VL	7,4	1,6	3
	vh	ULH	ULV	3,1	0,8	4
		HL	ULV	2,6	5,4	4
		ULH	VL	2,9	0,1	4
		HL	VL	1,2	0,9	4

Resultatene fra målingene av porevolum og mettet vannledning kombinert med CVT-verktøyet går frem av Tabell 19. På vårpløyd ledd i 25-30 cm dybde var alle prøvene som ble tatt ut i klasse 1. På det vårharvede leddet i samme dybde var det på uløsnet ledd så lav mettet vannledningsevne at målingene havnet i klasse 3.

Høstløsning og vårharving ga både lavt porevolum og lav mettet vannledningsevne og havnet i klasse 4. Høst- og vårløsning på vårpløyd leddet i 35-40 cm var den eneste behandlingen som havnet i klasse 3. Alle de andre behandlingene havnet i klasse 4 for pakket jord.

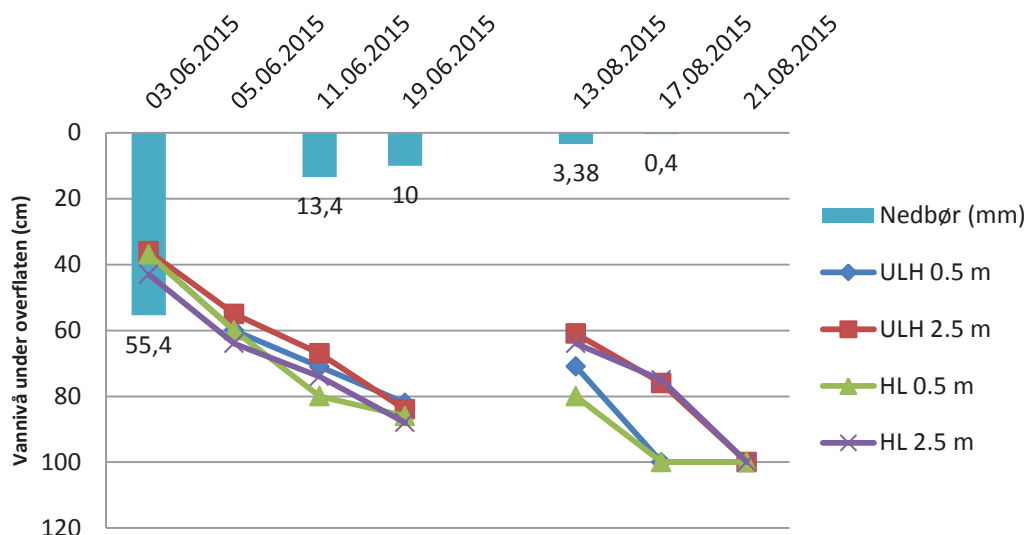
4.1.8 Registrering av grunnvannstand

Grunnvannstanden ble målt i rør for å kunne si noe om hvordan grunnvannsnivået endret seg ved nedbør. På grunn av dårlig data grunnlag ble det ikke kjørt statistikk på grunnvannstanden. Grunnvannstanden ble registrert i august og september 2014, og disse målingene er vist i Figur 30 sammen med nedbørsdata fra målestasjon i Rakkestad. I starten av måleperioden kom det 50,8 mm nedbør, da lå grunnvannsnivået mellom 32 og 60 cm. I løpet av de neste åtte dagene sank grunnvannstanden selv om det kom 25 mm nedbør i samme periode. 11 dager senere var grunnvannstanden mellom 65 og 80 cm under overflaten.



Figur 30. Grunnvannstand (cm) og nedbør (mm) i Rakkestad etter høsting 2014 ULH-uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning vp: vårpløying, vh: vårharving, Tallet i m angir avstanden i fra grøft.

I sesongen 2015 ble grunnvannstanden målt i deler av juni og august, og disse målingene er vist i Figur 31 sammen med nedbørsdata fra målestasjonen i Rakkestad. Nedbøren ble registrert 7 dager før målingen eller i perioden mellom målingene. Det kom en god del nedbør i starten av måleperioden i juni. Grunnvannstanden sank med 23 cm i de to rørene som var plassert 0,1 m fra grøften. I de rørene som var plassert 2,5 m unna grøften sank vannstanden 19 cm for røret som var plassert der det ikke var jordløsnet og 21 cm der det var jordløsnet. Den høyeste grunnvannstanden som ble registrert i sesongen 2015 var 37 cm.



Figur 31. Grunnvannstand (cm) og nedbør (mm) i Rakkestad i juni og august 2015 ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning vp: vårploying, vh: vårharving. Tallet i m angir avstanden i fra grøft.

4.2 Planteanalyser

4.2.1 Spiring

Plantetellingen i ble gjennomført etter spiring og før busking i Rakkestad. Resultatet av dette går frem av Tabell 20. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i skuddantall mellom de ulike behandlingene. Det ble funnet en noe større variasjon i antall skudd/m² på det vårharvede leddet

Tabell 20. Antall skudd/m² i Rakkestad registrert i vekstsesongen 2014

Antall spirer/m ²			17.05.2014		23.05.2014	
Jorda	Høst	Vår	Bygg	Bygg	Havre	Hvete
vp	ULH	ULV	388	380	514	458
	HL	ULV	426	426	436	468
	ULH	VL	402	380	418	474
	HL	VL	408	382	372	528
		SN	is	is	is	is
vh	ULH	ULV	442	398	474	514
	HL	ULV	420	382	546	440
	ULH	VL	414	400	480	432
	HL	VL	378	364	480	426
		SN	is	is	is	is

vp: vårploying, vh: vårharving, ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning is: Ikke signifikant SN: Signifikans nivå

enn på det vårployyde leddet, dette kan ses i sammenheng med mer planterester i såbedet, noe som gjorde såingen utfordrende.

4.2.2 Planterhøyde og utvikling

Planterhøyden ble målt ved ulike tidspunkt, resultatet av disse går frem av Tabell 21. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i disse målingene. Den 17.05 var det kun bygg som hadde kommet så langt at det var mulig å måle planterhøyden. Den laveste planterhøyden ble funnet der det ikke ble løsnet på det vårpløyde leddet. Løsning både høst og vår så ut til å gi de høyeste byggspirene. På det vårharvede leddet ble de laveste byggspirene funnet på uløsnet ledd og de høyeste på ledd med løsning på høsten. Planterhøyden ble registret den 23.05, og det var ingen store forskjeller mellom behandlingene for de ulike kornsortene. Den 21.06 ble planterhøyden målt på nytt. Det ikke ble funnet signifikante forskjeller i planterhøyde for de ulike behandlingene. Det var heller ingen tydelige tendenser om at jordløsning påvirket planterhøyden. Utviklingsmessig var byggen kommet til Zadoks 49, da snerpen så vidt vises. Havre hadde kommet til Zadoks 44, da holken har begynt og svelle. Hveten hadde kommet til Zadoks 33-34 der det på hveten var det korn i stengelen. Det var vanskelig å påvise noen visuelle forskjeller for de ulike artene både for utviklingstrinn, lengde og eventuell avling for de ulike behandlinger på forsøksfeltet.

Tabell 21. Planterhøyde i Rakkestad målt ved ulike tidspunkt vekstsesongen 2014 (cm) ULH-uløsnet høst, ULV-uløsnet vår, VL-vårløsnet, HL-høstløsning vp- vårpløyning, vh- vårharving,

Jorda	17.05.2014		23.05.2014				21.06.2014		
	Høst	Vår	Bygg	Bygg	Havre	Hvete	Bygg	Havre	Hvete
vp	ULH	ULV	4,5				79,5	67,0	57,5
	HL	ULV	5,3	14,5	9,5	12,0	82,5	64,8	57,3
	ULH	VL	5,7				77,5	59,3	59,5
	HL	VL	7,1	13,0	9,5	11,0	78,3	59,3	58,8
		SN	is	is	is	is	is	is	is
vh	ULH	ULV	5,3				78,3	66,5	63,0
	HL	ULV	6,2	15,5	9,5	11,0	77,2	62,5	59,7
	ULH	VL	5,5				76,5	63,2	58,5
	HL	VL	5,8	14,0	9,5	11,5	81,0	61,8	57,7
		SN	is	is	is	is	is	is	is

vp: vårpløyning, vh: vårharving, ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning is: Ikke signifikant SN: Signifikans nivå

4.2.3 Ugrasmengde

Ugrasmengden ble visuelt bedømt på forsøksfeltet i Rakkestad (Tabell 22). Det ble funnet en hovedeffekt av løsning på våren med signifikant høyere ugrasmengde (LSD 5%: 18,6%) på vårharvet ledd og på ledd med hvete som ble løsnet om våren (62,5%) i forhold til uløsnet ledd (43,7%). Det var ingen andre signifikante forskjeller i ugrasmengde. Ugrasartene som ble funnet på leddet var i hovedsak tunrapp (*Poa annua*), hønsegras (*Polýgonum spp.*) og vassarve (*Stellaria media*). Den største forskjellen i ugrasmengde ble funnet mellom vårpløying og vårharving, men forskjellen var ikke signifikant. Vårpløying hadde reduserende effekt på ugrasmengden. De laveste ugrasforekomstene så ut til å være der det var løsnet både høst og vår i kombinasjon med vårpløying. På det vårharvede leddet var det en tendens til mest ugras på det høst- og vårløsnede ledd for alle kornslag.

Tabell 22. Ugrasmengde i %, visuelt bedømt 21.06.2014.

Jorda	Høst	Vår	Bygg	Havre	Hvete	Gj.snitt
vp	ULH	ULV	10	25	38	24
	HL	ULV	8	20	28	19
	ULH	VL	5	30	40	25
	HL	VL	8	10	20	13
		SN	is	is	is	is
vh	ULH	ULV	55	65	48	56
	HL	ULV	58	63	40	54
	ULH	VL	53	83	55	64
	HL	VL	68	80	70	74
		SN	is	is	is	is

vp: vårpløying, vh: vårharving, ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning is: Ikke signifikant SN: Signifikans nivå

4.3 Kornavling

Avlingsresultatet for alle kornartene i Rakkestad for sesongen 2014 og 2015 går frem av Tabell 23. Det ble funnet en signifikant (LSD 5% : 35 kg/daa) lavere gjennomsnittsavling i 2014 der det ble løsnet både på høsten og våren (468 kg/daa) på det vårpløyde leddet sammenlignet med uløsnet (517 kg/daa), løsnet om høsten (502 kg/daa) løsnet om våren (501 kg/daa). På det vårharvede leddet ble det funnet motsatte resultater, med en høyere gjennomsnittsavling der det ble løsnet både høst og vår i 2014. I 2015 var det ingen signifikante forskjeller i avling, men på det vårpløyde leddet var det en tendens til lavere avling der det ble løsnet høst og vår. I 2015 hadde vårharvede ledd en tendens til lavere gjennomsnittsavling enn ledd uten jordløsning.

Det var ingen signifikante forskjeller i byggavlingen. Laveste byggavling i 2014 på vårpløyd ledd ble funnet der det var løsnet både høst og vår, mens den høyeste avlingen var på det ubehandlede leddet. På det vårharvede leddet ble den laveste avlingen funnet på den delen som var ubehandlet høst og vår, og den høyeste ble tatt hvor det var gjennomført løsning om høsten. I 2015 ble ikke bygget av praktiske årsaker høstet til rett tid, noe som førte til dryssing, legde og aksgroing. Resultatene er tatt med i Tabell 23, men beskrives ikke. Imidlertid ble det håndhøstet mindre ruter av bygget før det ble ødelagt av nedbør for å ha en god avlingsregistrering i 2015. Den laveste avlingen ved vårpløying ble funnet på det leddet som var løsnet om høsten og den høyeste avlingen på ubehandlet ledd. For vårharving var det en tendens til lavest avling ved løsning både høst og vår og høyeste avling ved høstløsning.

For havre ble det i 2014 som en hovedeffekt av jordarbeiding funnet en signifikant (LSD 5% 30 kg/daa) høyere gjennomsnittsavling på det vårpløyde leddet (489 kg/daa) sammenlignet med det vårharvede leddet (459 kg/daa). På vårpløyd ledd var det en tendens til laveste avling i 2014 og 2015 på leddet som ble løsnet både høst og vår. Høyeste avling i 2014 og 2015 ble funnet på den delen som var uløsnet både høst og vår. Vårharvet leddet hadde en tendens til lavest avling på uløsnet ledd i 2014 og høyest avling ved løsning både høst og vår. I 2015 ble den laveste avlingen funnet ved løsning høst og vår. Den høyeste avlingen ble her høstet på leddet som ble løsnet om høsten.

På det vårpløyde leddet var det i 2014 signifikant (LSD 5 %: 31 kg/daa) lavest hveteavling der det var løsnet om våren og høsten (440 kg/daa) sammenlignet med ingen løsning (477 kg/daa), løsning om høsten (488 kg/daa) og løsning om våren (492 kg/daa). På det vårpløyde leddet i 2015 var det en tendens til høyest avling på leddet som ikke var løsnet og lavest avling der det var løsnet vår og høst. På det Vårharvede leddet var det en tendens til lavest avling på leddet som ikke ble løsnet både høst og vår i 2014 og 2015.

Tabell 23. Kornavling (kg/daa) ved 15 % vanninnhold Rakkestad 2014 og 2015

Avling, kg/daa			Bygg			Havre		Hvete		Gjennomsnitt	
Jorda	Høst	Vår	2014	2015'	2015''	2014	2015	2014	2015	2014	2015'''
vp	ULH	ULV	560	395	867	515	723	477	584	517	654
	HL	ULV	506	352	684	512	602	488	578	502	590
	ULH	VL	508	447	730	504	648	492	574	501	611
	HL	VL	485	337	805	478	601	440	559	468	580
		SN	is	is	is	is	is	*	is	*	
LSD 5%								31		30	
Vh	ULH	ULV	495	333	759	405	514	419	487	440	500
	HL	ULV	526	170	869	448	567	449	511	474	539
	ULH	VL	517	334	659	479	639	425	503	474	571
	HL	VL	501	334	629	507	512	434	541	481	526
		SN	is	is	is	is	is	is	is	is	is

vp: vårpløyning, vh: vårharving, ULH: uløsnet høst, ULV: uløsnet vår, VL: vårløsnet, HL: høstløsning is: Ikke signifikant *: signifikant på 5% nivå. Signifikante forskjeller er uthevet.. ' legd og aksgroing. '' Høstet på småruter. '''bygg avling i 2015 er utelatt is: Ikke signifikant *: signifikant på 5% nivå. Signifikante forskjeller er uthevet.

5. Resultater Nannestad

5.1 Jordfysiske målinger

5.1.1 Porevolum, drenerbart porevolum, luftpermiabilitet, jordtetthet.

Porevolum målt like etter at løsnebehandlingen ble gjennomført høsten 2014, går frem av Tabell 24. Det var ingen signifikante forskjeller. I dybden 20-25 cm ble det laveste porevolumet målt for Kverneland CLE på 45 cm, og det høyeste porevolumet ble funnet for Dalbo Ratoon på 35 og 45 cm. I dybden 30-35 cm ble det laveste porevolumet funnet der det ikke løsnes og der det ble kjørt med Kverneland CLE på 45 cm. I denne dybden ble det høyeste porevolumet funnet der det ble løsnet ned til 35 cm dybde for Dalbo Ratoon og Kverneland CLE.

Målinger av porevolum i juni 2015 viste heller ingen signifikante forskjeller. I dybden 20-25 cm ble det laveste porevolumet registrert på vårharvet ledd. Det høyeste porevolumet ble registrert der det ble kjørt med Løsnetinde, mens Økoskjæret hadde nesten samme porevolum som Løsnetinden. I dybden 30-35 cm, ble det laveste porevolumet registrert på vårpløyd ledd tett fulgt av vårharving, vårpløying med Økoskjær eller Løsnetinde ga en økning i porevolum.

Porevolum høsting i 2015, viste signifikant (LSD 5 %: 5,3 % v/v) høyere porevolum for Løsnetinden (51,1 % v/v) sammenlignet med vårpløying (44,7 % v/v) og vårharving (42,2 % v/v), og for Økoskjær (46,1 % v/v) sammenlignet med Vårharving (42,2 % v/v). Det ble ikke funnet signifikante forskjeller mellom Kverneland CLE ned til 45 cm dybde og ingen løsning.

Etter løsning høsten 2014 ble det ikke funnet signifikante forskjeller i drenerbart porevolum i noen av leddene like etter behandling høsten 2014. Det laveste drenerbare porevolumet ble registrert der det ble kjørt med Kverneland CLE ned til 35 cm. Det høyeste drenerbare porevolumet ble funnet der det ble løsnet med Dalbo Ratoon ned til 35 cm. I dybden 30-35 cm ble det laveste drenerbare porevolum funnet der det ble løsnet med Kverneland CLE ned til 45 cm dybde. Det høyeste drenerbare porevolumet ble funnet for Kverneland CLE ned til 35 cm dybde. Noe av det samme forholdet er det også for Dalbo Ratoon på med en reduksjon i drenerbart porevolum ved løsning ned til 45 cm dybde. Selv om forskjellen ikke er signifikant er dette en interessant observasjon.

Målingene av drenerbart porevolum i juni 2015 viste ingen signifikante forskjeller. I sjiktet 20-25 cm ble det laveste drenerbare porevolumet registrert på det vårharvede leddet, og det høyeste for Økoskjæret og Løsnetinden. I dybden 30-35 cm ble det laveste drenerbare porevolumet funnet for vårharving, det høyeste drenerbare porevolumet ble funnet der det ble kjørt med Løsnetinden. Høsten 2015 i dybden 22-27 cm ble det funnet signifikant (LSD 5% : 4,3 % v/v) høyere drenerbart porevolum for Løsnetinden (15,8 %v/v) sammenlignet med vårpløying (7,8 % v/v) og vårharving (6,9 % v/v) Det var også signifikant høyere for Økoskjæret (11,8 % v/v) sammenlignet med vårharving (6,9 % v/v).

Luftpermeabiliteten målt like etter løsning i Nannestad viste ingen signifikante forskjeller. Den laveste luftpermeabiliteten målt i dybden 20-25 cm var der det ble kjørt med Kverneland CLE på 35 cm dybde. Den høyeste luftpermeabiliteten ble funnet der det ble kjørt med Dalbo Ratoon på 35 cm. I dybden 30-35 cm ble det funnet lavest luftpermeabilitet på det ubehandlede leddet og for Dalbo Ratoon og Kverneland CLE begge kjørt på 45 cm dybde. Luftpermeabiliteten er høyest der Kverneland CLE ble kjørt på 35 cm. Målinger gjort i juni 2015 ga ingen signifikante forskjeller.

Høsten 2015 ble det i 22-27 cm dybde funnet signifikant (LSD 5 %: $2,3 \mu\text{m}^2$) høyere luftpermeabilitet for løsning med Kverneland CLE ned til 45 cm dybde ($11,9 \mu\text{m}^2$) sammenlignet med uløsnet ledd ($6,3 \mu\text{m}^2$). Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i luftpermeabiliteten for løsebehandlingene om våren, men den høyeste luftpermeabiliteten ble funnet der det ble kjørt med Løsnetinden.

Jordtetthets målinger ga ingen signifikante forskjeller. Jordtettheten etter jordløsning høsten 2014 i dybden 20-25 cm viste praktisk talt like verdier. Det samme gjaldt også i dybden 30-35 cm. Jordtettheten i juni 2015 i dybden 20-25 cm var lavest der det ble kjørt med Løsnetinden, og høyeste der det ble vårharvet. I 30-35 cm dybde ble den laveste jordtettheten funnet der det ble kjørt med Løsnetinden og den høyeste jordtettheten ble funnet både på vårpløyd og vårharvet ledd. Jordtetthet høsten 2015 i dybden 22-27 cm viste at den laveste jordtettheten ble funnet der det ble løsnet med Kverneland CLE ned til 45 cm dybde og ved løsning med Løsnetinden. Den høyeste jordtettheten ble funnet på uløsnet ledd og ved vårharving.

Målingene av nyttbart vann viste ingen signifikante forskjeller for forsøksfeltet i Nannestad. To uker etter jordløsning viste laveste verdier for nyttbart vann i dybden 20-25 cm for Kverneland CLE ned til 35 og 45 cm dybde. Den høyeste mengden for nyttbart vann ble målt på uløsnet ledd. I dybden 30-35 cm ble den laveste mengden nyttbart vann målt for Kverneland CLE ned til 35 og 45 cm dybde. Den størst mengde nyttbartvann ble funnet for Dalbo Ratoon ned til 45 cm dybde. Nyttbart vann juni 2015 viste lavest innhold av nyttbart vann i dybden 20-25 cm på det vårpløyde leddet og mest nyttbart vann der det ble kjørt med Løsnetinde. I dybden 30-35 cm var det minst nyttbart vann på det vårpløyde leddet, og mest nyttbart vann der det ble kjørt med Økoskjær. Målingene av nyttbart vann høsten 2015 i dybden 22-27 cm viste lavest innhold av nyttbart vann ved løsning med Kverneland CLE ned til 45 cm dybde og ved bruk av Økoskjæret. Mest nyttbart vann ble funnet på uløsnet ledd om høsten, og på vårharvet ledd.

Tabell 24. Porevolum, drenerbart porevolum luftpermeabilitet, jordtetthet og nyttbart vann for jordløsningsfeltet i Nannestad 2014 og 2015.

Tidspunkt for uttak	Dybde cm	Høst- behand- ling	Vår- behand- ling	Pore- volum %v/v	Drener- bart- porevolum % v/v	Luft- permea- bilitet µm2	Jord- tetthet g/cm3	Nyttbart vann % v/v
01.10. 2014	20-25 cm	UL	UB	43,3	7,9	2,8	1,52	22,0
		DB1	UB	44,4	9,2	5,8	1,51	20,6
		DB2	UB	44,6	8,5	4,2	1,51	21,6
		KV1	UB	42,9	7,8	1,5	1,52	15,9
		KV2	UB	43,1	8,3	4,6	1,55	15,8
	30-35 cm	UL	UB	39,7	3,6	0,6	1,66	13,5
		DB1	UB	41,4	5,2	3,6	1,60	14,6
		DB2	UB	40,8	2,8	0,3	1,62	17,9
		KV1	UB	41,8	6,7	5,8	1,59	10,5
		KV2	UB	39,4	1,2	0,5	1,70	11,6
Like etter løsning		SN	Is	is	is	is	is	
04.06. 2015	20-25 cm	-	VP	43,3	6,2	6,4	1,51	13,4
		-	VPØ	45,1	7,9	3,8	1,46	15,9
		-	VPL	46,9	8,3	17,8	1,43	16,5
		-	VH	40,9	3,6	3,9	1,58	14,8
	30-35 cm	-	VP	40,0	4,7	1,4	1,63	19,2
		-	VPØ	42,3	5,0	2,0	1,58	26,9
		-	VPL	42,9	5,8	6,0	1,53	21,6
		-	VH	40,2	3,7	1,5	1,63	22,9
	Etter såing		SN	Is	is	is	is	is
11.10. 2015	22-27 cm	UL	-	45,1	8,9	6,3	1,49	23,1
		KV2	-	46,9	12,3	11,9	1,44	19,8
		-	VP	44,7	7,8	5,3	1,49	14,4
		-	VPØ	46,1	11,8	7,4	1,46	18,6
		-	VPL	51,1	15,8	18,7	1,33	19,5
		-	VH	42,2	6,9	5,1	1,57	26,1
	Etter høsting		SN	*	*	*	is	is
			LSD 5%	5,3	4,3	2,3		

UL: uløstnet, DB1: Ratoon 35 cm DB2: Ratoon 45 cm, KV1: CLE 35 cm KV2: CLE 45 cm, VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med Økoskjær, VPL: Vårpløying med løstnetinde, VH: Vårharving. is: ikke signifikant *: signifikant på 5% nivå. Signifikante forskjeller er uthevet. SN: signifikans nivå

5.1.2 Porestørrelsesfordeling

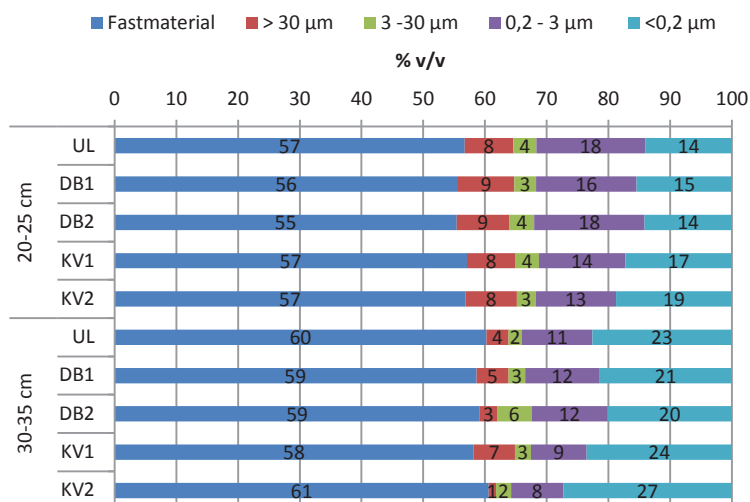
Målingene av porestørrelsesfordelingen like etter jordløsning i Nannestad høsten 2014 (Figur 32) viste ingen signifikante forskjeller. I dybden 20-25 cm var det ingen stor variasjon i porestørrelsen 3 -30 µm. I dybden 30-35 cm ble den laveste andelen porer mellom

3 µm-30 µm funnet på uløst ledd og der det kjøres med Kverneland CLE ned til 45 cm. I dybden 20-25 cm kan det se ut som om begge kjøringene med Kverneland CLE ga noe mindre volumprosent porer i størrelsen 0,2 til 3 µm og motsatt i størrelsen under 0,2 µm. Det samme kan en se også i dybden 30-35 cm. Det

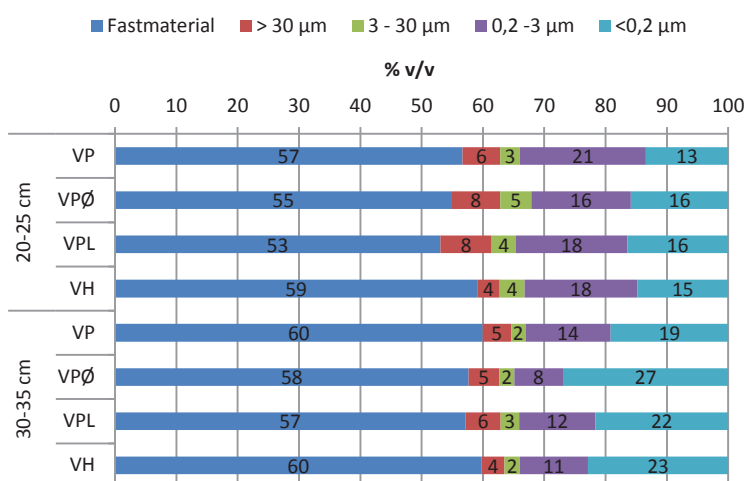
er jevnt over høyere volumprosent fastmateriale og porer under 0,2 µm i det

største dybdeområdet. I dybden 30-35 cm er det minst volumprosent porer under 30 µm for begge redskapene når de er kjørt dypest.

Like etter såing våren 2015 (Figur 33) ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller i porestørrelsesfordeling. Ved vårpløying med Økoskjær eller Løsnetinden ble volumprosent fastmateriale redusert sammenlignet med vårpløying uten sålebrytere eller bare vårharving. I dybden 20-25 cm er den laveste andelen i porer i fraksjonen 3 - 30 µm funnet på vårpløyd



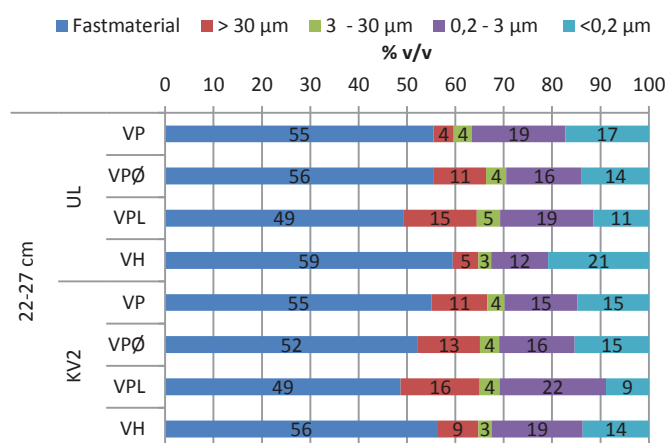
Figur 33. Andelen fastmateriale og andel av de ulike porestørrelsene. Nannestad sylinderprøver tatt ut 01.10.2014. VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med økoskjær, VPL: Vårpløying med løsnetinde, VH: Vårharving



Figur 32. Andelen fastmateriale og andel av de ulike porestørrelsene. Nannestad sylinderprøver tatt ut 04.06.2014. UL: uløst, DB1: Ratoon 35 cm DB2: Ratoon 45 cm, KV1: CLE 35 cm KV2: CLE 45 cm

ledd (uten sålebryter), og den høyeste på løsning med Økoskjær. I dybden 30-35 cm var det en litt større andel porer (3-30 µm) der det løsnes med Løsnetinden i forhold til de andre behandlingene. Det kan også se ut for at andelen porer større enn 30 µm er noe større med dette løsneutstyret. I dybden 20-25 cm var det noe større andel porer mellom 0,2 og 3 µm enn i dybden 30-35 cm, men motsatt for porestørrelser mindre enn 0,2 µm.

Figur 34 viser porestørrelsesfordelingen i dybden 22-27 cm høsten 2015. Det var ingen signifikante forskjeller. Den laveste andelen fast materiale funnet der det var vårpløyd med Løsnetinden både der det ikke var løsnet og der det var løsnet med Kverneland CLE ned til 45 cm. Den høyeste andelen fast materiale ble funnet ved vårharving uavhengig om det var løsnet eller ikke.



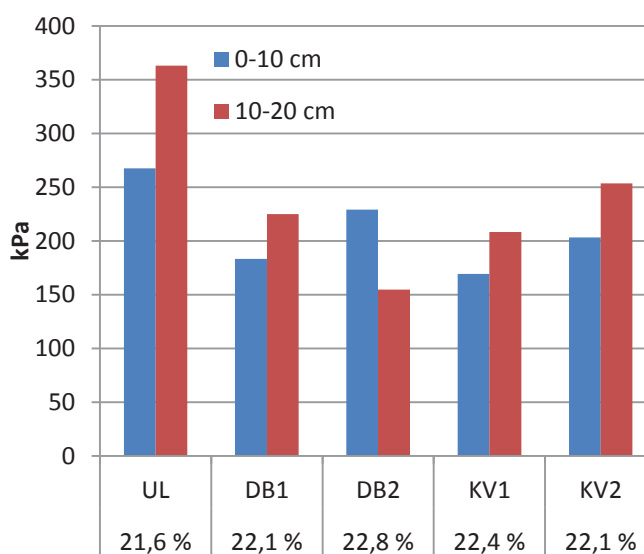
Figur 34. Andelen fast material og andel av de ulike porestørrelsene. Nannestad sylinderprøver tatt ut 11.10.2015
VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med økoskjær, VPL: Vårpløying med Løsnetinde, VH: Vårharving, UL: uløsnet, KV2: CLE 45 cm

Størst andel porer mellom 3 og 30 µm var det der en hadde kjørt med Løsnetinden på pløgen. Den laveste andelen porer mellom 3 og 30 µm ble funnet ved vårharving både der det løsnes og ikke løsnes om høsten. Laveste andel porer mellom 0,2-3 µm ble funnet ved vårharving uten løsning om høsten, og på vårpløying der det løsnes om høsten. Høyeste andel porer mellom 0,2-3 µm ble funnet for kombinasjonen Løsnetinden med og uten løsning om høsten. Den laveste andelen porer under 0,2 µm ble både på uløsnet og løsnet ledd om høsten, funnet der det løsnes med Løsnetinden om våren. Der det ikke løsnes om høsten er den største andelen porer under 0,2 µm funnet for vårharving, der det løsnes er det funnet for vårpløying og Økoskjær.

5.1.3 Skjærfasthet

Skjærfasthetes målinger gjennomført i Nannestad (Figur 35) etter løsning høsten 2014, viste ingen signifikante forskjeller. Det er en tendens til at skjærfastheten reduseres ved jordløsning uansett redskap eller dybde.

Vanninnholdet (%w/w) ved skjærfasthetsmålingene i dybden 20-25 cm Var forholdsvis jevnt for alle uttakene. Vanninnholdet var noe lavere på uløsnet ledd.

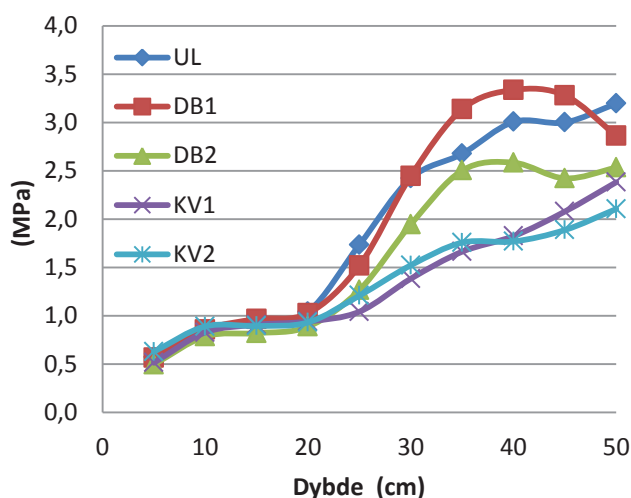


Figur 35. Skjærfasthet i kPa, Nannestad 01.10.2014. Vanninnhold i % w/w målt i plogsålen 20-25 cm. UL: uløsnet, DB1: Ratoon 35 cm DB2: Ratoon 45 cm, KV1: CLE 35 cm KV2: CLE 45 cm Ingen signifikante forskjeller

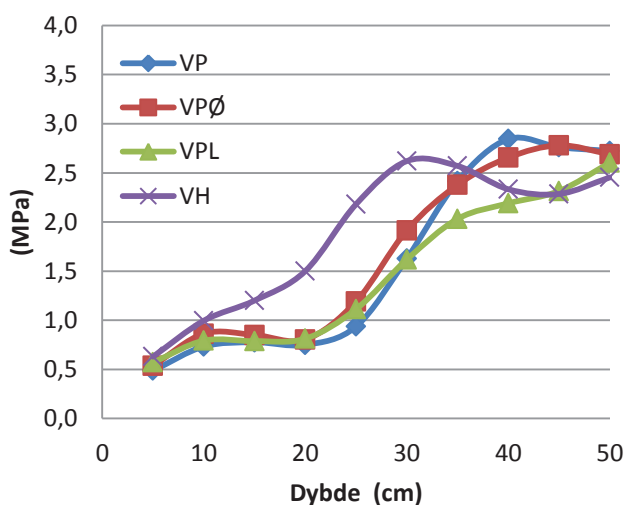
5.1.4 Trykkfasthet

Trykkfasthetsmålinger juni 2015 på Nannestad viste signifikant lavere trykkfasthet i 25 cm dybde for Dalbo Ratoon til 45 cm dybde, Kverneland CLE til 35 og 45 cm dybde sammenlignet med uløsnet (Figur 36). På 30 cm dybde var det signifikant lavere trykkfasthet der Kverneland CLE ble kjørt på både 35 og 45 cm dybde sammenlignet med de andre leddene med høstløsning. Det var en tydelig tendens til at trykkfastheten var lavere under plogsjiktet der Kverneland CLE ble kjørt på både 35 og 45 cm dybde.

Figur 37 viser trykkfasthet i juni 2015 for sålebryterne i Nannestad. Det var en tendens til høyere trykkfasthet ned til 30 cm dybde der det var vårharvet. Den laveste trykkfastheten ble målt ved vårpløying i sjiktet 20-30 cm. Det var signifikant høyere trykkfasthet der det var vårharvet sammenliknet med alle vårpløyde ledd på dybden 20 og 25 cm. På 35 cm dybde var trykkfastheten forholdsvis lik for alle behandlingene. Når en kommer under 35 cm dybde ser det ut til å være den høyeste trykkfastheten der det var vårpløyd.



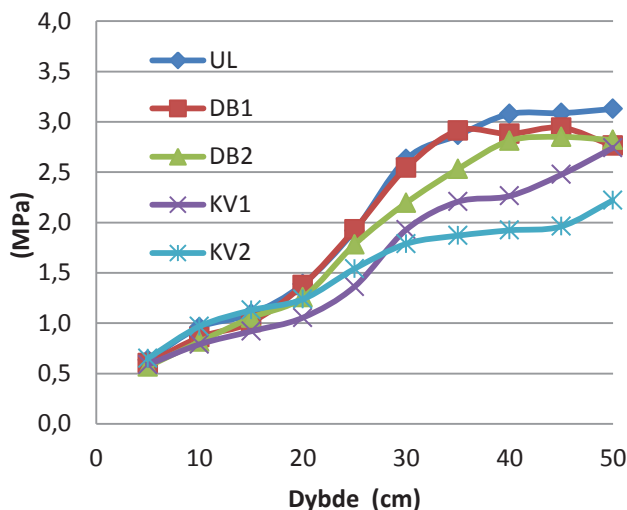
Figur 36. Trykkfasthet for jordløsere brukt på Nannestad om målt 04.06.2015, UL: uløsnet, DB1: Ratoon 35 cm DB2: Ratoon 45 cm, KV1: CLE 35 cm KV2: CLE 45 cm
25 cm: * LSD 5%: 0,3 MPa
30 cm: * LSD 5%: 0,5 MPa



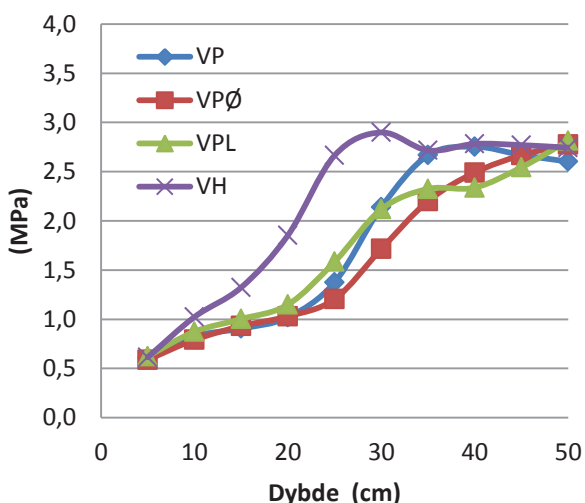
Figur 37. Trykkfasthet for sålebryterne kjørt om våren i Nannestad målt 04.06.2015 etter høsting. VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med øskeskjær, VPL: Vårpløying med løsnetinde, VH: Vårharving
20cm: *LSD 5%: 0,5 MPa
25cm: * LSD 5% :0,6 MPa

Trykkfastheten for de ulike jordløsnerene målt etter høsten 2015, ga ingen signifikante forskjeller i trykkfasthet før en kommer under 25 cm (Figur 38). Under 25 cm er det signifikant lavere trykkfasthet for Kverneland CLE på 35 cm dybde, sammenlignet med de andre behandlingene. Der det kjøres med Kverneland CLE på 45 cm er det en tendens til en lavere trykkfasthet sammenlignet med de andre behandlingene.

Figur 39 viser trykkfastheten for sålebryterne målt høsten 2015. I 20 cm dybde er det signifikant høyere trykkfasthet der det er vårharvet sammenlignet med vårpløyde ledd. Selv om det ikke var signifikant, var trykkfastheten for vårharving høyere ned til 45 cm sammenlignet med sålebryterne.



Figur 38. Trykkfasthet for jordløsnerer brukt på Nannestad om høsten, målt 12.10.2015, UL: uløst, DB1: Ratoon 35 cm DB2: Ratoon 45 cm, KV1: CLE 35 cm KV2: CLE 45 cm
25 cm: * LSD 5%: 0,4 MPa



Figur 39. Trykkfasthet for sålebryterne i Nannestad målt etter høsting 12.10.2015. VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med økoskjær, VPL: Vårpløying med Løsnetinde, VH: Vårharving
20 cm: ** LSD 5%: 0,2 MPa

Tabell 25 viser vanninnholdet målt i vektprosent (%w/w) i 0-20 cm dybde. Det ble funnet signifikant lavere vanninnhold for Dalbo Ratoon ved løsning ned til 35 cm. Det ble ikke funnet noen andre signifikante forskjeller.

Tabell 25. Vanninnhold (%w/w) i 0-20 cm dybde, Nannestad, 04.06.2015

	UL	DB1	DB2	KV1	KV2	Gj.snitt	SN	LSD 5%
VP	27,7	24,7	26,3	23,3	25,2	25,4	is	
VPØ	25,0	24,5	26,8	27,7	24,0	25,6	is	
VPL	24,2	18,8	26,7	25,2	26,1	24,2	is	
VH	22,1	23,4	21,7	22,3	26,1	23,1	is	
Gj.snitt	24,7	22,9	25,4	24,7	25,4		*	0,2
SN	is	is	is	is	is			

UL: uløsnet, DB1: Ratoon 35 cm DB2: Ratoon 45 cm, KV1: CLE 35 cm KV2: CLE 45 cm, VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med Økoskjær, VPL: Vårpløying med Løsnetinde, VH: Vårharving is: ikke signifikant *: signifikant på 5% nivå. Signifikante forskjeller er uthevet. SN: signifikans nivå

Målinger av vanninnhold ved gjennomføring av trykkfasthetsmålinger ble gjort i 22-27 cm dybde, disse målingene går frem av Tabell 26. Det var ingen signifikante forskjeller. Det laveste vanninnholdet ble målt for vårharving uten løsning om høsten, mens det høyeste ble funnet der det pløyes med Løsnetinden. For Kverneland CLE til 45 cm var vanninnholdet mindre der det kun vårpløyes eller vårharves, sammenlignet med bruk av sålebrytere.

Tabell 26. Vanninnhold (%w/w) i 22-27 cm dybde, Nannestad, 04.06.2015

	UL	KV2	Gj.snitt	SN
VP	26,1	22,4	24,3	is
VPØ	22,0	25,2	23,6	is
VPL	26,8	26,1	26,5	is
VH	21,1	22,6	21,9	is
Gj.snitt	24,0	24,1		
SN	is	is		

UL: uløsnet, KV2: CLE 45 cm, VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med Økoskjær, VPL: Vårpløying med Løsnetinde, VH: Vårharving Ingen signifikante forskjeller

5.1.5 Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT)

Resultatene av målingen av porevolum og mettet vannledning igjennom CVT verktøyet går frem av Tabell 27. Målingene like etter løsning i Nannestad viste at Kverneland CLE til 35 cm dybde havnet i klasse 3. De andre behandlingene viste ingen kritisk jordpakking. I 30-35 cm dybde kom både Dalbo Ratoon og Kverneland CLE til 45 cm dybde og ingen løsning i klasse 4 dvs kritisk pakket jord. Både Dalbo Ratoon og Kverneland CLE til 35 cm kom i klasse 1.

Resultatet av å kjøre CVT verktøyet på prøvene som ble tatt ut juni 2015 går frem av Tabell 27. I 20-25 cm dybde var det kun for vårharving at det drenerbare porevolumet var så lavt at det havnet i klasse 2. Mens i 30-35cm dybde var det kun Løsnetinden som har god nok effekt på jorden, de andre behandlingene havnet i gruppen kritisk pakket jord.

For prøvene som er tatt ut etter høsting 2015, havnet vårpløying uten annen form for jordløsning i klasse 4. Der det vårharves var volum andelen porer så lav at den havnet i klasse 2. I kombinasjon med Kverneland CLE til 45 cm dybde var alle behandlingene i klasse 1.

Tabell 27. Resultat av CVT test Nannestad 01.10.2014 Grønt >minimum, rødt <minimumsverdi. Gult merke en av de to parameterene er over minimumsnivå. UL: uløsnet, DB1: Ratoon 35 cm DB2: Ratoon 45 cm, KV1: CLE 35 cm KV2: CLE 45 cm VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med Økoskjær, VPL: Vårpløying med Løsnetinde, VH: Vårharving,

Dybde	Høst	Vår	AC < 5 % v/v	Ks < 10cm*d ⁻¹	CVT
20-25 cm	UL		● 8,2	● 12,9	● 1
	DB1		● 9,2	● 34,5	● 1
	DB2	-	● 8,5	● 22,4	● 1
	KV1		● 7,8	● 5,6	● 3
	KV2		● 8,2	● 25,3	● 1
30-35 cm	UL		● 3,5	● 1,6	● 4
	DB1		● 5,2	● 18,5	● 1
	DB2	-	● 2,3	● 0,7	● 4
	KV1		● 6,6	● 33,9	● 1
	KV2		● 1,2	● 1,3	● 4
20-25 cm	UL	VP	● 6,1	● 38,7	● 1
		VPØ	● 7,4	● 19,5	● 1
		VPL	● 7,9	● 148,9	● 1
		VH	● 3,5	● 20,7	● 2
30-35 cm	UL	VP	● 4,6	● 5,2	● 4
		VPØ	● 4,7	● 8,5	● 4
		VPL	● 5,0	● 35,7	● 1
		VH	● 3,5	● 5,9	● 4
22-27 cm	UL	VP	● 3,6	● 3,3	● 4
		VPØ	● 10,3	● 18,4	● 1
		VPL	● 14,8	● 144,6	● 1
		VH	● 4,8	● 16,8	● 2
	KV2	VP	● 10,7	● 65,7	● 1
		VPØ	● 11,6	● 81,0	● 1
		VPL	● 15,2	● 172,6	● 1
		VH	● 7,7	● 42,8	● 1

5.1.6 Kornavling

Avlingsresultatene i 2015 for forsøksfeltet i Nannestad går frem av tabell 28, det ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller. Den laveste gjennomsnittsavlingen ble funnet der det ikke ble løsnet om høsten. Kverneland CLE på 35 cm kom best ut.

I gjennomsnitt ble den laveste avlingen for vårbehandlingene funnet ved vårharving, mens den høyeste avlingen ble tatt der Løsnetinden ble kjørt.

Kombinasjonen som ga den laveste avlingen, var uløsnet ledd om høsten og vårharving. Den kombinasjonen som ga den høyeste avlingen var Dalbo Ratoon på 35 cm kombinert med Løsnetinden. Den høyeste gjennomsnittsavlingen for hver enkelt av redskapene kjørt om høsten ble tatt ved løsning med Kverneland CLE på 35 cm. Den høyeste avlingen for redskapene som ble kjørt om våren ble funnet ved kjøring med Løsnetinden.

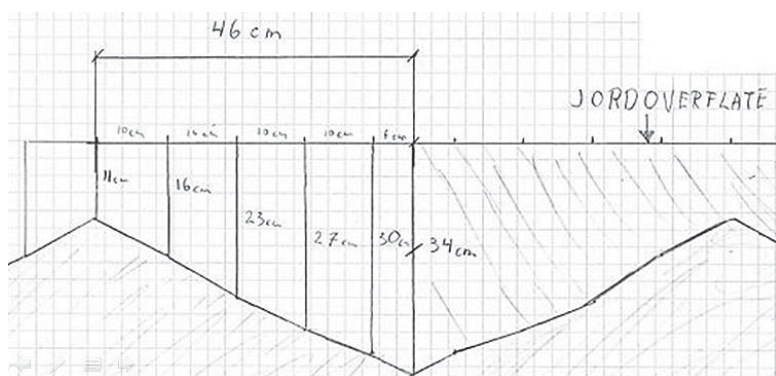
Tabell 28. Kornavling (kg/daa) ved 15 % vann, Nannestad, 2015

Behandling	UL	DB1	DB2	KV1	KV2	Gj.snitt	SN
VP	542	586	567	634	613	588	is
VPØ	560	580	632	601	580	591	is
VPL	636	663	637	618	648	641	is
VH	435	531	599	661	563	558	is
Gj.snitt	544	590	609	629	601		is
SN	is	is	is	is	is		

UL: uløsnet, DB1: Ratoon 35 cm DB2: Ratoon 45 cm, KV1: CLE 35 cm
KV2: CLE 45 cm VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med Økoskjær, VPL:
Vårpløying med Løsnetinde, VH: Vårharving is: Ikke signifikant

6. Resultater trekkraftmåling og løsneprofil

Ved gjennomføring av trekraftsmålingene på Ås ble det bearbejdede jordprofilet til de ulike jordløsnerene registrert. Figur 40 viser Økoskjær der det pløyes ned til 20 cm. Økoskjæret løsner et spor som er rundt 10 cm dypt og 20 cm bredt der det er en tydelig oppsmuldringseffekt. Figur 41 viser resultatet etter kjøring med Løsnetinden. Plogskjæret ble målt til å gå ned til 20 cm dybde. Løsnetinden arbeidet 18 cm under plogskjæret og løsnet opp et trekantet snitt. Figur 42 viser profilet der det var løsnet med Kverneland CLE ned til 35 cm dybde.



Figur 42. Kverneland CLE kjørt på 35 cm dybde



Figur 40. Økoskjær



Figur 41. Løsnetinde

Trekkraftbehovet per arbeidsorgan går frem av tabell 29. Trekkraftmålingene på Økoskjæret og Løsnetinden er beregnet ut ifra at det er montert enten et Økoskjær eller en Løsnetinden på annenhver plogkropp. Plogen hadde signifikant lavest trekkraftbehov i forhold til Økoskjæret, Løsnetinden og Kverneland CLE ned til 35 cm. Økoskjæret montert på annenhver plogkropp har et trekkraftbehov som er 1,3 kN høyere enn vanlig plog. Løsnetinden montert på annenhver plogkropp har et trekkraftbehov som er 2 kN høyere sammenlignet med en vanlig plog. Kverneland CLE kjørt på 35 cm har det høyeste trekkraftbehovet per arbeidsorgan som er 2,9 kN høyere sammenlignet med en plogkropp. For de ulike pløyebehandlingene var hastigheten lik målt med GPS, mens for jordløsneren gikk det litt saktere, dette i forbindelse med sluring på traktorhjulene. Trekkraftbehovet per meter arbeidsbredde var lavest der det ble kjørt med Kverneland CLE ned til 35 cm, mens det høyest totale trekkraftbehovet var ved kjøring med Løsnetinden. Det arbeidsorganet som bearbeidet minst jordareal var plogen, mens Kverneland CLE ned til 35 cm bearbeider det største jordarealet. Dette ga det laveste spesifikke trekkraftbehovet for Kverneland CLE ned til 35 cm, mens dette var vesentlig høyere der det løsnes med Løsnetinden.

Tabell 29. Trekkraftsmålinger pr arbeidsorgan på lettleire, Ås.

	Trekkraft- behov kN	Hastighet km/t	Arbeids- bredde m	Totalt trekkraft- behov kN/m	Bearbeidet jordareal m ²	Spesifikt trekkraftbehov kN/m ²
VP	5,8	5,9	0,4	14,3	0,081	72,0
VPØ	7,1	5,9	0,4	17,4	0,091	78,2
VPL	7,8	5,9	0,4	18,9	0,092	84,2
KV1	8,7	5,5	0,9	9,5	0,211	41,4
LSD 5%	**					
SN	1,15					

VP: Vårpløying, VPØ: Vårpløying med Økoskjær, VPL: Vårpløying med Løsnetinde, VH: Vårharving, KV1: CLE 35 cm is: ikke signifikant **: signifikant på 1% nivå. Signifikante forskjeller er uthevet. SN: Signifikans nivå

7. Diskusjon - Rakkestad

7.1 Jordfysisk

7.1.1 Volumetriske parametre

Høsten 2013 og 2014 var det ingen signifikante forskjeller i porevolum, drenerbart porevolum, jordtetthet og nyttbart vann. Det at en ikke finner signifikante forskjeller kan skyldes at det er tatt ut et for lite antall prøver på et lite areal og at det var for få gjentak. Nissen og Ringlund (1983) skrev at ved å øke antall gjentak vil feilen minke. Å øke fra to gjentak som har blitt brukt både i Rakkestad og i Nannestad til tre til fem gjentak vil ha en stor effekt på å redusere feilen. Riley (1986) skrev at de jordfysiske parameterne som brukes for å vise om jorden er for tett for optimal plantevekst viser stor variasjon. Men som Crawley (2007) skrev så forteller ikke signifikansnivået alt, spesielt om utslagene og prøvene er små, derfor er det interessant å diskutere resultatene ifra målingene. En må da heller ikke avskrive helt det at en ikke finner signifikante forskjeller, dette kan henge sammen med at jordløsning ikke har enn effekt eller at den er kortvarig.

Like etter løsning høsten 2013 ble det i 30-35 cm dybde funnet en ikke signifikant økning i porevolum, drenerbart porevolum og en reduksjon i jordtettheten. Jordløsningen førte til at det drenerbare porevolumet var over 10 %, som ifølge Håkansson og Lipiec (2000) er den nedre kritiske grensen for plantevekst. I 40-45 cm dybde var det ingen forskjeller. Økningen i det grove poresystemet stemmer med det Håkansson (2000) skrev om at ved en jordløsning så er det det grove poresystemet som øker. Dette stemmer også overens med det Schjønning (1986) skrev om at en vellykket jordløsning kan i første omgang registreres som en reduksjon i jordtettheten.

Høsten 2014 var det en reduksjon (ikke signifikant) i porevolumet ved alle løsnebehandlingene i Rakkestad i 25-30 cm dybde på vårpløyd ledd. Det kan tenkes at jordløsningen førte til at porene klappet sammen, slik som beskrevet av Schjønning (1986). En annen mulighet kan være at vannet har trukket ned i løsnesporene og har blitt stående istedenfor å dreneres bort til grøftene. Ved pløying om våren går traktorhjulet ned i plogfåra og pakker jorden i fårebunn, noe som kan ha redusert porevolumet. Hillel (2004) skrev også at det er spesielt jordpakking ved pløying der traktorens hjul trækker i bunnen av tomfåren, som er ugunstig.

Det at en ikke finner signifikante forskjeller for de ulike behandlingene kan skyldes at det pløyes med en fire-skjærs plog og det er ¼ sjanse for at en skal ta ut jord som er pakket av traktorhjulet i tomfåra. Hvis en skulle gjennomført et slikt forsøk på nytt kunnet det vært aktuelt å pløyd med en en-skjærs plog hjul i hjul for å fremprovosere forskjeller. Det kunne vært gjort slik som Brandsæter et al. (2011) gjorde i forsøk med å finne forskjell mellom pløying i fåra og på land. Tilsvarende måtte jorden på det vårharvede leddet blitt pakket og kjørt hjul i hjul før harving. Feltet ville da blitt pakket jevnere og sjansen for å finne forskjeller ville vært større, men det er en motsetning i forhold til å drive fullskala forsøk med konvensjonelle landbruksmaskiner.

På det vårharvede leddet om høsten var det en liten, men ikke signifikant økning i porevolum der det var løsnet om våren. Ved harving er begge hjulene på jordoverflaten og det gir ikke tråkking 20 cm ned i jorden slik som ved pløying. I 35-40 cm dybde ser det ut til at jordløsningen førte til en viss reduksjon av porevolum både på vårpløyd og vårharvet ledd. Dette kan skyldes at jordløsningen har blitt gjennomført når det har vært for vått i bakken og det har ført til en jordpakking istedenfor en jordløsning. Jordløsningen kan også ha blitt kjørt under den kritiske dybden som beskrevet av Spoor og Godwin (1978). Dette kan ha ført til en reduksjon av det totale porevolumet.

Høsten 2014 er det ingen signifikante forskjeller i drenerbart porevolum. Det er heller ingen tydelige sammenhenger mellom jordløsning og økning i det drenerbare porevolumet. I 25-30 cm dybde på det vårpløyde leddet er det på det uløsnede leddet og der det kun løsnes om høsten at drenerbare porevolumet er over den kritiske grensen for plantevekst. På det vårharvede leddet der det løsnes om våren var det drenerbare porevolumet over 10 % v/v drenerbare porer, som er den kritiske grensen (Håkansson & Lipiec 2000) uavhengig av høstbehandlingen. I 35-40 cm dybde er det drenerbare porevolumet under den kritiske grensen for plantevekst for alle behandlingene. I de to forsøksårene har det vært forholdsvis tørre år, med lite nedbør. I nedbørsrike år kan en tenke seg at det forholdsvis lave drenerbare porevolumet kan føre til drukning av planterøttene.

Jordløsningen viste ingen signifikante forskjeller i jordtetthet for de ulike behandlingene. Arvidsson (1999) skrev at jordtetthet i seg selv er en dårlig indikator for å si noe om forholdene for plantevekst. I en studie fant Arvidsson og Håkansson (2014) en avlingsnedgang ved jordtetthet over 1,4-1,45 g/cm⁻³ på svenske jordarter. Spoor (2006) skrev at jord som er pakket, har en jordtetthet på 1,6 til 1,8 g/cm⁻³ på en lett jordart (sandig) og på

en tung (leirholdig) jordart har den 1,5 til 1,7 g/cm⁻³. I sjiktet 25-30 cm har ingen av prøvene en jordtetthet over 1,4 g/cm⁻³. I 35-40 cm så er den laveste jordtettheten ved vårpløying og vårharving funnet på uløsnet ledd henholdsvis 1,52 og 1,64 g/cm⁻³, mens jordtettheten øker der det kjøres en jordløsning før vårpløying (1,55-1,68) og vårharving (1,71-1,72 g/cm⁻³).

Disse prøvene ligger over grensen til Arvidsson og Håkansson (2014) og i øvre grense i det som Spoor (2006) anser som en tung (leirholdig) pakket jord. Spoor (2006) skrev også at en kan finne naturlig dyp jordpakking, ofte i etterkant av avsetning. Jorden der har ofte en høy jordtetthet og veldig lav permeabilitet, slik at den nesten er ugjennomtrengelig for vann. Dette kan se ut til å stemme der det er jord som ikke er pakket av maskiner, men pakking ved avsetning etter istiden- og at det tidligere har vært en myr som har blitt bortkjørt.

Forsøk gjennomført av Mukhtar et al. (1985) i Iowa med Paraplow viste ingen reduksjon i jordtettheten målt i 10 cm dybde sammenlignet med pløying eller harving. Direktesåing i kombinasjon med Paraplow ga ingen økning i jordtettheten. Direktesåing alene ga en økning i jordtettheten, men denne forskjellen var ikke signifikant. Det er en forskjell i å sammenligne jordtettheten i 10 cm dybde mot 30-35 cm dybde, der plogen og harven ikke går ned. På det vårpløyde leddet i 25-30 og 35-40 cm dybde og på det vårharvede leddet i 35-40 cm dybde ser det ut til at jordløsningen har økt jordtettheten, noe som kan tyde på en jordpakking istedenfor en jordløsning.

I porestørrelsesfordelingen ble det funnet en signifikant forskjell som hovedeffekt av høstløsning i forhold til ingen løsning om høsten. Det var en signifikant reduksjon i vann ved feltkapasitet på vårharvet ledd i 30-35 cm dybde når det løsnes om høsten sammenlignet med ingen løsning om høsten. Forsøk gjennomført av Schjønning (1986) på en finsand med en 5 tinders jordløser med vingeformende vibrerende tinder fant 9 måneder etter jordløsning en tendens til redusert porøsitet. Der det var de grove porene større enn 30 µm som ble redusert. Mens det var en liten tendens til økning i porene som var mindre enn 30 µm. Dette er noe motstridene med funnet i Rakkestad der det ser ut som også de grove porene har økt. Der porene som holder det plantetilgjengelige vannet (0,2-30 µm) har blitt redusert. En forklaring på dette kan være at prøvene er tatt ut på ulike dybder og ikke kan sammenlignes direkte.

Andelen nyttbart vann var høyest der det ikke ble løsnet hverken vår eller høst på vårpløyd ledd, mens på det vårharvede leddet var det høyest ved løsningen vår og høst. Dette

samsvarer med det (Riley 1986) skrev i forsøk med jordløsning med Paraplow, ved redusert jordarbeiding som fører til en økning i jordens tetthet vil en slik periodisk løsning være med grubbing eller pløying være positivt. Det har derimot lite for seg å utføre begge operasjonene. I dette forsøket ser det ut til at det var en negativ effekt på det nyttbare vannet ved jordløsning etterfulgt av vårpløying. Forsøk i Nord Kina (Ma et al. 2015) der behandlingene var pløying, rotorharving og løsning med ulik intervall mellom årene, fant de at jordløsning hvert andre eller tredje år forbedrer jordens kapasitet til å lagre vann i dypere sjikt. Dette samsvarer ikke med de resultatene som er funnet i dette forsøket i 35-40 cm dybde, der det ved løsning var en reduksjon i nyttbart vann på vårpløyd ledd. Den samme tendensen har en også på vårharvet ledd. Dette kan skyldes at prøvene ikke er tatt ut direkte i løsnesporet, i Rakkestad ble prøvene tatt tilfeldig ut i angitt dybde.

Det er ingen signifikante forskjeller i andelen av små porer $<0,2 \mu\text{m}$, disse inneholder det ikke nyttbare vannet. Det er en liten variasjon i tallene. Dette kan sees i sammenheng med en liten variasjon i leirinnholdet og organisk materiale på feltet.

7.1.2 Luft og vanntransport

Høsten 2013 var det ingen signifikante forskjeller i luftpermeabilitet i 30-35 og 40- 45 cm dybde. Det ble funnet en tendens til en økning i luftpermeabilitet ved løsning, men den er likevel under $3 \mu\text{m}^2$. Riley (1988) sitert i Riley (1996) antyder en luftpermeabilitet under $3 \mu\text{m}^2$ som begrensende for plantevekst.

Høsten 2014 på det vårpløyde leddet i 25-30 cm dybde er det ved løsning om høsten eller høst- og vårløsning tilstrekkelig luftpermeabilitet i forhold til Riley (1988) sitt krav. I samme dybde på det vårharvede leddet var vårløsning og løsning høst og vår, over den kritiske grensen. I dybden 35-40 cm ble det ved vårpløying funnet en signifikant i forskjell i hovedeffekt av løsning om våren sammenlignet med ingen løsning om våren. Luftpermeabiliteten i 35 til 40 cm dybde for alle behandlingene er under det Riley (1988) anbefaler. Dette tette jordlaget på hele forsøksfeltet kan knyttes opp imot det Spoor (2006) skrev at en kan finne naturlig dyp jordpakking, ofte i etterkant av sedimentering og avsetning etter istiden. Jorden der har ofte en høy jordtetthet og veldig lav permeabilitet, slik at jorden nesten er ugjennomtrengelig for vann.

Forsøk gjennomført av Riley (1986) på en jord som ikke var pakket ble det funnet en liten økning i luftpermeabilitet i 10-20 cm dybde ifra $4,6$ til $6,4 \mu\text{m}^2$. Der jorden ble pakket før

den ble løsnet så det ut til at jordløsningen økte luftpermeabiliteten ifra 1,3 til 7,7 μm^2 . På det vårpløyde leddet kan det se ut til at det var en tilsvarende økning som Riley har funnet på upakket jord.

Luftpermeabiliteten på uløsnet ledd (3,14 μm^2), øker ved høstløsning (5,54 μm^2) og høst – og vårløsning 6,63 μm^2 . På det vårløsnede leddet er det en liten reduksjon i luftpermeabiliteten. På det vårharvede leddet ser det ut til at en like lav luftledningsevne som det Riley finner på pakket jord. Både på uløsnet og høstløsnet ledd ligger luftpermeabiliteten på 1,08 og 1,48 μm^2 . Der det løsnes om våren eller både høst og vår øker luftpermeabiliteten til 4,97 og 20,09 μm^2 . Det at en finner varierende luftpermeabilitet for de ulike løsnebehandlingene kan også sees opp imot at prøvene ble tatt ut tilfeldig på rutene, noe som kan ha ført til at noen prøver ble tatt i løsnesporet og andre ikke. Det ble i dette forsøket ikke funnet signifikante forskjeller slik som Enger (1989) fant. Der det ble funnet en signifikant økning i luftpermeabilitet var i forsøk med Paraplow sommeren etter at det ble gjennomført en jordløsning. For Kverneland Grubb og Mac vibrerende jordløsner ble det funnet en lavere luftpermeabilitet enn uløsnet ledd. Dette kan knyttes til at de forsøkene han gjennomførte ble gjort på en mer leirholdig jordart som kan ha gitt andre utslag.

Infiltrasjonsmålingene på det vårpløyde leddet viste ingen signifikante forskjeller. Alle løsnebehandlingene hadde imidlertid høyere infiltrasjonsevne sammenlignet med der det ikke ble løsnet.

Infiltrasjonsmålinger med Paraplow på en siltig mellomleire i Iowa gjennomført av Mukhtar et al. (1985) viste at Paraplow ga den høyeste kumulative infiltrasjonen både etter 1 og 30 minutter på tre ulike forsøkssteder. Det konkluderes med at dype sprekker ifra overflaten og ned i jorden forbedret jordens infiltrasjonsevne.

Ved gjennomføring av infiltrasjonsmålingene der det ble løsnet om høsten ble det observert at det innfiltrerte vannet rant ifra infiltrasjonsringene og til et hull som hadde blitt gravd ut litt tidligere noen meter til siden.



Dette er vist i Figur 43. Dette i kombinasjon med at det våren 2014 ble funnet åpne kanaler

Figur 43. Infiltrasjonsmåling der vannet rant til hullet som var gravd til venstre i bildet

etter løsningen foretatt høsten 2013 (Figur 44), ser det ut til at den sylindriske spissen på enden av løsneorganet på Dalbo Ratoon har fungert som dreneringskon og setter igjen en midlertidig dreneringskanal. Det var også vesentlig fuktigere i området rundt konhullet enn resten av profilet.

Ved målinger av vanninnhold i kombinasjon med skjærfasthet i mars 2014 ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller, men det var en tendens til at vanninnholdet i plogsjiktet var lavere på leddet som ble løsnet på høsten. Vanninnholdet var høyere i 20-40 cm dybde der det var løsnet sammenlignet med ingen løsning. I juni 2014 er det ingen signifikante forskjeller i vanninnhold, men dert var nesten dobbelt så høyt på det vårpløyde leddet der det ikke løsnes høst eller vår. På det vårharvede leddet finner en ikke den samme tydelige tendensen. Dette kan også sees i sammenheng med hvor nært grøfter det har blitt målt og avstanden over det tette sjiktet. At en har fått en kanal som står åpen over vinteren og kan



Figur 44. Hullet etter dreneringskon som ble funnet våren 2014 etter løsning høsten 2013

drenere bort vann er overraskende og positivt. Dette kan også sees i sammenheng med hvordan en torpedoplog virker og at en har fått en stabil kontinuerlig kanal som Godwin et al. (1981) beskriver. Det skal også nevnes at disse konhullene ikke ble funnet senere i

veksts sesongen, så det kan se ut til at effekten ikke er veldig langvarig. Sammenligner en dette resultatet mot Figur 2 i litteraturstudiet, viser det at ved kjøring over den kritiske dybden får en ikke en dreneringskanal men et V-profil etter løsning med torpedoplog. Mens der det ble kjørt under den kritiske dybde ble det laget en dreneringskanal, noe som kan være med å underbygge tanken om at det ble kjørt under den kritiske arbeidsdybden i dette forsøket.

Grunnvannstanden i forhold til nedbør ble registrert i september 2014 og juni 2015. Der grunnvannet etter mye nedbør i september står opp til 32 cm under overflaten september 2014. I juni 2015 stod vannspeilet 37 cm under overflaten. Når det sees på nedbør som kommer så reagerer grunnvannstanden med å øke og den synker ganske raskt igjen. Dette kan være et tegn på at vannet følger løsesporene og er med å drenere feltet forholdsvis raskt. Det ble ikke kjørt statistikk på grunnvannsbevegelsen. I 2014 ble det ikke funnet noen sammenheng mellom løsning og reduksjon i grunnvannstand. Våren 2015 var det en tendens til at grunnvannet synker raskere nært grøftene der det er løsnet i forhold til ikke løsnet.

7.1.3 Jordfasthet

Jordløsning ga en signifikant reduksjon i skjærfasthetene høsten 2014 i gjennomsnitt for de tre dybdene (0-30 cm). I dybden 0-20 cm var vanninnholdet i volumprosent litt lavere der det ble høstløsnet, noe som skulle ha gitt en økning i skjærfastheten. I 20-40 cm var vanninnholdet høyest der det ble løsnet om høsten, men det var ikke signifikante forskjeller. Vanninnholdet var ikke så høye at det skulle ha gitt stort utslag på skjærfastheten. Forskjellen i vanninnhold kan skyldes at vannet trekker mer ned i løsesporet.

Høsten 2014 ble det funnet signifikant høyere skjærfasthet i 10-20 cm dybde på pløyd ledd der det kjøres jordløsner om høsten sammenlignet med der det ikke løsnes om høsten. Dette kan tyde på at det har skjedd en jordpakking isteden for en jordløsning. En annen faktor som kan forklare denne forskjellen er på det leddet som ikke er løsnet høst eller vår så er det funnet et vesentlig høyere vanninnhold, men det var ikke signifikant. I gjennomsnitt (ikke signifikant) for de tre dybdene (0-30 cm) ble den laveste skjærfastheten funnet på leddet som kun ble løsnet om våren både på vårpløyd og vårharvet ledd. Det var også på vårharvet ledd et forholdsvis lavt vanninnhold, noe som kunne tilsi at skjærfastheten skulle ha vært høyere på disse leddene om en skulle ha korrigert for vanninnhold.

Löfkvist (2005) fant en signifikant reduksjon i skjærfastheten i 30-40 cm dybde ved jordløsning, der jorden ble pakket før løsning. I 50-60 cm dybde fant han ingen signifikante forskjeller. Enger (1989) gjennomførte målinger på skjærfasthet i plogsålen i forbindelse med pløying etter jordløsning. Han fant ingen sikre forskjeller for jordløsning. Det var en tendens til at Mac vibrerende undergrunnsløsner hadde best løsnevirkning på det ene feltet og på det andre kom Paraplow best ut. Kverneland Grubb ga på begge feltene den høyeste skjærfastheten av de ulike jordløsnerene.

At det hverken i dette forsøket eller Enger (1989) fant signifikante forskjeller kan tyde på at løsnevirkningen ikke er langvarig, det kan være en stor variasjon i jordarten innad på feltet og at antallet prøver kan ha vært for lavt.

Når en gjennomfører en jordløsning er målet å redusere trykkfastheten. Trykkfastheten våren 2015 viser at det motsatte har skjedd i det vårpløyde leddet, der trykkfastheten er høyest i det vår- og høstløsne leddet under 30 cm dybde. I tillegg ble det laveste vanninnholdet i 20-40 cm dybde funnet der det løsnes både høst og vår, men det var ikke signifikant.

En mulig forklaring på at trykkfastheten øker etter løsning, kan være at ved løsning av jorden både om høsten og våren så mister den sin naturlige struktur. Dette i kombinasjon med pløying der traktorhjulet går nede i tomfåren øker faren for jordpakking. Soane et al. (1986) har funnet lignende resultater på sandig jord i Nederland som kan forklare noe av dette. Trykkfastheten ble målt der det ble pløyd etter løsning. De fant at jorden som ble løsnet, ble pakket til igjen i 30 cm dybde og nedover.

På det vårharvede leddet ble det funnet signifikant høyere trykkfasthet ved vårløsning sammenlignet med høstløsning, men det var i 15 cm dybde og en forholdsvis lav trykkfasthet. Under 35 cm dybde ser det ut til at en har oppnådd den ønskede effekten. Der trykkfastheten ble redusert for alle løsnebehandlingene sammenlignet med den ubehandlede leddet, men dette var ikke signifikant. Leddet som ikke løsnes hadde det høyeste (ikke signifikant) vanninnholdet både i 0-20 og 20-40 cm dybde. Trykkfastheten her hadde nok vært noe høyere om det hadde vært korrigert for vanninnhold.

En trykkfasthet over 3 MPa anses i litteraturen som begrensende for rotveksten (Håkansson & Lipiec 2000; Ide et al. 1984). Den kritiske grensen for trykkfasthet både på det vårpløyde og vårharvede leddet i Rakkestad våren og høsten 2015 ble oversteget når en kommer under 30-40 cm dybde, både der det løsnes og ikke løsnes. Det var utfordrende å få til gode

målinger når en kom ned i undergrunnsjiktet. Dette fordi en møtte så høy motstand at en ikke alltid fikk gjennomført målinger ned til 70 cm som er begrensningen til penetrometeret. Målingene må derfor tolkes med forsiktighet.

Sammenlignet med det Soane et al. (1986) fant om pakking etter løsning så kan det se ut til på det vårharvede leddet at harvingen og såingen etter løsningen ikke har pakket til jorden slik som pløying. Dermed har en fått en bedre respons av jordløsningen. Den høyere trykkfastheten og samtidig et lavere vanninnhold i 20-40 cm dybde er med og forsterker det at jorden er løsere der det har blitt løsnet. Ehlers et al. (1983) skrev at ved en økning i vanninnhold så synker trykkfastheten.

Høsten 2015 på det vårpløyde leddet ble det funnet signifikant høyere trykkfasthet i 30 cm dybde der det løsnes om våren sammenlignet med ingen løsning om våren. Dessverre ble ikke vanninnholdet målt på alle leddene, men det ser ut til at i 20-40 cm dybde er det høyeste vanninnholdet på det vårpløyde og høst- og vårløsnet ledd, sammenlignet med der det bare løsnes om høsten. Under 35 cm dybde er det en tendens til at trykkfastheten var lavere der det ikke løsnes sammenlignet med der det løsnes. På det vårharvede leddet høsten 2015 ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller i trykkfasthet men det ser ut til at det uløsnete leddet gir den laveste trykkfastheten når en kommer under 35 cm dybde. På vårharvede leddet er det også et høyere vanninnhold der det løsnes kun om høsten sammenlignet med høst og vår løsning i 20-40 cm dybde.

7.2 Planteanalyser

7.2.1 Spiring

Plantetellingen ble gjennomført etter spiring og før busking. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i skuddantall mellom de ulike behandlingene. Det ble funnet en noe større variasjon i antall skudd/m² på det vårharvede leddet. Dette har mest sannsynlig sammenheng med mer strå i overflaten som gjorde jobben for såmaskinen noe mer utfordrende.

Forsøk gjennomført i Marokko av Oussible og Crookston (1987) på en siltig lettleire viste en signifikant økning plantehøyden for hvete fra såing og helt frem til høsting. De fant også en signifikant økning i antall skudd der det ble jordløsnet. De skrev at tilgjengeligheten av vann i gjennomveksts sesongen i forholdsvis tørre år i forsøksperioden kan være årsaken til

økningen i både lengde og antall skudd. I de samme forsøkene ble det ikke funnet noen signifikant øking i avling.

Ut ifra det Oussible og Crookston (1987) har funnet sammenlignet med resultatene ifra Rakkestad kan det tyde på at tilgjengeligheten av vann har vært god nok igjennom vekstsesongen slik at plantene ikke har vært utsatt for tørkestress. Med tanke på at dette er jord med et organisk lag mellom 30-40 cm og en siltjord under som er veldig kapillær, så har plantene en god vannforsyning igjennom vekstsesongen. Drukning var heller ikke noe problem i gjennom forsøksårene.

7.2.2 Plantehøyde og utvikling

Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i noen av målingene på plantehøyde. På bygg 17.5 var de laveste byggspirene på uløsnet ledd både på vårpløyd og vårharvet ledd. En mulig forklaring på dette kan være at de leddene som hadde blitt løsnet var tørrere og dette kunne gitt en økning i temperatur i spiresjiktet (Børresen 2016). Det ble det ikke funnet noen forskjeller i plantehøyde ved seinere målinger.

7.2.3 Ugrasmengde

På forsøksfeltet i Rakkestad ble ugrasmengden visuelt bedømt i slutten av juni. På vårharvet ledd og hvete ble det funnet signifikant mer ugras der det ble løsnes om våren sammenlignet med ingen løsning om våren. Det ble også funnet en tendens til mer ugras på det vårharvede leddet for alle kornartene sammenlignet med det vårpløyde leddet. Stenrød et al. (2007) skrev at det er større ugrasproblem ved harving enn ved pløying. Dette er med og forklarer hvorfor en finner mer ugras på det vårharvede leddet.

7.3 Kornavling

Jordløsning høst og vår ga en signifikant lavere gjennomsnittsavling i 2014 på det vårpløyde leddet sammenlignet med de andre behandlingene. Det gjaldt også for alle kornsortene. Dette kan skyldes at jordløsningen har blitt gjennomført når det har vært for vått i bakken og det har ført til en jordpakking istedenfor en jordløsning. Jordløsningen kan også ha blitt kjørt under den kritiske dybden som beskrevet av (Spoor & Godwin 1978). Dette kan sees i sammenheng i reduksjon porevolumet både i 25-35 og 35-40 cm dybde. Pløyingen kan også ha vært med og forverret pakkeeffekten.

Den høyeste gjennomsnittsavlingen for alle kornartene på det vårpløyde leddet ble tatt på uløsnet ledd, det gjaldt både for bygg og havre, men ikke for hvete. Dette kan ha en sammenheng med at det på uløsnet ledd høsten 2014 både i 25-30 og 35-40 cm dybde ble funnet det største porevolumet, laveste jordtettheten og den største andelen nyttbart vann. Høsten 2014 var skjærfastheten signifikant høyere på leddet som var uløsnet høst og vår i tillegg var det en tendens til et høyere vanninnhold. Skjærfasthet ble ikke målt under 30 cm dybde.

Infiltrasjonsmålingene viste tendenser til at den laveste infiltrasjonen ble funnet på leddet som ikke ble løsnet. Når forsøket i Rakkestad ble anlagt var det på bakgrunn av antagelser om dårlig jordstruktur på grunn av jordpakking og at nye grøfter ikke fungerte. Maskinførere med lang erfaring med grøfting i region rundt Rakkestad sier ofte at det kan ta en del tid før grøftene begynner og virke. For å hjelpe på dette kan jordløsning være en mulighet Lauritzen (2016). Dette kan sees i sammenheng med den jobben en torpedoplog gjør. Den kjøres under våte forhold når jorden er plastisk og presser jorden slik at en får en dreneringskanal. Kanalene vil lede vannet mot grøtrefyllet.

Gårdbrukeren kjørte jordløsneren på hele området rundt forsøket for å fremskynde effekten av grøftene og kan dermed ha senket grunnvannstanden på hele forsøksfeltet og dette kan også ha påvirket rutene som ikke ble løsnet. I tillegg har ikke disse blitt pakket av løsebehandlingen. Det er få sammenhenger mellom antallet skudd og hvordan det påvirker avlingen. Dette kan ha sammenheng med at det ble registrert i såradene og med korn med god spiredyktighet vil dette ikke variere mye. Hadde det dermed vært problemer med drukning kunne en fått andre resultater i skuddantallet og avling.

Avlingsresultatet i 2014 på det vårharvede leddet er motsatt, men dette er ikke signifikant. Der den laveste gjennomsnittsavlingen ble tatt på det uløsnede leddet. Det er også en gjennomgående tendens til dette for de ulike kornsortene. I dybden 25-30 cm ble det her funnet det høyeste porevolumet der det ble løsnet høst og vår, nesten likt med der det vårpløyes uten løsning. Det ble også her funnet den laveste jordtettheten og den høyeste andelen nyttbart vann i forhold til de andre behandlingene. I 35-40 cm dybde finner en ikke de samme tendensene som i 25-30 cm. Her er det høyeste porevolumet og drenerbare porevolumet funnet på leddet som ikke løsnes, i tillegg til at det her er den laveste jordtettheten. Ugrasmengden på det vårharvede leddet var jevnt over høyere enn på det vårpløyde leddet. Dette kan være med og forklare hvorfor en finner en noe lavere avling på

det vårharvede leddet. I følge gårdbrukeren selv, Lauritzen (2016) har bygg vært vanskelig å få en god avling på. Imidlertid i forsøksårene har bygg gitt forholdsvis gode avlinger, det kan skyldes at jordløsning og grøfting har ført til bedre vekstforhold for kornet. Stabbetorp (2016) uttalte at med så høye avlingsnivå er det lite utslag for jordløsning, hadde det vært et lavere avlingsnivå kunne en ha funnet andre utslag.

Tykkfasthetsmålingene under 35 cm dybde både våren og høsten 2015 lå jevnt over under 3 MPa som er begrensende for rotveksten (Håkansson & Lipiec 2000; Ide et al. 1984). Det er vanskelig å trekke sammenhenger mellom trykkfastheten og avlingstallene. Hillel (2004) skrev at trykkfastheten som begrensende for plantevekst i plogsjiktet er 3,6 MPa og i undergrunnsjord er den 4,6 til 5,1 MPa og det kan hende at resultatet her stemmer bedre med Hillel (2004) sin konklusjon. Horn og Kutilek (2009) skrev at trykkfasthet er en parameter som er dårlig til å si noe om jordpakking fordi de ikke gir noen indikasjon på poresystemet i jorden. Dermed er det å koble trykkfasthet, porer og permeabilitet mer interessant.

Avlingsresultatene sesongen 2015 viste noen av de samme tendensene som i 2014, men det var ingen signifikante forskjeller.

7.3.1 Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT) opp i mot kornavling

For å prøve en forholdsvis enkel målemetode for å si om jorden er for pakket for optimal plantevekst, som det ble etterlyst om av Riley (1986), har det blitt forsøkt å benytte verktøyet som ble utviklet av Zink et al. (2011) for å verifisere om jorden er pakket. Der grenseverdien for mettet vannledningsevne må være over 10 cm/døgn ($K_s=10\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$) og luftinnholdet må være over 5 %v/v målt ved -60 hPa sug på ($AC_{60}=5\text{ %v/v}$).

Høsten 2013 er det kun i 30-35 cm dybde der det høstløsnes at det ble funnet at jorden ikke er skadelig pakket, fordi porevolumet er over minimumsgrensen. Høsten 2014 er alle behandlingene på det vårpløyde leddet over de kritiske verdiene og jorden er ikke kritisk pakket. Det er jevnt over høye avlinger der det vårpløyes så det kan samsvare med at det er gode forhold for plantevekst. Ved vårharving havner det uløsnede leddet i klasse 3 fordi den mettede vannledningsevnen er for lav, her ble også den laveste avlingen funnet. Løsning kun om høsten havner i klasse 4 som vil si at jorden er kritisk pakket. Dette samsvarer ikke helt med avlingsresultatet der det ble tatt en noe høyere avling enn der det ikke løsnes som havner i klasse 3. I 35-40 cm dybde, er det kun der det vårpløyes i kombinasjon med løsning høst og vår at det er et porevolum over 5 % v/v, men her ble den laveste avlingen på det

vårpløyde leddet tatt, så her gir ikke verktøyet en god indikasjon. Alle de andre behandlingene havner i klasse 4. Det viser at i undergrunnen er det dårlige forhold for plantevekst. Det kan tyde på at i Rakkestad er vekstforholdene i jorden over det hardpakkede sjiktet som er viktig. Den sandigsiltjorden i undergrunnen er veldig kapillær og sørger for at plantene har en god vannforsyning i gjennom vekstsesongen.

Zink et al. (2011) setter grenseverdien for plantevekst til 5 %v/v luft ved 60 cm sug. Det sammeskrev Håkansson (1965) sitert Håkansson og Lipiec (2000) der det er god plantevekst på en mellomleire ved 5 %v/v luft. 10 % v/v luftfylteporer ved 100 cm sug setter Håkansson og Lipiec (2000) som nedre grense for plantevekst. Den nedre grensen kan variere etter jordart og sammenhengende porerskrev Håkansson og Lipiec (2000). På en sandig lettleireskrev Lindström (1990), sitert i Håkansson og Lipiec (2000), at det må være 30 %v/v luftfylteporere for å få en god nok luftpermeabilitet. Dette forklarer han med at det ikke er nok sammenhengende porer. I CVT modellen brukes både luftvolum og mettet vannledningsevne slik at flere av faktorene i jorden indirekte kommer med i vurderingen. En utvidet CVT modell som inkluderer trykkfasthet over 3 MPa ved et gitt vanninnhold slik Håkansson og Lipiec (2000) presentere, kunne ha vært et interessant studie.

8. Diskusjon - Nannestad

8.1 Jordfysiske målinger

8.1.1 Volumetriske parametre

I Nannestad ble det like etter løsning, høsten 2014 funnet en liten økning (ikke signifikant) i porevolum, drenerbart porevolum og en noe lavere jordtetthet i 20-25 cm dybde ved løsning med Dalbo Ratoon både i 35 og 45 cm dybde. For Kverneland CLE ble ikke de samme utslagene funnet, der det var en tendens til en økning i jordtetthet ved løsning ned til 45 cm. I 30-35 cm dybde ga løsning med Dalbo Ratoon og Kverneland CLE ned til 35 cm dybde en ikke signifikant økning i porevolum og drenerbart porevolum samt en reduksjon i jordtettheten. For Dalbo Ratoon på 45 cm ble det funnet en tendens til en økning i porevolum og reduksjon i jordtetthet. Der Kverneland CLE kjørt ned til 45 cm dybde ga en ikke signifikant økning i jordtettheten.

Høsten 2014 har det vært en tendens til en løsneeffekt når en ser på porevolum, drenerbart porevolum og jordtettheten, for Dalbo Ratoon i 20-25 cm og 30-35 cm dybde like etter løsning. Kverneland CLE til ulik arbeidsdybder har ikke påvirket porevolum og drenerbart porevolum vesentlig. Imidlertid førte løsning med Kverneland CLE ned til 45 cm til en økning i jordtettheten. Dette kan være et tegn på at det har skjedd en jordpakking som følge av kjøring under den kritiske jordarbeidingsdybden (Spoor & Godwin 1978).

Etter såing våren 2015 ble det for Økoskjær og Løsnetinde funnet en ikke signifikant økning i porevolum og drenerbart porevolum i tillegg til en reduksjon i jordtettheten i 20-25 og 30-35 cm dybde.. På vårharvet ledd ble det funnet et ikke signifikant lavere porevolum og drenerbart porevolum, i tillegg til en økt jordtetthet 20-25 cm dybde.

Våren 2015 ser det ut til at Økoskjæret og spesielt Løsnetinden har hatt en positiv løsnevirkning på jorden. Dette kan forklares av sålebryternes virkemåte, som løfter og løsner plogsålen uten å møte motstand fra overliggende jord. Etter at løsningen ble gjennomført har det ikke blitt kjørt med noen tunge landbruksmaskiner, og jorden var forholdsvis tørr når harving og såingen ble gjennomført.

Ved kjøring med Løsnetinden er det ingen jord over tinden, som det er for Kverneland CLE. Dette kan være med å forklare hvorfor en finner en bedre effekt av Løsnetinden. Spoor og Godwin (1978) skrev også at det er en kritisk dybde for alle tinder uansett utforming. Ved testkjøring med Løsnetinden i Spydeberg på en fuktig leirjord lagde Løsnetinden kun et snitt i jorden og en fikk ingen oppbrytning av jorden. Dette viser at løsningen må foregå når jorden er tørr nok.

Etter høsting høsten 2015 ble det funnet et signifikant høyere porevolum der det ble løsnet med Løsnetinden sammenlignet med vårpløying og vårharving, og med Økoskjær var det et signifikant høyere porevolum sammenlignet med vårharving. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller der det ble kjørt med Kverneland CLE ned til 45 cm dybde sammenlignet med ingen løsning om høsten. Det var også et signifikant høyere drenerbart porevolum for Løsnetinden sammenlignet med vårpløying og vårharving. Økoskjæret ga et signifikant høyere porevolum enn vårharving.



Figur 45. Dalbo Ratoon 35 cm dybde våren 2015



Figur 46. Kverneland CLE 35 dybde våren 2015

Dette kan enten skyldes at jorden ikke pakkes til etter pløying, noe som er viktig ifølge Soane et al. (1986). Eller som Spoor og Godwin (1978) skrev at effekten av jordløsning er sannsynlig mer permanent hvis partiklene som er forstyrret restruktureres i forhold til hverandre, istedenfor å bli løftet og senket inn til deres tidligere posisjon. Våren 2014 før såing ble det gravd profiler ned der løsneorganene ble kjørt. Der ble det ikke funnet tydelige spor etter løsning med Dalbo Ratoon, det var noen tegn i 35 cm (Figur 45) og i 45 cm dybde vist de noe bedre. Dette kan sees i sammenheng med hvordan arbeidsorganet på Dalbo Ratoon virker der jorden brytes opp og sprekker over de naturlige svakhetsplanene og ikke restruktureres som beskrevet av Spoor og Godwin (1978). For Kverneland CLE ble det funnet et mer tydelig spor både i 35 (Figur 46) og 45 cm dybde, der det så ut til at vannet hadde trukket ned i løsnesporet. Der det var en tydelig trekant som var løsnet opp. Sporet etter jordløsningen ble også funnet før våronna 2016. Løsnevingene bryter opp jorden mer og er forholdsvis høyt i bakkant av vingene slik at jorden brytes opp.



Figur 47. Spor etter Økoskjæret våren 2016



Figur 48. Spor etter Løsnetinden, grått felt over sporet er undergrunns jord som er blandet med plogsjiktet.

Håkansson og Petelkau (1994) beskriver en av funksjonene til Segmentplogen er at jord ifra plogsjiktet blandes ned i det løsnede sporet som er positivt for planteveksten. Dette er noe av forskjellen i virkemåten til økoskjæret (Figur 47) som høvler opp et lag av jorden i forhold til Løsnetinden som river opp og lager et V-formet spor som jord fra plogsjiktet og undergrunnen blandes og fylles ned i. Der en slik restrukturering skal være positivt ifølge Spoor og Godwin (1978) Ut i fra Figur 48 så ser det ut til at en har fått en slik omblanding, spesielt for Løsnetinden. Der det ble funnet spor etter både økoskjæret og Løsnetinden våren 2016.

For Økoskjæret ble det funnet løsere jord der braketten går ned i jorden og går over i en 90 graders vinkel. Der selve skjæret har gått med det to vendbare spisser ser det ut til at de har brutt opp jorden, men den har falt tilbake på samme plass. For Løsnetinden ble det funnet et forholdsvis smalt spor der tinden hadde gått med løsere jord, en fant ikke den samme V-formen som like etter løsning. Det har vært en oppbrytning og omblanding som kan sees på som positiv der røttene får et større jordvolum og utvikle seg i. Når det ble tatt ut jordprøver høsten 2015 var det tydelig at røttene hadde gått ned i det løsnede sporet, dette går frem av Figur 49. Det kan tenkes at røttene som har vokst i det nye porevolumet er med å stabiliserer jorden slik at en får en mer varig effekt, slik som Löfkvist (2005)



Figur 49. Røtter som har vokst ned i den løsnede trekanten etter Løsnetinden, dette ble funnet etter høsting.

fant i sine forsøk med bruk av luserne etter jordløsning med Økoskjær. Det har også vært en effekt av Økoskjæret igjennom vekstsesongen, men

den har ikke vært så stor. Det er viktig å merke seg at disse prøvene er tatt ut i det løsna området, der dette ble visuelt bedømt før uttak. Det er bare på disse behandlingene at det er over 10 % drenerbart porevolum, noe som er anbefalt av Håkansson og Lipiec (2000) for å ha en god plantevekst. Der det kun vårharves og ikke løsnes om høsten er det et forholdsvis lavt porevolum og drenerbart porevolum og en høy jordtetthet. Det ser ut til at løsning med Kverneland CLE ned til 45 cm har en positiv løsneeffekt der det kun vårharves.

Høsten 2014 i dybden 20-25 cm er mengden porer som kan holde på plantetilgjengelig vann (0,2 - 30 μm), størst der det ikke ble gjennomført jordløsning. Det er lavest der det løsnes med Kverneland CLE, der det ser ut til å være en økning i det ikke nyttbare vannet og en høyere jordtetthet. Her har en ikke fått en løsnevirkning, men en økning i jordtettheten og en reduksjon i det nyttbare vannet. I dybden 30-35 cm er den størst andel porer som kan holde på det plantetilgjengelige vannet der det kjøres med Dalbo Ratoon på 45 cm. Mengden ikke nyttbartvann er størst der det ble kjørt med Kverneland CLE på 45 cm dybde, her er også den høyeste jordtettheten funnet, noe av dette kan skyldes variasjon i jordart.

Våren 2015 i både 20-25 og 30-35 cm dybde var andelen porer som kan holde på plantetilgjengelig vann størst der det kun vårpløyes. Den laveste andelen av porer som kan holde på plantetilgjengelig vann er registret der det kun vårharves.

Andelen porer som holder på det ikke tilgjengelig vannet for plantene er forholdsvis jevnt for alle behandlingene i dybden 20-25 cm, men 10 cm dypere er det spesielt der det ble kjørt med økoskjær en høy andel ikke tilgjengelig vann på 27 vol %. Dette kan skyldes forskjell i jordtetthet etter jordløsningen og variasjon i jordart på forsøksfeltet.

Den største andelen drenerbare porer der det ikke ble jordløsnet om høsten ble funnet der det ble kjørt med Løsnetinden. Den laveste andelen drenerbare porer ble funnet der det kun vårpløyes. Andelen ikke plantetilgjengelig vann er høyest på det vårharvede og uløsnete leddet. Den laveste andelen ikke plantetilgjengelig vann var der det ble kjørt med Løsnetinden og i kombinasjon med Kverneland CLE på 45cm.

8.1.2 Luft-og vanntransport jorden

Høsten 2014 var det en tendens til en (ikke signifikant) økning i luftpermeabiliteten ved løsning med Dalbo Ratoon til 35 og 45 cm dybde og Kverneland CLE ned til 45 cm dybde i sjiktet 20-25cm. I 30-35 cm dybde ga løsningen med Dalbo Ratoon og Kverneland CLE ned til 35 cm dybde en økning i luftpermeabiliteten, Der det ble løsnet ned til 45 cm dybde med begge jordløsnerene var det en tendens til en noe lavere luftpermeabilitet.

Luftpermeabiliteten i både 20-25 og 30-35 cm dybde etter våren 2015 var tydelig høyere der det ble løsnet med Løsnetinden, men denne forskjellen var ikke signifikant. For de andre behandlingene var det ikke de store utslagene.

Høsten 2015 ble det funnet signifikant høyere luftpermeabilitet for løsning med Kverneland CLE ned til 45 cm dybde, sammenlignet med uløsnet ledd om høsten. Der det var en dobling i luftpermeabiliteten sammenlignet med uløsnet ledd. Den signifikant høyere luftpermeabilitet der det løsnes om høsten med Kverneland CLE kan knyttes opp imot at det har blitt dannet kontinuerlige porer, bioporer. Ifølge Heinonen (1986) er meitemarken skaper av og kjennetegn på god jordstruktur. Der deres ganger til tider er viktigere for infiltrasjon og luftveksling enn noen andre makroporer. Der den løsningen kan ha gjort jorden løsere og gjort det lettere for meitemarken å gå lengre ned i jorden.

Den største økningen i luftpermeabiliteten ble funnet for Løsnetinden, men den var ikke signifikant. Når det sees på utviklingen av luftpermeabiliteten igjennom vekstsesongen så ser det ut som at effekten av både Kverneland CLE og Løsnetinden er forholdsvis varig igjennom sesongen. Det er også viktig å få frem at disse målingene er tatt ut i det løsnete sporet, både for Kverneland CLE, Økoskjæret og Løsnetinden. Dette gir da ikke riktig inntrykk for jorden som ikke ble løsnet.

Som også skrevet tidligere er luftpermeabilitet under $3 \mu\text{m}^2$ beskrevet som begrensende for planteveksten. Høsten 2014 i 20-25 cm dybde er det god nok luftpermeabilitet på alle behandlingene, unntatt Kverneland CLE kjørt ned til 35 cm dybde og uløsnet ledd. I 30-35 cm dybde er luftpermeabiliteten større enn $3 \mu\text{m}^2$ der det løsnes med Dalbo Ratoon og Kverneland CLE ned til 35 cm dybde, på de andre behandlingene er den for lav. Våren 2015 i 20-25 cm dybde er alle behandlingene over $3 \mu\text{m}^2$, men den er lav både for Økoskjæret og vårharving. I 30-35 cm dybde er det kun for Løsnetinden tilstrekkelig luftpermeabilitet. Høsten 2015 er det tilstrekkelig luftpermeabilitet for alle behandlingene. Det er en spesielt høy luftpermeabilitet for Løsnetinden.

Löfkvist (2005) gjennomførte tilsvarende forsøk med pløying og løsning med Økoskjær, i tillegg til en kombinasjon med å tilføre brent kalk. Der førte ikke løsningen til noen økning i den mettede vannledningsevnen målt i 23-28 cm dybde, mens det ble funnet en ikke signifikant tredobling i den mettede vannledningsevnen når det ble løsnet og kalket i kombinasjon.

Jordprøvene som ble tatt ut i Nannestad ble tatt ut i den jorden som var løsnet, dette ble funnet ved å grave over på tvers av pløyeretningen og finne løsere jord som tydelig indikerte løsnesporet. Det står ikke noe om dette i forsøket til Löfkvist (2005), så om det der har vært tatt ut jord tilfeldig på forsøksrutene kan det tenkes at de ikke har målt direkte i løsnesporet. Det kan også være et tegn på at den leirjorden de gjennomførte forsøket på har en struktur som klapper sammen.

I forsøket til Löfvist ble det funnet en signifikant høyere mettet vannledningsevne der det ble gjennomført en jordløsning kombinert med luserne (*Medicago sativa*). På pakket jord sammenlignet med der det ble dyrket bare luserne eller på pakket jord som ble jordløsnet og det ble dyrket vårkorn. For videre undersøkelser så bør Løsnetinden prøves sammen med tilføring av kalk og bruk av vekster som luserne etc.

8.1.3 Jordfasthet - skjærfasthet og trykkfasthet

To uker etter løsning høsten 2014 ble det funnet en lavere skjærfasthet for alle løsnebehandlingene, men det var ikke signifikant. Løsning med Dalbo Ratoon og Kverneland CLE ned til 35 cm ga den laveste skjærfastheten målt i 0-10 cm dybde sammenlignet med de to jordløsnerene til 45 cm dybde. I 10-20 cm dybde ga Dalbo Ratoon den laveste skjærfastheten. Målingene av vanninnholdet i plogsålen viste heller ingen store forskjeller, og ingen av dem var signifikante. Forsøk gjennomført av Löfkvist (2005) viste det samme på pakket jord som ble jordløsnet viste en signifikant reduksjon i skjærfastheten i 30-40 cm dybde, fra der det ble løsnet i forhold til jord som ikke ble løsnet. I 50-60 cm dybde ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller.

I juni 2015 ble det funnet en signifikant lavere trykkfasthet i 30 cm dybde for Kverneland CLE ved løsning på 35 og 45 cm dybde sammenlignet med uløsnet ledd og Dalbo Ratoon både på i 35 og 45 cm dybde. Kverneland CLE ser ut til å ha en lav trykkfasthet i hele profilet. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i vanninnhold. Det laveste vanninnholdet i sjiktet 0-20 cm ble funnet der Kverneland CLE ble kjørt på 35 cm dybde. For Dalbo Ratoon ser det ikke ut til å være en langvarig effekt fordi målingene om høsten ikke viser det samme. For Kverneland CLE kjørt ned til 35 cm dybde, er det fortsatt en lav trykkfasthet under 35 cm dybde. Den lave trykkfastheten under der tinden har gått kan knyttes opp imot en oppfukting av jorden under løsnedybden, pga vann har trukket ned i løsne sporet. Dette kan ha ført til at jorden har blitt plastisk.

Våren 2015 før det ble pløyd, ble det gravd et profil av løsesporene. Der det ble funnet vesentlig fuktigere jord rundt og under løsesporet etter Kverneland CLE både til 35 og 45 cm dybde. Det kan se ut til at Overflatevannet rant på overflaten og trakk ned i løsesporet. Når en setter lavere trykfasthet og høyere vanninnhold opp i mot hverandre, så trenger det ikke bare være en løsere jord som måles. En reduksjon i trykfastheten kan også skyldes et høyere vanninnhold i jorden. Det høye vanninnholdet kan ha ført til at jorden ble plastisk og en får en elting rundt spissen på penetrometeret.

Høsten 2015 var det en signifikant lavere trykfasthet for Kverneland CLE enn de andre behandlingene. Det ser ut til at trykfastheten holder seg lavere for Kverneland CLE kjørt ned til 35 og 45 cm dybde. En fant ikke den samme effekten av Dalbo Ratoon, så her ser det ut til at løseeffekten av Kverneland CLE, spesielt ned til 45 cm dybde, holder seg lengre når det måles i trykfasthet.

Trykfasthetsmålingene for sålebryterne målt våren 2015 viste en signifikant høyere trykfasthet for vårharving både i 20 og 25 cm dybde sammenlignet med plogen og sålebryterne. Denne signifikante forskjellen knyttes opp imot at harven ikke har gått dypere og løst opp jorden slik som plogen har. Løsnetinden og Økoskjæret ga en noe høyere trykfasthet enn vårpløying i 20-30 cm sjiktet, men lavere trykfasthet en vårpløying under 35 cm dybde. Vanninnholdet i 0-20 cm sjiktet var høyest der det ble vårpløyd og lavest der det ble vårharvet. I sjiktet 25-40 cm var det en tendens til lavere trykfasthet for Økoskjæret og Løsnetinden sammenlignet med vårpløying. Det høyeste vanninnholdet ble målt der det vårpløyes eller kjøres med Løsnetinden og det laveste vanninnhold der kjøres med Økoskjær eller vårharves. Det kan se ut til at vannet samler seg i sporet etter Løsnetinden.

Høsten 2015 ble det funnet signifikant høyere trykfasthet for vårharving sammenlignet med de andre behandlingene i 20 cm dybde. I 30-45 cm dybde ser det ut til at sålebryterne ligger noe under vårpløying i trykfasthet.

I forsøk med pløying kombinert med løsning (Soane et al. 1986) med Wye Doubledigger kjørt ned til 45 cm dybde på en sandig jord, var det en tydelig reduksjon i trykfastheten der det ble kjørt med Wye Double Digger sammenlignet med ubehandlet jord. Löfkvist (2005) fant en signifikant reduksjon i trykfastheten både det første og andre året det ble kjørt med Kverneland Økoskjær sammenlignet med der det ikke ble kjørt.

Det tredje året fant de også en signifikant reduksjon i trykkfastheten der det ble kjørt med Økoskjær, både når det ble kjørt bare første året, første og andre år og når det ble kjørt alle årene. Det ble ikke funnet noen signifikant forskjell mellom behandlingene der det ble kjørt med Økoskjæret hvert år, eller bare første år. Ut ifra dette kan det se ut til at jordløsning hvert eneste år ikke vil føre til en enda bedre jordstruktur. Det er viktigere å gjennomføre en jordløsning under gode forhold de årene det er mulig og prøve å ta vare på løsneeffekten så lenge som mulig.

Sammenligner en trykkfasthet etter sålebryterne og Kverneland CLE til 35 og 45 cm dybde så ligger Kverneland CLE tydelig under sålebryterne. Dette er litt motstridende i forhold til hva Soane et al. (1986) har funnet der det på jord som først ble løsnet for så å bli pløyd, viste en tendens til en høyere trykkfasthet når en kom under 30 cm dybde sammenlignet med pløying kombinert med Wye Double digger som løsner opp plogsålen. Løsning etter pløying ga den aller laveste trykkfastheten.

Trykkfastheten ble målt tilfeldig på de ulike forsøksrutene. Dette er derfor ikke sikkert en alltid treffer lønesporene etter sålebryterne. Dette kan være med å kamuflere den reduserte trykkfastheten. Det er heller ikke tatt ut vanninnholdsprøver i alle dybdene. For å ha fått vanninnhold og trykkfastheten i alle dybder kunne bruk av et penetrometer kombinert med TDR målinger vært en mulighet. Et slikt penetrometer er beskrevet av Vaz og Hopmans (2001). Da kunne en brukt vanninnhold til å korrigere trykkmotstanden.

8.2 Planteanalyser

8.2.1 Kornavling

I Nannestad ble det ikke funnet signifikante forskjeller i kornavling for de ulike behandlingene. De statistiske analysene viste at det var signifikant forskjell mellom de to gjentakene. Der gjennomsnittsavlingen på gjentak 1 som var sørvendt var 634 kg/daa og det nordvendte var 559 kg/daa. Dette kan være med å kamuflere noe av effekten til de ulike løsnebehandlingene.

På vårpløyd ledd for de ulike jordløsneren ble den laveste avlingen funnet på det leddet som ikke løsnes (542 kg/daa), Den høyeste avlingen ble tatt ved løsning ned til 35 cm dybde med Kverneland CLE (634 kg/daa), avlingen går noe ned når en løsnes ned til 45 cm dybde (613 kg/daa).

Ved løsning med Dalbo Ratoon ble også her den høyeste avlingen funnet der det løsnes ned til 35 cm dybde (586 kg/daa) og en liten nedgang når det løsnes ned til 45 cm dybde (567 kg/daa). På vårharvet ledd i kombinasjon med jordløsnerene på høsten ble den høyeste avlingen funnet der det ble løsnet med Kverneland CLE ned til 35 cm (661 kg). Den laveste avling var der det kun var harvet og ikke løsnet. Der det løsnes på det vårharvede leddet er det en avlingsøkning sammenlignet med uløsnet om høsten. Dette kan sees opp imot det Riley (1983a) fant på bakkeplanert leirjord der det var en signifikant økning i avling der det ble kjørt med Paraplow på jord som ikke var pløyd i forhold til ingen kjøring med Paraplow. Der var det forholdsvis lave avling. Det ble også i det forsøket kjørt Paraplow før pløying, der ble det ikke funnet en effekt av Paraplow. Dette ble knyttet opp imot at sprekkesystemet har blitt ødelagt etter pløying.

For behandlingene om våren så var det vårharving som ga den laveste avlingen (435 kg/daa), Løsnetinden ga den høyeste avlingen (636 kg/daa). Løsnetinden sammenlignet med vårpløying ga en avlingsøkning fra 542 til 636 kg/daa. En grunn til denne avlingsøkningen for Løsnetinden kan være at plogsålen har blitt løsere ved sålebryting og gitt bedre forhold for plantevekst. Det ser også slik ut ifra at det også var mest nyttbart vann og den høyeste luftpermeabiliteten der det ble kjørt med Løsnetinde montert på plog.

Forsøk gjennomført av Löfkvist (2005) med pløying kombinert med Økoskjær og kalking første år, viste signifikant høyere avling etter 4 år. Pløying med Økoskjær hvert år hadde den laveste avling også i forhold til det ubehandlede feltet. Dette den samme tendensen som pløying med Økoskjæret som ikke ga mer en 18 kg/daa mer avling enn vanlig pløying. Danske forsøk gjennomført av Hansen 1971, referert i Hansen (1986) viste liten effekt av løsning av plogsålen. Løsnetinden ga en vesentlig bedre avlingsøkning der avlingen økte med 94 kg/daa. Håkansson og Petelkau (1994) viser tilsvarende resultater med bruk av Segmentplog sammenlignet med vanlig jordløsning der det var en tendens til økning i avling der det ble delvis løsnet med Segmentplogen. Denne effekten var også mer varig, og ble registrert både det fjerde og femte året etter løsningen med Segmentplog, der effekten av vanlig jordløsning nesten var helt borte. Segmentplogen jobber på den måten at den skjærer et 10 cm bredt snitt med en kultivatortinde, der det løsnete sporet fylles med jord fra plogsjiktet (Håkansson & Petelkau 1994). På den måten ble det en vei for røttene ned i dypere jordlag og uløsnete delen av undergrunnsjord tar vekten fra maskinene.

Schjønning (1986) og Riley 1983 viste at jordløsning under våte forhold har en negativ effekt på avlingen. Jordløsningen i Nannestad ble utført under tørre og fine forhold høsten 2014 og våren 2015, og dette kan være grunnen til den at en finner en positiv avlingsøkning på det forsøksfeltet.

8.2.2 Verktøy for å verifisere jordpakking (CVT)

Å benytte verktøyet som ble utviklet for å verifisere jordpakking, er nyttig for å kunne se hvordan viktige parameter i jorden påvirkes når jorden løsnes.

Ifølge pakkeindeksen er det ingen kritisk jordpakking 20-25 cm dybde etter løsning om høsten 2014 i Nannestad. Det er en litt lav mettet vannledningsevne der det løsnes med Kverneland CLE ned til 35 cm dybde. I 30-35 cm dybde førte løsning med Dalbo Ratoon og Kverneland CLE ned til 35 cm dybde at jorden ikke havnet i klassen kritisk pakket jord. På uløsnet ledd og begge jordløsnerene ned til 45 cm dybde kommer i klasse 4 som er kritisk pakket jord. Dette er med og underbygger tanken om at det har skjedd en jordpakking når det ble kjørt på 45 cm dybde. I 30-35 cm dybde i juni 2015 var det kun løsning med Løsnetinden som ga gode nok forhold for plantevekst. De andre behandlingene havnet i klassen 4, kritisk pakkeskadet jord.

Høsten 2015 havner vårpløying i klasse 4, for kritisk pakket jord. Vårharving havner i klasse 2 fordi porevolumet er for lavt i forhold til grenseverdien. Økoskjæret og Løsnetinden havner i klasse 1. Der det løsnes med Kverneland CLE ned til 45 cm dybde om høsten havner alle behandlingene om våren i klasse 1.

Målingene høsten 2015 viste at det så ut til at både pakkeskadene og den kritiske pakkingen er noe rettet opp igjennom vekstsesongen. Prøvene er ikke tatt ut i akkurat samme dybde, så dette kan ha noe betydning. En annen sak kan være at plantevekst igjennom vekstsesongen kombinert med tørking og oppsprekking i jorden har vært med å forbedret de jordfysiske parameterne.

Den høye avlingen med Kverneland CLE kjørt ned til 35 cm (634kg/daa) kan sees opp imot at det her er drenerbart porevolum over minimumskravet for plantevekst og en veldig høy mettet vannledningsevne i 30-35 cm dybde. Her ble det også funnet en lav trykkfasthet både vår og høst. En trykkfasthet over 3 MPa anses i litteraturen som begrensende for rotveksten (Håkansson & Lipiec 2000; Ide et al. 1984).

For Dalbo Ratoon kjørt ned til 35 cm (586 kg/daa) dybde er drenerbart porevolum og en vannledningsevne som er over kravene til Zink et al. (2011). Så her kan det se ut til at trykkfasthet over 3 MPa påvirker avlingen negativt der de måles til å være høye både i juni og oktober. Det kan også tenkes at dette er et hardt sjikt på de to rutene dette leddet ligger på. Den laveste avlingen (547 kg/daa) for de ulike høstbehandlingene ble tatt på uløsnet rute er der det kun pløyes. Dette kan sees opp i mot lavt drenerbart porevolum og lav mett vannledningsevne, i tillegg er det en trykkfasthet på 2,9 MPa i 35 cm dybde som er like under den kritiske grensen for god rotvekst.

Sammenligning av resultatet av CVT, trykkfasthet og avling, på det vårharvede leddet uten løsning kan forklare den lave avlingen (435 kg/daa) pga drenerbart porevolum under 5 %, i 20-25 cm dybde. Løsnetinden ga høyest avling (636 kg/daa), dette passer bra med at jorden er i klasse 1. Avlingen både der det vårpløyes med Økoskjær (560 kg/daa) og uten Økoskjær (542 kg/daa) er en god del lavere enn Løsnetinden (636 kg/daa). Det kan henge sammen med at drenerbart porevolum og mett vannledningsevne er så lavt at de havner i klasse 4. Det samme gjelder det vårharvede leddet (435 kg/daa) som havner i klasse 2 i 20-25 cm og klasse 4 i dybden 30-35cm sammenlignet med Løsnetinden (636 kg/daa) som havner i klasse 1 i begge dybdene.

8.3 Trekkraftmåling

Trekkraftmålingene som ble gjennomført høsten 2015 på Ås viste et trekkraftbehov for plog som var 5,8 kN per arbeidsorgan, for Økoskjæret og Løsnetinden var det en signifikant økning i trekkraftbehovet, det økte henholdsvis til 7,1 og 7,8 kN per arbeidsorgan. Kraften er da fordelt slik at det er sålebryter montert på annenhver plogkropp, f.eks. en fireskjærs plog har da påmontert sålebryter på annenhver kropp. For Kverneland CLE kjørt ned til 35 cm dybde er det 8,7 kN pr arbeidsorgan.

Forsøket med en rettindet jordløsner ned til 35 cm dybde gjennomført av Spoor og Godwin (1978) viste et trekkraftbehov på 20,4 kN, ved løsning ned til 42 cm økte det til 40 kN. Ved løsning ned til 35 cm dybde førte montering av løsnevinger, som enten var 30 eller 42 cm brede, til en økning i trekkraftbehovet, henholdsvis til 26,6 og 28,7 kN. Ser en dette opp imot Kverneland CLE på 35 cm dybde ser det ut til at den har et vesentlig lavere trekkraftbehov i disse målingene. Dette kan da sees opp imot variasjon i jordart og hastighet mellom de

forsøkene. Der Kverneland CLE er mest lik den rettindet jordløsneren med en vinge på 30 cm bredde.

Det totale trekkraftbehovet (kraften per meter arbeidsbredde) for plog var 14,3 kN/m, mens det økte ganske så vesentlig ved montering av Økoskjær (17,4 kN/m) eller Løsnetinde (18,9 kN/m). For de ulike sålebryterne sammenlignet med plogen er det ikke så rart at det totale trekkraftbehovet øker siden arbeidsbredden for de ulike sålebryterne er lik, men sålebryterne jobber dypere ned i jorden. Kverneland CLE komme spesielt god ut med et lavt totalt trekkraftbehov (9,5 kN/m) siden den har en stor arbeidsbredde. Gustafsson et al. (2003) viste et totalt trekkraftbehov for plog som på en fuktig stiv leirjord på 21 cm dybde viste et totalt trekkraftbehov på 18,5 kN/m mens det på en fuktig lett sandjord var det totale trekkraftbehovet 15,8 kN/m. For kultivator på 21 cm dybde på en stiv leirjord under fuktige forhold er totalt trekkraftbehov 11,9 kN/m mens på en lett sandjord er det 8,5 kN/m. Dette forklarer (Gustafsson et al. 2003) med at kultivatoren ikke bearbeider like mye jord som plogen.

Det spesifikke trekkraftbehovet (kraften fordelt på bearbeidede areal) for vårpløying som var 72,0 kN/m². Dette er ganske likt resultatene til Gustafsson et al. (2003) som ved pløying på stiv jord under fuktighet forhold ga et spesifikt trekkraft behov på 81,8 kN/m², på lettere jord ble det funnet et spesifikt trekkraftbehov som var på 74 kN/m².

Der det er en liten økning i det spesifikke trekkraftbehovet der det kjøres med Økoskjær (78,2 kN/m²) og Løsnetinden (84,2 kN/m²). Økningen i det spesifikke trekkraftbehovet der det kjøres med sålebryterne kan sees i sammenheng med at de bearbeider jorden mer som en kultivator enn en plog og at sjiktet under vanlig plogdybde har stor fasthet. Forsøk gjennomført av Gustafsson et al. (2003) viste at det spesifikke trekkraftbehovet for en kultivatorharv kjørt ned til 21 cm jevnt over var høyere enn plogen. For Kverneland CLE kjørt på 35 cm ble det funnet et veldig lavt spesifikt trekkraftbehov (41,4 kN/m²). Dette kan sees i sammenheng med hvordan virkemåten til Kverneland CLE som bryter opp jorden, men ikke blander den.

Spoor og Godwin (1978) fant et spesifikt trekkraftbehov for de rettindet jordløsner på 35 cm dybde til å være 208 kN/m² ved montering av vinger som enten var 30 eller 40 cm brede ble det spesifikke trekkraftbehovet redusert til 144 og 143 kN/m². Ved løsning ned til 42 cm dybde var det spesifikke trekkraftbehovet 459 kN/m². Ved montering av vinger som enten

var 30 eller 40 cm brede ble det spesifikke trekkraftbehovet redusert til 161 og 175 kN/m². Ut ifra dette kan en se at det å montere løsnevinger har en positiv effekt på det å redusere det spesifikke trekkraftbehovet.

Fremdriftshastigheten var noe lavere der det ble kjørt med Kverneland CLE og kan være med og forklarer noe av det lave spesifikke trekkraftbehovet. Dette kan sammenlignes med forsøkene til Davies et al. (1993) der trekkraftbehovet økte med 50 % når hastigheten økte ifra 4,8 til 9,6 km/t. Fremdriftshastigheten var ikke så forskjellig at det kan den store forskjellen i det spesifikke trekkraftbehovet i målingene.

Kverneland CLE har det desidert laveste trekkraftbehovet, men for denne redskapet må det gjøres en sekundær jordarbeiding, så det totale energi forbruket her avgjøres da om det pløyes eller sås direkte etter løsningen.

9. Samlet diskusjon

9.1.1 Feltene

Få signifikante forskjeller på to de forsøksfeltene på porevolum, drenerbart porevolum og jordtetthet kan det skyldes flere faktorer. En årsak kan være at jordløsningen har hatt en helt minimal effekt på jorden, eller at det ikke har vært behov for jordløsning. Feltvariasjonen kan være større enn variasjon i selve løsnebehandlingen, dette kan være med å ødelegge for statistikken.

De to forsøksfeltene er forholdsvis ulike. I Rakkestad er det en litt spesiell jordart der det øverste jordlaget (35 -40 cm) inneholder mye organisk materiale, mens det er en veldig tett undergrunnsjord med en trykkfasthet langt over 3 MPa. På dette forsøksfeltet ser det ut til at for mye vann kan være den største begrensingen for planteveksten. I tørre periode vil den kapillære siltjorden under toppsjiktet bidra med vann til den organiske jorden. Jordløsningen kan se ut til å ha fungert mer som en torpedoplog (mole drain) og bidratt til bedre drenering ved å lede vannet til grøftene. Veksts sesongen i 2014 og 2015 var forholdsvis tørre og ganske så lik normalen. Målingene av grunnvannstand viste at grunnvannet i perioder stod 30-40 cm under jordoverflaten. I 2013 var det et vesentlig våtere år med mer nedbør, der det nesten ikke var høstbar avling på området der forsøksfeltet ble anlagt. Om virkelig jordløsningen har bedret dreneringsforholdene er ikke sikkert, men etter nedbør sank grunnvannsnivået ganske raskt. Ved et vått år kunne en registret andre forskjeller.

I Nannestad er det en jord som er tett og pakket fra naturen sin side, men også i forbindelse med gjennomføring av bakkeplanering. Jordløsningen ser ut til å ha hatt en litt annen effekt enn i Rakkestad, her har den har brutt opp jorden. Slik at det ble lettere for røttene å vokse lengre ned i jorden og at de hadde bedre tilgang på vann. Kombinasjonen av jordløsning og vårharving ser ut til å være positiv for avlingen sammenlignet vårharving uten løsning. Det kan også se ut til at Løsnetinden har klart å lage et spor, slik som Kooistra og Boersma (1994) konkluderte med at er den beste måten å løsne opp plogsålen. De foreslår det å montere en kultivatortinde på plogen som løser opp plogsålen de årene det er laglige forhold i jorden, antas å være en gunstig løsning. De skrev at det sporet som brytes opp, er for smalt til å bli pakket til i løpet av et par år fra hjulene på landbruksmaskiner. Før jorden blir pakket til igjen vil vertikale rotkanaler være laget som opprettholder et minimum av jordfysiske forhold. Løsnetinden jobber også på samme måte som Segmentplogen. Løsnetindene lager

et forholdsvis smalt snitt der det er skuldre på begge sider av snittet som fortsatt har en høy trykkfasthet. Sporene ser ut til å kunne ta mye av belastningen ved kjøring, slik at jorden ikke pakkes til i det løsnede sporet. Den samme virkemåten beskriver Håkansson og Petelkau (1994) om Segmentplogen. Våren 2016, et år etter løsning med sålebryterne, var det tydelig spore etter Løsnetinden (Figur 48), mens sporene etter Økoskjæret ikke var fullt så tydelig (Figur 47).

Soane et al. (1986) konkluderte med at der det kjøres jordløsning før pløying på en jord med grov tekstur, kan overkjøring på jorden føre til en igjen pakking. For å unngå dette anbefales det å kjøre med lett utstyr etter at jordløsningen. I Rakkestad hvor det ble funnet en reduksjon i porevolum høsten etter jordløsningen, kan årsaken være at jorden ble pakket igjen ved kjøring med for tungt utstyr i forhold til jordens bæreevne. I Nannestad ser det ut til at det ble kjørt med lett utstyr, eller at jorden har vært tørr nok til ikke å bli pakket.

9.1.2 Jordløsnerene

Jordløsning med Dalbo Ratoon i Rakkestad kombinert med vårpløying har en negativ effekt på avlingen. Dette kan skyldes igjen pakking av jorden etter pløying, og denne effekten er synlig også i andre vekstsesong. Ved å bruke Dalbo Ratoon der det kun vårharves, ser det ut til å ha gitt en gunstig effekt på avlingene og en finner ikke den samme igjen pakkingen i jorden. I Nannestad ser det ut til at løsning med Kverneland CLE ga en noe høyere avlingsøkning i forhold til Dalbo Ratoon. På vårpløyd ledd ser det ut til at jordløsning ned til 35 cm dybde ga den høyeste avlingen og er tilstrekkelig. Når det ble løsnet ned til 45 cm dybde kan det se ut til at det har skjedd en jordpakking på grunn av løsning under kritisk dybde. Det samme fant Spoor og Godwin (1978) i forsøk med en rettindet jordløser, der de økte arbeidsdybden fra 35 cm til 42 cm. Det kunne se ut til at jordløsneren jobbet under kritisk dybden når den gikk på 42 cm. For de to sålebryterne ga Løsnetinden jevnt over den høyeste avlingen. Her ble det også funnet en høyere luftpermeabilitet og drenerbart porevolum i lønesporet. Der dette kan sees i sammenheng med at løsnetinden jobber nesten dobbelt så dypt i jorden i forhold til Økoskjæret, og bryter opp jorden på en litt annen måte.

Trekraftmålingene av de ulike løsnemetodene viste at Løsnetinden har det høyeste totale trekkraftbehovet per meter arbeidsbredde, og i tillegg det høyeste spesifikke trekkraftbehovet som er for det bearbejdede jordarealet. Økoskjæret har et noe lavere totalt og specifikt trekkraftbehov, plogen uten sålebrytere har det laveste trekkraftbehovet.

Kverneland CLE har det desidert laveste trekkraftbehovet per meter arbeidsbredde, men for denne redskapet må det gjøres en sekundær jordarbeiding. Dermed vil det totale energiforbruket med denne avgjøres om det pløyes eller såes direkte etter løsningen.

9.1.3 Bruken av CVT etter jordløsning

I Rakkestad var det på det vårpløyde leddet ingen tydelige sammenhenger i CVT. Den høyeste avlingen ble tatt på leddet der luftinnholdet var under grensen for plantevekst, fremsatt av Zink et al. (2011). På det vårharvede leddet var det en liten tendens til en sammenheng, der den laveste avlingen ble tatt på det leddet som havnet i klasse 3.

I Nannestad ser det ut til å være en sammenheng mellom CVT og avling. Det vårharvede leddet havnet i klasse 2 for nest minst pakking, her ble også den laveste avlingen funnet. På dette leddet var trykkfastheten over 3 MPa allerede i 25 cm dybde, så det kan se ut til at trykkfastheten bør være med i en evaluering av jordens pakkingsstatus. Den høyeste avlingen ble funnet for Løsnetinden, og det korresponderer med at dette var den eneste behandlingen som havnet i klasse 1 i 30-35 cm dybde. Det var også for Løsnetinden en trykkfasthet under enn 3 MPa i hele målområdet.

Horn og Kutilek (2009) skrev at trykkfasthet er en parameter som er dårlig til å si noe om jordpakking, fordi det gir ingen indikasjon på poresystemet i jorden. Imidlertid ved å bruke trykkfasthet i kombinasjon med mettet vannledningsevne og drenerbart porevolum, får en bedre vurdering av jordkvaliteten med hensyn på pakking. En pakkingsmodell basert på flere parameter, slik Håkansson og Lipiec (2000) har presentert i sin Figur 1 i litteraturstudiet. Der de tar med trykkfastheten i jorda ville vært med og styrket en slik modell. Det å ta ut trykkfasthet målinger er heller ikke veldig arbeidskrevende sammenlignet med prøver for å måle porevolum og mettetvannledningsevne.

10. Konklusjon

Ut fra resultatene ser det ut til at årsaken til dårlig vekst i Rakkestad, skyldes begrenset dreneringsevne. For mye vann kan være den største begrensingen for planteveksten. I tørre perioder vil den kapillære siltjorden under toppsjiktet bidra med vann til plantene. Jordløsningen kan se ut til å ha fungert mer som en torpedoplog (mole drain), og bidratt til bedre drenering ved å lede vannet til grøftene. Jordløsning høst og vår på det vårpløyde leddet ga en signifikant reduksjon i kornavling i 2014, og det var samme tendens i 2015. Denne reduksjonen ser ut til å skyldes pakking ved pløying. Jordløsning har hatt en positiv effekt på avlingsnivået ved vårharving. Ingen av kornartene (bygg, havre og vårhvete) skilte seg ut i forhold til jordløsning.

Jordløsning på bakkeplanert jord i Nannestad hadde en tendens til økning i kornavling. Jordløsning ned til 35 cm ser ut til å være tilstrekkelig. Jordløsning ned til 45 cm dybde kan ha vært under kritisk dybde, der en fikk en pakking i dypere sjikt. Løsnetinden virket til å ha en god effekt, og ga den høyeste kornavlingen (ikke signifikant). Det var også en positiv effekt i de jordfysiske forholdene i selve løsnesporet. Effekt av Løsnetinden syntes å være mer varig, og dette har nok sammenheng med omblanding av jorden i plogsålen. Løsnetinden lager et forholdsvis løst og smalt spor, der de uløsnede sidekantene tar av for vekten av landbruksmaskinene ved overkjøring og hindrer at den løsnede jorden pakkes til.

Resultatene av jordløsning i disse to forsøkene viste ingen entydig positiv effekt hverken på jordfysiske forhold eller på kornavling.

Trekraftmålingene viste at jordløsning med sålebrytere montert på plogen øker energibehovet sammenlignet med vanlig pløying. Kverneland CLE hadde et lavere trekkraftbehov enn plogen, denne forskjellen knyttes til måten de bearbeider jorda.

CVT-modellen som klassifiserer jorden etter hvor mye den er pakket ut fra drenerbart porevolum ved 50 cm dreneringssug (-50 hPa, $AC=5\%$ v/v) og mettet vannledningsevne ($K_s = 10 \text{ cm} \times \text{d}^{-1}$), ble prøvd ut og sammenlignet opp i mot avling. I Rakkestad korrelerte den dårlig i forhold til kornavling. I Nannestad var det enkelte sammenhenger i forhold til kornavling. Denne modellen har et potensiale, men bør videreutvikles og flere parametere, slik som trykkfasthet bør inkluderes.

Det er vanskelig å utføre mange nok målinger for å få sikre og gode gjennomsnittstall for forsøksopplegg med jordløsning. Det er ofte bare deler av jorda som løsnes og andre deler blir ikke påvirket eller pakket. Når feltvariasjonen i tillegg er stor, slik som i Nannestad, er det en utfordring å ta mange nok prøver. Det er i tillegg ikke nok å se effekten av jordløsningen bare det første året. Slike forsøk bør derfor gå over 3 vekstsesonger før en kan konkludere.

Ut fra resultatene fra disse forsøkene, er det ikke lett å gi råd om jordløsning fordi det ikke er en entydig effekt på jordfysiske forhold eller avlingsutslag. Trekkraftmålingene viste at jordløsning er energikrevende og kostbart. Derfor kunne det vært ønskelig å ha enkle måleparameter som sier noe om pakkingstilstanden i jorda og om det er behov for jordløsning.

Videre forskning på mekanisk jordløsning bør kombineres med andre tiltak, for eksempel å så vekster med kraftig rotsystem. Muligheten for å gjennomføre jordløsning kombinert med nedfelling av halm, kalk eller annet drenerende og/eller stabiliserende materiale bør undersøkes videre.

Et teknisk framskritt for framtiden vil være å ha en hydraulisk styrt Løsnetinde, som enten kan opereres av sjåføren eller GPS-kart basert på jorddata, som tar hensyn til trykkfasthet og CVT. Dette vil være en god løsning, som ikke krever høyere trekkraftbehov enn nødvending, og jorden løsnes kun der det er behov.

11. Litteraturliste

- Abrahamsen, U., Waalen, W. & Brodal, G. (2016). Vekstskifte i korndyrkingen.
- Alakukku, L. (1996a). Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil and Tillage Research*, 37 (4): 211-222.
- Alakukku, L. (1996b). Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils. *Soil and Tillage Research*, 37 (4): 223-238.
- Alakukku, L. (1997). *Long-term Soil Compaction Due to High Axle Load Traffic*: Agricultural research centre of Finland.
- Alakukku, L., Weisskopf, P., Chamen, W. C. T., Tijink, F. G. J., van der Linden, J. P., Pires, S., Sommer, C. & Spoor, G. (2003). Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 1. Machine/soil interactions. *Soil and Tillage Research*, 73 (1–2): 145-160.
- America, S. S. A. o. (2016). Glossary of Soil Science Terms. <https://www.soils.org/publications/soils-glossary#> (lest 13.01).
- Andersen, M. N., Munkholm, L. J. & Nielsen, A. L. (2013). Soil compaction limits root development, radiation-use efficiency and yield of three winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science*, 63 (5): 409-419.
- Arvidsson, J. (1999). Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. *Plant and Soil*, 208 (1): 9-19.
- Arvidsson, J. & Håkansson, I. (2014). Response of different crops to soil compaction—Short-term effects in Swedish field experiments. *Soil and Tillage Research*, 138: 56-63.
- Bengtsson, I. (1986). *Jordpackning: skördepåverkan - motåtgärder - ekonomi*. *Jordpackningsskador I Fältmässig Köksväxtodling* NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187 s.
- Bilodeau, M. (2015). *A guide to Successful Subsoiling*: Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+) of Cégep de Victoriaville.
- Brandsæter, L. O., Bakken, A. K., Mangerud, K., Riley, H., Eltun, R. & Fykse, H. (2011). Effects of tractor weight, wheel placement and depth of ploughing on the infestation of perennial weeds in organically farmed cereals. *European Journal of Agronomy*, 34 (4): 239-246.
- Børresen, T. & Njøs, A. (1986). *Jordpackning: skördepåverkan - motåtgärder - ekonomi*. *Oversikt over noen norske forsøk med jordpakking*. NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187 s.
- Børresen, T. (1999). The effect of straw management and reduced tillage on soil properties and crop yields of spring-sown cereals on two loam soils in Norway. *Soil and Tillage Research*, 51 (1): 91-102.
- Børresen, T. & Haugen, L. E. (2003). *Jordfysikk, Øvelseskurs JORD221 Felt- og Laboratorieøvelser*. Norges landbrukshøgskole.
- Børresen, T. (2004). *Jordarbeiding: kompendium for JORD220*. Ås: Landbruksbokhandelen. 134 bl. s.
- Colombi, T. & Walter, A. (2016). Root responses of triticale and soybean to soil compaction in the field are reproducible under controlled conditions. *Functional Plant Biology*, 43 (2): 114-128.

- Copas, M. E., Bussan, A. J., Drilias, M. J. & Wolkowski, R. P. (2009). Potato Yield and Quality Response to Subsoil Tillage and Compaction All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. *Agron. J.*, 101 (1): 82-90.
- Crawley, M. (2007). *The R Book* John Wiley & Sons. Chichester, UK.
- Dal-Bo. (2016a). *Ratoon*. <http://www.dal-bo.dk/Billeder---video-323281?ElmPhotoID=654321> (lest 25.01).
- Dal-Bo. (2016b). *Ratoon*. <http://www.dal-bo.dk/Ratoon> (lest 21.01).
- Dal-Bo. (2016c). *Ratoon Tekniske data*. <http://www.dal-bo.dk/Tekniske-data-323282> (lest 26.01).
- Davies, D. B., Eagle, D. J. & Finney, J. B. (1993). *Soil management*: Farming Press Books.
- Devices, D.-T. (2016). <http://www.delta-t.co.uk/product-display.asp?id=ML3%20Product&div=Soil%20Science> (lest 20.01).
- Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F. & Böhm, W. (1983). Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage Research*, 3 (3): 261-275.
- Eijkelkamp, S. W. (2016a). *Penetrologger*. <https://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/penetrologger-set-a.html> (lest 20.01).
- Eijkelkamp, S. W. (2016b). *Set for pF-determination with ceramic plates*. <https://en.eijkelkamp.com/products/laboratory-equipment/related-set-for-pf-determination-with-ceramic-plates.html>.
- Elonen, P. (1986). *Jordpackning: skördepåverkan - motåtgärder - ekonomi*. *Jordpackning - Ett Problem I Finsk Äkerodling*. NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187 s.
- Enger, S. (1989). *Jordpakking og jordløsning : virkningen av mekanisk jordløsning på jord med ulik pakkingsgrad : hovedoppgave ved Norges landbrukshøgskole*. Ås: S. Enger.
- 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)*.
- Fendt. (2016). *Press releases*. http://www.fendt.com/int/press_pressreleases_9826.asp (lest 13.01).
- GEONOR. (2016). *Målesnelle*. <http://geonor.no/malersnelle/> (lest 23.01).
- Godwin, R., Spoor, G. & Leeds-Harrison, P. (1981). An experimental investigation into the force mechanics and resulting soil disturbance of mole ploughs. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 26 (6): 477-497.
- Green, R. & Fordham, S. (1975). A field method for determining air permeability in soil. *Technical Bulletin, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (UK)*: 273-287.
- Gustafsson, K., Arvidsson, J. & Keller, T. (2003). *Dragkraftsbehov för plog, kultivator och tallriksredskap vid olika markvattenhalter*: Sveriges lantbruksuniv.
- Hansen, L. (1986). *Jordpackning: skördepåverkan - motåtgärder - ekonomi*. *Jordpakning og jordløsning i Danmark*. NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187 s.
- Heinonen, R. (1986). *Jordpackning: skördepåverkan - motåtgärder - ekonomi*. *Sjävläkning i marken*. NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187 s.
- Hillel, D. (2004). *Introduction to Environmental Soil Physics*: Elsevier Academic Press.
- Horn, R., Domżzał, H., Słowińska-Jurkiewicz, A. & van Ouwerkerk, C. (1995). Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil and Tillage Research*, 35 (1-2): 23-36.
- Horn, R. & Kutilek, M. (2009). The intensity–capacity concept—How far is it possible to predict intensity values with capacity parameters. *Soil and Tillage Research*, 103 (1): 1-3.

- Håkansson, I. (1965). Studies into the structure of the topsoil in a field with an uneven crop. *GrundfoÈrbaÈttring*, 18: 121-136.
- Håkansson, I., Voorhees, W. B. & Riley, H. (1988). Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil and tillage research*, 11 (3): 239-282.
- Håkansson, I. & Petelkau, H. (1994). Chapter 20 - Benefits of Limited Axle Load. I: Soane, B. D. & Ouwerkerk, C. v. (red.) b. Volume 11 *Developments in Agricultural Engineering*, s. 479-499: Elsevier.
- Håkansson, I. (2000). Packning av åkermark vid maskindrift.
- Håkansson, I. & Lipiec, J. (2000). A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, 53 (2): 71-85.
- Ibrahmi, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A. & Mouazen, A. M. (2015). Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 2. Experimental validation with soil bin test. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117: 268-275.
- Ide, G., Hofman, G., Ossemerct, C. & Van Ruymbeke, M. (1984). Root-growth response of winter barley to subsoiling. *Soil and tillage research*, 4 (5): 419-431.
- imc. (2016). *imc CRONOS-SL2*. <http://www.imcdataworks.com/products/measurement-hardware/imc-cronos-sl/models/> (lest 20.01).
- Kooistra, M. & Boersma, O. (1994). Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams: loosening practices and effects. *Soil and Tillage Research*, 29 (2): 237-247.
- Kooistra, M. J. & Tovey, N. K. (1994). Chapter 5 - Effects of Compaction on Soil Microstructure. I: Soane, B. D. & Ouwerkerk, C. v. (red.) b. Volume 11 *Developments in Agricultural Engineering*, s. 91-111: Elsevier.
- Kronos. (2016). *Harrows*. <http://www.kronos.fi/harrows> (lest 21.01).
- Kverneland, G. (2014a). *Kverneland CLE*.
- Kverneland, G. (2014b). *Kverneland Ploger, Kjent for robust, enkelt og brukervennlig design*. <https://www.felleskjopet.no/contentassets/.../2015-brosjyre-vendeplog.pdf> (lest 26.01).
- Kverneland, G. (2014c). *Spare part manual model E - 120*. https://www.kvgportal.com/W_global/Media/w/KV_Klepp/Old%20spare%20part%20books%20PDF/E-3-120.pdf (lest 20.01).
- Lamandé, M., Berisso, F. E., Alakukku, L., Wildenschild, D. & Schjønning, P. (2012). Subsoil compaction of a clay soil persists three decades after heavy wheel traffic. *Njff Report*.
- Lane, M. R. (1980). *The story of the steam plough works: Fowlers of Leeds*: Northgate Publishing Company.
- Lindström, J. (1990). *Methods for measurement of soil aeration*: Sveriges Lantbruksuniv.
- LMT. (2016). *NIBIO Landbruksmeteorologisk Tjeneste* http://lmt.nibio.no/weatherstations/37/table?from_date=21.01.2016&id=37&log_interval=1&to_date=21.01.2016 (lest 21.01).
- Löfkvist, J. (2005). *Modifying soil structure using plant roots*, b. 2005: Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Ma, S., Yu, Z., Shi, Y., Gao, Z., Luo, L., Chu, P. & Guo, Z. (2015). Soil water use, grain yield and water use efficiency of winter wheat in a long-term study of tillage practices and supplemental irrigation on the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 150: 9-17.
- Mukhtar, S., Baker, J., Horton, R. & Erbach, D. (1985). Soil Water Infiltration as Affected by the Use of the Paraplow*. *Transactions of the ASAE*, 28 (6): 1811-1816.

- Multiva. (2016). *Topline Super XL - For All Seedbed Preparation*.
<http://www.multiva.info/en/product/topline-super-xl> (lest 21.01).
- Munkholm, L. J. (2016). Efterafgrøder som jordforbedring. *Plantekongres 2016*.
- Nissen, Ø. & Ringlund, K. (1983). *Forsøksmetodikk*. Ås-NLH: Landbruksbokhandelen. 115 bl. diagr. s.
- OECD/FAO. (2012). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2012*: OECD Publishing.
- Oussible, M. & Crookston, R. K. (1987). Effect of subsoiling a compacted clay loam soil on growth, yield, and yield components of wheat. *Agronomy Journal*, 79 (5): 882-886.
- Pagliai, M., Vignozzi, N. & Pellegrini, S. (2004). Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research*, 79 (2): 131-143.
- Payne, P. (1956). The relationship between the mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation implements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1 (1): 23-50.
- Pollard, F. & Webster, R. (1978). The persistence of the effects of simulated tractor wheeling on sandy loam subsoil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 23 (2): 217-220.
- Radite, P., Hermawan, W., Rizkianda, A. & Crosby, H. (2010). Experimental investigation on the application of vibration to reduce draft requirement of subsoiler. *International Agricultural Engineering Journal*, 19 (1): 31-38.
- Richards, L. (1947). Pressure-membrane apparatus, construction and use. *Agricultural Engineering*, 28 (10): 451-454.
- Richards, L. (1948). Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science*, 66 (2): 105-110.
- Riley, H. (1983a). Forsøk med paraplow jordløsner 1982/83. *Statens forskningsstasjon Kise*.
- Riley, H. (1983b). Relations between soil density and cereal yield [spring traffic on ploughed soil, traffic intensities, penetrometer resistances, soil strength, degree of compactness]. *Forskning og Forsoek i Landbruget (Norway)*.
- Riley, H. (1986). *Forsøk med jordløsning ved bruk av Paraplow*. NJF-seminarium 28-30 oktober, Sigtuna Sverige.
- Riley, H. (1988). *Cereal yields and soil physical properties in relation to the degree of compactness of some Norwegian soils*. Proc. 11th Conf. International Soil Tillage Research Organization, ISTRO, Scottish Centre of Agricultural Engineering, Penicuik, Midlothian, Scotland. 109-114 s.
- Riley, H. (1996). *Estimation of physical properties of cultivated soils in southeast Norway from readily available soil information*, b. no. 25 1996. Ås: Norwegian Agricultural Advisory Centre. 51 s. : ill. s.
- Roberts, H. (1963). Studies on the weeds of vegetable crops: III. Effect of different primary cultivations on the weed seeds in the soil. *The Journal of Ecology*: 83-95.
- Schjønning, P. (1986). *Jordpackning: skördepåverkan - motåtgärder - ekonomi. Jordløsningens indflydelse på jordstrukturen*. NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187 s.
- Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Stettler, M., Lassen, P., Alakukku, L., Børresen, T., Jarvis, N., Dörsch, P., Arvidsson, J., et al. (2012). *Risk assessment and effects of soil compaction: Research chains at work*. Proc. NJF Seminar. 13-16 s.
- Seehusen, T. (2014). *Reduced soil tillage and soil compaction in cereal-growing under Norwegian farming conditions : studies of compaction risk, soil structure, crop yields, weediness and overwintering of Fusarium* Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet Institutt for, miljøvitenskap Department of Environmental Sciences, Faculty of Environmental Science and Technology, Norwegian University of Life Sciences.

- Seehusen, T. (2015). *Jordpakking konsekvenser og tiltak*. <http://agronomi.planteinfo.net/wp-content/uploads/2015/12/Jordpakking-konsekvenser-og-tiltak-Till-Seehusen-Stokke-November-2015-pdf.pdf> (lest 04.04).
- Simonsen, H. (2016). *Nedbør på Rudøde* (Mail 20.01).
- Soane, B. D. & van Ouwerkerk, C. (1994). Chapter 1 - Soil Compaction Problems in World Agriculture. I: Soane, B. D. & Ouwerkerk, C. v. (red.) b. Volume 11 *Developments in Agricultural Engineering*, s. 1-21: Elsevier.
- Soane, G., Godwin, R. & Spoor, G. (1986). Influence of deep loosening techniques and subsequent wheel traffic on soil structure. *Soil and Tillage Research*, 8: 231-237.
- Spoor, G. & Godwin, R. (1978). An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 23 (3): 243-258.
- Spoor, G. (2006). Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. *Soil Use and Management*, 22 (2): 113-122.
- Srivatava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, P. R. & Buckmaster, D. R. (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. 2nd utg.: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Stenrød, M., Ludvigsen, G. H., Riise, G., Lundekvam, H., Almvik, M., Tørresen, K. S., Øygarden, L. & og Miljø, B. J. (2007). Redusert jordarbeiding og glyfosat. *En sammenstilling av norske og internasjonale forsknings-og overvåkingsresultater, samt en småskala feltstudie av avrenning av glyfosat ved ulik jordarbeiding*. *Bioforsk Rapport*, 2 (145): 87.
- Stoltenberg regjeringen II. (2011). *Velkommen til bords*. matdepartementet, L. o. Oslo.
- Strand, E., Sundgren, T. K. & Hage, I. (2013). Forprosjekt "Fra utredning til handling" – en oppfølging av rapporten 'Økt norsk kornproduksjon – Utfordringer og tiltak'. *Bioforsk Rapport*, 8: 39.
- Syljuåsen, E. (2016). *Gjennomsnittstraktoren har passert 130 hestekrefter*. Traktor, 2016, 08,02. <http://www.traktor.no/traktorstatistikk/gjennomsnittstraktoren-har-passert-130-hestekrefter/>.
- Torstensson, G. & Eriksson, S. (1936). A new method for determining the porosity of the soil. *Soil Science*, 42 (6): 405-414.
- TractorData. (2011). *Ford-New Holland 8360 - dimensions*. I: TractorData (red.). <http://www.tractordata.com/farm-tractors/000/6/4/643-ford-new-holland-8360-dimensions.html> (lest 21.01).
- TractorData. (2014). *John Deere 6930 - dimensions*. <http://www.tractordata.com/farm-tractors/006/9/9/6998-john-deere-6930-dimensions.html> (lest 21.01).
- TractorData. (2015). *John Deere 6150R*. <http://www.tractordata.com/farm-tractors/007/5/4/7545-john-deere-6150r.html> (lest 23.01).
- van den Akker, J. J. H., de Leeuw, B. & Roelfsema, E. (2012). *Development of a way to determine the physical recovery potential of compacted subsoils*. Proc. NJF Seminar. 23-25 s.
- Vaz, C. M. P. & Hopmans, J. W. (2001). Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer–TDR moisture probe. *Soil Science Society of America Journal*, 65 (1): 4-12.
- VPG. (2016). *S-Type Stainless Steel Load Cell*. <http://www.vishaypg.com/docs/12059/620.pdf>: VPGTransducers.
- Väderstad. (2016). *Swift*. <http://www.vaderstad.com/products/cultivators/swift> (lest 21.01).
- Yara. (2016). *YaraVita GRAMITREL*. <http://www.yara.no/gjodsel/sortiment/yaravita/3508-yaravita-gramitre/> (lest 26.01).

- yr.no. (2016a). *Gardermoen målestasjon, Ullensaker (Akershus)*.
http://www.yr.no/sted/Norge/Akershus/Ullensaker/Gardermoen_m%C3%A5lestasjon/statistikk.html (lest 20.01).
- yr.no. (2016b). *Sandaker, Rakkestad (Østfold)*.
<http://www.yr.no/place/Norway/%C3%98stfold/Rakkestad/Sandaker/> (lest 21.01).
- yr.no. (2016c). *Øde Rud, Nannestad (Akershus)* (lest 21.01).
- Zink, A., Fleige, H. & Horn, R. (2011). Verification of harmful subsoil compaction in loess soils. *Soil and Tillage Research*, 114 (2): 127-134.
- Ødegaard, N. (1919). *Landbruksboken: en samlet fremstilling av læren om landbruket, dets forskjellige grener*. Kristiania: Aschehoug. 822, 504, 560, sp., pl. ill. s.
- Øygarden, L. (2016). *AGROPRO*.
http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/hovedtema?p_dimension_id=97437&p_menu_id=97449&p_sub_id=97437&p_dim2=97437 (lest 29.03).



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway