



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp  
Institutt for miljøvitenskap

## **Mekanisk jordløsning i eng i Nærbø og Orkdal**

Subsoiling in meadow in Nærbø and Orkdal.

Trond Ole Moksnes  
Plantevitenskap



# Forord

Formålet med denne oppgaven var å finne ut om hvilke effekter jordløsning har i etablert eng. Dette temaet er ikke forsket på tidligere i Norge, og ble utgangspunktet for valg av tema til oppgaven da dette temaet var en del av et forskningsprosjektet Agropro. Masteroppgaven ble gjennomført ved Institutt for plantevitenskap og institutt for miljøvitenskap ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet i perioden våren 2014 til sommeren 2016.

Jeg vil takke de tilsatte ved et tverrvitenskapelig forskningsprosjektet Agropro, for interessant problemstilling og utfordrende oppgave. Agropro er et prosjekt som involverer aktører fra forskningsinstitutter, næringsliv og rådgivning til å finne flaskehalsen som begrenser avlingene i landbruket.

Takk til min veileder Trond Børresen for mange gode råd, god hjelp i forbindelse med felt og laboratoriearbeid og veiledning.

Jeg vil også takke Anne Kjersti Bakken og Geir Paulsen i Nibio for planlegging av, opprettelse, avlingsregistrering og tørking av jordprøver fra forsøksfelt i Orkdal og i Nærbø. Dere har bidratt til at praktiske og teoretiske sider av oppgaven ble lettere håndterlig.

Det har vært flere gode medhjelpere under opprettelsen av forsøksfeltene. Først og fremst vil jeg takke gårdbrukerne Anders Rian i Meland/Skjenald Samdrift DA og Asgeir Pollestad i Store Håland samdrift for tilgjengelige skifter til å anlegge forsøksfelt på, samt lån av traktor og verdifulle opplysninger og bakgrunnsdata jorda på skiftene, tekniske innretninger på gården og driftssystem på de ulike samdriftene. Takk til Atle Haugnes for teknisk ekspertise innenfor jordløsning. Takk til Øyvind Peder Vartdal for hjelp ved laboratoriearbeid.

Takk til NJF for tildeling av stipend. Det har vært en ære å få tildelt et slikt stipend.

Takk til Anne Grethe Kolnes for hjelp til bearbeiding av forsøksresultatene og innbinding av masteroppgaven.

NMBU, Ås 15.08.2016

Trond Ole Moksnes



# Sammendrag

I Norge har det vært gjort lite forskning på jordløsning i eng og interessen for kunnskap om jordløsning i denne vekstkulturen er stor. Denne oppgaven ble til igjennom forskningsprosjektet Agropro, og har som mål å undersøke hvordan jordløsning virker inn på jordstrukturen og grasavlinger. Jordpakkingsproblematikken er et mer eller mindre kjent tema for jorddyrkere og mange ønsker seg bedre jordfysiske forhold som blant annet bedre infiltrasjonsevne, raskere opptørking og høyere avlinger. Effektivisering av landbruket bidrar til investeringer i større og tynge maskiner, noe som skaper en utfordring med tanke på å opprettholde en god struktur i jorda.

Problemstillingen til oppgaven er: Å undersøke hvordan jordløsning på pakkeskadet eng virker inn på jordstrukturen og grasavlinger.

Opgaven undersøkte hvilke effekter mekanisk jordløsning til ulike dybder har på jordas fysiske egenskaper, struktur og grasavlinger. Jordløsningen skulle i denne sammenheng rette opp og motvirke pakkingskader. Med denne behandlingen var målet å oppnå en bedre jordstruktur som gir et bedre vann-luftforhold i jorda, og spesielt drenerer bort overflødig vann. Flere luftfylte porer skulle bidra til å gi bedre vilkår for rotvekst og tilgang på næringsstoffer. Dette skulle videre bidra til bedre forhold ved kjøring med traktor på enga i vekstsesongen fordi jorda vil holde seg tørrere, og øke avlingen når vann-jordforholdene bedres.

I forsøket ble det opprettet to randomiserte blokkforsøk med tre gjentak på to forskjellige steder, et i Nærbø og et i Orkdal. På de to stedene var det dårlig jordstruktur som skyldes jordpakking og hvor høy fuktinnhold er en utfordring. Det ble brukt to forskjellige jordløsere, ett i hvert felt, samt piggtrommel i kombinasjon med jordløser i Nærbø. Det er tatt ut jordsylinderprøver i to dybder og registrert infiltrasjon første anleggs år, skjærfasthet og avlingsregistreringer er utført i to vekstsesonger.

Jordløsningen gav signifikante utslag på ulike parameter på de to ulike feltene. I forsøksfeltet i Nærbø gav det utslag i luftinnhold i jorda ved feltkapasitet ( $pF_2$ ), infiltrasjonsmålinger og avlinger høstet vekstsesongen 2014 og 2015. I samme forsøksfelt gav det utslag i  $pF$  verdi ved 1000 kPa i 6-10 cm dybde og i skjærfasthetsmålinger utført i 2015. Også i Orkdal var det signifikant utslag i infiltrasjon og avlinger. Utslag i ulike parameter kan skyldes ulike jordtyper og bruk av ulike løsneredskaper, ulik mekanisering på gårdene hvor forsøksfeltene ble opprettet. Det var tett i det øvre sjikt på begge stedene, men ved infiltrasjonsmålingene ble det funnet signifikante forskjeller mellom leddene i Orkdal og tendenser til samme resultat i Nærbø. Det som var mest utfordrende i denne sammenheng var å unngå at grasavlingen reduseres når jordløsning utføres i vekstsesongen.

Jordløsning til andre tidspunkt kan være aktuelt å prøve. Dette kan utføres om våren mellom arbeidsoperasjonene såing og tromling ved opprettelse av ny eng. Antagelig vil grasavlingen bli høyere, når røtter ikke blir forstyrret i vekstsesongen. Alternativt kan jordløsning om høsten etter siste slått være et utgangspunkt å utforske nærmere i etablert eng. Effekten antas å gi høyere avlinger enn ved jordløsning midt i vekstsesongen. Begge alternativene kan begrense uheldig pakking som oppstår etter løsning. En mulig metode for å få løst opp kompakt jord i øvre del av pløyesjiktet, er å blande pakket jord med løsere masser som eventuelt skulle ligge i dypere jordlag.



# Abstract

In Norway, there is little research on soil loosening the meadow. Hence, knowledge about soil loosening in this growth culture is needed. The aim of this thesis was illustrate how soil loosening impact on soil structure and meadow crops. Soil compaction is more or less familiar problem for soil growers. The need for better soil physical conditions. Include better soil physical conditions including better infiltration capacity, faster drying and higher yields. Increased effectiveness leads to more investment in bigger and heavier machines, which creates challenges regarding how to maintain a good structure in the soil.

The aim of this thesis was to investigate how soil loosening affect soil structure and meadow crops. This was investigated by focusing on effects of mechanical soil solution at different depths on soil physical properties, structure and meadow crops. Soil loosening in this regard correct and prevent packing damage. With this treatment, the goal is to achieve a better soil structure that provides a better water-air ratio in the soil, and especially drain away excess water. Several air-filled pores will help provide better conditions for root growth and supply of nutrients. This will further contribute to better conditions when driving with the tractor on the meadow during the growing season because the soil will remain drier.

The experiment was conducted by creating two field trials on two different experimental field, one in Nærbø and one in Orkdal, where poor soil structure due to compaction and high moisture content is a problem. It was created an experimental field with four treatments in Nærbø and three treatments in Orkdal, with three replicates. It was used two different subsoilers, one in each experimental field, and spike drum in combination with a shallow mechanical soil looser in Nærbø. It was taken out soil cylinder samples in two depths and recorded infiltration first construction year, shear strength and harvest records is performed in two growing seasons.

Soil loosening had significant impact on various parameters on the two different fields. The test field in Nærbø has resulted in air content in soil at field capacity, infiltration measurements and crops harvested growing season 2014 and 2015. In the same field, it resulted in pF value at 1000 kPa for 6-10 cm depth and shear strength measurements performed in 2015. Also in Orkdal a significant impact on infiltration and crops was found. Utility to different parameters may be due to different soil types and using different loosening tools, varying mechanization on farms where experimental plots were created. It is close to the upper layer at both locations, but when looking at infiltration measurements there were found significant differences between the treatments in Orkdal and tendencies to the same results in Nærbø. What is most challenging in this context is to prevent that grass crop is reduced when soil solution is carried out during the growing season.

Soil loosening at other times of year may be appropriate to try out. This may be during spring between the operations seeding and tumbling when creating a new meadow. Presumably, grass crop will be higher, when roots are not disturbed in the growth season. Alternatively, soil solution in the autumn after last turned can be explored further in established pastures. The effect is expected to be higher yields than the soil solution in the middle of growth season. Both options can limit unfortunate packing occurring after solution. One possible method to dissolve the compact soil in the upper part of the plow layer is to mix soils with looser masses who might lie in deeper soil layers.





# Innholdsfortegnelse

Forord .....	I
Sammendrag .....	III
Figuroversikt .....	IX
Tabelloversikt .....	XI
1 Innledning.....	1
2 Jord som materiale .....	3
2.1 Jord .....	3
2.1.1 Jordstruktur - aggregering .....	4
2.2 Jordpakking .....	4
2.2.1 Kjøreintensitet på åker og eng.....	5
2.2.2 Porevolum og jordens evne til å tåle trykk.....	8
2.2.3 Tråkk skader .....	11
2.2.4 Optimal plantevekst.....	12
2.2.5 Jordpakingens virkning på plantevekst. ....	13
2.2.6 Jordbiologiske effekter .....	14
2.2.7 Varighet av jordpakking.....	15
2.2.8 Hvordan begrense jordpakking?.....	15
2.2.9 Tilførsel av husdyrgjødsel.....	17
2.3 Jordløsning.....	18
2.3.1 Fysiske og biologiske påvirkninger i jorden .....	18
2.3.2 Vekstenes virkning på jorda .....	18
2.3.3 Mekanisk løsning av jorda .....	18
2.3.4 Utstyr for mekanisk oppløsning av jord i eng. ....	20
3 Materiale og metode.....	23
3.1.1 Gårdene .....	23
3.1.2 Jorda .....	24
3.1.3 Klima.....	25
3.1.4 Forsøksplan, behandlinger og utstyr. ....	27
3.1.5 Løsning av forsøksfeltene. ....	30
3.2 Målemetoder.....	31
3.2.1 Avlingsregistrering.....	31
3.2.2 Jordfysiske målinger .....	31

3.2.3	Volum og tetthetsanalyser i jord .....	33
3.2.4	Luftinnhold (pF2) .....	33
3.2.5	Mettet vannledningsevne .....	34
3.2.6	Jordfuktighet .....	34
3.2.7	Infiltrasjon .....	35
3.2.8	Porestørrelsesfordeling og vannretensjon/pF .....	35
3.2.9	Plantetilgjengelig vann/nyttbart vannkapasitet .....	36
3.2.10	Statistiske beregninger .....	36
4	Resultat .....	37
4.1	Nærbø .....	37
4.1.1	Volumetriske forhold .....	37
4.1.2	Skjærfasthet .....	44
4.1.3	Avlinger .....	46
4.2	Orkdal .....	48
4.2.1	Volumetriske forhold .....	48
4.2.2	Skjærfasthet .....	55
4.2.3	Avlinger .....	57
5	Diskusjon .....	59
5.1	Nærbø .....	59
5.1.1	Volumetriske forhold .....	59
5.1.2	Skjærfasthet .....	61
5.1.3	Avlinger .....	62
5.2	Orkdal .....	63
5.2.1	Volumetriske forhold i jorda .....	63
5.2.2	Skjærfasthet .....	65
5.2.3	Avling .....	66
5.3	Praktiske sider ved jordløsning og oppsummering .....	67
6	Konklusjon .....	73
7	Referanser .....	75

## Figuroversikt

Figur 2.1: Inndeling av jordpartikler etter kornstørrelse (Skøien 2000) .....	3
Figur 2.2: Volum av fast materiale og porer i en jordprøve på 100 cm <sup>3</sup> leirjord, som utsettes for trykk fra 0-800 kPa. (Eriksson et al. 1975).....	9
Figur 2.3: Jordens evne til å motstå varig komprimering (Njøs & Høstmark 1985). .....	10
Figur 2.4: Trykkbelastning under dekk med samme lufttrykk, men ulik last (Söhne 1958)....	10
Figur 2.5: Trykkbelastning under dekk med lik last, men ulikt lufttrykk (Söhne 1958). .....	11
Figur 2.6: Jordartstriangel og motsvarende triangel for optimal jordtetthet. Jordpakking er avhengig av jordsammensetning og fuktighet (Håkansson 2000). .....	12
Figur 2.7 Utvikling av røtter i pakket jordsjikt med løsere masser over og under pakkesjiktet (t.v.) og i pakket jord (t.h.). Røttene okkuperer større del av jordvolumet i løs jord enn i pakket jord (Dunkier 2004). .....	13
Figur 2.8: Avlingstap knyttet til traktorkjøring i eng med Luserne, to og fem dager etter slått. Forsøksrutene er overkjørt seks ganger med traktor på 100 hk (Dunkier 2004).....	14
Figur 2.9: Avlingstap som følge av jordpakking med 5 tonns hjullast, og varighet i antall år etter pakking har oppstått med inndeling i sjikt (Arvidsson et al. 2011). .....	15
Figur 2.10 t.v.: En aerator er hovedsakelig konstruert for å øke luftgjennomstrømning i jordoverflata av enga og å forbedre infiltrasjonsevnen av vann (Bhogal et al. 2011). .....	20
Figur 2.11 t.h.: Konstruksjonen består av aksling påmontert rektangulære tenner radially på trommelen. Akslingen er montert med en vinkel, slik at den etterlater seg åpne "sår" med ca. 10 cm dybde i jordoverflata (Bhogal et al. 2011).....	20
Figur 2.12: Et eksempel på sward lifter med fire løsneaggregater (Bhogal et al. 2011).....	21
Figur 2.13: Kverneland CLE grubb med tre tinder og vingeskjær (Kverneland, 2016). .....	21
Figur 2.14: Effekten av jordløsning som utføres over og under den kritiske grense i jord (Sporer & Godwin 1978).....	22
Figur 2.15: Avstanden mellom hver jordløsetinde er viktig for hvor jevn løsingen blir (Sporer & Godwin 1978).....	22
Figur 3.1: Skiftet hvor der er opprettet forsøksfelt i Nærbø. Plassering av forsøksfeltet er markert i blått. ....	24
Figur 3.2: Skifte hvor der er opprettet forsøksfelt i Orkdal. Forsøksfeltet er markert i blått, ..	24
Figur 3.3: Forsøksfelt med fire forskjellige felt og tre gjentak i Nærbø. ....	28
Figur 3.4: Evers sward lifter er tre meter bred og har fem løsneorganer med pakkere/tromler bakerst. ....	28
Figur 3.5: (t.v.) Glenside oxygenerator er tre meter bred og har fire balasttønner oppå redskapen for å sikre at godt arbeid blir utført. (T.h.) På akslingen er det montert rektangulære stålskiver som danner åpninger i jordoverflata. ....	29
Figur 3.6: Kverneland CLE grubb med tre løsneorganer og en arbeidsbredde på 1,80 meter. ....	29
Figur 3.7: Forsøksfeltet i Orkdal er et blokkforsøk med tre gjentak.....	30
Figur 3.8: Utstyr som brukes ved skjærfasthets målinger. Vingebor t.v., momentnøkkel midten og hammer t.h.....	32
Figur 4.1: Porevolum (vol %) i 6-10 cm og 20-24 cm dybde etter ulik behandling i Nærbø 2014. ....	37
Figur 4.2: Jordtetthet (g/cm <sup>3</sup> ) i dybden 6-10 cm og 20-24 cm i Nærbø.....	38

Figur 4.3: Luftinnhold i jorda ved feltkapasitet (pF <sub>2</sub> ) (vol%) i jorddybden 6- 10 cm og 20-24 cm i Nærbø. Signifikans funnet på 5% nivå.....	39
Figur 4.4: Nyttbart vann (vol%) for ulike jordløsning. Ingen signifikante forskjeller er funnet	40
Figur 4.5: Mettet vannledningsevne (cm/h) beregnet ut fra luftpermeabilitet .....	41
Figur 4.6: Infiltrasjon (cm/h) i Nærbø høsten 2014 for ulike løsnebehandlinger. ....	42
Figur 4.7: Vannretensjonskurve (pF) i dybde 6-10 cm målt høsten 2014 etter ulike løsnebehandlinger i Nærbø.....	43
Figur 4.8: Vannretensjonskurve (pF) i dybden 20-25 cm målt høsten 2014 etter ulike løsnebehandlinger i Nærbø.....	43
Figur 4.9: Skjærfasthet (kp/cm <sup>2</sup> ) målt høsten 2014 i Nærbø. X-aksen oppgir målinger i dybde på 100 mm intervaller ned til 300 mm (øverst) og avstand fra løsnefure under. ....	44
Figur 4.10: Skjærfasthet (kp/cm <sup>2</sup> ) målt høsten 2015 i Nærbø. X-aksen oppgir målinger i dybde på 100mm intervaller ned til 300 mm (øverst) og avstand fra løsnefure under. ....	45
Figur 4.11: Porevolum (vol %) i 6-10 cm og 20-24 cm dybde etter ulike behandling i Orkdal 2014. ....	48
Figur 4.12: Jordtetthet (g/cm <sup>3</sup> ) i dybden 6-10 og 20-24 cm i Orkdal.....	49
Figur 4.13: Luftinnhold i jorda ved feltkapasitet (pF <sub>2</sub> ) (vol %) i jorddybden 6-10 og 20-24 cm i Orkdal.....	50
Figur 4.14: Nyttbart vann (vol%) for ulike jordløsning. Ingen signifikante forskjeller er funnet. ....	51
Figur 4.15: Mettet vannledningsevne (cm/h) beregnet ut fra luftpermeabilitet for Orkdal 2014. ....	52
Figur 4.16: Infiltrasjon (cm/h) i Orkdal høsten 2014 for ulike løsnebehandlinger. ....	53
Figur 4.17: Vannretensjonskurver (pF) i dybden 6-10cm målt høsten 2014 etter ulike løsnebehandlinger i Orkdal. ....	54
Figur 4.18: Vannretensjonskurver (pF) i dybden 20-24 cm målt høsten 2014 etter ulike løsnebehandlinger i Orkdal. ....	54
Figur 4.19: Skjærfasthet (kp/cm <sup>2</sup> ) målt høsten 2014 i Orkdal. X-aksen oppgir målinger i dybde på 100mm intervaller ned til 300 mm (øverst) og avstand fra løsnefure under. Ingen signifikante forskjeller funnet. ....	55
Figur 5.1: Det er forskjell på hvordan jordløsning etterlater seg jordoverflaten etter kjøring. I bildet til venstre etterlater redskapet en forhøyning på jordoverflaten hvor løsnetinde har gått. Dette er ikke tilfellet i bildet til høyre. ....	68
Figur 5.2: Stein bidrar til å bryte opp torva (nederst til venstre) og risiko for jordinnblanding i graset ved høsting kan bli tilfellet. Stein som stikker opp i jordoverflata kan bidra til å ødelegge redskap under innhøstingen (nederst til høyre). På begge forsøks stedene bidro stein til å ødelegge grastorva ved kjøring. ....	69

## Tabelloversikt

Tabell 2.1: Oversikt over ideal jordtetthet og jordtetthet som begrenser rotutvikling (DeJong-Hughes et al. 2001).....	13
Tabell 3.1: Temperatur og medbørsoversikt for Særheim målestasjon observert i 2014 og 2015, med normalverdier (1960-1990) nederst.....	25
Tabell 3.2: Månedsvise nedbør og temperaturoversikt for årene 2014 og 2015 registrert ved Tamshavn i Orkdal. Normalverdiene (1960-1990) er hentet fra Øyum værstasjon i samme område.....	26
Tabell 3.3: Vanninnhold (vol%) for jordprøver tatt ved jordløsning i Nærbø. Jordprøver tatt fra 0-20 cm og 20-30 cm dybde.....	30
Tabell 3.4: Vanninnhold i vol% for jordprøver tatt ved jordløsning i Orkdal. Jordprøver tatt fra 0-20 cm og 20-30 cm dybde.....	31
Tabell 3.5: Sammenheng mellom ulike enheter for jordas matriks sug samt beregnet poreradius (Colleuille et al. 2007).....	36
Tabell 3.6: p-verdi og dens korresponderende symbol som brukes til å belyse resultatenes signifikantnivå.....	36
Tabell 4.1: Vanninnhold (vol%) i jordprøver tatt høsten 2014.....	45
Tabell 4.2: Vanninnhold (vol%) for tre ulike dybder i tre ulike behandlinger i Nærbø høsten 2015.....	46
Tabell 4.3: Grasavling (kg t.s./daa) for 2.3. og 4. slått og totalt i Nærbø vekstsesongen 2014.....	46
Tabell 4.4: Tørrstoffinnhold (%) i graset for 2.3. og 4. slått i Nærbø vekstsesongen 2014....	47
Tabell 4.5: Vanninnhold (vol%) i jordprøver tatt høsten 2014. Ingen signifikante forskjeller funnet.....	56
Tabell 4.6: Vanninnhold (vol %) ved skjærfasthetsmålingene utført i 2015. Det er ikke funnet noen signifikant forskjell mellom leddene.....	57
Tabell 4.7: Grasavling (kg t.s./daa) som tørrstoff for 2. og 3. slått og totalt i Orkdal for vekstsesongen 2014.....	57
Tabell 4.8: Tørrstoffinnhold (%) i graset for 2. og 3. slått i Orkdal, vekstsesongen 2014.....	57



# 1 Innledning

Stortingets melding nr. 9 «Velkommen til bords» (Stoltenberg regjeringen II 2011) uttrykker daværende norske regjering behovet for norskprodusert mat til dagens og fremtidens generasjoner. Maten skal produseres på en trygg og variert måte for å dekke nasjonens behov. Produksjonen skal skje på en gjennomførbar og miljømessig måte. Dette skal skje ved økt matjordskvalitet og økt produktivitet per arealenhet.

Noen av utfordringene landbruket står ovenfor, er å øke produksjonen av mat på færre driftsenheter (Lund & Olsen 2009). Det er også utfordringer når det gjelder klimaet som ventes å gi «forandringer til oftere og mer intens nedbørsaktivitet» (Rommetveit 2016). Når et større jordbruksareal skal drives av færre sysselsatte, krever dette at bonden må bearbeide et større areal i vekstsesongen (Lund & Olsen 2009). Utfordringen er da å utføre arbeidsoperasjonene innenfor riktig tidspunkt når det gjelder fuktighetsforholdene i jorda. For å oppnå dette må arbeidsoperasjonene effektiviseres med større maskiner og redskap. Dette bidrar til at jorda blir utsatt for store trykkpåkjenninger, strukturen komprimeres og jorda kan lettere utsettes for å få pakket struktur. Pakking av jord bidrar til at de jordfysiske forholdene blir dårligere, og plantene får dårligere vekstvilkår. For å rette opp på disse ulempene, er mekanisk jordløsning en av metodene å løsne opp jorda på. Fordelene med jordløsning/dyparbeiding av jorda har vært et kjent tema over lengre tid. Det er blitt skrevet om fordeler man oppnår med å utføre dyp jordarbeiding allerede for 100 år siden. De fordelene man ønsker å oppnå den gang som nå var ifølge Ødegaard (1919 s.308):

- «1. Jordmassene blir større i volum, som planterøtter kan vokse i og ta opp næring fra.
2. Luft vil lettere diffundere ned i jorda. Dette bidrar til at kjemiske, fysiske og biologiske krefter får et bedre utgangspunkt til sitt virke.
3. Vannlagringsevnen til jorda vil styrkes og fordampning av vann vil lettere unngås» .

I den senere tid har det vist seg at jordløsning er vanskelig å utføre hvis de ønskede effektene skal oppnås. Mangerud (1989 s. 23) skriver at: «Ved pløying og jordarbeiding kan man få et inntrykk av at ulike jordtyper løses opp. Jorda som løses opp ved mekanisk påvirkning, bevarer eller danner ikke aggregater med de samme egenskapene som naturlige oppbygde aggregater, men resultatet er større eller mindre klumper av tett sammen kittede partikler». «En utfordring ved løsnet jord, er at den også lettere blir pakket etter løsning, noe som bidrar til at jordløsning må gjentas ofte for å opprettholde den ønskede effekt» (Larsen 2003). Dermed er jordløsning en utfordrende arbeidsoperasjon når man vil oppnå gode ønskede effekter, fordi dette er avhengig av jordtype, vekstskifte og klimaet i et lokalt område. I Norge er jordløsning et tema som har vært forsket på i potet, grønnsaker og korndyrking. Det er ikke blitt forsket på jordløsning i eng som står for 65% av Norges dyrkaareal, hvor jorda er utsatt for pakking av både husdyr og traktorkjøring i vekstsesongen (SSB 2016). Dette temaet er blitt forsket på i Vest Europa, Australia og i Nord-Amerika (Bhogal et al. 2011; Burgess et al. 2000; Frost 1988). Forskjellen mellom Norge og disse tre stedene er ulik jordtype og forskjellig klima.

Problemstillingen for denne oppgaven handler om å undersøke jordløsningens effekt til å kunne forbedre vekstforholdene i jord som er kompakt og pakkeskadet. Oppgaven tar sikte på å belyse hvordan de jordfysiske forholdene endres med mekanisk løsning av jorda i etablert eng.





## 2 Jord som materiale

### 2.1 Jord

En generell beskrivelse av jord er: -Jordskorpens løse masser over berggrunnen sammensatt av uorganisk og organisk materiale (Bratberg, 2015). Mineraljord består av partikler som ved forvitring og nedbryting av ulike bergarter har samlet seg i lavere deler av landskapet ved erosjon. «Jordarten eller løsmassetypen er blitt dannet på en bestemt måte som har karakteristiske egenskaper og sammensetninger. Jordsmonn er den øverste delen av jorda. Den er påvirket av klima og organismer og skiller seg ut fra den opprinnelige løsmassen. Jordtype er en kartleggingsbetegnelse som kombinerer jordart og jordsmonn» (Skøien 2000 s.13) Jord er bygd opp av fast materiale og hulrom. Hulrommet er porer i jorda. Porene er enten fylt med luft eller vann. Mengdeforholdene mellom disse to mediene bestemmes av jordfuktigheten (Børresen 1990). Det faste materialet i jorda er enten organisk materiale eller mineralmateriale. Størrelsen på kornstrukturen til mineralmaterialet er inndelt i klasser, og har fått navn for å skille de ulike klassene/jordtypene fra hverandre etter deres fysiske egenskaper se Figur 2.1.

		Partikkelstørrelse, mm
Blokk		> 200
Grus		200–2
Sand	Grov	2–0,6
	Middels	0,6–0,2
	Fin	0,2–0,06
Silt	Grov	0,06–0,02
	Middels	0,02–0,006
	Fin	0,006–0,002
Leire		< 0,002

Figur 2.1: Inndeling av jordpartikler etter kornstørrelse (Skøien 2000)

Leire er den minste kornfraksjonen i jorda, deretter kommer silt, sand, grus og stein. Det faste materialet består som regel av flere kornstørrelser blandet. «Dette danner jordarter med ulike fysiske egenskaper, ulik struktur og ulike bruksegenskaper» (Børresen 1990). Luft, vann og næringsstoffer er vesentlig for planterøtter, plantevekst, dyre- og planteorganismer som ellers lever i jorda. Det biologiske livet i jorda har betydning for stoffkretsløpet som er i jorda. Dette gjelder næringsopptak til oppbygning av organismer, planter og nedbryting til næringsstoffer på nytt. Tilgjengeligheten av luft, vann og næringsemner påvirkes i stor grad av hvilken trafikk jorda utsettes for. Fra tidens morgen har det skjedd en tilpasning mellom plantene og mediet jord. Om jorda er løs eller pakket, har dette betydning for plantevekst og avling (Mangerud 1989 s.23). Uavhengig av hva jorda brukes til, er den en viktig bestanddel i et økosystem. Den «må være tilstede for at økosystemet skal fungere og være i balanse» (Skøien 2000). Jorda har flere forskjellige funksjoner, ifølge Skøien (2000 s.9):

1. Jorda er et medium for planterøtter og lager for plantenæringsstoffer.
2. Jorda kontrollerer vannets kretsløp.
3. Jorda er naturens system for avfallshandtering og resirkulering.
4. Jorda er levested for et stort mangfold av organismer.

Jorda fungerer som et forankringsmedium for planterøtter og er et lagringssted for næringsstoffer og vann. Ved nedbør vil vannet bli infiltrert ned i jorda, og er dermed en del av vannets kretsløp. Jorda kan lagre vann og forsinke avrenning til bekker og elver, noe som har innvirkning på utvikling av flom. Vannlagringsevnen er viktig for planteveksten i tørre

perioder. Små endringer i vannlagringsevnen kan ha stor betydning for avlingene. Jordas evne til å lagre vann, har innvirkning på fordampningen av vann og fungerer dermed som en temperaturregulator. Når planter dør, er det organiske materialet av planten et viktig bidrag i næringskjeden og naturens kretsløp. I jord lever det organismer som bryter ned organisk materiale. I jorda er det også bygd opp et karbonlager av nedbrutt og omdannet organisk materiale. Organisk bundet næringsstoff blir frigjort til ny plantevekst og deler av karbonforbindelsene blir lagret i stabile humusforbindelser. Blir jorda utsatt for trykk, kan den bli komprimert. Dette bidrar til at jorda blir mindre luftig og har en uheldig fysisk innvirkning for vanninfiltrasjon og rot utvikling for plantene (Skøien 2000 s.9-10).

### 2.1.1 Jordstruktur - aggregering

«Jordstruktur defineres som fordelingen av partikler og porer i jordsmonnet. En godt strukturert jord har tilstrekkelig porevolum for ventilasjon av luft, for lagring av vann og for flytting av vann» (Børresen 2015; Håkansson 2005). De ulike jordtypene deles inn etter partikkelstørrelse, og hvor stor andel av de ulike partikkelstørrelsene som er blandet med hverandre. Jordstruktur er en beskrivelse av hvordan jordpartiklene er bundet til hverandre, med andre ord hvordan jorda er bygd opp (Bratberg & Christensen 2015). «Aggregater er enkeltpartikler som er bundet sammen med hverandre til større enheter. Mellom enkeltpartiklene er det ulike elektrostatiske krefter som opptrer. Aggregater er en sammenbinding av leir-silt-sandpartikler, organisk materiale, ulike mineraler som jern, aluminium, kalsiumkarbonat (kalk), næringsstoffer og vann. Leire og humuspartiklene i jorda fungerer som bindemiddel. Disse kreftene virker over svært korte avstander og varierer i styrke. Aggregater er en sammenbinding. Strukturmønsteret er et resultat av strukturgenererende faktorer som frost/tining, oppfukning/tørking, plantevekst/rotvekst(er), jorddyr (meitemark), sopper, bakterier, alger, tilførsel av organisk materiale (plantevekst), eng (jorda blir liggende i ro), drennering og jordbearbeiding (mekanisk oppløsning av pakket jord)» (Eriksson et al. 1974; Mangerud, 2013). «Aggregatene lager et partikkel og poresystem der det er plass for luft og vann mellom jordpartiklene, på innsiden av aggregatene og mellom aggregatene. Strukturen er forholdsvis lite stabil, og kan ødelegges ved trykkpåkjenning. Dette skaper en struktur som vil være tett, med mindre plass for luft og vann» (Mangerud 1989; Børresen 2004).

## 2.2 Jordpakking

For at landbruket skal imøtekomme samfunnets utfordringer, må næringen ta i bruk nye tekniske og mekaniske løsninger ved å effektivisere produksjonen. Effektivisering og intensivering av landbruket bidrar til at det blir større og færre gårdsbruk. Dette krever mer av hver bonde til å utføre jordarbeidingsoperasjonene til riktig tidspunkt i forhold til klima og jordfuktighet (Lund & Olsen 2009). Effektiviseringen bidrar til at traktor og maskiner blir større og tyngre for å kunne bearbeide mest mulig areal per tidsenhet (Syljuåsen, 2016). Dette bidrar til at jorda blir utsatt for større påkjenninger gjennom trykkbelastning, som videre utsetter jorda for belastninger som kan resultere i ødelagt jordstruktur.

Jordpakking blir av Soane & Ouwerkerk (1994) definert som: «En prosess som utvikler en «fortetting», hvor porøsitet og permeabiliteten i jorda blir redusert, jordfastheten økes, og de

jordfysiske forholdene endres». Jordpakking oppstår når jordpartikler blir presset sammen, jordstrukturen deformeres og bidrar til redusert porevolum. Det er først og fremst makroporestrukturen (porer større enn 30µm) som ødelegges. Dette skyldes vanligvis traktorkjøring og/eller husdyr ute på beite, men tyngdekraft av vinterens snølag, jordens egenvekt og jordens fysiske forandringer som skyldes nedbør og tørke, har også innvirkning. Generelt vil det være en kombinasjon av sammentrykking, utvidelse og forskyvning av jord som har betydning for porene i jorda (Haraldsen, 1990; Håkansson, 2000).

Jordpakking oppstår vanligst ifølge Spoor (2006) av:

- Pakking som er jevnt fordelt eller har oppstått lokalt, hvor pakkingen går fra overflaten og nedover i jordsjiktene. Pakkingen er ofte forårsaket ved kjøring på jord med svak struktur.
- Steds spesifikk pakking skapt av redskap eller dekk på viss dybde.
- Pakking under pløedybde som skyldes høy belastning på overflaten.
- Sekundær pakking hvor en svak sone i jorden blir pakket mot en tidligere pakket sone i jorden.

Kombinasjon av økt vekt på landbruksmaskiner og kjøring ved ugunstige fukt forhold i jorda har økt faren for jordpakking i undergrunnen (Horn, 1995). En kjent utvikling ved nyregistrering av traktorer viser at både effekt og egenvekt på traktorene har økt de siste 30 årene (Syljuåsen 2016). Dette bidrar til at jorda lettere kan bli utsatt for komprimering og bidrar til færre store/makro porer. Dette reduserer evnen til infiltrasjon av vann, og bidrar til at overflateavrenning oppstår lettere. Dette skjer fordi makroporene er de mest effektive porene til å bevege vann gjennom jord når den er mettet. Komprimert jord har dessuten dårligere utveksling av gasser, noe som forårsaker økt sannsynlighet for at lufterelaterte problemer oppstår for plantevekst og biologiske livet i jorda. Jordpakking øker styrken til jord, for å motstå å bli flyttet av en påført kraft. Komprimert jord betyr også at røtter må utøve større kraft for å trenge inn i det komprimerte laget (DeJong-Hughes et al. 2001).

Jordpakking kan ha både positiv og negativ effekt i jorda. En positiv effekt oppnås ved tromling etter såing når jorda er løs. Den samme arbeidsoperasjon kan også brukes etter jordløsning i etablert vekst for å redusere ujevn overflate og unngå at kompakt jord som er løsnet/løftet på, blir «hengende» og hvile mot hverandre etter jordløsning i etablert kultur, som i for eksempel eng. Uønsket effekt oppstår når jorden pakkes mer enn ønsket. Da er det fornuftig å skille mellom pakking i og under pløyesjiktet. Oppløsning av pakket jord i dybden 0-30 cm kan utrettes ved bruk av jordgående redskap som for eksempel plog, harv eller jordløsner. Pakking som oppstår under pløedybde, sees på som mer alvorlig da det er vanskeligere å utbedre skadene som pakkingen har bidratt til. Dette problemet kan gi anledning til varige skader i dette sjiktet (Håkansson, 2000).

### 2.2.1 Kjøreintensitet på åker og eng

«Ved traktorkjøring på åker og eng, blir hjulene betegnet som en form for «jordarbeidingsredskap». Ettersom hjulene alltid er i kontakt med jorda, er det kanskje det «jordarbeidingsredskapet» som bearbeider jorda mest. Kjøring med tunge maskiner bidrar til at både matjordlaget (dybde 0-25 cm) og undergrunnsjord blir pakket. Valg av driftsform/produksjon på gården, bruk av ulike typer redskap som varierer i arbeidsbredde,

jordas bearbeidingsbehov og hjulustrustning har betydning for hvor mye det kjøres på jordet. Antall overkjøringer på jordet varierer med hva som produseres. Arbeidsbredden på maskin og redskap bestemmer antall drag som må utføres, for å utføre bearbeiding på hele jordstykket. Det blir flere overkjøringer med redskap på tre meters arbeidsbredde enn ved ni meters arbeidsbredde. Jordstykkets arrondering har betydning for kjøremønsteret under arbeid, samt hvor ulikt jorda blir utsatt for pakking. I rektangulære og kvadratiske jordstykker blir det mye kjøring på vendeteiger, mens på andre arronderinger kan det bli flere overkjøringer inne på skiftet enn ute i kanten» (Enger 1989; Håkansson 2000 s.7-10).

Ved traktorkjøring kan det beregnes marktrykk, spordekking eller masseforflytning i megagram km/ha (Mgkm/ha). Antall overkjøringer på et jorde blir betegnet med spordekking som beregnes av antall overkjøringer som blir utført med ett og samme hjul. Forhold som har betydning for hjuldekkingsgraden er traktorhjulenes bredde og om det er tvillingmontasje på traktoren. Håkansson (1986) skriver at montering av tvillingdekk øker spordekkingen, men tvillingmontasje reduserer jordpakkingen ifølge Børresen (1990). Videre er det valg av maskiner og deres arbeidsbredde, kjøremønster, skiftets størrelse og arrondering samt hvor atkomstveien(e) til skiftet er plassert, som bestemmer hvor mye spordekking det blir på et jorde. Spordekkingen kan også bli ujevnt fordelt på et jorde. Dette er avhengig av skiftets arrondering og kjøremønster. Vanligvis blir det kjørt i to retninger, noe som bidrar til at deler av jordstykket blir overkjørt (pakket) flere ganger, mens andre deler blir mindre utsatt for pakking» (Enger 1989). Den sammenlagte sporbredde fra samtlige hjul av ulike jordbruksmaskiner i løpet av et år bruker å være flere ganger så stor som bredden av feltet/skiftet, skriver Håkansson (2000). Dette har betydning for hvor mye jorda pakkes og vekstenes mulighet til planteproduksjon. Når det gjelder jordpakking, reduksjon av avling og marktrykk er det viktig å se på hvilken dekktype, dekktrykk og belastning (akseltrykk) som fordeles på de enkelte hjulene (Enger 1989; Mangerud 1989). I eng ligger spordekkingsgraden på 3-5 ganger og kanskje mere, avhengig av antall slåtter. En spordekkingsgrad på 4, betyr at hele arealet i middel dekkes av hjulspor 4 ganger (Børresen, 2004).

Jordpakking kan også beregnes ut ifra marktrykk. «Marktrykk beregnes ut ifra den vekt som til enhver tid hviler på traktorhjulet dividert med kontaktflata til hjulet som til enhver tid ligger mot jorden. Marktrykket bestemmes også av en komplisert sammenheng mellom dekkstørrelse, dekktype, lufttrykk og jordens egenskaper som bæreevne og fuktighetstilstand» (Håkansson 2000 s. 15-17). I all enkelhet og en grov tommelfingerregel blir det sagt at lufttrykk i dekket = marktrykket (Mangerud 1989). I senere tid har forskning vist at trykket under hjulet er ca. 0,5 kPa. over dekktrykket (Arvidsson et al. 2011).

Den tredje metoden for å kvantifisere kjøreintensiteten er å beregne antall megagramkilometer per hektar (Mgkm/ha). Mgkm/ha gir et mål på hvor mye et jorde blir overkjørt og pakket. I denne beregningen blir «kjøretøyets vekt i Mg multiplisert med kjøretøyets kjørelengde i kilometer for hver hektar. Hvis en traktor og vogn med totalvekt på 10 Mg kjører en strekning på 1 kilometer per hektar på et felt, så blir kjøreintensiteten 10 Mgkm/ha» (Håkansson 2000, s. 12-14). Med en slik beregning kan man se hvilke verdier ulike redskaper gir i mulige jordpakkings effekter i jorden, dvs. komprimeringspotensiale. Man kan dermed sammenligne og finne ut hvilke redskap som gir mest kjøring og risiko for jordpakking (Håkansson 2000). Små maskiner som veier lite, må kjøre langt/mye for å bearbeide et bestemt areal. Store maskiner kan ha høyere egenvekt enn små maskiner og større arbeidsbredde, men trenger kortere kjørelengde for å utføre samme jobben.

Forsøk viser at det er flere forhold som bestemmer graden av pakking. Noen faktorer har større betydning for hvor stor pakkingskadene blir ved kjøring. Under er de ulike faktorene satt opp i stigende rekkefølge med de mest betydningsfulle faktorene for jordpakking på åkerlandskap øverst, og inndelt i hvilke faktorer som gjør seg mest gjeldene i og under pløyesjiktet.

<b>I pløyesjiktet</b>	<b>Under pløyesjiktet</b>
Jordfuktighet	Aksellast
Lufttrykk i dekket	Antall kjøring
Antall overkjøring	Fuktighet
Hjuldimensjon	Hjul dimensjon
Aksellast	Lufttrykk
Trekraft/hjulsliring	Kjørehastighet
Hjulsliring	
Kjørehastighet	(Mangerud, 2013)

Mangerud (1989;2013 s.20) skriver også at på generelt grunnlag anbefales det at traktorhjul har lufttrykk nede mot 0,8 bar når man driver med jordbearbeiding. Aksellasten bør helst være så lav som mulig, men ikke overstige 5-6 tonn. Dette for å begrense/unngå uheldig jordpakking i undergrunnsjorda. Ved fuktige forhold anbefales det lavere lufttrykk i hjul og lavere aksellast om dekkene er konstruert for lavere trykk.

I etablert eng er forholdene noe annerledes. I grasmark er det røttene som preger mye av systemet i jordoverflaten. I følge Mangerud (1989 s.26) «vil rotsystemet i grastorva til en viss grad fungere som en form for armering i betong. Røttene fordeler trykket fra et hjul utover en flate, og sammen med overjordiske plantedeler vil de da bidra til å redusere trykkpåkjenningene, både i øvre jordsjikt og nedover i jordprofilet. Dette gjelder spesielt på jordtyper som ved våte forhold har plastiske egenskaper, som for eksempel leirjord. Myrjord har også noe til felles med plastiske egenskaper som i leirjord. Grasmatte vil da gi egenskapen som får traktoren til å «flyte» oppå jorda». Hva som har betydning for skader på grasmark vil se slik ut:

- «Antall kjøring
- Fuktighet i jorda
- Sluring
- Aksellast

Videre kan man tilpasse seg forholdene etter kjørespor i enga, fuktighet i jorda og lufttrykk i hjulene. På tørr jord kan lufttrykket være opptil 1,5 bar. Er det rått og fuktig, kan lufttrykket i hjulene senkes når det blir djupe spor, dvs. mer enn 1-1,5 cm dybde. Senk lufttrykket så mye som hjulene tillater. Er det fortsatt djupe spor, bør man skifte dekk på hjulene. Da trengs det bredere dekk eller tvilling montasje» (Mangerud 2013, s.21). Alternativt kan man vente til jorda har tørket opp når det blir djupe spor i enga. «Måten jorda blir behandlet og det som tilføres jorda av organisk materiale ved plantedyrking, kan påvirke jordas fysiske egenskaper

slik at den blir bedre eller dårligere til å tåle trykk. Kalking stabiliserer aggregatene i leirjord. Dermed kan det antas at kalking gir jorda økt evne til å tåle trykk» (Mangerud 1989, s. 24).

Alakukku (1997) skriver at «varigheten av punktlast vil reduseres, når kjørehastigheten til en maskin øker. I feltforsøk har graden av pakking av jord avtatt ved kjøring i 8-12 km/t. Høyere hastighet fører til ujevn og svingende punkt spenninger som overføres til jorda. Ved gjentagende sakte kjøring, vil jorda bli mer pakket enn ved et kort passering.

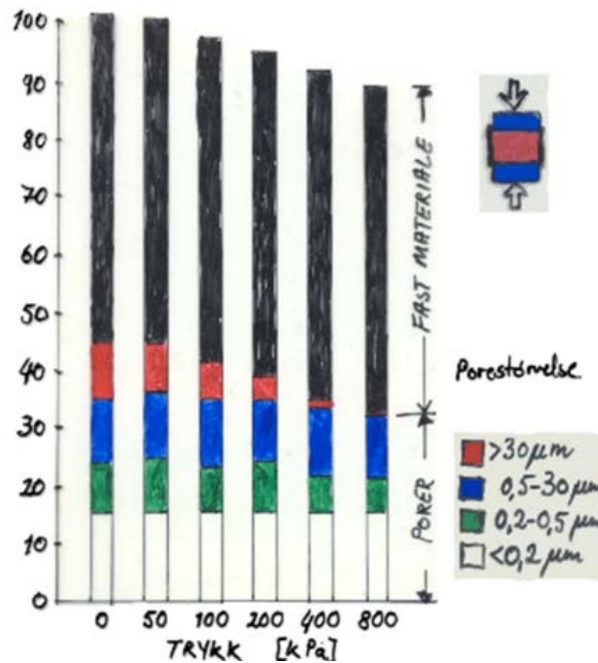
«Antall passeringer påvirker antall belastninger, dekning, intensitet og fordeling av hjultrafikk på samme område. Ved feltforsøk på mineraljord vil en økning i antall kjøring i samme kjørespor øke kompaktheten i jorda, og dybden av det sammenpressede sjiktet. En økning i antall passeringer på et jorde bidrar til at avlinger av gras reduseres. Dekningsgrad av hjulspor blir ujevnt fordelt på et jordstykke, avhengig av arrondering. Det er lettere for at et nes blir mer utsatt for dekking av hjulspor enn i midten av et jordstykke» (Alakukku 1997). Videre skriver samme forfatter at ved å øke kapasiteten på maskinparken, vil dette bidra til mindre hjuldekking av et jordstykke, men intensiteten av trafikken på et jorde øker når en måler det i Mgkm/ha. For å redusere pakking av jord, spesielt ved kjøring på fuktig jord, er det en fordel å bruke maskiner som er lette, noe som bidrar til å redusere intensiteten av trafikken på et skifte (Alakukku 1997).

### 2.2.2 Porevolum og jordens evne til å tåle trykk.

Langørgen (1997 s.7) skriver at: "kjøring på eng kan deles inn i synlige skader og skader som man ikke ser på overflata. «Usynlige» skader fremtrer i form av dårligere plantevekst og dårligere drenering. Dette skyldes at strukturaggregater blir deformert eller ødelagt og at selvdrenerende porer tettes igjen som følge av for stor belastning på jorda». Håkansson et al (1988) har ved en samlet konklusjon av flere forfattere kommet frem til at reduksjon i volum av makroporer som oppstår etter jordpakking, er den faktoren som gir mest åpenbare endringen i jordens egenskaper.

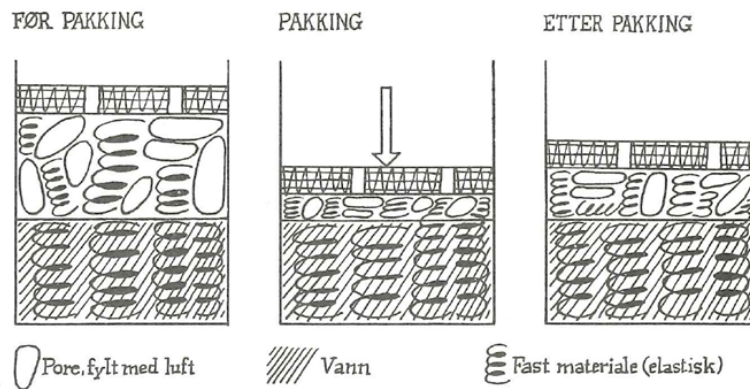
Figur 2.2 viser fordelingen av fast materiale og porevolum når jorda utsettes for trykk/pakking. Når jorda utsettes for trykk, påvirkes alle porestørrelsene i jorda, men lettest påvirkelig er makroporene. Dette er plassen mellom jordaggregatene skriver Børresen (2004). Disse porene er fylt med vann eller luft og lar seg lett presses ut av jorda ved komprimering. De har betydning for jordas lufthusholdning, er viktige for lufttransportbanene, infiltrasjon av vann og vanntransport nedover i jorda. Jordfuktigheten har også betydning for hvor lett jordpakkingen oppstår. Jorda pakkes lettere ved våt og fuktig tilstand enn når den er tørr. I tørr jord vil det være mer friksjon mellom jordpartiklene, da det ikke er noe vann i mellom dem (Håkansson, 2005). Mikroporer (<30 µm) er porene i jordaggregatene. De er viktige for lagring av vann og næringsløsninger. Grunnen til at jordpakking virker inn på makroporene først er ifølge Børresen (2004) at de mindre porene tåler mer belastning pga. sin størrelse og er kanskje fylt med vann. «Pakkingen er en korttidsbelastning av jorda og en del av energien som brukes, går med til en formforandring. Ved pakking av jord er det sjelden at alle porene er fylt med vann. Da er det luft som drives ut av porene» (Njøs & Høstmark 1985 s.6-7 ). Fast materiale pakkes ikke, derfor blir porene mindre. Andel mikroporer blir færre ved kraftig pakking skriver Håkansson (2000). Mikroporer er mer motstandsdyktige for trykk før de bryter sammen. Når porene inneholder vann, må vannet ut før porene deformeres (Børresen 2004). Ifølge Håkansson (2000 s.43-44) er det makroporene (>30µm) som er viktig for at infiltrasjonen av vann og at vanntransport fra jordoverflata går raskt nedover i jorden. Det er i

jord med løs struktur man finner flest grove porer og denne jorda er dermed lettest utsatt for jordpakking. Ved å utsette denne jorda for traktorkjøring, vil den pakkes mest ved første overkjøring. Ved påfølgende passeringer, vil jorden pakkes mindre men jevnt for hver overkjøring, avhengig av jordstyrke, jorddybde og trykkpåkjenninger.



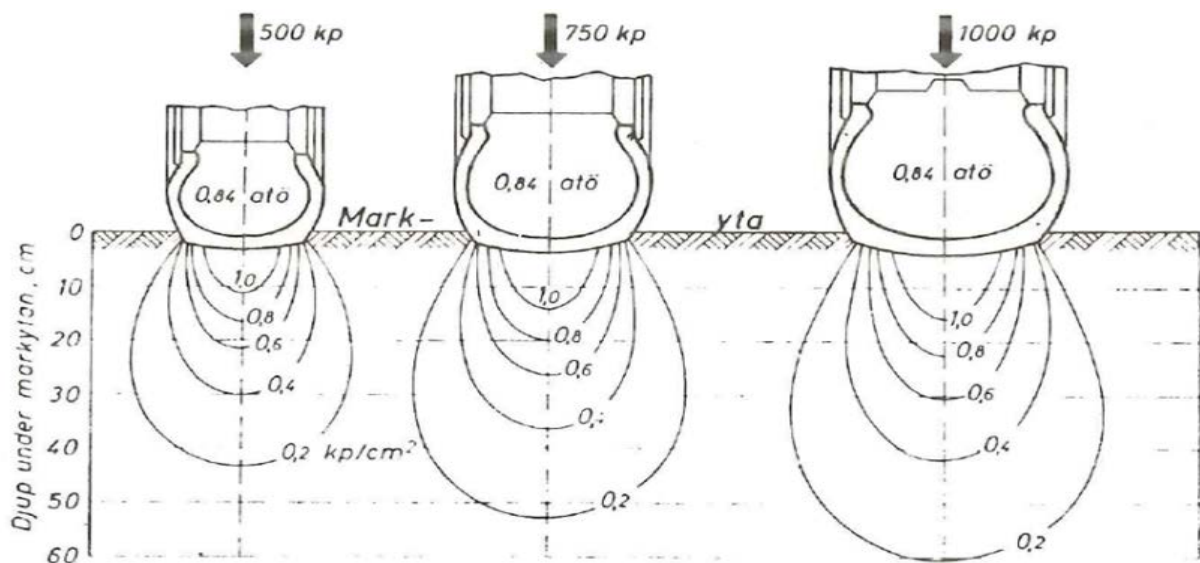
Figur 2.2: Volum av fast materiale og porer i en jordprøve på 100 cm<sup>3</sup> leirjord, som utsettes for trykk fra 0-800 kPa. (Eriksson et al. 1975).

Njøs (1985) skriver at: «Jord er litt elastisk og sveller ut igjen etter pakkingen», slik Figur 2.3 viser. «Virkingen på infiltrasjonen i det øverste laget er med på nedsetting av vannets mulighet til å trenge ned. Jordens fasthetstilstand og konsistens er avhengig av jordas fuktinnhold og innhold av leire, silt og sand. Disse faktorene er viktig for jordartens bruksegenskaper som beskriver de fysiske forholdene i, og jordas bruksegenskaper som vannhusholdning, bæreevne, infiltrasjon, vannledningsevne, erosjonsrisiko, aggregatstabilitet, skorpedanning og rot utvikling» (Børresen 1990; Børresen 2004, s.10-11). Ved jordpakking reduseres porenes volum. «Dette svekker jordas evne til å forsyne plantene med oksygen. Gassutveksling i jord skjer ved diffusjon og ved massestrøm. Den førstnevnte ansees for å være den viktigste, men i hovedsak er jordas luftfylte porevolum viktig for diffusjon. Mengde luftporer som er nødvendig varierer med jordtype. Begge variablene blir mindre når jorden pakkes. I pakket og våt jord, er det ikke uvanlig at luftinnholdet synker til under 10 %, noe som er mye lavere enn i atmosfæren, og CO<sub>2</sub> innholdet kan stige til nesten 10 %» (Håkansson, 2000 s. 45). Dette bidrar til å redusere røttens evne til celleånding i jorda, og planteveksten avtar.



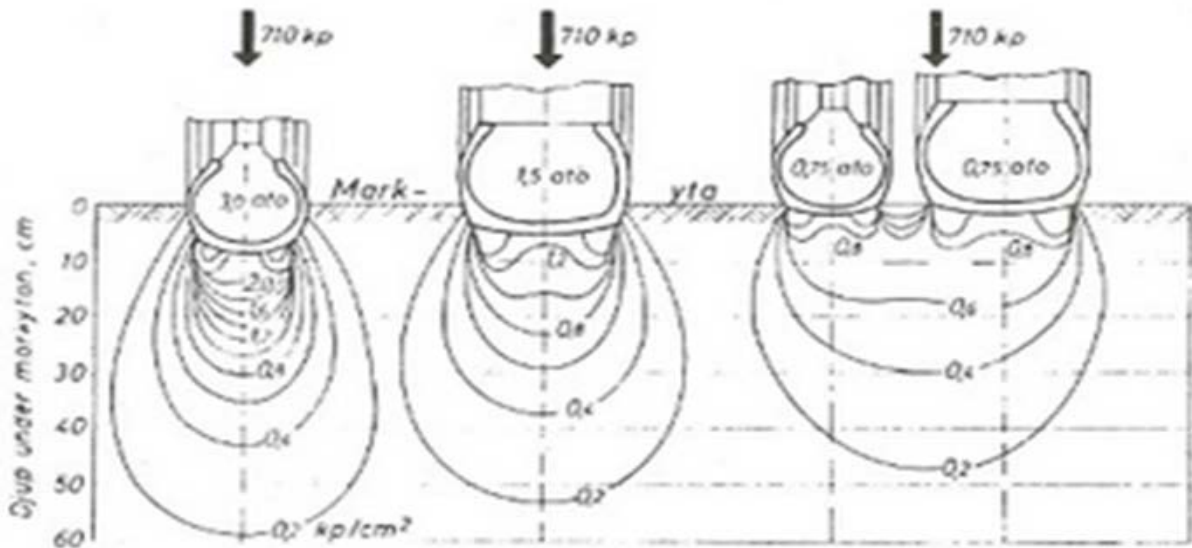
Figur 2.3: Jordens evne til å motstå varig komprimering (Njøs & Høstmark 1985).

Når makroporene i jorda blir færre, øker dette andelen av mikroporer ( $<30 \mu\text{m}$ ) av total porevolum, og bidrar til at jorda vil holde på mer fuktighet på grunn av sterkere binding av vann i porene. Hvor stor reduksjon det er av makroporer, avhenger av mark/akseltrykket. Når akseltrykket øker, vil det resultere i at jordpakkingen går dypere. Under dekk med høyt akseltrykk og stor anleggsflate, vil det være større andel av jordvolumet som blir påvirket (Figur 2.4). Ved likt akseltrykk men ulikt lufttrykk i dekket blir jorden påvirket avhengig av anleggsflaten, slik Figur 2.5 viser.



Figur 2.4: Trykkbelastning under dekk med samme lufttrykk, men ulik last (Söhne 1958).





Figur 2.5: Trykkbelastning under dekk med lik last, men ulikt lufttrykk (Söhne 1958).

Håkansson, (2005) og Mangerud, (2013) skriver at aktiv nedbryting av jordstrukturen skjer ved jordbearbeiding og kjøring på åker og eng. Videre er høyt lufttrykk i hjulene på traktoren negativt for porestrukturen. Åpen åker uten plantedekke er mer utsatt for regn som kan ødelegge aggregatstrukturen i jordoverflata. Rennende vann kan bidra til ødelegging ved erosjon. Ved ensidig drift uten eng blir jorda bearbeidet mye, og strukturoppbyggende faktorer får begrenset tid til å virke over tid.

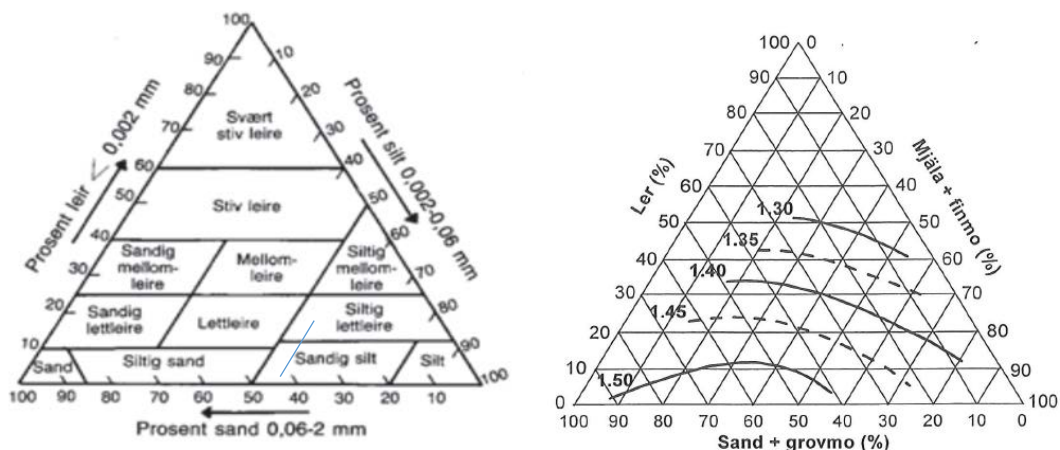
Mangerud (1989, s. 22-23) skriver at «jordtype og fuktighet har betydning for hvor lett jorda pakkes. Aggregater og leirpartikler holdes sammen ved hjelp av vannmolekyler. Fuktigheten i jorda er viktig for stabiliteten av aggregater i leirjord. Tilføres leire vann fra tørr tilstand, går den over fra fast masse til velling. Ved lite vanntilførsel, tåler leire stort trykk, men i fuktig tilstand vil den være meget svak for trykk. Sand og grus er lite påvirket av fuktighet på grunn av store enkeltpartikler som danner stabile porer. Det er lite problemer med luftveksling og infiltrasjon i slik jord, men i enkelte typer sandjord kan det også oppstå pakking. Jordbearbeiding kan løse opp denne pakkingen. Det kan oppstå avlingsreduksjon pga. pakking når det dyrkes grasmark ved redusert jordbearbeiding. Frost/opptining, tørking/oppfukting kan løse opp massiv jordstruktur i leirjord, men er mindre vanlig i sandjord. Myrjord har mye til felles med leirjord når det gjelder pakking. Biologisk liv og rotvekst virker positivt inn på oppløsning av de fleste jordarter».

### 2.2.3 Tråkk skader

«Tråkkskade oppstår når klauvene eller hovene på beitende dyr trenger igjennom jordoverflata og skader grastorva. Det oppstår pakking i jorda når bæreevnen på  $5 \text{ kg/cm}^2$  blir overskredet» skriver Langørgen (1997, s.8). I forskrift om hold av storfe §10, er det pålagt at storfe skal sikres minst 8 uker med fri bevegelse og mosjon på beite (Forskrift om hold av storfe 2004). Dette bidrar til at enga/jorda kan påføres tråkkskader. I følge Langørgen (1997, s.7) kan «tråkk av husdyr gjøre stor skade på eng. Husdyr bidrar til at planter får fysiske skader, jordstruktur blir pakket og jordbiologien blir forstyrret. Dette resulterer i økt jordtetthet og redusert porevolum. Dette virker negativt inn på infiltrasjonsraten, påvirker planteveksten ved redusert luftveksling og tap av nitrogen på grunn av denitrifikasjon».

## 2.2.4 Optimal plantevekst

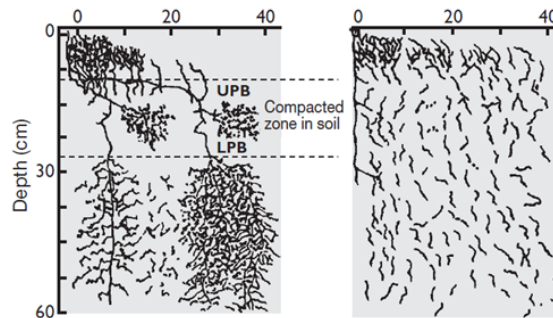
Hvor mye jorda er pakket er viktig for forholdene til plantevekst. Plantevekst blir i større eller mindre grad påvirket av jordpakking. De aller fleste overkjøringer på jorda med tunge kjøretøy har en negativ effekt på jordstrukturen avhengig av fuktighetsforhold ved kjøring. De gangene kjøring på jordet har en positiv virkning i pløyesjiktet, er ved jordbearbeiding. «Pløying og harving bidrar til å løse opp jorden og gjør den mer porøs. Løs og porøs jord bidrar til dårligere kontakt mellom jord og frø og skaper grovere porestruktur. Store porer holder ikke like godt på vannet og bidrar til mindre tilgang til vann for plantene» (Sundgren 2012). Positiv virkning av jordpakking får vi ved å kjøre på løs jord, men de aller fleste overkjøringene som etterfølges, vil føre til negativ pakking (Børresen 2004). For å beskrive jordens hardhet, blir begrepet pakkingsgrad brukt. «Den sier hvor tett partiklene i jorda er pakket sammen, enten som følge av naturlig sedimentasjon og komprimering eller som følge av belastninger av maskiner. Når jorda har høy pakkingsgrad, har den høy volumvekt ved tørr jordtetthet» skriver Skøien (2000). «Den beregnes ved å ta jordas aktuelle jordtetthet og dividere med jordtettheten etter en belastning av jorda på 200 kPa» (Håkansson 2000). I mange tilfeller beregnes en relativ pakkingsgrad på mellom 82% og 88% som optimalt for plantevekst skriver Håkansson (2000). «Optimal pakkingsgrad ligger på et høyere nivå i tørt klima enn i våt klima» (Håkansson 2005). En bestemt jordtetthet har ulik betydning avhengig av jordart på vekstene. «Jo finere kornstruktur jordmaterialet består av, jo lavere tetthet er optimal for kulturvekstene» (Håkansson 2005) se Figur 2.6. Dette bidrar til bedre kontakt mellom enkeltpartiklene i jorda og frøene/røttene som vokser i jorda. Optimalt plantevekst og relativ pakkingsgrad varierer avhengig av jordtypen. I mange tilfeller varierer optimal pakkingsgrad avhengig av type kulturvekst. Lunnan et al. (2014) skriver at i et eng forsøk utført på sandholdig jord i Norge, ble det på siltig mellom sand påvist avlingsreduksjon på 4% når den relative pakkingsgraden økte til 88-91%. Videre skriver samme forfatter at det har også forekommet resultater etter endt forsøk i eng som ikke kan vise til statistiske forskjeller i avlingsnedgang, selv ved relativ pakkingsgrad på rundt 90% (Lunnan et al. 2014).



Figur 2.6: Jordartstriangel og motsvarende triangel for optimal jordtetthet. Jordpakking er avhengig av jordsammensetning og fuktighet (Håkansson 2000).

## 2.2.5 Jordpakkingens virkning på plantevekst.

Det er i de store porene i det øvre jordlaget rotveksten for det meste foregår. Den mest kritiske faktoren i pakket jord er penetrasjonsmotstanden. Den gir indikasjon på hvor lett røttene utvikler seg og vokser i jorda, og gassutvekslingen mellom jorda og atmosfæren. Jo dårligere rotutviklingen til plantene er, jo lettere kan det skje at plantene ikke får nok vann i tørre perioder. Dette kan bidra til at planter blir tørkesvake. Rotvekst i pakket jord er begrenset fordi røttene kan utvikle seg normalt inntil de møter en motstand i pakket jord, som de ikke er i stand til å ekspandere, slik som Figur 2.7 illustrerer.



Figur 2.7 Utvikling av røtter i pakket jordsjikt med løsere masser over og under pakkesjiktet (t.v.) og i pakket jord (t.h.). Røttene okkuperer større del av jordvolumet i løs jord enn i pakket jord (Dunkier 2004).

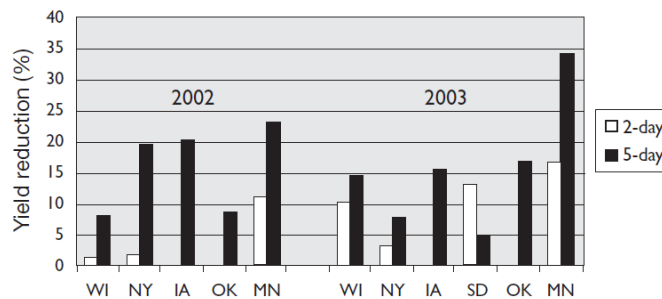
Ved maksimal inntrengningsmotstand (målt med et standard penetrometerspiss) kan røtter utvikle seg i jord med en motstand som er ligger opp mot 20 mPa. Deler man det opp i to retninger, tåler planten «1 MPa aksial veksttrykk og et sted mellom 0,5-0,9 mPa i radial trykk» (Alakukku 1997). I mange tilfeller vil sprekker i jorden være tilgjengelig for røttene til å vokse gjennom, dette betyr at det ikke er fullstendig stopp i vekst av røtter ved vanskelig voksegrunnlag. I stedet vil røtter konsentrere seg i områdene over eller mellom pakket jord i grove porer som sprekker og bioporer. Jordtettheten kan også beskrive hvordan rotveksten i jorda er. Denne måten å registrere rotvekst på, kan beskrive hvilken jordtetthet planterøttene trives i, og hvilken tetthet de ikke kan vokse i, slik tabell 2.1 viser. Bortsett fra virkningen av penetrasjonsmotstand, vil røtter

Tabell 2.1: Oversikt over ideal jordtetthet og jordtetthet som begrenser rotutvikling (DeJong-Hughes et al. 2001).

Soil Texture	Ideal bulk density	Bulk density restricts root growth
	----- g/cm <sup>3</sup> -----	
Sand, loamy sand	< 1.60	> 1.80
Sandy loam, loam	< 1.40	> 1.80
Sandy clay loam, clay loam	< 1.40	> 1.75
Silt, silt loam	< 1.30	> 1.75
Silty clay loam	< 1.40	> 1.65
Sandy clay, silty clay	< 1.10	> 1.58
Clay	< 1.10	> 1.47

USDA. 1999. Soil quality test kit guide. USDA Soil Quality Institute. Washington, D.C.

også lide mer anaerobe forhold i komprimert jord. «Gassutvekslingen i jord skjer både ved diffusjon og ved massestrøm, den førstnevnte er ansett for å være viktigst. I komprimert og



Figur 2.8: Avlingstap knyttet til traktorkjøring i eng med Luserne, to og fem dager etter slått. Forsøksrutene er overkjørt seks ganger med traktor på 100 hk (Dunkier 2004).

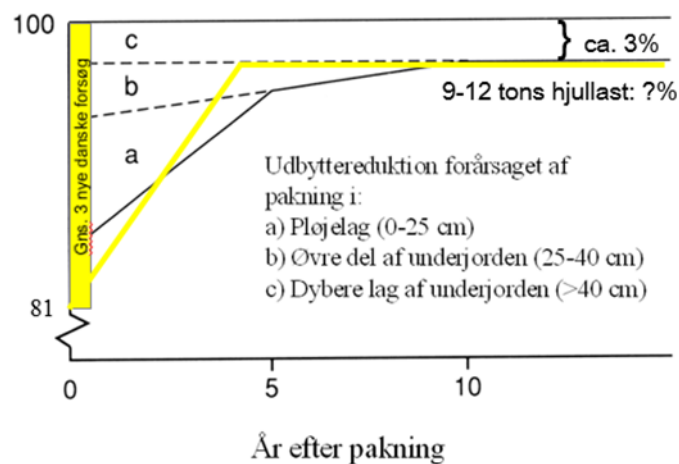
våt jord vil oksygenivået i jorda være betraktelig redusert på grunn av få grove porer. Reduseres nivået til 10 % eller lavere, er dette under kritisk nivå for planterøttene å leve i. På samme tidspunkt kan CO<sub>2</sub>-innholdet stige opptil 10 %» (Håkansson 2005 s. 44-45). En reduksjon av rotvekst, vil begrense rotfunksjoner som forankring til jorda, vann og næringsopptak. «En annen faktor som er like viktig når det er snakk om avlinger, er en negativ effekt av jordpakking på vannstrøm og lagring av vann i jorda som er mer alvorlig enn den direkte effekten av jordpakking på rotvekst» (DeJong-Hughes et al. 2001). Et forsøk viser at kjøring i eng gir reduksjon i avling som en kombinasjon av jordpakking og stråskader. Forsøket er utført i Wisconsin og Iowa med et resultat som forteller at vi kan oppnå avlingsreduksjon fra 1- 34 %, hvor størst skade oppstår ved kjøring på enga 5 dager etter kutting versus to dager (Figur 2.8). Douglas (1994) studerte maskintrafikk i eng i Skottland. Resultatene han kom fram til er at trafikk på eng har en negativ virkning på graset, og en avlingsreduksjon på over 20 % er vanlig. (Soane & Van Ouwerkerk 1994). I Norge ble det utført et forsøk i perioden 1987 til 1991, om hvilken betydning kjøring på eng med traktor med ulik vekt har å si for jordpakking, sluring og plantevekst. Avlingsreduksjon i flerårig eng skyldes i hovedsak sluring, som også kan påvirke engas varighet i tørr klima på morenejord. Vekt på traktor har også betydning for skader på enga. Lett traktor med tvillingdekk utøver mindre skadevirkning på enga og trenger klart større belastning for å slure enn en tung traktor med enkle hjul (Ullring & Lunnan 1993). Svenske undersøkelser antyder at avlingsnedgang i større grad skyldes direkte skader på plantene enn jordpakking (Håkansson et al. 1990).

## 2.2.6 Jordbiologiske effekter

«Det antas at komprimering eller løsning av jord i større eller mindre grad påvirker alle biologiske prosesser i jorda. Dette gjelder flere vitale prosesser, som nedbryting av organisk materiale og mineralisering av plantenæringsstoffer. Dette gjelder også skadedyr, rotsykdommer og vekst av ugress. I tillegg kommer miljømessige konsekvenser og reduksjon av avling» (Håkansson 2005). I langtidsforsøk med jordpakking i tung leirjord er det registrert at det er færre meitemark i jorda sammenlignet med utpakkert jord. Maskinell trafikk skaper spenninger i jorden samt skjærkrefter som kan ødelegge poresystemene i jorda (Håkansson 2005).

## 2.2.7 Varighet av jordpakking

Jordpakking som skyldes traktortrafikk har både en kort og en langtidseffekt på både jord og planteproduksjon. Korttidseffektene er forbundet til pakking av matjordlaget 0-30 cm, og er knyttet til jordbearbeidingsoperasjonene, traktortrafikk og dyr ute på beite. Tidsperspektiv i denne sammenheng er på ett til fem år. Pakking av matjordlaget blir løst opp av naturlige prosesser som frysing/tining, tørking/fukting og biologisk aktivitet, eller av mekanisk oppløsning ved jordbearbeiding. Vanlig jordbearbeiding løser ikke opp undergrunnsjorda. Dyp jordløsning vil sjelden løsne opp pakket struktur fullstendig. Løsnet jord vil i mange tilfeller være pakket igjen etter to til tre år, men med dårligere fysiske egenskaper (Kooistra & Boersma, 1994). Løsning av undergrunnsjorda vil sjelden oppstå av naturlige prosesser da intensiteten og frekvensen av disse prosessene blir redusert i dypere jordsjikt, og dermed kan jordpakking i undergrunnsjorda vedvare i lang tid. Jord utsatt for høy belastning ved forsøk, viser å være mer kompakt sammenlignet med jord som har vært utsatt for mindre belastning i mange år etter at jorda ble komprimert (Alakukku, 1997). Jordpakking har en virkning på avling avhengig av klimaet og nedbør i vekstsesongen. En tolkning gjort av en forsøksserie på 1980 tallet med 5 tonn hjullast hevder at pakking i pløyselaget (0-25 cm) bidrar mest til redusert avling og vedvarer de neste fem årene etter pakkingen har oppstått, avhengig av hvor ofte jorda pløyes (Figur 2.9). Dybden 25-40 cm har jordpakking noe mindre betydning for avlingsreduksjonen, men effekten av pakkingen kan vedvare 10 år før jorda er tilbake til normal tilstand. Pakking av undergrunnsjorda kan alene bidra til 3% avlingsreduksjon og tilskrives å ha permanent innvirkning når den oppstår (Arvidsson et al. 2011).



Figur 2.9: Avlingstap som følge av jordpakking med 5 tons hjullast, og varighet i antall år etter pakking har oppstått med inndeling i sjikt (Arvidsson et al. 2011).

## 2.2.8 Hvordan begrense jordpakking?

Det er flere faktorer som kan brukes til å forhindre jordpakking, og målet kan oppnås på flere måter. Forhold som økonomi og jordfysiske faktorer på gården bestemmer hvilken metode som skal brukes. Den viktigste faktoren som hver gårdbruker må ta hensyn til, er først og fremst å unngå å kjøre på jorda når den er våt. Våt jord tåler trykk meget dårlig, og aggregatene og grove porer komprimeres eller kolapser lettere i en slik tilstand. Dette varierer avhengig av hva som produseres på jorda. Om jorda er drenert og hvor lett jorda tørkes opp etter nedbør, har også betydning. Dette er avhengig av jordtype og om jorda er pakket. Drenering er den faktoren som raskest får jorda til å tørke opp etter en våt periode, og kjøring

på jord med uheldige fuktinnhold kan lettere unngås. «Drenering vil ha en gunstig effekt på å begrense jordpakking, sammen med løsning av pakket jord» ifølge Bhogal et al (2011). «Andre faktorer er tilpassing av lufttrykk i hjulene og investere i brede dekk. Bruk av tvilling dekk, gir stor kontaktflate, lavt marktrykk og bidrar til å begrense pakkingen. Et annet tiltak er å investere i lettere maskiner. Lette maskiner er skånsomme mot jorda med tanke på bearbeiding og trykk. Det er viktig å velge arbeidsoperasjon etter fuktigheten i jorda. Planlegging av bestemte kjøremønstre for transport og jordarbeiding gjør at kjøremengden på et jorde blir minst mulig» skriver Håkansson (2000 s.81,84). Lufttrykket i hjulet har alene en direkte innvirkning på de 20 øverste cm i jorda. Fra 20 til 50 cm dybde er det lufttrykk i dekket og hjullast sammen som bidrar til pakking. Fra 50 cm og dypere, er det hjullast alene som bidrar til pakking, og skadene i denne dybden er vanligvis permanente (Arvidsson et al. 2011).

«Jordas stabilitet kan bedres ved tilførsel av vanlig og hydrert kalk. Effekten begrenser noen av pakkingens negative virkninger. Samme virkning får man ved å øke humusinnholdet ved innblanding/nedpløying av planterester i jorda og ved tilførsel av husdyrgjødsel. Spredning av husdyrgjødsel kan i seg selv påføre jorda pakkingsskader. Valg av riktig utstyr kan forhindre dette. Kunstgjødsel virker positivt i den grad hvor den øker planteproduksjonen, og mengde planterester vil bidra til å øke humusinnholdet. Planterøtter med spesiell evne til å trenge igjennom pakkede lag og som har kraftig vekst, kan til en viss grad bidra til å løse opp jorda. Dette bidrar til å la andre planterøtter komme til et dypere lag når hardføre planter visner» (Håkansson 2000, s. 82-83).

«Når maskinkapasiteten er godt tilpasset traktoren, bidrar dette til at jordbearbeiding utføres når forholdene er gunstig for dette, og kjøring på for fuktig jord kan lettere unngås. Redskap må tilpasses traktorens kapasitet. Det å bytte traktor krever at man tilpasser redskapsparken på en slik måte at kjøreintensiteten kan reduseres på arealet. Firehjulsdrift på traktoren er fordelaktig med tanke på at man får økt trekraft og dermed økt kapasitet pga. bredere redskaper. Et kompromiss man må forholde seg til ved økt maskinkapasitet, økt effekt på traktor og firehjulsdrift er at akselbelastningen øker. Reduksjon av lufttrykk i hjulene kan kompensere for økningen av akseltrykk. Mekanisering som bidrar til høyt marktrykk og pakking både i pløyesjiktet og i undergrunnsjorda, kan beltegående traktorer brukes til å øke arealet mellom traktor og jordoverflaten og redusere trykket på jordoverflata ytterligere» (Håkansson 2000 s.83-85).

I følge Mangerud (1989) «oppstår pakkestrykk i ulike sjikt i jorda, avhengig av valg av aksellast og hjulutrustning». Han har dermed kommet frem til en konklusjon på fire punkter:

- «Pakkestrykket i øverste sjiktet (marktrykket) kan holdes på ønsket nivå. Dette oppnås ved å øke dekkdimensjonene slik at lufttrykket kan holdes på et lavt nivå.
- Pakkestrykket under pløyesjiktet vil til dels være bestemt av dekkdimensjon og lufttrykk. Det er i stor grad hjullasten som er avgjørende.
- Maskinene bør utstyres med så store dekk at vi kan holde lufttrykket så lavt at vi ikke kan få skadelig pakking i overflata.
- Aksellasta bør holdes så lavt at skadelig pakking i undergrunnen unngås» (Mangerud 1989, s.27).

### 2.2.9 Tilførsel av husdyrgjødsel

Grasproduksjon er vanligst dyrket i sammenheng med drøvtyggende husdyrproduksjon. Husdyrmøkka spredde på dyrka arealet, og vanligvis etter hver slått. Dette resulterer i at enga får tilført husdyrgjødsel alt fra to til fem ganger i året avhengig av antall slåtter og tilgang til husdyrgjødsel. Dette har innvirkning på jordas fysiske egenskaper og er avhengig av mekaniseringsmetode for spredning og kjøremønster. I følge Mangerud (1989 s.24) hevdes det at «spredning av husdyrgjødsel på eng, viser at dette reduserer jordas evne til å tåle trykk. Foregår spredningen på et tidspunkt av året hvor temperaturen er lav, er intensiteten til den biologiske aktiviteten også lav. Erfaringer og forsøk viser at kombinasjonen blautgjødsel og kjøring på eng tetter det øverste jordsjiktet». Haraldsen (1990 s. 13-14,17) skriver at «Ved spredning av bløtgjødsel, vil nedbrytningshastigheten av organisk materiale være positivt korrelert med temperaturen, uavhengig av jordtype. På sandjord vil spredning av fem tonn husdyrgjødsel /daa ha negativ effekt på infiltrasjon bare første dagen etter gjødsla blir spredd. På andre jordarter vil effektene være mer varige. Dette er også avhengig av hvor tett plantedekket det er i enga. Antall markganger og grove porer i jorda har også betydning hvor lett jordoverflata tettes, og har videre betydning for infiltrasjon av vann. Innhold av organisk materiale i jorda har direkte innvirkning på hvor lett jorda tettes til av husdyrgjødsel. Tørrstoffinnholdet i husdyrgjødsel vil også ha betydning for tiltettingen». Videre skriver samme forfatter at: «Det er lettere å tette porer i torvjord med husdyrgjødsel enn på andre jordarter selv ved lav tilførsel, og en økende mengde vil gi en ytterligere tiltetting. Varigheten av tiltettingen kan vare i over en uke, og er fortsatt merkbart etter en måned. Tilførsel av bløtgjødsel spredd på jordoverflata, nedsetter infiltrasjonshastigheten og reduserer luftvekslingen mellom jord og fri atmosfære (diffusjon). Hydrauliske egenskapene i blautgjødsla har stor innvirkning på infiltrasjonshastigheten. Tiltettingseffektene viser seg å være større og mer langvarig på jord uten plantedekke, sammenlignet med eng. Et vekstkraftig plantedekke og en aktiv jordfauna ble ansett å ha betydning for varigheten av tiltettingen. Dette er avhengig av temperaturen. Jord uten biologisk aktivitet, gav statistisk signifikant utslag av tiltetting av husdyrgjødsel på tre måneder» (Haraldsen 1990 s.13-17). Børresen (2004) skriver at: «ved vannlagring i jord må forutsetningen være at det er passelig store porer i jorda og at vannet tiltrekkes av poreveggene. I uttørket, fettrik torv kan det være vanskelig å få vannet til å trekke inn. Det samme hender av og til på uttørket, humusrik sand».

## 2.3 Jordløsning

### 2.3.1 Fysiske og biologiske påvirkninger i jorden

Jorda kan oppnå en løsere struktur naturlig ved tørking/fukting og frysing/tining. Jordtype har betydning for hvordan oppløsningen blir. Når det gjelder frysing/tining er det leirjorda dette har mest innvirkning på. I jord med grov tekstur f.eks. sand, vil ikke dette ha like stor betydning. I grov sandholdig jord er alle porene relativt store, og vannet fryser i de enkelte porene uten nevneverdig å påvirke strukturen. I leirjord er det mange små porer som vannet er sterkt bundet til. Dette bidrar at vannet har lavere frysepunkt i leirjord enn i jord med større porer. Vannet starter å fryse i sprekker og større porer fordi frysetoleransen her er lavere. Når vann fra små porer beveger seg mot store porer, dannes islinser. Det kan være opptil 30 frysetime sykluser i de øverste 2-5 cm av jorda i løpet av vinteren. Dette resulterer i desintegrering av grove aggregater og klump. Etter en vinter er dette jordlaget dominert av aggregater i størrelsesordenen 0,5 – 5 millimeter. «Fryse-tine syklusene avtar raskt med dybden. Dybder under 30- 35 cm fryser sjelden på områder med normal snødekke i Skandinavia» (Håkansson 2005).

«Dyp uttørking og sprekkdannelser er den viktigste enkeltfaktoren ved naturlig løsning av jord. Grundig opptørking gir grunnlag for god bæreevne i lang tid. Illitleire har langsom oppsvelling. Blir denne jordtypen utsatt for opptøking og nedfukting gjentatte ganger, vil sprekkdannelsene stabiliseres gjennom et lag av orienterte leirpartikler, utfelling av kiselsyre, jern og aluminium-hydroksider. Det vil ta flere år før pakkeskade blir reparert på denne måten» (Enger 1989; Heinonen 1986).

### 2.3.2 Vekstenes virkning på jorda

Røttene til plantene har tre ulike måter hvor de virker inn på jorda:

- 1: «Vannopptak er utgangspunktet for sprekkdannelser.
- 2: Penetrering av massiv jord danner et sammenhengende nettverk av større og mindre porer.
- 3: Organisk materiale (røtter) stabiliserer porevegger» (Heinonen 1986).

Røtter endrer jordstrukturen ved å skyve til side jord når de vokser, og skaper nye kontinuerlige porer som påvirker både hydraulisk ledningsevne og gassutveksling med atmosfæren. Ulike arter er forskjellige i sin respons til økt motstand mot gjennomtrengning, samt penetrasjon. Røtter av mer tilpasningsdyktige arter kan føre til endringer i jordstruktur ved å penetrere jord og kan dermed øke fruktbarheten av dårlig strukturert jord (Löfkvist, 2005).

### 2.3.3 Mekanisk løsning av jorda

Løsning av plogsålen og undergrunnsjorda har lenge vært kjent for sine positive effekter. Ødegård (1919 s. 308-309) skriver at: «Ved jordløsning får plantene en løsere og større jordmasse som røttene kan vokse i og ta næring fra. Lufta trenger lettere og dypere ned i jorda noe som bidrar til at kjemiske, fysiske og det biologisk liv får bedre grunnlag til sitt virke. Vannlagringskapasiteten økes i oppløst smuldret jord. Vann som lagres nede i jorda vil bli beskyttet mot fordampning av overliggende jordlag. Voksegrunnlag til røttene bedres i løs jord, og spesielt i leir-rik jord. Er jorda fuktig eller vassyk ved jordløsning, kan den bli tettere og mer ugjennomtrengelig for vann enn tidligere. Da er det en fordel å drenere jorda før



jordløsningen utføres. Ved pløying vil det dannes et hardt ugjennomtrengelig lag plogsålen. Å bryte i stykker plogsålen er en fordel. Jordløsning er også positivt å utføre i sandjord og moldjord. Sandjordens aurhellelag vil brytes opp, og moldjorda vil bli blandet med mineraljorda fra dypere sjikt. Dette stabiliserer pH-verdien mot svingninger. Jordløsningen er positivt for alle vekster, men størst virkning er det for vekster med dyptgående røtter.

«Bearbeiding av jord og jordløsning fremmer ingen jordstruktur. Flere jordbearbeidingsoperasjoner pakker jorda for hver kjøring, derfor er det viktig med så få overkjøringer som mulig. Effekt av jordløsning oppnår man når planterøtter vokser til i porene i jorda, raskest mulig etter jordløsning. Jordløsning kan være en risiko å utføre om våren, da det sjeldent er tørt nok lenger ned i jorda. Om høsten bør jordløsning skje før høstregnet gjør seg gjeldende» (Bysveen 2015 s.19-20). «Oppkjøring av jorda ved hjulspinn og skader som skyldes kjørespor etter traktoren, kan lett oppstå ved jordløsning i for fuktige forhold. Er det for tørt ved løsning, vil dette resultere i overdreven løfting/heving av jorda som skaper ujevn overflate, og det vil lettere oppstå skader av røtter som kan føre til at graset lettere går ut av enga» (Bhogal et al. 2011). «Når jordløsning skal utføres, bør det løsnes like under den eventuelle pløyesåle. Dypere løsning øker drivstoffkostnadene, og kan føre til pakking i undergrunnsjorda. Ved løsningen skal jorda bølge seg over løsnetinder og gåsefotskjær. Jorda skal løftes opp og legges på plass igjen. Om denne bølge bevegelsen ikke oppstår, må kjøringen opphøre» (Bysveen 2015, s.20). Om graset skulle forvokse seg etter løsning om høsten, er det fordel å bruke sau til å beite enga, i stedet for storfe eller slåing med traktor. Om våren tilrådes det å utføre høsting av gras med traktor fremfor å la husdyr få gå og beite etter løsning» (Bhogal et al. 2011).

Når det gjelder forskning på jordløsning for eng, er det i løpet av en 20 års periode på 1980 og 1990 tallet utført noen nasjonale forsøk i Storbritannia og Nord Irland. Ut fra disse studiene ble laget en oppsummeringsliste over viktige punkter vedrørende jordløsning i eng (Bhogal et al. 2011 s. 27):

- Jordløsning i pløyesjiktet bør ikke utføres med mindre det er klare tegn til jordpakking, og når fuktigheten i jorda er på et akseptabelt nivå slik at jordpakking unngås.
- Jordløsning anbefales ikke i dårlig drenert jord, og når det ikke er dreneringssystem tilstede.
- Jordløsning bør utføres om høsten når grasveksten avtar.
- Redskapet må være riktig innstilt slik at arbeidsdybden ligger like under nivået av komprimering.
- Det er viktig å sørge for at det komprimerte delen av jorda som skal løses, er over den kritiske arbeidsdybde når redskapet brukes.
- Nyelig løsnet jord er sensitiv for pakking/rekomprimering. Det er viktig å la nyløsnet eng/jord få stabilisere seg ved rot-aktivitet og andre naturlige jordprosesser før skiftet blir beitet av husdyr eller arbeidsoperasjoner med traktor utføres.

«Forskning viser at effekt og varighet av jordløsning er fra ett til tre år. Hvor raskt jorda pakkes etter løsning, er avhengig av flere faktorer. For det første er det trafikken på jorde etter løsningen. Hvert år kjøres hver kvadratmeter jord over en eller flere ganger. Et gjennomtenkt kjøremønster reduserer antall overkjøringer. Før røttene og jordorganismer har etablert seg er mekanisk løsna porer sårbare. Ellers synker jorda sammen etter løsning av sin egen

tyngdekraft. Regn og eventuelt vatningsvann vil bringe med seg små og løse jordpartikler nedover, som fører til tetting av porer» (Bysveen 2015 s. 20). Jordløsning og lufting av eng viser seg å kunne forbedre jordfysiske egenskaper og begrense overflateavrenning av sedimenter og næringsstoff fra eng. Dette gjelder fortrinnsvis på eng hvor jordpakking var påvist og jordløsning effektivt utført, selv om resultater fra ulike forsøk varierer. Det ble påvist i enkelte forsøk at mekanisk løsning kan ha en gunstig effekt på jordfysiske egenskaper, og i noen tilfeller økte avlingene (Bhogal et al. 2011). Varigheten ved kjøring med piggtrommel har ved forsøk vist seg å vedvare i 40 uker før man må gjenta løsningen (Burgess et al. 2000).

### 2.3.4 Utstyr for mekanisk oppløsning av jord i eng.

«Mekanisk jordløsning defineres som et mekanisk tiltak for å bearbeide jordlag dypere enn vanlig jordarbeidingsdybde» (Riley 1987). Dette vil si som regel dypere enn ploglaget.

Når det gjelder kommersielt tilgjengelige maskiner for oppløsning av eng og beitemarker, kan dette deles inn i tre forskjellige hovedgrupper:

1: Aerators/luftere/: - Piggtrommel er et redskap bestående av trommel med rektangulære «ståltenner» som er 15 cm lange og 3 cm brede «pigger» festet radialt på en aksling, som danner åpne luftflommer i jorda (Figur 2.10;Figur 2.11).



Figur 2.10 t.v.: En aerator er hovedsakelig konstruert for å øke luftgjennomstrømning i jordoverflata av enga og å forbedre infiltrasjonsevnen av vann (Bhogal et al. 2011).

Figur 2.11 t.h.: Konstruksjonen består av aksling påmontert rektangulære tenner radialt på trommelen. Akslingen er montert med en vinkel, slik at den etterlater seg åpne "sår" med ca. 10 cm dybde i jordoverflata (Bhogal et al. 2011).

«Jobben «tennene» gjør er å kutte igjennom torva i den øvre del av matjorda. Arbeidsdybden er ca. 10 cm avhengig av grunnforhold, bladkonfigurasjon og arbeidsbredde. Akslingen er montert i en liten vinkel i forhold til kjøreretningen, slik at det dannes åpne luftflommer under jordoverflata. Praktiske erfaringer har vist at optimal resultat oppnås i begrensede fuktighetsnivåer i jorda. Er det for vått, arbeider redskapet for dypt og kan bidra til oppriving av grastorva som videre lettere kan bidra til forurensning i form av erosjon ved nedbør. Om redskapet blir kjørt på relativt grunn løsning, kan selv uegnede fuktighetsforhold i jorda forandres i løpet av vekstsesongen» (Bhogal et al. 2011). I følge Fjelldal & Hagen (2011) «anbefales det å kjøre en piggtrommel på tvers av normal kjøreretning av jordet. Den kan

brukes til å løsne pakket jord og delvis dekke gamle planterester. Mørk jord varmes raskere opp, og opprevet jord gir mulighet for såing. Hullene i jordskorpa gjør både luft og vann finner vei lettere ned i jordsmonnet. Den kan også bli brukt til delvis nedmolding av avlingsrester på høsten for å framskynde nedbryting, og utnytte fryse og tineprosessene i jorda i løpet av vinteren og våren».

2: Sward lifters: Dette er et redskap som utfører jordløsning i dybden 20 til 35 cm ved løfting og tilbakelegging/ «pakking» av løsnet grastorv. Ved kjøring starter løsningsprosessen med et rulleskjær som lager et snitt i jorda. Bak dette snittet er det et vertikalt montert bein som følger snittet. Nederst på beinet er det festet en spiss som løfter opp jorda. Bak dette beinet er det montert en trommel som jevner og pakker jorda noe tilbake, slik at den ikke blir for ujevn og løs (

Figur 2.12). Effekten en sward lifter trenger for å bli dratt er høy. For å unngå overdreven hjulspinn anbefales det en traktor på 140 til 160 hestekrefter avhengig av feltforhold (Bhogal et al. 2011). Redskapet kan redusere problemet med vann på overflata, ved at vatnet lettere finner veien ned til grøftesystemet.



Figur 2.12: Et eksempel på sward lifter med fire løsneaggregater (Bhogal et al. 2011).

3: Undergrunnsløser - Arbeider i dybde mellom 35 og 50 cm jorddybde og ofte brukt i åkervekster for å avlaste dyp komprimering.

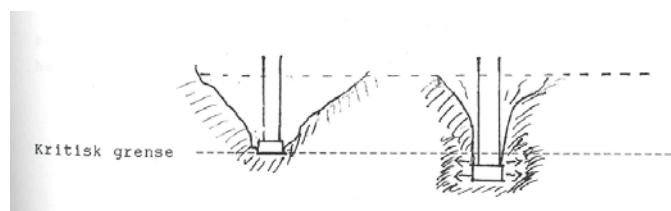


Figur 2.13: Kverneland CLE grubb med tre tinder og vingskjær (Kverneland, 2016).

Kverneland CLE grubb (Figur 2.13) er satt sammen med bladfjærer som løses ut når tindene møter på stein og annen hard undergrunn. Tindene har en aggressiv jordsøking. Redskapen

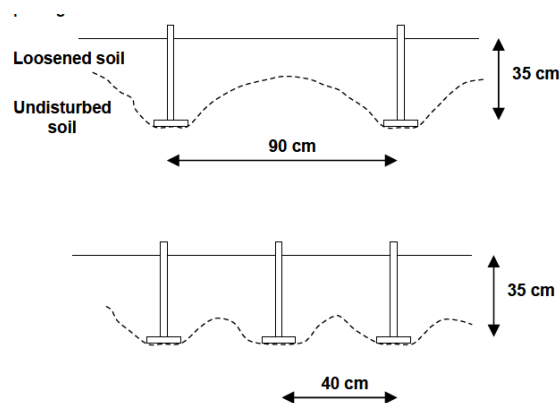
kan arbeide ned til 70 cm dybde og man kan velge antall tinder fra en til fem stykk. Tindeavstanden kan justeres fra 60 til 90 cm og vingskjærene kan fås i to bredder 300 mm og 650 mm avhengig av arbeidsforhold (Kverneland, 2016).

Ved løsning er grunnforholdene avgjørende for hvilken jobb utstyret gjør i jorden. Utføres jordløsning ved for høyt fuktighetsinnhold i jorda, vil dette resultere i at redskapet skjærer en slisse/fure igjennom jordsmonnet, og løsningen blir begrenset. Ved for tørr jord vil det oppstå skade i torva og i jorda. Skadene vil være på et uakseptabel nivå. Dybden av det kompakte laget bestemmer arbeidsdybden ved løsning. Løsneutstyret bør ikke gå noe dypere enn 3-4 cm under det jordlaget som skal brytes opp (Figur 2.14). Ved bruk av jordløserer vil en kritisk dybde oppstå avhengig av bredden på foten som går ned i jorda. En tommelfingerregel er en bredde på 6 cm på foten til en tinne, tilsvarende en kritisk dybde på 36 cm. Operasjoner som utføres under kritisk dybde vil føre til sammenpressing av jord på grunn av sideveis motstand for den omgivende jord (Bhogal et al. 2011).



Figur 2.14: Effekten av jordløsning som utføres over og under den kritiske grense i jord (Spoor & Godwin 1978)

For å få en jevn jordløsning er avstanden mellom løsnetindene også avgjørende. Overlappingen må være tilfredsstillende for å få jevn løsning slik Figur 2.15 illustrerer. Stor avstand mellom tindene danner en «høy bølgeformet» struktur av uløst jord. Jordløserer med mange tinner tett til hverandre, gir jevnere «små bølgeformet» løst jordstruktur.



Figur 2.15: Avstanden mellom hver jordløsetinde er viktig for hvor jevn løsningen blir (Spoor & Godwin 1978).

## 3 Materiale og metode

I dette forsøket ble det opprettet to forsøksfelt på to forskjellige steder. Et hos Store Håland Samdrift Da, Nærbø i Rogaland, og det andre hos Meland-Skjenald samdrift, Orkdal i Sør-Trøndelag. Disse to samdriftene ble plukket ut fordi de dyrker gras på tung, kompakt og massiv, fuktig til dels våt jord som er pakket og kan utsettes for uheldig pakking ved kjøring.

### 3.1.1 Gårdene

#### Nærbø

I Nærbø ble forsøksfeltet etablert i ei 2. års eng med raigras den 11.juni 2014, (58°38'48.7"N 5°40'9.2" Ø, 70 meter over havet). Skiftet leies av Asgeir Pollestad som er medeier i en samdrift med tre medlemmer. Produksjonen i samdrifta er på 450 000 liter melkekvote med fullt påsett. Det er grovforproduksjon på totalt 500 daa, hvor 420 daa blir brukt til ensilering til for, resten til beite. Bonden planlegger fire slåtter for hver vekstsesong, hvor graset blir lagt i plansilo. Slåtten utføres av innleid entreprenør som tar seg av slåing, raking og snitting. Beregnet tidsforbruk på å snitte graset er 7 timer på 400 daa. 4. slåtten blir lagt i rundball. Enga gjødsles ved breispreing med 5-6 tonn husdyrgjødsel per dekar om våren, og i tillegg tilføres kunstgjødsel CAN 27 NS. Etter slått tilføres ca. 5 tonn husdyrgjødsel pluss ammoniumnitrat. Omlegging av eng skjer i utgangspunktet hvert 5. år, men det varierer hvor ofte dette skjer da målet om omlegging av 100 daa jord ikke alltid oppnås. Skiftene blir brakket om høsten med glyfosat før pløying. Videre jordbearbeiding etter pløying er tromling med Vaderstad crosskill for å jevne såbedet, så såing og tromling. Jorda er noe utsatt for belastning av tung mekanisering ved innhøsting som utføres av en selvgående snitter på 10000 kg, grasvogn på 25 m<sup>3</sup> som veier ca.10-12000 kg ved full lastekapasitet. Husdyrgjødsel tilføres med en breispreingsvogn konstruert med enkel aksling og har totalvekt på 13 tonn.

#### Orkdal

Det andre forsøksfeltet ble opprettet i Orkdal, (63°18'56.3"N 9°48'42.8"E., 5 meter over havet.) Dette er en samdrift med fire eiere. De drifter en kvote på 400 000 liter, plass til 50 kyr og fører opp okser til slakt. De driver 674 dekar hvor 321 daa er leid areal. På jordene har de et vekstskifte hvor de skifter mellom helgrøde av hvete med gjenlegg av gras som brukes til grovfor, ettårig raigras og eng med frøblanding 4 som inneholder timotei, engsvingel, engrapp og rødkløver. De blander inn også litt raigras i blandingen. Levetiden av enga er på to til fire år. De planlegger ut ifra å kunne få to til tre avlinger avhengig av lengde på vekstsesong, klima og vekstforholdene på skiftet. 1. slåtten skjer vanligvis i slutten av juni, 2. slåtten i slutten av juli og 3. slåtten etter 10 september. Innhøstingen foregår etter totrinns metoden med breispreiding av grasskårer med slåmaskin, graset samles opp og kuttes med en finsnitter og avlesservogn til silolegging og noe i rundball.

De prøver å få enga til å vare i fem år, men med varierende resultat. Fornying av enga foregår om våren eller i august. Fornyinga starter med sprøyting, husdyrgjødsling og kalking før pløying. Husdyrgjødsel spredes med slangespreder med nedfeller eller med 6 m<sup>3</sup> gjødselsvogn på 6,6 tonn. Husdyrgjødsel spredes ellers på enga tre ganger i året, om våren, etter 1. og 2. slått. Jorda snues med en tre-skjærs vendeplog før overflaten jevnes med en slodd. Videre blir jorden løst med en rotorharv før frøene blir sådd med frøblanding nr. 4 som består av 65 % timotei, 25 % engsvingel og 10 % engrapp. Jordene blir så tilslutt tromlet.

### 3.1.2 Jorda

#### Nærbø

Skiftet som forsøksfeltet er anlagt på i Nærbø, er rektangulært med relativt horisontal overflate og grenser mot trafikkvei i øst (Figur 3.1). I de andre himmelretninger grenser skiftet mot åker og eng landskap, og mot en bekk i sør. Jordsmonnet på skiftet er av umbrisol, hvor plogsjiktet består av siltig sand med innhold av organisk overflatemateriale. Skiftet går inn under kategorien grunnvannspåvirket organisk jord (NIBIO 2015). Jordtettheten ligger på  $0,83 \text{ g/cm}^3$  i dybden 6- 10 cm og  $0,71 \text{ g/cm}^3$  i sjiktet 20-24 cm. På noen av «ryggene» i skiftet var det mer steinholdig morenejord med innblanding av organisk materiale. Deler av forsøksfeltet ble plassert delvis oppå en morenerygg. Her var jorda hard i sjiktet fra 20 cm og dypere, mens det i andre deler av forsøksfeltet besto av organisk materiale/myrholdig jord. Visuell bedømming gav inntrykk av noe høyere innhold av organisk materiale i de øverste 15 centimeterne generelt på jordstykket. Fra 15-30 cm ble jorda mer sandholdig. Grunnen til at det er hardere jord på moreneryggen skyldes høyt trafikkert område med traktor ved spredning av husdyrgjødsel (Pollestad 2014). Visuelle observasjoner og en mulig teori skulle tilsi at jorda er «tett» i de øverste 5 centimeterne. Ved en enkeltobservasjon ved uttak av sylinderprøver, ble det i rute nr. 12 (Figur 3.3) ved trafikkveien observert overflatevann. Gravde man seg nedover 15-20 cm, var jorda tilnærmet tørr, noe som tyder på langsom eller ingen infiltrasjon i det enkelt tilfellet. Skiftet er grøftet og drenert.



Figur 3.1: Skiftet hvor der er opprettet forsøksfelt i Nærbø. Plassering av forsøksfeltet er markert i blått.

#### Orkdal

I Orkdal er dyrkajorda av siltig finsand med moldinnhold på knapt 3-4 % og varierende innhold av stein på selve stykket. Jordstrukturen er av løs masse med lite binding og det er dårlig struktur i jorda. Jordstykket er tilnærmet flatt med en helning mot nord (Figur 3.2). Steininnholdet er varierende, og mengden øker fra nordvest mot sørøst på jordstykket. Jordtettheten ligger på  $1,39 \text{ g/cm}^3$  i sjiktet 6-10 cm og  $1,33 \text{ g/cm}^3$  i sjiktet 20-25 cm. Skiftet er ikke drenert og har varierende evne til å transporterer vann ned i jorda avhengig av påkjenning av traktor trafikk. Dette er avhengig av arronderingen av skiftet, kjøremønster og om hvor mye jorda blir bearbeidet av hjulene på traktor og redskap. Jorda blir mest utsatt for pakking ved av og



Figur 3.2: Skifte hvor der er opprettet forsøksfelt i Orkdal. Forsøksfeltet er markert i blått,

påkjørsel til skiftet som er plassert ca. midt på skiftet mot nord fra asfaltvei, samt på fotlandet. Skiftet er ikke grøftet eller drenert.

### 3.1.3 Klima

Værforholdene sommeren 2014 var preget av mye fint, tørt og varmt vær. Nedbøren fordelte seg ujevnt utover sommeren i perioder med pent og tørt vær avbrutt med store nedbørsmengder konsentrert fra noen timer til noen døgn. Dette oppsto oftere i Rogaland enn i Trøndelag i 2014. Værdatablene for sommeren 2014 og 2015 er hentet fra værstasjonene Tamshavn i Orkdal og Særheim på Klepp i Rogaland. Normalverdiene er hentet fra Særheim og Øyum værstasjon.

#### Nærbø

Det har vært noe kjøligere i første halvdel av mai og store deler av juni i Rogaland 2014 (Tabell 3.1). Det har falt mer nedbør enn normalt i februar, mars og i april. Mai, juni og juli har vært tørrere enn vanlig. Fordampningen av vann har i den samme periode antagelig vært høy sammenlignet opp mot nedbøren som har falt, og temperaturen har vært noe høyere i 2014 enn referanseperioden 1960-1990. August var nesten tre ganger våtere, mens september og oktober ikke har vært så forskjellig fra normalen. I november har det vært noe mindre nedbør, mens desember har vært våt med nesten dobbelt så mye nedbør enn normalen viser. Temperaturen har gjennom hele 2014 ligget fra 0,5 °C opptil nesten 4 °C over normalen. Juli har vært ekstra varm dette året med 18,3°C i snitt. Det er også registrert minimumstemperaturer under frysepunktet i januar, februar, mars og desember. Planteveksten i 2014 antydes å være fra mars til og med november.

Tabell 3.1: Temperatur og nedbørsoversikt for Særheim målestasjon observert i 2014 og 2015, med normalverdier (1960-1990) nederst.

	Særheim	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	År
Temp.	2014	1,9	4,2	5,4	8,4	10,4	13	18	14,7	13,7	11	7,4	3,7	9,3
Nedbør	2014	108	153	154	94,1	30,8	26	80	306	106,1	183	98,1	221	1560
Temp.	2015	3,3	2,8	4,6	5,4	7,6	11	13	16	13	9,3	6,9	5,9	8,21
Nedbør	2015	284	119	154	85	158	63	83	88	141	55	212	291	1733
Temp.	1960-1990	0,5	0,4	2,4	5,1	9,5	13	14	14,1	11,5	8,6	4,4	2	7,1
Nedbør	1960-1990	105	75	80	60	70	75	95	125	160	160	150	125	1280

Vintermånedene og mars måned i 2015 har vært fra 2°C til 4°C grader varmere enn normalt. April, mai, juni og juli har vært noe kjøligere enn normalen. Høstmånedene august, september, oktober og november har vært varmere enn normalen. 2015 viser seg å være et nedbørsrikt år. Det har falt mer nedbør i månedene januar til mai enn hva referanseperioden viser til. Perioden juni til og med oktober var det noe mindre nedbør enn vanlig. November og desember falt det mer nedbør enn normalt hvor i desember falt det over dobbelt så mye nedbør enn normalt. Planteveksten ser ut til å være fra mars til desember.

## Orkdal

Året 2014 startet med middeltemperaturer som var høyere enn normalen for januar til april/mai (Tabell 3.2). Det har ikke vært sammenhengende kulde perioder i løpet av vinteren, men differansen mellom observert temperatur og normalverdier viser at det er fra 3° C til 7° C høyere middeltemperatur om vinteren og våren i 2014 fra normalen. Temperaturen varierte mellom natt og dag, og det kan forekomme frost om natta ved minimumstemperatur om vinteren og våren. Juli til desember har generelt vært varmere enn normalen. Juli har vært fire grader varmere, samt høsten har det vært godt klima. Temperaturen var ikke lav nok før i november måned da det oppstod nattefrost. Mulighet for plantevekst har det vært fra månedsskiftet mars/april til månedsskiftet oktober/november.

Det har falt nedbør under normalen i januar, februar, september og oktober. Ellers er det nedbørsmengder som ligger nærme normalen resten av året. Juni har vært ekstra våt med 36 millimeter over normalen. Dette gjelder også november og desember med 43mm og 38 mm over normalen. Juli har vært noe tørrere enn normalen.

Tabell 3.2: Månedsvise nedbør og temperaturoversikt for årene 2014 og 2015 registrert ved Tamshavn i Orkdal. Normalverdiene (1960-1990) er hentet fra Øyum værstasjon i samme område.

	Tamshavn	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	År
Temp.	2014	-2,8	2	2,9	5	9,1	12	18	14,6	11	7	0,1	-1,5	6,4
Nedbør	2014	1,3	11,9	76,9	63	45	97	66	82,4	42,6	52	56,6	111	705
Temp.	2015	-2	1,6	2,8	4,6	7,5	10	13	15	12	6,6	2,7	0,9	6
Nedbør	2015	47	80	60	79	47	69	58	82	43	52	57	111	782
	Øyum													
Temp.	1960-1990	-5,8	-4,9	-1,8	2,8	9	13	14	12,9	8,7	4,5	-1,4	-4,1	3,8
Nedbør	1960-1990	87	71	71	53	41	61	86	88,4	75,7	62	13	73,4	965

Klimaet i 2015 viser tendenser til å ha middeltemperatur under frysepunktet bare i januar. Resten av året var middeltemperaturen over 0 °C, men med mulig nattefrost fra februar til mai og oktober til desember. Middeltemperaturen lå spesielt over normalverdiene vinter og tidlig vår måneder. Mai, juni og juli har vært kaldere enn normalen dette året. August til og med desember har vært varmere enn normalt, hvor plantevekst kan antagelig ha forekommet frem til slutten av oktober. Totalt har 2015 vært noe tørrere enn normalt.

Det har vært nedbørfattig/tørr periode i januar, juli og høst fra september til og med november. Ellers ligger nedbørsverdiene tilnærmet normalverdiene med opptil 10 millimeter i differanse. En kjølig vår med god vanntilgang har ved visuelle erfaringer gitt gode grasavlinger (Anders Rian pers.medd.).

I Orkdal har vintermånedene og de to første vårmånedene vært opptil 4-5 grader varmere enn normalt i 2015. Mai, juni og juli har vært noe kjøligere, men resten av året har vært varmere enn normalen. Det har vært en tørr start med lite nedbør i januar, februar og mars. April var noe våtere enn vanlig. Juli, september, oktober og november var tørrere enn vanlig.

Den totale nedbørsmengden er over dobbelt så høy i Rogaland sammenlignet med Orkdal. Temperaturen er også ca. 1° C høyere i Nærbø enn i Orkdal i vekstsesongen.



### 3.1.4 Forsøksplan, behandlinger og utstyr.

Det å finne redskaper som er produsert for jordløsning av eng, er ikke så lett i Norge. De redskapene som var lettest tilgjengelig på det tidspunktet var en jordløsner av merke Evers sward lifter, og en piggtrommel av merket Glenside oxygenerator i Nærbø. I Orkdal var det en Kverneland CLE grubb som var tilgjengelig. Utføring av behandling av forsøksrutene ble gjort etter førsteslått og påfølgende gjødsling, på en dag hvor det ikke var nedbør. Dette for å begrense mulig oppkjøring av enga og eventuell jordpakking ved løsning. Det ble tatt fuktighetsmålinger av jorda med jordprøver som ble tørket i varmeskap ved 105°C, i to til tre dager. Fuktighetsmålingene ble tatt i to dybder: 0-20 cm og 20-30 cm.

#### Nærbø

På jordstykket i Nærbø, er grunnvannstanden høy. Dette kan bidra til å hemme plantevekst. Jorda er dermed lettere utsatt for jordpakking ved kjøring av traktor, og kjørespor kan lettere oppstå i overflata. Problemet ble da å finne en metode som kan begrense fuktigheten i jordoverflata. Med de to redskapene vi hadde til disposisjon, var det to muligheter som var tilstede. Med jordløseren kan en prøve å bryte en eventuell plogsåle, og samtidig løse opp pakket jord. Metoden skaper også kanaler for vann til å finne letteste vei nedover i jordprofilen. Ved å kjøre piggtrommel, lager den små åpne luftlommer som er 10-15 cm dype og opptil 5 cm brede i jordoverflata. En hypotese med bruk av piggtrommel er at den skal bidra til at planterøtter skal få mere luft i vekstsonen som videre skal bidra til færre omlegginger av skiftet. Videre er det interessant å undersøke hvilken betydning piggtrommel og jordløsner har hver for seg, og i kombinasjon med hverandre. Løsnedybde ned til 30-35 cm ble valgt for å undersøke om det er en eventuell pløyesåle eller pakket undergrunns jord som er årsaken til «vassjuk jord». Ut i fra de ulike redskapene som var tilgjengelig kunne vi sette opp en plan med fire ledd i behandlinger:

A: Kontrollrute, ingen behandling.

B: Kjøring med piggtrommel, «lufting ned til 15 cm dybde».

C: Jordløsning med Evers sward lifter på 35 cm dybde.

D: Kombinasjon av kjøring med piggtrommel og jordløsning til samme dybde som oppgitt i rute B og C.

I Nærbø ble det operert med en rutebredde på seks meter og rute lengde på 20 meter som gir et areal på 120 kvadratmeter pr. rute (Figur 3.3). Rutebredde ble valgt ut i fra arbeidsbredde på redskap og for å unngå unødvendig kjøring på jordet. Redskapen som ble brukt til jordløsning var en Evers sward lifter (Figur 3.4). Redskapet er tre meter bred og har fem jordgående tinder som skal løfte opp/løsne jorda, og har en egenvekt på 1690 kg.

Rutenr	5	6	7	8	9	10	11	12
Gjentak	2	2	2	2	3	3	3	3
Ledd	C	A	D	B	D	C	A	B

Rutenr	1	2	3	4
Gjentak	1	1	1	1
Ledd	A	B	C	D

Figur 3.3: Forsøksfelt med fire forskjellige felt og tre gjentak i Nærbø.

Løsneprosedyren skjer først med et rulleskjær som lager et snitt i jorda. Deretter kommer en vertikal stålegg som det er festet en «plogspiss» i nedre ende. Den løfter opp jorda på hver side av «plogspissen», og lager slisser/spor i jorda fra overflata og ned til valgt løsnybde. For at jordoverflaten skal bli mest mulig slett i overflata etter jordløsning, er det montert en trommel bak på jordløseren, som «utjevner» eventuelle ujevnheter i jordoverflata. Den fungerer



Figur 3.4: Evers sward lifter er tre meter bred og har fem løsneorganer med pakkere/tromler bakerst.

også som en dybderegulator for redskapet, og er en etterpakker for jorda. Jordløseren var i dette tilfellet montert på en John Deere 6930. Den har en egenvekt på 7115 kg. Det var også påmontert ekstravekter foran på totalt 250 kg. Traktorens hjulutrustning er av merke Michelin med dimensjon 600/60 R28 foran og 710/60R38 bak. Lufttrykket ved løsning var på 1,11 bar foran og 1,18 bar på bakhjulene. Akslingene på piggtrommelen er skråstilte slik at bladene skal danne groper/luftlommer i grasmatta på en slik måte at vann skal kunne infiltrere lettere nedover i jorda, eventuelt fordampe og samtidig løse opp jorda (Figur 3.5). I dette forsøket var piggtrommelen montert til en Fendt 413 Vario TMS med en egenvekt på 5705 kg. I tillegg kommer vekten av laster med braketter på ca. 800 kg. Hjulene på traktoren er av Michelin 540/65 R 26 med 1,6 bar lufttrykk i hjulene. Kjøreretning er i forsøksrutenes lengde ved løsning. På skiftet er det anlagt eng i 2012 med raigrasblanding. I 2013 ble det tilsådd ekstra raigrasfrø på grunn av dårlig overvintring. Jordløseren ble kjørt før piggtrommel. Dette skyldes at luftlommene etter piggtrommelen skaper løsere overflatesjikt, og dermed kan det lettere oppstå sluring mellom traktorhjul og overflata på enga. Med denne fremgangsmetoden skal man kunne begrense oppkjøring av torva i forhold til om man har utført jordbehandlingen i motsatt rekkefølge.



Figur 3.5: (t.v.) Glenside oxygenerator er tre meter bred og har fire balasttønder oppå redskapen for å sikre at godt arbeid blir utført. (T.h.) På akslingen er det montert rektangulære stålskiver som danner åpninger i jordoverflata.

Gjentak 1 i forsøksfeltet ble flyttet på grunn av det ble liggende helt inntil åkerkanten i sin opprinnelige plassering. Dermed har gjentaket blitt utsatt for ekstra traktortrafikk ved spredning av husdyrgjødsel og ved innhøsting. Rutene i gjentaket har dermed blitt utsatt for mer pakking enn rutene i de andre gjentakene både før og under forsøkene. Undergrunnsjorda i det området kan være noe hardere enn ellers på skiftet, ettersom bonden har et bestemt kjøremønster når adkomstveien til skiftet er i det ene hjørnet på skiftet. Lengden på forsøksrutene er i samme retning som kjøreretning ved høsting og lengden på skiftet. Forsøksfeltet er statistisk satt opp til å være et randomisert blokkforsøk med fire gjentak.

### Orkdal

I Orkdal er det også noe fuktig i øvre del av jordsjiktet og jorda er kompakt og massiv. Med Kverneland CLE Grubb med arbeidsbredde på 1,8 meter (Figur 3.6) ble det valgt å bruke rutebredde på 2,70 meter p.g.a. grubbens totale bredde inklusive hjul, og en lengde på 25 meter som gir et areal på 67,5 kvadratmeter. Feltet ble lagt



Figur 3.6: Kverneland CLE grubb med tre løsneorganer og en arbeidsbredde på 1,80 meter.

i et område på skiftet hvor det er noe mindre stein, for å unngå å rive opp for mye av grastorva unødvendig, og lage ei ujevn overflate som kan skape utfordringer i siloslåten.

Vingskjærene i enden av jordgående tindene på grubben ble også tatt av for å unngå oppkjøring av arealet mest mulig. Grubbens egenvekt er på 750 kg. Ved løsning har den en del felles med Evers sward lifter med et rulleskjær fremst som lager et snitt i jorda. Deretter kommer en vertikal stålegg med en «plogspiss» montert i nedre og fremre del av stålplanken,

1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	B	C	B	C	A	B	C	A

Figur 3.7: Forsøksfeltet i Orkdal er et blokkforsøk med tre gjentak.

som løfter jorda opp mot planken og river jordblokkene fra undergrunnen. Det ble ryddet vekk stein og lagt tilbake gresstovr som ble revet opp og dratt av sted. Etter grubbingen ble det også kjørt over med en trommel for å jevne jordoverflata ytterligere. Grubben ble montert på en traktor av merke Valtra 6650 med frontlaster og egenvekt på 5131 kg. Våre hypoteser for å bedre de jordfysiske forholdene på skiftet, er å bryte/løse opp en mulig plogsåle i 20-25 cm dybde. Den andre metoden for å bedre fuktighetsforholdene i jorda er å danne «kanal(er)» for vannet og løse opp noe av undergrunnsjorda. Ut i fra disse hypotesene ble det satt opp en plan for hvordan behandlingsleddene som vist i Figur 3.7. De ulike behandlinger er:

A: Kontroll, ingen behandling.

B: Løsning ned til 25 cm

C: Løsning ned til 35 cm.

I Orkdal ble rutebredden satt til 2,7 meter i bredden og 25 meter i lengden. Forsøksrutene er anlagt i ei 2.års eng. Lengderetning i forsøksrutene er anlagt 90 grader på vanlig kjøreretning ved jordbearbeiding og høsting. Jordløsninga ble utført etter 1. slått og påfølgende gjødsling. Forsøksfeltet er et randomisert blokkforsøk med tre gjentak i Orkdal.

### 3.1.5 Løsning av forsøksfeltene.

Løsning av forsøksrutene ble gjort etter førsteslått og påfølgende gjødsling, på en dag hvor det ikke var nedbør. Dette for å begrense mulig oppkjøring av enga ved løsning. Det ble tatt fuktighetsmålinger av jorda med jordprøver som ble tørket i varmeskap ved 105°C i to til tre dager og resultatene er vist i Tabell 3.3 og Tabell 3.4. I forsøksfeltet i Nærbø varierer fuktighetsinnholdet i jorda i sjiktet 0-20 cm fra 24 vol % til 44 vol % vanninnhold. Det er lite vann i overflata på rute nummer 5,6,10,11 og 12 sammenlignet med de andre rutene. I dybden 20-30 cm i de overnevnte rutene er det varierende fuktinnhold i jorda, noe som kan gi et tegn på varierende evne til infiltrasjon og eventuell pakking/plogsåle. Det er i rute 4,5,7 og 12 det er lavest fuktinnhold i jorda. Denne variasjonen skyldes variasjon av innhold av organisk materiale som ligger i øvre del av jordsjiktet. I sjiktet 20 – 30 cm ser vi det er jevnt over mer vann i jorda enn i de øvre 20 cm av jorda.

Tabell 3.3: Vanninnhold (vol%) for jordprøver tatt ved jordløsning i Nærbø. Jordprøver tatt fra 0-20 cm og 20-30 cm dybde.

Rute nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0-20 cm	44,0	44,0	35,8	47,8	24,3	29,1	35,7	31,1	39,2	23,3	26,9	21,4
20-30 cm	46,7	42,8	46,0	28,7	25,0	39,0	21,7	33,8	27,3	33,4	40,2	26,3

I Orkdal er jordtypen mer homogen mineraljord med lavt innhold av organisk materiale, Differansen på fuktighetsinnhold i de to sjiktene er i snitt på nesten 5 % se (Tabell 3.4). I rutene 6 til 9 er differansen mindre. Det kan antydes at det kan være forskjell i jordstruktur og/eller sammensetning.

Tabell 3.4: Vanninnhold i vol% for jordprøver tatt ved jordløsning i Orkdal. Jordprøver tatt fra 0-20 cm og 20-30 cm dybde.

Rute nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-20 cm	35,0	38,6	38,8	38,5	41,0	35,8	37,1	40,3	34,3
20-30 cm	26,8	27,4	26,7	29,4	29,8	33,0	32,0	31,5	31,3

Anlegging av forsøksfelt og løsning av jorda ble utført 11 juni i Nærbø og 20 juni i Orkdal 2014. Representanter fra Nibio avd. Særheim og avd. Kvithamar var tilstede på hvert sitt forsøksfelt, samt Norsk landbruksrådgivning i Sør-Trøndelag var representert ved jordløsningen i Orkdal.

Været etter 1. slått var preget av noe nedbør hver dag som kunne skape vanskeligere forhold for å unngå kjøreskader ved løsning. På de to ulike dagene det ble løsnet på, var det oppholdsvær, i perioder pent vær. Fuktigheten i jorda ved løsninga ligger i snitt på 38 vol% vann i sjiktet 0 – 20 cm og 30 vol % vann i sjiktet 20-30 cm dybde i Orkdal. Feltkapasiteten er i snitt registrert til å ligge på 33,5 vol% i de overnevnte dybdene. I Nærbø var jordfuktigheten i snitt på ca. 34 vol% i begge sjiktene, hvor feltkapasiteten i snitt ligger på 54,8 vol%.

## 3.2 Målemetoder

### 3.2.1 Avlingsregistrering

Før hver siloslått, ble det høstet gress til registrering av tørrstoffinnhold og avlingsmengde på de ulike rutene på hvert forsøksfelt. Det blir høstet gras på ei rute som er 1,39 meter bred og fire meter lang med ei tohjulsslåmaskin. Massen av gras veies rute for rute for å registrere råavlingen. Fra råavlingsregistreringa tas det ut en masse på en kilo som blir tørket i et skap på 60°C i to døgn. Når både råvekt og tørrvekt er registrert, kan tørrstoffmengde beregnes, og dermed avling per daa. Registrering av avlingen er utført av ansatte i NIBIO avd. Særheim og avd. Kvithamar på hvert sitt felt. Det er registrert tre avlinger i Nærbø og to avlinger i Orkdal i 2014. Dette skyldes at forsøksfeltet ble opprettet etter 1. slått. I 2015 ble det registrert fire avlinger i Nærbø og tre avlinger i Orkdal.

### 3.2.2 Jordfysiske målinger

Jordfysiske målinger er foretatt to ganger på begge forsøksfeltene. Den første var 7.oktober i Orkdal og 14. oktober i Nærbø 2014. Besøk nummer to var 6. august i Orkdal og 9. september i Nærbø 2015. Det arbeidet som ble utført på forsøksfeltet var: skjærfasthetsmålinger, uttak av jordprøver for å måle jordfuktighet, uttak av jordsylinderprøver og infiltrasjonsmålinger. I 2015 ble det bare utført skjærefasthetsmålinger og uttak av jordfuktighetsmålinger.

#### **Skjærfasthet**

Skjærfasthet er jordas evne til å holde seg stabil uten at det oppstår brudd av overliggende masser eller belastninger. Skjærfasthet er jordas evne til å tåle disse spenningene uten at det oppstår brudd. Fastheten skyldes bindinger og friksjon mellom partiklene. I grovkornede

jordarter skyldes dette friksjon mellom enkeltkorn, og friksjonen øker med økende normalkraft og partiklenes form. Jo finere partiklene er, jo større betydning vil kohesjon mellom partiklene ha for skjærfastheten. Måling av skjærfasthet ble foretatt i 2014 og 2015. Denne målemetoden gir et bilde på hvor fast jorda er når den utsettes for en kraft før et brudd oppstår. Motstanden blir målt med et momentnøkkel som er festet til vingebor. Vingeboret består av fire vinger festet radially i ene enden på en rund stang. En vinge er på 25 mm \* 10mm. Dette danner en sirkulært areal med en diameter på 50 mm i enden av stanga (Figur 3.8). Ved bruk bankes vingeboret ned til en ønsket dybde, i dette tilfellet ble målingene utført i tre etapper med dybde på 10 cm, dvs. 0-10 cm, 10-20 cm og 20- 30 cm ned i jorda. Så monteres momentnøkkelen til vingeboret. Det er viktig å være obs på at viserne i urskiven for avlesning står på null før dreining av momentnøkkelen utføres. Vingeboret dreies minimum en halv runde før en leser av momentet ved hjelp av en svart viser som blir stående igjen på målt motstandskraft. Det er foretatt 30 skjærfasthetsmålinger per rute. 15 av målingene er tatt 20 cm fra ei valgt fure i jorda og de siste 15 målingene er tatt midt i mellom to furer. Dette er gjort for å finne ut om hvor langt ut til siden løsninga har virket, eventuelt en mulig jordpakking sideveis fra en tinde har oppstått. Jordas skjærfasthet er en funksjon av kohesjon



Figur 3.8: Utstyr som brukes ved skjærfasthets målinger. Vingebor t.v., momentnøkkel midten og hammer t.h.

mellom jordpartikler og inter granulær friksjon, (Høstmark et al. 1990) Dette kan utnyttes slik:

$$\text{Skjærfasthet: } (s) = c + f n$$

$$s: \text{ skjærfasthet} = \text{N/m}^2$$

$$c: \text{ kohesjon} = \text{N/m}^2$$

f: friksjonskoeffisient mellom jordpartiklene (uten dimensjon)

n: trykk vertikalt på jordoverflaten ( $\text{N/m}^2$ )

Skjærfastheten = kohesjon når normaltrykket (n)= 0.

En ser at skjærfastheten blir stor når kohesjon pluss friksjonen ganger normaltrykket blir stort.

Ved jordpakking blir jordpartiklene presset mot hverandre, og kontaktflaten mellom dem øker. Det er denne økte kontaktflaten mellom partiklene som skaper friksjon som blir målt ved skjærfasthet. Ved måling av skjærfasthet er det viktig å vite aktuelt vanninnhold da dette påvirker skjærfastheten (Bäumer & Ehlers 1989).

### 3.2.3 Volum og tetthetsanalyser i jord

Uttak av uforstyrret jordprøver utføres med hjelp av stålsylindre på 100 cm<sup>3</sup> (Ø=58,6 mm, h=37 mm). Jordsylandrene blir banket ned i jorda med en hammer. Hammeren slår mot et mellomstykke kalt slaghode, som er tilpasset sylindrene i en ene enden og som det er festet til et skaft på 20 cm på motsatt side. Sylindrene bankes ned i jorden til de er fylt med jord og komprimering av jord mot slaghodet er unngått. Så graves omkringliggende jord vekk fra sylindrene. Sylindrene løsnes fra jorden ved å sette en spade på skrå i jorden under cylinderen og vippe den opp. Jord som stikker utenfor jordsylinderen skjæres vekk med en kniv, og plastikklokk settes utenpå tverrsnittet av cylinderen for å bevare jordprøven uforstyrret. Med disse jordprøvene kan man på laboratoriet utsette jordsylindre for metning av vann og deretter for bestemt trykk i et trykkammer hvor sylindrene blir plassert på keramiske plater. Da finner man jordas evne til å holde på vann ved ulikt trykk, og fordeling av porestørrelse i jordprøven. Fremgangsmåten er beskrevet av von Nitzsch 1936. Videre kan man finne jordtetthet, jordfuktighet ved uttak, luftvolum ved pF<sub>2</sub>, totalt porevolum, luftpermeabilitet og nyttbart vann. Alle jordprøvene er målt og beregnet ved Institutt for miljøvitenskap ved NMBU. Det er tatt ut 48 jordsylinderprøver i Nærbø fra rute 5 til 12, og 36 prøver i Orkdal fra rute 1 til 6. Jordsylandrene er tatt ut fra dybde på 6-10 cm og 20-25 cm fra jordoverflaten, og 20-25 cm avstand fra løsnetinde i enga.

Når en jordsylinder`s volum er kjent som i dette tilfelle er 100 cm<sup>3</sup>, og vi vet at vannets tetthet er 1g/cm<sup>3</sup> noe som tilsvarer 1 vol % og tilsvarer det samme som 1g vann. Ved å mette jordprøvene med vann, utsette dem for bestemt sug i flere etapper og tilslutt tørke dem i skap ved 105 °C, finner en ut hvor mye vann som porene i jordprøven greier å absorbere ved ulik trykk og hvor mye som er «hardt» bundet til jordpartiklene. Direkte med hjelp av vannet finner vi da porevolumet i jordprøven, og vi kan beregne porevolum, jordtetthet, vanninnhold ved ulikt trykk (pF) og luftvolum ved pF 2.

Porevolum (vol%): Luftvolum (vol%) + vannvolum (vol%) eller  
 $100 \cdot (1 - (\text{jordtetthet} / \text{materialtetthet}))$ .

Jordtetthet (g/cm<sup>3</sup>): Netto tørrvekt jordprøve (g)/100 (cm<sup>3</sup>)

(Børresen & Haugen 2003)

### 3.2.4 Luftinnhold (pF<sub>2</sub>)

For å finne andel porer som er fylt med luft ved pF<sub>2</sub> (100 mm vannsøyle.), dvs. porer som ikke holder på vann etter nedbør og er større enn 30µm, blir luftpyknometer brukt. Denne målingen tar utgangspunkt i den generelle gassloven  $PV=nRT$ , og forutsetter konstant temperatur og stoffmengde. Da kan gassloven forenkles til Boyle\_Mariottes lov:  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$  (Børresen & Haugen 2003). Måling av luftinnhold i jordsylinderen utføres med et luftpyknometer ved 100 mm vannsøyle (pF<sub>2</sub>). Volumprosent luft beregnes ut ifra en kalibrering med stålskiver med ulik volum. Nærmere beskrivelser finnes i beskrivelsene til (Torstensson & Eriksson 1936).

### 3.2.5 Mettet vannledningsevne

Mettet vannledningsevne er et mål på jordas evne til å slippe igjennom vann. Mettet vannledningsevne beregnes ut ifra måling av luftpermeabilitet i jordsylindrene på et laboratorium. Luftpermeabiliteten blir målt med en luft permeameter i jordsylindrene ved pF<sub>2</sub> på 20 cm vannsøyle. Fullstendig beskrivelse er beskrevet av (Green 1975). Denne fysiske målemetoden blir brukt som en indeks for jordstruktur på grunn av den er avhengig av effektiv porestørrelse og jordens porøsitet. Den er sterkt påvirket av vanninnholdet, og er høyest når den er tørr. Luftpermeabiliteten beregnes ut ifra en formelen:

$$K=V*(L/A)(N/P)$$

K = Permeabilitet

V = Luftstrøm gjennom jorda (cm<sup>3</sup>/sek)

L= Lengden av sylindren (cm)

N= gassviskositet i poise (0,000180 for fuktig luft ved 15°C)

A= sylindertverrsnitt

P= trykkforskjell i dyne/cm<sup>2</sup>

(Børresen & Haugen 2003)

En terskel-verdi på 3 μm<sup>2</sup> luftstrøm gjennom jorda ansees som et minstekrav for god plantevekst. Luftpermeabiliteten kan videre omregnes til vannpermeabilitet, altså jordens evne til å transportere vann ved denne formelen: «Water perm. (μm<sup>2</sup>) = 0,106 \* luftpermeabilitet<sup>1,31</sup>» (Riley 1996). Vannpermeabilitet kan regnes om til mettetvannledningsevne, med en gjennomsnittsfaktor som representerer vannets viskositet, og som varierer med temperaturen i vannet. I beregningene er det valgt temperatur på 10° C. Dermed multipliseres vannpermeabiliteten med en faktor på 2.70. Med dette får vi vannflyten i jorda oppgitt i cm/time (Riley 1996).

### 3.2.6 Jordfuktighet

Det er tatt ut jordfuktighetsprøver i forbindelse ved jordløsninga på begge forsøksfelt i juni 2014, og ved jordsylinderuttak i oktober 2014, og jordprøver tatt ut for tre ulike sjikt høsten 2015. I Nærbø ble jordsylindrene tatt ut ca. to døgn etter en dag med nedbør (17,5 mm nedbør). I Orkdal har det vært lite nedbør før uttak av jordsylindrene, men det er i slutten av vekstsesongen og behovet for vann er noe redusert. Fuktighetsprøvene er blitt tatt med jordbor ved jordløsningen 2014 og om høsten 2015. I oktober 2014 ble jordfuktighetsmålingene beregnet ut fra fuktigheten i jordsylinderprøvene. Alle prøvene ble samlet hver for seg i små brødposer. Tørking av jorda ble foretatt av NIBIO avd. Særheim og avd. Kvithamar for fuktighetsbestemmelse. Prøvene ble tørket ved 105 °C i to til tre døgn. Måling av jordfuktighet ved sylinderruttak er gjort ved institutt for miljøvitenskap, NMBU. Ved å oppgi vanninnholdet i volum% (vol%) multipliseres vekt% vann med jordtettheten som ble funnet for hver rute.



### 3.2.7 Infiltrasjon

#### Nærbø

Infiltrasjon refererer til jordoverflatens inntaksevne for vann og er definert for nedbør av Hillel (2004) som: " Den maksimale hastigheten jorda, i en gitt tilstand på et gitt tidspunkt, kan absorbere regn". Måling over tid bidrar til at jorda blir mettet av vann og infiltrasjonshastigheten vil da nærme seg vannledningsevnen for mettet jord. Dette ble utført med bruk av to hardplastringer med dimensjon på 37,8 cm i den indre ringen. Ringene ble banket ca 5-10 cm ned i jorda i Nærbø. Med dobbel ringinfiltrometer sikrer man seg at man måler vertikal infiltrasjon da målingene foregår i indre ringen (Børresen & Haugen 2003). Vannhøyden var 15 cm ved start av hver måling, og ringene ble etterfylt med vann underveis, mens målingene pågikk for å unngå at luft kom ned i jorda. Målingene ble foretatt i rutene 5 til 12 i Nærbø, hvor avlesningene ble foretatt for hvert 20. minutt i 1 time og 50 minutter.

#### Orkdal

I Orkdal ble plastikkør med dimensjonene 10 og 15 cm i innvendig diameter brukt som ringinfiltrometer. Begge rørene ble banket minimum 5 cm ned i jorda for å unngå at vannet går opp til overflata ved måling og registrering. Ved start av hver måling, var vannhøyden i røret 15 cm over jordoverflaten. Etter hvert som vannet forsvinner ned i jorden, blir røret etterfylt med vann underveis, før vannet forsvinner ned i jorden slik at man unngår at det kommer luft i jorda ved infiltreringen. Millimeter infiltrasjon blir notert for hvert 10. minutt i 1,5 time til jorden blir mettet med vann og infiltrasjonen blir langsommere. Ved måling over lang tid vil infiltrasjonshastigheten avta og eventuelt stagnere. Når dette oppnås vil infiltrasjonshastigheten nærme seg vannledningsevnen for mettet jord. Det er rutene 1 til 6 som ble registrert med målinger.

### 3.2.8 Porestørrelsesfordeling og vannretensjon/pF

Vannretensjon/pF er en metode for å måle porestørrelsesfordeling eller vannets bindingsenergi i jorda på laboratorium. pF kurver viser sammenhengen mellom jordas matrikspotensiale og jordas volumetriske vanninnhold og går under navnet jordas fuktighetskarateristikk eller vannretensjonskurver (Colleuille et al. 2007). Matrikspotensiale er det potensielle energiinnholdet til vannmolekyler. På grunn av energiinnholdet som er avhengig av tyngdekraft, trykk, oppløste stoffer, beveger vann seg fra et sted med høyt vannpotensiale til et sted med lavt (mest negativt) vannpotensiale (Sunding 2012). pF defineres til å være logaritmen med grunntall 10 til tallverdien av matrikspotensiale som oppgis i cm H<sub>2</sub>O. Sammenhengen mellom ulike enheter for jordas matrikspotensial er vist i Tabell 3.5. Feltkapasitet blir definert ved: «Når jorda er mettet med vann etter nedbør, vil vann dreneres fritt ut av de store porene pga. gravitasjonskreftene. Det vannet som blir igjen holdes tilbake av kapillære porer i jorda, ved dette punktet sies jorda å være ved feltkapasitet. Sandjord dreneres raskt. Den blir raskt gjennomluftet, og har derfor relativ lav feltkapasitet, sammenlignet med leirjord som har mange kapillære (mikroporer) porer som kan holde på vann» (Feltkapasitet 2011).

Tabell 3.5: Sammenheng mellom ulike enheter for jordas matriks sug samt beregnet poreradius (Colleuille et al. 2007).

	bar	cbar = kPa	cm H <sub>2</sub> O	pF	Porediameter (µm)
Visnegrense	15	1500	15000	4,2	0,2
	3	300	3100	3,5	1
	1	100	1020	3	3
Feltkapasitet	0,1	10	102	2	30
	0,01	1	10.2	1	300
Vannmetning	0	0	0	-	-

### 3.2.9 Plantetilgjengelig vann/nyttbart vannkapasitet

Dette betegnes som jordas vannlagringsevne eller vannkapasitet og uttrykkes i volum% (vol%). Jordas vannkapasitet beregnes ut ifra å tørke en jordprøve som veies før og etter tørking. Jordprøven tørkes ved 105 °C i opptil tre dager. Formel for å finne vanninnhold i prøven er slik: Vol% vann = (våt vekt-tørr vekt) /tørrvekt. Plantetilgjengelig vann er det vannet som til enhver tid befinner seg i jorda når fritt vann dreneres ut av makroporer større enn 30 µm . Plantene kan ta opp vann som ligger i jorda i området mellom feltkapasitet og visnegrense. Vann som ligger i jorda ved visnegrense er sterkt bundet til jordpartiklene, og planter kan ikke nyttiggjøre seg av dette vannet (Skøien 2000).

### 3.2.10 Statistiske beregninger

Tallene som er hentet inn fra forsøksfeltene er blitt beregnet statistisk ved hjelp av variansanalyse. SAS er programvaren som er brukt, og beregningene er blitt utført av personalet ved institutt for miljøvitenskap ved NMBU. Ved presentasjon av resultatene blir antall stjerner (\*) brukt til å representere signifikante utslag på ulike nivå og et plusstegn som veiledende for at forsøket viser tendenser til forskjell, som vist i

Tabell 3.6: p-verdi og dens korresponderende symbol som brukes til å belyse resultatenes signifikantnivå.

symbol	p- verdi
+	0,05-0,1
*	0,05 - 0,01
**	0,01 - 0,001
***	<0,001

Ved signifikante utslag, beregnes minste signifikante forskjell (LSD= Least significant difference). I forsøket er det beregnet LSD verdier ved p verdier på 0,05 og lavere (5 til 1 % feilmargin).

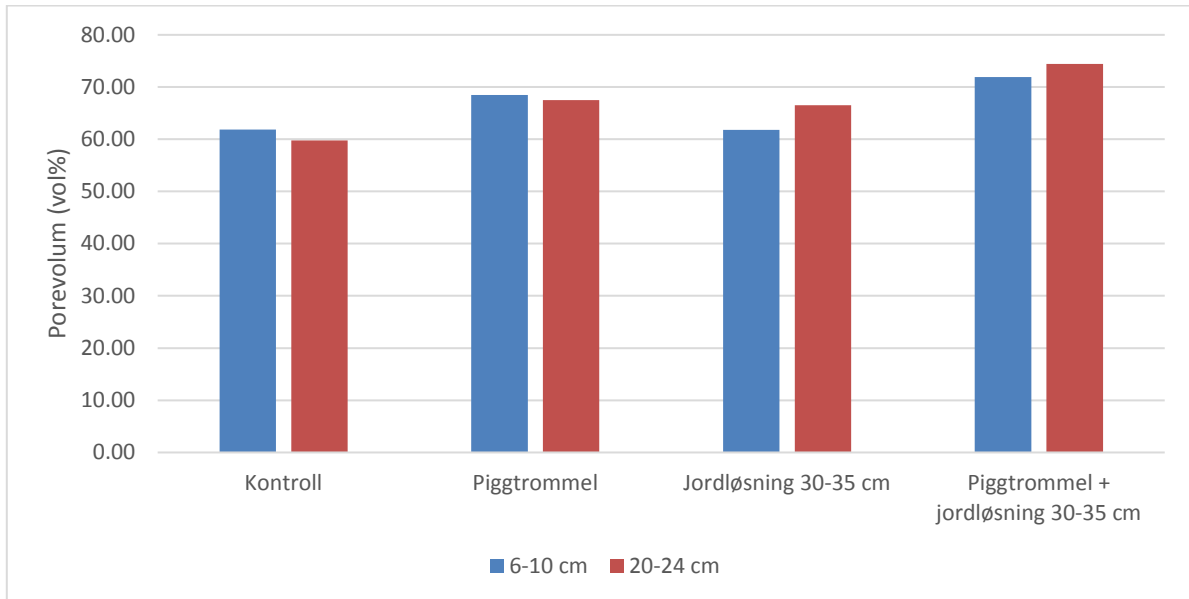
## 4 Resultat

### 4.1 Nærbø

#### 4.1.1 Volumetriske forhold

##### Porevolum

Jordas porevolum sier noe om hvor stor andel av jordens faste materialet målt i volum som består av porer og oppgis i vol%.

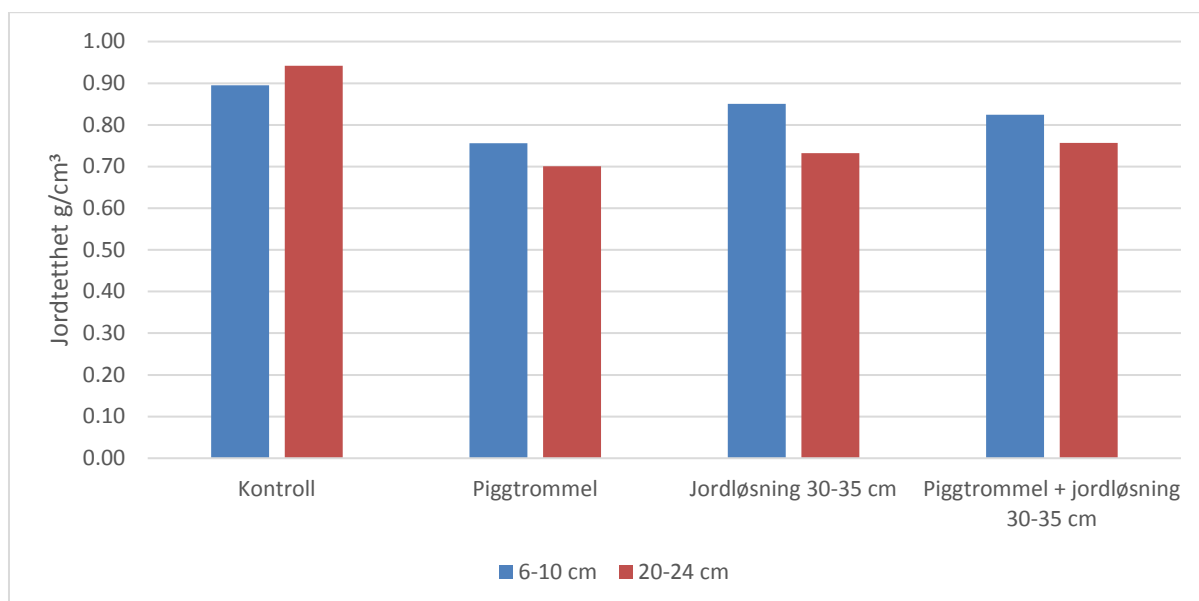


Figur 4.1: Porevolum (vol %) i 6-10 cm og 20-24 cm dybde etter ulik behandling i Nærbø 2014.

Det er registrert en økning i porevolumet i alle behandlede ledd, hvor økningen er høyest i leddet piggtrømmel + jordløsning med 71,94 vol% i 6-10 cm og 71,42 vol% i 20-24 cm. Leddet piggtrømmel er det nesten ikke forskjell mellom dybdene 68,5 vol% i 6-10 cm og 67,5 vol% i 20-24 cm dybde (Figur 4.1). I leddet jordløsning er det litt lavere porevolum i 6-10 cm med 61,8 vol % og 66,5 vol % i dybden 20-24 cm Det er ikke funnet noen signifikante forskjeller på porevolumet i Nærbø.

## Jordtetthet

Jordtettheten er masse av tørr jord delt på volum og benevnes i  $\text{g}/\text{cm}^3$ .



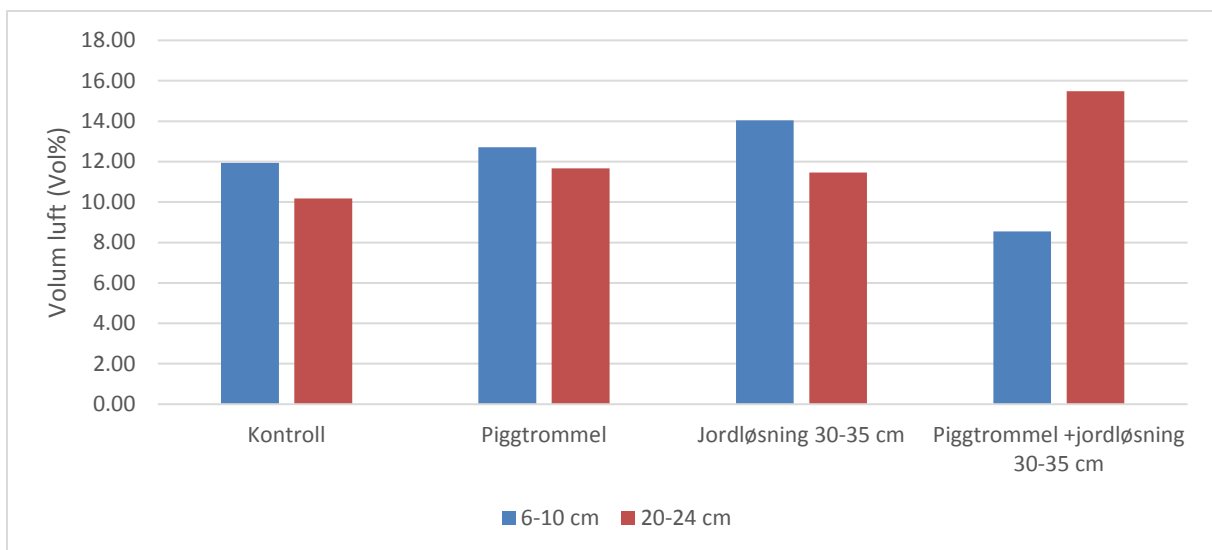
Figur 4.2: Jordtetthet ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) i dybden 6-10 cm og 20-24 cm i Nærbø

Figur 4.2 viser at jordtettheten avtar i ledd som er blitt behandlet med jordløsneredskap. Kontrollleddet viser at det er høyere jordtetthet i dybden 20-24 cm enn i 6-10 cm. Denne trenden er ikke tilfellet i behandlede ledd. Leddet piggtrommel viser å ha lavest jordtetthet av alle behandlede ledd. Målingene viser  $0,76 \text{ g}/\text{cm}^3$  og  $0,70 \text{ g}/\text{cm}^3$  i dybden 6-10 og 20.24 cm. Leddene jordløsning og piggtrommel + jordløsning er det små forskjeller i jordtettheten i de to dybdene jordprøvene er tatt fra. I dybden 6-10 cm er jordtettheten høyest i leddet jordløsning med  $0,85 \text{ g}/\text{cm}^3$ , mens det i piggtrommel+jordløsning er målt til  $0,82 \text{ g}/\text{cm}^3$ . I dybden 20-24 cm er verdiene  $0,73 \text{ g}/\text{cm}^3$  i leddet jordløsning. I behandlingen piggtrommel + jordløsning er jordtettheten noe høyere med  $0,76 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Forskjellene mellom leddene har ikke gitt noen signifikante utslag.

## Luftinnholdet i jorda ved feltkapasitet – pF2

Plantene bør ha tilgang til 10 % luftfylte porer ved feltkapasitet. Det for at røttene skal ha et minimum av diffundert oksygen for å oppnå optimal vekst.

Resultatene i Figur 4.3 viser at kontrollleddet ligger på 11,9 og 10,2 vol% i 6-10 og 20-24 cm dybde. Leddet piggtrommel viser en økning i luftinnhold i jorda til 12,7 og 11,7 vol%. I jordoverflata (6-10 cm) er det oppnådd mest luftfylte porer i jordløsningsleddet med 14,4 vol%, mens det i dybden 20-24 cm ligger på 11,5 vol%. I leddet piggtrommel + jordløsning, har dette gitt negativ effekt i jorddybden 6-10 cm til 8,5 vol%, men en økning av luftinnholdet i dybden 20-24 cm sammenlignet med kontroll leddet til 15,5 vol%. Det er funnet signifikant forskjell mellom leddene kontroll og piggtrommel + jordløsning, med en LSD på 5,16 i dybden 6-10 cm.

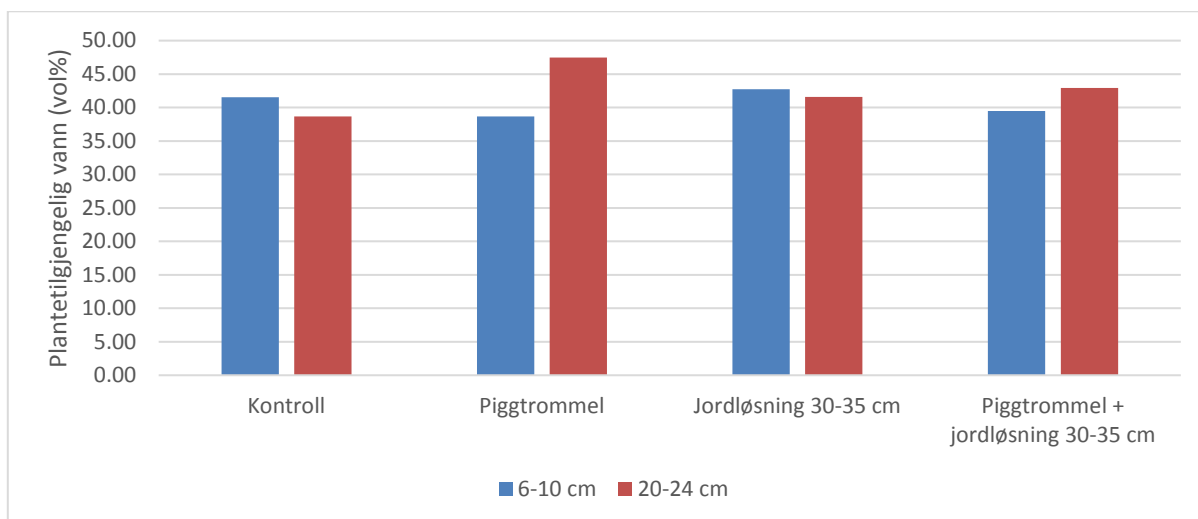


	Signifikans	LSD-5%
Dybde 6-10 cm	X	5,16
Dybde 22-24 cm	I.S	-

Figur 4.3: Luftinnhold i jorda ved feltkapasitet (pF2) (vol%) i jorddybden 6- 10 cm og 20-24 cm i Nærbø. Signifikans funnet på 5% nivå

## Plantetilgjengelig/nyttbart vann

Nyttbart vann er et uttrykk for hvor mye av vannet i jorda som er tilgjengelig for plateopptak.

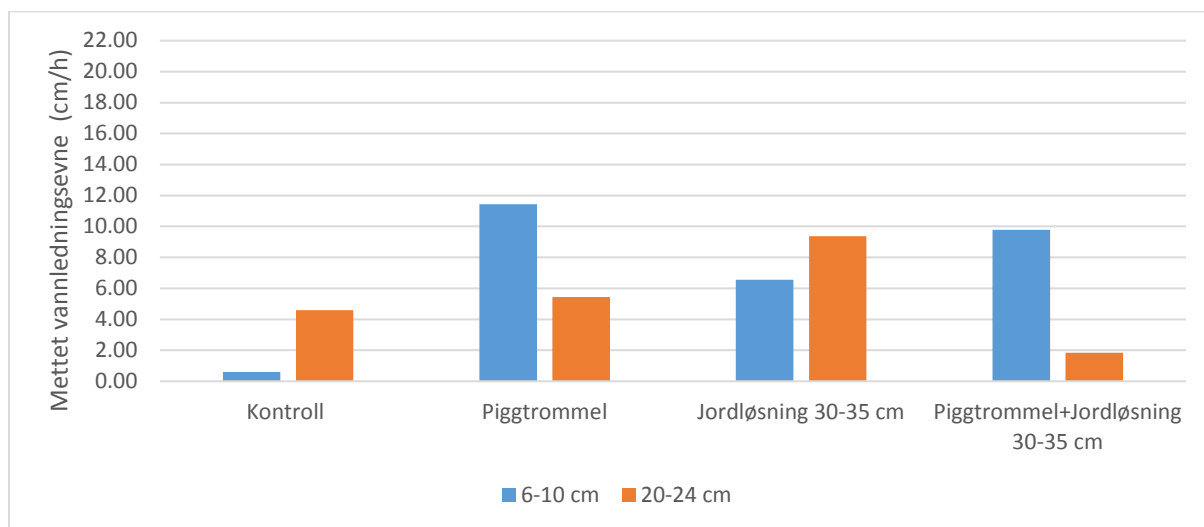


Figur 4.4: Nyttbart vann (vol%) for ulike jordløsninger. Ingen signifikante forskjeller er funnet

I Figur 4.4 er det i kontroll leddet registrert 41,5 vol% og 38,7 vol% vann i jorda i dybdene 6-10 og 20-24 cm. Kjøring med piggtrommel i jordoverflata gir en nedgang med 3 vol% vann til 38,6 vol% i dybden 6-10 cm, men en økning på 9 vol% til 47,5 vol% i dybden 20-24 cm. Kjøring med jordløsning har gitt en liten økning i vanninnholdet i begge jorddybdene til 42,7 vol% og 41,6 vol%. I leddet piggtrommel + jordløsning resulterte jordbehandlingen til at det ble mindre plantetilgjengelig vann 39,5 vol% i 6-10 cm dybde, sammenlignet med kontroll leddet. Det er en liten økning i dybden 20-24 cm til 42,9 vol%. Det ble ikke registrert noen signifikante forskjeller mellom leddene i dette tilfellet.

### Mettet vannledningsevne

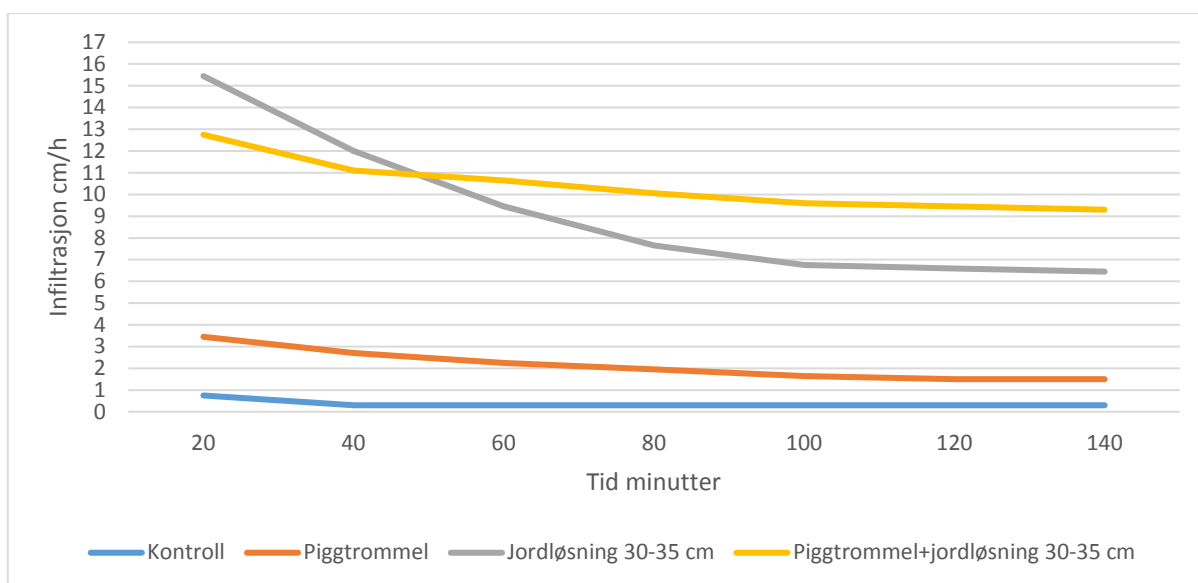
Jorda i Nærbø inneholder lav vannledningsevne i kontrolleddet med 0,61 cm/h i dybden 6-10 cm og 4,6 cm/h i 20-25 cm dybde. Behandling med piggtrommel viser i dette tilfellet en økning til hhv. 11,4 cm/h og 5,43 cm/h i 6-10 og 20-24 cm dybde. I leddet piggtrommel + jordløsning ligger vannledningsevnen på 9,8 cm/h og 1,84 cm/h i samme referansepunktene. Leddet jordløsning har gitt 6,55 cm/h og 9,36 cm/h i de to referansepunktene (Figur 4.5). I leddet piggtrommel + jordløsning har det oppstått en negativ effekt av jordløsningen i dybden 20-25 cm, mens de to andre leddene er det en økning i vannledningsevnen i samme dybde. Det er ikke funnet signifikante forskjeller i disse målingene.



Figur 4.5: Mettet vannledningsevne (cm/h) beregnet ut fra luftpermeabilitet

## Infiltrasjon

Infiltrasjonsevnen av vann har økt etter jordløsning sammenlignet med ubehandlet ledd (Figur 4.6). I utgangspunktet er infiltrasjonen i jorda meget lav slik blå linje viser (kontroll). Piggtrømmel har gitt en økning i infiltrasjon og ligger på ca. 3,5 cm/h i starten av målingene, og avtar til 1,5 cm/h ved mettet vannledningsevne. Leddet jordløsning viser å gi høy vannledningsevne i starten av målingene med en infiltrasjon på 15,5 cm/h. Målingene flater ut til 6,5 cm/h etter 140 minutt. Leddet piggtrømmel + jordløsning starter med en infiltrasjon på 12,7 cm/h og infiltrasjonen avtar til 9 cm/h etter 140 minutter. Det er ikke registrert signifikante forskjeller på infiltrasjon i jorda, men verdiene ligger nære signifikans ved 20 til 60 minutter etter start på 5,67 % feilmargin. De øvrige målingene viser tegn til en trend, og ligger i området 5-10 % feilmargin.



	20	40	60	80	100	120	140
Kontroll	+	+	+	+	+	+	+
Piggtrømmel	+	+	+	+	+	+	+
Jordløsning 30-35 cm	+	+	+	+	+	+	+
Piggtrømmel+jordløsning 30-35 cm	+	+	+	+	+	+	+

Figur 4.6: Infiltrasjon (cm/h) i Nærbø høsten 2014 for ulike løsnebehandlinger.

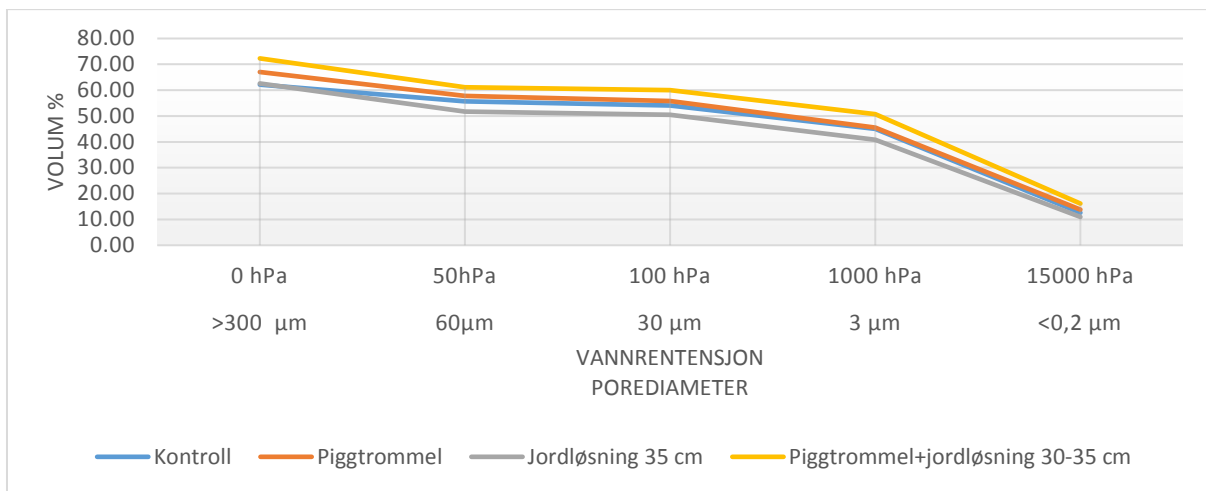


## Porestørrelsesfordeling og vannretensjon/pF

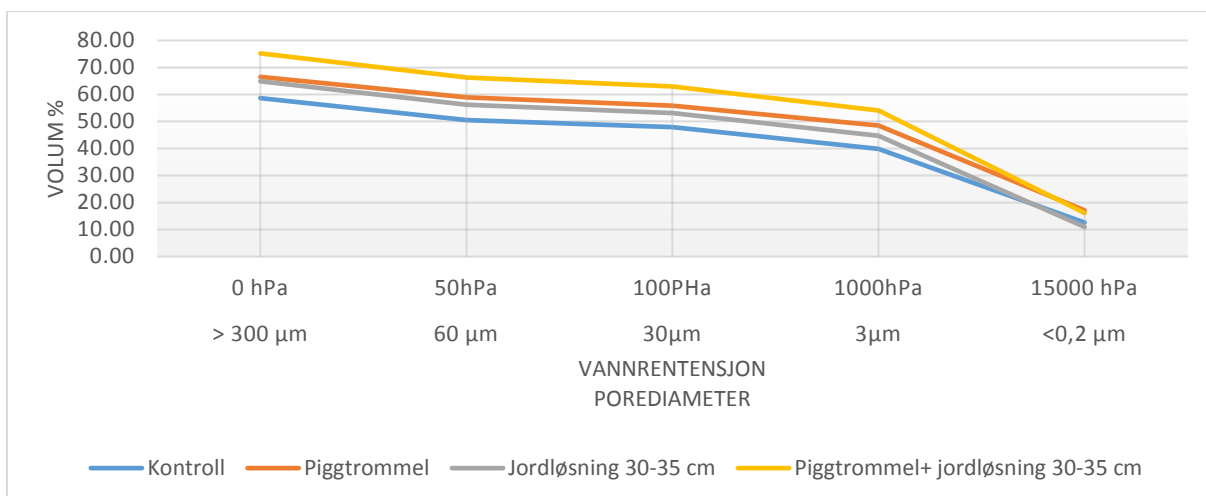
Figur 4.7 og

Figur 4.8 viser jordas vannretensjonsevne for de ulike behandlingene i to forskjellige dybder i dette forsøket. I dybden 6-10 cm (Figur 4.7) er det en økning av porer større enn 60  $\mu\text{m}$  i alle behandlingene. Leddet piggtrommel + jordløsning er det en økning i andel porer i størrelsen 3  $\mu\text{m}$  og ned til 0,2  $\mu\text{m}$ . Videre er det en liten nedgang i porer mellom 3 og 60  $\mu\text{m}$ . Leddet piggtrommel har minimale forandringer i verdiene sine, og er nærmest identisk med kontroll leddet. Leddet jordløsning avtar poremengden noe fra 0,2 til 3  $\mu\text{m}$  og mengden porer forandrer seg ikke før størrelsene går over 50 hPa.

I dybden 20-25 cm er det en økning i antall porer i størrelsen 3-0,2  $\mu\text{m}$  i alle ledd (Figur 4.8). Mellom 3 og 300  $\mu\text{m}$  er det minimale forskjeller mellom behandlede ledd og kontroll ledd. Ingen signifikante forskjeller mellom leddene er funnet i dybden 6-10 cm og 20-24 cm.

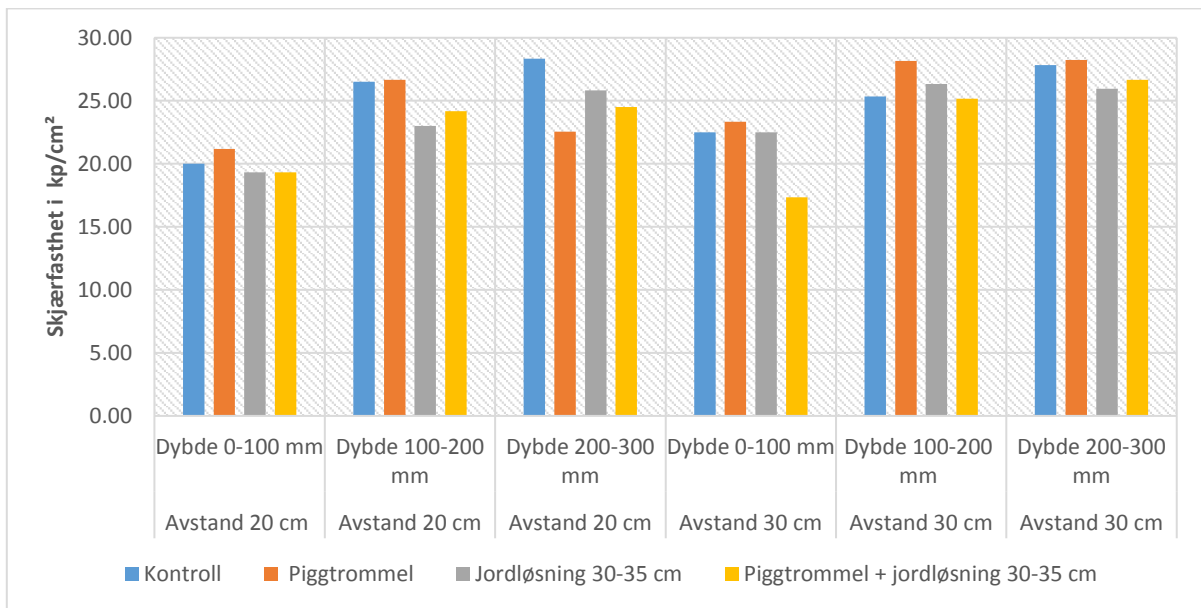


Figur 4.7: Vannretensjonskurve (pF) i dybde 6-10 cm målt høsten 2014 etter ulike løsnebehandlinger i Nærbø.



Figur 4.8: Vannretensjonskurve (pF) i dybden 20-25 cm målt høsten 2014 etter ulike løsnebehandlinger i Nærbø.

## 4.1.2 Skjærfasthet



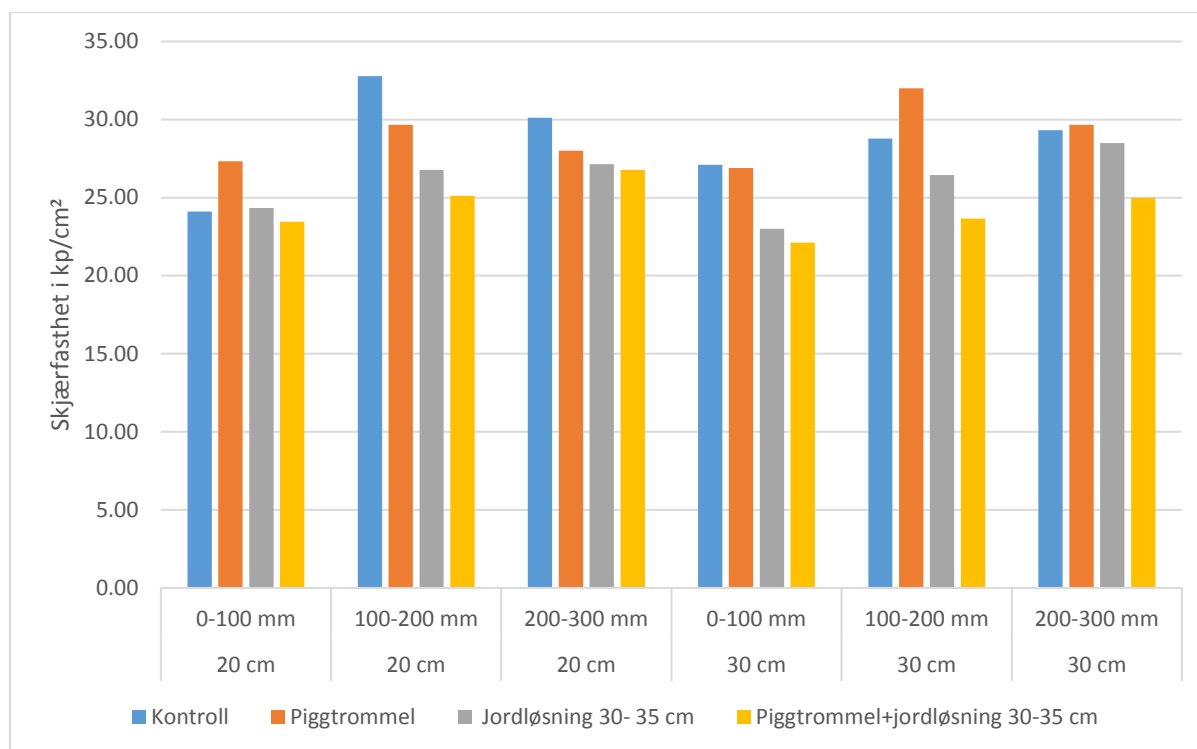
Figur 4.9: Skjærfasthet ( $\text{kp}/\text{cm}^2$ ) målt høsten 2014 i Nærbø. X-aksen oppgir målinger i dybde på 100 mm intervaller ned til 300 mm (øverst) og avstand fra løsnefure under.

Skjærfasthetsmålingene som ble tatt høsten 2014, viser på generell basis at skjærfastheten øker jo lengre ned i jorda man kommer i dybden, og med avstanden til løsnefuren, uavhengig av behandling (Figur 4.9). Bruk av piggtrommel gir en antydning av høyere skjærfasthet i jordoverflata (0-100 mm), sammenlignet med kontrollrute og de andre behandlingsleddene. I dybde på 100-200 mm med samme behandling, er det registrert samme verdi på piggtrommel som kontrollleddet i avstanden 20 cm. I dybden 200-300 mm er det lavere skjærfasthet med denne behandlingen sammenlignet med både kontrollledd og de to behandlingsleddene i forsøket. I leddene jordløsning og piggtrommel + jordløsning er det noe lavere skjærfasthet enn i kontrollleddet i dybden 0-100 mm i avstand 20 cm. I dybden 100 – 200 mm er jorda mest løs etter jordløsningen med  $3,5 \text{ kp}/\text{cm}^2$  i forskjell til kontrollleddet. For leddet jordløsning + piggtrommel er differansen med kontrollleddet  $2,5 \text{ kp}/\text{cm}^2$ . I dybden 200 – 300 mm har leddet jordløsning+ piggtrommel gitt bedre løsning av jorda med  $3,8 \text{ kp}/\text{cm}^2$  sammenlignet med jordløsning alene  $2,5 \text{ kp}/\text{cm}^2$ .

I avstanden mellom to furer (30 cm) er det registrert høyere skjærfasthet i ruter med behandling av piggtrommel og jordløsning i dybden 0- 100 mm og 100-200 mm. I dybden 200 til 300 mm ligger skjærfastheten i leddet piggtrommel  $0,5 \text{ kp}/\text{cm}^2$  høyere enn kontroll leddet, mens det i leddet jordløsning ligger nesten  $2 \text{ kp}/\text{cm}^2$  under kontroll leddet. I leddet piggtrommel + jordløsning, er det i overflata (0-100 mm) registrert  $5 \text{ kp}/\text{cm}^2$  lavere skjærfasthet. På de to neste målingsdybdene ligger skjærfastheten på samme nivå (100-200 mm), og  $1,2 \text{ kp}/\text{cm}^2$  under kontrollrute i 200-300 mm dybde. Det er ikke målt noen signifikante forskjeller mellom leddene. Fuktigheten i jorda var ved skjærfasthetsmålingene jevne og høye. Fuktigheten har ligget i området jordens feltkapasitet se Tabell 4.1. Det er ikke registrert noen forskjell i fuktigheten i jorda mellom de to dybdene jordsylindrene er tatt ut fra.

Tabell 4.1: Vanninnhold (vol%) i jordprøver tatt høsten 2014

	60-100 mm	200-250 mm
Kontroll	66,1	55,3
Piggtrommel	58,5	58,7
Jordløsning 30-35 cm	56,9	68,7
Piggtrommel+jordløsning 30-35 cm	65,9	62,4



Figur 4.10: Skjærfasthet (kp/cm<sup>2</sup>) målt høsten 2015 i Nærbø. X-aksen oppgir målinger i dybde på 100mm intervaller ned til 300 mm (øverst) og avstand fra løsnefure under.

Skjærfasthetsmålingene i 2015 ligger jevnt over opptil 5 kp/cm<sup>2</sup> høyere enn i 2014. I avstand 20 cm til løsnefure og 0-100 mm dybde ligger kontrollleddet på 24,1 kp/cm<sup>2</sup>. Behandling med piggtrommel gir høyest skjærfasthet med 27,3 kp/cm<sup>2</sup> (Figur 4.10). Leddene jordløsning og jordløsning + piggtrommel ligger på samme nivå som kontrollleddet, men noe under leddet for piggtrommel + jordløsning. Ellers har de fleste behandlingene noe lavere skjærfasthet enn kontrollleddet, hvor behandling med piggtrommel viser å ha høyere skjærfasthet i de øverste 100 mm, men ligger under kontrollrute i dybde fra 100 til 300mm ved avstand 20 cm. Leddene jordløsning + piggtrommel og leddet jordløsning ligger med lavere skjærefasthetsverdier enn kontrollleddet i avstanden 20 cm fra løsnefure.

I dybde 100 – 200 mm er det registrert at kontrollleddet har høyeste skjærfasthet på 32,8 kp/cm<sup>2</sup>. Behandlede ledd er registrert med lavere skjærfasthet, hvor leddet piggtrommel ligger på 29,7 kp/cm<sup>2</sup>, jordløsning ligger på 26,8 kp/cm<sup>2</sup>, og lavest skjærfasthet er det i behandling med kombinasjon av løsning og piggtrommel med 25,1 kp/cm<sup>2</sup>. Den samme trenden med skjærfasthet er registrert i dybden 200- 300 mm, men forskjellene er mindre sammenlignet med kontrollleddet, og de ulike behandlingene har ikke gitt noen signifikante forskjeller.

I avstand 30 cm fra løsnefure er skjærefastheten noe lavere i leddene jordløsning og jordløsning + piggtrommel, sammenlignet med kontrollleddet, mens leddet piggtrommel ligger

på samme verdi som kontrolleddet i 0-100 mm dybde. I dybde 100- 200 mm ligger kontrolleddet på verdien 28,8 kp/cm<sup>2</sup>. Behandling med piggtrommel har gitt høyere skjærfasthet (32,0 kp/cm<sup>2</sup>) enn kontroll leddet, mens leddet jordløsning og jordløsning + piggtrommel når noe lavere verdier på hhv. 26,4 og 23,7 kp/cm<sup>2</sup>. I den dypeste målingen, er det nesten ikke forskjell på piggtrommel og jordløsning, sammenlignet med kontrolleddet (29,3kp/cm<sup>2</sup>). I leddet piggtrommel + jordløsning ligger på 4 kp/cm<sup>2</sup> lavere skjærfasthet. Det har vært relativt gode fuktighetsforhold i jorda, hvor 2/3 av total porevolum i jorda var vannfylte porer ved skjærfasthetsmålingene høsten 2015 se Tabell 4.2. Fuktighetsforholdene er høyest i overflata og avtar når man kommer ned til 300 mm. Det er ingen signifikante forskjeller mellom behandlingene.

Tabell 4.2: Vanninnhold (vol%) for tre ulike dybder i tre ulike behandlinger i Nærbø høsten 2015.

	0-100 mm	100-200 mm	200-300 mm
Kontroll	40,6	35,7	31,1
Piggtrommel	47,5	41,7	38
Jordløsning 30-35 cm	42,1	40	35,7
Piggtrommel +jordløsning 30-35 cm	37,6	34	32

### 4.1.3 Avlinger

Tabell 4.3: Grasavling (kg t.s./daa) for 2.3. og 4. slått og totalt i Nærbø vekstsesongen 2014.

Ledd	2.slått	3.slått	4.slått	Totalt per ledd
Kontroll	426	422	146	994
Piggtrommel	317	435	219	970
Jordløsning 30-35 cm	209	475	191	876
Piggtrommel + jordløsning 30-35 cm	149	467	229	845
Signifikans	***	I.S	I.S	+
LSD	82	-	-	-

Avlingsresultatet i Nærbø for 2014 viser at det er leddet kontroll som gir mest avling totalt på 994 kilogram tørrstoff/daa (kg t.s./daa). Ellers er det avtagende total avlingsmengde etter hvor mye jorda blir utsatt for mekanisk behandling (Tabell 4.3). Av de ledd som er løsnet, gir piggtrommel høyest totalavling på 970 kg t.s./daa. Deretter jordløsning på 876 kg t.s./daa, så laveste verdi er det kombinasjonen piggtrommel + jord løsner som har gitt totalavling på 845 kg t.s./daa. 2. slått viser tendens til avtagende total avlingsmengde etter mengde bearbeidelse av jorda dette året. Dette er også signifikant forskjell på 0,02%. I 3. slått er det leddet jordløsning som gir best avling 475kg t.s/daa. Deretter kommer leddet jordløsning + piggtrommel og leddet piggtrommel med avlingene 467 t.s./daa og 435 kg t.s./daa. Kontroll leddet viser å gi dårligst utslag i dette tilfellet med 422 kg t.s./daa. I 4. slått er det leddet med piggtrommel sammen med jordløsning og piggtrommel med henholdsvis 229 t.s./daa og 219 kg t.s./daa.

Tørrstoffinnholdet i plantene er høyest i 4. slått hvor alle ledd unntatt kontroll ligger på 20 % og over (Tabell 4.4). Lavest tørrstoffinnhold er det i 3. slått hvor den ligger mellom 12 % og 14 %. 2. Slått ligger mellom 15% og 19 % tørrstoffinnhold. Det ser ut til at leddet hvor man kjører jordløsning og piggtrommel i kombinasjon gir høyest tørrstoffinnhold i plantene.

Deretter kommer leddene piggtrommel, jordløsning og kontroll i avtagende tørrstoffinnhold. Det er registrert en trend i tørrstoffinnholdet i 2. slått og i 4. slått at det kan være en signifikant forskjell mellom leddene.

Tabell 4.4: Tørrstoffinnhold (%) i graset for 2.3. og 4. slått i Nærbø vekstsesongen 2014.

Ledd	2.slått t.s %	3. slått t.s.%	4. slått t.s.%
Kontroll	16	12	17
Piggtrommel	15	13	25
Jordløsning 30-35 cm	17	14	20
Piggtrommel + jordløsning 30-35 cm	19	14	25
Signifikans	+	I.S	+

Tabell 4.5: Grasavling (kg t.s./daa) for 2., 3. og 4. slått og totalt i Nærbø for vekstsesongen 2015.

	1. slått	2. slått	3.slått	4. slått	Totalt per ledd
Kontroll	707	369	198	179	1 453
Piggtrommel	647	331	241	119	1 338
Jordløsning	678	373	248	158	1 457
Piggtrommel + jordløsning 30-35 cm	585	374	228	168	1 354
Signifikans	I.S	I.S	I.S	+	I.S

Vekstsesongen i 2015 har gitt totalavlinger fra 1354 kg t.s/daa i leddet piggtrommel+jordløsning til 1457 kg t.s/daa i leddet jordløsning. Leddene kontroll og jordløsning har gitt høyest avling dette året med hhv. 1453 t.s./daa og 1457 kg t.s./daa (Tabell 4.5). Leddene piggtrommel og piggtrommel + jordløsning ligger på hhv. 1338 t.s./daa og 1354 kg t.s./daa. Avlingene halveres nesten i alle ledd fra 1. til 2. slått, mens mellom de tre siste slåttene er det mindre forskjeller. 4. slått viser en trend til at forskjellene mellom leddene er nesten signifikante på 6,6% avvik. Det er ikke funnet noen signifikante forskjeller på de andre slåttene.

Tørrstoffinnholdet i graset varierer noe etter hvilket ledd som det vokser i som vist i tabell 4.6. Jevnt over er det høyest tørrstoffinnhold i graset i leddet for jordløsning, med et snitt på 18 % dette året. Videre er leddet med jordløsning og piggtrommel (16,5%), kontrollrute (15,7%) og til slutt piggtrommel (14,3%) som har gitt lavest innhold av tørrstoff i graset. Det er ikke registrert noen signifikant forskjell mellom rutene.

Tabell 4.6: Tørrstoffinnhold (%) i graset for 1.2.3.og 4. slått i Nærbø vekstsesongen 2015.

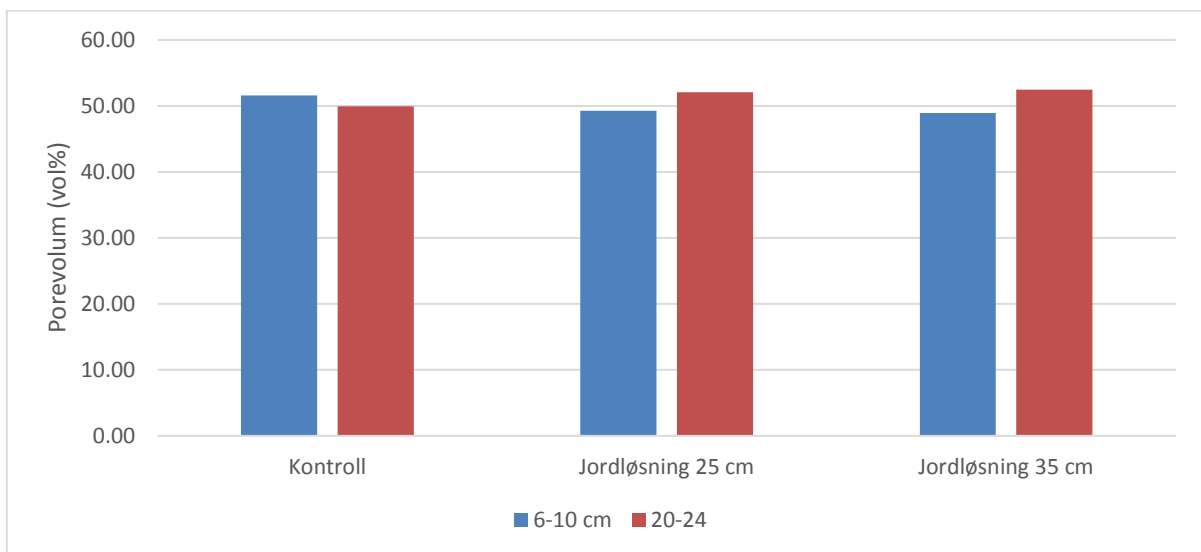
Ledd	1. slått	2. slått	3. slått	4. slått
Kontroll	16,1	16,7	14,3	15,8
Piggtrommel	14,4	14,3	13,5	15,1
Jordløsning 30- 35 cm	19,7	17,0	17,7	18,0
Piggtrommel+ Jordløsning 30-35 cm	15,7	16,3	17,6	16,1

## 4.2 Orkdal

### 4.2.1 Volumetriske forhold

#### Porevolum

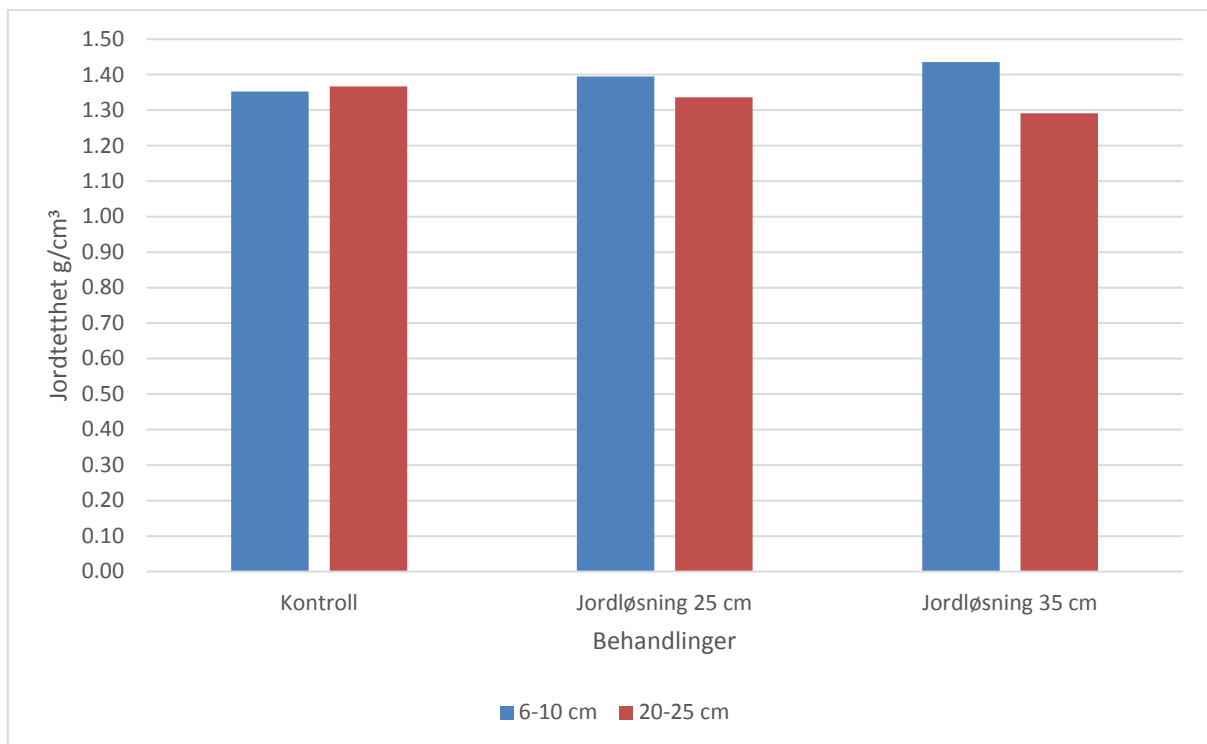
Porevolumet i kontrolleddet ligger på 51,6 vol% og 50,0 vol% for jordprøve tatt ut i 6-10 cm og 20-24 cm. Porevolumet i dybden 6-10 cm er redusert med 2,3 vol% til 49,3 vol% for leddet jordløsning 25 cm. I leddet jordløsning på 35 cm er porevolumet redusert med 2,6 vol% til 48,9 vol% i samme dybde. I dybde på 20-25 cm har porevolumet økt i begge leddene med hhv. 2,1, og 2.5 vol% for jordløsning til 25 og 35 cm dybde, sammenlignet med ikke løsning (Figur 4.11). Det er ikke registrert noen signifikante forskjeller mellom leddene.



Figur 4.11: Porevolum (vol %) i 6-10 cm og 20-24 cm dybde etter ulik behandling i Orkdal 2014.

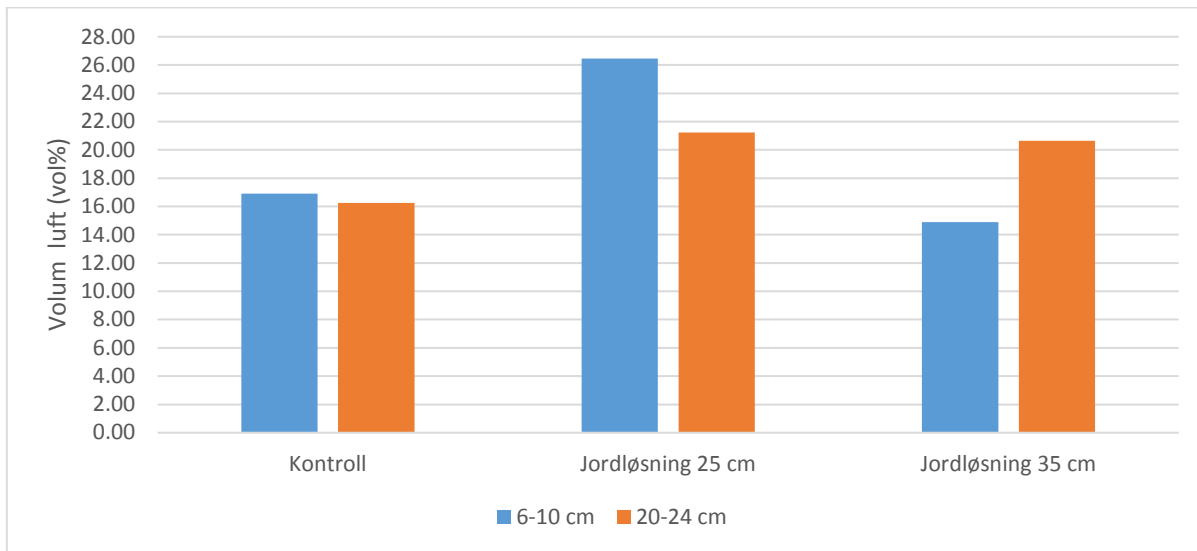
## Jordtetthet

Figur 4.12 viser jordtettheten i Orkdal for dybdene 6-10 cm og 20-24 cm. Kontrolledet ligger på  $1,35 \text{ g/cm}^3$  og  $1,37 \text{ g/cm}^3$  i dybdene 6-10 cm og 20-24 cm. Jordløsning ned til 25 cm og 35 cm dybde har gitt høyere jordtetthet i 6-10 cm dybde til hhv.  $1,39 \text{ g/cm}^3$  og  $1,44 \text{ g/cm}^3$ . Løsning til 35 cm dybde har resultert i høyere jordtetthet i denne dybden. I dybden 20-24 cm har tettheten blitt lavere i begge jordløsningsbehandlingene sammenlignet med kontrolledet, hvor reduksjonen er høyest i jordløsning på 35 cm til  $1,3 \text{ g/cm}^3$ . Jordløsning på 25 cm ligger på  $1,34 \text{ g/cm}^3$ . Forskjellene mellom leddene har ikke gitt noen signifikante utslag.



Figur 4.12: Jordtetthet ( $\text{g/cm}^3$ ) i dybden 6-10 og 20-24 cm i Orkdal

### Luftinnhold ved feltkapasitet (pF2).



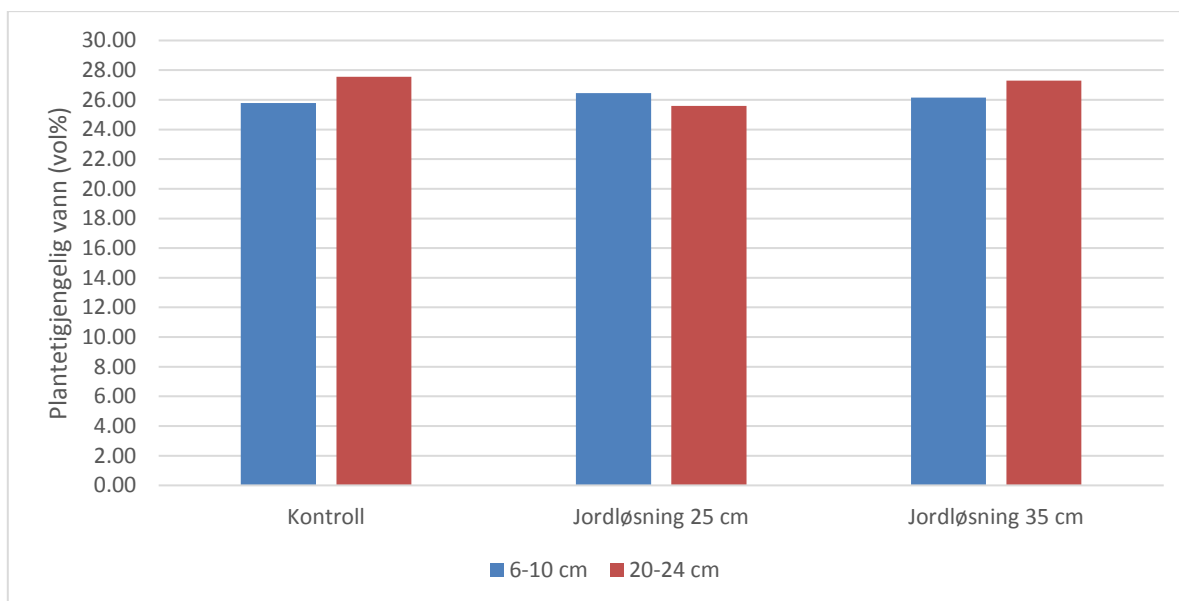
Figur 4.13: Luftinnhold i jorda ved feltkapasitet (pF2) (vol %) i jorddybden 6-10 og 20-24 cm i Orkdal.

Jordløsningen bidrar generelt til å øke andel porer fylt med luft, bortsett fra jordløsning til 35 cm i dybden 6-10 cm, hvor det er en reduksjon i luftvolumet med 2 vol% (Figur 4.13).

Kontrolleddet ligger på 16,9 vol% (6-10 cm) og 16,3 vol% (20-24 cm). I dybden 6-10 cm er økningen størst ved jordløsning på 25 cm, med 9,54 vol%. I leddet jordløsning 35 cm er det en nedgang til 14,9 vol%. I jorddybden 20-25 cm, øker luftvolumet nesten like mye i begge behandlingene med hhv. 5 vol% og 4 vol.%. Resultatene har ikke gitt signifikante forskjeller.



## Plantetigjengelig vann

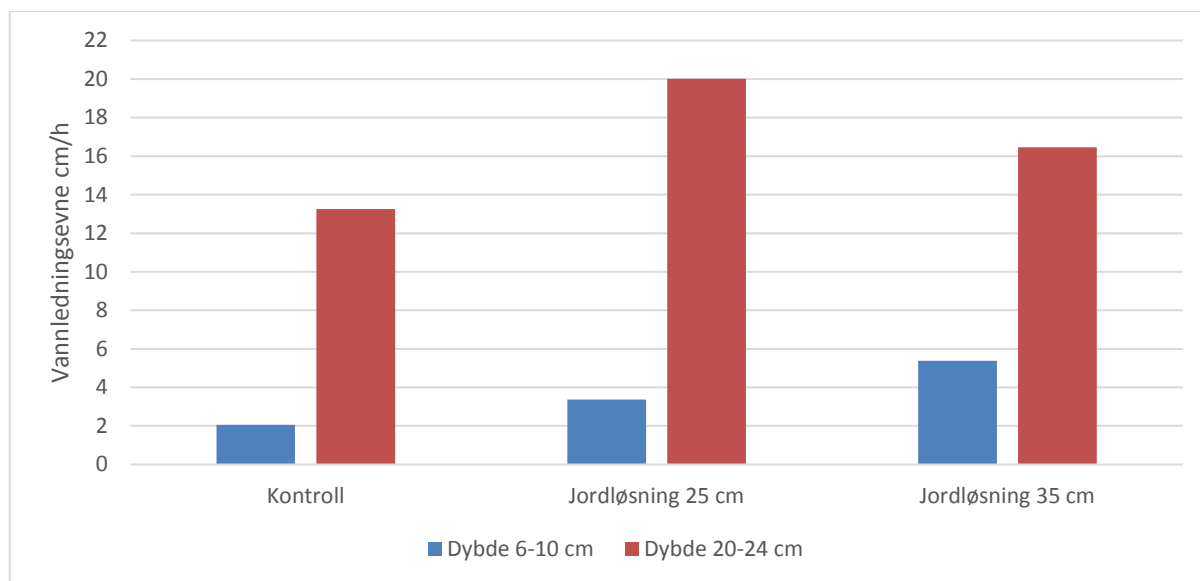


Figur 4.14: Nyttbart vann (vol%) for ulike jordløsninger. Ingen signifikante forskjeller er funnet.

Andelen vann som er tilgjengelig for plantene viser seg å ligge rundt 25,7 vol% i dybden 6-10 cm og 27,6 vol% i 20-24 cm (kontrolledd) (Figur 4.14). Det er ikke registrert noen betydelige forskjeller mellom behandlede ledd og kontrolleddet. Økningene ligger hhv. på 0,69 vol% og 0,39 vol% for jordløsning i 25 cm og 35 cm, målt i dybden 6-10 cm sammenlignet med kontrolleddet. I dybden 20-24 cm har det oppstått en nedgang i tilgjengelig vann med hhv. 1,96 vol% i leddet jordløsning 25 cm, og en nedgang med 0,21 vol% i leddet jordløsning 35 cm.

## Mettet vannledningsevne

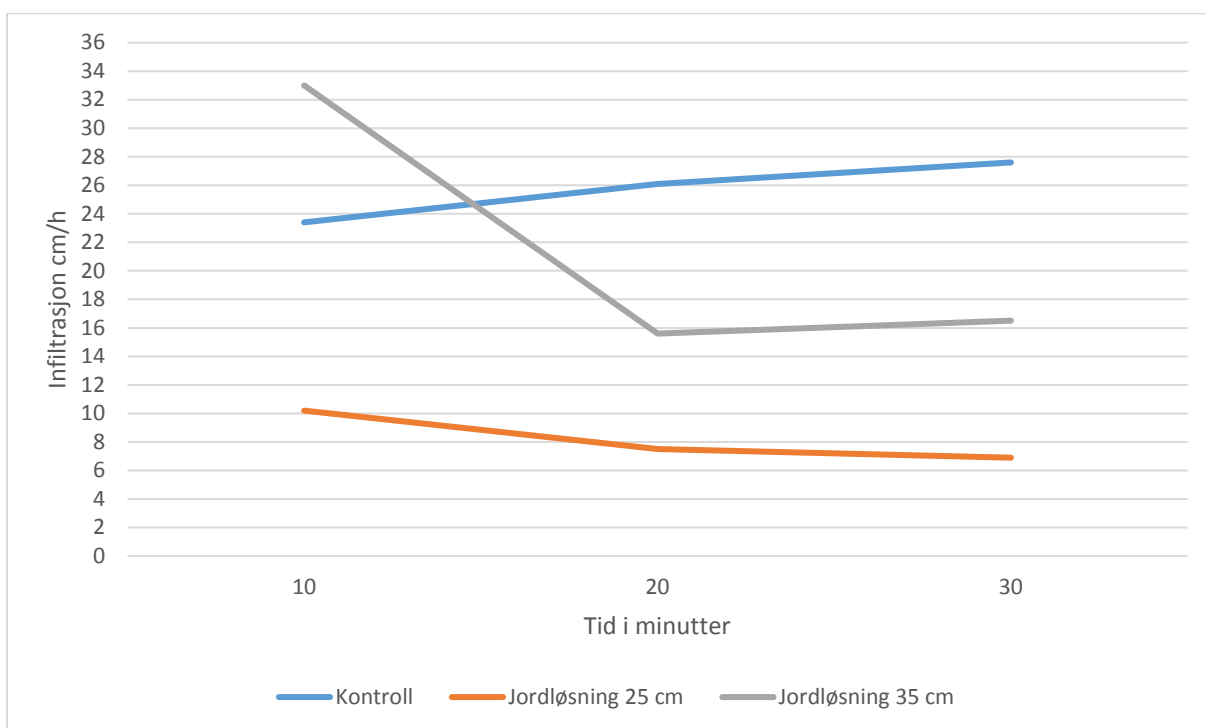
Vannledningsevnen i jordoverflaten (6-10 cm) øker proporsjonalt med jordløsningsdybden. Kontrollledet ligger på 2 cm/h i dybden 6-10 cm og 13,3 cm/h i dybden 20-24 cm (Figur 4.15). Jordløsning på 25 cm gav en vannledningsevne på 3,4 cm/h i dybden 6-10 cm. I dybden 20-24 cm ligger vannledningsevnen på 20 cm/h. Jordløsning på 35 cm gav en vannledningsevne på 5,4 cm/h og 16,5 cm/h i dybdene 6-10 og 20-24 cm.



Figur 4.15: Mettet vannledningsevne (cm/h) beregnet ut fra luftpermeabilitet for Orkdal 2014.

## Infiltrasjon

Jordløsningen i Orkdal viser seg å ha negativ effekt på infiltrasjon av vann ved løsning på 25 cm og 35 cm dybde (Figur 4.16). Løsning på 35 cm dybde har høy infiltrasjon i starten (33 cm/h). Etter 10 minutter synker infiltrasjonen ved denne behandlingen ned til ca. 16 cm/h. Variasjonene som oppstår i infiltrasjonen etter den tid ser ut til å variere i takt med infiltrasjon på kontrollrute etter 20 minutter. I utgangspunktet er infiltrasjonen på dette jordstykket bedre i kontrollrute over tid hvor den starter på 23 cm/h og stiger til 28 cm/h etter 30 minutter. Det er registrert signifikant forskjell mellom leddene kontroll og jordløsning på 35 cm dybde ved 20- 30 og 40 – 60 minutter etter start av måling. Signifikans ligger på 3.24 % forskjell på 20 til 40 minutter og 3.95 % på 40 – 60 minutter.

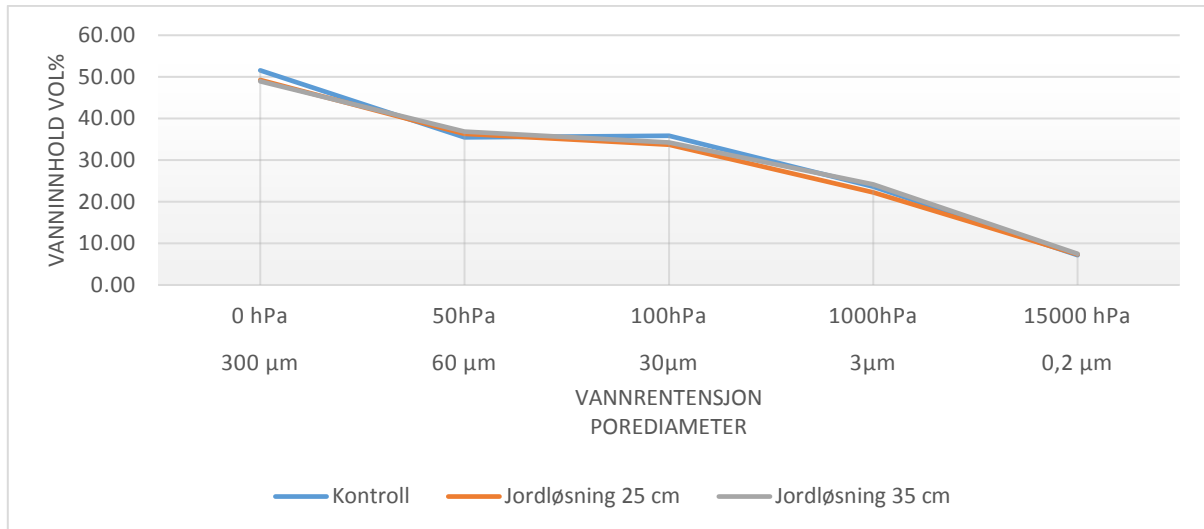


Min. fra start	10	20	30
Kontroll	I.S	*	*
Jordløsning 25 cm	I.S	*	*
Jordløsning 35 cm	I.S	* LSD: 17,6	*LSD:21,3

Figur 4.16: Infiltrasjon (cm/h) i Orkdal høsten 2014 for ulike løsnebehandlinger.

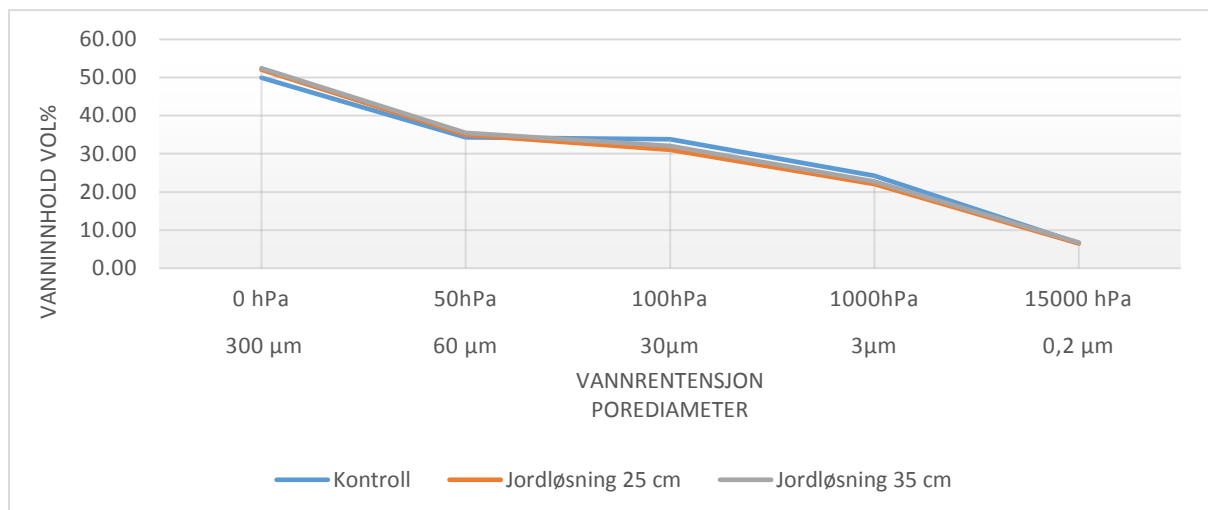
## Porestørrelsesfordeling og vannretensjon

Jordløsningens virkning på porestørrelsesfordelingen viser at det er minimale forskjeller mellom behandlede ledd og kontroll (Figur 4.17 og Figur 4.18). Jordløsning på 25 cm viser en nedgang i porestørrelse mellom 0,2 og 30  $\mu\text{m}$ . Det kan antydes en økning i andel porer ved 60  $\mu\text{m}$ . Løsning på 35 cm dybde har ikke gitt noen andre forskjeller enn jordløsning på 25 cm på porevolumet sammenlignet med kontroll leddet. Det er registrert signifikant utslag ved 1000 hPa. Det er funnet signifikant forskjell mellom leddene ved vannretensjon på 1000 hPa (Figur 4.17).



0 hPa	50 hPa	100 hPa	1000 hPa	15000 hPa
I.S	I.S	I.S	* LSD: 0,8	I.S

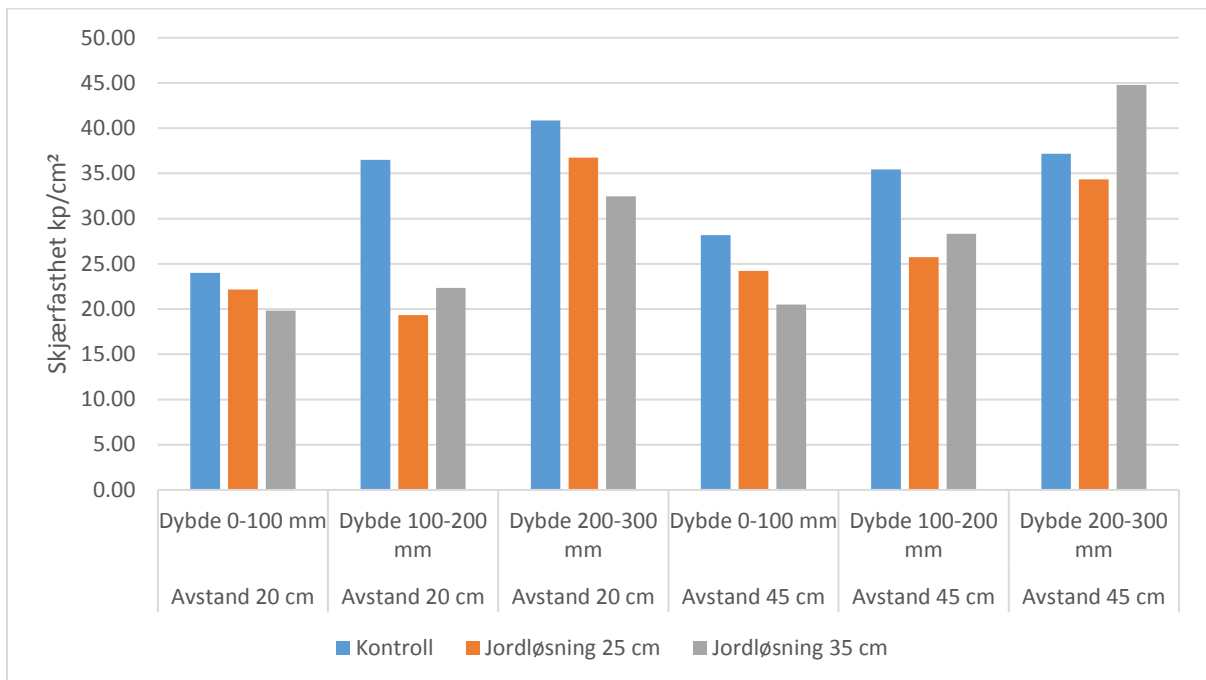
Figur 4.17: Vannretensjonskurver (pF) i dybden 6-10cm målt høsten 2014 etter ulike løsnebehandlinger i Orkdal.



Figur 4.18: Vannretensjonskurver (pF) i dybden 20-24 cm målt høsten 2014 etter ulike løsnebehandlinger i Orkdal.

Også i dybden 20-25 cm er forskjellene i vannretensjon mellom leddene minimale (Figur 4.18). Det er en antydning til økning i porer større enn 60  $\mu\text{m}$  for begge løsneledd. Ellers er det en antydning til negativ utvikling på porer mellom 60  $\mu\text{m}$  og 15000  $\mu\text{m}$ . Jordsylindrer tatt ut fra 20 – 25 cm dybde, viser at behandlede ledd ikke skiller seg fra kontroll leddet i noen betydelig grad. Størst forskjell er det i andel porer ved 300  $\mu\text{m}$  med nesten 3 vol% økning fra kontroll leddet. Behandlede ledd har gitt antydning til færre porer som er mindre enn 50  $\mu\text{m}$ .

## 4.2.2 Skjærfasthet



Figur 4.19: Skjærfasthet (kp/cm<sup>2</sup>) målt høsten 2014 i Orkdal. X aksen oppgir målinger i dybde på 100mm intervaller ned til 300 mm (øverst) og avstand fra løsnefure under. Ingen signifikante forskjeller funnet.

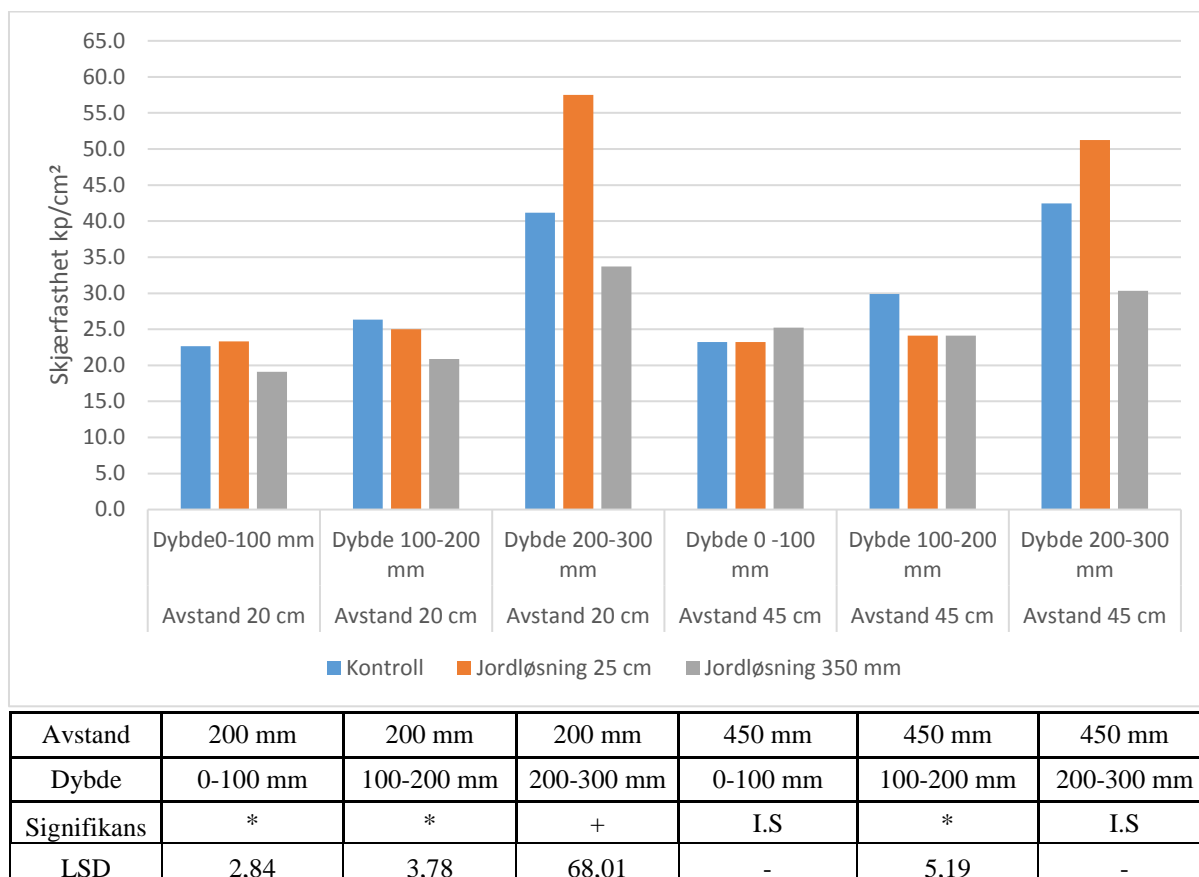
Skjærfasthetsmålingene i Orkdal viser en trend til at det er noe høyere målerverdier i avstand 45 cm fra løsnefure enn ved 20 cm når man sammenligner på lik dybde (Figur 4.19). I dybde 0-100 mm er det høyest skjærfasthet i kontrollledd med 24 kp/cm<sup>2</sup> (avstand:20 cm) og 28 kp/cm<sup>2</sup> i avstand 45 cm. Det er avtagende skjærfasthet ved brudd i løsneledd (0-100 mm) avhengig av løsnedybde, men det er høyere skjærfasthet når avstanden øker (45 cm). I dybden 100 – 200 mm er det størst forskjell mellom uløst og løst ledd. Den største forskjellen til kontrollleddet er løsning i 25 cm dybde, hvor differansen er på 17,17 kp/cm<sup>2</sup> (avstand 20 cm). Løsning ned til 35 cm har også god virkning med over 14 kp/cm<sup>2</sup> lavere skjærfasthet i avstanden 20 cm til løsnefure. I sjiktet 200 til 300 mm er det høyere skjærfasthet i alle ledd uavhengig av behandling.

I 45 cm avstand følger skjærfastheten i de ulike dybdene tilnærmet samme trenden som vist i 20 cm avstand til løsnefuren. Et avvik er i dybden 200-300 mm, hvor løsning på 35 cm har høyere skjærfasthet enn kontrollrute (37,2 kp/cm<sup>2</sup>) med 7,62 kp/cm<sup>2</sup> i 45 cm avstand til løsnefure.

Vanninnholdet i jorda ved sylinderruttak på 6-10 cm dybde var lavest ved løsning på 35 cm med 25,6 vol % (Tabell 4.5). Kontroll leddet inneholdt 29 vol% vann, og løsning på 25 cm dybde inneholdt 33,8 vol% vann. I dybden 20-24 cm er det noe høyere vanninnhold i alle ledd. Høyest vanninnhold er det i leddene jordløsning 25 cm og jordløsning 35 cm i dybden 20-24 cm med 38 vol%. Uten løsning er det 34,6 vol% vann. Det er ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom leddene i de ulike målingene i 2014.

Tabell 4.5: Vanninnhold (vol%) i jordprøver tatt høsten 2014. Ingen signifikante forskjeller funnet.

	6-10 cm	20-24 cm
Kontroll	28,9	34,6
Jordløsning 25 cm	33,8	38,0
Jordløsning 35 cm	25,6	38,5



Figur 5.20: Skjærfasthet (kp/cm<sup>2</sup>) målt høsten 2015 i Orkdal. X-aksen oppgir målinger i dybde på 100mm intervaller ned til 300 mm (øverst) og avstand fra løsnefure under.

Skjærefasthetsmålingene i 2015 indikerer størst variasjon mellom ledd gjort i dybde 200-300 mm i både 20 og 45 cm avstand til løsnefure (Figur 5.20). Det er tilnærmet like tendenser i skjærfasthet i jorda på ruter med samme behandling uavhengig av avstand til løsnefure. Skjærfastheten øker jo lengre ned man kommer i dybden. I dybde 0-100 mm er det høyere skjærfasthet i jordløsning 25 cm ved avstand 20 cm og i leddet jordløsning 35cm ved avstand 45 cm til løsnefure. I dybde 100-200 er det høyest skjærfasthet i ikke løsnet ledd sammenlignet med de behandlede ledd, og høyest målt motstand i avstand 45 cm fra løsnefure. I dybden 200-300 mm er det målt høyest skjærfasthet i leddet jordløsning på 25 cm i både 20 cm og 45 cm avstand til løsnefure med 57,5 kp/cm<sup>2</sup> i 20 cm avstand og 51,3 kp/cm<sup>2</sup> i 45 cm avstand til løsnefure. Vanninnholdet i jorda ved skjærfasthetsmålingene var høyest i jordoverflata (10 cm dybde) med verdier rundt 21 vol% slik Tabell 4.6 fremstiller resultatene. Vanninnholdet minker jo lengre ned i jorden man kommer, og er lavest ved 30 cm dybde med

verdier nede i 18,44 vol% i jordløsning på 35 cm dybde. Høyeste verdi er funnet i kontrolledd ved 10 cm dybde med 21,5 vol% vann.

Tabell 4.6: Vanninnhold (vol %) ved skjærfasthetsmålingene utført i 2015. Det er ikke funnet noen signifikant forskjell mellom leddene

	10 cm	20 cm	30 cm
Kontroll	21,52	20,84	18,61
Jordløsning 25 cm	21,99	20,77	19,54
Jordløsning 35 cm	20,67	19,53	18,44

### 4.2.3 Avlinger

Tabell 4.7: Grasavling (kg t.s./daa) som for 2. og 3. slått og totalt i Orkdal for vekstsesongen 2014.

	2. Slått	3. Slått	Totalt per ledd
Kontroll	352	169	521
Jordløsning 25 cm	310	188	498
Jordløsning 35 cm	286	177	463
Signifikans	*	I.S	I.S
LSD	54,7		

I Orkdal er det tatt ut høyest avling i kontrolleddet totalt med 521 kg t.s./daa, hvor 352 kg t.s. i 1. slått og 169 kg t.s. i 2. slått (Tabell 4.7). Jordløsning ned til 25 cm har gitt 23 kg t.s./daa lavere avling totalt sammenlignet med ikke løsnet-ledd. Totalavlingen var på 498 kg t.s./daa, hvor 310 kg t.s./daa ble høstet i 2. slått, 3. slått gav 188 kg t.s./daa. Jordløsning ned til 35 cm gav de laveste avlingene totalt på 463 kg t.s./daa, hvor 2. slått gav 286 kg t.s./daa, og 177 kg t.s./daa i 3. slått. Det ser ut til at kontroll leddet gir høyest avling i 2. slått, mens i tredjerslått gir den laveste avling av alle leddene. Det er registrert signifikans på 5% feilmargin i 2. slått, med en LSD på 54,7. Det er forskjell mellom leddene kontroll og jordløsning 35 cm dybde.

Når det gjelder tørrstoffprosent (t.s.%) i plantene er det små variasjoner mellom behandlingene. Det er jevnt over 6 % høyere tørrstoffinnhold i plantene ved 2. slått sammenlignet med 3. slått, (Tabell 4.8) for alle ledd. Ingen signifikante forskjeller mellom leddene er funnet.

Tabell 4.8: Tørrstoffinnhold (%) i graset for 2. og 3. slått i Orkdal, vekstsesongen 2014

	T.S % 2, slått	T.S.% 3.slått
Kontroll	19,1	12,9
Jordløsning 25 cm	19,1	13,0
Jordløsning 35 cm	19,6	12,8

Slåttene i Orkdal for 2015 gir liten indikasjon på at det er noen betydelige forskjeller mellom behandlingene for de ulike slåttene. Totalavlingen er høyest i leddet jordløsning 35 cm med totalt 1210 kg t.s./daa. Deretter er det kontrollleddet med 1174 kg t.s./daa og lavest avling gav leddet jordløsning 25 cm med 1160 kg t.s./daa (Tabell 4.9). I 1. slått gir leddet jordløsning 25 cm lavest avling, og ligger under de andre leddene med opptil 39 kg t.s./daa. I 2. slått er det kontrollleddet som gav lavest avling, men det er mindre forskjell mellom leddene i 2. og 3. slått enn i 1. slått. Forskjellene er størst i 1. slått på nesten 40 kg høyere tørrstoffinnhold i leddene kontroll og jordløsning 35 cm, enn i leddet jordløsning 25 cm. I 2. slått er det 30 kg høyere i jordløsning 35 cm sammenlignet med kontroll. Det er ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom leddene i 2015.

Tabell 4.9: Grasavling (kg t.s./daa) for 1. 2. og 3. slått og totalt i Orkdal, vekstsesongen 2015.

	1.slått	2.slått	3.slått	Totalt per ledd
Kontroll	539	429	206	1174
Jordløsning 25 cm	500	444	215	1160
Jordløsning 35 cm	538	459	212	1210

Tørrstoffinnholdet i graset dette året har holdt seg jevnt mellom 15,1% og 16,6 %. I 1. og 2. slått er tørrstoffinnholdet tilnærmet likt og ligger på 16 % og høyere, mens det i 3. slått var den nede i 15,1 i kontroll ledd og høyest i løsning ned til 35 cm (Tabell 4.10). Ingen signifikante forskjeller mellom leddene ble funnet.

Tabell 4.10: Tørrstoffinnhold (%) i graset for 1. 2. og 3. slått i Orkdal vekstsesongen 2015

	1. slått	2. slått	3.slått
Kontroll	16,6	16,6	15,1
Jordløsning 25 cm	16,0	15,9	15,1
Jordløsning 35 cm	15,9	16,5	15,6



## 5 Diskusjon

### 5.1 Nærbø

#### 5.1.1 Volumetriske forhold

I Nærbø var det en økning i porevolumet og redusert jordtetthet etter løsning. Økning i porevolumet er generelt liten i både 6-10 og 20-24 cm dybde, men økningen er høyest i leddet piggtrommel + jordløsning i 6-10 cm. Jordtettheten avtar mest i 6-10 cm dybde ved leddet jordløsning 30-35 cm, og 20-24 cm dybde i leddet piggtrommel + jordløsning.

Sammenhengen kan være at jordløsningen skaper store klumper hvor det oppstår luftlommer i sprekke. Sprekkedannelser og flere grove porer skaper mindre jordtetthet, men en jordsylinderprøve på 100 cm<sup>3</sup> er en liten prøve for å fange opp denne type endringer i jordstrukturen. En plausibel tilnærming kan være markganger i mineraljorda, noe som ble observert i noen jordsylindere på laboratoriet. I tillegg var det høyt innhold av organisk materiale i blanding med mineraljorda i forsøksfeltet. Dette gjenspeilet trenden for lavere jordtetthet og høyt porevolum. Det oppsto en reduksjon i porevolumet, og en økning i jordtettheten i leddet piggtrommel + jordløsning i 6-10 cm dybde. Denne reduksjonen samsvarer ikke med trenden til de andre to behandlingene i den overnevnte dybde, og er vanskelig å forklare. Når det gjelder jordtetthet og rotvekst, er jordtettheten i Nærbø under nivået for hva som beregnes som optimal jordtetthet for plantevekst. Dette tyder på at jorda er løs, men jordtetthet sier lite om hvilke porestørrelser det er i jordprøven, og hvilke muligheter røtter har for å utvikle seg i makroporer i den delen av jordstykket hvor det er morenejord/siltig sand. Det kan antydes at jordprøvene inneholder mye organisk materiale ettersom jordtettheten er lav. Dette kan være positivt for utvikling av røtter.

Luftvolumet i jorda lå på et minimumsnivå for plantevekst på 10 til 12 vol% ved dreneringslikevekt (pF<sub>2</sub>) i kontrollleddet. De ulike behandlingsleddene viser en liten økning i luftvolumet både i 6-10 cm og 20-24 cm, og dette vil antagelig ha betydning for både plantevekst, luftventilasjon og opptørking/fordampning. Nedbørsforholdene i Nærbø gjør at luftforholdene i jorda er viktig. I leddet piggtrommel + jordløsning ble porevolumet redusert i 6-10 cm, men økte med 4 vol% i dybden 20-24 cm. En mulig forklaring kan være som nevnt tidligere med markganger, men også høyt innhold av organisk materiale.

Ut fra pF kurvene for dybden 6-10 cm avviker ikke behandlingene så mye fra kontrollleddet. Behandlingsleddene viser en økning i porevolumet av de grove porene som er større enn 30 µm. Grunnen til dette kan være at dette sjiktet er lettest utsatt for bevegelser på grunn av lite overliggende masser. Dette skaper mer oppsmuldring av jorda og aggregater kan bli liggende i overflaten ved jordløsningen. På en annen side skulle leddet piggtrommel ha fått noe komprimering av jorda i overflata da luftlommene opprettes ved å «presse» jord til sides ved opprettelsen av luftlommene i jorda. Det skulle ha oppstått større andel av porer mindre enn 60 µm, noe som ikke er tilfellet. Det er dette leddet som viser minst avvik fra kontrollleddet. Leddet piggtrommel + jordløsning har gitt en økning av porer ved 1000 hPa. Det kan antydes at en pakking har oppstått, ettersom de små porene har økt i antall. Dette i motsetning til leddet jordløsning på 35 cm dybde, som viste en nedgang av porer ved samme matrikspotensiale. Muligens kan det være jordvariasjon, noe som flere ulike parameter viser til, men det er vanskelig å komme med noe god forklaring på dette.

pF kurvene i dybden 20-24 cm viste at i de leddene som var behandlet, var det en økning i porer mellom 3 og 0,2  $\mu\text{m}$ . Om denne forandringen skulle skyldes pakking på grunn av for dyp jordløsning, skulle dette i teorien ha vært en nedgang i porer som er større enn 3 $\mu\text{m}$ , noe som ikke er tilfellet. Men det er en mulighet at jordløsningsdybden i dette tilfellet lå på grensen til at man oppnår løseffekt av arbeidet.

Behandlingene har ikke gitt noen store forandringer i plantetilgjengelig vann (nyttbart vann). Piggtrømmelen reduserte plantetilgjengelig vann i jordoverflaten, men økte mengden plantetilgjengelig vann i dybden 20-24 cm. Dette viser at hypotesen om å kunne redusere fuktigheten i jordoverflata med piggtrømmel hadde sin effekt. I New Zealand hadde et forsøk med piggtrømmel med en arbeidsdybde ned til 22 cm gitt et resultat som forbedrer jordfysiske forhold, for vann og luftbevegelser i jord med økt total porøsitet og makroporøsitet i tillegg til hydraulisk ledningsevne (Burgess et al. 2000). Skiftet hvor forsøksfeltet i Nærbø var opprettet i, er drenert. Dermed er grunnlaget for god vekst og rask opptørking tilstede.

I rute 12 ble det høsten 2014 observert overflatevann. Ved å grave ned til 20 cm dybde, var jorda tørr. Dette tyder på at infiltrasjonen er treig i jordoverflata, og jorda i dette enkelttilfellet var tilnærmet tett. Antagelig kan det skyldes en kombinasjon av husdyrgjødsel, høyt innhold av organisk materiale i jordoverflata på denne ruta og jordpakking/elting av overflatejorda, som resulterer i mange små porer, som lett kan tettes av husdyrgjødsel.

I dybden 20-24 cm var de fysiske forholdene nesten det motsatte av hva den er i dybden 6-10 cm. I dette tilfellet var det leddet piggtrømmel + jordløsning som hadde det høyeste innhold av porer i jorda. Leddet piggtrømmel hadde nest høyest andel porevolum i jorda, selv om redskapets arbeidsdybde ikke gikk så dypt som 20 cm. Dette kan skyldes at det er noe høyere innhold av organisk materiale i denne dybden i begge leddene. Vi ser at jordtettheten som beregnes ut fra vekt per volumenheter avtar med økt porevolum.

### **Infiltrasjon og mettet vannledningsevne**

Jorda i Nærbø hadde lav infiltrasjonsevne for vann. Dermed var dette et godt utgangspunkt for å finne ut hvilken betydning de ulike behandlingsmetoder hadde for infiltrasjon.

Infiltrasjonshastigheten i kontrollleddet tilsvarer infiltrasjonsevnen til tett leire <1mm/time (Skøien 2000). Leddet piggtrømmel gav en økning i infiltrasjonen sammenlignet med kontrollleddet, men økningen var ikke av en slik betydning at det utgjør vesentlig forskjell når det er kraftig nedbør over tid. På en annen side skulle en tro at vannet lettere fant veien ned i jorda når det er stukket hull i torva med piggtrømmel, men effekten av dette viser antagelig at det ikke bare er øvre delen av matjorda som er «tett». Det kan se ut til at jorda i pløyesjiktet .av vann i leddet for jordløsning og for jordløsning + piggtrømmel i starten av målingene, noe det ikke er. Dette kan bety at piggtrømmel alene ikke hadde effekt når problemet med infiltrasjon ligger dypere enn 15- 20 cm i jorda. Tiltetting av husdyrgjødsel i porene kan hypotetisk antydes å være noe redusert når infiltrasjonsforholdene får større jordoverflate/areal i luftlommene for nedadgående veskestrøm. Luftlommene kan muligens også gi raskere fordampning av vann til atmosfæren så lenge det er direkte åpning i jordoverflaten. Det kan antas å gi raskere opptørking etter nedbør

Løsning under ploglaget viser seg å ha betydning i dette forsøket. Dette kan tyde på at det er undergrunns-jorda som var pakket, eller at det var en plogsåle som skapte redusert infiltrasjon. Jordløsningen så ut til å ha høy infiltrasjonsevne i starten, noe som tyder på at det

er mange store porer i øvre del av jorda. Kombinasjon av både jordløsning og piggtrommel viste seg å ha bedre effekt over tid sammenlignet med de andre leddene i forsøket. Dette tyder på at jorda inneholder en del små porer i matjordlaget, og i kombinasjon med jordløsning av en eventuell plogsåle skapte dette en god situasjon for å få vann raskere ned i jorda. Mange små porer i jordoverflata etter pakking og evt. elting av jorda i kombinasjon med husdyrgjødsel tetter jordoverflata ytterligere. Det kan antydes at jordas infiltrasjonsevne kan være påvirket og er utsatt for å bli tettet. Dermed er lufttrykk i hjul, valg av høstemetode, mekaniseringsmetode, fuktighet i jorda ekstra viktig ved traktorkjøring på skiftet.

Når det gjelder infiltrasjon og mettet vannledningsevne, så var det lav infiltrasjon og i begge dybdene i kontrollleddet. Totalt var det målt 0,75 cm/h innfiltrert vann i jorda, mens det var lav mettet vannledningsevne i jordsylindrene, 0,61 cm/h i 6-10 cm dybde. I 20-25 cm dybde var det noe høyere vannledningsevne, 4,6 cm/h. Behandling med piggtrommel gav i denne sammenheng en betydelig forbedring i vannledningsevnen i 6-10 cm dybde med 11,4 cm/h, men jordløseren må antagelig brukes for å få forbedret vannpermeabiliteten vesentlig i 20-25 cm dybde. Når en kombinerer piggtrommel og jordløser, oppsto det en reduksjon av vannpermeabiliteten i 20-24 cm dybde. Det kan ha skjedd en pakking ved jordløsningen når piggtrommelen skulle kjøres over ruta etter jordløsningen. Dermed var infiltrasjonen i denne dybden antagelig bedre før piggtrommelen ble kjørt over i dette tilfellet. Jordløsningen viste å ha positiv virkning på jordoverflata. Dette kan være et resultat av oppbrytning og sprekkdannelse i jordoverflata som bidrar positivt for infiltrasjon og vannledningsevne. Det var store variasjoner i resultatene, noe som skulle ha gitt signifikante utslag, men det var antagelig tatt ut for få prøver til at det oppsto en signifikant forskjell i vannledningsevnen.

### 5.1.2 Skjærfasthet

Skjærfasthetsmålingene i Nærbø 2014 viste at den ble høyere med økt avstand til løsnetinde, i alle dybder. Dette var antagelig et resultat hvor jorda var mer oppløst nærme den jordgående tinden enn jorda som var mellom to tinder. Det kan antydes at ved avstanden 300 mm, var utslagene på løsnervirkningene mindre enn ved 200 mm avstand. Det kan da antas at avstanden mellom tindene ikke bør være større, hvis god løsnervirkning mellom tindene skal oppnås og samtidig unngå pakking ved kjøring i kritisk løsnedybde. Leddet piggtrommel hadde dette året lik eller noe høyere skjærfasthet enn kontrollleddet i nesten alle dybder, og i begge avstandene fra tinde. Det er da vanskelig å komme frem til noe entydig svar på hvorfor det ble slik, da bearbeidingsdybden for piggtrommel i dette tilfellet var ned mot 12-15 cm. Piggtrommelen bidrar antagelig ikke til noe jordløsning av noen form, men muligens en liten komprimering av jorda sideveis i de øvre 100 mm i jorda, når «tennene» presses ned og danner åpninger i torva/jorda. Jevnt over var det ikke observert noen markante forskjeller mellom kontrollledd og ledd hvor det er kjørt med jordløsningsredskap. Skjærfastheten ligger på samme nivå eller noe under, så betydningen er noe beskjedent. Det kan i så fall sies at det ikke skjedde noen pakking på grunn av for dyp jordløsning. Leddet piggtrommel + jordløsning viser tendenser til å gi best resultat i oppløsning av jorda i avstand 20 cm. På 30 cm avstand er det i 100 mm dybde størst forskjell mellom piggtrommel + jordløsning og kontrollledd, og tilnærmet ingen forandring i de neste to dybdene. Det kan antydes at når avstanden mellom tindene er på 60 cm, er det vanskelig å oppnå løsneseffekt av arbeidet i dybde under 100mm ved 30 cm avstand.

Målingene som ble tatt i 2015, viser noe høyere verdier for skjærfasthet sammenlignet med 2014. Dette kan ha sammenheng med at jorda fikk «satt» seg noe mere etter å ha vært utsatt for varierende klima over en lengre periode. Målingene som ble utført i 2014 var relativt kort tid etter opprettelsen av forsøksfelt. Jorda ble også utsatt for flere overkjøringer av traktor og redskap i løpet av vekstsesongen 2015. Det var registrert mer vann i jorda i 2014 enn i 2015 ved feltforsøk. Jo mindre vann det er i jorda, jo høyere blir motstanden før brudd oppstår. En mulig feilkilde i denne sammenheng var at under feltarbeidet i 2015 var det tidvis vanskelig å se furene etter løsningen fra 2014, slik at mulige feil i målingene som uriktig avstand fra fure ved skjærfasthetsmåling kan ha forekommet.

### 5.1.3 Avlinger

Totalavling i Nærbø var høyere i 2014 enn i 2015, når avlingen i 1. slått i 2015 trekkes ifra resultatet. Forsøksfeltet ble opprettet i ei 2. års eng, og det kan antas at rotsystemet var godt utviklet tross for jordfysiske forhold og alderen på enga. Etter løsning var det kontrollleddet som viste en trend til å gi høyest avling totalt for både 2014 og 2015. Et unntak er leddet jordløsning i 2015 med 1457 kg t.s./daa. Det kan antas at forsøksledd utsatt for behandling fikk revet i stykker røttene, noe som bidro til redusert vekst i samme vekstsesong som jordløsningsredskapene er kjørt. I følge (Frost 1988) ble det registrert «44% lavere avling i 2. slått, 22 dager etter løsning. 10 % lavere avling ved 3. slått. I snitt ble det registrert 27% lavere avling på løsnede ledd». I 2014 ble totalavlingen i Nærbø for behandlede ledd i snitt redusert med 10 %. Størst reduksjon var det i 2. slått (første avling etter løsning), hvor det antydtes en sammenheng mellom hvor mye jorda var utsatt for mekanisk påvirkning og avlingsreduksjon, noe som gav signifikant utslag på 0,02%. Leddet jordløsning gav mest avlingsreduksjon på 51 %. Piggtrommel gav 25% reduksjon. Burgess et al. (2000) kom frem til at «jordløsning på tørr jord kan føre til planteskade. Hvis det ikke kommer nok nedbør etter løsningen, som dekker fordampningen, så vil rotskade føre til visning av gresset, og dermed kan tap av avling oppstå». I leddet hvor begge redskapene ble brukt, ble resultatet 65 % avlingsreduksjon. Dette viste at plantene fikk redusert evne til å vokse på grunn av oppkutting av rotsystemet. Dette gir videre redusert overflate mellom rot og omkringliggende jord pga. løsere jord i tillegg til mindre areal av røtter, som bidrar til lavere opptak av vann og næringsstoffer. Hvor stor betydning kjøring på enga etter slått har å si for reduksjon av plantevekst og skade på plantene er vanskelig å gi noen antydning til i denne sammenheng. Effekten av jordløsning avtar betydelig i 3. slått hvor det har oppstått en økning i avling på hhv. 3%, 12% og 11 % i leddene piggtrommel, jordløsning og piggtrommel + jordløsning sammenlignet med kontrolledd. Forskjellen øker ytterligere i 4. slått satt opp mot kontrolledd, hvor forskjellen er på hhv. 50%, 31%, og 57% i samme rekkefølge i leddene som nevnt ovenfor. Dette tyder på at plantene raskt greide å gjenopprette høy produktivitet, men dog kan det være avhengig av flere faktorer. På den annen side kan rotsystemet i kontrolleddet ha et forsprang på å gi bedre vekst til planten, fordi den har fått utviklet seg fra frøet ble sådd til jorda har fått satt seg, og dermed ikke blitt påvirket av jordløsningen. Dermed hadde gresset i dette leddet et lite forsprang. «De aller fleste grassortene fornyer rotsystemet hvert år. Dette gjelder timotei, engsvingel, raigras og markrapp. Hundegras og engrapp røtter kan være aktive mere enn ett år » (Jetne 1981). I dette tilfellet besto enga av gras som fornyer røttene hver år. I forsøksfeltet er jordtypen siltig sand til sandig silt, med lav jordtetthet. I følge Dejong Hughes (2001), ligger ideal jordtetthet for optimal rotutvikling

høyere enn den faktiske jordtettheten i forsøksfeltet. Dette betyr at røttene ikke hemmes i vekst på grunn av jorda, men heller at kontakten mellom røtter og jord kunne vært bedre. Det er ikke operert med noe optimal pakkingsgrad i dette tilfellet da jorda er en blanding av morene og høyt innhold av organisk materiale blandet. Det organiske materialet vil antagelig fungere elastisk etter overkjøring, og går tilbake etter pakking. Den vil også holde på vann noe bedre enn mineraljord, selv om pore størrelsene kan være av det de store variantene.

Vekstsesongen 2015 gav redusert avling i 1. og 4. slått. Økt avling var det i leddene jordløsning og jordløsning + piggtrommel i 2. slått og i alle behandlede ledd i 3. slått. I 2015 var det gjennomsnittlig 3°C, 2,8°C, 2°C, og 5°C kaldere enn i 2014 for perioden april til og med juli. I samme periode var nedbørmengdene tilnærmet normalen, men unntak av mai måned hvor det kom dobbelt så mye som normalen. Sammenlignet med 2014, var året 2015 noe fuktigere. August var varmere og september var tilnærmet lik 2014. Det kom 3,5 ganger mindre nedbør i august og 75% av normal september nedbør i 2015. Her kan det se ut til at temperaturen som alenefaktor står for økt avling i løsnete ledd. Hvorfor leddet piggtrommel har gitt redusert avling i 2. slått, kan skyldes at furene i grastorva har forsvunnet, og dermed mister dette leddet effekten av løsningen. Burgess et al. (2000) fant ut at «totalavlingen ved bruk av piggtrommel øker noe i 1. vekstsesong sammenlignet med ikke behandlede ruter, men det er en avtagende avling kort tid etter piggtrommel er kjørt. Samme studie viste også at jord løsnet med piggtrommel, reverserte tilbake til ikke løsnet tilstand etter 40 uker, og at løsning med piggtrommel må repeteres årlig for å opprettholde de jordfysiske egenskapene». Muligens kan kjøring med piggtrommel gjøres tidlig på våren etter tilførsel av gjødsel for å få full effekt av det arbeidet den gjør i alle slåttene i løpet av vekstsesongen.

Det kan se ut til at jorda la seg tilbake relativt fort etter løsning, med tanke på god kontakt mellom røtter, jord og avling i dette forsøket. Dette kan ha sammenheng med at jorda hadde høyt innhold av organisk materiale og var ikke preg av å være tung og massiv i alle gjentak. Det kan antydes at høsting kan ha forekommet i fuktig jord. Det var en del hjulspor i forsøksfeltet som kan bidra til redusert utvikling av røtter.

Det kan se ut til at klimaet virker inn på tørrstoffinnholdet i graset. Tørrstoff % er i 2014 lavest i kontrollleddet og leddet for kjøring med piggtrommel i Nærbø. Det er i leddene hvor det er kjørt med jordløsning 30-35 cm som gir høyest tørrstoffinnhold i graset. I 2015 ser det ut til at jordløsning alene gir høyest tørrstoffinnhold i plantene, mens det er lite forskjell leddene for jordløsning+ piggtrommel og kontroll. Dårligst ut kommer piggtrommel i alle slåttene.

## 5.2 Orkdal

### 5.2.1 Volumetriske forhold i jorda

Porevolumet ble redusert i 6-10 cm dybde og økte noe i 20-24 cm dybde. Jordtettheten økte i 6-10 cm, og ble redusert i 20-24 cm dybde, hvor størst forskjell har oppstått mellom leddet jordløsning 35 cm og kontroll for de to parameterne. Ut i fra overnevnte resultat viser det tegn til at det hadde oppstått en mulig jordpakking i overflata og en løsning i dybden 20-24 cm. Jordstrukturen ble beskrevet som struktur-løs, kompakt og tung før anlegging av forsøksfelt (Anne Kjersti Bakken. pers.medd.). Beskrivelsene av jorda ble tatt med en spadeprøve og beskriver jordsjiktet 0-20 cm. Det kan se ut til at bæreevnen i øvre jordsjikt er svak og har

blitt utsatt for pakking i behandlede ledd. Dette kan skyldes kjøring av traktor på ugunstige forhold under vekstsesongen, men om det har skjedd før eller etter anlegging av forsøksfelt er vanskelig å si, da det ikke ble tatt noen prøver av jorda før anlegging av forsøksfelt. På en annen side kan kombinasjonen avtagende porevolum og pakking etter kjøring av traktor danne et jordsjikt som består av mange mikroporer. Dette danner grunnlaget for hvor vann lettere bindes i jorda og danner ugunstige fuktighetsforhold, som skaper sein opptørking og en eventuell god kapillær vannledningsevne opp til jordoverflata. Et paradoks i den sammenheng er at jorda i 20-24 cm dybde viser det motsatte av 6-10 cm dybde. En mulig årsak er at de grove porene i jordoverflata har vært mer utsatt for trykk og komprimering på grunn av direkte påkjenning og kontakt med dekkene på traktor og redskap, enn porene lengre ned i dybden. I dybden 20-25 cm er jordtettheten lik for kontrollleddet og jordløsning 25 cm, men lavere for jordløsning 35 cm. Antagelig er jorda noe løsere i leddet jordløsning 35 cm på grunn av at jorda ikke falt så mye sammen igjen etter løsning sammenlignet med løsning i 25 cm. Jordtettheten ligger i området hva som betegnes som optimalt for plantevekst ifølge tabell 2.1, men jordtetthet alene forteller lite om porestørrelsefordelingen og om jorda inneholder mange makroporer som røttene kan vokse inn i.

Luftinnholdet i jorda ved feltkapasitet ( $pF_2$ ) gav en økning luftfylte porer i leddet jordløsning 25 cm. I leddet jordløsning 35 cm, ble luftvolumet redusert i dybden 6-10 cm, men den økte i dybden 20-24 cm. Grunnen til at det er økning i jordløsning 25 cm, kan være at denne løsnydybden lettere kan løsne/bryte opp jorda, og dermed skape nye porer. I leddet jordløsning 35 cm er det mere jord som løftes på ved løsning, og derfor er det vanskeligere å få jorda til å sprekke opp sammenlignet med grunnere jordløsning.

Jordløsningen har ikke bidratt til noen økning i vannlagringsevnen i jorda. Forskjellene er små og ubetydelige.

Vannrentensjonskurvene ( $pF$ ) i Orkdal viser at jordløsningen har gitt en økning i porer større enn  $60\mu m$  i 20-24 cm dybde, men en lavere andel porer mellom  $60$  og  $3\mu m$  i jorddybden 6-10 cm. Dette gir mindre tilgjengelig vann på grunn av store dreneringsporer ( $>60\mu m$ ) og færre porer som holder på vann som er tilgjengelig for plantene ( $30\mu m$ - $3\mu m$ ). Andel vann som er tilgjengelig for plantene ligger i snitt på 26,1 volum% i dybden 6-10 cm og 26,8 volum % i dybden 20-24 cm. Det kan antas at forskjellen mellom jordløsnydybdene ikke har så stor betydning da jordprøvene blir tatt ut i et sjikt som ligger over den antatte plogsålen. Jordtettheten i 6-10 cm dybde var lavest i kontrollleddet og økte med jordløsnydybden i sylindrene. Antagelig kan det ha oppstått en antydning til jordpakking i løsnydybden 35 cm. I 20-24 cm dybde var det en antydning til jordløsning

### **Infiltrasjon og mettet vannledningsevne**

Det er registrert negativ virkning i infiltrasjon ved begge behandlede ledd, hvor jordløsning 25 cm hadde betydelig lavere infiltrasjon sammenlignet med både kontrollleddet og jordløsning 35cm. Infiltrasjonsevnen i jordløsning 25 cm startet på 10 cm/h og stabiliserte seg ved 6,5 cm/h ved forsøkets slutt. Den mettede vannledningsevnen var lav (3.4 cm/h) i 6-10 cm dybde. I 20-24 cm dybde var den høyere med 20 cm/h. I leddet jordløsning ved 35 cm, gir denne løsningen bedre resultat for både infiltrasjon og mettet vannledningsevne i de to dybdene. Vannledningsevnen viser at jordløsningen har en positiv innvirkning på

vanngjennomstrømningen i begge dybdene hvor det er tatt prøver fra, men økningen er ikke av vesentlig karakter i sjiktet 6-10 cm. Infiltrasjonsevnen i dette leddet er høy i starten og tyder på at det er mange store porer i øvre jordsjikt. Infiltrasjonshastigheten avtar raskt frem til 20 minutter etter start og stabiliserer seg ved 18 cm/h. Det at forandringen i vannledningsevnen er mindre enn infiltrasjonsverdiene gir et bedre uttrykk for tilstanden i jorda i en gitt dybde. Infiltrasjon av vann skjer både i horisontal og vertikal retning i de prøvene som er utført, og gir noe høyere verdier i vannstrømning i jorda, inntil de store porene er mettet. Det at mettet vannledningsevne er flere ganger høyere i dybden 20-25 cm enn i 6-10 cm, kan skyldes flere sammensatte grunner. Jordoverflata kan være påvirket av ytre faktorer som tilførsel av husdyrgjødsel som tetter porene. En generell lære er at man sprer husdyrgjødsel i overskyet vær gjerne med litt yr og regn for å unngå eventuell begrensning av vekst som skyldes fordampning av næringsstoffer, eller tørrstoffmateriale som blir liggende på bladverk. Fuktige forhold gjør overflatejorda mer utsatt for pakking og oppkjøring enn jorda lengre ned i pløyesjiktet ved gjødselspredning. Dette kan bidra til flere mikroporer oppstår i øvre jordsjikt, som lagrer vann. På en annen side vil tørrstoffinnholdet i gjødsla og mengde gjødsel/daa bestemme hvor lett porene i jorda på overflata tettes. «En blanding av ufordøyd organisk materiale og kutterspon fra sagbruk vil kunne danne en hinne i jordoverflata på områder med glissent plantemateriale» (Haraldsen 1990). Dette kan bidra til redusert vekst som et følge av nedsatt luftutveksling i rot-sjiktet, nedsatt infiltrasjon i jordoverflaten, og lettere for at eventuell plantedekke svies. Luftinnholdet ved pF2 i jorda ligger noe over kritisk nivå, men kan lett bli påvirket av husdyrgjødsel og tung transport om man ikke tar hensyn til fuktighet i jorda når man utfører arbeidsoperasjoner ute på enga.

Kontrolledet viser å ha en stabil og høy infiltrasjonsevne i forsøket. Det kan se ut til at løsning av jorda har hatt negativ innvirkning på infiltrasjon, og er signifikant forskjellig fra kontrolledet. Selv om lufttrykket i hjulene var litt over 1 bar ved kjøring, var det tydelige spor av mønstrene i dekket i jordoverflaten ved løsning, og kan være tegn på at kombinasjonen av trykkpåkjenning av hjul og fuktighetsnivået i jordoverflata ikke samsvarer med optimale forhold for jordløsning. Det ble tilfeldigvis utført infiltrasjonsmålinger i løsnefurene høsten 2014. Infiltrasjonen viste at jorda var tettere her og infiltrasjonen gikk saktere enn målingene som ble gjort mellom furene. To av de tre løsnetundene fulgte også hjulsporene til traktoren, noe som kan ha bidratt til mer kompakt jord i furene. Det kan muligens ha bidratt til at infiltrasjonsevnen er lavere.

### 5.2.2 Skjærfasthet

I Orkdal har behandlede ledd lavere skjærfasthet sammenlignet med kontrolledd, uavhengig av avstand til løsne-tinde og dybde i 2014. Unntaket er i dybden 200-300 mm målt ved 45 cm avstand. Her har løsningen på 35 cm dybde ført til en pakking i jorda, antagelig på grunn av for dyp løsning. Det kan antydes at jorda i Orkdal er noe mer kompakt sammenlignet med jorda i Nærbø da skjærfasthetsverdiene er noe høyere.

I 2015 er det vanskelig å finne igjen den samme trenden som oppsto i 2014. Det kan være en sammenheng som nevnt tidligere, vanskelig å finne tilbake furene i jorda da skjærfasthetsmålingene skulle tas. Det var også relativt stor avstand mellom furene her, og dette betyr at det var mindre andel av jorda som ble påvirket av løsningen da avstanden var større enn i Nærbø. Dermed ble risiko for at målingene ble feil større. Antagelig gjenspeiler

løsning i 25 cm dybde dette på 200- 300 mm dybde i både 20 cm og 45 cm avstand. Det er også mulig at disse tallene gjenspeiler målinger tatt nærmere et kjørespor, enn hva det er gjort i de andre målingene. På en annen side er det også naturlig at man finner noe mer pakket jord i denne dybden(plogsåle) når pløyedybden er på mellom 20 til 30 cm.

Vanninnholdet i jorda lå i 2014 mellom 25 og 29 vol% i dybden 6-10 cm. I dybden 20-25 cm lå den på 34,6 i kontroll leddet og 38 vol% i løsningsleddene. I 2015 var vanninnholdet nede på 20-22 vol% i 10 cm dybde, og 18 vol% vann på 20-30 cm dybde. Vanninnholdet i jorda er relativt lavt ved begge målingene og variasjonen er ikke så stor.

### 5.2.3 Avling

Totalavlingene i Orkdal vekstsesongen 2014 er lavere enn avlingene i 2015, selv om 1. slåttan trekkes fra resultatet for 2015. Forsøksfeltet er anlagt i ei 1. års eng, og det kan antas at rotsystemet var relativt godt utviklet i skiftet ut i fra strukturen i jorda og alderen på enga. Etter løsning var det kontrollleddet som viste tegn å gi høyest avling i 2. slåttan. Behandlede ledd fikk redusert avlingen med hhv.12% og 19% (jordløsning på 25cm og 35 cm), noe som gav et signifikant utslag på 0,02%. Dette kan skyldes at ledd med jordløsning utsetter plantene for oppdeling av røtter og løsere jordstruktur/dårligere kontakt mellom jord og røtter etter løsning. Dette bidrar mest sannsynlig til svakere vekst kort tid etter løsningen pga. noe mer begrenset opptak av næringsstoffer, vann og evt. dårligere kontakt mellom jord og røtter. Det er vanskelig å si noe om hvilket sjikt jorden ble løsere i, om det var i rotsonen eller i andre sjikt, da jordtettheten var høyere i 6-10 cm enn i 20-24 cm dybde etter jordløsningsredskapene var kjørt. I 3. slåttan var det avlingsøkning i behandlede ruter (hhv. 11% og 5%), noe som tyder på at plantene har utviklet stort nok overflateareal på røttene til opptak av vann og næringsstoffer. I følge (Frost 1988) ble det registrert «44% lavere avling i 2. slått, 22 dager etter løsning. 10 % lavere avling ved 3. slått. I snitt ble det registrert 27% lavere avling på jordløsnede ledd». Totalavlingen i Orkdal ble redusert med hhv. 4,5 og 11 % for behandlede ledd (jordløsning 25cm og 35 cm) i 2014.

I 2015 gav 1. slåttan en reduksjon på 7 % i leddet jordløsning på 25 cm dybde. Løsning i 35 cm dybde gav lik avling som kontrollleddet. 2. og 3. slått gav begge økning i avling på rundt 4% i leddet jordløsning 25 cm og hhv. 7% og 3% i leddet jordløsning 35 cm dybde. Antagelig kan lagringsreservene av næringsstoffer være noe større i kontrollledd enn i behandlede ledd, og bidra til raskere gjenvekst i enga etter overvintringen da røttene her var uforstyrret. Det kan antas også at røttene i leddet jordløsning på 35 cm var mindre berørt av jordløsningen sammenlignet med leddet jordløsning 25 cm. I følge (Jetne, 1981) «forny de aller fleste grassortene rotsystemet hvert år. Dette gjelder timotei, engsvingel, raigras og markrapp. Røttene til hundegras og engrapp kan være aktive mere enn ett år». Dermed kan dette være grunnen til at 1. slåttan 2015 var redusert i leddet jordløsning 25 cm, og ikke i de andre to leddene i forsøket, men dette ser ut til å ikke være tilfellet i de neste slåttene. Eventuelt kan jordpakking etter jordløsning og bryting av en eventuell plogsåle være en medvirkende årsak. Klimaet for månedene april til og med juli samme år, var i snitt på hhv. på 0,4°C, 1,6°C, 2 °C, 5°C kaldere, og august og september var 0,4°C og 1°C varmere sammenlignet med 2014. Nedbørsmengdene i 2015 var 28 mm og 8mm lavere i juni og juli måned, og 0,4mm høyere i månedene august og september, satt opp mot 2014. Perioden mellom 2. og 3. slått er



tilnærmet lik med tanke på gjennomsnittlig temperatur og nedbør disse to årene. Antall dager veksttid mellom 1. og 2. slått og 2. til 3.slått var 3 og 5 dager lengre i 2015 enn i 2014. Med dette kan det antas at vekstsesongen i 2014 var god med tanke på vanntilgang og høy temperatur, men det var en tørkeperiode i slutten av juli i 2014. Dette kan delvis beviser at jordløsningen bidro til å redusere avlingen. Jordtettheten i Orkdal viser seg å ligge i området som er ideell jordtetthet for rot utvikling siltig sand ifølge Håkansson (2000) og De Jong-Hughes et al. (2001).

Forskjell i avlingsmengde med signifikant utslag ved 2. slått 2014 ble registrert. Grunnen til dette kan være at det er relativt kort tid fra opprettelse av forsøksfelt til påfølgende 2. slått. Det kan tyde på at de ulike behandlingene gir ulik mekanisk påvirkning i jorda. Dette kan gi ulikt utgangspunkt mellom ruter hvor jorda er blitt fysisk løftet på og ikke har fått lagt seg skikkelig på plass etter løsningen. Kontrollleddet gir størst avling ved denne slått. En annen side er at røtene til gresset blir påvirket forskjellig avhengig av behandling.

Det er forskjeller i tørrstoffinnholdet ved de ulike slåttene i 2014. Fra 2. til 3. slått reduseres tørrstoffet med 6% fra 19 % til 13 %, noe som gjenspeiles i avlingene for hvert ledd i de to slåttene. I 2015 var tørrstoffinnholdet jevnere mellom avlingene og ligger mellom 15,0% og 16,6%. Nedgangen i avlingene her er større mellom 2. og 3. slått sammenlignet med vekstsesongen 2014. Forskjellen er mindre mellom 1. og 2. slått. Det ser ut til at det er en sammenheng mellom varmt og fuktig klima for høyt tørrstoffinnhold, og noe kjøligere temperatur for lavt tørrstoffinnhold i 2014.

### 5.3 Praktiske sider ved jordløsning og oppsummering.

I begge forsøksfeltene er det en jordtype av sandholdig silt til siltig sand/morenejord. Det er høyere innhold av organisk materiale i Nærbø, men innholdet varierer mye avhengig hvor på skiftet man oppholder seg. I Nærbø er det organiske materialet noe omdannet og preges av å være torvholdig. I Orkdal er det et innhold på 3-4% organisk materiale og jorda er sandholdig, et resultat av elveavsetninger. Jorda i Nærbø er preget av høy grunnvannstand (Nibio, 2015), selv om den er drenert. I Orkdal er jorda ikke drenert, men innholdet av sand er så høyt at jorda antas å være mer eller mindre selvdrenerende. I begge skiftene er det et problem med pakket jord og vanskelige fuktighetsforhold i pløyesjiktet. Det kan se ut til at jorda utsettes for en del uheldige påkjenninger i vekstsesongen, hvor det er tunge aksellaster som påfører jorda og veksten deformasjoner i form av endret jordstruktur og hemninger i utvikling av plantene. Noen kjøring i vekstsesongen utføres antagelig i noe fuktige forhold, noe som er observert som kjørespør ved feltarbeid. Jorda er blitt beskrevet som tung og struktur-løs, hvor det ved feltarbeid også er observert overflatevann. Graver man seg ned til 20-25 cm, er jorda observert til å være tørrere eller tørr i begge forsøksfeltene. Dette tyder på at øverste jordsjiktet kan i noen tilfeller minne om et «skorpelag» som består av mange små porer og har lav infiltrasjonsevne, noe som tyder på pakking og eventuell elting av øvre jordlag. Dette kan vurderes å være et større problem i Orkdal da denne jorda er mer homogent sammensatt over hele skiftet. Praktiske erfaringer med jordløsningen på eng er at det er en fordel å bruke en jordløser som er konstruert med tanke på å kjøres i eng. Evers sward lifter som ble brukt i Nærbø, bryter ikke opp jorda like mye og lager ikke like ujevn overflate sammenlignet med jordløseren som ble brukt i Orkdal. Evers sward lifter har også tromler i konstruksjonen like bak løsneorganet på redskapen som «pakker» jorda etter løsning. Dette

bidrar til jevnere jordoverflate etter løsning. I Orkdal ble vingeskjærene tatt av jordløsneren for å begrense oppkjøringen av jorda, men tindene har en bratt stigning og løfter jorda mye likevel, og denne jordløsneren er antagelig produsert mest med tanke på jordløsning i åkerlandskap. Overkjøring med trommel etter løsning ble foretatt for å begrense faren for å dra med seg jord i graset ved siloslått. Skal jordløsning foretas, kan det være en fordel å løsne en eventuell plogsåle og utføre en dyp jordløsning etter enga er sådd, eller på høsten etter siste høsting. Dette for å begrense problemene ved jordinnblanding ved grashøsting og eventuell oppkjøring av stein som kan kjøre i stykker innhøstingsredskaper. Man slipper også å kjøre på et eventuelt «vaskebrett» ved innhøstingen (Figur 5.1).



Figur 5.1: Det er forskjell på hvordan jordløsnerne etterlater seg jordoverflaten etter kjøring. I bildet til venstre etterlater redskapet en forhøyning på jordoverflaten hvor løsnetinde har gått. Dette er ikke tilfellet i bilde til høyre.

Begge redskapene drar med seg stein opp til jordoverflaten, selv om begge redskapene er produsert med steinutløser. De egner seg mindre til kjøring på steinrik morenejord i vekstsesongen, noe det finnes en del av i Norge (Figur 5.2)



Figur 5.2: Stein bidrar til å bryte opp torva (nederst til venstre) og risiko for jordinnblanding i graset ved høsting kan bli tilfellet. Stein som stikker opp i jordoverflata kan bidra til å ødelegge redskap under innhøstingen (nederst til høyre). På begge forsøks stedene bidro stein til å ødelegge grastorva ved kjøring.

Når jordløsning skal utføres i vekstsesongen i etablert eng, er det en fordel at det utføres i jord som ikke er for tørr. Dette bidrar lettere til at jorda brytes opp til store klumper når jorda mangler struktur, er massiv og tung. Avlingen vil også bli redusert avhengig av hvor lenge etter innhøstingen dette utføres, ifølge DeJong-Hughes et al (2001). Etterveksten kan bli påvirket og redusert. For tørr jord bidrar også til å rive i stykker røttene lettere når jorda brytes opp til klumper. Er jorda i området fuktig til våt tilstand ved løsning, er faren stor for at man gjør like mye skade på jord og vekstkultur som hensikten med å utføre løsningen. Det er også lettere at oppkjøring av grastorva oppstår og at man bidrar til at jorda pakkes like mye og kanskje mer enn den var før den ble løsnet. Hjulspor vil lettere bli et permanent innslag i enga som begrenser infiltrasjon og reduserer veksten. Avhengig av jordart og løsnedybde kan jordløsning utføres i tørr og lett (sandholdig) jord som ikke deles opp i kompakte store klumper, eller i massiv, kompakt og pakket jord (med jordfuktighet rundt feltpkapasitet) om våren, etter vekststart men antagelig helst før plantene etablerer nye rotskudd. Dette kan bidra til at graset får nyttiggjøre seg av opplagsnæringen fra sist høst i gamle røtter, til å starte på en ny sesong. Tidspunktet er antagelig et kritisk stadium for planten. Dette kan hindre en eventuell avlingsnedgang noe når man greier å utføre jordløsningen til riktig tidspunkt. Løsnedybden er avhengig av hvor jorda er pakket. Grunn løsnedybde kan være til mer ulempe for grastorva, enn dyp jordløsning når jorda er kompakt i øvre jordsjikt. Jordløsning kan være effektkrevenende, avhengig av arbeidsbredde og antall jordgående løsnetinder og hvor massiv jordstrukturen er. Dette bidrar til at traktorene må ha motoreffekt fra 50 til 204 hestekrefter og eventuelt firehjulsdrift for å dra redskapet. Egenvekten på redskapet varierer også fra 250 kg

til oppunder 2000 kg (Kverneland 2016; Opico 2016). Det er flere faktorer som gjør dette komplekst og vanskelig å vurdere. Håkansson (2005) skriver at «graset reagerer forskjellig på trafikken i eng, og faktorer som har innvirkning er avhengig av: alderen på enga, plantearter, utviklingsstadiet, antall slåtter per år, trafikkintensitet, kjøremønstre, lufttrykk i hjulene, dimensjon på hjulene, dekkmønstre, aksellast og jordtype». Skal det utføres jordløsning med to forskjellige redskaper på samme område, er det viktig å vurdere hva man kjører først og sist etter hvilken jobb de utfører, avhengig av jordtype og fuktighetsforhold. Slik det ble gjort i Nærbø, ble jordløsning kjørt først i 30-35 cm dybde og piggtrommel etterpå. Dette for å oppnå minst mulig oppkjøring av grastorva. En konsekvens med dette valget er at jord er mer og lettere utsatt for pakking når den nettopp er løsnet (Håkansson 2005). Dette kan lettere resultere i at porevolumet blir forandret til færre store porer og en økning i små porer, videre bidra til å opprettholde et høyere fuktighetsnivå i pløyesjiktet og eventuelt i jordoverflata. Dette kan videre bidra til ytterligere forringelse av optimale vekstforhold til plantene.

Jordløsningen i dette forsøket resulterte i små fysiske forskjeller mellom behandlingsledd og kontroll, når det gjelder parameterne porevolum, jordtetthet, luftfylte porer ved feltkapasitet (pF2), nyttbart vann, mettet vannledningsevne, pF verdier i 6-10 cm og 20-24 cm. Dette kan skyldes at jorda er for kompakt og deler seg opp i store klumper ved oppløsning. Fuktigheten i jorda ved løsning var i Nærbø ved feltkapasitet og litt fuktigere i både 6-10 cm og 20-24 cm dybde. I Orkdal var fuktigheten ved pF2 til pF3 i begge jordprøvedybde. I 20-24 cm var enkelte ruter noe fuktigere enn hva som er fuktighetsnivå ved feltkapasitet (pF2). Er det fuktigere jord enn ved feltkapasitet (pF2), er det fare for at jordløsningen gjør skade. Jordtettheten har avtatt i Nærbø og økt i dybden 6-10 cm i Orkdal. Økningen kan tyde på uheldig fuktforhold i jorda i kombinasjon med høyt marktrykk i jorda ved løsning og annen traktorkjøring på skiftet.

Det ble registrert signifikante utslag i luftvolumet i leddet piggtrommel+jordløsning i 6-10 cm dybde, pF ved 1000 hPa i Orkdal og infiltrasjonskapasitet på begge forsøksfeltene med 5-10 % signifikans i Nærbø og på 5 % nivå i Orkdal. Dermed kan man oppnå å begrense den tiden overflatevannet hindrer diffusjon av oksygen til røttene.

Begge steder viste målinger av skjærfasthet at løsnebehandlingen ga en løsneeffekt på fastheten i jorda. Denne effekten avtok fra 2014 til 2015, men var fortsatt målbar.

Løsning av jorda har skadet planterøttene i begge forsøkene. Det var tydelig i 1. slått etter løsning, hvor det oppsto 47% redusert avling i Nærbø og 16% avlingsreduksjon i Orkdal i 2014. Denne avlingsreduksjonen avtar og har gitt økt avling ved de neste slåttene samme år. I snitt er totalavlingen redusert med 10% i Nærbø og 7,8 % i Orkdal vekstsesongen 2014. I 2015 er trenden slik at 1. slått har gitt redusert avling, men i de neste slåttene er det økt avling sammenlignet med kontrollledd, men økningen ser ut til å være styrt av klimaet i vekstsesongen. Dette forsøket viser at jo mer jord og røtter blir utsatt for bearbeiding, jo lengre tid tar det før behandlede ledd gir høyere avling enn kontrollleddet. I 2015 oppsto det høyere total avling i bearbeidet ledd sammenlignet med kontrollleddet i Orkdal. Dette oppsto ikke i Nærbø.

Jordløsning i begge forsøksfeltene gav signifikante utslag i enkelte parametere, men jordstrukturen kan ikke sies å ha forandret seg noe nevneverdig ut i fra forandringene i jordfysiske faktorer. Det kan virke som at det er vanskelig å tro at jordløsning bidrar til økt aggregert struktur i jorda, men den bidrar til sprekkeannelser og oppdeling av massiv

struktur til klumper i varierende størrelser. Det er fordelaktig for bonden at infiltrasjonsevnen forbedres, og dermed opptørking av enga etter nedbør går raskere. Dette hindrer en del uheldig jordpakking ved kjøring på jordet, slik forholdene er beskrevet tidligere. Det kan være en plausibel oppfatning at bedring av infiltrasjonen har økt avlingene i løsnede ledd på grunn av mer diffusjon av oksygen til røttene.

Det vil ved senere forsøk ha vært interessant å utføre jordløsning til andre tidspunkter i vekstsesongen, for å kunne redusere avlingstapet som er forbundet med jordløsning. Da kan det være interessant å gjøre dette om våren eller om høsten. Om våren eller når ei eng skal fornyes, kunne jordløsningen vært utført etter at åkeren er isådd grasfrø, men jordløsningen kan gjøres enten før eller etter den tromles. På dette tidspunktet har ikke jordløsning noen innvirkning på røtter som tilhører kulturvekst. Dette betyr at jordløsningen kan utføres på tørr smuldrende jord, og eventuelle ujevnheter som kan oppstå i jordoverflaten kan jevnes ut ved tromling. På samme tidspunkt kan eventuelt stein som kjøres opp, lettere oppdages og fjernes i samme arbeidsoperasjon. Tromling før løsning kan antagelig skape en fastere overflate og sluring vil muligens unngås lettere. Tromling etter løsning vil fungere som «etterpakker» av løsnet jord, og jevning av overflata på samme vis som tromlene på jordløsneren Evers sward lifter. Ved jordløsning etter tromling er det interessant å undersøke hvilken betydning traktorkjøring har på pakking av løsnet jord. Nysådd åker vil også bli liggende urørt ei stund før 1. slått tas. Slik at løsnet jord får legge seg tilbake og man unngår å få unødig pakking av jorda ved kjøring, slikt det lettere kan oppstå ved løsning mellom siloslåttene. Jordløsning etter nyetablering av eng vil antagelig ha mest virkning på å løsne opp en eventuell plogsåle og undergrunnsjord som er pakket. Mest trolig er jorda i pløyesjiktet noe løsere etter jordbearbeidingen, om ikke man er redd for at pakking har oppstått under nyetablering av kulturvekst. Om høsten kan jordløsning utføres etter siste slått er innhøstet. På dette tidspunktet er graset fortsatt i vekst, og eventuell oppkutting av røtter kan rettes opp av plantene i siste del av vekstperioden før planten samler opplagsnæring i røttene før vinteren. I dette tilfellet er det en fordel at jordfuktigheten ved jordløsning ligger ved pF2 til pF3 for å unngå unødvendig oppriving av røtter som vokser i massiv tett jord, men i løsere jordtyper kan dette antagelig utføres i tørrere jord. Skulle graset forvokse seg mye etter jordløsningen før vinteren kommer, må det vurderes etter jordtype og eventuell nedbørmengder som kan komme, om man skal kjøre over med beitepusser, eller om man skal slippe ut dyr til å beite i enga. Skal enga beites er det en fordel å slippe ut småfe. Storfe kan lettere trampe opp overflata, og gresstorva kan lettere gå ut og innslag av ugras kan lettere komme inn (Brandsæther 2015). Jordpakking av husdyr er også et problem når jorda er fuktig ifølge Bhogal et al. (2011). Ulempe ved jordløsning om høsten kan være at dette virker inn på graset's evne til å lagre nok opplagsnæring før vinteren, og kan resultere i lavere avling i starten av neste vekstsesong. Jordløsning om høsten gir jorda tid til å synke sammen til neste vekstsesong, og man kan begrense ulempene som kan oppstå ved kjøring i vekstsesongen, like etter løsning. Er jorden massiv i det øvre jordsjikt, kan eventuell snuing og innblanding av løsere jord fra dypere sjikt prøves for å få en løsere struktur. Dette kan bedre infiltrasjonsevnen og eventuelt øke diffusjon av oksygen ned til røttene.



## 6 Konklusjon

Jordløsning i eng bidrar til å opprettholde og øker porevolumet i jorda. Jordtettheten har i samme tidspunkt økt noe i 6-10 cm dybde, men er blitt redusert i dybden 20-24 cm. Økning i porevolum har bidratt til flere luftfylte porer ved feltkapasitet ( $pF_2$ ) i begge dybdene. Videre blir ikke lagringskapasiteten for tilgjengelig vann i jorda noe forandret ved jordløsning.

Jordløsningen har gitt store utslag i økning av den mettede vannledningsevnen i begge forsøksfeltene, og i begge jorddybdene som det er tatt jordprøver fra. Den samme økningen finner vi igjen i infiltrasjonsmålingene i behandlede ledd i Nærbø. Jordløsningen har også forbedret infiltrasjonen i Orkdal, men resultatet spriker noe mer over tid her, enn i Nærbø.

Begge steder viste målinger av skjærfasthet at løsnebehandlingen gav en løsneeffekt på fastheten i jorda. Denne effekten avtok fra 2014 til 2015, men var fortsatt målbar.

Jordløsning har gitt signifikant utslag på 1. avling som tas etter behandling som er utført i begge forsøksfelt. Reduksjonen bidro til avlingsnedgang på nesten 50 % i denne slått, og rot-funksjonen til gras avtar etter hvor mye rotmassen blir kuttet opp av jordløsningsredskapene. De påfølgende slåttene har gitt økning i avling. Total avling viser en reduksjon i avling samme året som jordløsning er utført. Påfølgende vekstsesong viser at effekten av jordløsning gav redusert vekst i 1. slått, men de påfølgende slåttene bidro til at totalavlingen var høyere i bearbeidet ledd enn i kontrollledd.

Videre forskning vil være å kunne utføre jordløsning uten å redusere avling. Dette kan gjøres ved nyetablering av eng. På samme tidspunkt kan man se hvilke effekter traktorkjøring har på løsnet jord. Alternativt kan jordløsning om høsten etter siste slått utføres.





## 7 Referanser

- Alakukku, L. (1997). *Long-term soil compaction due to high axle load traffic*. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland.
- Arvidsson, J., Berisso, F. E., De Jonge, L. W., Etana, A., Keller, T., Lamande, M., Lassen, P., Schjønning, P., Wildenschild, D. (2011). *Jordpakning - Processer, effekter og forebyggingse*. Bioforsk-konferansen, Sarpsborg, Norge: Aarhus Universitet.
- Bhagal, A., Bentley, C., Newell Price, P. & Chambers, B. (2011). The alleviation of grassland compaction by mechanical soil loosening. s.1-21, 27.
- Brandsæther, L. O. (2015). *Ugras i eng*, . Fronter, NMBU. Upublisert manuskript.
- Bratberg, E., Christensen, S. (2015). *Jord – geologi, jordbunnsføre*.  
[https://snl.no/jord/geologi\\_jordbunns%C3%A6re#menuitem5](https://snl.no/jord/geologi_jordbunns%C3%A6re#menuitem5): Store norske leksikon.(lest 20.01.)
- Burgess, C., Chapman, R., Singleton, P., Thom, E. (2000). Shallow mechanical loosening of a soil under dairy cattle grazing: Effects on soil and pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43 (2): 279-290.
- Bysveen, K. (2015). *Usikker effekt av mekanisk løsning*. <http://agronomi.planteinfo.net/wp-content/uploads/2015/07/Usikker-effekt-av-mekanisk-jordl%C3%B8sning-C398L-1-2015.pdf>: Økologisk landbruk.(lest 20.05.)
- Bäumler, K., Ehlers, W. (1989). *Energy saving by reduced soil tillage: proceedings of a workshop held in Göttingen 1987*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. VIII, 178 s.
- Børresen, T. (1990). *Jordarbeiding: kompendium for JK 3*. Ås: Landbruksbokhandelen. 191 s.
- Børresen, T., Haugen, L. E. (2003). *Jordfysikk, Øvelseskurs, JORD 221, Felt og laboratorieøvelser*. Norges Landbrukshøgskole.
- Børresen, T. (2004). *Jordarbeiding*. Institutt for plante og miljøvitenskap: Ås-Norges Landbrukshøgskole.
- Børresen, T. (2015). *Soil structure*. <https://fronter.com/nmbu/main.phtml>: Institutt for miljøvitenskap. Upublisert manuskript.
- Colleuille, H., Haugen, L. E. & Øverlie, T. (2007). *Vann i jord. Simulering av vann og energibalansen på Groset markvannsstasjon, Telemark*.  
[http://webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2007/rapport2007\\_19.pdf](http://webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2007/rapport2007_19.pdf): Norges vaadrag og energidirektorat. s.62.
- DeJong-Hughes, J., Moncrief, J., Swan, J. B., Voorhees, W. B. (2001). *Soil compaction: causes, effects and control*. <http://www.extension.umn.edu/agriculture/tillage/soil-compaction/#consequences>: University of Minnesota.(lest 28.01).
- Dunkier, S. W. (2004). *Effects of Soil Compaction*. <http://extension.psu.edu/plants/crops/soil-management/soil-compaction/effects-of-soil-compaction>: The Pennsylvania State University. (lest 20.01)
- Enger, S. (1989). *Jordpakning og jordløsning: virkningen av mekanisk jordløsning på jord med ulik pakkingsgrad* Ås: 89 s.
- Eriksson, J., Håkansson, I. & Danfors, B. (1974). *Jordpakning - markstruktur - grøda: inverkan av maskiner och fordon*. Uppsala: Jordbrukstekniska institutet. 82 s.
- Eriksson, J., Håkansson, I. & Danfors, B. (1975). *The effect of soil compaction on soil structure and crop yields*: Swedish Institute of Agricultural Engineering.
- Feltkapasitet*. (2011). Tilgjengelig fra:  
<http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/f/feltkapasitet.html>  
(lest 09.07.2016).
- Forskrift om hold av storfe. (2004 ). § 10.*Mosjon og beite*. Oslo: Lovdata.(lest 10. mai)

- Frost, J. P. (1988). Effects on crop yields of machinery traffic and soil loosening Part 1. Effects on grass yield of traffic frequency and date of loosening. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 39 (4): 301-312.
- Green, R. D., Fordham, S.J., (1975). A field method for determining air permeability in soil. *Soil Physical Conditions and Crop Production* (29): 273-287.
- Haraldsen, T. K. (1990). *Virkninger av jordpakking og bløtgjødsel på luftveksling og infiltrasjonsevne i jordtyper fra Nord-Norge*. Tromsø: Holt forskningsstasjon ; Ås, Norges landbrukshøgskole. Institutt for jordfag.
- Heinonen, I. (1986). *Rapporter från jordbearbetningsavdelingen*. Sveriges Lantbruksuniversitet , Institutionen för markvetenskap ,Avdelningen för jordbearbetning
- Håkansson, I., Rask, K. & Von Polgár, J. (1986). Jordpackning: skördepåverkan - motåtgärder - ekonomi, Nr 71. *Nordiska jordbruksforskarens förening, Sektion I - Jord och gödsling, Sektion VII - Teknik, seminarium nr 99, Sigtuna, Sverige, 28-30 oktober 1986*, s. 187. Uppsala: Avdelningen för jordbearbetning, Lantbrukshögskolan.
- Håkansson, I., Voorhees, W. B. & Riley, H. (1988). Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil & tillage research*, 11: 239-282.
- Håkansson, I., McAfee, M. & Gunnarsson, S. (1990). Verkan av körning med traktor och vagn vid vallskörd. *Resultat från 24 försöksplatser*. Uppsala: Sveriges landbruksuniversitet. s.41
- Håkansson, I. (2000). Packning av åkermark vid maskindrift. *Rapporter från jordbearbetningsavdelingen. Omfattning-effekter-Motåtgärder*. Uppsala: Avdelningen för jordbearbetning, Sveriges landbruksuniversitet. s.123
- Håkansson, I. (2005). Machinery-induced compaction of arable soils. *Incidence-consequences-counter-measures*. Department of soil science Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences Department of soil sciences. s.153
- Jetne, M. (1981). *Gras og grasdyrking*. Oslo: Landbruksforlaget.
- Kooistra, M. J., Boersma, O. H. (1994). Subsoil compaction in dutch marine sandy loams - Loosening practices and effects. *Soil & Tillage Research*, 29 (2-3): 237-247.
- Kverneland. (2016). *Kverneland CLE Grubb*. <http://no.kverneland.com/prodprint/print/68427>: Kverneland (lest 12.03.)
- Langørgeren, S. (1997). *Tråkkaskader på storfebeite*. Hovedoppgave. Ås: S. Langørgeren, Institutt for plantefag. :4-21
- Larsen, U. L. (2003). *Langtids effekten af dyb jordløsning - samt indflydelse på sammendyrkning*. . <http://orgprints.org/1787/1/samlingsep.pdf>: Den Kgl. Veterinær- og Landbrighshøgskole, Institutt for Jordbrugsvitenskap Faggruppen for økologisk landbrug. 37 s.København.
- Lund, N. H. & Olsen, Ø. (2009). *Jordbruksstatistikk 2008*. Jordbruksstatistikk 2008. [https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/nos\\_d440/nos\\_d440.pdf](https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/nos_d440/nos_d440.pdf): Statistisk sentralbyrå. (lest 28.04)
- Lunnan, T., Riley, H., Rivedal, S. & Øpstad, S. (2014). *Verknad av traktorkøyering på jord, næringsstoffutnytting og engavling*. Bioforsk konferansen 2014, <http://www.bondevennen.no/jordpakking-og-engavling/>, s. 85. <http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/110147/Bioforskkonferansen%202014-6%20korr%2085.pdf>: Nibio. (lest 20.03)
- Löfkvist, J. (2005). *Modifying soil structure using plant roots*. Uppsala: Sveriges landbruksuniversitet, Department of soil science. s. 50

- Mangerud, K. (1989). *Hjulutstyr for landbruksmaskiner*. [Oslo]: Landbruksforlaget. s.71 s.
- Mangerud, K. (2013). *Jord og jordpakking. Er vi ute og kjører?*  
[https://viken.nlr.no/media/ring/1212/Lars-Arne%20H%C3%B8getveit/Gartnerdagene-2013\\_Jordpakking\\_Jordlosning-Kjell\\_Mangerud.pdf](https://viken.nlr.no/media/ring/1212/Lars-Arne%20H%C3%B8getveit/Gartnerdagene-2013_Jordpakking_Jordlosning-Kjell_Mangerud.pdf): Norsk landbruksrådgivning, Viken.(lest 15. mai.2016)
- NIBIO. (2015). *Kilden*.  
<http://kilden.skogoglandskap.no/map/kilden/index.jsp?theme=http://kilden.skogoglandskap.no>: Skog og Landskap. (lest 15.januar 2015)
- Njøs, A. & Høstmark, A. K. S. (1985). *JK 3 - Jordfysikk og jordarbeiding : notat : 2*. Ås-NLH: Landbruksbokhandelen.
- Opico. (2016). *Optico`s sward lifter*. <http://products.opico.co.uk/media/34718/opico-sward-lifter-2.7m-%28shearbolt%29-brochure.pdf>: Optico Ltd.
- Pollestad, A. (2014). *Pers.medd*.
- Riley, H. (1996). *Norwegian Journal of Agricultural Science*. Ås Science Park LTD.,Norway: Norwegian Crop Research Institute.
- Rommetveit, A. (2016). *Ny rapport om klima i Norge: Det er vannet de frykter mest*.  
[http://www.yr.no/artikkel/ny-rapport-om-klima-i-norge\\_-det-er-vannet-de-frykter-mest-1.12560321](http://www.yr.no/artikkel/ny-rapport-om-klima-i-norge_-det-er-vannet-de-frykter-mest-1.12560321): Meteorologisk institutt.(lest 1. mars 2016)
- Sandholt, A. H. (1991). *Jordpakking: oversikt over norske jordpakkingsforsøk*. Ås: [A. H. Sandholt]. s.114 s.
- Skøien, S. (2000). *Jordlære: teknisk fagskole, linje for naturbruk : fordypningsområde plantedyrking*. Oslo: Gan forlag. s. 159 s.
- Soane, B. D., Blackwell, P. S., Dickson, J. W. & Painter, D. J. (1980). Compaction by agricultural vehicles: A review II. Compaction under tyres and other running gear. *Soil & Tillage Research*, 1: 373-400.
- Soane, B. D. & Van Ouwerkerk, C. (1994). *Soil compaction in crop production*. Developments in agricultural engineering, b. 11. Amsterdam: Elsevier Science. 662 s.
- 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.
- SSB. (2016). *Jordbruksareal, etter bruken.1999-2012*.  
<https://www.ssb.no/a/kortnavn/jordbruksareal/tab-2012-11-26-01.html>: SSB.
- Sundgren, T. K. (2012). *Effekten av markpackning på kväveupptag och avkastning av korn (Hordeum vulgare L.)*. Ås: [T.K. Sundgren]. 62 s. s.
- Sunding, P. (2012). *Vannpotensial*. <https://snl.no/vannpotensial>: Store norske leksikon.
- Söhne, W. (1958). *Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires*. Agricultural Engineering.
- Torstensson, G. & Eriksson, S. (1936). A new method for determining the porosity of the soil. *Soil Science*, 42 (6): 405-414.
- Ullring, U. E. & Lunnan, T. (1993). *Kjøreskader og jordpakking*, b. 14 1993. Ås: Statens fagteneste for landbruket. 54 s.



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway