



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Verknad av traktorkøyring på engavling og jordfysiske forhold

Delrapport frå prosjektet:

Proteinrike engbelgvekster under ulike dyrkings- og klimaforhold

NIBIO RAPPORT | VOL. 2 | NR. 145 | 2016



SYNNØVE RIVEDAL¹, HUGH RILEY¹, TOR LUNNAN¹, TROND BØRRESEN²,
SAMSON ØPSTAD¹, IEVINA STURITE¹

¹NIBIO Divisjon for matproduksjon og samfunn, ²NMBU Institutt for miljøvitenskap

TITTEL/TITLE

VERKNAD AV TRAKTORKØYRING PÅ ENGAVLING OG JORDFYSISKE FORHOLD
EFFECT OF TRACTOR TRAFFIC ON LEY YIELD AND SOIL PHYSICAL PROPERTIES

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

SYNNØVE RIVEDAL, HUGH RILEY, TOR LUNNAN, TROND BØRRRESEN, SAMSON ØPSTAD,
IEVINA STURITE

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
06.01.2017	2/145/2016	Open	4210136	16/2163
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-01749-3	2464-1162	78	Vedlegg	

OPPDRAUGS GIVER/EMPLOYER:

Oppdragsgiver

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Synnøve Rivedal

STIKKORD/KEYWORDS:

Tørrstoffavling, penetrasjonsmotstand,
jordfuktighet, porevolum, jordpakking,
traktorvekt.

DM yield, penetration resistance, soil moisture,
soil porosity, soil compaction, tractor weight.

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Fôr og husdyr, agronomi

Grassland and livestock, agronomy

SAMMENDRAG/SUMMARY:

We investigated the impact of tractor traffic on grassland yield, soil porosity and penetration resistance in three field trials on contrasting soils in different regions of Norway (medium sand at Tjøtta, Nordland, silty medium sand at Fureneset, Sogn og Fjordane, silt at Løken, Oppland). The trials had a split-plot design with three levels of two wheel-by-wheel tractor passes after each cut (no traffic, light tractor 3-4 Mg, heavy tractor 6-7 Mg), three different seed mixtures and two fertilization levels. At three other field trials (Balsfjord in Troms, Fjærland in Sogn og Fjordane and Hokksund in Buskerud) impacts of both traffic and the inclusion of clovers in the seed mixture on grassland yield and penetration resistance were studied. These trials had a split-plot design with three levels of one wheel-by-wheel tractor and harvesting machinery pass and three different seed mixtures. During the first three ley years the yield reduction by tractor traffic was 26% at Løken, 4% at Fureneset and zero at Tjøtta. There was a positive correlation between yield reduction and the soil moisture content at wheeling. Tractor traffic reduced pore volume and air capacity and increased bulk density, degree of compactness and penetration resistance, with the largest effect on the silty soil at Løken and the smallest on the sandy soil at Tjøtta. Prediction of soil compaction by using the Terranimo® model gave a good picture of the situation at Fureneset and Tjøtta, but at Løken the soil was far more compacted than predicted by the model. The depth of tracks after wheeling was not found to give a reliable measure of soil compaction effects, as the yield reduction on the silty soil at Løken was far

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

larger than at Tjøtta and Fureneset at the same level of track depth.

In the field trials at Balsfjord, Fjærland and Hokksund the yield reduction after wheeling varied between 8 and 27% and penetration resistance increased. Inclusion of clovers (red and white) in the seed mixture increased yields at second cuts, but 30% clover compared to 15% did not affect yields.

During these first three years of the experimental period there were no significant differences in either yield, soil physical properties or penetration resistance between wheeling with light or heavy tractors at any of the sites.

At Løken and Fureneset, the experimental period was extended for two years. At Løken the experimental setup was kept the same and the yield reduction from traffic was about 15%. At Fureneset the number of cuts and wheelings was increased from two to three times per year, and both the fertilization level and tyre pressure were also increased. This gave significant yield reductions in the third cuts. In the last year of the experimental period (2015) there was also a significant beneficial effect on yield of using a light tractor rather than a heavy tractor.

Overall soil texture and soil moisture content are major factors explaining traffic effects on soil physical properties and grassland yield. It seems that these factors explain more of the yield reduction than do the weight of tractors and machinery, at least in the short run when using low tyre pressures.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY:
KOMMUNE/MUNICIPALITY:
STED/LOKALITET: Fureneset, Løken, Tjøtta

GODKJENT /APPROVED



RAGNAR ELTUN

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



IEVINA STURITE



Føreord

Utviklinga mot stadig tyngre traktorar og hausteutstyr i eng er ein realitet i praktisk engdyrking. I 2010 vart det etablert forsøksfelt på tre NIBIO-stasjoner (Fureneset, Løken og Tjøtta) og tre felt i samarbeid med Norsk Landbruksrådgiving (NLR) i Buskerud, Sogn og Fjordane og Troms for å undersøke verknaden av køyring på engavling og jordforhold. Dette arbeidet var ein del av prosjektet «Proteinrike engbelgvekster under ulike dyrkings- og klimaforhold» (prosjektnummer i NFR 199397/199; prosjektperiode 2010-2014) som var finansiert via Fondet for forskningsavgift på landbruksprodukter (FFL) og Forskningsmidler over Jordbruksavtalen (JA). I tillegg fekk prosjektet finansiell støtte frå FMLA i Nordland, Troms, Finnmark, Rogaland, Hordaland, Sogn og Fjordane, Oppland, Buskerud og Hedmark og frå Felleskjøpet Agri og Strand Unikorn. Denne rapporten dekkjer berre ein av arbeidspakkane i prosjektet. Denne var leia av Synnøve Rivedal, som også er hovudforfattar av denne rapporten. I tillegg hadde ho ansvar for framdrift for forsøksfelt på Fureneset og Fjærland i Sogn og Fjordane. Hugh Riley analyserte og evaluerte jordfysiske eigenskapar og kva dette betyr for plantevekst generelt. Tor Lunnan hadde ansvar for forsøksfelta på Løken og i Hokksund (Buskerud) og for statistiske analysar. Trond Børressen ved NMBU har køyrt Terranimo -modellen. Samson Øpstad planla forsøksdesign og ga gode råd under heile prosjektperioden. Ievina Sturite hadde ansvar for forsøk på Tjøtta og Balsfjord (Troms) og var prosjektleiar for dette prosjektet. Med hjelp av tilleggsfinansiering frå AGROPRO-prosjektet vart forsøksperioden utvida med to år på Løken og Fureneset.

Fureneset, 06.01.17

Synnøve Rivedal

Innhald

1 Samandrag.....	6
2 Innleiing.....	8
3 Feltforsøk på NIBIO-einingar.....	9
3.1 Material og metodar.....	9
3.1.1 Omtale av lokalitetane.....	9
3.1.2 Forsøksopplegg.....	13
3.1.3 Målingar.....	15
3.1.4 Statistisk analyse.....	18
3.2 Resultat.....	19
3.2.1 Avling.....	19
3.2.2 Jordfysiske målingar.....	22
3.2.3 Vassinnhald i jord.....	37
3.2.4 Vassinnhald i jord og avlingstap.....	42
3.2.5 Terranimo®- predikering av faren for jordpakking.....	43
3.2.6 Verknad på motstand i jord målt med penetrometer.....	54
3.2.7 Motstand i jord og avling.....	60
3.2.8 Spordjupne.....	61
4 Feltforsøk i NLR.....	64
4.1 Material og metodar.....	64
4.1.1 Omtale av lokalitetane.....	64
4.1.2 Forsøksopplegg.....	67
4.1.3 Målingar.....	68
4.2 Resultat.....	69
4.2.1 Verknad av køyring på avling.....	69
4.2.2 Verknad av frøblanding.....	71
4.2.3 Jordfukt.....	73
4.2.4 Verknad på motstand i jord.....	74
5 Referansar.....	78

1 Samandrag

Verknaden av køyring på engavling og jordfysiske forhold varierte mykje mellom felta i forsøksseriane i dette prosjektet. På den grovkorna jorda på Tjøtta (sandjord dominert av mellomsand og med eit betydeleg innslag av grus) fekk ein ikkje avlingsreduksjon etter køyring og dei jordfysiske forholda var i liten grad påverka. Jorda hadde i utgangspunktet svært høg luftkapasitet og luftpermeabilitet og svært låg pakkingsgrad. Sjølv etter køyring var jorda lausare enn det som er rekna som optimalt for plantevekst. Vassinnhaldet i jorda varierte mykje mellom køyringane, men var stort sett ikkje over feltkapasitet. Med eit høgt innhald av store porar var det lite vatn igjen i jorda på Tjøtta ved feltkapasitet.

På Løken vart avlinga sterkt redusert etter køyring. I dei første tre åra var avlingsreduksjonen på 26% etter køyring og utslaga var statistisk sikre ved alle slåttane og i totalavling. I den forlenga forsøksperioden på to år var utslaga på avling mindre (15%) og ikkje sikker ved alle slåttar. Det var ikkje skilnad i avlingsutslag mellom lett og tung traktor. Køyringa på siltjorda på Løken endra luftkapasitet, luftpermeabilitet og pakkingsgrad i jorda til nivå utanfor det som er rekna som kritisk grense for god plantevekst. Den finkorna siltjorda på Løken er dermed svært utsett for pakking. I tillegg var vassinnhald i jorda ved køyring høgt, og berre med eit unntak under feltkapasitet i det øvste sjiktet. På Løken var det ein sterk samanheng mellom vassinnhald ved køyring ved første pakking og avlingstap ved andre slått.

På Fureneset var jorda siltig mellomsand med eit svært høgt moldinnhald. Køyring auka jordtettleiken og reduserte luftkapasiteten (mengd store porer) særleg i dei øvste sjikta (<19 cm djupne) og etter bruk av tung traktor. Mengd store porer (luftfylte) var sjølv utan pakking under det som vert rekna for kritisk lågt nivå. Luftpermeabilitet og vassleingsevne vart nær på statistisk sikkert redusert av jordpakking. Pakkingsverknaden i jorda på Fureneset førte til at relativ pakkingsgrad endra seg i retning ein tilstand som er litt for tett i forhold til det som er definert som tilstand for optimal vekst. Det opprinnelege forsøksopplegget gav ein viss avlingsreduksjon i andreslåttan, men ikkje i førsteslåttan eller i totalavling. Etter endring i driftsopplegget til tre slåttar, sterkare gjødsling og høgare lufttrykk i dekk på den store traktoren, fekk ein større utslag på avlinga. Avlingsreduksjonen var størst i tredjeslåttan, men siste året (2015) var det statistiske sikre utslag også i andreslåttan og i totalavling. Dette året var også avlingsreduksjonen sikkert større ved bruk av tung i høve til lett traktor.

Med bakgrunn i at ein ikkje har fått avlingsreduksjon etter køyring på Tjøtta, der heller ikkje dei jordfysiske forholda var påverka, er det grunn til å tru at avlingsreduksjonen i denne forsøksserien kjem frå jordpakking og ikkje frå skader på plantene. Felta var plasserte på flatt areal og køyringa utført ved å køyre fram og rygge tilbake. Under køyringa vart ikkje sluring eller skarp svinging, noko som kan rive opp torva og øydelegge planterøter. Det er grunn til å tru at skader på planter vil vere eit større problem under praktiske forhold.

Det ser ut til at Terranimo®-modellen gjev eit bilde som stemmer nokolunde med den reelle situasjonen på Tjøtta og Fureneset, men ikkje på Løken. Modellkøyningane på Løken gav aldri fare for alvorleg jordpakking, men i feltforsøka fekk ein alvorleg jordpakking og avlingsnedgang både ved bruk av lett og tung traktor. Det ser ut til at modellen ikkje godt nok tek omsyn til kor utsett jordarten silt er for jordpakking.

Køyning auka motstanden i jord på alle felta, men berre i liten grad på Tjøtta. På Fureneset og særleg på Løken auka skilnaden mykje med åra. På Løken var motstanden i jord om lag det doble på pakka i høve til upakka ruter i 2015, etter fem år med feltforsøk. Det var ikkje skilnad i motstand mellom traktorane, noko som understrekar at på Løken vart jorda like mykje pakka anten lett eller tung traktor vart brukt. På Fureneset såg det derimot ut til at den tunge traktoren pakka jorda meir enn den lette, sjølv om ein sjeldan fekk sikre utslag mellom traktorane.

På Tjøtta og Fureneset laga den tunge traktoren som regel djupare spor enn den lette, medan på Løken var spordjupna lik eller den lette traktoren laga dei djupaste spora. Det var ikkje særleg god samanheng mellom spordjupne og avlingstap. Ved same spordjupne har avlingstapet på Løken vore mykje større enn på Tjøtta og Fureneset, og spordjupne er derfor ikkje alltid eit eigna mål for å vurdere om jorda er utsett for pakking. Ei finkorna jord med lågt innhald av organisk materiale kan bere godt og vise lite spor etter køyring. Likevel kan jorda få alvorlege pakkingskader og reduserte avlingar.

I forsøksserien i NLR var det også skilnader mellom felta i korleis køyring verka på avlinga. I Hokksund var det i 2011 og 2012 statistisk sikker avlingsnedgang etter køyring på 19 og 27%. I Fjærland var avlingsnedgangen rundt 10% desse åra, men nedgangen var ikkje sikker. I Balsfjord var avlingsnedgangen sikker berre i 2013, då den låg på 23%. Resultata frå jordfuktmålingane viser at jorda var våtare ved køyringane i 2013 enn i åra før. Dette kan ha verka inn på resultata. I 2012 var det berre hausta ei avling i Balsfjord, og dette året har ein derfor ikkje fått med seg avlingsresultat frå ei pakking som blir utført same året. Det var ikkje skilnad i avling mellom lett og tung traktor på felta i denne serien.

Kløveren etablerte seg godt på alle felta i NLR-serien, men i Balsfjord gjekk mesteparten ut allereie etter første engår. Det var stort sett sikre positive avlingsutslag i andreslåttene ved bruk av frøblanding med kløver i høve til bruk av ei rein grasblanding. Dette gav i nokre tilfelle også sikre utslag på totalavlinga. Bruk av 30% kløver i frøblandinga auka ikkje avlinga meir enn bruk av 15% kløver i blandinga.

Køyring såg ut til å auke motstanden i jord også på NLR-felta. I Balsfjord var utslaga sjeldan signifikante, og skilnaden i middeltal var stort sett mellom pakka og upakka ledd. I Fjærland i 2012 gav køyring sikre utslag ned til 20 cm djupne og i nokre få tilfelle gav den tunge traktoren større utslag enn den lette. I Hokksund såg upakka og køyring med lett traktor ut til å gje same motstand i jord, medan den tunge traktoren gav større motstand. Skilnaden var likevel aldri signifikant.

Avslutningsvis kan ein seie at jordart og jordfukt i stor grad avgjer om ein får skadeleg jordpakking og redusert engavling på grunn av køyring med traktor og maskiner. Tyngde på traktor og utstyr, i det vektområdet som er undersøkt i desse forsøksseriane, har mindre å sei for pakking og avlingsnedgang. Dette gjeld i alle høve på kort sikt, og ved bruk av god dekkutrusting og lågt lufttrykk. Dersom ein ikkje utnyttar dekka sitt potensial for redusert lufttrykk kan resultatet bli eit anna, jamfør resultata frå Fureneset i 2015 der den tunge traktoren med lufttrykk i dekka på 1,0 og 1,5 bar klart reduserte avlinga i høve til den lette traktoren.

Hovudtilrådinga er at det må køyrast når jorda er tørr. I praksis er ikkje dette alltid like lett og følgjeleg vert det pakkingskader og reduserte engavlingar, særleg på finkorna jord.

2 Innleiing

Engavlingane har stagnert dei seinaste åra, og det er stilt spørsmål om jordpakking og dårlege jordfysiske forhold kan vere ein del av årsaka (Lunnan 2012). I fleire norske undersøkingar har ein tidlegare sett på ulike sider ved køyreskader i eng. Tveitnes og Njøs (1975) fann eit avlingstap på 11-15% etter køyring både vår og haust på ulike jordartar på Vestlandet. Relativt tap var størst ved 2. slått. Luftkapasiteten i jorda vart redusert og reduksjonen var større på moldjord enn på moldrik lettleire.

Myhr og Njøs (1983) hadde feltforsøk på ulike jordartar spreidd utover landet. Såkalla normal køyring gav avlingsreduksjon alle stader, og reduksjonen låg på 5-10%. Redusert køyring minka som regel avlingstapet, medan auka køyring auka tapet særleg på torvjord og moldjord. Avlingsreduksjonen etter køyring og jordpakking var størst etter ein tredje slått. Forsøka viste at bruk av tvillinghjul bak og lågtrykkdekk framme gav størst effekt på Vestlandet og i Nord-Norge. Skjerfastheita auka og porevolumet minka om lag likt for alle jordtypar.

På 12 feltforsøk på sandjord og myrjard i Nord-Norge samanlikna ein køyring med traktor på 3 tonn og 1 bar trykk i dekk, traktor på 4 tonn og 1 bar trykk i dekk og traktor på 4 tonn med tvillinghjul og 0,6 bar trykk i dekk. Det var stor avlingsreduksjon på dei fleste felta, men variasjonen var stor. Den tyngste traktoren gav litt auka tap dei fleste stader. Tvillinghjul og redusert lufttrykk reduserte ikkje alltid tapet (Haraldsen et al. 1995). I ei undersøking i Nordland var avlingsreduksjonen på myrjard større ved bruk av tung traktor (aksellast 4,3 tonn) enn ved bruk av lett traktor (2,8 tonn) med begge typar hausteutstyr (fôrhaustar med vogn og tottrinnsausting med rundballepresse). All køyring reduserte avlinga i forhold til kontrollen utan køyring. På sandjorda reduserte tung traktor med rundballeutstyr avlinga i forhold til både lett traktor med fôrhaustar og kontroll (Volden et al. 2002).

Mosland og Riley (1985) undersøkte køyreskadar på ulike grasartar og sortar på Austlandet. Dei fann små avlingstap ved 1. slått, men til dels store tap ved 2. og 3. slått. Det såg ut til at hundegras var minst påverka og engsvingel mest påverka samanlikna med timotei og bladfaks. Det var liten skilnad mellom sortane. I desse forsøka auka relativ pakkingsgrad frå 87 til 91%, luftkapasiteten minka frå 16 til 13% og luftpermeabiliteten minka frå 14 til 9 μm^2 etter køyring (målt på 7 felt). Ullring og Lunnan (1993) undersøkte korleis bruk av lett og tung traktor med og utan hjulsluring påverka ulike grasartar i Valdres. Tyngda på traktoren betydde lite for avlinga, men hjulsluring gav sikker avlingsreduksjon. Her var det tendensar til at hundegras og bladfaks vart minst påverka og at engsvingel og timotei vart mest påverka.

I ein forsøksserie i Sverige fann Håkansson et al. (1990) i middel for 21 forsøksfelt, alle på mineraljord, at avlingstapet var 6% og 9% for høvesvis normal og dobbel køyremengd. Ein regresjonsanalyse viste at avlingstapet auka med auka slåttetal, auka vassinnhald i jorda, auka breiddegrad x engår og med minkande moldinnhald. I forsøk i Skotland er det samanlikna verknaden på jord og avling av sterk-reduert- og inga pakking (Douglas & Crawford 1991, Douglas & Crawford 1998, Douglas et al. 1992). Sterk pakking med traktor på 6,2 tonn ga inntil 32% lågare avling enn upakka. Redusert pakking, med traktor på 4,1 tonn, halverte avlingsnedgangen. Nedgangen var størst etter køyring på våt jord. I tørre periodar var det liten eller ingen avlingsnedgang.

Vekta på traktorar og utstyr har auka mykje sidan ein del av dei tidlegare feltforsøka i Norge vart utført. Målet med denne undersøkinga var blant anna å sjå korleis køyring med dagens traktorar og utstyr påverkar jordfysiske forhold og avling av rein graseng og kløverblanda eng. Det vart køyrt ein forsøksserie på einingar i tidlegare Bioforsk (no NIBIO) og ein på einingar i Norsk Landbruksrådgeving.

3 Feltforsøk på NIBIO-einingar

3.1 Material og metodar

3.1.1 Omtale av lokalitetane

3.1.1.1 Plassering

I 2010 vart det etablert felt på tre lokalitetar – Tjøtta (Helgeland, 65°49'N, 12°25'Ø) Fureneset (Fjaler, Sunnfjord (61°22'N, 5°24'Ø) og Løken (Øystre Slidre, Valdres, 61°14'N, 09°07'Ø; 500 moh). Felta vart drivne i tre engår i tillegg til attleggsåret og vart innafør hovudprosjektet avslutta i 2013. Feltet på Løken gjekk vidare med same forsøksopplegg ut vekstsesongen 2015. Feltet på Fureneset gjekk også vidare ut vekstsesongen 2015, men her vart forsøksopplegget endra ein del dei to siste åra.

3.1.1.2 Jord

På Tjøtta vart feltet lagt ut på mellomsand (86% sand, 11% silt, 3% leir) medan jordarten på Fureneset var siltig mellomsand (59% sand, 35% silt, 6% leir) og på Løken silt (14% sand, 81% silt, 5% leir) (Tabell 3.1). Ved etablering av felta var det kjemiske innhaldet i jorda på dei ulike felta som vist i Tabell 3.2.

Tabell 3.1. Kornfordeling (0-20 cm) av jorda på felta Tjøtta, Fureneset og Løken. Analysert på Apelsvoll.

		Tjøtta	Fureneset	Løken
		Mellomsand	Siltig mellomsand	Silt
Grus %	>2 mm	12,3	0	1,3
Grovsand	0.6-2 mm	19	4	1
Mellomsand	0.2-0.6 mm	49	17	2
Finsand	0.02-0.6 mm	18	39	11
Sum sand		86	59	14
Grovsilt	0.06-0.02 mm	7	22	40
Mellomsilt	0.006-0.06 mm	3	8	33
Finsilt	0.002-0.006 mm	1	5	8
Sum silt		11	35	81
Leir	<0.002 mm	3	6	5
Glødetap	% av <2 mm	10	11,3	4,5

Tabell 3.2. Resultat av kjemiske jordanalyser frå prøver tatt ut våren 2010 i to sjikt på felta på Tjøtta, Fureneset og Løken.

Parameter	Eining	Tjøtta		Fureneset		Løken	
		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Volumvekt	kg/L	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3	1,4
pH	mg/100 g	7,2	7,7	5,9	5,6	5,8	6,1
Fosfor (P-AL)	mg/100 g	22	15	9,7	6,6	<2,0	3,1
Kalium (K-AL)	mg/100 g	4,8	3,9	3,6	2,1	2,7	2,6
Magnesium (Mg-AL)	mg/100 g	25	110	15	5,9	3,6	4,2
Kalsium (Ca-AL)	mg/100 g	1200	>2000	120	81	73	44
Natrium (NA-AL)	mg/100 g	10	33	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Glødetap	% TS	7,2	5,5	11,9	9,5	3,8	2,7
K-HNO ₃	mg/100 g	75	68	100	100	36	38

3.1.1.3 Vêr

På Tjøtta var vekstsesongane i 2011 og 2013 varme, medan gjennomsnittstemperaturen i 2012 låg under 1961-1990-normalen. I sum for april til september var det alle år litt meir nedbør enn normalt. I 2011 var det særleg i april til juni det kom mykje nedbør. I 2012 var det tørrare enn vanleg i juni og august, men litt våtare dei andre månadane. I 2013 kom det meir nedbør enn normalt i mai-juli, medan det var tørrare enn vanleg dei andre månadane (Tabell 3.3).

Tabell 3.3. Middeltemperatur (°C) , varmesum (graddagar) og nedbør (mm) på Tjøtta for forsøksperioden april-september i åra 2011-2013 og normalverdiar 1961-1990. Graddagar er rekna ut med 0 °C som basistemperatur.

År		April	Mai	Juni	Juli	August	September	Middel	Sum
2011	Middeltemperatur	6,0	9,3	13,5	14,3	14,0	11,8	11,5	
	Varmesum	181	289	382	442	434	355		2082
	Nedbør	160	73	94	53	66	137		584
2012	Middeltemperatur	3,1	6,6	10,9	12,4	12,2	9,5	9,1	
	Varmesum	99	206	327	383	379	284		1687
	Nedbør	67	73	13	101	47	174		474
2013	Middeltemperatur	3,3	11,4	13,0	13,3	13,9	11,6	11,1	
	Varmesum	103	354	389	412	430	348		2030
	Nedbør	58	58	84	168	53	110		531
Normalverdiar	<i>Middeltemperatur</i>	<i>3,0</i>	<i>8,0</i>	<i>11,2</i>	<i>13,0</i>	<i>13,0</i>	<i>9,7</i>	<i>9,6</i>	
1961-1990	<i>Nedbør</i>	<i>60</i>	<i>45</i>	<i>55</i>	<i>75</i>	<i>85</i>	<i>120</i>		<i>440</i>

Kjelder: Meteorologisk institutt og VIPS (varmesum).

På Fureneset var også vekstsesongane 2011 og 2013 forholdsvis varme, medan gjennomsnittstemperaturen for april til september i 2012 var omtrent lik 1961-1990-normalen (Tabell 3.4). Året 2011 var svært vått med ein nedbørssum frå april til september på 1184 mm mot normalt 835 mm. I juni kom det heile 239 mm mot normalt 109 mm. I 2012 og 2013 var summen av nedbør i vekstsesongen også over normalen, men for juni kom det berre 67 og 62 mm for høvesvis 2012 og 2013 mot 109 mm normalt. I 2012 var også august ein del tørrare enn normalt, medan det i 2013 var våtare med 246 mot 158 mm. I den forlengta forsøksperioden var vekstsesongen 2014 varm og tørr. Det var særleg månadane juni og september som var tørrare enn vanleg med høvesvis 35 og 126 mm nedbør, medan temperaturen var over normalen alle månader. I vekstsesongen 2015 låg temperatur og nedbør omtrent på normalen, men det var meir nedbør og lågare temperatur tidleg i sesongen og mindre nedbør og høgare temperatur seint i sesongen enn det som er vanleg.

Tabell 3.4. Middeltemperatur (°C) , varmesum (graddagar) og nedbør (mm) på Fureneset for april-september i forsøksperioden 2011-2013 og normalverdiar 1961-1990. Graddagar er rekna ut med 0 °C som basistemperatur.

År		April	Mai	Juni	Juli	August	September	Middel	Sum
2011	Middeltemperatur	8,2	9,9	12,2	14,5	14,3	12,7	12,0	
	Varmesum	247	306	366	450	442	380		2191
	Nedbør	143	169	239	131	175	327		1184
2012	Middeltemperatur	4,8	9,0	11,8	13,8	14,3	9,9	10,6	
	Varmesum	143	279	355	427	443	298		1946
	Nedbør	87	117	67	174	112	366		924
2013	Middeltemperatur	4,4	10,3	12,3	14,5	14,6	11,7	11,3	
	Varmesum	131	320	369	450	452	352		2073
	Nedbør	195	150	62	220	246	125		997
2014	Middeltemperatur	7,9	10,2	13,6	17,7	15,3	12,8	12,9	
	Varmesum	236	316	408	548	473	386		2367
	Nedbør	133	107	35	117	139	126		658
2015	Middeltemperatur	5,4	8,1	10,7	13,5	15,7	12,5	11,0	
	Varmesum	162	252	320	419	488	376		2016
	Nedbør	149	163	127	120	143	118		819
Normalverdiar	Middeltemperatur	5,0	9,3	12,0	13,2	13,2	10,5	10,5	
1961-1990	Nedbør	102	87	109	127	158	252		835

Kjelder: Meteorologisk institutt og VIPS (varmesum).

På Løken var vekstsesongen 2011 varm, medan gjennomsnittstemperaturen for april til september i 2012 låg litt under 1961-1990-normalen (Tabell 3.5). Summen av nedbør frå april til september låg i alle år langt over normalen, 621, 489 og 562 mm i høvesvis 2011, 2012 og 2013 mot 335 mm. I 2011 og 2012 var det særleg i månadane juni, juli og august det kom mykje nedbør. I 2013 var det mai og juni som var spesielt våte, medan det i juli var tørrare enn normalt. I den forlengta forsøksperioden var også vekstsesongen 2014 varm og tørr på Løken. Temperaturen låg over normalen alle månadane, medan det var juni og september som var tørrare enn normalt. I 2015 var det litt våtare enn normalen, særleg i siste del av vekstsesongen.

Tabell 3.5. Middeltemperatur (°C) , varmesum (graddagar) og nedbør (mm) på Løken for april-september i forsøksperioden 2011-2013 og normalverdiar 1961-1990. Kjelder: Meteorologisk institutt og VIPS (varmesum).

År		April	Mai	Juni	Juli	August	September	Middel	Sum
2011	Middeltemperatur	6,3	7,5	12,4	14,4	12,4	9,6	10,4	
	Varmesum	188	234	373	447	383	288		1913
	Nedbør	19	48	145	175	155	78		621
2012	Middeltemperatur	0,5	7,3	9,8	12,8	12,4	7,2	8,3	
	Varmesum	43	226	295	397	383	215		1558
	Nedbør	84	47	91	111	124	33		489
2013	Middeltemperatur	0,2	8,3	11,5	15,4	12,9	8,8	9,5	
	Varmesum	50	259	345	477	398	263		1793
	Nedbør	20	162	164	41	113	64		562
2014	Middeltemperatur	3,8	8,2	12,5	17,1	12,4	9,8	10,6	
	Varmesum	117	255	374	530	384	294		1953
	Nedbør	27	38	35	98	97	20		315
2015	Middeltemperatur	3,1	5,3	10,2	13,3	12,8	9,2	9,0	
	Varmesum	99	166	305	411	396	276		1653
	Nedbør	14	58	35	107	91	103		408
Normalverdiar	<i>Middeltemperatur</i>	<i>0,8</i>	<i>6,8</i>	<i>11,7</i>	<i>13,1</i>	<i>11,8</i>	<i>7,1</i>	<i>8,5</i>	
1961-1990	<i>Nedbør</i>	<i>24</i>	<i>44</i>	<i>64</i>	<i>74</i>	<i>70</i>	<i>59</i>		<i>335</i>

Graddagar er rekna ut med 0 °C som basistemperatur.

3.1.2 Forsøksopplegg

3.1.2.1 Forsøksdesign

Det var tre ulike forsøks spørsmål i feltforsøka; tre nivå av frøblandingar, to nivå av gjødsling og tre nivå av jordpakking. Forsøka hadde split-plot design med tre gjentak. På Tjøtta og Fureneset var gjødslingsnivå på storruter, pakking på medium ruter og frøblanding på småruter. Her hadde ein også med kløver i reinbestand til bruk i måling av klimagassutslepp, men desse blir ikkje omtala vidare her. Rutestorleiken på Tjøtta og Fureneset var 3 x 8 eller 3 x 10 m, men ein del av rutelengda vart brukt til gassmåling slik at hausterutene varierte mellom 8,25 og 9,0 m². På Løken var pakkinga på storruter og på smårutene ein kombinasjon av gjødsling og frøblanding. Rutestorleiken var 1,5 x 7 m og hausterutene 8,25 m².

3.1.2.2 Frøblandingar

Dei tre ulike frøblandingane brukt i forsøket var: gras i reinbestand, gras/kløverblanding med 15% kløver og gras/kløverblanding med 30% kløver. Felte vart sådde våren 2010 med 3 kg såfrø/daa av artar og sortar gitt i Tabell 3.6. Havre *Belinda* vart brukt som dekkvekst på Fureneset og Tjøtta.

Tabell 3.6. Artar og sortar (vekt%) brukt i dei ulike ledda på dei ulike lokalitetane.

	Timotei		Engsvingel		Engrapp	Raudkløver	Kvitkløver	
	Grindstad	Noreng	Fure	Norild	Knut	Lea	Sonja	Snowy
Tjøtta og								
Gras	30	30	15	15	10			
Gras/kløver(15%)	25,5	25,5	13	13	8	10		5
Gras/kløver(30%)	21	21	10,5	10,5	7	20		10
Fureneset								
Gras	60		30		10			
Gras/kløver(15%)	51		25,5		8,5	10	5	
Gras/kløver(30%)	42		21		7	20	10	

3.1.2.3 Gjødsling

I attleggsåret vart felte ikkje forsøksgjødsla. I engåra var dei to nivå av gjødsling: svak gjødsling med 3,6-5,5 tonn storfegylle om våren, og middels gjødsling med 6 kg nitrogen frå handelsgjødsl (N-P-K-gjødsl) etter førsteslått i tillegg til gylle om våren. Ein streva etter ei tilføring på 11 kg total-N frå husdyrgjødsl per år, men dette var vanskeleg å få til i praksis. Tabell 3.7 syner at mengda næringsstoff tilført felte frå husdyrgjødsl varierte ein del mellom lokalitetane. På Fureneset vart gjødslinga auka i 2014 og 2015. Utifrå resultatata i 2013 kunne vi ikkje sjå at det var skilnad i kløverinnhald i enga mellom 15 og 30% kløver i frøblandinga som var sådd. Der det var sådd med 30% kløver heldt ein fram med same gjødslinga som i åra før. Der det var sådd med 15% kløver og på det reine grasleddet var gjødslinga på det høgste gjødslingsleddet 4 tonn gylle og 6 kg N om våren, 9 kg N etter første slått og 5 kg N etter andre slått. N vart tilført som fullgjødsl N-P-K (22-2-12).

Tabell 3.7. Næringsinnhald og mengde husdyrgjødsel tilført på dei ulike felta.

	TS	Kjeldahl-N	Ammonium-N	Fosfor (P)	Kalium (K)	Mengde	Total-N
	%	kg/tonn	kg/tonn	kg/tonn	kg/tonn	tonn/daa	kg/daa
2011							
Tjøtta	6,0	1,6	1,2	0,39	2,2	5,5	8,8
Fureneset	3,6	2,7	1,9	0,34	2,2	4,0	10,8
Løken	5,2	1,8	1,1	0,40	2,2	4,0	7,2
2012							
Tjøtta	6,1	2,1	1,2	0,45	2,6	5,5	11,6
Fureneset	4,4	2,9	2,1	0,36	3,2	3,8	11,0
Løken, ikkje prøve							
2013							
Tjøtta	5,5	2,0	1,1	0,47	2,3	5,5	11,0
Fureneset	5,2	3,1	2,0	0,39	3,4	3,6	11,2
Løken	6,2	3,2	2,0	0,47	3,7	4,0	12,8



Bilete 3.1. Gylling av forsøksfelt på Fureneset. Foto: Synnøve Rivedal.

3.1.2.4 Jordpakking

Frå første engår vart det innført tre nivå av jordpakking ved dobbel spordekking etter slåttane: utan køyring, køyring med lett traktor (3-4 tonn), køyring med tung traktor (6-7 tonn). Lufttrykk i dekk på traktorane var rekna ut etter trykk- og belastningstabellane til dekkprodusentane ved køyring i 30 km/t og varierte mellom 0,6 og 0,8 bar i åra 2011 til 2013. På Fureneset skifta ein til ein annan tung traktor og køyrde med eit høgare lufttrykk i dekk i åra 2014 og 2015 (Tabell 3.8). Det vart køyrt i 8-10 km/t.

Tabell 3.8. Oversikt over traktorar brukt ved køyring på dei ulike felta.

	Tjøtta		Fureneset		Løken		
	Tung traktor	Lett traktor	Tung traktor 2011-2013	Tung traktor 2014-2015	Lett traktor	Tung traktor	Lett traktor
Merke	Valtra	Valtra	Massey	John	Valmet	John	Massey
Modell	V141	Ap5-4	5455	5090M	405	6610	362
Akselvekt framme (kg)	3100	1870	3000	2900	1120		
Akselvekt bak (kg)	4000	2250	4000	3900	1820		
Total vekt (kg)	7100	4120	7000	6800	2940	6000	3000
Hjul framme	540/65R2	440/65R24	480/65R24	440/65R24	11.2-24	540/65R8	320/7R24
Hjul bak	650/65R3	540/65R34	600/65R34	540/65R34	16.9/14-30	650/65R8	169R30
Lufttrykk framme /bak (bar)	0,6/0,6	0,6/0,6	0,8/0,6	1,2/1,0	0,8/0,8	0,6/0,6	0,6/0,6



Bilete 3.2. Lett og tung traktor brukt til pakking på Fureneset. Foto: Synnøve Rivedal.

3.1.3 Målingar

3.1.3.1 Jordfuktigheit

Rett etter slåttane og før pakkinga vart det teke ut jordprøver for å bestemme fuktigheita i jorda ved køyring og penetrometermåling. Prøvene vart tekne i 40 cm djupne og delt inn i sjikta: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, med unntak av ved andre gongs pakking i 2013 då ein på Tjøtta og Fureneset berre tok til 30 cm djupne. Det vart teke eit stikk per rute og prøvene frå same sjikt og pakkingsledd vart blanda per blokk. Tørring vart gjort ved 105°C i ca. 2 døgn, eller til prøvene var tørre.

3.1.3.2 Spordjupne

Ved kvar pakking vart det etter å ha køyrt og rygga tilbake ein gang på rutene målt spordjupne i eine hjulsporet ved å legge ein planke på kant over sporet og måle ned til der det var djupast i sporet. På Tjøtta og Fureneset vart dette gjentatt slik at det vart to målingar av spordjupne per rute, medan det på Løken (der rutene var mindre) vart gjort ei måling ved første gongs pakking og to målingar ved andre gongs pakking.

3.1.3.3 Penetrometermålingar

Etter kvar pakking vart trykkmotstanden i jorda målt med penetrometer på alle ruter. På Løken og Fureneset vart det i 2011 brukt eit gammalt penetrometer som skriv ut verdiane på papir. Resultata frå

desse målingane er ikkje omtala vidare. Målingane vart elles utført med «Field Scout SC 900 Soil Compaction Meter» med ein spiss på 1,27 cm i diameter i øvre ende. Det vart tatt to stikk per rute på Tjøtta og Fureneset og eitt stikk per rute på Løken, der rutene var mindre. På Tjøtta og Fureneset vart det også tatt penetrometermålingar på rutene med kløver i reinbestand med unntak av etter andre pakking på Fureneset i 2013. Målingane frå kløverrutene er tatt med i resultatane. Penetrometeret registrerer djupne ved å måle avstanden frå basen av penetrometeret til jordoverflata ved hjelp av ein sensor som sender ut lydbølgjer. Dersom det er mykje gras på arealet som skal målast er det lett for at lydbølgjene treff graset og ikkje jordoverflata. Oftast får ein då feilmelding og startar på nytt, men av og til skjedde ikkje det. Dette synte seg i resultatfila ved at motstanden ved jordoverflata var 0 kPa eller svært låg. I slike tilfelle flytta vi resultatane frå målingane oppover i jordprofilen. På Tjøtta og Fureneset flytta ein målingane oppover dersom motstanden var 0 kPa, medan ein på Løken flytta målingane oppover dersom motstanden var <500 kPa. Nivået på motstanden i jorda på Løken var høgre enn på Tjøtta og Fureneset. I den forlengte forsøksperioden på Løken og Fureneset vart penetrasjonsmotstanden målt etter siste slått i 2014 og 2015.



Bilete 3.3. Måling av motstand i jord med penetrometer. Foto: Synnøve Rivedal.

3.1.3.4 Sylindrerprøver

På feltet på Tjøtta vart det tatt ut sylindrerprøver etter vekstsesongen 2012, på Fureneset etter vekstsesongane 2012, 2013 og 2015 og på Løken etter vekstsesongane 2013 og 2015. Prøvene vart tatt ut på tre gjentak av dei tre ulike pakkingsledda på rutene med frøblanding gras/kløver 30% og sterkest gjødsling. Det vart tatt to parallellar i sjikta 5-9, 15-19, 23-27 cm, med unntak av på Fureneset i 2012, der tørr jord og mykje stein gjorde til at ein ikkje fekk tatt ut prøver frå det djupaste sjiktet.



Bilete 3.4. Uttak av sylindrerprøver. Foto: Synnøve Rivedal.

Sylindrane vart frakta til Bioforsk Øst Apelsvoll og lagra ved ca. 2° C fram til analysen. Prøvene vart først vegne og deretter metta nedanfrå i vassbad, vegne på nytt og plasserte på keramiske plater i trykkammer (Bilete 3.5). Vasstapet vart så målt ved å utsette prøvene for aukande trykk (2, 10 og 100 kPa), og veging når det vart oppnådd likevekt ved kvart trykknivå. Tida frå metting til likevekt ved 1 bars trykk (pF 3) varierte frå 40 til 44 dagar på de ulike felta.



Bilete 3.5. Trykkammer for jordfysiske målingar på laben på Apelsvoll. Foto: Synnøve Rivedal.

Følgjande storleikar vart målte:

Aktuelt vassinnhald: informasjon om jorda si tilstand ved prøveuttak (som volumprosent)

- Vassinnhald ved metting: eit direkte uttrykk for det totale porevolumet i jorda
- Vassinnhald ved -2 kPa (pF_{1,3}): ekvivalent porestorleik 160 µm, rask drenering
- Vassinnhald ved -10 kPa (pF₂): ekvivalent porestorleik 30 µm, antatt feltkapasitet
- Luftpermeabilitet ved -10 kPa: eit uttrykk for jorda si leiingsevne for luft (eller vatn)
- Vassinnhald ved -100 kPa (pF₃): ekvivalent porestorleik 3 µm, kapillær grense
- Jordtettleik (volumvekt, JT): massen av jordpartiklar i totalt jordvolum (Mg/m³)
- Grusinnhald og glødetap (vekt%, GT): brukast til utrekning av diverse storleikar (sjå nedanfor)

Følgjande parametrar er utleia frå dei målte storleikane:

- Luftkapasitet (volum ved pF 2): kritisk grense for god plantevekst set ein ofte ved 10%
- Lett plantetilgjengeleg vatn (volum mellom pF 2 og pF₃): porer som rothår veks i
- Partikkeltettleik (PT): brukt ved utrekning av totalt porevolum ($PT=2,66-0,014*GT$)
- Utrekna totalt porevolum ($(1-JT/PT)*100$): alternativ til mettingsvolum
- Standard pakkingsgrad (SPG): JT ved langvarig statisk trykk på 200 kPa (estimert frå tekstur og glødetap $SPG=1,751-0,032*GT-0,0032*SILT+0,0065*GRUS+0,0029*leir$)
- Relativ pakkingsgrad (RPG): JT målt i felt som prosent av SPG. Eit mål på pakking som gjer det mulig å samanlikne jordtypar med ulik tekstur og moldinnhald
- Metta vassleiingsevne (cm/t ved 10° C): Utleia frå luftpermeabilitet etter ei likning funne for norske jordarter $0,106*(luftpermeabilitet^{1,3})*2,7$

Grunnlaget for estimering av PT, SPG og vassleiingsevne på basis av andre storleikar finn ein hos Riley (1996). Vassinnhaldet ved visnegrensa vart ikkje målt her, då det er berre dei større jordporene som er forventa å bli påverka av pakking. Ut frå tekstur og moldinnhald er visnegrensa estimert til å ha verdiar på ca. 15 vol.% på Fureneset, 7 vol.% på Tjøtta og 5 vol.% på Løken. Ekvivalent porestorleik ved visnegrensa er 0,2 μm .

3.1.3.5 Avlingsregistrering

I engåra frå 2011 til 2013 vart det ved hjelp av forsøkshaustemaskin (Haldrup) hausta to slåttar per år på alle felt (Tabell 3.9). På alle ruter vart det tatt ut tørkeprøver for å bestemme tørrstoffavlinga. I tilleggssperioden 2014-2015 heldt ein fram med to slåttar per år på Løken, medan det vart tatt tre slåttar per år på Fureneset.

Tabell 3.9. Haustetidspunkt på dei ulike lokalitetane.

	2011		2012		2013		2014			2015		
	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl	3.sl	1.sl	2.sl	3.sl
Tjøtta	15.06	11.08	21.06	15.08	11.06	08.08	-	-	-	-	-	-
Fureneset	16.06	08.08	13.06	08.08	18.06	09.08	12.06	05.08	16.09	16.06	05.08	16.09
Løken	14.07	12.09	03.07	12.09	08.07	12.09	24.06	03.09	-	07.07	08.09	-

3.1.4 Statistisk analyse

Statistisk analyse er utført ved hjelp av variansanalyse med GLM i MINITAB, versjon 16. Ved feltvis analyse er gjentak brukt som tilfeldig variabel og forsøket analysert som split-plot. Ved analyse over felt er felt og gjentak innan felt rekna som tilfeldige variablar og dei faste effektane er testa mot sine samspel med felt. For pakkingeffekten på Løken-feltet er avlinga i førsteslåttan første engåret i tillegg brukt som kovariat, da dette reduserte forsøksfeilen og gav sikrere resultat. På dei andre felta gav ikkje kovariat mindre feil, og er derfor ikkje brukt. Utslag for køyring er i nokre tilfelle presenterte som to kontrastar, der kvadratsummen for køyring er delt i lett versus tung traktor og i køyring versus utan køyring for å lette tolkinga av forsøket. Resultata er presenterte med middeltal, standardavvik (SE) for middeltala og p-verdiar. P-verdiar under 0,15 er viste i tabellane, høgare verdiar er merka i.s. (ikkje signifikant).

3.2 Resultat

3.2.1 Avling

Pakking gav ulike utslag på engavling på dei tre felta, og dei er derfor behandla kvar for seg i den vidare statistiske analysen. Pakkinga starta etter første slått i 2011 (første engår) og eventuelle utslag av pakking har ein berre fått i andre slått dette året. Sumavling for 2011 vert derfor ikkje vist i gjennomgangen av resultata.

3.2.1.1 Tjøtta

På Tjøtta var det ikkje reduksjon i avling etter pakking (Tabell 3.10).

Tabell 3.10. Avling i kg ts/daa etter pakking på Tjøtta.

	2011		2012			2013		
	1.slått	2.slått	1.slått	2.slått	Sum	1.slått	2.slått	Sum
Utan pakking	494	381	479	320	799	391	291	682
Lett traktor	495	370	495	315	810	388	281	668
Tung traktor	499	358	496	296	792	386	292	677
Middelfeil	24,5	5,7	10,3	7,9	8,7	6,3	10,9	14,3
P-verdi	is	0,10	is	is	is	is	is	is
p-verdi pakka vs upakka		0,07	is	is	is	is	is	is
p-verdi lett vs tung traktor		is	is	is	is	is	is	is



Bilete 3.6. Kløveren treivst svært godt på forsøksfeltet på Tjøtta. Foto: levina Sturite.

3.2.1.2 Fureneset

På Fureneset var det i åra 2011-2013 ingen avlingsnedgang etter pakking ved første slått eller i sum avling, men det var ein tendens til avlingsnedgang ved andre slått. Det var sikker avlingsreduksjon mellom pakka og upakka ledd ved andre slått i 2011 og 2012, men ikkje i 2013. Det var ikkje sikre skilnader i avling mellom lett og tung traktor (Tabell 3.11).

Tabell 3.11. Avling i kg ts/daa etter pakking på Fureneset i åra 2011-2013.

	2011		2012			2013		
	1.slått	2.slått	1.slått	2.slått	Sum	1.slått	2.slått	Sum
Utan pakking	579	300	552	312	864	544	251	795
Lett traktor	547	273	567	280	847	525	244	769
Tung traktor	569	256	535	277	812	525	228	753
Middelfeil	9,3	8,6	15,4	9,0	18,9	15,9	6,4	19,7
P-verdi	is	0,06	is	0,09	is	is	0,09	is
p-verdi pakka vs upakka		0,03	is	0,04	is	is	0,08	is
p-verdi lett vs tung		is	is	is	is	is	is	is

I den forlenga forsøksperioden med eit litt anna forsøksopplegg på Fureneset fekk ein i 2014 sikker avlingsreduksjon ved tredje slått, men ikkje ved dei andre slåttane eller i sum avling. I 2015 var det sikker avlingsreduksjon både ved 2. slått, 3. slått og i sum avling som følgje av jordpakking. Her var det ikkje berre skilnad mellom pakka og upakka ruter, men den tunge traktoren reduserte avlinga meir enn den lette (Tabell 3.12).

Tabell 3.12. Avling i kg ts/daa etter pakking på Fureneset i åra 2014-2015.

	2014				2015			
	1.slått	2.slått	3.slått	Sum	1.slått	2.slått	3.slått	Sum
Utan pakking	702	325	186	1213	582	297	167	1045
Lett traktor	713	325	161	1198	592	276	128	997
Tung traktor	714	321	140	1175	565	215	71	850
Middelfeil	30,7	15,1	6,2	45,4	14,3	6,6	3,7	16,8
P-verdi	is	is	0,02	is	is	0,002	<0,001	0,003
p-verdi pakka vs upakka	is	is	0,01	is	is	0,003	<0,001	0,004
p-verdi lett vs tung traktor	is	is	0,07	is	is	0,003	<0,001	0,003



Foto 3.6. Synleg pakkingsverknad på Fureneset ved 3. slått 2015. Foto: Synnøve Rivedal.

3.2.1.3 Løken

På Løken var det signifikant avlingsreduksjon etter pakking i perioden 2011-2013. Bruk av kovariat, der avlinga vart korrigert i høve til avlinga ved 1. slått 2011 før pakkinga starta, reduserte feilen og gjorde utslaga for pakkinga mykje sikrare. Det var sikker avlingsreduksjon mellom pakka og upakka ledd for alle slåttar og utslaga var størst ved andre slått. Det var ikkje sikre skilnader i avling mellom lett og tung traktor (Tabell 3.13).

Tabell 3.13. Avling i kg ts/daa etter pakking på Løken i åra 2011-2013. F.o.m 2. slått 2011 er avlinga korrigert for avling ved 1. slått 2011.

	2011		2012			2013		
	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl	Sum	1.sl	2.sl	Sum
Upakka	283	216	343	236	579	358	251	609
Lett traktor	274	140	289	95	384	250	185	435
Tung traktor	297	161	311	134	445	283	211	493
Middelfeil	20,0	12,1	11,7	15,1	26,7	19,2	9,1	27,3
P-verdi	is	0,03	0,08	0,007	0,02	0,04	0,02	0,03
p-verdi pakka vs upakka		0,03	0,04	0,003	0,009	0,02	0,008	0,05
p-verdi lett vs tung		is	is	is	is	is	is	is

I den forlenga forsøksperioden gav pakking redusert sumavling i 2014 og redusert 1. slått- og sumavling i 2015. Mellom pakka og upakka ledd var avlingsutslaget sikkert også for 2. slått i 2014. Heller ikkje desse åra var det sikre skilnader i avling mellom lett og tung traktor (Tabell 3.14).

Tabell 3.14. Avling i kg ts/daa etter pakking på Løken i åra 2014-2015. Avlinga korrigert for avling ved 1. slått 2011.

	2014			2015		
	1.slått	2.slått	Sum	1.slått	2.slått	Sum
Utan pakking	330	392	722	442	237	679
Lett traktor	269	326	594	344	210	554
Tung traktor	308	349	657	363	212	575
Middelfeil	17,3	15,8	23,6	10,5	15,7	25,1
P-verdi	0,16	0,10	0,05	0,008	is	0,05
p-verdi pakka vs upakka	0,10	0,05	0,03	0,002	is	0,02
p-verdi lett vs tung traktor	is	is	is	is	is	is

3.2.2 Jordfysiske målingar

3.2.2.1 Samanlikning av dei generelle jordfysiske forholda på felta

Middelverdiar for porestorleiksfordelinga er vist i Figur 3.1. Sandjorda på Fureneset er tydeleg meir finkorna enn på Tjøtta, og inneheld meir enn dobbelt så mykje organisk materiale (med middel glødetap på høvesvis ca. 14% og 6%). Grusinnhaldet er vesentleg lågare på Fureneset enn på Tjøtta (høvesvis ca. 4% og 14%). Desse skilnadene er truleg årsak til at det totale porevolumet og andelen av porer som lagrar vatn (<30 µm) er større på Fureneset enn på Tjøtta, medan mengda av porer som vert drenerte ved feltkapasitet (>30 µm) er størst på Tjøtta.

På Fureneset vart det målt noko lågare totalt porevolum i 2013 enn i 2012 i dei to øvre jordlag, men fordelinga mellom dei ulike porestorleiksgruppene var relativt lik i begge åra. Same stad vart det målt lågare porevolum i det nedre jordlag i 2013 enn i 2015. På Løken vart det i 2015 målt noko lågare totalt porevolum i dei to øvre jordlag enn det som vart målt i 2013.

Andelen av plantetilgjengeleg vatn er størst på Løken (>35 vol.%), med ein stor del i den lett-tilgjengelege fraksjonen. Dette er typisk for siltjord. På Fureneset er det også relativt mykje plantetilgjengeleg vatn (30-35 vol.%), medan denne mengda er mindre på Tjøtta (ca. 20%). Luftkapasiteten ved feltkapasitet (pF₂) er relativt låg (<10%) på både Fureneset og Løken, medan den er stor (>20%) på Tjøtta. Ut frå desse skilnadene kan ein vente at jorda på Løken er mest utsett for jordpakking, og at jorda på Fureneset er meir utsett enn jorda på Tjøtta.

3.2.2.2 Vurdering av jordvariasjonen på felta

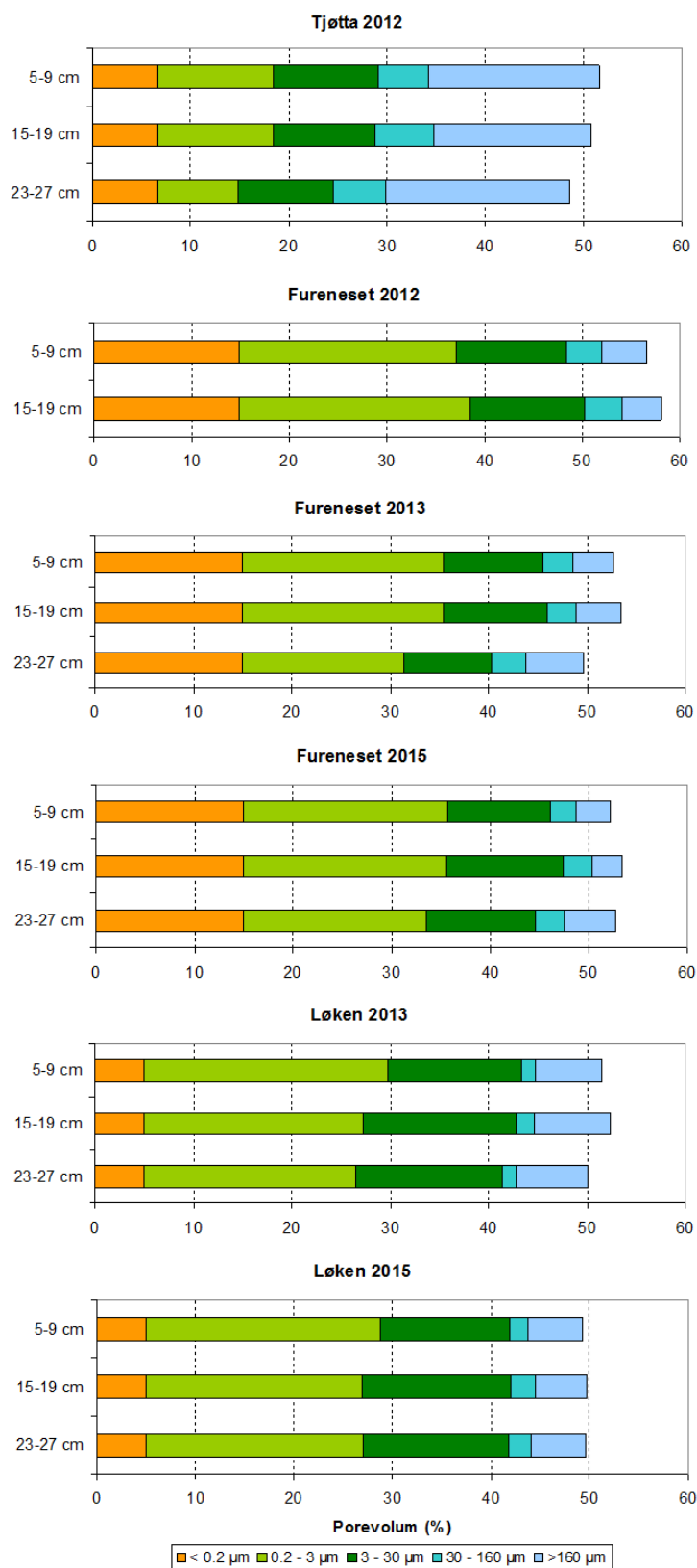
Det er vanleg med stor variabilitet innanfor korte avstandar når det gjeld dei fysiske forholda i jorda. Ein ventar at variasjon i moldinnhald er ei viktig årsak til dette, då moldinnhaldet påverkar både jordtettleiken og porestorleiksfordelinga (spesielt jordas vasslagringsevne). Variabiliteten på felta er derfor her undersøkt ut frå jordtettleik og moldinnhald (glødetap).

Variasjonen i desse storleikane mellom og innanfor gjentaka (blokkene) er vist i Tabell 3.15. Variasjonskoeffisientane for jordtettleik (innan same blokk og djupne) var i området 5-15%, medan dei for glødetap ofte var mykje høgre (opp til 30-40% i mange tilfelle). Samanhengane mellom jordtettleik og glødetap er vist i Figur 3.2.

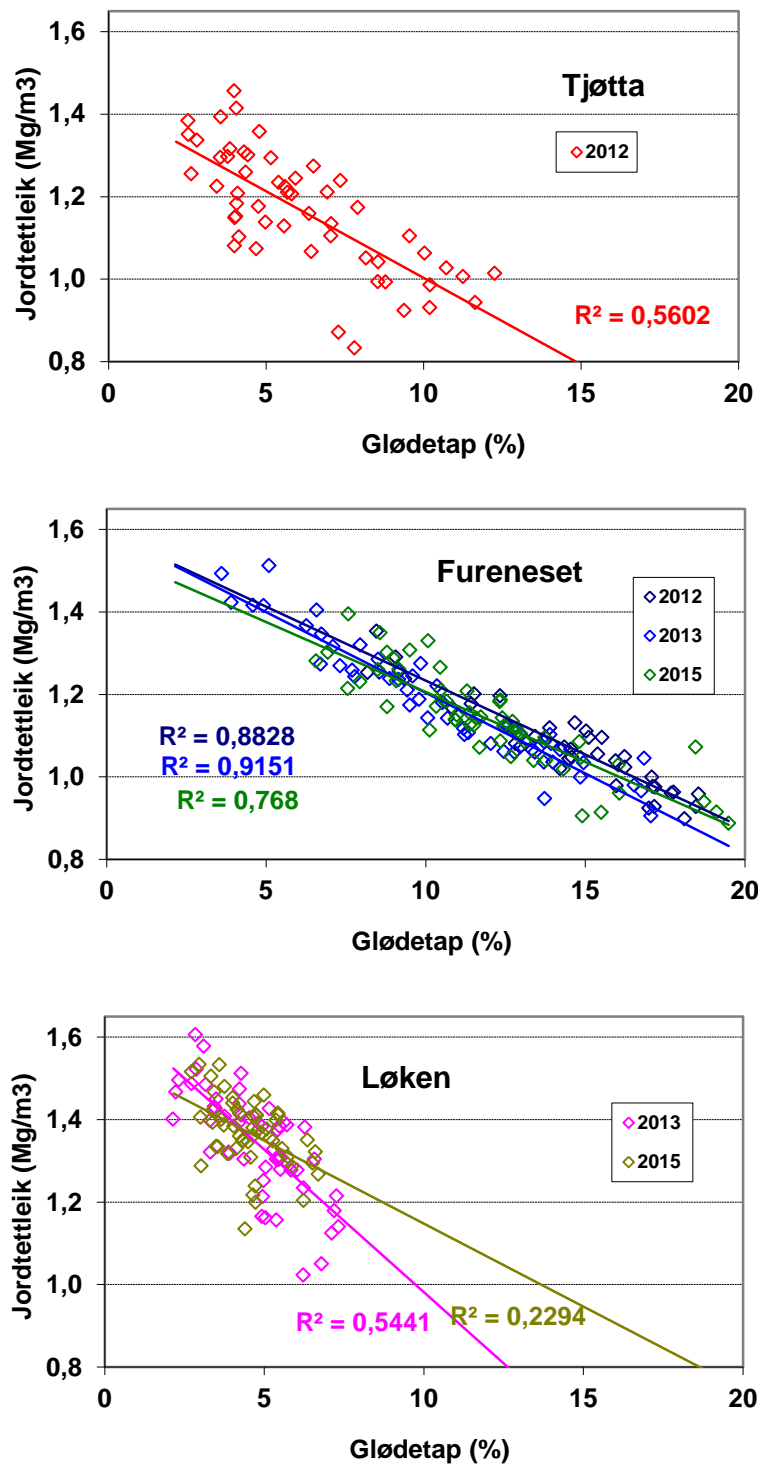
Det var nær samanheng mellom desse parametrane alle åra på Fureneset ($R^2=0,80-0,90$), noko som tyder på at ein kan forvente at variasjonane i moldinnhald der spelar ei stor rolle. På Tjøtta var samanhengen mindre sterk ($R^2=0,56$), men også der kan ein forvente at variasjonen i moldinnhald

påverkar dei jordfysiske parametrane som vart målte. Det same gjeld på Løken, men i noko mindre grad. Spreiinga i glødetap var størst på Fureneset (ca. 3 til 18%), nest størst på Tjøtta (ca. 3-12%) og minst på Løken (ca. 2 til 7%). Ein del av variasjonen i glødetapet på Tjøtta har truleg samanheng med tap av karbonat frå skjelsand. Dette vart ikkje korrigert for, då andelen av slik sand var ukjent.

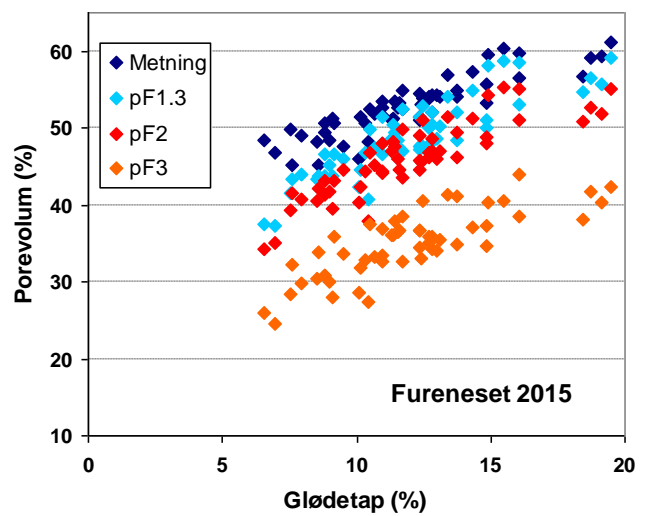
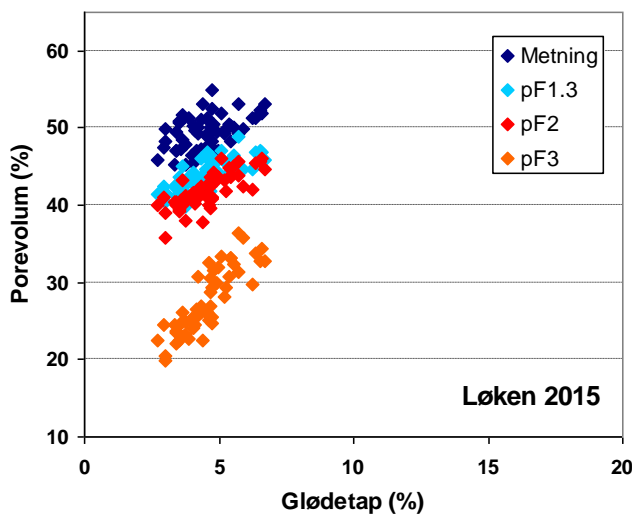
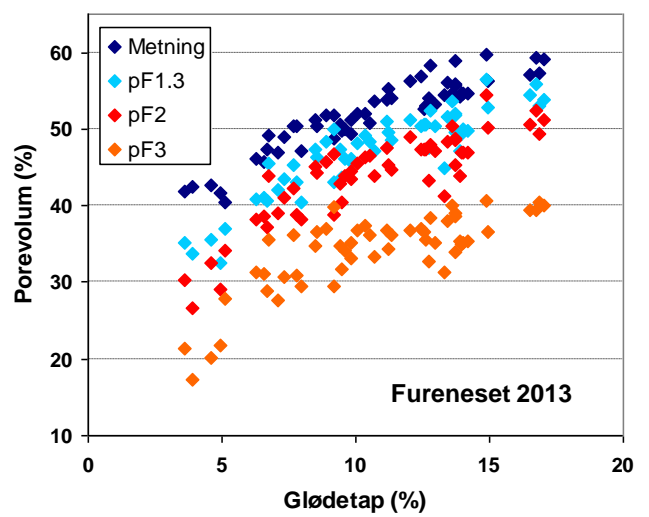
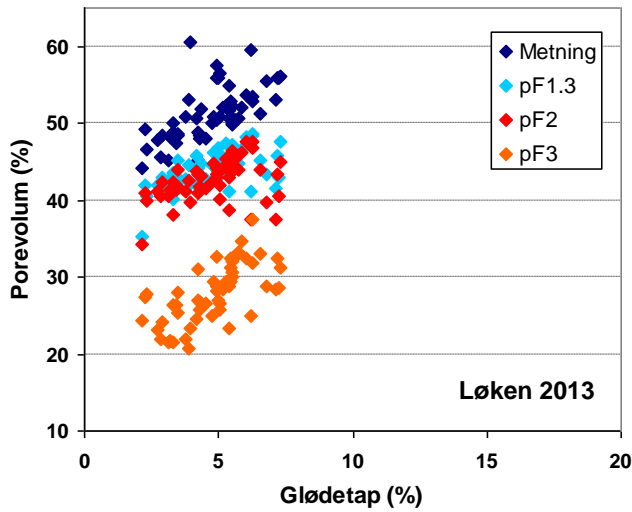
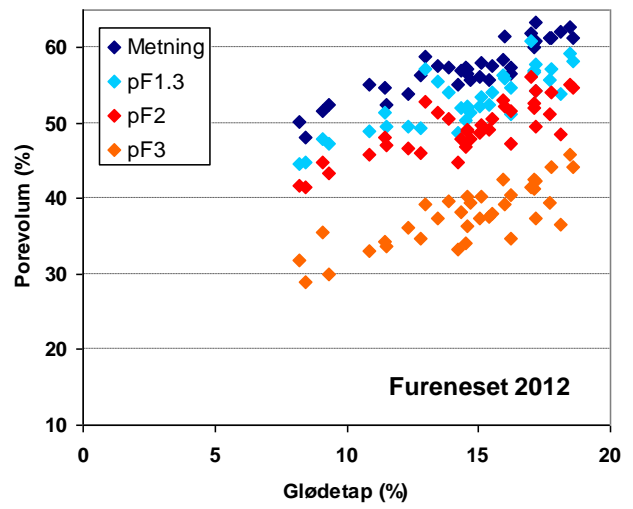
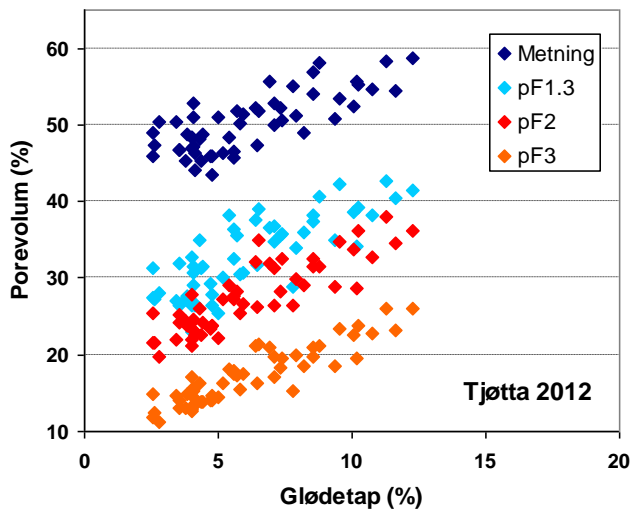
Verknaden av variasjonen i moldinnhald på porevolumet og vasslagringsevna i jorda er vist i Figur 3.3. På alle felta og ved nesten alle pF-nivå som vart målte var det klare og lineære verknader av moldinnhald på desse eigenskapane. Samanhengane forklarte 60-85% av variasjonen på Fureneset og Tjøtta, men berre 15-45% av variasjonen på Løken.



Figur 3.1. Middelerdiar av totalt porevolum ved metting og porestorleiksfordelinga i jorda.



Figur 3.2. Samanhengane mellom jordtettleik og glødetap på dei tre forsøksfelta.



Figur 3.3. Verknad av glødetap på porevolum ved metning og vasslagring i jorda.

Variasjonen i moldinnhald og verknaden dette har på andre jordparametrar, kan gjere det utfordrande å finne sikre effektar av jordpakking i desse forsøka. Ein del av variasjonen i moldinnhald spegla seg i variasjonen i jordtettleik mellom blokkene, som vist i Tabell 3.15. Dette avgrensar verknaden noko, men vi ser tydeleg variasjon også innanfor blokkene.

Tabell 3.15. Variasjonen i jordtettleik (JT) og moldinnhald i felta (rekna ut frå enkeltsylindrar).

		Middelverdi			Variasjonskoeffisientar (%)		
		Blokk 1	Blokk 2	Blokk 3	Blokk 1	Blokk 2	Blokk 3
Jordtettleik							
Tjøtta 2012	Sjikt 1	1,10	1,10	0,99	13	11	5
	Sjikt 2	1,27	1,19	1,03	8	9	6
	Sjikt 3	1,34	1,30	1,16	6	5	5
Fureneset 2012	Sjikt 1	1,05	1,13	1,09	8	5	13
	Sjikt 2	1,02	1,05	1,09	5	11	15
Fureneset 2013	Sjikt 1	1,12	1,12	1,24	9	4	8
	Sjikt 2	1,08	1,10	1,24	12	7	15
	Sjikt 3	1,18	1,34	1,19	13	9	13
Fureneset 2015	Sjikt 1	1,09	1,18	1,17	13	9	11
	Sjikt 2	1,08	1,16	1,14	10	9	15
	Sjikt 3	1,16	1,18	1,09	8	6	14
Løken2013	Sjikt 1	1,33	1,39	1,29	10	4	13
	Sjikt 2	1,30	1,31	1,33	7	4	14
	Sjikt 3	1,40	1,40	1,33	10	6	12
Løken2015	Sjikt 1	1,39	1,36	1,40	10	4	7
	Sjikt 2	1,36	1,34	1,37	9	2	5
	Sjikt 3	1,34	1,39	1,36	6	4	6
Glødetap							
Tjøtta 2012	Sjikt 1	5,0	6,2	10,2	39	20	11
	Sjikt 2	5,0	5,6	9,9	28	29	15
	Sjikt 3	3,2	4,4	6,0	20	18	24
Fureneset 2012	Sjikt 1	14,9	13,5	13,3	11	13	28
	Sjikt 2	16,1	14,9	14,5	11	19	31
Fureneset 2013	Sjikt 1	12,8	11,9	9,2	19	13	18
	Sjikt 2	13,6	12,3	9,3	24	17	41
	Sjikt 3	10,9	6,1	10,1	33	39	42
Fureneset 2015	Sjikt 1	14,0	11,1	11,2	28	14	17
	Sjikt 2	14,5	12,1	11,5	25	22	24
	Sjikt 3	11,0	10,3	12,0	34	11	33
Løken 2013	Sjikt 1	4,9	4,8	5,6	11	27	18
	Sjikt 2	4,9	4,8	5,4	13	22	30
	Sjikt 3	3,6	3,7	5,3	27	39	41
Løken 2015	Sjikt 1	4,2	4,7	5,3	20	24	24
	Sjikt 2	4,1	4,3	5,2	18	21	19
	Sjikt 3	3,9	4,1	5,1	16	15	21

3.2.2.3 Effekt av jordpakking på ulike jordparametrar

Variansanalysar for felta samla

Variansanalysar vart utførte for å teste effekten av jordpakking på alle parametrane nemnt innleiingsvis. Middelvordiane av dei to sylindrane tatt i kvart sjikt vart brukt i analysane. Tovegs analyse utført sjiktvis viste ikkje signifikante utslag på enkeltfelt, men ein må ta i betraktning at tal fridomsgrader var lågt (2 og 4). Heller ikkje analyser med sjikt som 'split-plot' viste signifikant effekt av jordpakking på enkeltfelt, med unntak av luftkapasiteten på Løken ($p < 0,05$). Det var som venta signifikante skilnader mellom sjikt i mange tilfelle, men ingen samspel mellom ledd og sjikt. Likevel viste middelvordiane av jordpakkingsledda forventa utslag på alle felt, det vil seie at jordpakking reduserte porevolumet, særleg mengda av store porer, og auka jordtettleiken og den relative pakkingsgraden.

I eit forsøk på å kompensere for effekten av jordvariasjonen i felta, vart det utført kovarians-analyse for jordtettleik med bruk av glødetap som kovariat. Dette gav nesten ikkje betring i signifikansnivåa av forsøksledda med jordpakking, og det førte til berre små endringar i middelvordiane, sett i forhold til dei opphavlege verdiane. Vidare bruk av kovariansanalyse vart derfor sett på som unyttig. Ein valde heller å utføre variansanalysar over alle felt samla.

Dette viste statistisk signifikante utslag av pakking på mange av parametrane i dei to øvste sjikta medan det var få utslag i det nedste sjiktet (Tabellar 3.16 og 3.17). Parametrane som blei signifikant påverka var mettingsvolum, jordtettleik og pakkingsgrad samt luftkapasitet og permeabilitet, medan vassinnhaldet ikkje blei påverka. Det var berre nokre få tilfelle med samspel mellom felt og pakking, men sidan det var høgst signifikante skilnader mellom felt i nivået av nesten alle parametrane, blir resultatata også presenterte feltvis i neste avsnitt.

Tabell 3.16. Signifikansnivå (p) av utslaga av jordpakking på målte jordparametrar (middel av alle felt).

	Sjikt 1		Sjikt 2		Sjikt 3	
	Pakking	Samspel	Pakking	Samspel	Pakking	Samspel
Mettingsvolum	0,02*	is	0,008**	is	is	is
Vassinnhald -2 kPa	is	is	is	is	is	is
Vassinnhald -10 kPa	is	is	is	is	is	is
Vassinnhald -100 kPa	is	is	is	is	is	is
Luftkapasitet -10 kPa	0,003**	0,09 ⁺	<0,001***	<0,001***	is	is
Vatn -10 til -100 kPa	is	is	is	is	is	is
Jordtettleik	0,02*	is	0,02*	is	is	is
Pakkingsgrad	0,001***	0,05*	0,004**	is	0,07 ⁺	is
Luftpermeabilitet	0,02*	is	is	is	is	is

Samspel = Pakking x Felt P-nivå: *** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ ⁺ $p < 0,1$

Tabell 3.17. Effekt av jordpakking på valde jordparametrar (middel av alle felt).

	Utan køyring	Lett traktor	Tung traktor	LSD, 5%
Mettingsvolum				
Sjikt 1	54,0	52,1	50,9	2,0
Sjikt 2	55,3	52,1	51,4	2,5
Sjikt 3	51,2	50,4	48,8	is
Luftkapasitet				
Sjikt 1	11,2	9,7	8,8	1,3
Sjikt 2	11,5	9,6	9,2	1,1
Sjikt 3	12,1	11,0	11,6	is
Jordtettleik				
Sjikt 1	1,14	1,21	1,24	0,07
Sjikt 2	1,13	1,21	1,24	0,08
Sjikt 3	1,23	1,28	1,32	is
Pakkingsgrad				
Sjikt 1	85,6	89,7	90,8	2,6
Sjikt 2	85,8	89,9	90,6	2,8
Sjikt 3	87,2	90,6	90,7	(3,0)
Luftpermeabilitet				
Sjikt 1	14,9	11,3	9,9	3,4
Sjikt 2	11,7	9,1	8,6	is
Sjikt 3	9,6	8,0	8,5	is

Skilnadene som viste seg å vere signifikante, var som oftast dei mellom leddet utan pakking og dei andre to forsøksledda, medan skilnadene mellom pakkingsledda med anten lett og tung traktor ikkje var det. Likevel såg det ut til at køyring med tung traktor som regel hadde noko meir negativ verknad på dei jordfysiske parametrane enn køyring med lett traktor. Ein kan også merka seg at skilnadene mellom forsøksledda i det nedste sjiktet som oftast gjekk i same retning som i høgareliggande sjikt, sjølv om dei ikkje nådde signifikans.

Variansanalysar for enkeltfelt

Det blei først utført variansanalysar for å teste om det var skilnader mellom åra som prøvene vart tekne på høvesvis Fureneset og Løken. På Fureneset blei det funne sikre skilnad mellom åra i glødetap og i mettingsvolum og fleire parametrar relatert til vasslagring. Det blei ikkje funne samspel med pakkingsledda i noko tilfelle. Middelerdiane for både mettingsvolum og vassinnhald ved -10 kPa viste sterk samanheng med glødetap (høvesvis $R^2=0,92$ og $R^2=0,96$). Sidan ein kan sjå bort frå reelle endringar i jordas moldinnhald over eit så kort tidsrom, blei det konkludert at desse skilnadene mellom åra kunne forklarast ut frå variasjonen på feltet. På Fureneset blei det også funne signifikant lågare luftpermeabilitet i 2013 enn i dei andre to åra, utan at ein fann nokon klar årsak. Permeabiliteten i 2015 var på same nivå som i 2012.

Også i feltet på Løken var det sikre skilnader mellom åra i både mettingsvolum og glødetap. Skilnadene var mykje mindre enn på Fureneset, men også på Løken gav truleg den tilfeldige variasjonen i jordas moldinnhald forklaring på skilnadene mellom åra. Heller ikkje her blei det funne samspel med pakkingsledda i noko tilfelle. Derfor er alle måleverdiane for alle år slått saman på feltbasis i dei følgjande tabellane for både Fureneset og Løken. Middelerdiane av jordpakkingsledda på kvart felt er vist sjiktvis i tabellar 3.18-3.20, med tilhøyrande middelfeil. Middelfeil er her rekna ut

på grunnlag av midlane av sylindrar. Skilnadene mellom pakkingsledda innan felt nådde ofte ikkje signifikans sjølv etter at feltåra vart slått saman, men ved fleire høve var det anten sikre utslag eller tydelige tendensar. På begge stadene gjaldt dette relativ pakkingsgrad i dei to øvste sjikt ($p < 0,1$), samt mengd store porer i mellomste sjikt på Fureneset ($p < 0,1$) og i begge dei øvste sjikta på Løken ($p < 0,1$ i øvre og $p < 0,01$ i mellomste sjikt). Også luftpermeabilitet og vassleiingsevne viste nokre slike utslag, i det mellomste sjiktet på Fureneset ($p < 0,1$) og i det øvste sjiktet på Løken ($p < 0,01$).

Parametrane som er av størst betydning for verknaden av jordpakking på plantevekst er truleg relativ pakkingsgrad, mengd store porer (luftkapasitet) og luftpermeabilitet. Den relative pakkingsgraden er eit generelt mål på kor godt eigna jorda er for vekst. Metoden blei utvikla på 1970-tallet av prof. Inge Håkansson i Sverige og er funne å passe godt også for norske tilhøve (Riley 1988). Det optimale nivået ligg på ca. 85% av ein standardisert pakking målt i laboratoriet ved eit sterkt trykknivå. Lågare verdiar enn 85% tyder på at jorda er for laus (noko som truleg kan hemme plantene sin vasstilgang), medan høgare verdiar tyder på at jorda er for tett (noko som gir dårlig luftveksling og mekanisk motstand som hemmar rotvekst). Ein tommelfingerregel brukt av mange for å definere eit kritisk lågt nivå for luftkapasitet er 10%. For norske jordartar svarar dette til ein luftpermeabilitet på omlag $3 \mu\text{m}^2$ (Riley 1988).

Verknaden av jordpakking på Tjøtta var lite tydeleg (Tabell 3.18). Rett nok auka jordtettleiken noko ved køyring, men ikkje meir enn 5%. Dei tilsvarende nedgangane i porevolum var for det meste mindre enn to prosenteningar. Det var dei store porene som vart mest påverka, noko som er vanleg, men andelen av denne porestorleiken var alltid mykje høgare enn det som blir rekna som naudsynt for god luftveksling. Luftpermeabiliteten var svært høg på Tjøtta, og den vart ikkje påverka av jordpakking. Den relative pakkingsgraden var i utgangspunkt låg, berre ca. 70%, altså vesentleg lågare enn det som vert rekna som optimalt for plantevekst (85%). At jorda er for laus, fører til dårleg vasstilgang under tørre forhold. På ledd med traktorkøyring auka pakkingsgraden litt, mest i det nedste sjiktet, men den var fortsatt lågare enn det som vert rekna som optimalt, sjølv under fuktige forhold.

Tabell 3.18. Verknad av jordpakking på jordfysiske eigenskapar i forsøket på Tjøtta (eitt måleår).

Djupne	Utan pakking		Lett traktor		Tung traktor	
	Middel	<i>m.feil</i>	Middel	<i>m.feil</i>	Middel	<i>m.feil</i>
Jordtettleik (Mg/m³)						
5-9 cm	1,05	0,05	1,05	0,06	1,09	0,07
15-19 cm	1,16	0,05	1,15	0,09	1,18	0,10
23-27 cm	1,23	0,04	1,28	0,05	1,29	0,08
Relativ pakkingsgrad (%)						
5-9 cm	67,0	2,6	68,1	1,2	69,1	2,8
15-19 cm	73,8	1,8	72,0	3,2	73,2	4,2
23-27 cm	71,0	3,5	75,7	4,1	77,2	4,0
Porevol. ved metting (%)						
5-9 cm	52,7	1,7	52,5	2,2	49,5	1,8
15-19 cm	51,6	3,4	49,6	2,8	50,9	1,6
23-27 cm	49,8	0,3	48,1	1,6	47,9	1,5
Store porer (>30 µm)						
5-9 cm	23,4	1,0	22,7	1,7	21,4	1,4
15-19 cm	20,9	0,4	22,1	1,6	22,9	1,0
23-27 cm	25,2	0,6	23,4	1,8	23,5	2,1
Middels porer (3-30 µm)						
5-9 cm	10,7	0,7	10,4	0,8	10,7	0,7
15-19 cm	10,9	0,8	9,8	0,3	10,1	0,7
23-27 cm	9,7	0,5	9,8	0,8	9,6	0,3
Små porer (<3 µm)						
5-9 cm	18,6	1,6	19,5	3,0	17,5	2,3
15-19 cm	19,9	3,2	17,6	1,8	17,9	1,6
23-27 cm	14,9	0,4	14,9	0,7	14,8	2,0
Luftpermeabilitet (µm²)						
5-9 cm	33,5	1,3	34,5	2,5	33,3	2,7
15-19 cm	26,2	3,6	31,7	0,9	28,0	3,4
23-27 cm	28,6	2,4	27,2	3,4	27,3	4,4
Vassleiingsevne (cm/t)						
5-9 cm	28,5	1,4	29,7	2,7	28,4	2,9
15-19 cm	20,9	3,6	26,7	0,9	22,9	3,4
23-27 cm	23,3	2,5	22,2	3,1	22,1	4,5
Glødetap (%)						
5-9 cm	7,2	1,3	7,4	2,2	6,8	1,8
15-19 cm	7,4	1,9	6,7	1,9	6,5	1,3
23-27 cm	4,3	0,7	4,4	0,5	4,8	1,4
Grus (%)						
5-9 cm	11,3	3,8	8,6	1,9	10,7	1,3
15-19 cm	13,4	2,1	12,4	1,8	12,7	2,7
23-27 cm	23,2	6,5	17,3	5,8	15,6	4,4

Tabell 3.19. Verknad av jordpakking på jordfysiske eigenskapar i forsøket på Fureneset (tre måleår).

Djupne	Utan pakking		Lett traktor		Tung traktor	
	Middel	<i>m.feil</i>	Middel	<i>m.feil</i>	Middel	<i>m.feil</i>
Jordtettleik (Mg/m³)						
5-9 cm	1,08	0,04	1,12	0,02	1,20	0,03
15-19 cm	1,03	0,03	1,12	0,04	1,17	0,04
23-27 cm	1,17	0,07	1,16	0,04	1,24	0,03
Relativ pakkingsgrad (%)						
5-9 cm	86,4	0,9	86,4	0,9	90,5	0,8
15-19 cm	85,3	0,9	88,0	0,8	89,7	0,9
23-27 cm	86,6	1,9	87,0	0,9	87,0	0,6
Porevol. ved metting (%)						
5-9 cm	55,2	1,4	54,5	0,8	51,9	1,2
15-19 cm	57,7	1,1	54,5	1,2	52,8	1,6
23-27 cm	51,9	2,5	52,5	1,5	49,1	1,0
Store porer (>30 µm)						
5-9 cm	7,6	0,7	7,9	0,7	5,9	0,5
15-19 cm	7,5	0,5	7,4	0,5	6,4	0,4
23-27 cm	8,0	0,7	8,2	1,2	10,0	0,6
Middels porer (3-30 µm)						
5-9 cm	11,2	0,3	10,5	0,5	10,1	0,5
15-19 cm	11,6	0,6	11,1	0,4	11,3	0,5
23-27 cm	10,7	0,6	9,7	0,8	9,7	0,5
Små porer (<3 µm)						
5-9 cm	36,4	1,1	36,1	1,1	35,8	0,6
15-19 cm	38,6	0,9	36,0	1,1	35,0	1,5
23-27 cm	33,2	2,7	34,6	2,5	29,4	1,3
Luftpermeabilitet (µm²)						
5-9 cm	13,7	3,4	9,9	2,7	7,2	2,2
15-19 cm	11,0	3,2	5,4	1,4	6,0	1,7
23-27 cm	5,7	1,1	4,0	1,6	6,3	1,6
Vassleiingsevne (cm/t)						
5-9 cm	10,0	2,9	6,6	2,2	4,7	1,7
15-19 cm	7,9	2,7	3,1	1,1	3,8	1,3
23-27 cm	3,1	0,7	2,2	1,1	3,5	1,1
Glødetap (%)						
5-9 cm	13,6	1,1	12,5	0,6	11,2	0,8
15-19 cm	15,0	1,0	12,8	1,1	11,8	1,2
23-27 cm	11,0	1,6	11,1	1,3	8,1	0,8
Grus (%)						
5-9 cm	4,8	1,2	5,2	0,8	3,8	0,7
15-19 cm	3,9	0,8	4,4	0,8	3,7	1,1
23-27 cm	5,8	1,9	4,7	1,7	4,1	0,9

Tabell 3.20. Verknad av jordpakking på jordfysiske eigenskapar i forsøket på Løken (to måleår).

Djupne	Utan pakking		Lett traktor		Tung traktor	
	Middel	<i>m.feil</i>	Middel	<i>m.feil</i>	Middel	<i>m.feil</i>
Jordtettleik (Mg/m³)						
5-9 cm	1,26	0,05	1,44	0,02	1,37	0,03
15-19 cm	1,26	0,03	1,38	0,03	1,37	0,04
23-27 cm	1,30	0,05	1,40	0,02	1,40	0,03
Relativ pakkingsgrad (%)						
5-9 cm	93,7	2,8	105,4	1,0	102,0	1,4
15-19 cm	92,5	2,3	101,7	1,1	100,5	2,1
23-27 cm	96,0	2,6	101,6	0,8	101,2	1,5
Porevol. ved metting (%)						
5-9 cm	52,8	1,5	48,3	0,6	50,1	0,6
15-19 cm	53,6	1,0	49,8	0,8	49,7	1,1
23-27 cm	51,1	1,3	49,4	0,4	48,9	1,3
Store porer (>30 µm)						
5-9 cm	10,5	1,7	6,0	0,5	6,9	0,4
15-19 cm	12,9	1,5	6,6	0,3	6,5	0,6
23-27 cm	9,7	1,4	7,6	0,4	7,3	0,5
Middels porer (3-30 µm)						
5-9 cm	14,9	1,0	12,8	0,9	12,4	1,4
15-19 cm	14,8	0,8	15,5	0,8	15,6	0,7
23-27 cm	14,5	1,3	15,0	1,3	15,0	0,9
Små porer (<3 µm)						
5-9 cm	27,4	1,6	29,5	1,5	30,9	1,8
15-19 cm	25,9	1,6	27,8	1,3	27,6	1,3
23-27 cm	26,9	1,5	26,8	1,8	26,6	1,7
Luftpermeabilitet (µm²)						
5-9 cm	7,4	2,1	1,8	0,9	2,3	1,1
15-19 cm	5,5	1,1	3,2	2,0	2,8	1,3
23-27 cm	4,1	1,6	2,5	0,9	1,3	0,5
Vassleiingsevne (cm/t)						
5-9 cm	4,5	1,4	0,9	0,5	1,1	0,6
15-19 cm	2,8	0,7	1,9	1,3	1,4	0,8
23-27 cm	2,2	1,0	1,1	0,4	0,5	0,2
Glødetap (%)						
5-9 cm	5,0	0,6	4,6	0,3	5,1	0,3
15-19 cm	4,9	0,6	4,7	0,4	4,7	0,3
23-27 cm	5,0	0,6	4,1	0,6	3,9	0,4
Grus (%)						
5-9 cm	0,3	0,1	0,8	0,4	0,4	0,1
15-19 cm	1,6	1,2	0,4	0,1	0,3	0,1
23-27 cm	1,3	0,5	0,9	0,4	0,6	0,3

På Fureneset auka jordtettleiken i alle sjikt etter køyring med både lett og tung traktor, men mest med sistnemnde og spesielt i dei to øvste sjikta. Dette medførte nedgang i totalt porevolum på ca. 3-4 %-einingar i dei to øvste sjikta etter køyring. På grunnlag av tidligare erfaring, er dette rekna som ganske store utslag. Mengd store porer (luftkapasitet) låg noko under 10% sjølv utan køyring. Pakking med tung traktor reduserte denne parameteren til 6% i dei øvste sjikta. Luftpermeabiliteten vart redusert noko ved jordpakking, men var likevel relativ høg (unntatt i 2013, da nivået var mykje lågare på alle ledd). Det var tendensar til at jordpakking reduserte permeabiliteten og vassleiingsevne i alle tre sjikt. Den relative pakkingsgraden låg i utgangspunkt omtrent på optimalnivået (ca. 85%), men ved jordpakking hadde det endra seg i retning mot ein tilstand (88-90%) som ein ser på som litt for tett for optimal vekst.

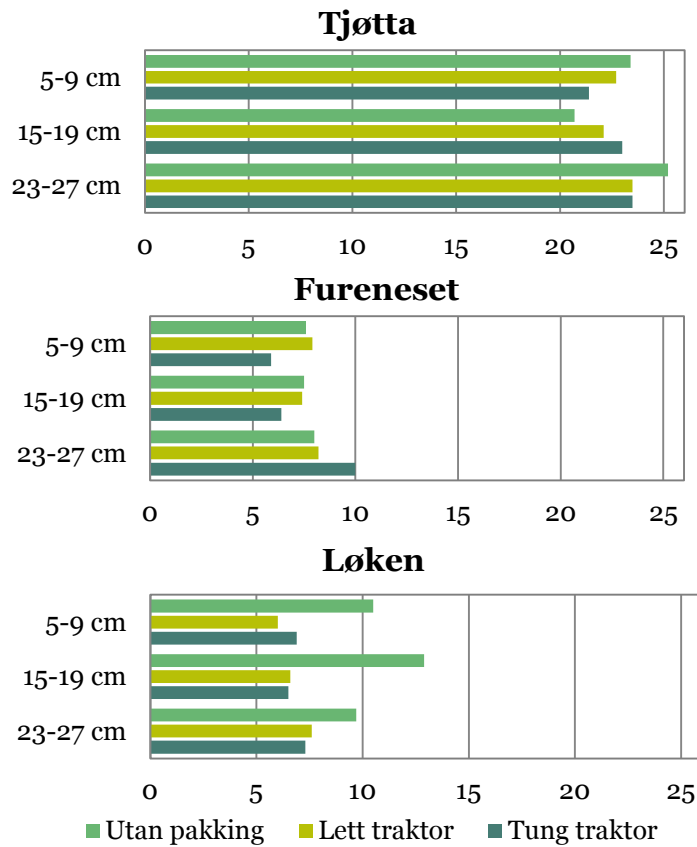
Verknaden av jordpakking på Løken var langt tydelegare enn på både Fureneset og Tjøtta. Volumet av store porer vart nesten halvert, til godt under 10%, og luftpermeabiliteten vart redusert til eit svært lågt nivå ($<3 \mu\text{m}^2$). Den relative pakkingsgraden på dette feltet var allereie i utgangspunktet ganske høg (ca. 94%) og den auka til $>100\%$ ved jordpakking. Dette er eit nivå som er klart høgare enn det som vert rekna som optimalt for plantevekst.

Skilnadene mellom forsøksfelta i dei tre indikatorane som ofte vert brukte for å karakterisere kor godt jordas fysiske tilhøve eignar seg for plantevekst (luftkapasitet, luftpermeabilitet, relativ pakkingsgrad) kan bedømmast ut frå figurane 3.4-3.6. For felta på Fureneset og Løken er det i desse figurane brukt middelveidiane av alle år som prøver vart tekne.

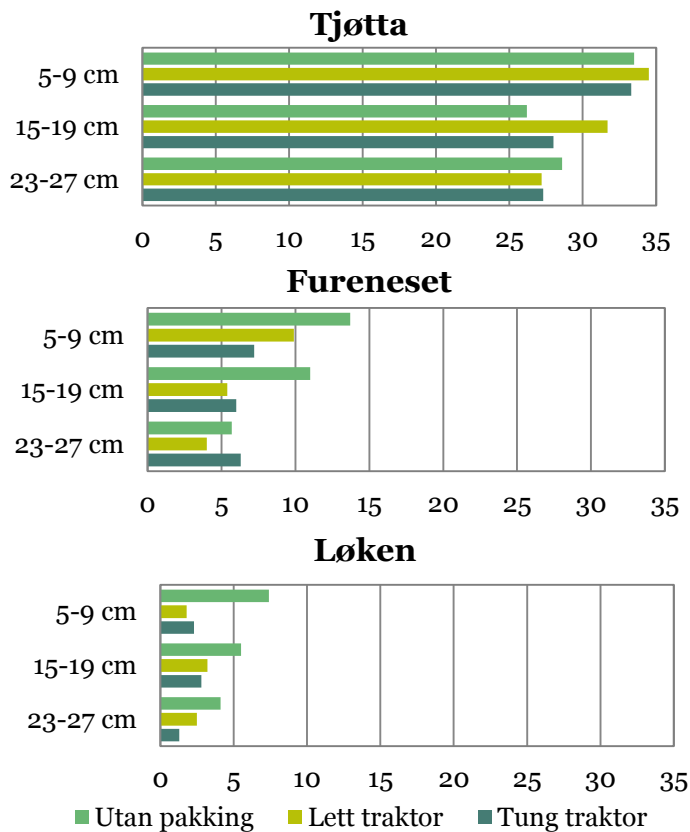
Sjølv om det var vanskeleg å finne signifikante utslag av køyring på enkeltfelt, viser figurane at mange av skilnadene går i same og forventa retning. Køyring reduserte luftkapasitet og luftpermeabilitet og auka relativ pakkingsgrad i jorda. Det var ikkje konsistente utslag for korleis køyring med tung traktor påverka jordstrukturen, samanlikna med bruk av lett traktor. I dei fleste tilfella var likevel desse skilnadene små, samanlikna med skilnadene mellom dei og kontroll-leddet utan køyring. Ved sida av traktortyngde, er det forventa at effekten av køyring vert påverka av både skilnader i dekkdimensjon (breidde, stivheit o.l.) og spesielt av ulikt lufttrykk. Slike faktorar kan ha spelt ei rolle i desse forsøka.

Det viktigaste poenget som desse analysane viser, er skilnaden mellom jordtypene i kor utsette dei er for køyreskader på dei tre felta som er undersøkte. Dette kan rangerast slik:

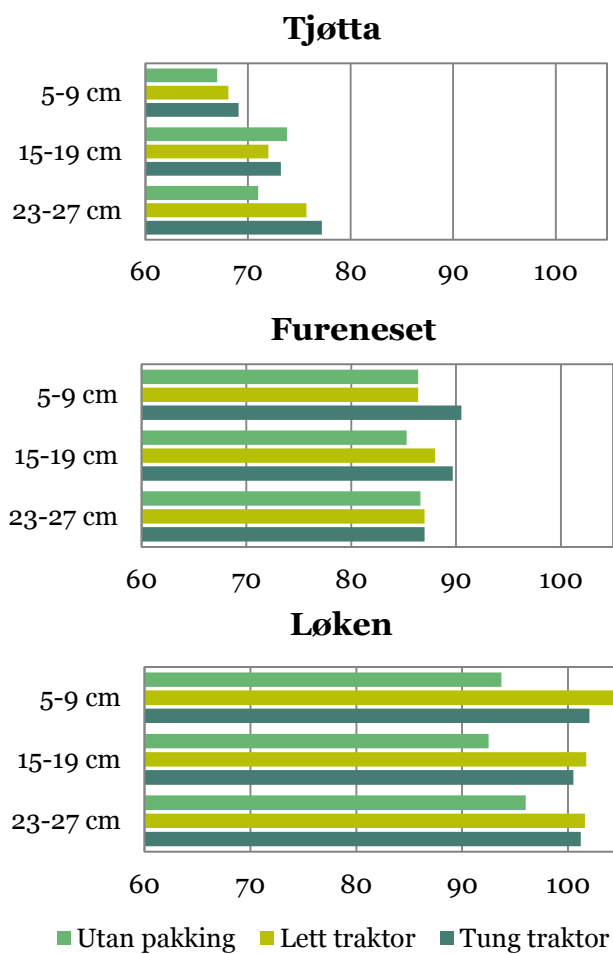
Moldhaldig silt (Løken) >> Svært moldrik siltig sand (Fureneset) > Moldrik sand (Tjøtta).



Figur 3.4. Luftkapasitet (porer >30µm) i jorda i dei tre forsøka med jordpakking (kritisk nedre grense for god plantevekst = ca.10%) .



Figur 3.5. Luftpermeabilitet (μm^2) ved pF2 i jorda i dei tre forsøka med jordpakking (kritisk nedre grense for god plantevekst = ca.3 μm^2) .



Figur 3.6. Relativ pakkingsgrad (% av standard) i jorda i dei tre forsøka med jordpakking (optimalområde for god plantevekst = ca. 83-87%) .

3.2.3 Vassinnhald i jord

Tabell 3.21 til 3.23 syner at det var stor skilnad mellom felt og år i gravimetrisk vassinnhald i jord då pakkinga vart utført. På Tjøtta var det tørrast ved 1. pakking i 2012, men det var og ganske tørt ved 2. pakking i 2011. Det var eit mykje høgare vassinnhald i jorda ved 1. pakking i 2011 og ved 2. pakking i 2012 og 2013 (Tabell 3.21).

Tabell 3.21. Vassinnhald i jord i vekt % ved dei ulike pakkingane på Tjøtta 2011-2013.

Djupne,	1. pakking				2. pakking			
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
2011								
0-10	23	18	25	22	14	12	15	14
10-20	22	20	23	22	15	14	16	15
20-30	22	20	21	21	16	14	16	15
30-40	14	11	13	13	11	9	11	10
2012								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	11	9	10	10	23	22	25	23
10-20	12	9	11	11	23	21	24	23
20-30	12	11	12	12	22	20	21	21
30-40	9	8	8	8	17	13	16	15
2013								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	19	16	19	18	27	25	27	26
10-20	18	16	18	18	23	22	23	23
20-30	19	16	18	18	25	19	20	21
30-40	14	11	13	13				

Gravimetrisk vassinnhald var generelt på eit mykje høgare nivå på Fureneset enn på Tjøtta. Dette skuldast blant anna at jorda er meir finkorna og kan lagre mykje større mengder vatn. Ser ein på dei ulike pakkingane på Fureneset skil begge pakkingar i 2011 og siste pakking i 2013 seg ut med eit høgt vassinnhald i jorda. Det var tørrast ved 1. pakking 2013 (Tabell 3.22).

Tabell 3.22. Vassinnhald i jord i vekt % ved dei ulike pakkingane på Fureneset 2011-2013.

Djupne,	1. pakking				2. pakking			
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
2011								
0-10	47	46	41	45	47	44	47	46
10-20	45	45	43	44	44	40	43	42
20-30	44	42	42	43	44	38	40	41
30-40	35	33	30	33	32	29	27	29
2012								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	38	40	34	38	41	40	39	40
10-20	35	35	32	34	36	37	36	36
20-30	34	30	30	31	39	34	35	36
30-40	29	24	22	25	27	27	27	27
2013								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	30	32	31	31	47	48	46	47
10-20	31	32	31	31	43	43	38	41
20-30	32	32	32	32	43	41	37	40
30-40	27	26	28	27				

Jorda på Løken lagrar ikkje fullt så mykje vatn som jorda på Fureneset, men likevel mykje meir enn jorda på Tjøtta. Det var ikkje så stor skilnad i vassinnhald mellom dei ulike pakkingane, men gjerne litt tørrare i 2013 (Tabell 3.23).

Tabell 3.23. Vassinnhald i jord i vekt % ved dei ulike pakkingane på Løken 2011-2013.

Djupne,	1. pakking				2. pakking			
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
2011								
0-10	37	34	34	35	40	35	37	38
10-20	35	32	32	33	37	33	34	35
20-30	35	32	31	32	37	32	31	33
30-40	28	27	27	28	34	28	30	31
2012								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	42	36	39	39	38	32	34	35
10-20	36	33	28	32	36	30	31	32
20-30	34	30	30	31	33	27	27	29
30-40	29	27	28	28	30	26	25	27
2013								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	35	32	35	34	34	32	33	33
10-20	33	30	32	31	31	31	32	31
20-30	30	27	26	28	28	26	28	28
30-40	25	25	25	25	27	24	26	26

Vassinnhald i jord kan også uttrykkjast i % av feltkapasitet. Dersom vassinnhaldet er 100% av feltkapasitet betyr det at vatnet har drenert bort frå store og mellomstore porer (>30 µm). Er vassinnhaldet mindre enn 100% av feltkapasitet betyr det at ein del av vatnet også i dei mindre porene er borte. Dette vatnet forsvinn ved hjelp av fordamping og transpirasjon frå jord og planter. Er vassinnhaldet større enn 100% av feltkapasitet vil også ein del av porene > 30 µm vere fylte med vatn. Jorda på Tjøtta har eit svært høgt innhald av store og mellomstore porer (>20%). Det vil sei at ved feltkapasitet er innhaldet av vatn i jorda lågt. Tabell 3.24 syner at ved alle pakkingar har jorda på Tjøtta hatt eit vassinnhald lågare enn ved feltkapasitet. Særleg ved 2. pakking i 2011 og ved 1. pakking i 2012 har ein hatt forhold der også ein stor del av dei mindre porene er tømde for vatn.

Tabell 3.24. Vassinnhald i jorda på Tjøtta på alle pakkingsledd i % av feltkapasitet rekna ut med grunnlag i sylinderprøver tatt etter vekstsesongen 2012.

	1. pakking				2. pakking			
2011								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	80	62	94	78	51	42	58	50
10-20	84	80	94	86	56	57	64	59
20-30	109	102	111	107	78	72	82	77
2012								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	39	30	38	36	82	76	96	84
10-20	46	39	44	43	85	87	96	89
20-30	60	55	64	60	109	106	110	108
2013								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	66	55	73	64	95	88	101	94
10-20	69	67	74	70	86	90	93	90
20-30	95	85	96	92	123	96	103	108

Jorda på Fureneset har eit lågt innhald av store og mellomstore porar (<10%). Ved feltkapasitet er dermed vassinnhaldet mykje høgare i jorda på Fureneset enn i jorda på Tjøtta. Ved begge pakkingar i 2011 og ved 2. pakking i 2012 var vassinnhaldet i øvste sjiktet større enn ved feltkapasitet, medan det ved dei andre pakkingane låg under. Det var tørraste ved 1. pakking 2013, då ein god del av dei mindre porene også var tømde for vatn (Figur 3.25).

Tabell 3.25. Vassinnhald i jorda på Fureneset på alle pakingsledd i % av feltkapasitet rekna ut med grunnlag i gjennomsnittet av sylinderprøver tatt etter vekstsesongen 2012 og 2013.

	1. pakking				2. pakking			
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
2011								
0-10	104	107	107	106	103	104	122	109
10-20	93	94	111	98	91	84	111	94
20-30	140	106	138	126	142	95	132	121
2012								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	84	95	88	89	90	94	100	94
10-20	72	73	83	75	74	77	93	81
20-30	109	76	99	93	125	86	116	107
2013								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	67	76	81	74	104	113	118	111
10-20	65	66	79	70	89	89	97	91
20-30	102	80	105	94	137	102	123	119



Bilete 3.7. Uttak av jordprøver for å bestemme jordfukt. Foto: Synnøve Rivedal.

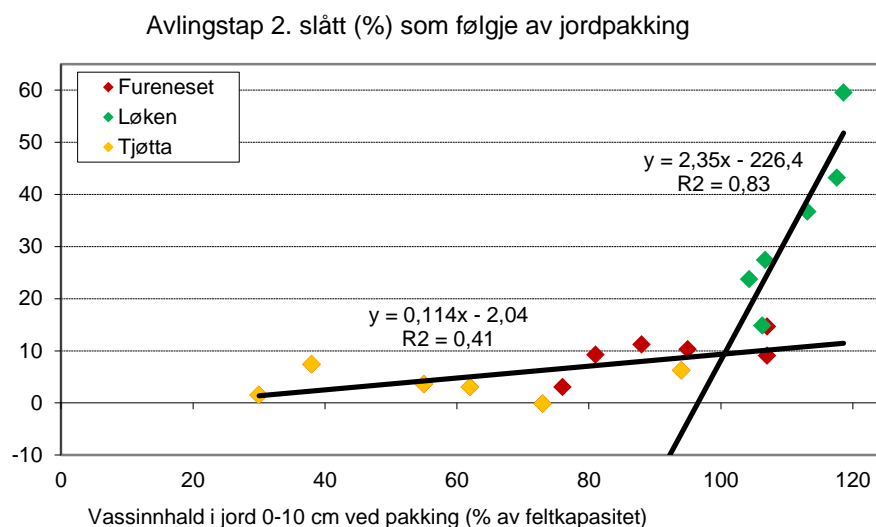
Jorda på Løken ligg på nivå med Fureneset når det gjeld fordelinga av porestorleiken og har <10% store og mellomstore porar. Figur 3.26 syner at ved alle pakkingane på Løken var vassinnhaldet over eller låg rundt vassinnhald ved feltkapasitet. Særleg ved 2. pakking i 2011 og 1. pakking i 2012 var ein god del av porene >30 µm fylte med vatn.

Tabell 3.26. Vassinnhald i jorda på Løken på alle pakkingsledd i % av feltkapasitet rekna ut med grunnlag i sylinderprøver tatt etter vekstsesongen 2013.

	1. pakking				2. pakking			
2011								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan køyring	Lett	Tung	Middel
0-10	107	113	104	108	115	117	114	115
10-20	106	99	98	101	112	102	104	106
20-30	107	107	107	107	114	109	106	110
2012								
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	119	119	118	118	107	106	103	106
10-20	109	101	87	99	107	93	96	99
20-30	105	101	102	103	103	93	94	96
	1. pakking				2. pakking			
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	101	107	106	104	97	107	102	101
10-20	99	92	97	96	94	96	97	96
20-30	94	92	88	91	88	89	96	91

3.2.4 Vassinnhald i jord og avlingstap

Det er kjent at våt jord er meir utsett for jordpakking enn tørr jord. Det var stor skilnad mellom felta både i jordfuktigheit ved køyring og i avlingsreduksjon. Vi ville derfor sjå om det var ein samanheng mellom vassinnhald i jord ved køyring etter 1. slått (1. pakking) og avlingsreduksjonen som følgje av pakking ved 2. slått same året. Ved å sjå på alle felt samla i åra 2011, 2012 og 2013 fekk ein likninga: $Y = 0,423X - 21,21$, $R^2=0,48$ og $p=0,001$. Løken skilde seg ut med høg jordfuktigheit og stort avlingstap, og då dette feltet vart behandla for seg vart $R^2 = 0,83$ (Figur 3.8) med ein p-verdi på 0,011. Tala for Fureneset og Tjøtta (behandla i lag) viste ein mykje dårlegare samanheng mellom jordfukt og avlingstap med R^2 på 0,41. Samanhengen var likevel signifikant med p-verdi på 0,024.



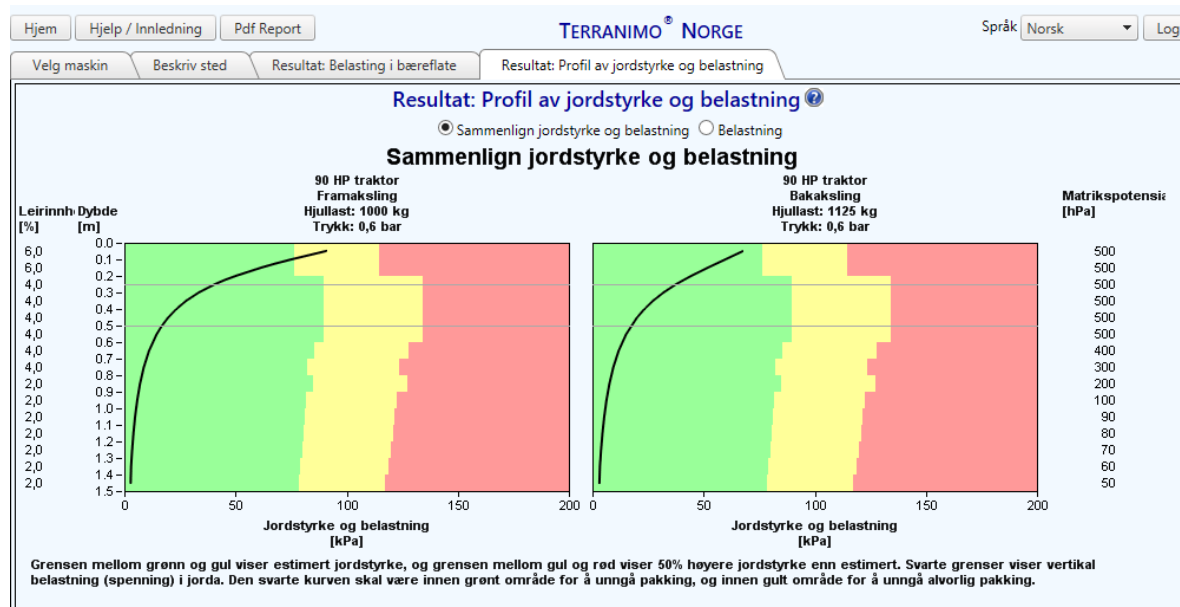
Figur 3.8. Samanhengen mellom avlingstap ved 2. slått og vassinnhald i jord ved pakking ved 1. slått.

3.2.5 Terranimo®- predikering av faren for jordpakking

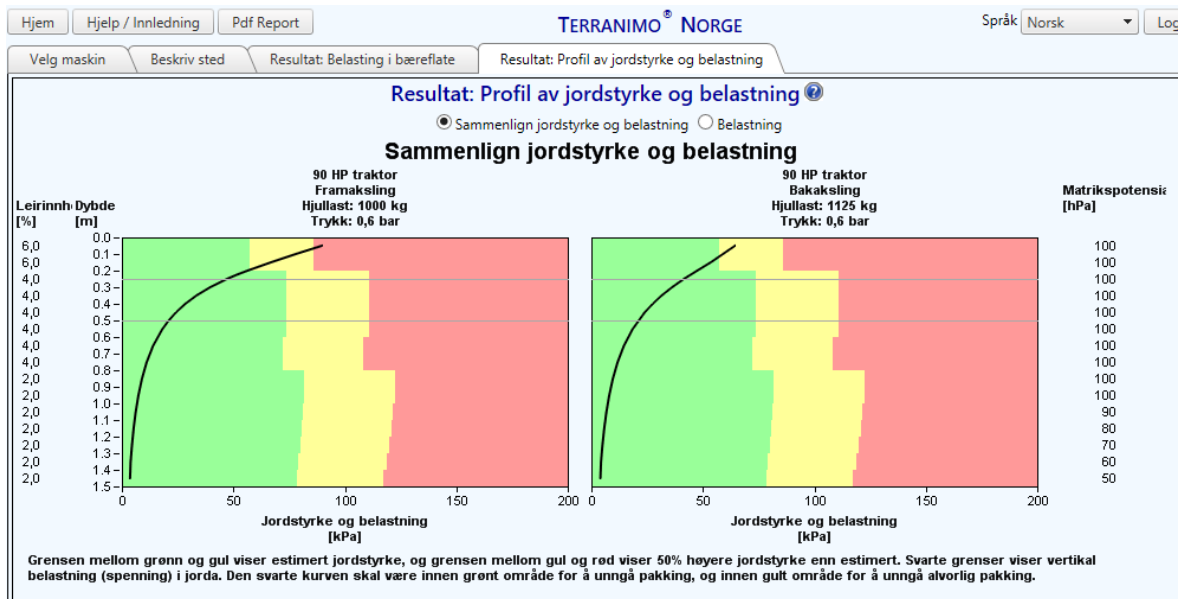
Terranimo® er ein modell som predikerer faren for jordpakking ved køyring med traktor og landbruksmaskiner. Det er opprinneleg ein dansk modell, men den er i dag også tilpassa norske forhold. Modellen finn ein på <http://www.terranimodk/> der ein kan velje Terranimo® Norway. I modellen legg ein inn type maskin og dekk, hjullast, lufttrykk i dekk, jordtype og jordfukt. Vi har lagt inn opplysingar om traktorane som er brukt på dei ulike felta og jordtypen og køyrt modellen for tørr, fuktig og våt jord (Figurar 3.9-3.29). Som det står på figurane viser den svarte streken vertikal belastning (spenning) i jorda. Den svarte kurva skal vere innanfor grønt område for å unngå jordpakking, derimot innanfor raudt område får ein skadeleg jordpakking.

3.2.5.1 Terranimo® Tjøtta

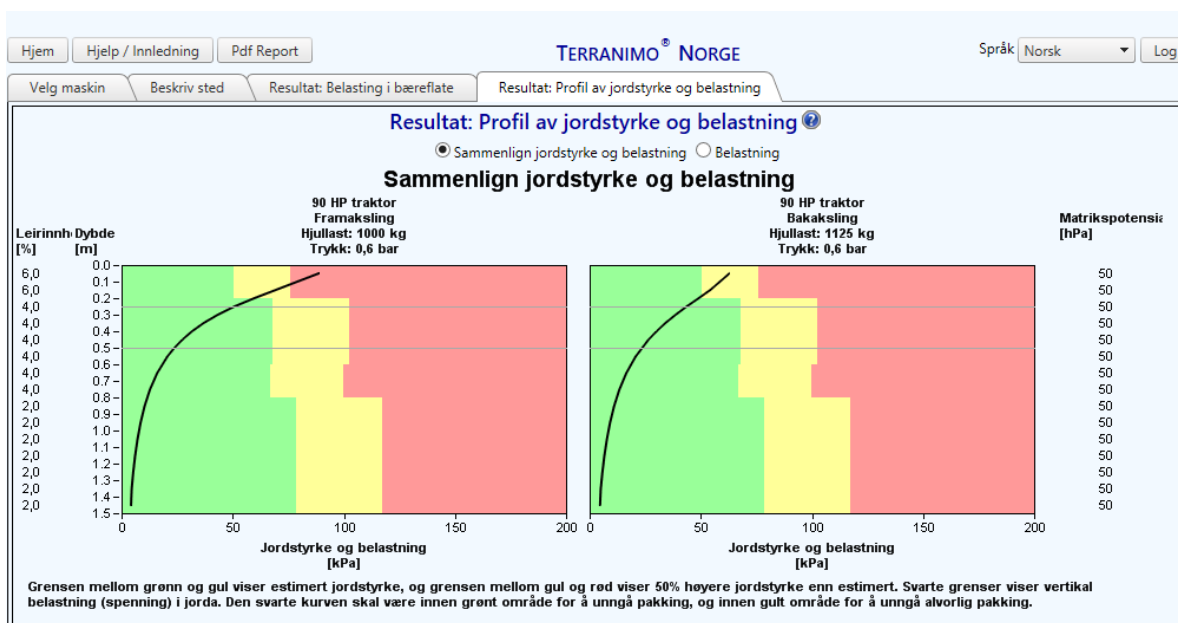
Køyring av modellen på Tjøtta viser at det er fare for jordpakking både ved bruk av den lette og tunge traktoren. Det er framhjula som gjev størst fare for jordpakking og faren er størst på våt jord (Figur 3.9-3.14). Dette ser ikkje ut til stemme så godt med resultatata når det gjeld jordfysiske målingar og avlingsregistreringar. Noko av forklaringa kan vere at køyringa her alltid vart utført på relativt tørr jord, alltid med vassinnhald <100% av feltkapasitet. At framhjula gjev større fare for pakking enn bakhjula kjem truleg på grunn av at dekkdimensjonen var mindre framme enn bak.



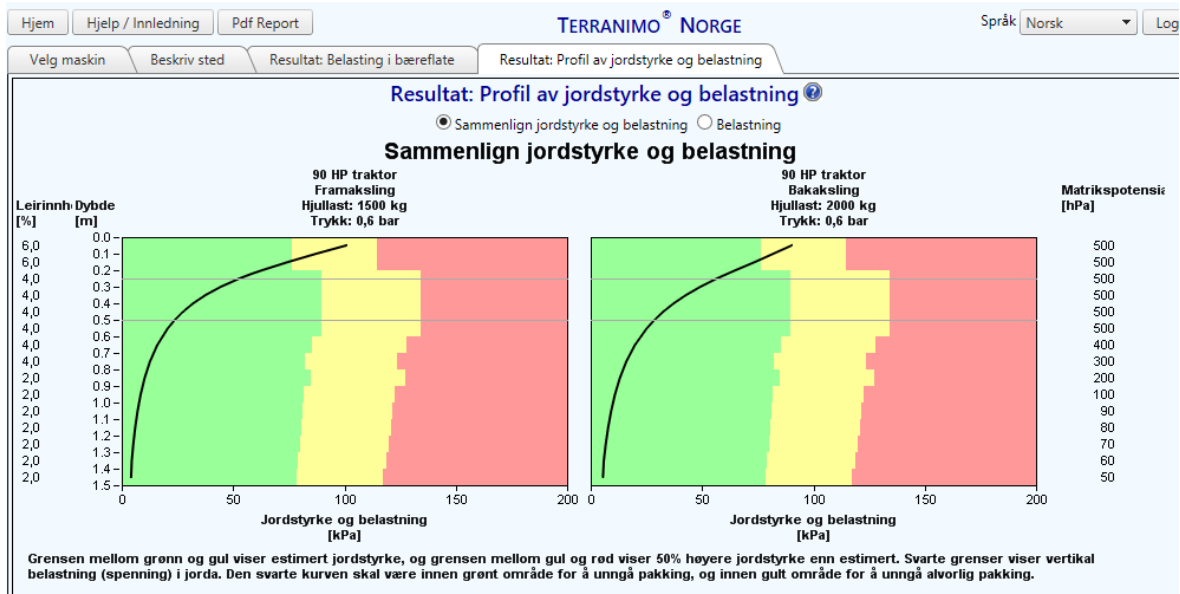
Figur 3.9. Lett traktor på tørr jord på Tjøtta.



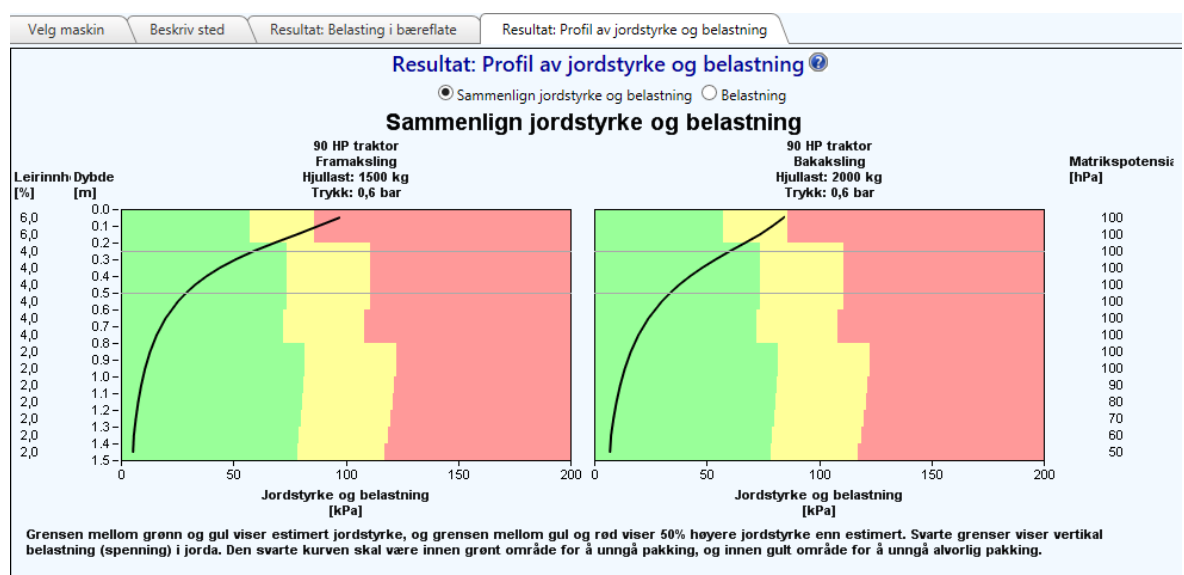
Figur 3.10. Lett traktor på fuktig jord på Tjøtta.



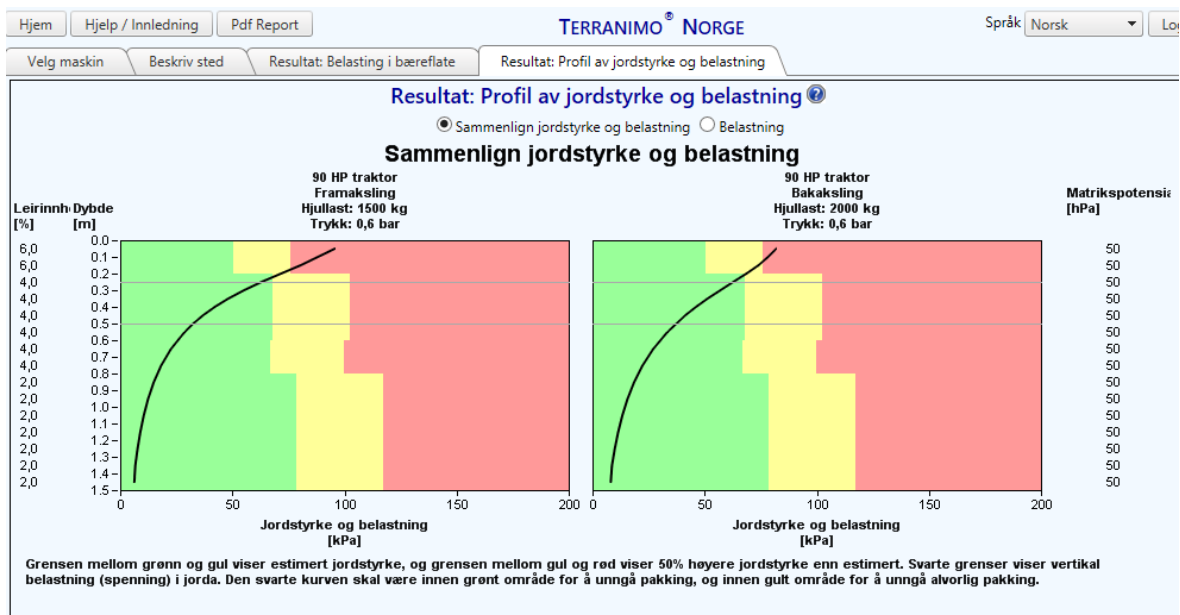
Figur 3.11. Lett traktor på våt jord på Tjøtta.



Figur 3.12. Tung traktor på tørr jord på Tjøtta.



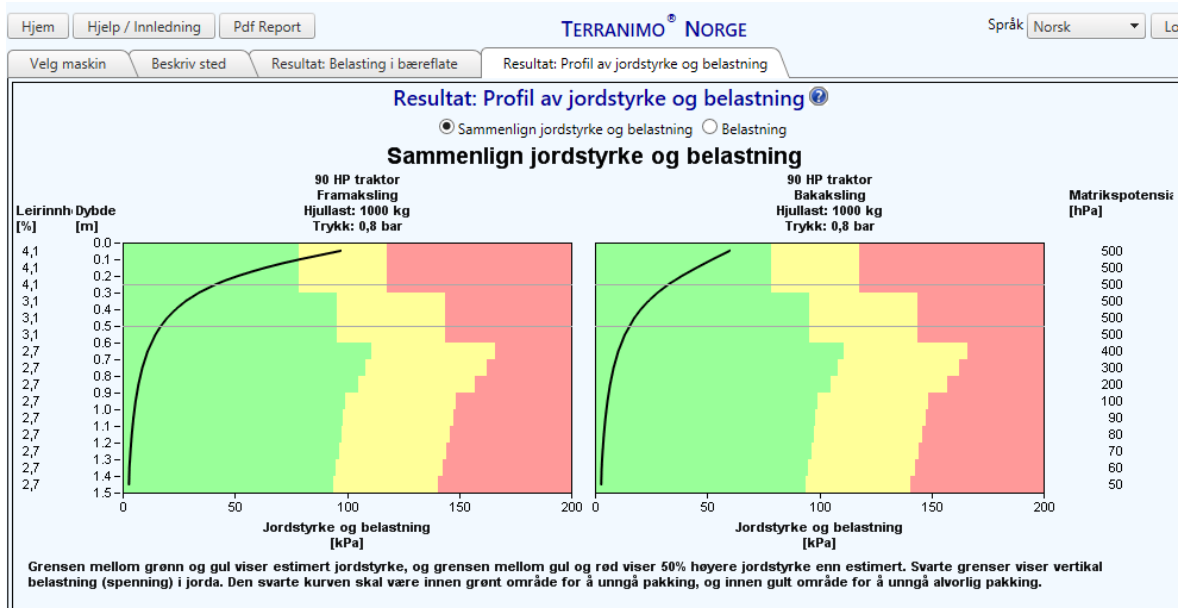
Figur 3.13. Tung traktor på fuktig jord på Tjøtta.



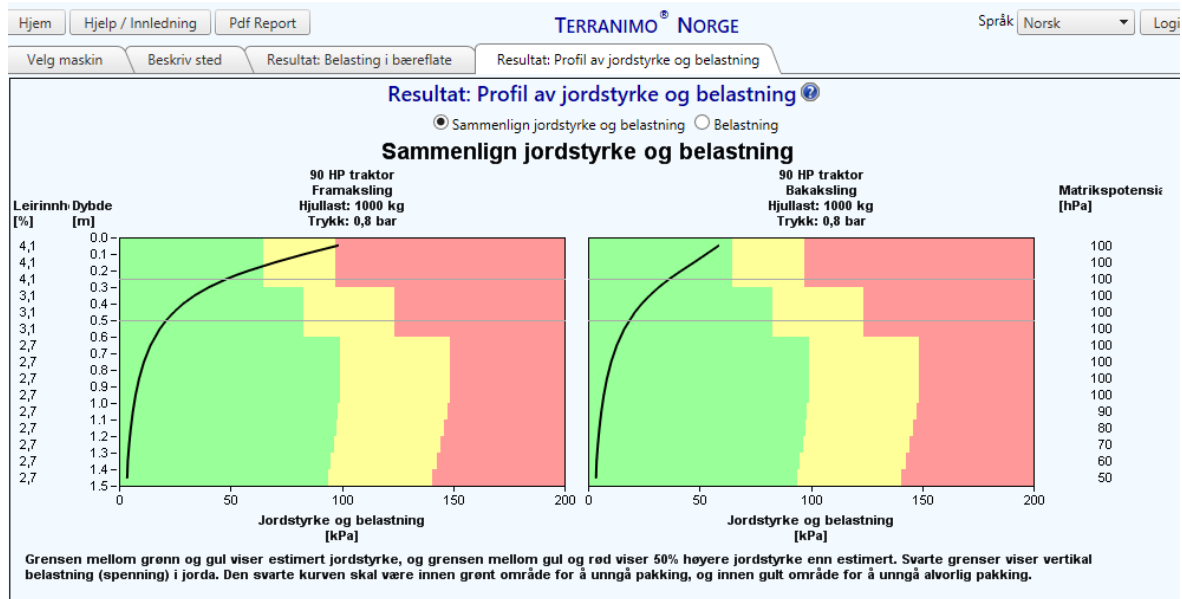
Figur 3.14. Tung traktor på våt jord på Tjøtta.

3.2.5.2 Terranimo® Fureneset

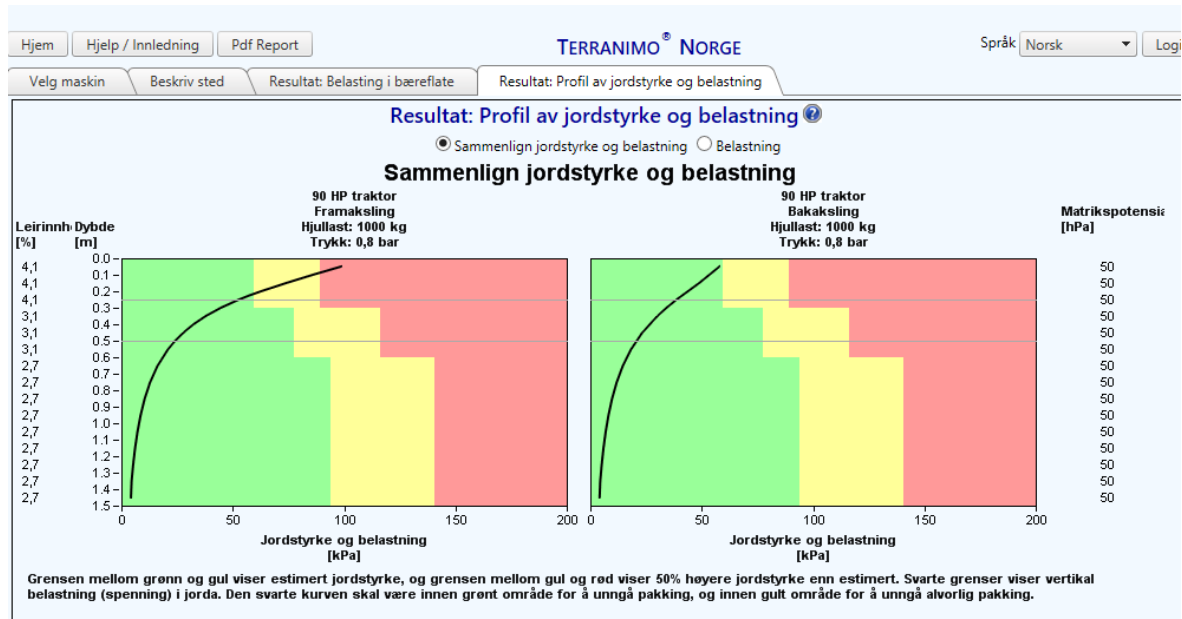
Køyring av modellen på Fureneset viser at det ved bruk av den lette traktoren aldri er fare for jordpakking frå bakhjula. Frå framhjula er ein innanfor det gule området på tørr og fuktig jord, medan det på våt jord er det fare for alvorleg jordpakking. For den tunge traktoren brukt i åra 2011-2013 gjev bakhjula moderat fare for jordpakking på tørr jord. Elles viser modellen fare for alvorleg jordpakking i det øvste sjiktet for begge akslingar og alle fuktforhold i jorda. Det var liten skilnad i vekt mellom den tunge traktoren som vart brukt i åra 2011-2013 og 2014-2015, men lufttrykka i dekk var ein god del høgre på traktoren som vart brukt dei to siste åra. Modellen viser at auka lufttrykk aukar faren for jordpakking mykje i det øvste sjiktet.



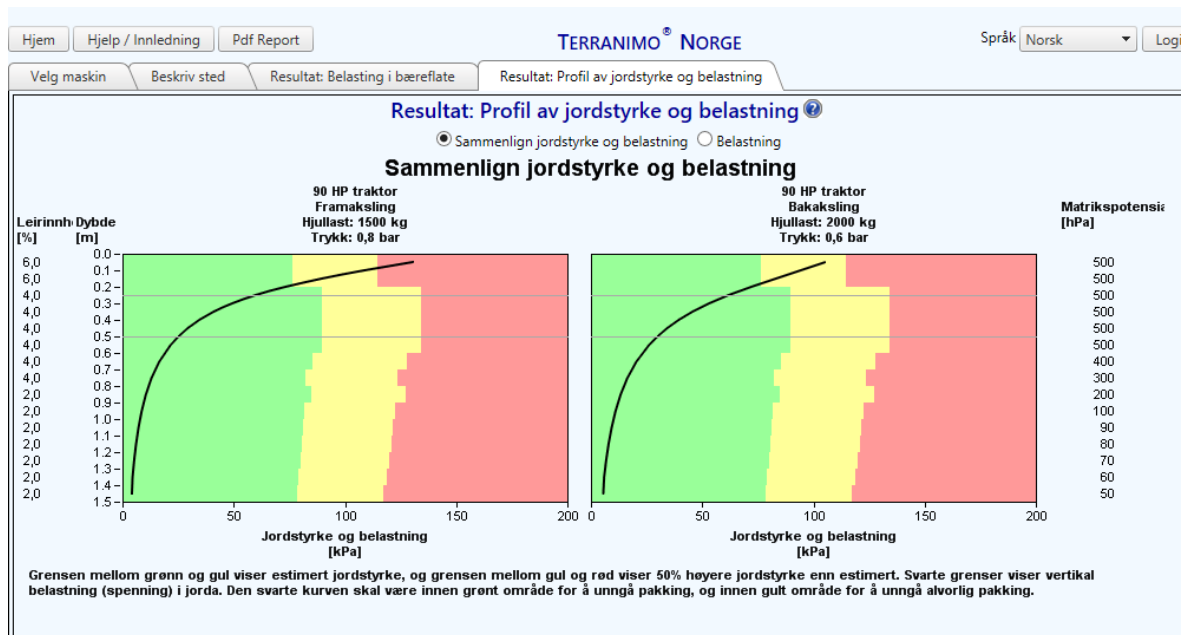
Figur 3.15. Lett traktor på tørr jord på Fureneset.



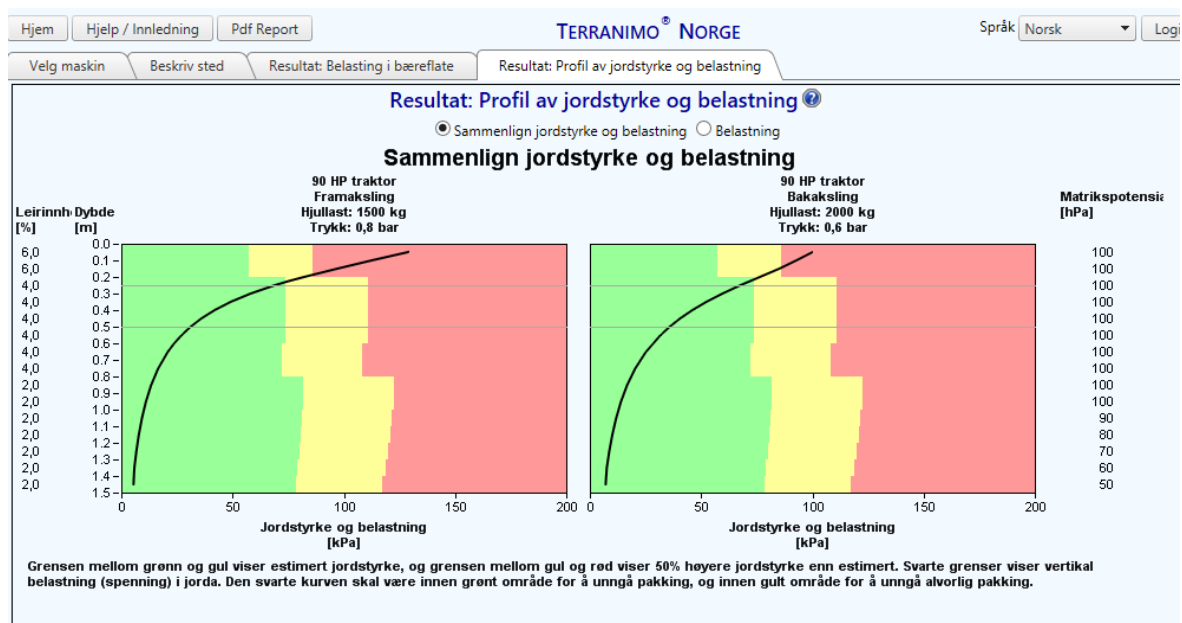
Figur 3.16. Lett traktor på fuktig jord på Fureneset.



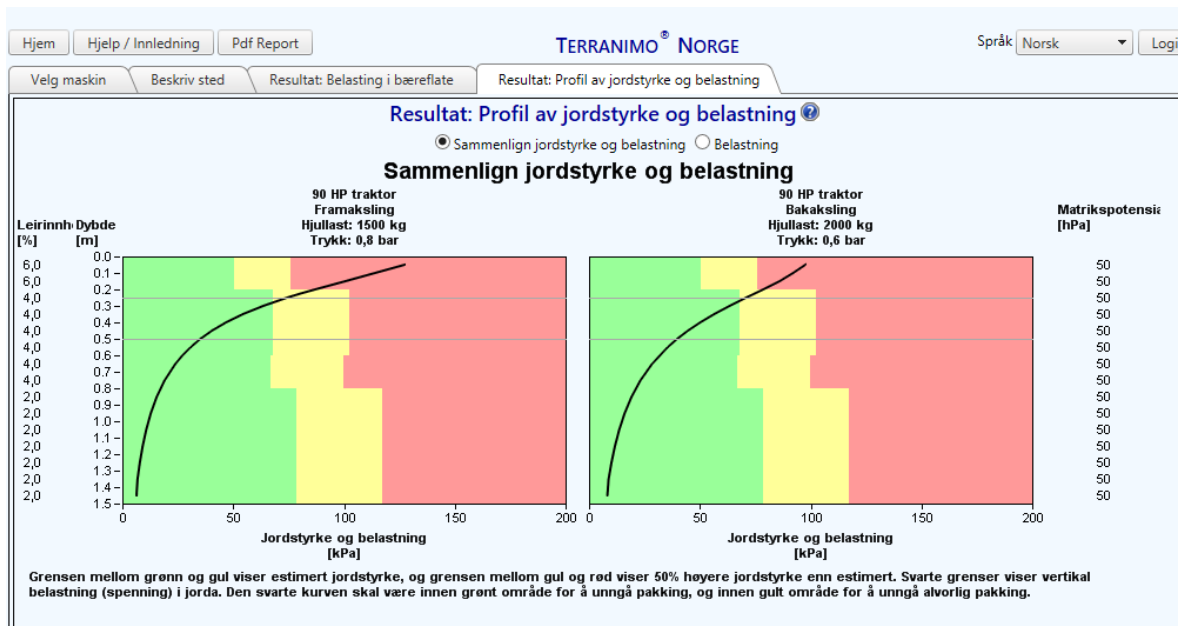
Figur 3.17. Lett traktor på våt jord på Fureneset.



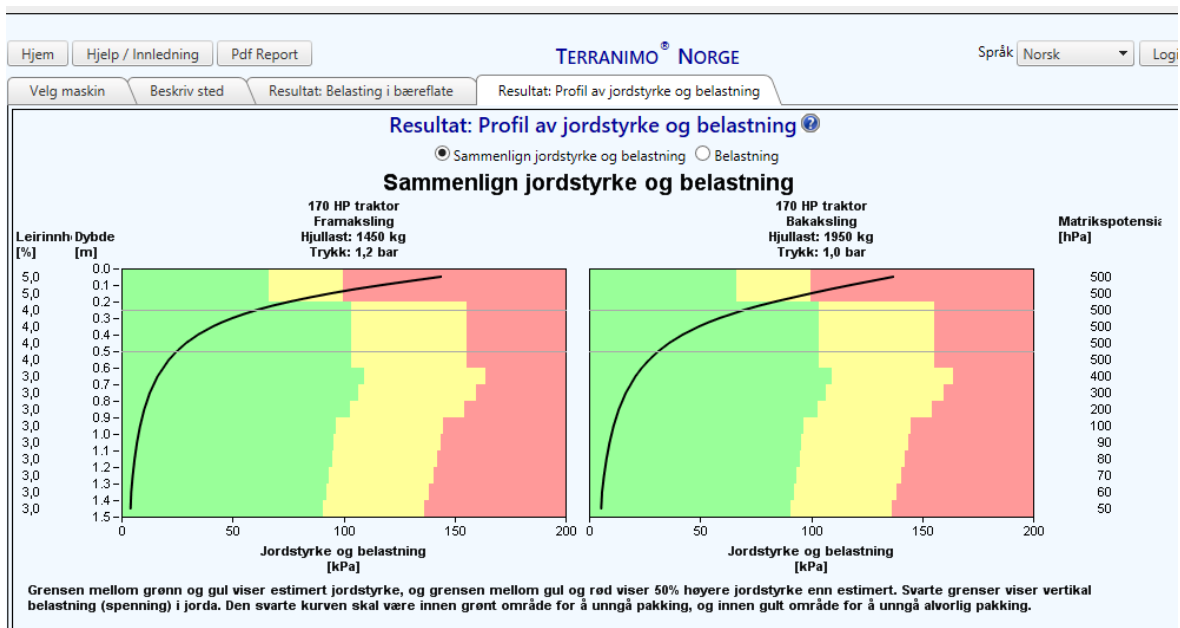
Figur 3.18. Tung traktor 2011-2013 på tørr jord på Fureneset.



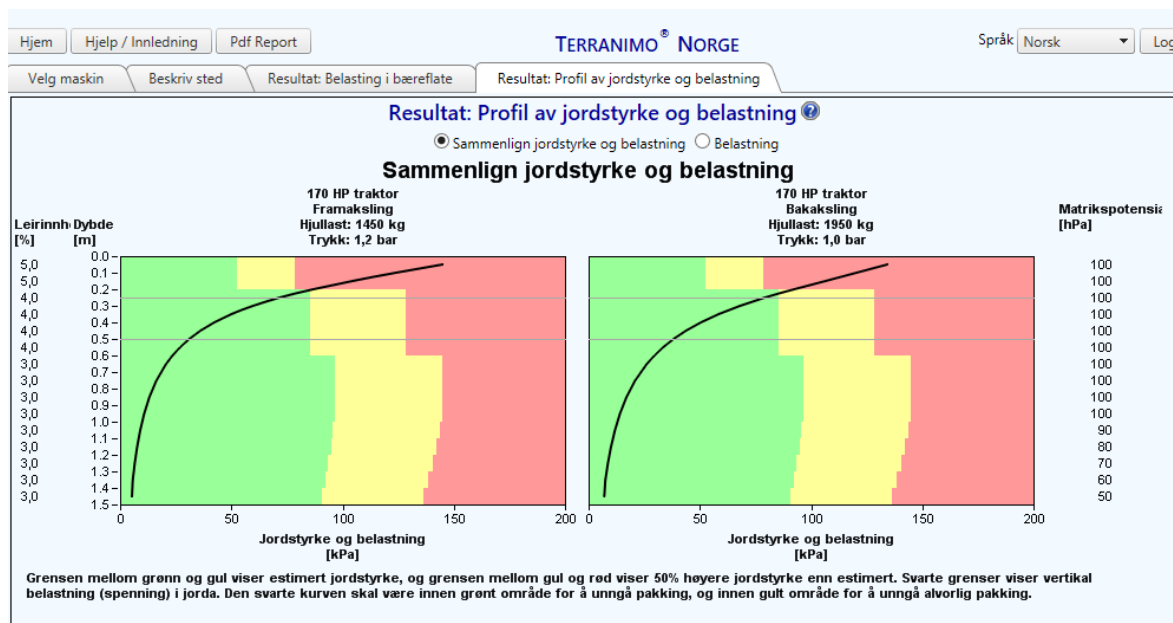
Figur 3.19. Tung traktor 2011-2013 på fuktig jord på Fureneset.



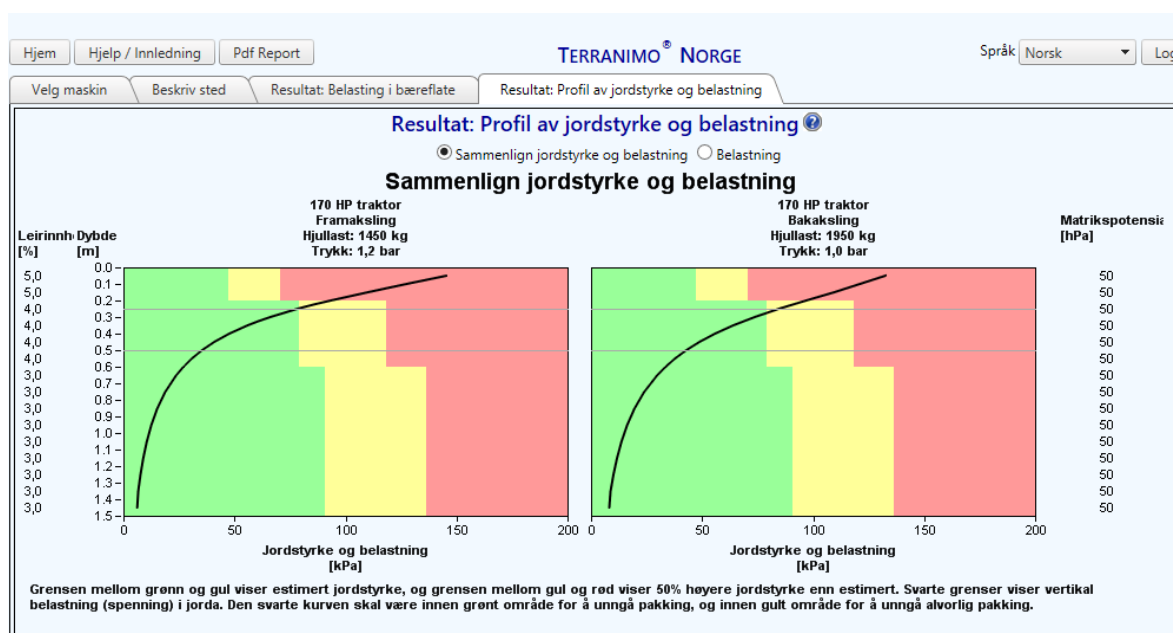
Figur 3.20. Tung traktor 2011-2013 på våt jord på Fureneset.



Figur 3.21. Tung traktor 2014-2015 på tørr jord på Fureneset.



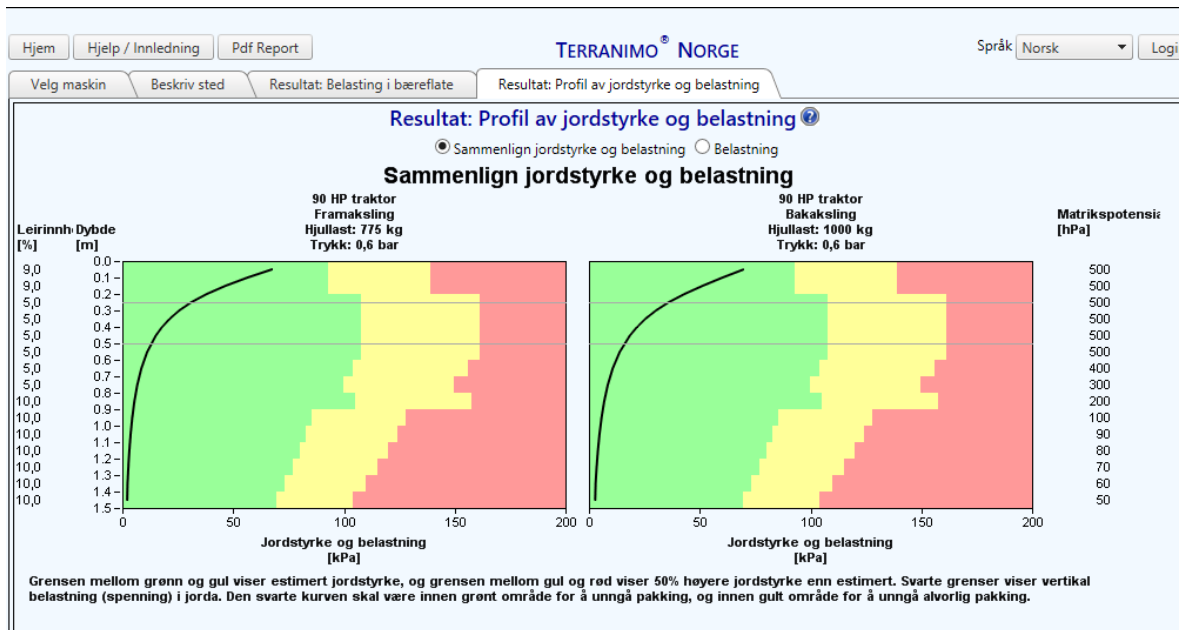
Figur 3.22. Tung traktor 2014-2015 på fuktig jord på Fureneset.



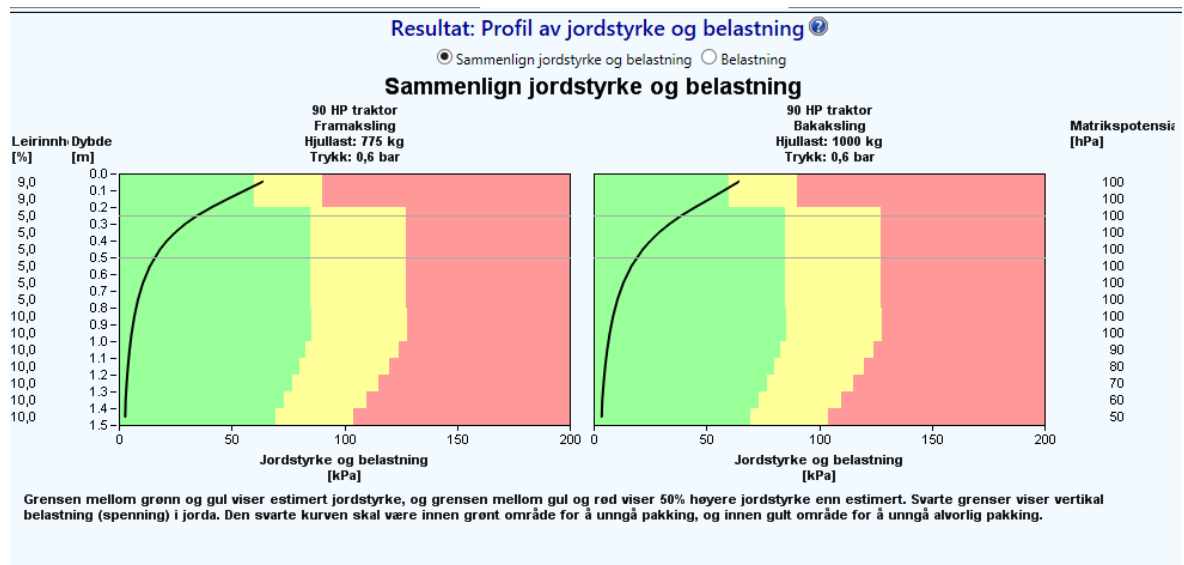
Figur 3.23. Tung traktor 2014-2015 på våt jord på Fureneset.

3.2.5.3 Terranimo® Løken

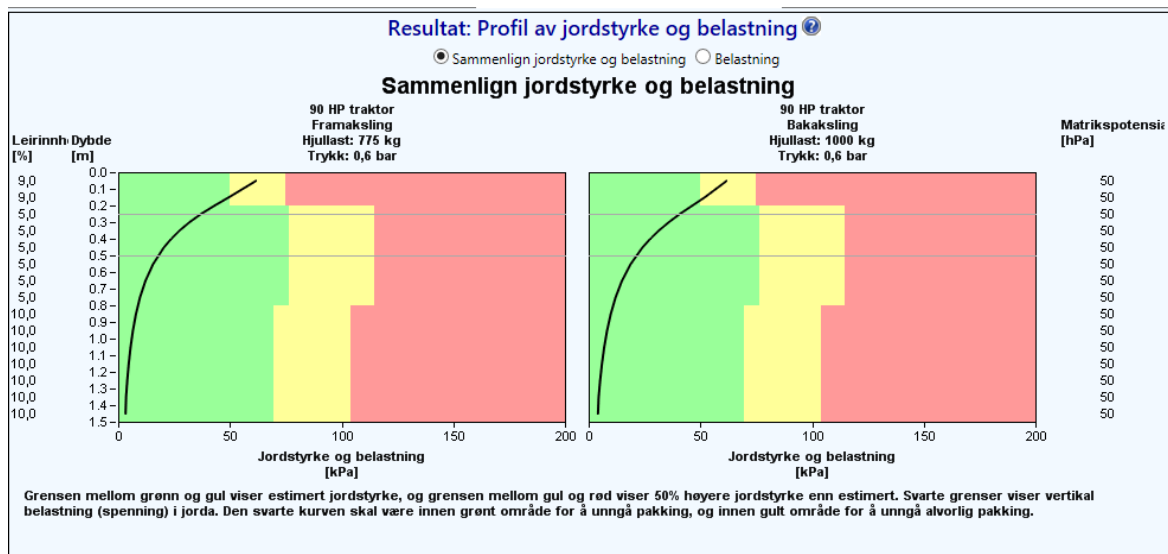
På Løken viste køyringane av modellen ein viss fare for jordpakking ved køyring på våt jord både for lett og tung traktor, men det var aldri fare for alvorleg jordpakking. Dette samsvarar ikkje med resultatata frå jordfysiske målingar der det kom fram at køyring med både lett og tung traktor resulterte i lågare luftkapasitet og luftpermeabilitet og høgare pakkingsgrad enn det som er optimalt.



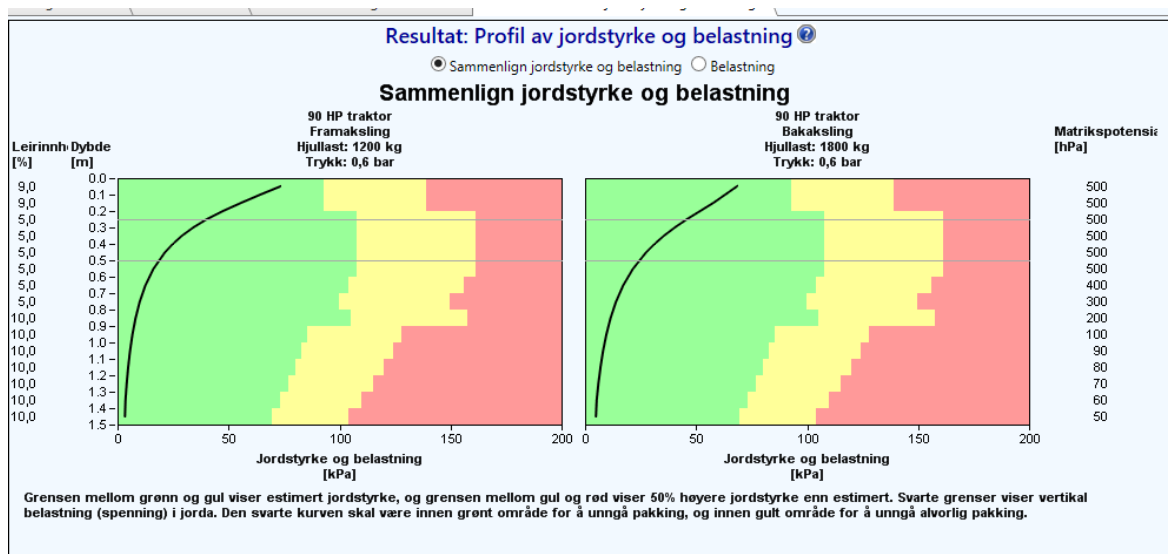
Figur 3.24. Lett traktor på tørr jord på Løken.



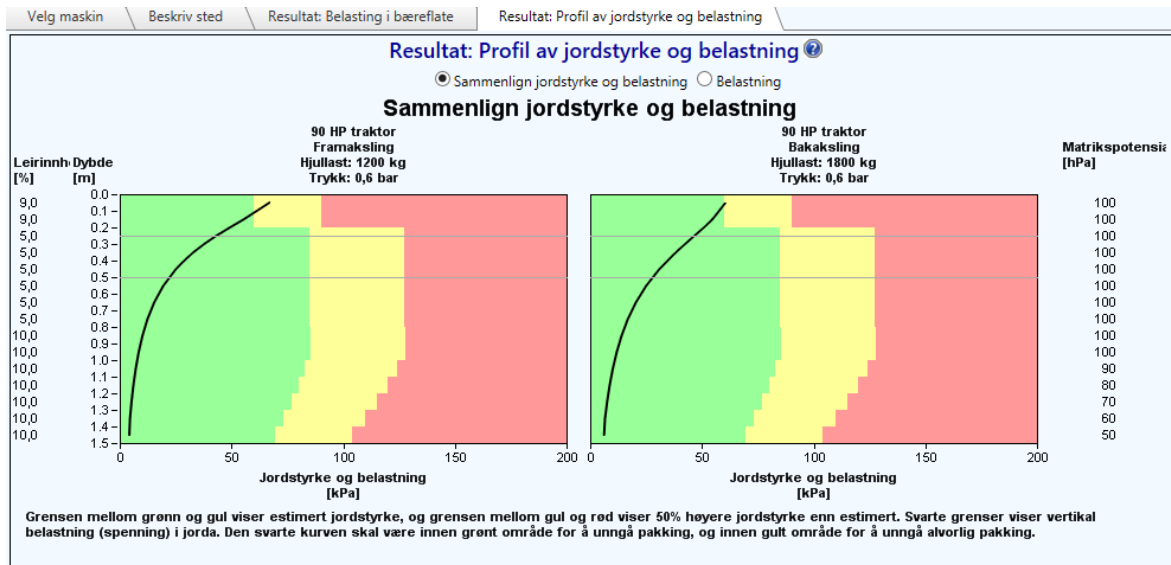
Figur 3.25. Lett traktor på fuktig jord på Løken.



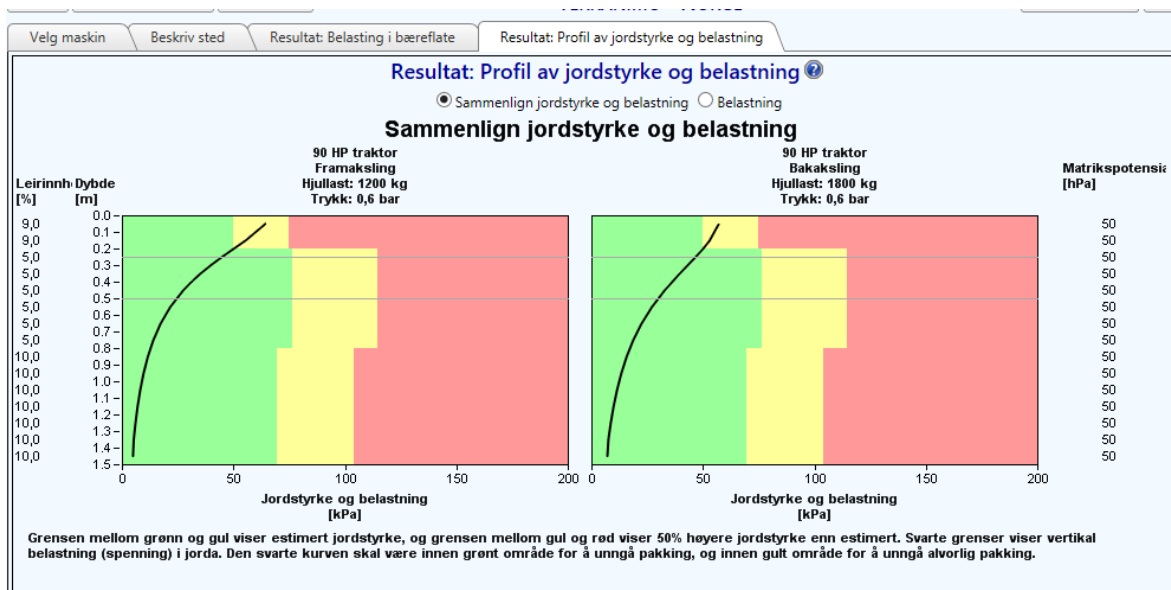
Figur 3.26. Lett traktor på våt jord på Løken.



Figur 3.27. Tung traktor på tørr jord på Løken.



Figur 3.28. Tung traktor på fuktig jord på Løken.



Figur 3.29. Tung traktor på våt jord på Løken.

3.2.6 Verknad på motstand i jord målt med penetrometer

Motstanden i jord er påverka av jordart og jordfuktigheit. Skilnader i nivå mellom dei ulike målingane skuldast i første rekke ulik jordfuktigheit ved måling. Dersom det er skilnad i jordfukt mellom pakkingsledda kan dette påverke resultatane. Dersom jorda på dei pakka ledda til dømes er fuktigare enn på dei upakka så vil motstanden ein måler vere lægre her enn om jordfukta hadde vore lik jordfukta på det pakka leddet. Dette er ikkje teke omsyn til i presentasjonen nedanfor.

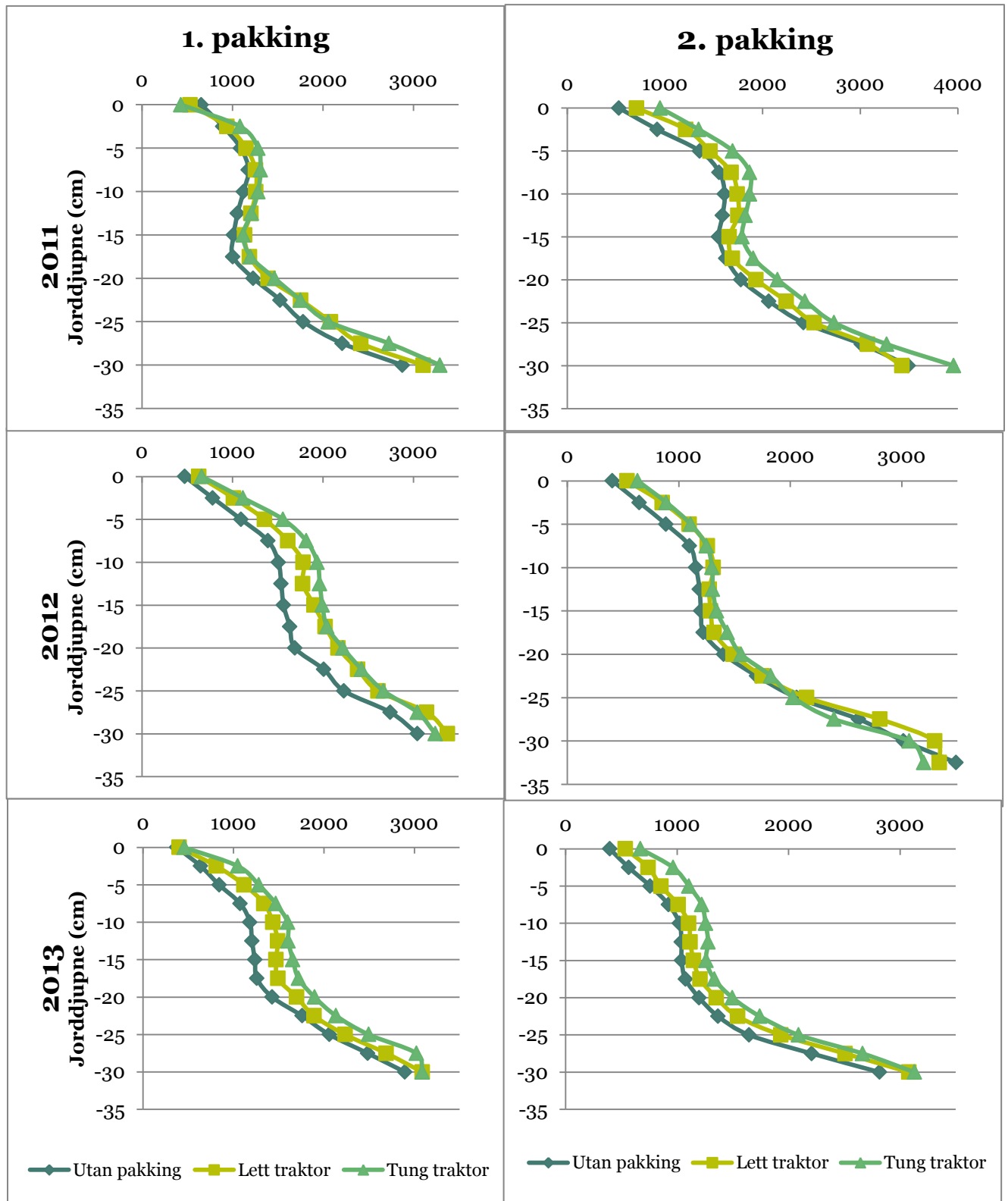
3.2.6.1 Tjøtta

Figur 3.30 viser at etter 1. pakking i 2011 såg det ut til å vere litt skilnad i motstand i jord mellom dei ulike pakkingsledda på Tjøtta, og ved djupnene 5 og 10 cm gav pakking signifikante utslag ($p < 0,05$). Etter 2. pakking same år var det berre i jordoverflata (0 cm) at skilnaden i motstand var signifikant. Ved 7,5 og 10 cm var samspelet pakking x repetisjon signifikant. Det var tørrare i jorda ved 2.

pakking enn ved 1. pakking i 2011 på Tjøtta. Etter 1. pakking i 2012 var det større skilnad i motstand mellom upakka og pakka ledd. Frå 0 til og med 7,5 cm djupne og frå 17,5 til 27,5 cm djupne var skilnaden signifikant. Etter 2. pakking i 2012 var skilnaden mindre, men likevel signifikant i djupna 0-12,5 cm. Det var fuktigare i jorda ved 2. pakking enn ved 1. pakking. Etter 1. pakking i 2013 hadde skilnaden i motstand mellom pakkingsledda igjen auka og den var no signifikant frå og med 2,5 til og med 25 cm djupne. Etter 2. pakking same år hadde skilnaden igjen minka og var no signifikant berre frå og med 2,5 til og med 12,5 cm djupne. Også dette året var det fuktigare i jorda ved 2. pakking enn ved 1. pakking.

Statistiske skilnader mellom lett og tung, med og utan traktor er berre rekna ut etter siste pakking i sesongen. I 2011 var det ingen sikre skilnader mellom lett og tung traktor på Tjøtta, men det var statistisk sikre skilnader mellom pakka og upakka i djupnene 0-2,5 cm og 20-22,5 cm. I 2012 var det heller ikkje sikre utslag mellom lett og tung traktor, men mellom pakka og upakka i 0-12,5 cm djupne. I 2013 var det sikre skilnader mellom lett og tung traktor i 2,5-7,5 cm djupne og mellom pakka og upakka i 12,5-15 cm djupne.

Penetrasjonsmotstand i jord (kPa)

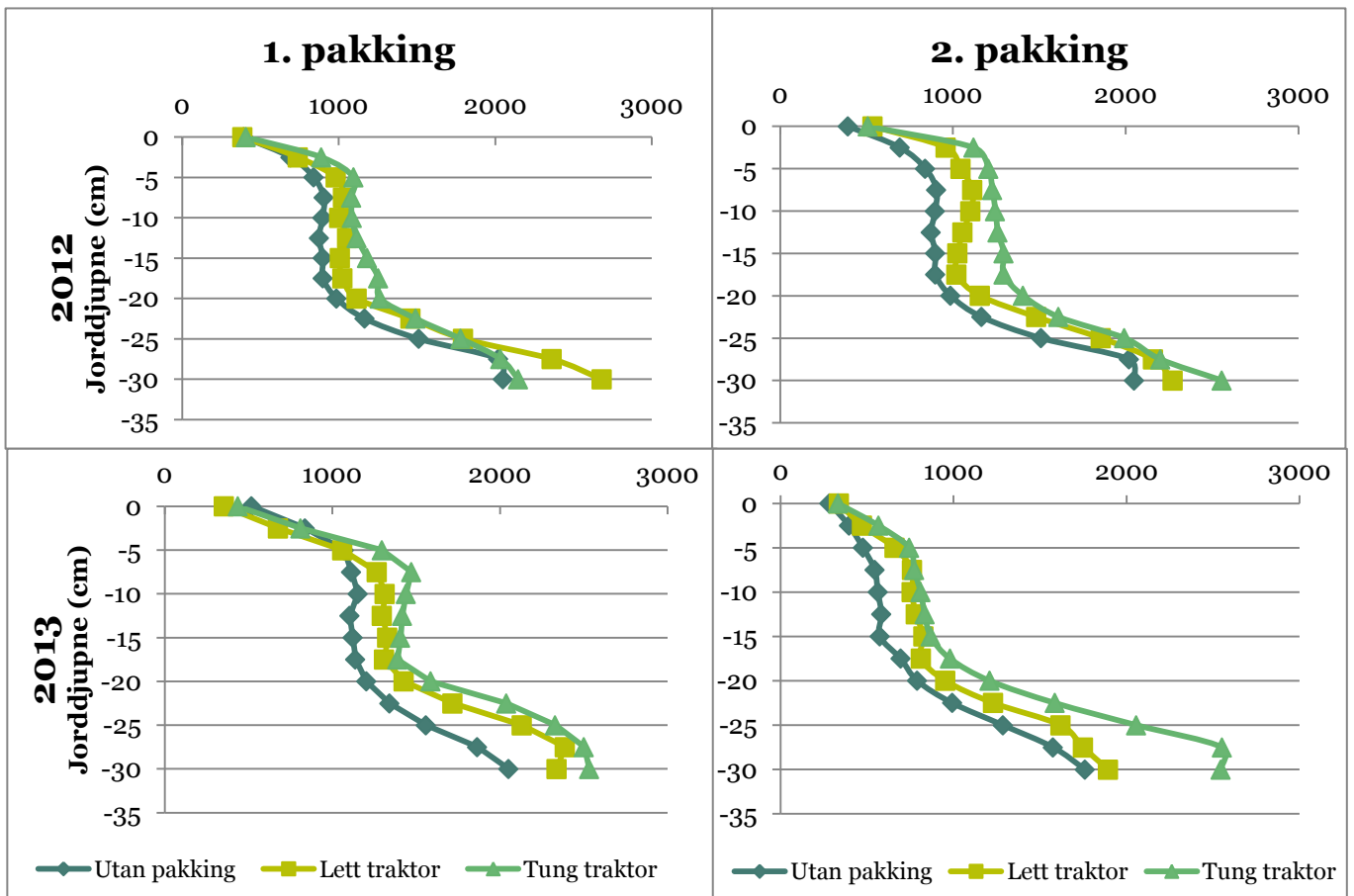


Figur 3.30. Motstand i jord målt med penetrometer etter dei ulike pakkingane på feltet på Tjøtta.

3.2.6.2 Fureneset

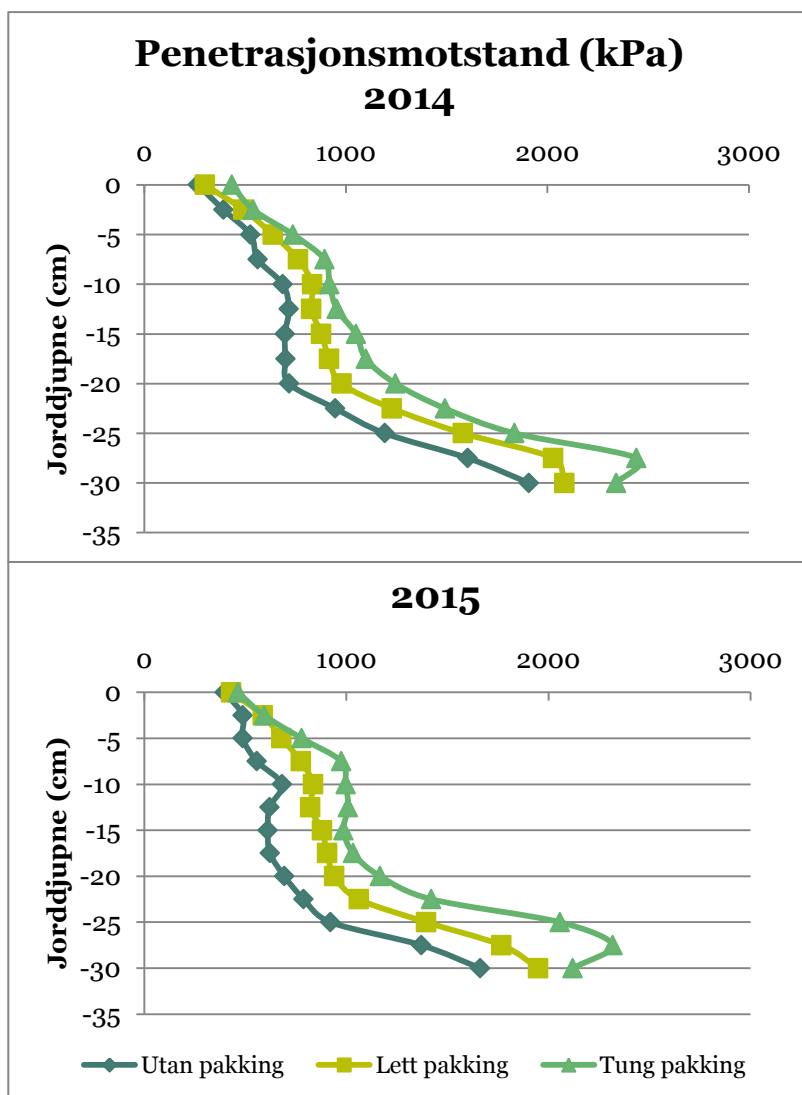
På Fureneset var det også utslag for pakking på motstanden i jord. Etter 1. pakking i 2012 var utslaget signifikant frå og med 10 til og med 17,5 cm djupne. Etter 2. pakking same år var skilnaden mellom pakkingsledda større, og den var signifikant frå og med 2,5 til og med 17,5 cm djupne. Dette året vart motstanden etter 1. og 2. pakking målt på same tid, rett før og rett etter pakkinga. Dette fordi det var så tørt då 1. pakking vart utført at ein ikkje klarte å gjennomføre penetrometermålingane. Målingane på upakka ledd er derfor dei same i figurane frå 1. og 2. pakking i 2012. Etter 1. pakking i 2013 var skilnaden mellom pakkingsledda signifikant frå og med 7,5 til og med 15 cm djupne medan den etter 2. pakking var signifikant frå og med 2,5 til og med 17,5 cm djupne (figur 3.31). Etter siste pakking i 2012 var det ingen sikre skilnader mellom lett og tung traktor, men mellom pakka og upakka i 7,5-15 cm djupne. I 2013 var det sikker skilnad mellom lett og tung traktor berre i 2,5 cm djupne og mellom utan og med pakking i 5-20 cm djupne.

Penetrasjonsmotstand i jord (kPa)



Figur 3.31. Motstand i jord målt med penetrometer etter dei ulike pakkingane i 2012 og 2013 på feltet på Fureneset.

Registreringane på feltet på Fureneset heldt fram i 2014 og 2015 og måling av motstand i jord vart utført etter kvar vekstsesong. Desse åra var det tre haustingar og pakkingar på feltet.



Figur 3.32. Motstand i jord målt med penetrometer etter vekstsesongen 2014 og 2015 på feltet på Fureneset.

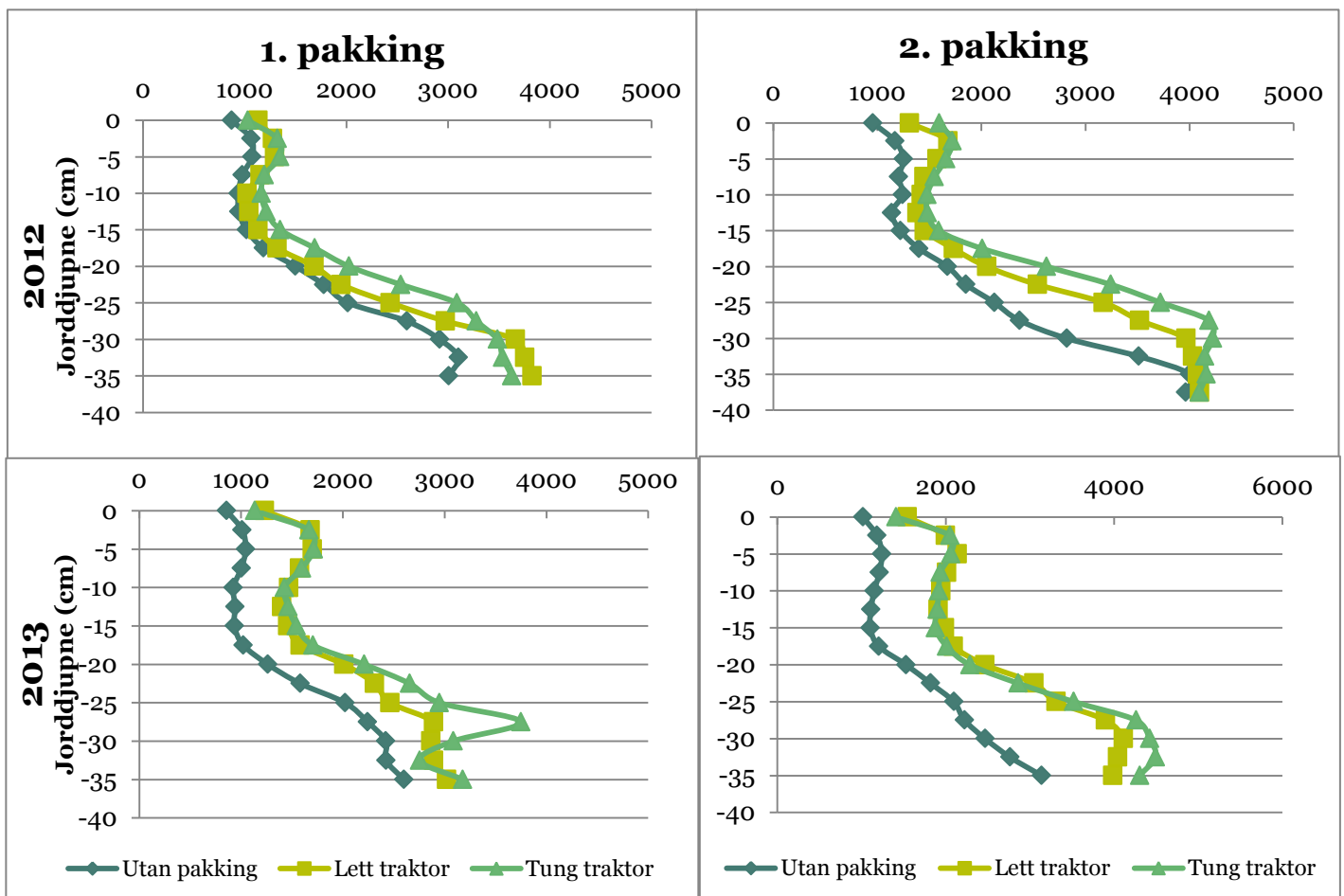
Skilnaden i motstand i jord mellom upakka, lett og tung traktor såg ut til å auke med åra på Fureneset (Figur 3.32). Etter endt vekstsesong i 2014 var det signifikante utslag av pakking i 7,5 cm og i 12,5-22,5 cm djupne. Signifikante skilnader mellom pakka og upakka ledd fekk ein om lag i same djupnene, medan skilnaden mellom lett og tung traktor berre var signifikant i 12,5 og 22,5 cm djupne (og tilnærma sign i 15 cm djupne). I 2015 gav pakking signifikante utslag i 5-7,5 cm, 12-17,5 og ved 25 cm djupne. Om lag same resultatet fekk ein mellom pakka og upakka ledd, medan ein ikkje fann signifikante skilnader mellom lett og tung traktor.

3.2.6.3 Løken

På Løken var det generelt meir motstand i jorda enn på Tjøtta og Fureneset. Verdiane låg på rundt 1000 kPa ned til rundt 15 cm djupne og auka til rundt 4000 kPa ved 35 cm djupne (Figur 3.33).

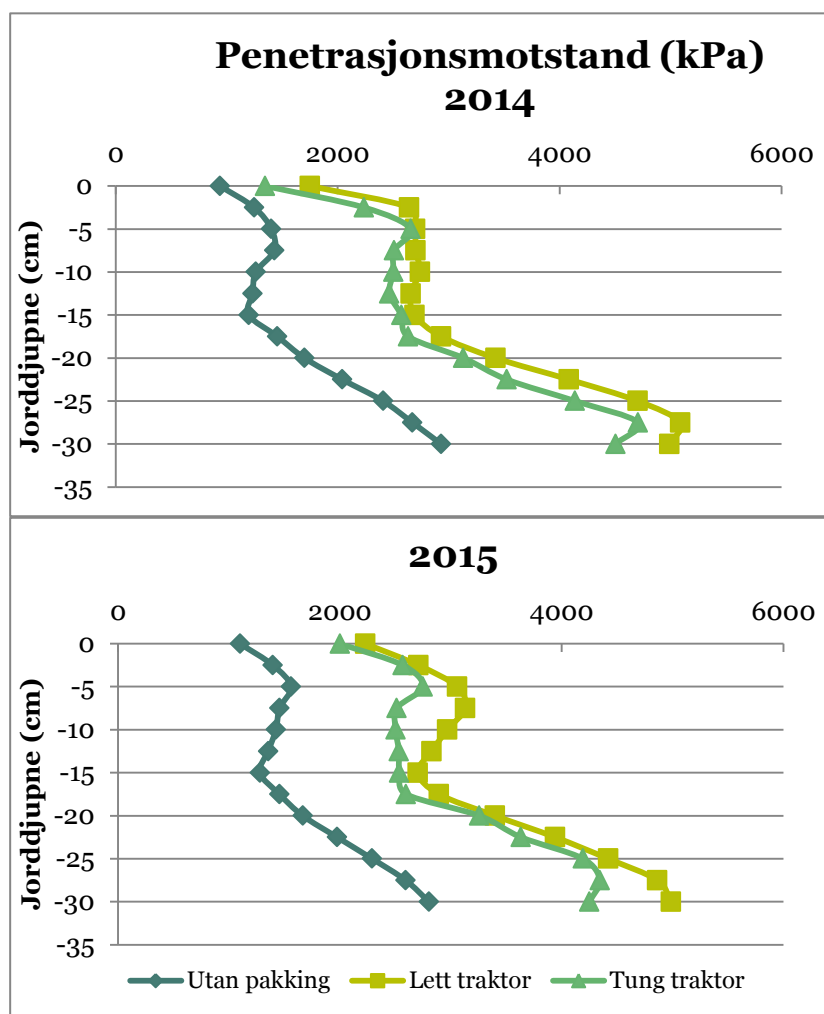
Allereie etter første pakking i 2012 var det ein tendens til at pakking auka motstanden i jorda. Pakking som enkeltfaktor gav ikkje signifikante utslag, men i samspel med repetisjon gav pakking signifikante utslag ($p < 0,05$) på motstand i jord i djupnene 2,5, 5, 12,5, 15, 25, og 27,5. Etter 2. pakking i 2012 gav pakking som enkeltfaktor sikre utslag i djupnene 0-2,5 og 20-22,5 cm, medan pakking i samspel med repetisjon gav sikre utslag frå 5-12,5 cm. Det var ikkje sikre skilnader mellom lett og tung traktor, men mellom pakka og upakka ledd var skilnaden i motstand signifikant frå 0-15 cm. Etter 1. pakking i 2013 var det frå og med 2,5 cm til og med 22,5 cm djupne signifikant større motstand i jord som var pakka med unntak av ved 20 cm. Her var pakking i samspel med repetisjon signifikant. Etter 2. pakking i 2013 var utslaget for pakking signifikant i heile djupneområdet 2,5 til 22,5 cm. I tillegg gav samspelet pakking x repetisjon utslag ved 25 og 30 cm. Signifikante skilnader mellom pakka og upakka ledd fann ein også i 2,5-22,5 cm djupne. Heller ikkje på dette tidspunktet var det sikre skilnader mellom lett og tung traktor.

Penetrasjonsmotstand i jord (kPa)



Figur 3.33. Motstand i jord målt med penetrometer ved 1. og 2. pakking i 2012 og 2013 på Løken.

Også på Løken heldt registreringane fram i 2014 g 2015 og målingane vart utførte etter endt vekstsesong.

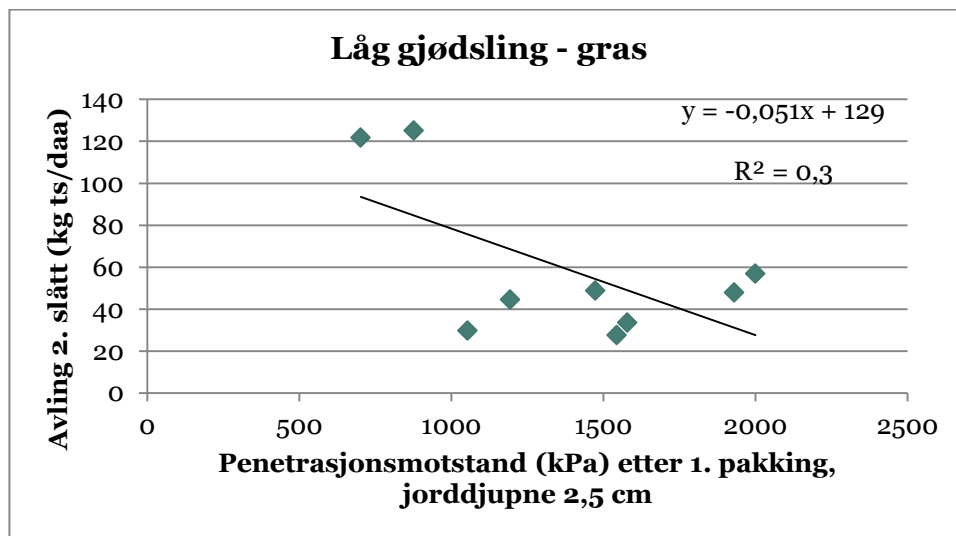


Figur 3.34. Motstand i jord målt med penetrometer etter vekstsesongen 2014 og 2015 på Løken.

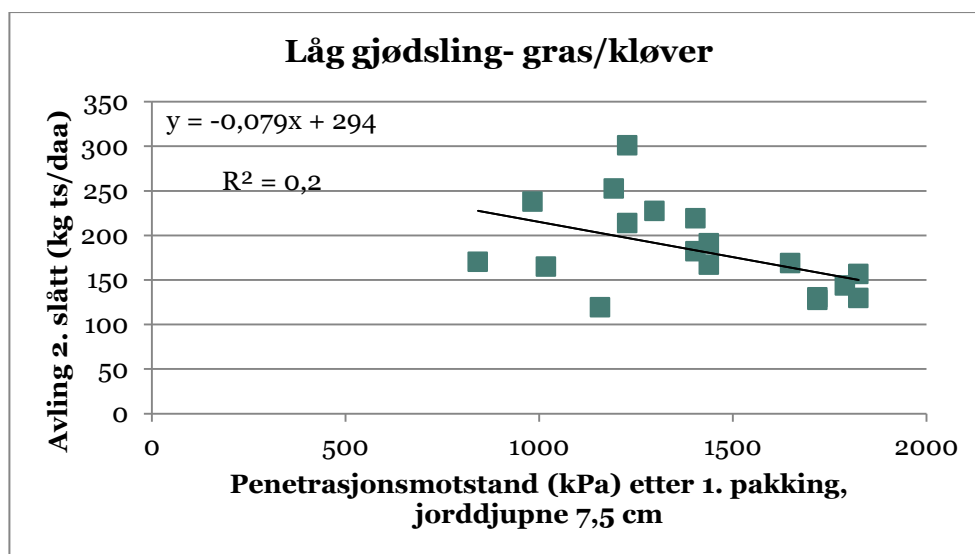
Figur 3.33 og 3.34 syner at motstanden i jord etter pakking på Løken auka svært mykje med åra. Etter vekstsesongen 2014 gav pakking signifikante skilnader i heile djupneområdet 2,5-30 cm. Med nokre få unntak var dette samanfallande med djupnene der pakka og upakka ledd gav signifikante skilnader. Same resultatet fann ein i 2015 berre med unntak av at utslaget også var signifikant ved jordoverflata (0 cm djupne). Det var ikkje skilnad mellom lett og tung traktor verken i 2014 eller i 2015.

3.2.7 Motstand i jord og avling

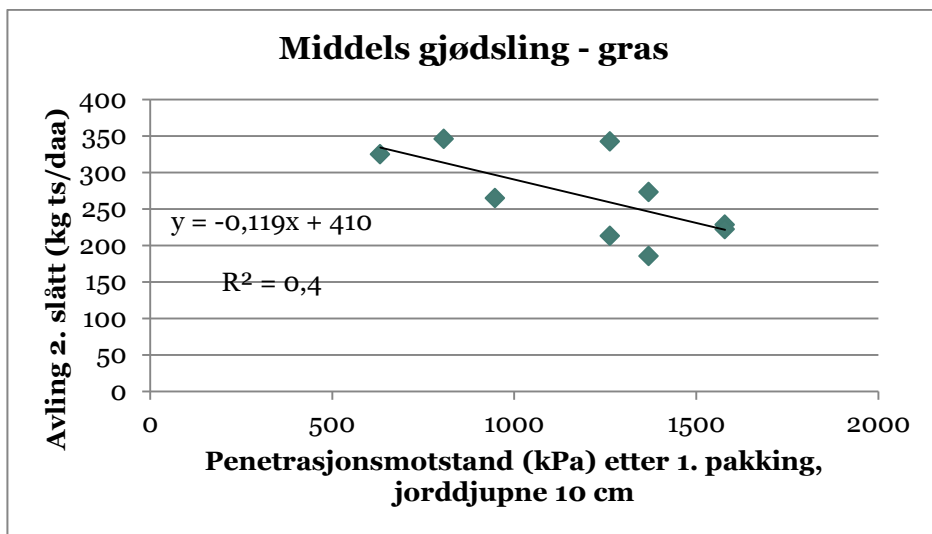
På Løken, som både hadde stor avlingsreduksjon og stor auke i motstanden i jord etter pakking, testa vi om det var ein samanheng mellom motstanden i jord etter 1. pakking og avlinga ved 2. slått. Gjødslingsnivå og frøblanding påverka avlinga mykje og desse vart derfor behandla for seg. Det var liten skilnad i avling mellom 15 og 30% kløver i frøblandinga, så det vart delt mellom reint gras og gras/kløver. Figurane 3.35 til 3.38 er frå dei jorddjupnene som viste best samanheng mellom motstand i jord og avling. R^2 varierte her frå 0,17 til 0,45 og p-verdien frå 0,09 til 0,04. Det var få observasjonar, særleg for ledda med berre gras.



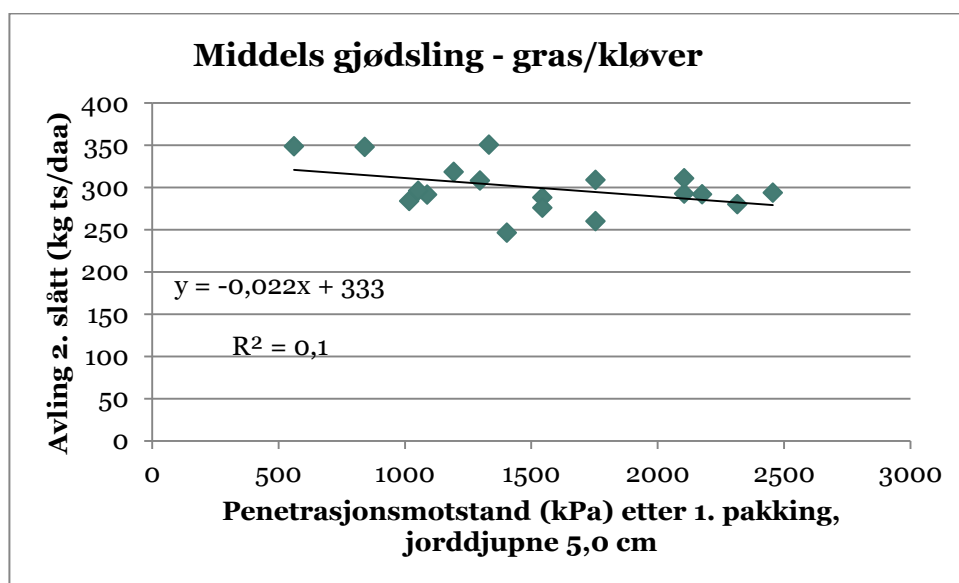
Figur 3.35. Samanheng mellom penetrasjonsmotstand (kPa) i jord ved 2,5 cm jorddjupne etter 1. pakking og avling ved 2. slått (kg ts/daa) på ledda med låg gjødsling og gras i reinbestand på Løken.



Figur 3.36. Samanheng mellom penetrasjonsmotstand (kPa) i jord ved 7,5 cm jorddjupne etter 1. pakking og avling ved 2. slått (kg ts/daa) på ledda med låg gjødsling og gras/kløver på Løken.



Figur 3.37. Samanheng mellom penetrasjonsmotstand (kPa) i jord ved 10 cm jorddjupne etter 1. pakking og avling ved 2. slått (kg ts/daa) på ledda med middels gjødsling og gras på Løken.



Figur 3.38. Samanheng mellom penetrasjonsmotstand (kPa) i jord ved 5 cm jorddjupne etter 1. pakking og avling ved 2. slått (kg ts/daa) på ledda med middels gjødsling og gras/kløver på Løken.

3.2.8 Spordjupne

Som regel var det grunnast spor på Tjøtta og djupast spor på Løken etter køyring på forsøksfelt, men dette varierte litt mellom år og pakkingsnummer. På Tjøtta gav alltid den tunge traktoren djupare spor enn den lette, og utslaget var sikkert med unntak av etter 2. pakking i 2011 og 2012. Det same var tilfelle på Fureneset, men her var utslaget sikkert berre etter 2. pakking i 2011, 1. pakking i 2012 og 1. pakking i 2013. På Løken derimot, gav lett og tung traktor anten lik spordjupne eller den lette traktoren laga djupast spor. Etter begge pakkingsane i 2013 var skilnaden i spordjupne mellom lett og tung traktor sikkert (tabell 3.27).

Tabell 3.27. Spordjupne (cm) etter køyring med lett og tung traktor.

	2011		2012		2013	
	1. pakking	2. pakking	1. pakking	2. pakking	1. pakking	2. pakking
Tjøtta						
Lett traktor	1,0	1,0	1,6	1,1	1,0	1,9
Tung traktor	1,7	1,4	2,8	2,0	2,5	2,7
P-verdi	0,05	0,08	0,004	0,08	0,005	0,009
Fureneset						
Lett traktor	2,5	2,3	1,8	2,0	1,9	2,3
Tung traktor	2,9	3,2	2,5	2,3	2,2	2,4
P-verdi	is	0,02	0,01	is	0,002	is
Løken						
Lett traktor	2,9	2,3	3,1	1,8	3,6	2,5
Tung traktor	3,0	2,1	2,5	1,8	1,8	1,7
P-verdi	is	is	is	is	0,007	0,008

Det har vore prøvd å gje generelle råd om kor djupe spora etter traktorkøyring kan vere før ein kan forvente avlingsreduksjon. Vi ville derfor finne ut om det var ein samanheng mellom spordjupne ved køyring etter 1. slått og avlingstap ved 2. slått. Figur 3.39 viser samanhengen som ei andregradslikning der $R^2=0,39$. Krumminga var ikkje signifikant. Ei lineær framstilling av samanhengen var signifikant ($P=0,008$) men hadde lågare forklaringsgrad ($R^2=0,36$). Avlingstapet etter pakking vart også rekna ut rutevis men her vart forklaringsgraden svært låg ($R^2=0,1$).

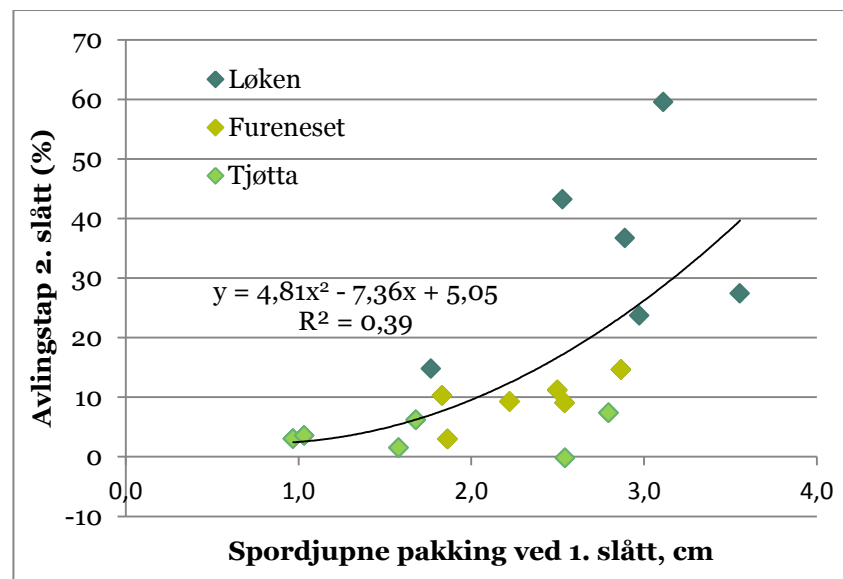


Fig. 3.39. Samanhengen mellom spordjupne etter pakking ved 1. slått og % avlingstap ved 2. slått.

Same spordjupne har gitt svært ulikt avlingstap på dei ulike stadane. Ein har hatt mykje større avlingstap på Løken ved same spordjupne som på Fureneset og Tjøtta. Dette tyder på at spordjupne ikkje alltid er eit godt nok mål for når ein kan køyre på jorda. Ein må i tillegg ta omsyn til kor utsett jordarten er for pakking.



Bilete 3.8. Spor etter køyring med tung traktor på Fureneset etter 3. slått 2015. Foto: Synnøve Rivedal.

4 Felteforsøk i NLR

4.1 Material og metodar

4.1.1 Omtale av lokalitetane

4.1.1.1 Plassering

I 2010 vart det etablert felt på dei tre lokalitetane Balsfjord i Troms, Fjærland i Sogn og Fjordane og Hokksund i Buskerud. Felta i Balsfjord og Hokksund gjekk i tre engår og vart avslutta i 2013, medan feltet i Fjærland gjekk ut etter to engår på grunn av vinterskade vinteren 2012/2013.

4.1.1.2 Jord

I Balsfjord vart feltet lagt ut på siltig mellomstrand, i Fjærland siltig sand og i Hokksund siltig lettleire. Det kjemiske innhaldet i jorda på dei ulike felta er vist i Tabell 4.1.

Tabell 4.1. Resultat av kjemiske jordanalyser frå prøver tatt ut våren 2010 på felta i Balsfjord og Hokksund og i 2012 i Fjærland.

Parameter	Eining	Balsfjord		Fjærland		Hokksund	
		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Volumvekt	kg/L	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1,5
pH	mg/100 g	6,2	6,3	6,0	5,8	6,4	6,5
Fosfor (P-AL)	mg/100 g	8,8	8,7	2,5	<2,0	32	11
Kalium (K-AL)	mg/100 g	19	20	8,3	5,2	47	24
Magnesium (Mg-AL)	mg/100 g	7,2	11	3,4	2,6	20	27
Kalsium (Ca-AL)	mg/100 g	66	79	100	46	200	150
Natrium (NA-AL)	mg/100 g	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	7,6	5,6
Glødetap	% TS	5,5	5,5	4,3	2,8	6,5	4,2
K-HNO ₃	mg/100 g	77	80	390	360	250	240

4.1.1.3 Vêr

I Troms var det ein varm vekstsesong i 2011. Særleg vår og haust låg temperaturen over 1961-1990-normalen. Det var også tørrare enn normalt, særleg i juni, august og september. I 2012 var temperaturen omtrent som normalen, men det var meir nedbør i mai og juli og mindre i august enn vanleg. I 2013 var det igjen høgare temperatur enn normalt. Juli skilde seg ut som ein våt månad medan det var tørt i mai og september (Tabell 4.2).

Tabell 4.2. Middeltemperatur (°C) og nedbør (mm) i forsøksperioden april-september i åra 2011-2013 og normalverdiar 1961-1990 for Bardufoss (stasjon 89350) i Troms. Kjelde: Meteorologisk institutt.

År		April	Mai	Juni	Juli	August	September	Middel	Sum
2011	Middeltemperatur	3,1	7,0	13,4	13,3	12,9	10,3	10,0	
	Nedbør	53	30	29	54	45	39		251
2012	Middeltemperatur	-1,1	4,9	9,5	11,8	10,8	6,3	7,0	
	Nedbør	32	67	34	101	30	64		328
2013	Middeltemperatur	0,1	10	13,1	13,4	12,8	9,5	9,8	
	Nedbør	38	8	68	107	67	28		316
Normalverdiar	<i>Middeltemperatur</i>	-0,2	5,6	10,5	13	11,5	6,3	7,8	
1961-1990	<i>Nedbør</i>	33	24	38	57	63	64		279

I Fjærland var vekstsesongen 2011 normal med omsyn til temperatur, men i månadane april til og med juli kom det mykje meir nedbør enn vanleg. Året etter var litt kaldare og det var mindre nedbør enn normalt i alle månader med unntak av i juli (Tabell 4.3).

Tabell 4.3. Middeltemperatur (°C) og nedbør (mm) i Fjærland (stasjon 55820) i Sogn og Fjordane for forsøksperioden april-september i åra 2011-2012 og normalverdiar 1961-1990. Kjelde: Meteorologisk institutt.

År		April	Mai	Juni	Juli	August	September	Middel	Sum
2011	Middeltemperatur	3,6	8,5	12,2	15,3	13,9	10,9	10,7	
	Nedbør	145	158	200	144	88	205		940
2012	Middeltemperatur	3,0	9,2	12,3	13,8	13,5	8	10,0	
	Nedbør	62	44	26	132	104	244		611
Normalverdiar	<i>Middeltemperatur</i>	3,7	9,6	13,3	14,3	13,3	9,3	10,6	
1961-1990	<i>Nedbør</i>	82	71	88	102	129	238		710

I nedre Buskerud (Hokksund) var vekstsesongen 2011 varmare enn normalt på grunn av høge temperaturar i april og september. Dette året var det mykje meir nedbør enn normalt, særleg i månadane juni, juli og august. Året etter låg temperaturen på normalen, men det var meir nedbør enn vanleg i månadane april, juni og juli. I 2013 var vekstsesongen litt varmare enn normalt. Det var meir nedbør enn normalt, men den var ujamt fordelt mellom månadane. April og særleg juli var tørrare enn vanleg medan dei andre månadane (særleg mai og juni) var våtare enn vanleg (Tabell 4.4).

Tabell 4.4. Middeltemperatur (°C) og nedbør (mm) i Drammen (stasjon 26900) i Buskerud for forsøksperioden april-september i åra 2011-2013 og normalverdiar 1961-1990. Kjelde: Meteorologisk institutt.

År		April	Mai	Juni	Juli	August	September	Middel	Sum
2011	Middeltemperatur	9,2	10,9	15,9	17,5	15,6	12,6	13,6	
	Nedbør	32	73	153	141	163	100		662
2012	Middeltemperatur	5	12,3	13,7	16,4	16,1	11,4	12,5	
	Nedbør	98	53	70	127	84	67		500
2013	Middeltemperatur	4,4	12,2	15,3	18,7	16,2	11,7	13,1	
	Nedbør	16	133	122	14	109	121		516
Normalverdiar	<i>Middeltemperatur</i>	<i>4,8</i>	<i>11,1</i>	<i>15,6</i>	<i>17,1</i>	<i>15,5</i>	<i>10,6</i>	<i>12,5</i>	
1961-1990	<i>Nedbør</i>	<i>34</i>	<i>56</i>	<i>51</i>	<i>54</i>	<i>77</i>	<i>91</i>		<i>363</i>

4.1.1.4 Gjødsling

På felta i NLR var det eitt gjødslingsnivå, og det vart berre brukt husdyrgjødsel både i attleggsåret og engåra. I engåra skulle gjødslinga på felta vere 4,5 tonn/daa (ca. 5%ts) om våren og 3 tonn/daa etter 1. slått, men det vart gjort ein del tilpassingar. I Balsfjord var det berre ein slått i 2012 og dermed også berre ei gjødsling. I Hokksund vart det gjødsla berre om våren i 2012 og 2013, sjølv om det vart teke to slåttar. Det skulle takast prøver av husdyrgjødsel for analyse av næringsinnhald. Dette vart ikkje alltid gjort. Resultata frå dei prøvene som vart tekne finn ein i Tabell 4.5.

Tabell 4.5. Oversikt over næringsinnhald i husdyrgjødsel tilført felta i NLR.

	TS	Kjeldahl-N	Ammonium-N	Fosfor (P)	Kalium (K)
	%	kg/tonn	kg/tonn	kg/tonn	kg/tonn
2011					
Balsfjord 1. gjødsling	4,7	2,8	2,0	0,37	3,1
Balsfjord 2. gjødsling	5,6	2,2	1,7	0,37	2,8
Fjærland 1. gjødsling	6,3	2,6	1,4	0,52	2,6
Hokksund 1. gjødsling	6,3	1,9	1,3	0,51	3,1
2012					
Balsfjord, ei gjødsling	6,4	3,2	2,3	0,44	3,5
Fjærland 1. gjødsling	7,2	4,2	2,7	0,65	3,9
Fjærland 2. gjødsling	6,9	3,5	1,9	0,60	3,1
2013					
Balsfjord 1. gjødsling	5,1	2,8	1,9	0,33	3,0
Balsfjord 2. gjødsling	3,4	2,3	1,7	0,26	2,9

4.1.2 Forsøksopplegg

4.1.2.1 Forsøksdesign

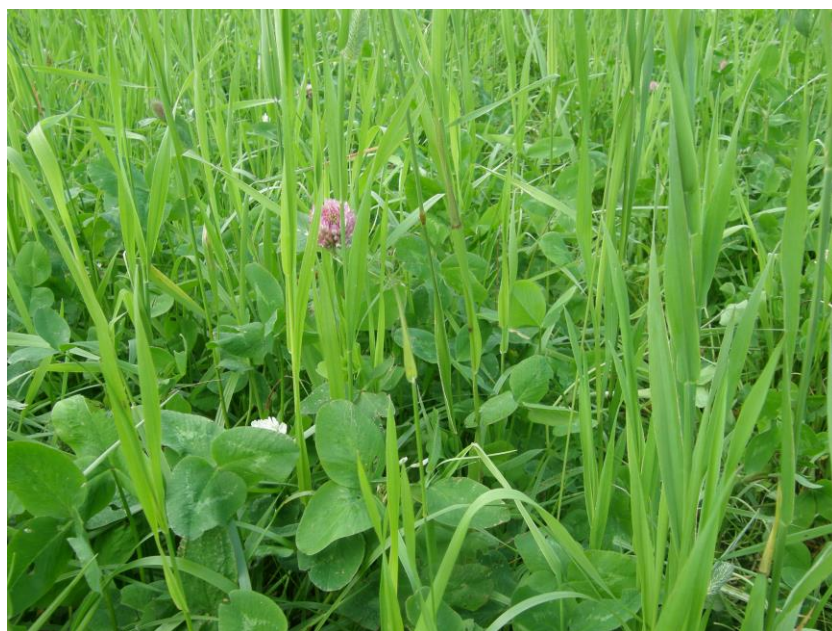
Det var to forsøksspørsmål med i feltforsøket; tre nivå av frøblandingar og tre nivå av jordpakking. Feltforsøka hadde split-plot design med tre gjentak der pakking var på storruter og frøblanding på småruter, med unntak av feltet i Hokksund der ein på grunn av ugrasproblem i attlegget reduserte til to gjentak. Rutestørleiken var 3 x 8 m² og hausterutene 1,5 x 6,5 m².

4.1.2.2 Frøblandingar

Dei tre ulike frøblandingane var: gras i reinbestand, gras/kløverblanding med 15% kløver, gras/kløverblanding med 30% kløver. Felta vart sådde våren 2010 med 3 kg såfrø/daa av artar og sortar gitt i Tabell 4.6. Havre *Belinda* vart brukt som dekkvekst i Balsfjord og Fjærland medan det vart brukt bygg i Hokksund.

Tabell 4.6. Artar og sortar (vekt%) brukt i dei ulike ledda på dei ulike lokalitetane.

	Timotei		Engsvingel		Engrapp	Raudkløver	Kvitkløver	
	<i>Grindstad</i>	<i>Noreng</i>	<i>Fure</i>	<i>Norild</i>	<i>Knut</i>	<i>Lea</i>	<i>Sonja</i>	<i>Snowy</i>
Balsfjord								
Gras		60		30	10			
Gras/kløver(15%)		51		25,5	8,5	10		5
Gras/kløver(30%)		42		21	7	20		10
Hokksund og Fjærland								
Gras	60			30	10			
Gras/kløver(15%)	51			25,5	8,5	10		5
Gras/kløver(30%)	42			21	7	20		10



Bilete 4.1. Raud- og kvitkløver i blanding med gras. Foto: Synnøve Rivedal.

4.1.2.3 Pakking

Tre nivå av jordpakking ved enkel spordekking etter slåttane vart innført frå første engår: utan køyring, køyring med lett traktor og utstyr, køyring med tung traktor og utstyr. Lufttrykk i dekk på traktorane var rekna ut etter trykk- og belastningstabellane til dekkprodusentane ved køyring i 30 km/t (Tabell 4.7). Det vart køyrt i 8-10 km/t.

Tabell 4.7. Traktorar og utstyr brukt ved køyring på dei ulike felta i NLR.

	Balsfjord		Fjærland		Hokksund	
	Tungt	Lett utstyr	Tungt	Lett	Tungt	Lett
Traktor						
Merke	Valtra	Valtra	New	Massey	Ford	Ford
Modell	T130	A92	T6020	675	6640	4000
Total vekt (kg)	6450	3780	6000	3600	4485	2360
Akselvekt framme	2580	1510	2700	1300	1900	1000
Akselvekt bak	3870	2270	3300	2300	2600	1360
Akselvekt framme med	2375	1370	2500	1150	1700	900
Akselvekt bak	5275	3210	4300	3450	3900	2150
Hjuldimensjon framme	480/65R28	420/70R24	480/65	360/70R	340/85R24	7.50/16
Hjuldimensjon bak	600/65R38	520/70R34	600/65	16.9R34	420/85R34	12.4-36
Lufttrykk framme/bak	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,8	1,6/1,1
Hausteutstyr						
Type	Presse	Avlessarvogn	Presse	Hengar	Hengar	Hengar
Merke	Orkel	Underhaug	Claas	Foss Eik	Orkel	Orkel
Modell	GP1260	370	355		T41P	T41P
Totalvekt inkl. last	6000	2700	5700	3000	4500	3000
Boggi/enkeltaksel	Boggi	Tverrboggi	Enkel	Enkel	Enkel	Enkel
Last per hjul	1200	475	2500	1000	1750	1150
Hjuldimensjon	500/50R17	400/60-15,5	560/45	400/60-	300/80-	300/80-
Lufttrykk (bar)	1,1	0,6	0,9	0,8	2,1	1,2

4.1.3 Målingar

4.1.3.1 Avlingsregistrering

Det var lagt opp til hausting av to engavlingar per år på felta, men feltet i Balsfjord vart på grunn av sein vår hausta berre ein gang i 2012. Feltet i Fjærland gjekk ut etter sesongen 2012 på grunn av vinterskade. Haustetidspunkt er vist i Tabell 4.8. På alle ruter vart det tatt ut tørkeprøver for å bestemme tørrstoffavling og NIR-analyse vart utført. Botanisk samansetjing vart skjønsmessig vurdert ved alle slåttane.

Tabell 4.8. Haustetidspunkt på dei ulike lokalitetane i dei tre forsøksåra.

	2011		2012		2013	
	1.slått	2.slått	1.slått	2.slått	1.slått	2.slått
Balsfjord	15.07	31.08	22.07	-	04.07	02.09
Fjærland	05.07	31.08	28.06	16.08	-	-
Hokksund	08.06	18.08	15.06		14.06	26.08

4.1.3.2 Jordfuktigheit

Rett etter slåttane og før pakkinga skulle det etter feltplanen takast ut jordprøver for å bestemme fuktigheita i jorda ved køyring. I Hokksund vart dette berre gjort i 2011 (første engår). Prøvene skulle takast i 40 cm djupne og delast inn i sjikta: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm. På feltet i Balsfjord var det vanskeleg å komme så djupt. I 2011, 2012 og etter 1. slått 2013 vart det tatt prøver ned til 30 cm djupne og etter 2. slått 2013 ned til 20 cm djupne. Det vart tatt to stikk per rute og prøvene frå same sjikt og pakkingsledd vart blanda per blokk. Tørking vart gjort ved 105 °C i ca. to døgn, eller til dei var tørre.

4.1.3.3 Penetrometermålingar

Etter kvar sesong vart trykkmotstanden i jorda målt med penetrometer på alle ruter. I Hokksund og Fjærland vart det i 2011 brukt eit gammalt penetrometer som skriv ut verdiane på papir. Resultata frå desse målingane er ikkje omtala vidare. Målingane vart elles utført med «Field Scout SC 900 Soil Compaction Meter» med ein spiss på 1,27 cm i diameter i øvre ende. Det vart tatt to stikk per rute på i Balsfjord og Fjærland og eitt stikk per rute i Hokksund. På same måte som for NIBIO-felta vart resultata flytta oppover i jordprofilet dersom motstanden ved jordoverflata var 0 kPa eller svært låg (kapittel 2.1.3.3). I Balsfjord og Fjærland flytta ein målingane oppover dersom motstanden var 0 kPa, medan ein i Hokksund flytta målingane oppover dersom motstanden var <500 kPa. Nivået på motstanden i jorda i Hokksund var høgare enn i Balsfjord og Fjærland.

4.2 Resultat

4.2.1 Verknad av køyring på avling

Pakking gav ikkje signifikante utslag på engavling når ein ser på dei tre felta samla. Det var skilnader mellom felta og dei er derfor behandla kvar for seg i den vidare statistiske analysen. Ved førsteslått første engåret var felta enno ikkje utsette for pakking. Pakkinga starta etter denne slått. På feltet i Hokksund var det til dels store avlingsutslag etter pakking (Tabell 4.10). I middel var det etter tur 19%, 27% og 8% avlingsnedgang etter pakking dei tre engåra. Tredje året var det ikkje statistisk signifikante utslag. Det var ikkje sikre skilnader mellom lett og tung traktor.

Tabell 4.10. Avling i kg ts/daa etter pakking på feltet i Hokksund.

	2011		2012			2013		
	1. slått	2. slått	1. slått	2. slått	Sum	1. slått	2. slått	Sum
Utan pakking	347	556	813	500	1313	785	887	1672
Lett traktor	372	469	624	366	990	738	801	1539
Tung traktor	327	412	591	339	930	726	819	1546
Middelfeil	20,6	33,5	34,0	22,9	45,6	35,3	46,3	78,5
P-verdi	is	0,18	0,08	0,07	0,05	is	is	is
P pakka vs upakka		0,05	0,008	0,006	0,003	is	is	is
P lett vs tung		is	is	is	is	is	is	is

På feltet i Fjærland var det ikkje statistisk sikker avlingsnedgang for pakking, sjølv om det i middel var 10% nedgang i 2011 og 9% nedgang i 2012. Det var ingen skilnader mellom lett og tung traktor (Tabell 4.11).

Tabell 4.11. Avling i kg ts/daa etter pakking på feltet i Fjærland.

	2011		2012			2013		
	1. slått	2. slått	1. slått	2. slått	Sum	1. slått	2. slått	Sum
Utan pakking	497	289	569	344	913	-	-	-
Lett traktor	484	267	500	320	820	-	-	-
Tung traktor	514	252	521	325	846	-	-	-
Middelfeil	7,1	28,3	33,5	13,6	36,8			
P-verdi	is	is	is	is	is			
P pakka vs upakka		is	is	is	0,15			
P lett vs tung		is	is	is	is			

På feltet i Balsfjord var det sikre utslag for pakking berre i andreslått og i sumavling 2013 (Tabell 4.12.). Det var tendens til nedgang (12 %) i andreslått i 2011. I 2013 var det 23 % avlingsnedgang for pakking. Det var ikkje sikre skilnader mellom lett og tung traktor.

Tabell 4.12. Avling i kg ts/daa etter pakking på feltet i Balsfjord.

	2011		2012			2013		
	1. slått	2. slått	1. slått	2. slått	Sum	1. slått	2. slått	Sum
Utan pakking	387	235	572	-	-	366	495	861
Lett traktor	346	218	581	-	-	359	334	694
Tung traktor	358	194	619	-	-	311	318	629
Middelfeil	20,0	12,1	47,7			38,2	26,8	22,0
P-verdi	is	0,17	is			is	0,02	0,004
P pakka vs upakka		0,12	is			is	0,007	0,004
P lett vs tung		is	is			is	is	0,11



Bilete 4.2. Kjøring med tungt utstyr på feltet i Balsfjord. Foto: Natalia Nemytova.

4.2.2 Verknad av frøblanding

Frøblandinga verka inn på botanisk samansetjing og avling på felta (Tabell 4.13 og 4.14). Tilslaget av kløver var godt på alle felt første engåret, men kløveren gjekk i stor grad ut på feltet i Balsfjord etter første året. Det var mest ugras på felta i Fjærland og Balsfjord. Det var små og usikre avlingsutslag for bruk av kløver i førsteslåtten. I andreslåtten var det positive avlingsutslag for bruk av kløver med særleg stort utslag i Hokksund andre engåret. Det var små utslag for bruk av kløver i Balsfjord andre- og tredje året, og dette stemmer bra med lågt kløverinnhald i feltet.

Tabell 4.13. Middel kløver- og ugrasinnhald (etter skjøn) for ulike frøblandingar på felta.

	Kløver, % av tørrstoff						Ugras, % av tørrstoff					
	2011		2012		2013		2011		2012		2013	
	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl	1.sl	2.sl
Hokksund												
Gras	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Gras/kløver(15%)	32	30	29	75	26	20	2	0	0	0	0	0
Gras/kløver(30%)	45	33	29	68	26	25	1	0	0	0	0	0
Fjærland												
Gras	1	0	2	4	-	-	10	17	8	7	-	-
Gras/kløver(15%)	34	40	33	32	-	-	12	14	8	7	-	-
Gras/kløver(30%)	38	41	31	31	-	-	13	13	7	6	-	-
Balsfjord												
Gras	-	19	0	-	0	1	-	15	1	-	11	4
Gras/kløver(15%)	-	38	7	-	4	5	-	15	0	-	14	7
Gras/kløver(30%)	-	45	8	-	4	5	-	10	0	-	15	8

Tabell 4.14. Avling i kg ts/daa for ulike frøblandingar på felta.

	2011			2012			2013		
	1.sl	2.sl	Sum	1.sl	2.sl	Sum	1.sl	2.sl	Sum
Hokksund									
Gras	339	483	821	703	260	962	766	814	1580
Gras/kløver(15%)	347	513	860	671	488	1160	753	857	1610
Gras/kløver(30%)	361	440	801	653	457	1111	730	837	1566
Middelfeil	15,7	22,7	37,1	26,9	16,0	24,2	23,6	23,8	19,1
P-verdi	is	0,15	is	is	<0,001	0,003	is	is	is
P gras vs gras/kløver	is	is	is	is	<0,001	0,004	is	is	is
P 15% vs 30%	is	0,09	is	is	is	is	is	is	is
Fjærland									
Gras	486	205	710	525	286	811	-	-	-
Gras/kløver 15%	513	297	796	536	355	891	-	-	-
Gras/kløver 30%	495	306	803	529	349	878	-	-	-
Middelfeil	25,4	14,5	38,4	18,9	15,4	20,0			
P-verdi	is	0,002	is	is	0,02	0,03			
P gras vs gras/kløver	is	0,003	is	is	0,005	0,01			
P 15% vs 30%	is	is	is	is	is	is			
Balsfjord									
Gras	367	196	546	608	-	-	365	353	718
Gras/kløver 15%	368	240	595	594	-	-	349	375	724
Gras/kløver 30%	355	212	594	570	-	-	322	419	741
Middelfeil	24,9	11,1	26,3	24,1			13,5	18,1	20,1
P-verdi	is	0,05	is	is			0,12	0,07	is
P gras vs gras/kløver	is	0,09	is	is			0,15	0,12	is
P 15% vs 30%	is	0,15	is	is			is	0,16	is

4.2.3 Jordfukt

Tabell 4.12 viser at i Balsfjord var jorda forholdsvis tørr ved pakkingane i 2011 og litt våtare i 2012. 2013 skil seg ut med våtare jord ved begge pakkingane.

Tabell 4.12. Vassinnhald i jord i vekt % ved dei ulike pakkingane i Balsfjord.

1. pakking					2. pakking			
2011								
Djupne	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel
0-10	23	22	22	22	20	21	21	21
10-20	22	22	21	21	26	19	26	24
20-30	20	20	19	20	16	18	17	17
30-40	20	14	20	18				
2012								
Djupne	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel				
0-10	25	25	26	26				
10-20	26	25	26	26				
20-30	27	25	24	25				
2013								
Djupne	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel
0-10	30	28	29	29	31	27	29	29
10-20	29	29	29	29	25	26	26	26
20-30	28	24	28	27				

I 2011 var det svært vått på Vestlandet. Dette ser ein igjen som eit svært høgt vassinnhald i jorda ved pakkingane i Fjærland dette året. Ved 1. pakking 2012 var jorda svært tørr, medan jorda var fuktigare ved 2. pakking dette året (Tabell 4.13).

Tabell 4.13. Vassinnhald i jord i vekt % ved dei ulike pakkingane i Fjærland.

1. pakking					2. pakking			
2011								
Djupne	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel
0-10	43	43	45	44	44	45	44	44
10-20	39	39	40	39	38	40	38	39
20-30	38	39	39	39	38	38	39	38
30-40	36	38	37	37	33	32	31	32
2012								
Djupne	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel	Utan	Lett traktor	Tung traktor	Middel
0-10	16	19	17	17	39	39	40	40
10-20	17	20	20	19	35	36	38	36
20-30	21	21	21	21	34	35	35	35
30-40	18	16	12	15	32	34	31	33

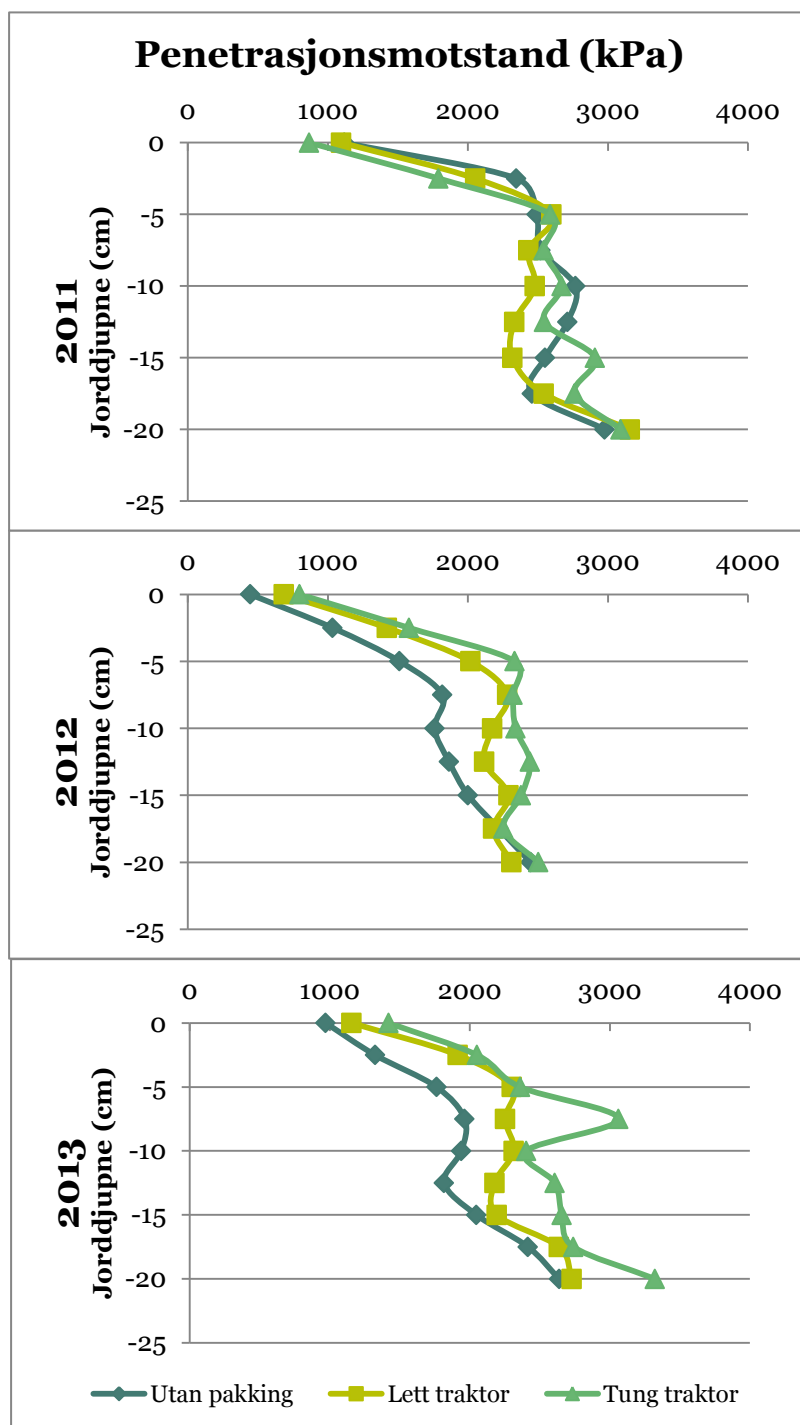
Frå feltet i Hokksund har vi opplysingar om vassinnhald i jord berre frå dei to pakkingane i 2011. Resultatet tyder på at jorda var forholdsvis fuktig ved begge pakkingane dette året (Tabell 4.13).

Tabell 4.13. Vassinnhald i jord i vekt % ved pakkingane i Hokksund i 2011.

2011								
Djupne	1. pakking				2. pakking			
	Utan	Lett	Tung	Middel	Utan	Lett	Tung	Middel
0-10	32	32	31	32	35	37	35	35
10-20	28	28	27	27	27	29	26	27
20-30	23	21	23	22	25	26	25	26
30-40	23	23	25	24	25	27	25	26

4.2.4 Verknad på motstand i jord

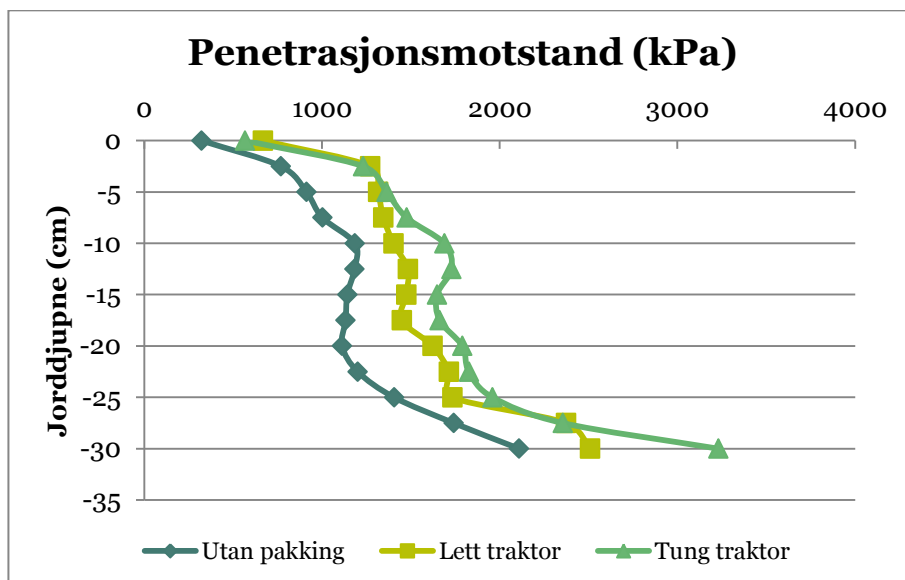
Motstanden i jord er påverka av jordart og jordfuktigheit. Skilnader i nivå mellom dei ulike målingane skuldast i første rekke ulik jordfuktigheit ved måling. På lik linje med NIBIO-felta er det ikkje tatt omsyn til eventuelle skilnader i jordfukt mellom pakkingsledd.



Figur 4.1. Motstand i jord målt med penetrometer etter vekstsesongen 2011, 2012 og 2013 på feltet i Balsfjord.

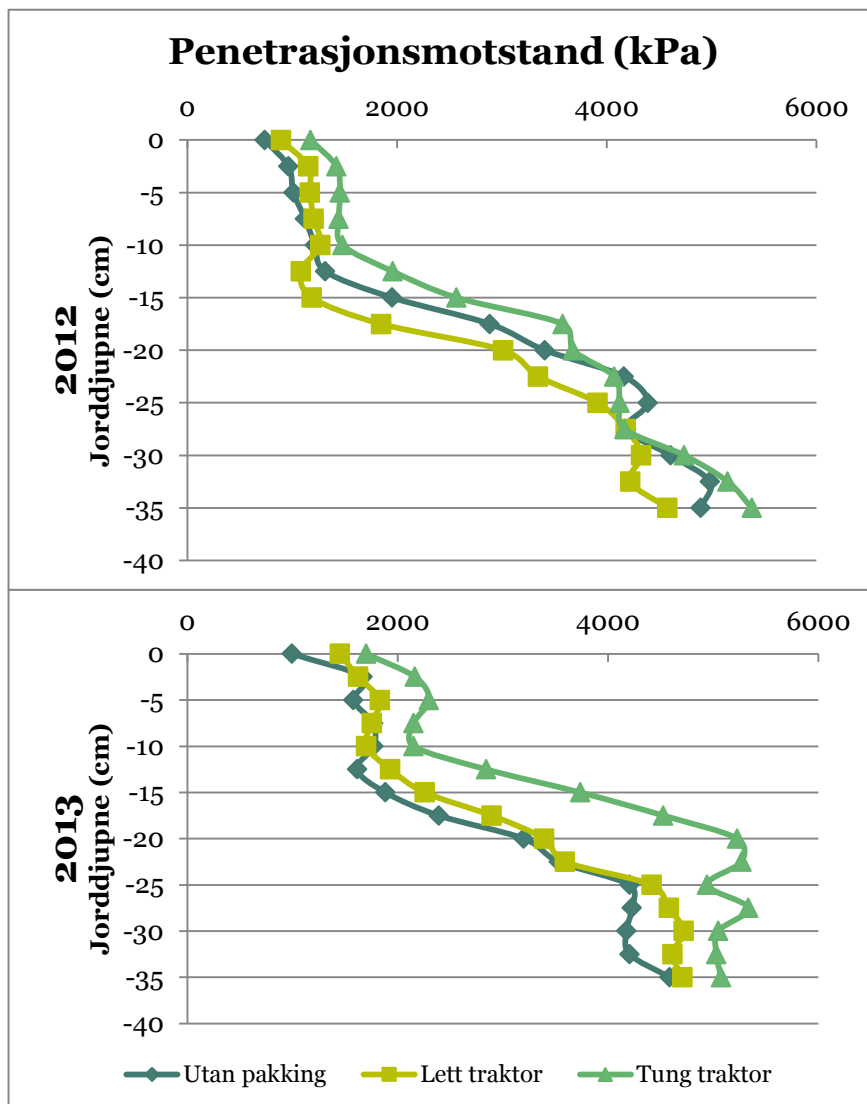
Figur 4.1 syner at motstanden i jord på feltet i Balsfjord aukar mykje frå jordoverflata og ned til 5-7,5 cm. Deretter har ikkje motstanden auka særleg ned til 20 cm. Det var vanskeleg å måle djupare enn dette då ein kom ned på eit svært hardt lag. I 2011 var det liten skilnad i motstand mellom dei ulike pakkingane. Etter sesongen 2012 såg det ut til at pakking med både lett og tungt utstyr hadde auka motstanden i jorda frå overflata og ned til 17,5 cm. Pakking som enkeltfaktor gav ikkje signifikante utslag på motstand, men samspelet pakking x repetisjon var i enkelte djupner innafor dette området signifikant. I 2013 gav pakking signifikant utslag på motstand berre i 2,5 cm djupne, medan samspelet

motstand x repetisjon var signifikant frå 10 til 20 cm. Skilnaden mellom pakka og upakka ledd var signifikant berre i 2,5 cm djupne og mellom lett og tung traktor berre i 7,5 cm djupne.



Figur 4.2. Motstand i jord målt med penetrometer etter vekstsesongen 2012 på feltet i Fjærland.

I Fjærland auka motstanden i jord etter pakking med lett og tung traktor. Etter vekstsesongen 2012 gav pakking som enkeltfaktor signifikante eller tilnærma signifikante utslag i frå og med 2,5 til og med 20 cm djupne. Herifrå og ned til og med 27,5 cm var samspelet repetisjon x pakking signifikant. Mellom pakka og upakka ledd var skilnaden signifikant frå 0-20 cm, med unntak av ved 10 cm djupne. Mellom lett og tung traktor var skilnaden signifikant ved 7,5 cm djupne og tilnærma signifikant ($p=0,064$) ved 10 cm djupne (Figur 4.2).



Figur 4.3. Motstand i jord målt med penetrometer etter vekstsesongen 2012 og 2013 på feltet i Hokksund.

Det var generelt større motstand i jorda på feltet i Hokksund enn på dei andre felte (Figur 4.3). Under ca. 10 cm djupne auka motstanden kraftig ned til ca. 20 cm, for så å flate litt ut. Etter vekstsesongen 2012 var det liten skilnad mellom dei ulike pakkingsledda, men i 2013 auka motstanden etter pakking med det tunge utstyret. Utslaget var ikkje signifikant når ein ser på pakking som enkeltfaktor, men samspelet repetisjon x pakking var det i enkelte djupner (0-5, 15, 27,5). Skilnaden mellom pakka og upakka ledd var signifikant berre i jordoverflata (0 cm). Mellom lett og tung traktor var skilnaden ikkje signifikant, men i djupnene 17,5, 20 og 30 cm låg p-verdien mellom 0,062 og 0,086. Med berre 2 repetisjonar og eitt stikk per rute fekk ein her få observasjonar og trass i stor skilnad i middelværdir i 2013 var det vanskeleg å få signifikante resultat.

5 Referansar

- Douglas, J.T. & Crawford, C. E. 1991. Wheel-induced soil compaction effects on ryegrass production and nitrogen uptake. *Grass and Forage Science* 46(4):405-416.
- Douglas, J.T. & Crawford, C.E. 1998. Soil compaction effects on utilization of nitrogen from livestock slurry to grassland. *Grass and Forage Science* 53(1):31-40.
- Douglas, J.T., Campell, D.J. & Crawford, C.E. 1992. Soil and crop responses to conventional, reduced ground pressure and zero traffic systems for grass silage production. *Soil and tillage research* 24(4):421-439.
- Haraldsen T.K., Sveistrup T.E., Lindberg K. & Johansen T.J. 1995. Soil compaction and drainage systems of peat soils in northern Norway. Effects on yields and botanical composition in leys. *Norsk landbruksforskning* 9:11-28.
- Håkansson, I., McAfee, M. & Gunnarsson, S. 1990. Verkan av körning med traktor och vagn vid vallskör. Resultat från 24 försöksplatser. Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapport från jordbearbetningsavdelningen 78:41 s. ISBN 91-576-4104-8.
- Lunnan, T. 2012. Avlingsutviklinga i engdyrkinga. *Bioforsk FOKUS* 7 (2):141-142.
- Mosland A. 1985. Kjøreskader i eng. *Jord- og plantekultur på Østlandet. Aktuelt fra SFFL* 4:107-110.
- Myhr, K. & Njøs, A. 1983. Verknad av traktorkøyring, fleire slåttar, og kalking på avling og fysiske jordegenskapar i eng. *Melding Noregs Landbrukshøgskule* 62(1):1-14.
- Riley H. 1985. Jordundersøkelser på felt med kjøreskader i eng. *Jord- og plantekultur på Østlandet. Aktuelt fra SFFL* 4: 111-114.
- Riley, H. 1996. Derivation of physical properties of cultivated soils in SE Norway from readily available soil information. *Norwegian Journal of Agricultural Science* 10 (Suppl. 25): 51 pp.
- Tveitnes, S. & Njøs, A. 1974. Køreskader på eng under vestlandstilhøve. *Forskning og forsøk i landbruket* 25: 271-283.
- Ullring, U.E. & Lunnan, T. 1993. Kjøreskader under innhøsting i ulike grasarter. I. Virkning på avlingsnivå. *Norsk landbruksforskning (suppl. 14):* 11-18.
- Volden, B., Sveistrup, T.E., Jørgensen, M. & Haraldsen T.K. 2002. Effects of traffic and fertilization levels on grass yields in northern Norway. *Agricultural and Food Science in Finland* 11

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

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

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

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