



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Intensiv hausting av eng med robot på Vestlandet

Avling og jordparametrar

NIBIO RAPPORT | VOL. 10 | NR. 4 | 2024



Synnøve Rivedal, Åsmund M. Kvifte, Håvard Steinshamn, Liv Østrem
Divisjon for matproduksjon og samfunn, avdeling Fôr og husdyr

TITTEL/TITLE

Intensiv hausting av eng med robot på Vestlandet – Avling og jordeigenskapar

FORFATTARAR/AUTHORS

Synnøve Rivedal, Åsmund M. Kvifte, Håvard Steinshamn, Liv Østrem

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGANG/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
17.01.2024	10/4/2024	Open	11088	18/00923
ISBN:	ISSN:	ANTAL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTAL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03434-6	2464-1162	32	1	

OPPDRAKSGJEVAR/EMPLOYER:**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**

Synnøve Rivedal

STIKKORD/KEYWORDS:

Engdyrking, hausteintensitet, førkvalitet, jordpakking

Grassland management, harvesting frequency, forage quality, soil compaction

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Fôr og husdyr

Grassland and livestock

SAMANDRAG/SUMMARY:

Meir nedbør og færre dagar med opphaldsvêr i vekstsesongen gjer det vanskeleg å hauste enga til rett tid utan pakkingsskader på jorda. I prosjektet GrassRobotics undersøkte vi korleis hausting med lettvektsrobot påverka avling, kvalitet, haustevindaug, jordpakking og rot:skot-forhold samanlikna med traktor og rundballepresse. Dette vart testa i feltforsøk på NIBIO Fureneset i åra 2018 til 2021. Tre nivå av pakking/hausteregime (Utan pakking, Robot, Standard) var lagt ut på storruter i eit faktorielt forsøk med split-plot design med tre gjentak, og to typar engfrøblandingar (Vestland, Bladgras) var testa på småruter innanfor storrutene. Behandlinga på storrutene var ei blanding mellom pakking og hausteregime der Standard hadde tre slåttar og tre overkøyningar med traktor og rundballepresse etter slåttane per år, og Robot hadde fem slåttar og fem overkøyningar med robot per år.

Robot med fem slåttar gav lågare tørrstoff- og fôreiningsavling enn Standard med tre slåttar. Grovfôret i Robot hadde høgare energiverdi enn i Standard. Det var ingen effekt av frøblanding på avling og kvalitet. Engavlinga heldt seg stabilt høg i alle tre engåra både i Robot og Standard. Den femte slåttan i Robot, med veksetid frå slutten av august til slutten av september, gav svært lita avling og vil ikkje vere realistisk å utføre i praksis. Grasveksten avtek i september truleg på grunn av låg solinnstråling.

Med standard hausteutstyr ville ein i to av dei tre engåra fått problem med å hauste på tørr nok jord utan fare for jordpakking. Alle åra var jorda for våt frå starten av september og utover, og hausting med tradisjonelt hausteutstyr bør skje før dette. Ein lett robot kan brukast kort tid etter nedbør, men

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

for å unngå regn under hausting må kapasiteten tilpassast at ein mange år har få dagar utan nedbør i vekstsesongen.

Motstanden i jord frå 5 cm jorddjupne og nedover var lågare etter bruk av robot enn etter bruk av standard hausteutstyr, noko som tyder på at robohausting reduserer jordpakkinga. Vi fann ikkje skilnad i jordtettleik, luftkapasitet eller luftpermeabilitet mellom Robot og Standard. Det var ikkje skilnad i nitrogenavling mellom dei to haustesystema.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Vestland
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Fjaler
STAD/LOKALITET: Fureneset

GODKJEND /APPROVED

Mats Höglind

NAMN/NAME

PROSJEKLEIAR /PROJECT LEADER

Synnøve Rivedal

NAMN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Føreord

Denne rapporten er utarbeidd med bakgrunn i resultat frå prosjektet «GrassRobotics - A novel adaptation strategy for forage production under wet growing conditions – robotization and high quality forages». Prosjektet var finansiert av «Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri (FFL/JA)» via Norges forskningsråd. Prosjektnummeret er 28122 (sjå også <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/281221>). Prosjektet fekk og stønad frå Fylkesmannen i Vestland, no Vestland fylkeskommune.

Prosjektet gjekk over 4 år og var leia frå NMBU (Institutt for maskinteknikk og teknologiledelse) og var eit samarbeid med Avdeling Fôr og husdyr i NIBIO og University of Lincoln, UK. Næringsaktørane Tine, HMR Voss, Orkel, Saga Robotics og Felleskjøpet Agri var viktige bidragsytarar.

Liv Østrem leia NIBIO sitt arbeid fram til Synnøve Rivedal tok over på slutten av prosjektperioden. Liv hadde ansvaret for arbeidspakken «Høgkvalitetsfôr frå hyppig robothausting» og Synnøve for «Haustevindauge, jordpakking og produktivitet». Håvard Steinshamn var leiar for arbeidspakken «Kost-nytte-analyse av robotisert hausting», og resultatata herifrå er publiserte i NIBIO-rapporten «Intensiv hausting av eng med robot på Vestlandet. Kostnadsanalyse» (Steinshamn m.fl. 2022).

Takk til ingeniørar og andre på Fureneset som har bidrege til gjennomføringa av feltforsøket og prosjektet. Takk til Hugh Riley for gjennomlesing av delen om jord i rapporten.

Fureneset, 10.01.2024

Synnøve Rivedal

Innhold

1	Innleiing	6
2	Material og metode	7
2.1	Feltforsøk	7
2.2	Jordeigenskapar	9
2.3	Nedbør, vassinnhald og temperatur i jord	11
2.4	Statistisk behandling	15
3	Resultat	16
3.1	Tørrstoffavling	16
3.2	Førkvalitet	16
3.3	Avlingsfordeling mellom slåttane	17
3.4	Botanisk samansetting over år	18
3.5	Nitrogentilgang og -opptak i avlinga	18
3.6	Planteutvikling	19
3.7	Vassinnhald i jord og fare for jordpakking	19
3.8	Verknad av køyring på jordpakking	21
3.8.1	Resultat frå sylindrerprøver	21
3.8.2	Penetrometermålingar	22
4	Diskusjon	25
4.1	Effekt av hausteintensitet på frøblanding og avling	25
4.2	Effekt av hausteintensitet på jordeigenskapar	27
5	Konklusjonar	28
	Vedlegg	29
	Litteratur	30

1 Innleiing

Mildare vintrar fører til tidlegare vekststart om våren, lengre vekstsesong og med det auka produksjon. Samanlikna med førre standard normalperiode 1961-1990, har temperaturen på Vestlandet auka med knapt 1°C i siste normalperiode 1991-2020, og auken er størst i perioden januar-april. Det er venta meir ekstreme nedbørshendingar og meir nedbør i haust- og vinterperioden (Hanssen-Bauer 2015, IPCC 2013). Gjennomsnittleg årsnedbør for normalperioden 1961-1990 var 2010 mm på Fureneset der rundt 40% av nedbøren kom i perioden april-september. I siste standard normalperiode 1991-2020 har årleg nedbørmengde auka til 2300 på Fureneset (met.no).

Auka nedbørshendingar gjennom sommarmånadane har resultert i korte haustevindaugae med dagar høvelege for hausting. Dette kan visast med data frå Fureneset der nedbørmengda for perioden juni-august 2016 var 650 mm, og tal dagar med nedbør var 11, 22 og 22 for høvesvis juni, juli og august. Tilsvarende tal for 2017 var 522 mm for same perioden og 25, 17 og 22 dagar med nedbør i dei tre månadane (met.no). Når haustevindauga blir kortare og sjeldnare fører dette ofte til for låg fôrqualität enn ønskjeleg på grunn av for seint slåttetidspunkt.

Norsk grovfôrproduksjon har for det meste vore basert på eit toslåttsregime med hovudslått i juni og gjenvekstslått i august, eventuelt eit treslåttsregime med haustingar i månadsskifte mai/juni, midten av juli og månadsskifte august/september (Steinshamn m.fl. 2020). Optimalt energiinnhald for drøvtyggjarar i høg produksjon er 6,7-6,8 MJ/kg TS NEL (netto energi laktasjon), og krev hausting på tidleg utviklingsstadium, dvs. på overgangen frå vegetativt stadium mot tidleg skyting av førsteslåtten. Grunna lågt ligninnhald, er tørrstoffavlinga mindre ved hausting på eit tidleg enn på eit seinare utviklingstrinn, men fôrqualitäteten er betre (Østrem m.fl. 2013, 2015). Hyppig slått på eit tidleg planteutviklingstrinn gir over år dårleg overvintring (Björnsson 2006, Skinner m.fl. 2006). Dette gjeld særleg for timotei (*Phleum pratense*), som til no har vore den viktigaste grasarten i norsk grovfôrproduksjon (Ashikaga m.fl. 2016; Steinshamn m.fl. 2016). For at enga skal vare i eit slikt haustesystem treng ein artsrike frøblandingar med artar som toler hyppig slått.

Effektive haustesystem er tradisjonelt avhengige av tungt landbruksutstyr som kan føre til jordpakking. Meir nedbør framover vil auke talet på dagar med våt og fuktig jord og gjere det vanskelegare å gjennomføre operasjonar under tørre nok forhold. Køyring på våt og fuktig jord aukar risikoen for jordpakking og avlingsreduksjon (Soane og Van Oerwerkerk 1994, Rivedal m.fl. 2016).

Jordpakking avgrensar luftgjennomstrøyming og kan redusere oksygeninnhaldet i jorda (Lapen m.fl. 2004, Topp m.fl. 2000). Det kan påverke mikrobiologisk aktivitet og omdanninga av nitrogen (N) som mineralisering, nitrifikasjon og denitrifikasjon (Ball 2013, Liepic og Steepniewski 1995). Jordpakking kan også redusere nitrogenopptak i planter grunna redusert rotvekst og -fordeling når jordmotstanden aukar (Bengough m.fl. 2006, Kaspar m.fl. 1991). Redusert N-mineralisering og auka denitrifisering kan gje for liten tilgang av plantetilgjengeleg N og dermed redusere avlinga (Barken m.fl. 1987, Gregorich m.fl. 2014).

Ein tilpassingsstrategi for auka nedbør er å nytte lettvektsrobotar for grovfôrhausting. Med lett utstyr kan ein komme seg raskare i gang med slått etter nedbør utan å skade jorda. Dermed blir det lettare å hauste på eit utviklingstrinn som gjev god fôrqualität.

Formålet med denne studien var å teste effekten av lett hausteutstyr på jordpakking og engavling. Hypotesane var at samanlikna med tradisjonelt hausteutstyr, vil hausting med lettvekstrobot:

1. Auke energiinnhaldet i avlinga uavhengig av frøblanding
2. Auke haustevindauget for slått
3. Redusere jordpakkinga
4. Auke tørrstoff- og nitrogenavlinga og rot:skot-forholdet på grunn av redusert jordpakking

2 Material og metode

2.1 Feltforsøk

Feltforsøket vart gjennomført på NIBIO Fureneset, Fjaler kommune i Vestland (61°22'N, 5°24'Ø; 10 moh.) i perioden 2018-2021. Forsøket vart etablert som gjenlegg 2. juli 2018, og gjekk i tre engår med avlingsregistreringar og anna datafangst. Feltforsøket var faktorielt med split-plot design med tre gjentak. Tre nivå av pakking/hausteregime (P0, P1, P2) var lagt ut på storrutene, medan to typar frøblandingar var lagt på småruter innafor storrutene (F1, F2) (Vedlegg). Tabell 1 viser prosentvis innhald av artar og sortar i frøblandingane Vestland (F1) og Bladgras (F2). Vestland var ei kommersiell frøblanding frå Felleskjøpet Agri medan Bladgras var ei sjølvkomponert blanding med bladgrasartar som inneheldt artar som ikkje (eller i liten grad) set aks i gjenveksten.

Tabell 1. Prosentvis innhald av art og sort i testa frøblandingar

Art	Sort	Prosentvis innhald	
		Vestland (F1)*	Bladgras (F2)
Timotei	Grindstad	35	
Engsvingel	Vestar	10	
Strandsvingel	Swaj	10	16
Raisvingel	Hykor**	8	16
Raisvingel	Frosta***		16
Hundegras	Laban	7	16
Engrapp	Knut	15	16
Fleirårig raigras	Figgjo	10	16
Kvitkløver	Litago	5	5

* SPIRE Vestland frå Felleskjøpet Agri, ** svingeltype raisvingel / *** raigratype raisvingel

Behandlinga på storrutene var ei blanding mellom pakking og hausteregime. P2 vart definert som Standard med tre slåttar og tre overkøyningar etter slåttane per år. Dette skulle etterlikne eit to-trinns haustesystem der graset vart slått med slåmaskin, fortørka, raka saman i streng og pressa i rundballar med kombipresse. P1 hadde fem slåttar og fem overkøyningar per år og etterlikna eit robohaustesystem (Robot), der graset blir slått med robot utstyrt med knivbjelke (Thorvald II, NMBU, (Grimstad og From, 2017)), fortørka, raka saman i streng med robot og plukka opp og transportert inn med robot til stasjonær presse, såkalla kompaktorpresse (Orkel kompaktor). P0 hadde tre slåttar, men ingen overkøyning etter slåttane.

Ved pakking etter slåttane vart det køyrt hjul i hjul på tvers av rutene. I Standard vart pakkinga utført med ein Massey Ferguson 5480 med eigenvekt på rundt 5500 kg. Framme på traktoren var det 500 kg ekstra vekt frå syrekanner med feste. Dekka brukt på traktoren var av merket Continental Contract AC 65. Framme var dimensjonen 440/65/28 og lufttrykket 1,1 bar. Bak hadde dei inste dekk dimensjonen 540/65/38 og lufttrykk 1,1 bar, medan tvillinghjula var av dimensjonen 16,9/38 og lufttrykket på 0,3 bar. På traktoren var det ei Kuhn I-BIO+ intelliwrap 2020-modell rundballepresse med vekt på 4700 kg. Dekka på pressa var av typen Nokian Country King 710/35/22,5 og lufttrykket 1,1 bar. I Robot vart pakkinga utført med robot (180 kg) med slåttebjelke (140 kg). Vi la på 190 kg meir vekt for å simulere vekta av graset roboten kan ta med seg i eit lass, og totalvekta på roboten vart då 500 kg. Dekkdimensjonen var 16 cm og lufttrykket var 0,9 bar framme og 0,8 bar bak. Det var mest vekt framme, men vi veit ikkje nøyaktig fordeling av vekta.



Pakking med Standard utstyr til venstre og Robot til høgre. Foto: NIBIO Fureneset.

Forsøksrutene fekk same mengde kunstgjødsel, tilsvarande 28,1 kg N/daa (160 kg/daa med YaraMila fullgjødsel 18-3-15). Fordelinga var 50% om våren, 31% etter 1. førsteslått, og 19% etter 2. slått ved tre slåttar og 31% om våren, 25% etter 1. slått, 21% etter 2. slått, 13% etter 3. slått og 11% etter 4. slått ved fem slåttar.

Avlinga vart hausta med ei forsøkshaustemaskin (Haldrup) med stubbhøgde på om lag 8 cm. Prøver av avlinga var tatt for å bestemme tørrstoff og avlingsmengd. Planteprovvar frå kvar rute vart tørka ved 60°C i 48 timar og analysert ved NIBIO Særheim (NIRS). Analysane av surfôrprøvene er omtalt i Steinshamn m.fl. (2022). Varigheit og vinteroverleving vart vurdert etter skjøn ved vekstslutt om hausten og om våren når veksten var kome godt i gong.

I tredje engår vart det i førsteslått tatt ut prøver for sortering av artar på ruter med frøblandinga Vestland (F1). Det vart tatt ut ei prøve per gjentak på rundt 1 kg råvekt på ledda utan pakking (P0) og Standard (P2), totalt 6 prøver. Prøvene vart sorterte i timotei, svingel (sum av engsvingel, strandsvingel og raisvingel), engrapp, hundegras, fleirårig raigras, kvitkløver, andre gras og ugras. Etter sortering vart dei ulike artane tørka kvar for seg og prosentvis andel av dei ulike artane vart rekna ut på tørrstoffbasis.

Dato for slått, akkumulert temperatursum (basistemperatur 0°C) og nedbørmengde frå vekststart til første slått og mellom slåttane er synt i tabell 4 og 5. Vekststart vart sett til dagen/datoen når ein hadde hatt fem døgn på rad med middeltemperatur på 5°C eller høgre. Det vart brukt jordtemperatur ved 5 cm djupne sidan denne er meir stabil enn lufttemperaturen, og dette vart henta frå meteorologisk stasjon på Fureneset. Vekstperioden mai-september var våtare i 2019 og 2020 og tørrare i 2021 samanlikna med standard normalperiode 1991-2020. Temperaturmessig var 2019 og 2020 ganske lik normalperioden mens 2021 var 0,5 grad varmare. Av dei tre engåra skilde 2020 seg ut med stor variasjon både for nedbør og temperatur mellom dei ulike månadane (Tabell 2 og 3).

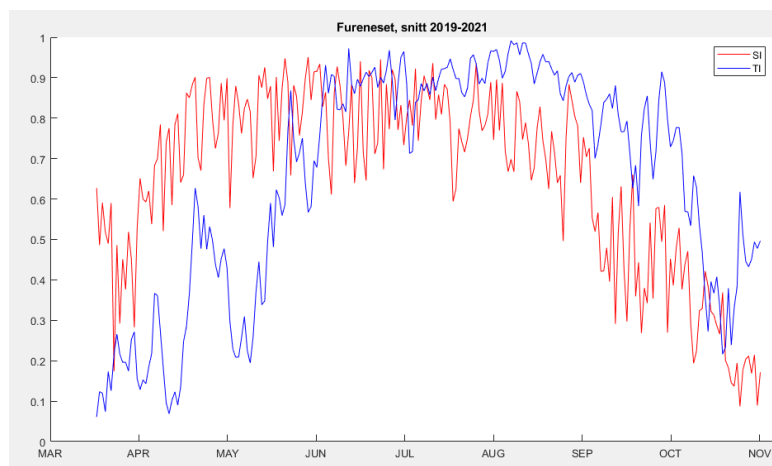
Tabell 2. Dato for slått og temperatursum frå vekststart, sett til 1. april, til 1. slått og mellom kvar slått for kvar av dei to hausteregima i dei tre engåra

År	Slåttar per år	Dato for slått					Temperatursum i vekstperiodane, °C					Sum
		1.	2.	3.	4.	5.	Vår-1.sl.	1.sl.-2.sl.	2.sl.-3.sl.	3.sl.-4.sl.	4.sl.-5.sl.	
2019	3 sl.	12.6	1.8	23.9			657	721	713			2091
	5 sl.	20.5	18.6	24.7	21.8	23.9	407	339	467	463	415	2091
2020	3 sl.	10.6	15.7	2.9			526	523	716			1765
	5 sl.	25.5	24.6	23.7	26.8	28.9	338	424	390	514	378	2044
2021	3 sl.	3.6	21.7	1.9			482	684	614			1780
	5 sl.	25.5	24.6	22.7	20.8	20.9	364	387	427	440	414	2032

Tabell 3. Nedbør (mm) frå 1. april til 1. slått og mellom kvar slått i dei tre forsøksåra

År	Slått/år	Vår - 1.sl.	1.sl. - 2.sl.	2.sl. - 3.sl.	3.sl. - 4.sl.	4.sl. - 5.sl.	Total
2019	3 sl.	184	189	493			866
	5 sl.	41	163	155	149	358	866
2020	3 sl.	271	132	252			655
	5 sl.	262	21	185	187	379	1034
2021	3 sl.	154	203	99			456
	5 sl.	154	140	63	86	103	546

Figur 1 viser gjennomsnittleg strålings- og temperaturindeks for Fureneset for åra 2019-2021. Om våren var temperaturen den avgrensande faktoren for vekst, medan strålinga var avgrensande om hausten.



Figur 1. Tilvekstpotesialet i eng som funksjon av stråling og temperatur på Fureneset i snitt for 2019- 2021. For kvar av faktorane stråling (SI) og temperatur (TI) er det rekna ut ein indeks som varierer frå 0 når faktoren er på eit nivå som gjer at veksten stansar, til 1,0 når nivået er optimalt for veksten.

2.2 Jordeigenskapar

Våren 2019, etter etablering men før køyring på feltet, vart det tatt ut 2 parallelle sylinderprøver (100 cm³) i kvar av djupnene 5-10 og 15-20 cm på ei utvald smårute per storroute. På rutene i gjentak 2 vart det i tillegg tatt ut 2 parallelle sylindrar 27-32 cm djupt. Sylindrane vart frakta til den jordfysiske laben på NIBIO Apelsvoll for analyse. Prøvene vart først vegne og deretter metta nedanfrå i vassbad, vegne på nytt og plasserte på keramiske plater i trykkammer. Vassstapet vart så målt ved å utsette prøvene for aukande trykk på 2, 10 og 100 kilopascal (kPa) før veging når det vart oppnådd likevekt ved kvart trykknivå.

Følgjande storleikar vart målte:

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

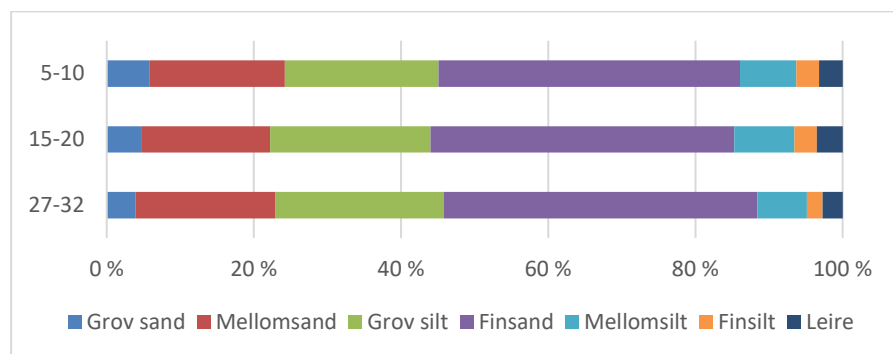
- Vassinnhald ved metting: eit direkte uttrykk for det totale porevolumet i jorda
- Vassinnhald ved -2 kPa (pF_{1,3}): ekvivalent porestorleik 160 µm, rask drenering
- Vassinnhald ved -10 kPa (pF₂): ekvivalent porestorleik 30 µm, antatt feltkapasitet. Feltpapasitet er ofte omtalt som når grøftene sluttar å renne.
- 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): brukt 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
- Metta vassleiingsevne (cm/t ved 10 °C): Utleia frå luftpermeabilitet etter ei likning funne for norske jordarter = $0,106*(\text{luftpermeabilitet}_{1,3})^{2,7}$

Grunnlaget for estimering av PT og vassleiingsevne på basis av andre storleikar finn ein hos Riley (1996).

Analyse av tekstur og glødetap vart gjort i sylindrar frå ledda P1 og P2, og i gjentak 2 også frå Po. Jorda på feltet vart klassifisert som siltig sand, og skilnaden i innhald av ulike fraksjonar av mineralmaterialet ned til 32 cm djupne var liten (Figur 2). Dei to øvste sjikta (5-10 og 15-20 cm) hadde eit moldinnhald på 6,8%, medan det var 4,3% ved 30 cm jorddjupne.



Figur 2. Kornfordeling i tre jorddjupner på forsøksfeltet på Fureneset.

På rutene i gjentak 2 vart det plassert sensorar (Teros 12) i djupnene 3-13 og 23-33 cm for kontinuerleg måling av jordtemperatur og vassinnhald i jord. Data vart lagra på timebasis på ZL6 dataloggar. Både Teros 12 og ZL6 var frå produsenten Meter. Vurderingar av vassinnhald i jord vart gjort med bakgrunn i resultat frå jordfysiske analysar av sylindrerprøver tatt ut i desse djupnene på desse rutene (Tabell 4). Tabellen viser at jorda hadde forholdsvis høgt innhald av store porer som drenerer vatn (luftkapasitet) og god vassleiingsevne.

Tabell 4. Ulike jordfysiske eigenskapar bestemt i sylindrar tatt ut etter etablering av feltet men før behandling med jordpakking i djupner med måling av vassinnhald og temperatur på gjentak 2. N=6.

	Jord-tettleik (mg/m ³)	Porevolum ved metning (vol%)	Luft-kapasitet (vol%)	Lett-tilgjengeleg vatn (vol%)	Luft-permeabilitet (μm ²)	Vass-leiingsevne (cm/t)	Grus (%)
Øvre (5-10 cm)	1,02	59,4	19,7	11,7	25,1	20,0	2,2
Nedre (27-32 cm)	1,14	55,5	20,6	9,5	24,9	19,7	5,9

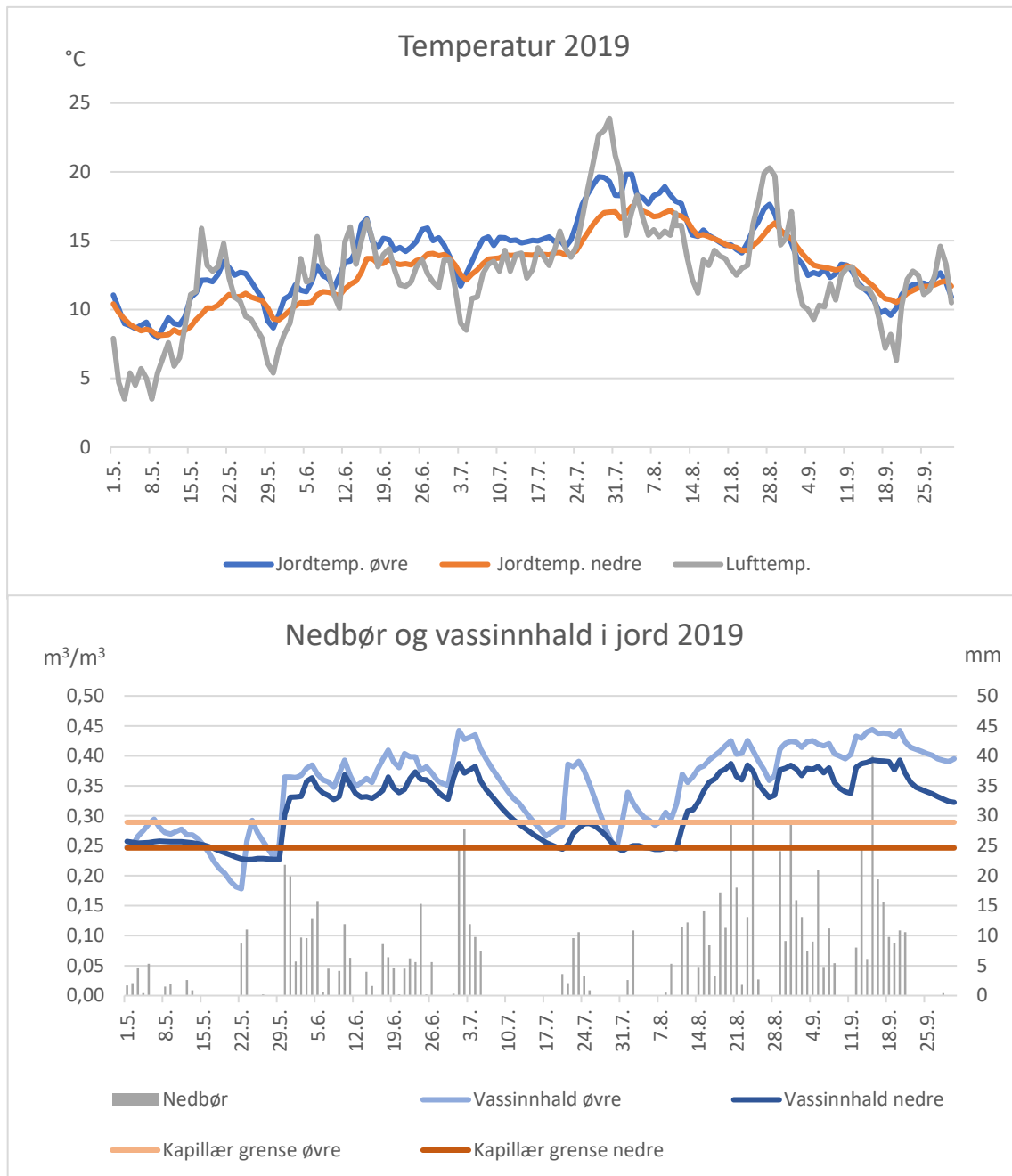
Jorda sin feltkapasitet er vassinnhaldet ved pF₂, noko som svarar til vassinnhaldet i jord når vatnet frå dei største porene i jorda er drenert vekk. Feltkapasiteten i jorda på feltet vårt var rundt 41 og 34 vol% i høvesvis øvre og nedre sjikt (Tabell 5). For å unngå jordpakking er det rekna at ein ikkje bør køyre på jorda med tradisjonelt hausteststyr dersom vassinnhaldet er over 90% av feltkapasitet (Riley 2016, Rivedal 2016), som i vårt tilfelle var 37 og 31 vol% i høvesvis øvre og nedre sjikt. Lett tilgjengeleg vatn for plantevekst har ein mellom pF₂ og pF₃. Vassinnhaldet ved pF₃ blir kalla kapillær grense, og når vassinnhaldet kjem under denne, er vatnet mindre tilgjengeleg for planter. Jorda på feltet vårt hadde ei kapillær grense på 29 og 25 vol% i høvesvis øvre og nedre sjikt.

Tabell 5. Feltkapasitet (vassinnhald i vol% ved pF₂), 90% av feltkapasitet (vol%) og kapillær grense (vassinnhald i vol% ved pF₃) i øvre og nedre jordsjikt på gjentak 2. N=6.

Djupne	Feltkapasitet (vol%)	90% av feltkapasitet (vol%)	Kapillær grense (vol%)
Øvre (5-10 cm)	40,8	36,7	28,9
Nedre (27-32 cm)	34,2	30,7	24,6

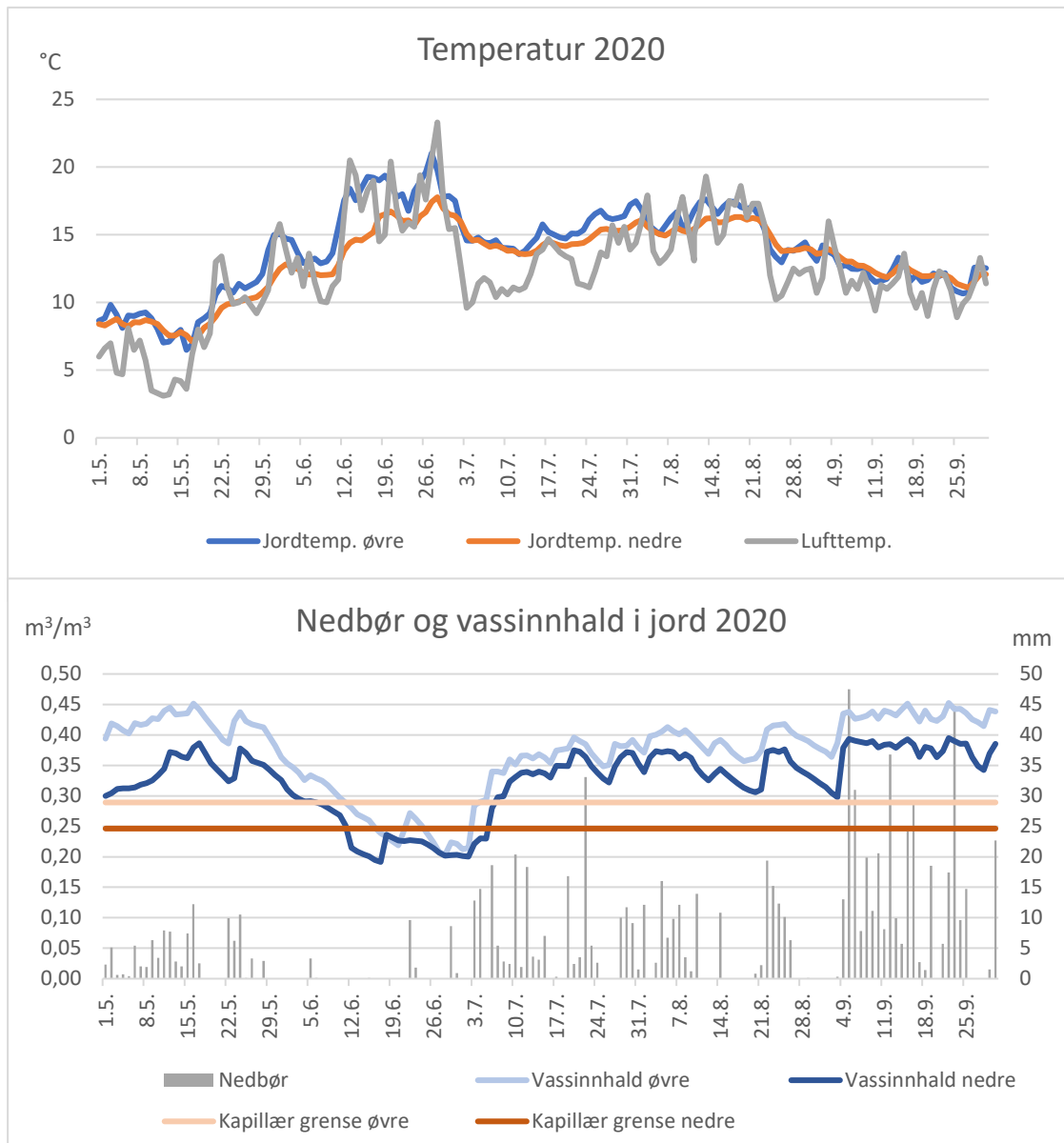
2.3 Nedbør, vassinnhald og temperatur i jord

I 2019 var det ein kjøleg sommar der lufttemperaturen i store delar av juni og juli var under 15 °C. I slutten av juli og slutten av august var det to små varmeperiodar som fekk jordtemperaturen over 15 °C både i øvre (3-13 cm) og nedre (23-33 cm) sjikt frå slutten av juli og ut august. Det var lite nedbør i mai og vassinnhaldet i jorda var heile månaden mindre enn det som kjem innanfor lett tilgjengeleg vatn (kapillær grense). Det var også lite nedbør i juli, men nok til at det stort sett var nok tilgjengeleg vatn. I juni, august og september var det mykje nedbør og vassinnhaldet i jorda stort sett over 35 vol%. Frå midten av august og utover var vassinnhaldet i øvre sjikt stort sett over 40 vol% (Figur 3).



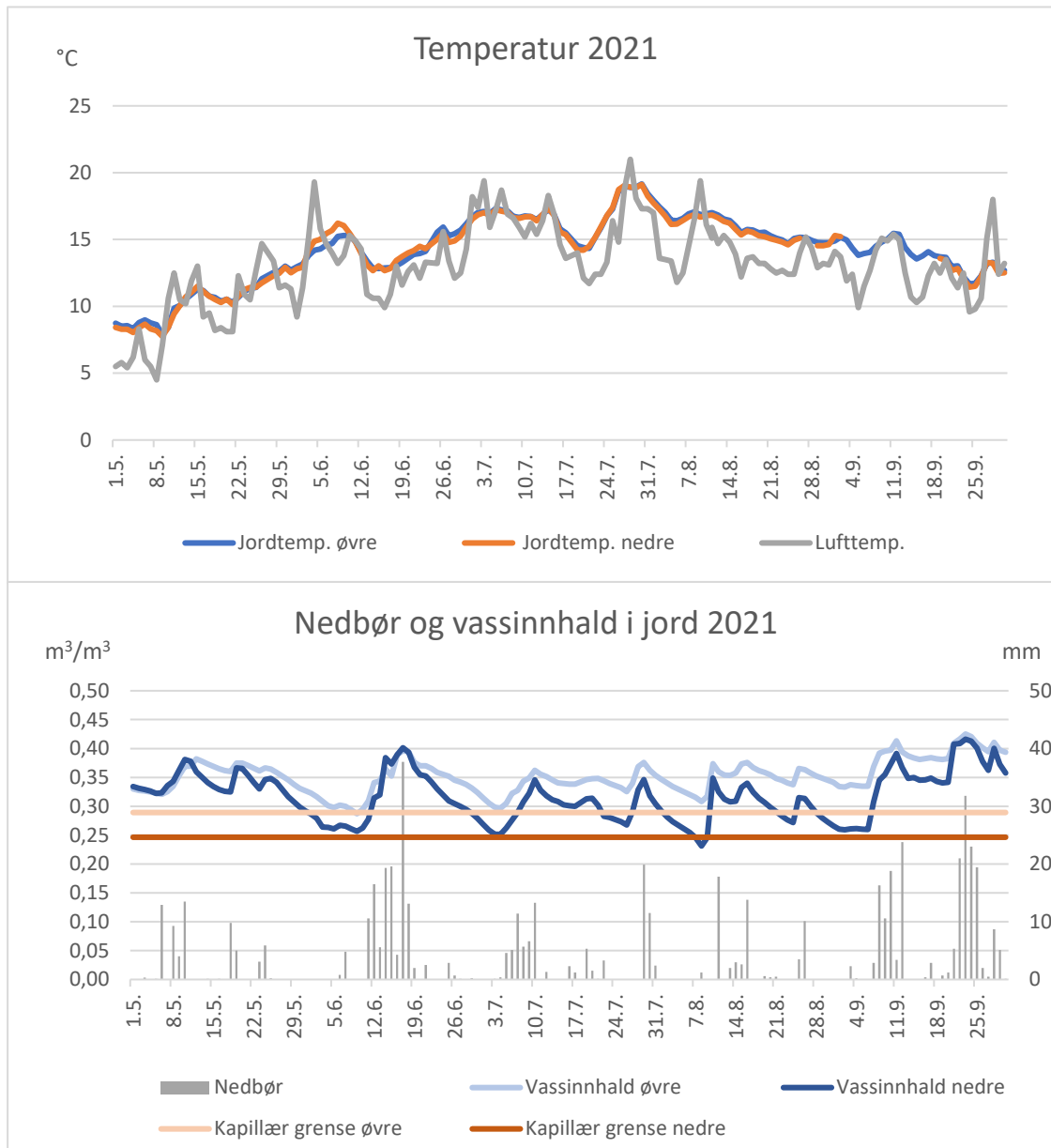
Figur 3. Døgnmiddeltemperatur i øvre (3-23 cm) og nedre (23-33 cm) jordsjikt og luft, nedbør (sum) og vassinnhald (døgnmiddel) i øvre og nedre jordsjikt frå 1. mai til 30 september 2019.

I 2020 var det varmt i siste halvdel av juni med høg temperatur både i lufta og jorda, særleg i øvre sjikt der temperaturen kom opp i 20 °C. Det var forholdsvis kaldt i juli, men varmare i august både i luft og jord. Frå slutten av mai og ut juni var det svært lite nedbør, og vassinnhaldet i jorda var lågt frå starten av juni til starten av juli. Både i øvre og nedre jordsjikt var vassinnhaldet under det som blir rekna som lett tilgjengeleg vatn og i nedre sjikt fleire gonger heilt ned i 20 vol% (Figur 4).



Figur 4. Døgnmiddeltemperatur i øvre (3-23 cm) og nedre (23-33 cm) jordsjikt og luft, nedbør (sum) og vassinnhald (døgnmiddel) i øvre og nedre jordsjikt frå 1. mai til 30 september 2020.

I 2021 var det ingen periodar med spesielt høge temperaturar. Lufttemperaturen svinga ein del, men jordtemperaturen var ganske jamn og det var liten skilnad mellom øvre og nedre sjikt. Det mest spesielle med denne sesongen var den jamne nedbøren som gjorde at det aldri var for lite plantetilgjengeleg vatn. Det var heller ikkje for vått, og med unntak av nokre få enkeltepisodar var det ikkje før ut mot slutten av september at vassinnhaldet var over 40% (Figur 5).



Figur 5. Døgnmiddeltemperatur i øvre (3-23 cm) og nedre (23-33 cm) jordsjikt og luft, nedbør (sum) og vassinnhald (døgnmiddel) i øvre og nedre jordsjikt frå 1. mai til 30 september 2021.

Hausten 2020, etter to sesongar, vart det tatt ut 2 parallelle sylinderprøver (100 cm³) i kvar av djupnene 5-10 og 15-20 cm på same rutene som i 2019. På rutene med sensorar vart det også tatt ut prøver i 27-32 cm djupne. Hausten 2021, etter tre sesongar, prøvetok ein dei same rutene på nytt. Ein tok då 3 parallelar i dei tre djupnene på alle prøvetakingsrutene. Jordfysiske analysar vart utført som omtalt i kapittel 2.1. Endring i ulike parameterar mellom år vart rekna ut.

Motstanden i jorda per 2,5 cm djupne vart målt med penetrometer (Fieldscout SC900) før og etter pakking og på upakka ruter ved alle slåttane. Sidan motstanden i jord er påverka av vassinnhaldet, er det vanskeleg å samanlikne effekten av køyring med robot og tradisjonelt hausteutstyr per slått/køyring pga ulikt slåttetidspunkt. Etter kvar sesong vart det tatt penetrometermålingar på alle ruter på same tid. Det vart tatt 12-15 stikk per rute, men stikka som ikkje nådde djupare enn 25 cm vart forkasta og ein sat igjen med 10-12 stikk per ute. Det var mykje stein på arealet og krevjande å ta målingar.

Ved avslutta feltperiode, om hausten tredje engåret, vart det frå tre ruter i kvart gjentak på høvesvis upakka, standardpakka og robotpakka ruter, i tre gjentak tatt ut tre jordprøvar med sylinderdiameter 10 cm og -lengde 30 cm, totalt 0,0024 m³. Røtene vart vaska og skanna ved bruk av WinRhizo rotskannar (Regent Instruments Inc. 2017). Grønt plantemateriale og rotmassen frå same prøven vart tørka ved 60°C i 48 timar for å estimere skot:rot-forholdet.

Nitrogenopptak i avlinga for Standard og Robot er estimert på grunnlag av tørrstoffavling og analyse av nitrogen målt ved NIRS og jamført med tilført næring som var tilpassa hausteregima.

2.4 Statistisk behandling

Statistisk behandling av avling og fôrqualität er omtalt i Steinshamn m.fl. (2022). Statistisk analyse av jordfysikken blei gjort i R (R Core Team 2023). For penetrometermålingar vart Akaikes Informasjonskriterium (AIC, Akaike 1974) nytta for å finne ut kva faktorar som skulle vere med i modellen eller ikkje. AIC vurderer modellen både etter kor godt han treff og kor komplisert han er, og skal hindre både å ta med for mange forklaringsvariablar (overtilpassing), eller å utelate viktige forklaringsvariablar (undertilpassing). Den endelege modellen var ein variansanalyse innanfor kvar djupne og innanfor kvart år, på motstand som ein funksjon av ledd og gjentak, med interaksjon mellom faktorane. Skilnader mellom ledd blei fastslegne med Tukey-test på 5 % nivå med pakka emmeans (Lenth 2023).

3 Resultat

Avlingsresultat er også vist i Steinshamn m.fl. (2022) som bakgrunn for kostnadsanalyse.

3.1 Tørrstoffavling

I gjennomsnitt over alle engår gav tre slåttar årleg over 200 kg meir tørrstoff (TS) per daa enn fem slåttar (Tabell 6). Årsavlinga i andre engår var i gjennomsnitt 148 kg TS/daa lågare enn i første og tredje engår, og avlingsdifferansen mellom åra var større for fem slåttar (185 kg TS) enn for tre slåttar (96 kg TS). Ved tre slåttar gav Vestland (timoteibasert frøblanding) større årsavling enn Bladgras i første engår, men i dei andre engåra, og i gjennomsnitt over alle engår, var det ingen skilnad mellom dei to frøblandingane. Førsteslåttan i første engåret vart hausta seinare enn i andre og spesielt i tredje engåret, både som dato men også med langt høgare varmesum (Tabell 2), noko som favoriserte den timoteibaserte frøblandinga m.o.t. tørrstoffavling. Ved fem slåttar var det heller ingen skilnad mellom dei to frøblandingane som gjennomsnitt over tre engår.

Tabell 6. Effekt av engår (E), slåttar per år (S) og frøblanding (F) på årsavlinga i kg TS/daa

Engår	3 slåttar Standard		5 slåttar Robot		SEM ¹	P-verdi ²						
	Vestland	Bladgras	Vestland	Bladgras		E	S	E*S	F	E*F	S*F	E*S*F
1	1301 ^a	1235 ^a	1073 ^a	1109 ^a	31,05	***	***	***	is	is	is	is
2	1215 ^a	1201 ^a	889 ^b	906 ^b	29,46							
3	1306 ^a	1336 ^a	1155 ^a	1097 ^a	48,67							
Snitt	1274 ^a	1258 ^a	1039 ^b	1037 ^b								
Snitt	1266 ^a		1038 ^b		32,5							

¹SEM = standard feil for gjennomsnittet

²P-verdi: IS = ikkje signifikant= $P > 0,05$, * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$
Avlingstal med ulike opphøgde bokstavar i rad er statistisk ulike.

3.2 Fôrkvalitet

Fôrkvaliteten i ferskt gras var lik for dei to frøblandingane, og resultatane blir vist som snitt for begge frøblandingane. I Standard var det spesielt andreslåttan som gav låg fôreiningskonsentrasjon (FEM/kg tørrstoff) og med stor skilnad mellom engåra. I Robot var fôrkonsentrasjonen høg, men også her med store skilnader mellom engår og slått (Tabell 7). Desse skilnadane kjem godt fram for fordøyeleg tørrstoff (kg/daa) som gjennomsnitt over alle slåttar i tre engår (Tabell 8) og i sum tørrstoffavling, sum fôreiningsavling og sum fordøyeleg tørrstoffavling som gjennomsnitt over alle slåttar i tre engår (Tabell 9).

Tabell 7. Fôreiningskonsentrasjon (FEM/kg tørrstoff) for ulike engår og slåttar i Standard og Robot

Engår	Standard, slåttar			Robot, slåttar				
	1	2	3	1	2	3	4	5
1	0,84	0,77	0,88	1,01	0,94	0,89	0,94	0,99
2	0,89	0,91	0,86	1,07	0,87	1,00	0,92	0,98
3	0,88	0,79	0,91	1,01	0,93	0,92	0,96	0,93

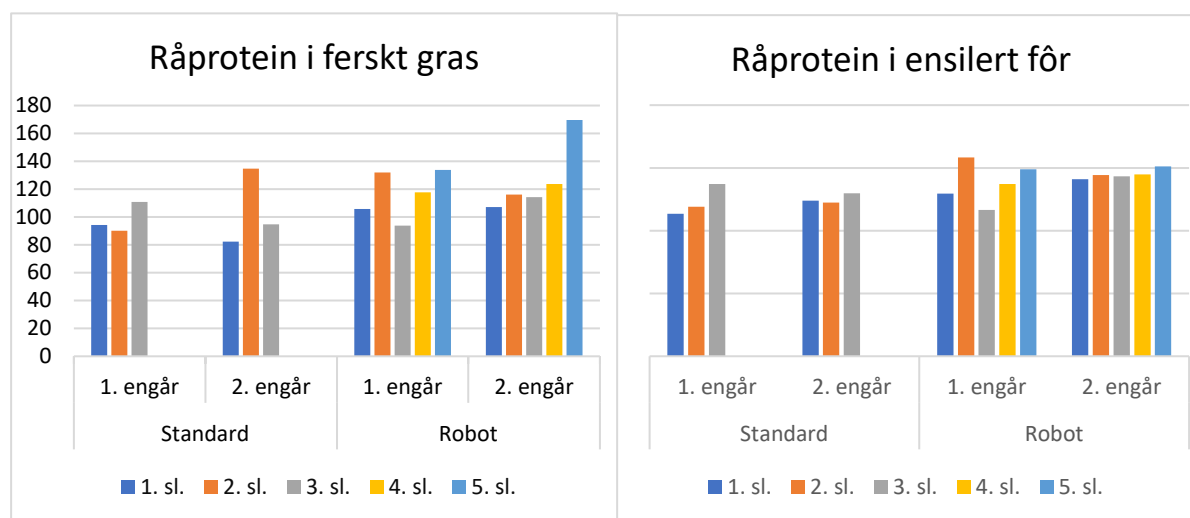
Tabell 8. Fordøyeleg tørrstoff (g/kg tørrstoff) for ulike engår og slåttar i Standard og Robot

Engår	Standard, slåttar			Robot, slåttar				
	1	2	3	1	2	3	4	5
1	70,6	66,6	73,9	81,8	78,1	75,4	78,4	81,2
2	74,3	74,8	73,3	85,8	73,4	82,7	77,1	80,0
3	72,6	67,7	76,0	81,4	76,7	77,3	80,3	76,7

Tabell 9. Avling i tørrstoff, fôreiningar og fordøyeleg tørrstoff for Standard og Robot for tre engår og som snitt for åra.

Engår	Standard			Robot		
	Tørrstoff, kg daa ⁻¹	Fôreiningar, daa ⁻¹	Fordøyeleg ts, kg daa ⁻¹	Tørrstoff, kg daa ⁻¹	Fôreiningar, daa ⁻¹	Fordøyeleg ts, kg daa ⁻¹
1	1268	1039	883	1091	1041	861
2	1208	1070	897	898	865	713
3	1321	1129	947	1126	1076	887
Snitt	1266	1079	909	1038	994	820

Det var liten skilnad i fordøyeleg tørrstoffavling i ferskt og ensilert materiale, men høgare proteininnhald i ensilert enn i ferskt gras (Figur 6). I gjennomsnitt for alle slåttane i første og andre engår auka proteininnhaldet med 17% etter ensilering.



Figur 6. Mengde råprotein (g/kg ts) i ferskt gras og i ensilert fôr for tre (Standard) og fem (Robot) slåttar i 1. og 2. engår.

3.3 Avlingsfordeling mellom slåttane

Ved tre slåttar fordelte tørrstoffavlinga (Tabell 10) seg slik; 48%, 32% og 21% på høvesvis første, andre og tredje slått som snitt over tre engår, og tilsvarende fordeling ved fem slåttar var 32%, 26%, 20%, 14% og 7%.

Tabell 10. Tørrstoffavling (kg TS/daa) i tre (Standard) og fem (Robot) slåttar i tre engår og prosentvis fordeling per slått av tørrstoffavlinga som snitt over tre engår

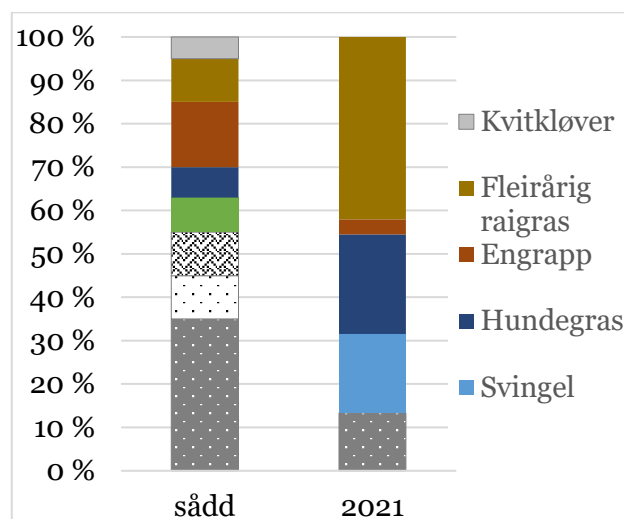
Engår	Standard, slåttar				Robot, slåttar					
	1	2	3	Sum	1	2	3	4	5	Sum
1	604	461	204	1268	413	215	271	147	45	1091
2	602	303	304	1208	257	300	145	135	60	898
3	601	444	276	1321	341	291	226	167	100	1126
%*	48	32	21		32	26	21	14	7	

*Prosentvis fordeling på gjennomsnittleg tørrstoffavling over tre engår

3.4 Botanisk samansetting over år

Sorteringsprøvene frå treslåttssystema (med og utan pakking) viste ein nedgang i andel av timotei frå 35 % i frøblandainga ved etablering i 2019 til 13 % i førsteslåttan i tredje engåret, rekna som prosent av tørrstoffavlinga. Det var og ein reduksjon i andelen svingelartar. Både hundegras og fleirårig raigras auka mykje, høvesvis med ei tre- og firedobling i løpet av tre engår.

Figur 7. Botanisk endring i Vestland frå såing i 2018 til førsteslåttan i 2021 (tredje engår) med sorteringsprøver frå treslåttssystema (med og utan pakking).



3.5 Nitrogentilgang og -opptak i avlinga

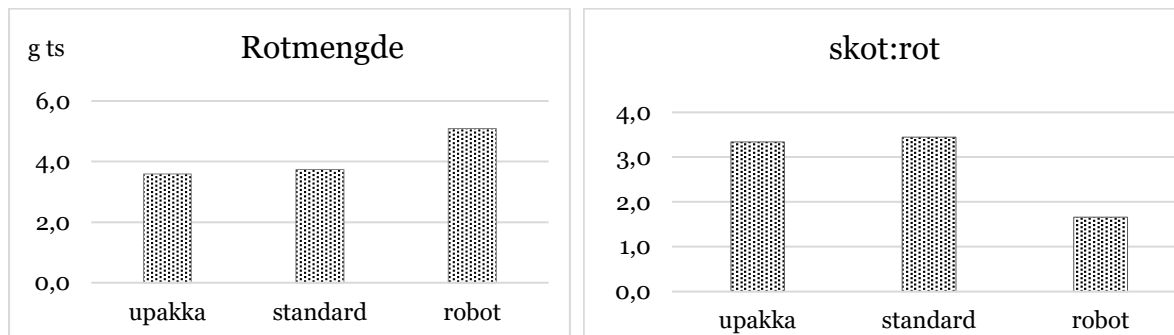
Tabell 11 viser mengde nitrogen tilført og opptatt i avling per slått og år for Robot og Standard. Opptatt mengde N i avlinga varierte mykje mellom åra, og spesielt i tredje engåret (2021) var N-opptaket høgt. Det var lågast N-opptak i 2020, og særleg første og tredje slått i Robot skilde seg ut med lågt opptak. I gjennomsnitt for dei tre engåra var det ingen skilnad i nitrogen opptatt i avlinga mellom Robot og Standard haustesystem.

Tabell 11. Tilført N i gjødsel og opptatt N i avling for alle slåttar i Robot og Standard i tre engår

Engår	Standard, slåttar				Robot, slåttar					
	1	2	3	Sum N	1	2	3	4	5	Sum N
Tilført N, kg	14,1	8,7	5,3	28,1	8,7	7,0	5,9	3,7	3,1	28,4
Opptatt N, kg										
1	9,1	6,6	3,6	19,3	7,0	4,5	4,1	2,8	1,0	19,4
2	7,9	6,5	4,6	19,0	4,4	5,6	2,7	2,7	1,6	17,0
3	11,6	7,1	4,5	23,2	8,0	6,6	4,6	2,7	2,9	24,8
Snitt opptatt N, kg	9,5	6,7	4,2	20,5	6,5	5,6	3,8	2,7	1,8	20,4

3.6 Planteutvikling

Prøvar tatt ut hausten i tredje engåret viste at rotbiomassen var ganske lik på upakka ruter og i Standard og høgre i Robot. Skot:rot-forholdet var likt på upakka og standardruter. På femslåttsrutene, derimot, var dette forholdet mykje lågare og tilseier ein relativt høgre rotmasse enn ved tre slåttar (Figur 8). I gjennomsnitt vog grønmassen frå treslåttsrutene 10,4 g og frå femslåttsrutene 7,7 g. Uttaksoverflata var 78,5 cm².

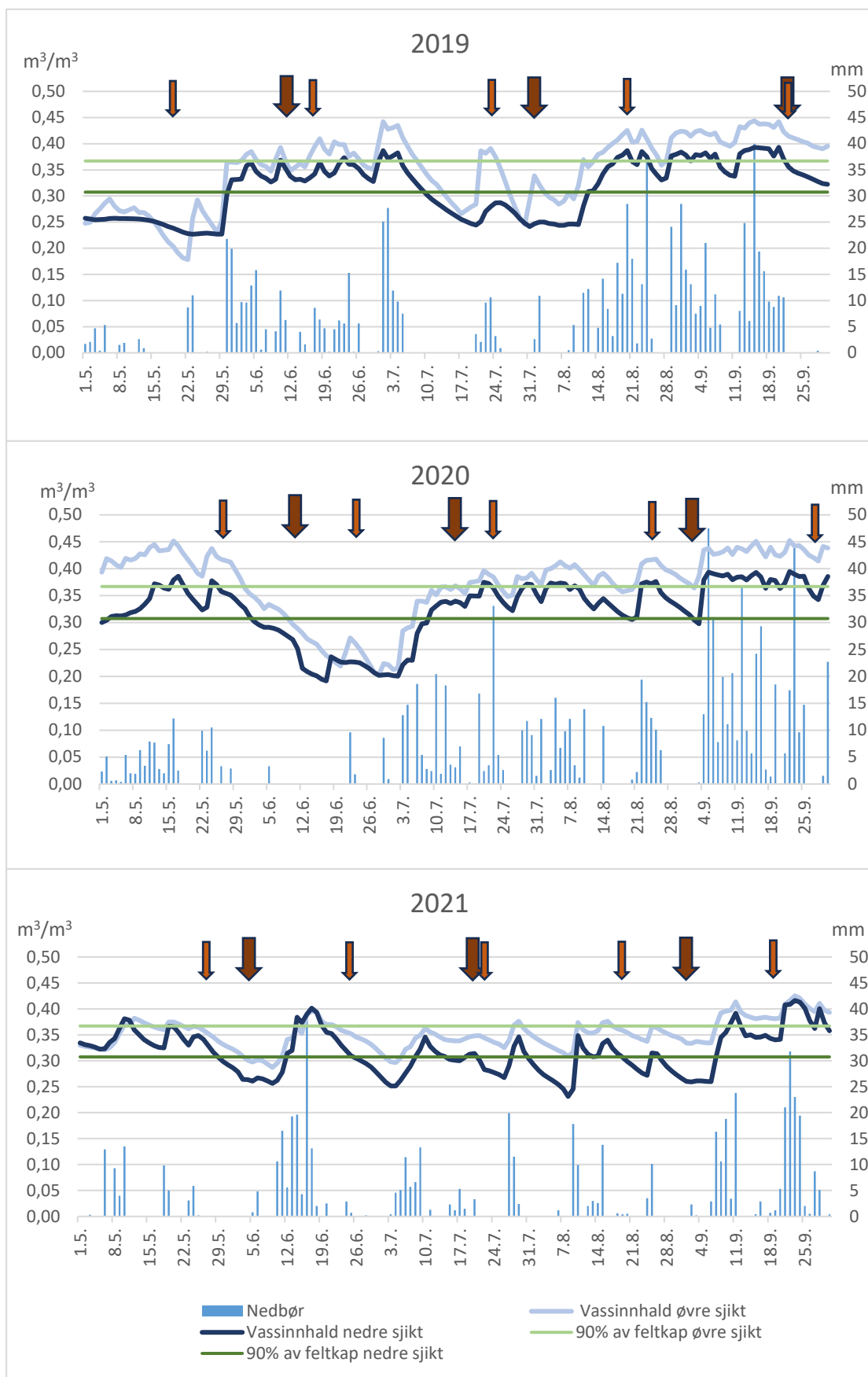


Figur 8. Rotmengde (gram ts) i jordsylindrar med 10 cm diameter og 30 cm djupne frå upakka, standard treslåttsruter og femslåttsruter, og skot:rot-forholdet for same prøvene tatt ut hausten i tredje engåret.

3.7 Vassinnhald i jord og fare for jordpakking

I 2019 hadde ein gode hausteforhold i mai, men i juni førte mykje nedbør til høgt vassinnhald i jorda (Figur 9). Berre dagane 6.-8./6. og 12.-15./6. var vassinnhaldet mindre enn 90% av feltkapasitet i øvre sjikt i den perioden ein vanlegvis tek førsteslåtten i området. Frå tidleg i juli til midten av august var det tørt nok i jorda til å hauste, men etter dette var det stort sett for vått.

I 2020 var det for vått i mai, men i heile juni var jorda tørr nok til hausting. Seinare på året var det utfordrande å hauste utan fare for jordpakking. I midten og slutten av august var det to periodar med opphaldsvér, men jorda tørka ikkje godt nok opp. I 2021 var det totalt sett mindre nedbør, og nedbøren var jamt fordelt utover i sesongen. Dette gav rom for hausting utan fare for jordpakking i store deler av sesongen. Generelt kan ein seie at det er store variasjonar frå år til år og vanskeleg å planlegge eit hausteregime. Alle år har ein likevel problem med høgt vassinnhald i jord når ein kjem ut i september. Dette kjem både av mykje nedbør, men og av seinare opptørking på grunn av lågare strålingsintensitet og redusert plantevekst.



Figur 9. Døgnnedbør og vassinnhald (døgnmiddel) i øvre og nedre jordsjikt i høve til 90% av feltkapasitet i disse sjikta i åra 2019 til 2021. Tjukk pil er haustetidspunkt for Standard og tynn pil er haustetidspunkt for Robot.

3.8 Verknad av køyring på jordpakking

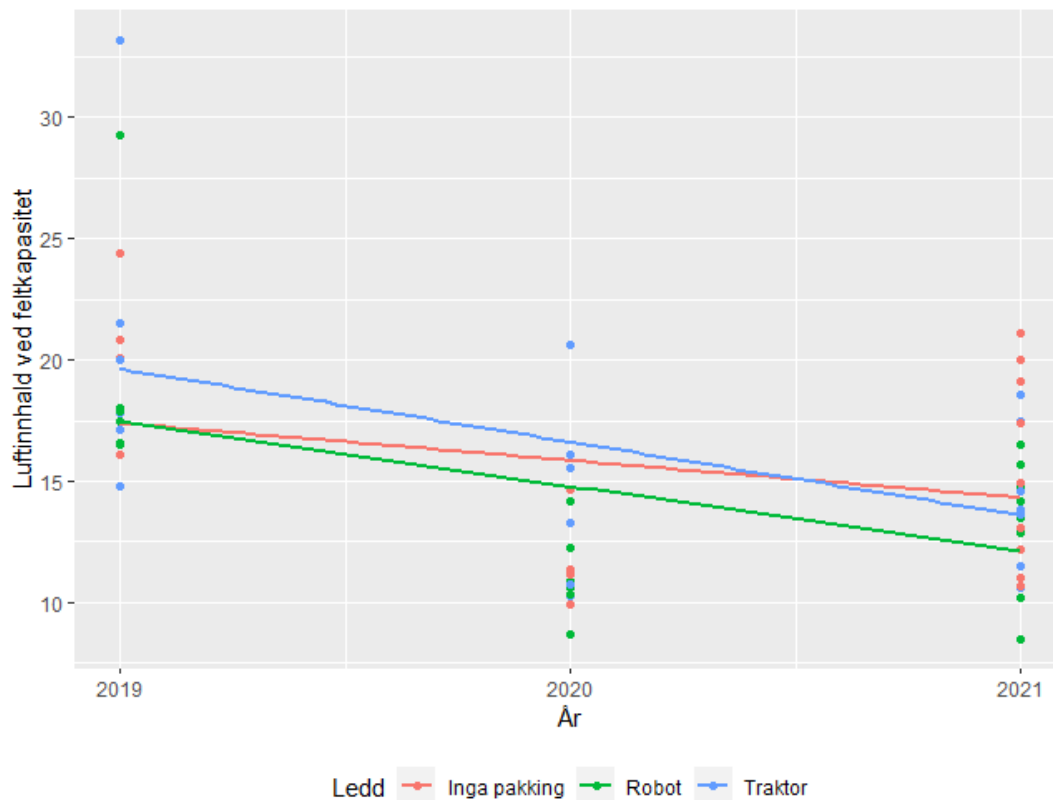
3.8.1 Resultat frå sylinderprøver

Etter tre vekstsesongar var det tendensar til større jordtettleik, mindre totalt porevolum, mindre luftkapasitet og mindre luftpermeabilitet i øvste sjikt (5-10 cm) både etter køyring med robot og standard slåtteutstyr (Tabell 12). Utslaga var likevel små og ikkje statistisk sikre. Det var ingen skilnad mellom hausteutstyra. Grunnen til lågare totalt porevolum og større luftkapasitet i det djupaste sjiktet er truleg lågare innhald av organisk materiale enn i sjikta over.

Tabell 12. Verknad av køyring med robot og traktor med rundballepresse (Standard) i tre engår på jordtettleik, porevolum, luftkapasitet (volum av porer over 30 μm) og luftpermeabilitet. Resultat frå analysar av sylinderprøver (n=9)

	Utan pakking		Robot		Standard	
	Middel	Standard-avvik	Middel	Standard-avvik	Middel	Standard-avvik
Jordtettleik (mg/m³)						
5-10 cm	1,03	0,08	1,10	0,07	1,12	0,07
15-20 cm	1,11	0,05	1,08	0,08	1,05	0,12
27-32 cm	1,29	0,15	1,28	0,08	1,22	0,20
Porevolum ved metning (vol%)						
5-10 cm	59,6	2,4	58,9	2,7	58,1	2,8
15-20 cm	59,4	1,2	60,4	3,1	60,4	2,9
27-32 cm	50,9	4,4	51,1	3,9	55,0	5,0
Luftkapasitet (vol%)						
5-10 cm	15,5	4,0	13,3	2,5	14,3	2,6
15-20 cm	12,9	2,9	12,4	2,4	12,7	2,6
27-32 cm	17,4	5,8	21,5	4,7	20,9	5,5
Luftpermeabilitet (μm^2)						
5-10 cm	20,6	12,7	8,1	7,9	14,2	13,5
15-20 cm	13,8	11,2	10,3	12,3	10,6	13,1
27-32 cm	24,7	12,8	26,7	10,6	18,4	14,4

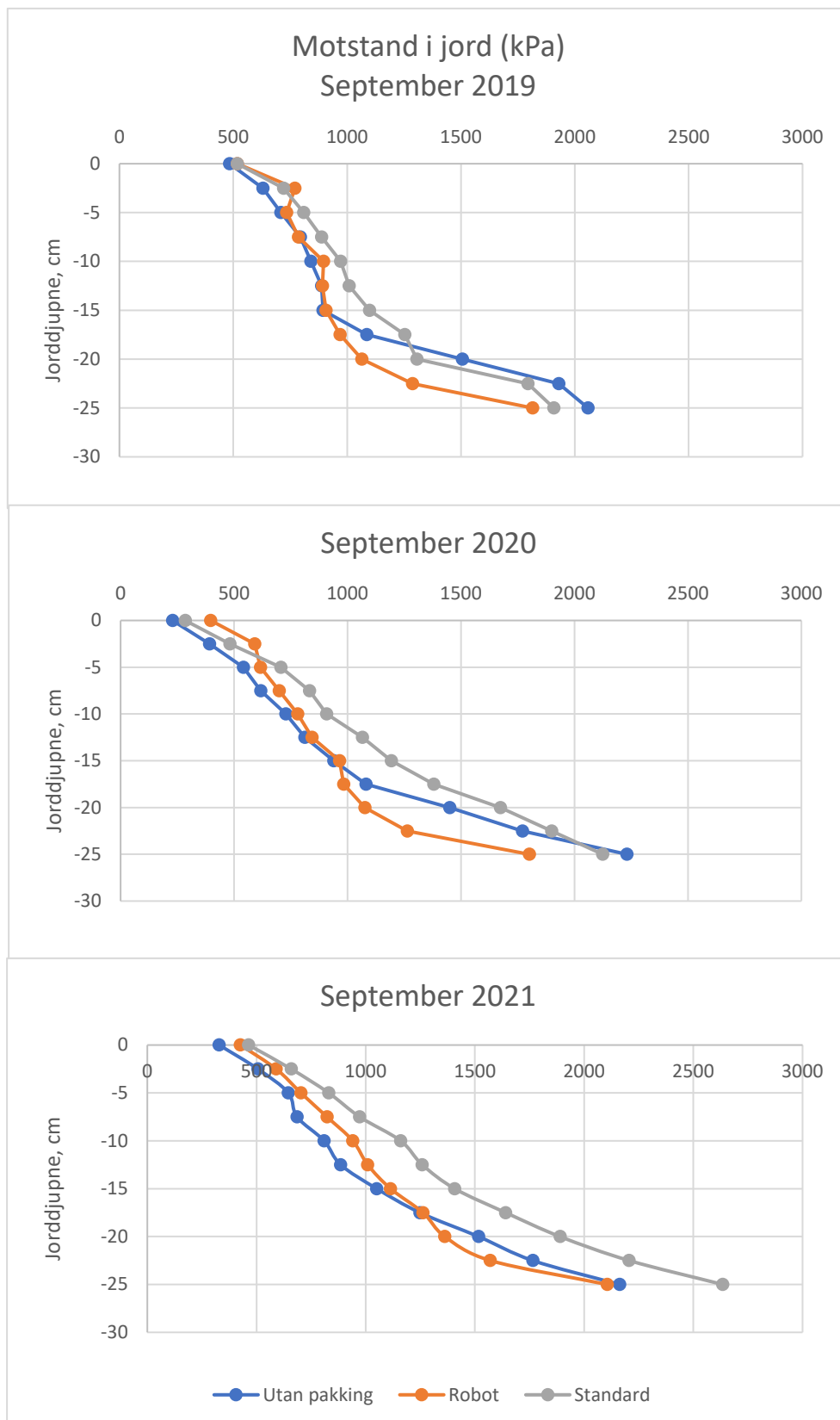
Luftkapasitet er ein god parameter for å vurdere jordpakking sidan det er dei store porene i jorda som i størst grad vert påverka av køyring. Vi undersøkte derfor endring i luftkapasitet frå før pakking i 2019 til etter pakking i 2020 og 2021 i øvste sjikt for dei ulike ledda. Upakka ledd hadde endra seg minst, medan reduksjonen i luftkapasitet var nokså lik etter køyring med robot og standard hausteutstyr (Figur 10).



Figur 10. Endring i luftkapasitet frå før pakking i 2019 til etter tre sesongar med køyring med robot og traktor med rundballepresse (Standard).

3.8.2 Penetrometermålingar

Figur 11 og tabell 13 syner at motstanden i jord auka med jorddjupne og at verknaden av køyring vart tydelegare utover i engåra. Etter tre år var det større motstand i jorda både etter køyring med robot og standard hausteststyr (traktor og rundballepresse) enn utan køyring ned til 12,5 cm djupne. I jordoverflata pakka robot og standard hausteststyr like mykje, men djupare nedover pakka standard hausteststyr meir enn robot. Under 12,5 cm djupne er det berre standard hausteststyr som har påverka motstanden i jorda (Tabell 13).



Figur 11. Verknad av Robot og Standard på motstand i jord i kilopascal (kPa) målt med penetrometer etter vekstsesongane 2019, 2020 og 2021.

Tabell 13. Verknad av Robot og Standard på motstand i jord (kPa) målt med penetrometer. Ulike bokstavar betyr statistisk sikker skilnad på 95% nivå testa med Tukey.

Jord- djupne, cm	2019			2020			2021		
	Utan	Robot	Standard	Utan	Robot	Standard	Utan	Robot	Standard
0	484 a	518 a	516 a	230 a	397 b	284 a	216 a	426 b	464 b
-2,5	632 a	770 b	718 ab	394 a	592 c	482 b	503 a	590 b	659 b
-5	712 a	735 ab	807 b	546 a	616 ab	707 b	644 a	703 a	831 b
-7,5	798 a	787 a	887 a	625 a	697 a	832 b	684 a	823 b	972 c
-10	847 a	897 a	970 a	735 a	778 a	908 b	809 a	941 b	1159 c
-12,5	891 a	892 a	1007 a	826 a	844 a	1067 b	888 a	1009 b	1258 c
-15	894 a	908 a	1096 b	962 a	966 a	1195 b	1055 a	1114 a	1407 b
-17,5	1098 ab	969 a	1251 b	1122 a	984 a	1383 b	1265 a	1262 a	1641 b
-20	1533 b	1065 a	1304 ab	1523 b	1078 a	1679 b	1558 a	1362 a	1887 b
-22,5	1964 b	1287 a	1790 b	1881 b	1266 a	1911 b	1818 b	1570 a	2208 c
-25	2160 a	1816 a	1893 a	2443 b	1810 a	2123 ab	2267 a	2106 a	2645 b

4 Diskusjon

4.1 Effekt av hausteintensitet på frøblanding og avling

Hausteintensitet gav liten effekt på dei to frøblandingane der hovudskilnaden var blanding med timotei (Vestland) og utan timotei (Bladgras). Med ein relativt lang vekstsesong som på Fureneset, vil timotei vere ein dominerande art tidleg i sesongen. Gjenvekstevna til timotei er liten samanlikna med dei såkalla bladgrasa som vil produsere mykje meir biomasse enn timotei utover sommaren og tidleg haust, fordi dei i liten eller ingen grad set stenglar i gjenveksten. Dei to frøblandingane er begge artsrike med høvesvis 7 og 8 artar i Bladgras og Vestland. Vurdering i feltet viste at mengde timoteiplanter forsvann fort i begge hausteregima. Når timoteidelen er såpass moderat som i Vestland (35 %), vil dette gi godt grunnlag for at dei andre artane kan etablere seg godt i attleggsåret. Dermed kan desse andre artane ta over i seinare engår om andre artar går ut, i dette tilfellet timotei. Med høgare timoteidel (t.d. over 50%) i blandinga, vil timotei dominere sterkt slik at andre artar får mindre rom til utvikling frå starten. I tidlegare forsøk under ulike dyrkingsforhold har ein også sett at ei artsrik bladgrasblanding konkurrerer godt med timoteibaserte frøblandingar med moderat timoteiinnhald på 30% (Rivedal og Østrem, 2018). Samansetjinga av frøblandingane i GrassRobotics-studien var såleis for like til at det vart nokon avlingseffekt, noko ein kanskje kunne fått med ein timoteidel på t.d. 50%.

Effekten av artsrike frøblandingar viser også att i avlingsutviklinga over år. Det er truleg effekten av eit veletablert bestand av Vestland ein ser i første engår der denne frøblandinga har høgare avling enn Bladgras. Ved tre slåttar vil effekten av timotei i førsteslått bli redusert, og dei to frøblandingane blir etter kvart begge dominert av bladgras. Men Vestlandsblandinga hevdar seg godt gjennom heile forsøksperioden, også siste året i 5-slåttssystemet. Sortering av denne blandinga i tredje engår på upakka ruter (tre slåttar), viste at Vestlandsblandinga i løpet av tre engår endra seg mykje og på mange måtar nærma seg ei bladgrasblanding. Av tørrstoffavlinga i førsteslått utgjorde timoteidelen no berre 13%.

Avlingsnedgangen i andre engår har å gjere med spesielle vêrtilhøve i 2020 med periodevis lite nedbør. I Standard gav dette stor avlingsreduksjon i 2. slått, og ein bra tredjeslått var ikkje stor nok til å vege opp dette avlingstapet, og i 5-slåttssystemet var fleire av slåttane påverka.

Avlingsnivået i GrassRoboticsforsøket har halde seg svært stabilt frå første til tredje engår med ei avling i tredje engår på 99-108% av avlinga i første engår. Stabil avlingsutvikling over år har ein også sett i andre forsøk både med sortar i reinbestand og frøblandingar i forsøk på Fureneset (Østrem og Aune, 2020). Der var tørrstoffavlinga i fjerde engåret ved tre slåttar høvesvis 118 % og 115 % av avlinga i første engår for hundegras (Frisk) og raisvingel (Hykor) i reinbestand. Desse to artane har begge stor plantevekst frå våren av og stor gjenvekstevne i resten av sesongen. I same forsøket hadde ulike frøblandingar alle over 80 % av førsteårsavlinga i fjerde engår, og beste frøblanding (50 % timotei, 30 % strandsvingel og 10 % kvar av fleirårig raigras og raudkløver) hadde 95 % av førsteårsavlinga. Ved sortering av bestandet i førsteslått i fjerde engår, var fordelinga mellom grasartane 20, 20 og 50 % av tørrstoffavlinga for høvesvis timotei, fleirårig raigras og strandsvingel (Østrem og Aune, 2020). Strandsvingel og også fleirårig raigras har begge ei stor evne til å ta over ledig plass etter t.d. timotei i eit plantebestand, og dermed kan avlingsnivået haldast stabilt høgt over fleire år. Andre forsøk på Fureneset (Sturite m.fl., under publisering) viser liknande høg avlingsstabilitet som i hovudsak kjem ved bruk av lite eller ingen timotei i frøblandinga, med tillegg av fleire såkalla bladgrasartar i blandinga. Tørrstoffavlinga i tredje engåret var på 95-98 % av førsteårsavlinga i reine bladgrasblandingar. Til samanlikning viste timoteibasert frøblanding med anten engsvingel eller strandsvingel (begge 25 % i sådd blanding), 85 % og 91 % for høvesvis engsvingel eller strandsvingel i blandinga for tredje engår samanlikna med førsteårsavlinga, noko som viser at artsvalet i ei frøblanding kan utgjere ein viktig skilnad. Same blandinga gjekk i favør av engsvingel under meir

typiske toslåttforhold (Løken, Valdres, 450 moh), der gjenvekstevna i strandsvingel ikkje kan nyttiggjerast i like stor grad som i ein lengre vekstsesong som på Fureneset.

Som venta var det betre førkvalitet i surfôret laga frå fem enn tre slåttar per år, men førkvaliteten var også god for 3-slåttssystemet. Innslaget av bladgras i Vestlandsblandinga var relativt høgt og aukande utover i sesongen og over engår, og kan forklare manglande skilnad i førkvaliteten mellom dei to engtypane. Lågare energiinnhald i andreslåttan samanlikna med første og tredje slått kjem av at andreslåttan oftast er utvikla under høgre temperatur enn tidlegare og seinare slåttar. Dette aukar andelen av ufordøyeleg fiber i tillegg til at ein tidleg førsteslått også kan gi meir generative skot i andreslåttan, noko som også dreg ned energiinnhaldet.

Sisteslåttan på begge haustesystema, Standard og Robot, skulle etter planen takast på same tid, altså i siste del av september, for å sjå korleis ein best kunne utnytte vekstsesongen. Dette vart gjort første engåret (Tabell 2) men i andre og tredje engåret vart treslåttssystemet avslutta i slutten av august. I Standard kunne førsteslåttan med fordel vore tatt tidlegare for å få ein større del av totalavlinga i dei to gjenvekstslåttane. Dette kunne gitt auka føreiningssavling og fordøyeleg avling. I Robot var gjenveksten for liten til ein eigen femteslått, og eit alternativ med ein fjerdeslått tatt i månadsskiftet august-september eller tidleg i september, ville gitt ei jamnare avlingsfordeling for tre gjenvekstslåttar. Under gjeldande klimaforhold er fire slåttar det meste ein kan få ut av desse frøblandingane. Veksten er rask tidleg i sesongen, og med føreiningsskonsentrasjon rundt 1,0 i førsteslåttan er det liten grunn til å starte tidlegare (førsteslått tatt rundt 20. mai) med intensiv slått som i Robot-systemet. Temperatur- og strålingsindeksen (Figur 1) for dei aktuelle forsøksåra viser stor skilnad mellom vår og haust, og redusert solstråling seint i sesongen gav liten vekst frå september og utover. Ein sein slått basert på veksten i september vil vere for liten til å kunne rettferdiggjera økonomisk, og høgre gjødsling for å auke veksten vil heller verke negativt enn positivt.

Nitrogenbalansen i forsøket låg på same nivå som ein finn i andre forsøk med liknande gjødslingsnivå til eng (Jørgensen m.fl. 2020). I gjennomsnitt fann vi igjen rundt 70% av tilført N-gjødsel i avlinga. Sett i lag med ein forholdsvis låg råproteinprosent i avlinga indikerer dette at N-gjødslinga ikkje har vore for høg i forhold til avlingsnivået. Det låge N-opptaket i 1. og 3. slått i 2020 skuldast nok låg avling som følgje av for lite plantetilgjengeleg vatn i jorda. Tørken kan og ha påverka omsetninga av det organiske materialet i jorda slik at mindre av dette vart frigjort til plantevekst. Vi hadde ikkje null-ruter med i forsøket og kan dermed ikkje seie noko om N-bidraget frå jord. I gjennomsnitt for tre år er det ingen skilnad i N-opptaket mellom Standard og Robot, og ein har dermed ikkje nokon effekt av pakking på N-opptak. Ein slik effekt ville uansett vore vanskeleg å skilje frå andre forhold som er ulikt mellom dei to systema som gjødslings- og haustetidspunkt og botanisk utvikling utover i engåra.

Når det gjeld skot:rot-forholdet (Figur 8), kan skilnad i grønmasse mellom Standard og Robot forklarast ved lengda på veksetida etter siste slått, høvesvis ca. 30 og 10 dagar for tre- og femslåttsrutene (Tabell 2). Det er frå før kjent at hyppig slått reduserer total rotmengde i forhold til mindre hyppig slått. Den uventa høgre rotbiomassen i Robot enn i Standard kan kanskje forklarast ved ulik artsutvikling i frøblandingane. Ved fem slåttar har truleg enga hatt ei anna artssamansetjing enn det som kjem fram i figur 7 som viser botanisk utvikling på upakka ruter i tredje engåret, altså ved tre slåttar. Det vart diverre ikkje tatt ut sorteringsprøver frå femslåttsruter, men rotbiomassen her tilseier at andelen av strandsvingel/svingeltype raisvingel, som begge har djupe og tjukke røter, kan ha vore større enn i treslåttsrutene og dermed gitt eit lågare skot:rot-forhold enn i Standard. I andre forsøk har to eller tre slåttar vist ulik effekt på artssamansetjinga (Østrem og Aune, 2020), og det er rimeleg å tenkje tilsvarende endringar frå tre til fem slåttar.

4.2 Effekt av hausteintensitet på jordeigenskapar

Måling av vassinnhald i jord gjennom dei tre sesongane viste at det i to av åra var vanskeleg å få lange nok periodar utan nedbør til at jorda tørka godt nok opp i dei tidsromma ein forventar slått. I september var det i alle år for vått i jorda for hausting med tradisjonelt hausteutstyr utan å risikere jordpakking. Dette betyr at ein i eit treslåttsystem bør legge opp til å ta tredje slått i slutten av august/tidleg i september, noko som krev at ein kjem raskt i gang om våren. Som regel kjem det mykje meir nedbør i september enn i månadane april til august. I tillegg går opptørkinga seinare pga lågare strålingsintensitet og redusert plantevekst. Å unngå hausting i september vil derfor vere ein fordel. Med robothausting er faren for jordpakking redusert på grunn av at utstyret er så lett. Ein treng derfor ikkje vente så lenge etter nedbør før ein kan køyre på jorda. Hausting i regn er likevel ikkje gunstig med tanke på grovfôr kvalitet og fortørking for å redusere volumet som skal transporterast. Dette kan vere ei utfordring når haustekapasiteten er låg og tal slåttar skal aukast. Ei løysing er å auke tal robotar.

Det var ingen skilnad i jordtettleik eller luftkapasitet etter køyring med robot og standard hausteutstyr i tre engår. På eit forsøksfelt er det lettare å gjennomføre slått innafor eit kort tidsrom med tørr nok jord enn i praksis der ein har mykje større areal som skal haustast. Det er mogleg resultatet hadde vorte annleis dersom køyringa hadde gått føre seg på våtare jord. Sidan slåttane i dei to systema gjekk føre seg til ulikt tidspunkt, var det og vanskeleg å få likt vassinnhald ved køyring.

Resultat frå måling av motstand i jord med penetrometer er logiske der ein i jordoverflata har likt utslag for køyring med robot og standard hausteutstyr, så større utslag for standard hausteutstyr enn robot ned til 15 cm jorddjupne, og djupare enn det berre utslag for standard hausteutstyr. Det var god dekkutrustning på traktor og rundballepresse, men smale dekk på roboten. Dette kan ha gitt nokolunde likt marktrykk i toppen, men i djupare lag har traktor og rundballepresse påverka jorda meir. Jordpakking ned til 15 cm djupne er lett å reparere ved hjelp av pløying og jordarbeiding, men vanskelegare å gjere tiltak mot i djupare lag.

Dersom jordpakking i realiteten var mindre ved bruk av robot har vi ikkje klart å fange dette opp i avlingsmengde. Når tal slåttar mellom dei ulike systema også var ulikt, skuggar det over verknaden av jordpakking. Det var dessutan ikkje skilnad i avling mellom upakka jord og pakking med standard hausteutstyr (resultat ikkje vist). Tørrstoffavlinga var mindre ved fem slåttar med robothausting enn ved tre slåttar med standard utstyr, men på grunn av hausting på tidlegare utviklingstrinn og høgre proteininnhald ved robothausting var nitrogenavlinga lik mellom dei to systema.

5 Konklusjonar

Robothausting med fem slåttar årleg gav lågare tørrstoffavling enn standard hausting med tre slåttar årleg. Fem slåttar gav grovfôr med høgare energiverdi, men føreiningsavlinga var på lik linje med tørrstoffavlinga lågare ved fem enn ved tre slåttar. Det var ingen effekt av frøblanding på gjennomsnittleg årsavling og avlingskvalitet. Engavlinga heldt seg stabilt høg i alle tre engåra, både ved tre og fem slåttar årleg. Den femte slåtten ved robothausting gav svært lita avling og er urealistisk å gjennomføre i praksis.

Med standard hausteutstyr ville ein i to av dei tre engåra fått problem med å hauste på tørr nok jord utan fare for jordpakking. Alle år var jorda for våt frå starten av september og utover, og hausting med tradisjonelt hausteutstyr bør skje før dette. Ein lett robot kan brukast kort tid etter nedbør, men for å unngå regn under hausting må kapasiteten tilpassast at ein mange år har få dagar utan nedbør i vekstsesongen.

Motstanden i jord frå 5 cm jorddjupne og nedover var lågare etter bruk av robot enn etter bruk av standard hausteutstyr, noko som tyder på at robothausting reduserer jordpakkinga. Vi fann ikkje skilnad i jordtettleik, luftkapasitet eller luftpermeabilitet mellom Robot og Standard. Det var ikkje skilnad i nitrogenavling mellom dei to haustesystema.

Vedlegg

Sådato/skifte: 02.07.2018 / Nordbø																																				
GrassRobotics																																				
Rep. 1	Grensebelte																		5	meter																
Rute	k a n t	101	102	103	104	105	106	k a n t		107	108	109	110	111	112	k a n t		113	114	115	116	117	118	k a n t												
Pakking=HR		P0	P0	P0	P0	P0	P0			P1	P1	P1	P1	P1	P1			P2	P2	P2	P2	P2	P2													
Frøblanding		F2	F1	F1	F1	F2	F2			F2	F1	F1	F1	F2	F2			F2	F1	F2	F2	F1	F1													
Rep. 2	Grensebelte																		7.5																	
Rute	k a n t	201	202	203	204	205	206	k a n t		207	208	209	210	211	212	k a n t		213	214	215	216	217	218	k a n t												
Pakking		P2	P2	P2	P2	P2	P2			P0	P0	P0	P0	P0	P0			P1	P1	P1	P1	P1	P1													
Frøblanding		F1	F1	F2	F1	F2	F2			F1	F2	F1	F1	F2	F2			F2	F1	F1	F2	F1	F2													
Rep. 3	Grensebelte																		7.5																	
Rute	k a n t	301	302	303	304	305	306	k a n t		307	308	309	310	311	312	k a n t		313	314	315	316	317	318	k a n t												
Pakking		P1	P1	P1	P1	P1	P1			P2	P2	P2	P2	P2	P2			P0	P0	P0	P0	P0	P0													
Frøblanding		F2	F2	F1	F1	F2	F1			F1	F1	F1	F2	F2	F2			F1	F2	F2	F2	F1	F1													
		Grensebelte																		5																
		1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	7.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	5	7.0	5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0						
																										lengde	49									
																										breidde	59									
PAKKING	tilsvarar tal	SLÅTTAR					FRØBLANDING					STORLEIK																								
P0	utan pakking	HR = hausteregime					F1 FKA Vestlandsblanding					ruter 12 m ² (8m*1,5m)																								
P1	robot	5 slåttar					F2 Bladgrasblanding					felt 2,55 daa																								
P2	ballepresse	2 (3) slåttar																																		
		til uttak av prøvar																																		
RUTER TIL SENSORAR, PRØVEUTTAK							F1_Vestlandsblan					Sort					%					F2_Bladgrasbl					sort					%				
Sylinderprøver tatt frå alle merka ruter							Timotei					Grindstad					35					Strandsvingel					Swaj					16				
sjikt 1 =5-10 cm		Uttak 2 m frå øvre kant av ruta, midt på					Engsvingel					Vestar					10					Raisvingel					Hykor					16				
sjikt 2 =15-20 cm							Strandsvingel					Swaj					10					Engrapp					Knut					16				
Jordfuktmålingar (sensorar) i rep 2							Raisvingel					Hykor					8					Fleirårig raigras					Figgjo					16				
							Hundegras					Laban					7					Raisvingel					Frosta					16				
uttaksruter for ensileringsforsøk							Engrapp					Knut					15					Hundegras					Laban					16				
sorteringsprøver							Fleirårig raigras					Figgjo					10					Kvitkløver					Litago					5				
penetrometer							Kvitkløver					Litago					5																			

Kart for feltforsøket på NIBIO Fureneset der P0 er utan pakking og tre slåttar per år, P1 har fem slåttar per år og pakking med robot (Robot) og P2 har tre slåttar per år og pakking med traktor og rundballepresse (Standard) på storruiter. Frøblanding F1 (Vestland) og frøblanding F2 (Bladgras) på småruter.

Litteratur

- Akaike, H., 1974. "A new look at the statistical model identification," in *IEEE Transactions on Automatic Control* 19(6), 716-723. doi: 10.1109/TAC.1974.1100705.
- Ashikaga K, Tanaka T, Fujii H, Tamaki H, Sato K 2016. Simultaneous selection for nutritive value and agronomic traits in timothy (*Phleum pratense* L.) *Euphytica* 208:237–250. DOI 10.1007/s10681-015-1583-0
- Ball B. 2013. Soil structure and greenhouse gas emissions: A synthesis of 20 years of experimentation. *Eur. J. Soil Sci.* 64: 357-373. doi:10.1111/ejss.12013
- Barken LR, Borresen T, Njoss A. 1987. Effect of soil compaction by tractor traffic on soil structure, denitrification, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Soil Sci.* 38:541–552. doi:10.1111/j.1365-2389.1987.tb02289.x
- Bengough AG, Bransby MF, Hans J, McKenna SJ, Roberts TJ, Valentine TA. 2006. Root response to soil physical conditions: Growth dynamics from field to cell. *J. Exp. Bot.* 57:437-447. Doi:10.1093/jxb/erj003
- Grimstad, L., From, P.J., 2017. The Thorvald II agricultural robotic system. *Robotics* 6. <https://doi.org/10.3390/robotics6040024>
- Björnsson H. 2006. The effect of management and accompanying grasses on the persistence of timothy. Proceedings for NJF seminar 384 – Timothy productivity and forage quality – possibilities and limitations, Akureyri Iceland, 10-12 August 2006.
- Gregorich EG, McLaughlin NB, Lapen DR, Ma BL, Rochette P. 2014. Soil Compaction, Both an Environmental and Agronomic Culprit: Increased Nitrous Oxide Emissions and Reduced Plant Nitrogen Uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78:1913-1923. Doi:10.2136/sssaj2014.03.0117
- Isaksen, A.X., Grelland, N., 2018. Utredning av energieffektive metoder for å kutte gras med den autonome landbruksroboten Thorvald. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Jørgensen, M., Bakken, A.K., Svoldal, B.T. 2020. Avlingsresponsen i gras ved stigende mengder nitrogen og svovel. *Buskap* 72 (2): 34-36
- Kaspar TC, Brown HJ, Kassmeyer EM. 1991. Corn root distribution as affected by tillage, wheel traffic and fertilizer placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1390-1394. Doi:10.2136/sssaj1991.03615995005500050031x
- Lapen DR, Topp GC, Gregorich EG, Curnoe WE. 2004. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. *Soil Tillage Res.* 78:151-170. doi:10.1016/j.still.2004.02.004
- Lenth R (2023). *_emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means_*. R package version 1.8.8, <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- Liepic J, Steepniewski W. 1995. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil Tillage Res.* 35: 37-52. doi:10.1016/0167-1987(95)00474-7Met.no.
- 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.
- Riley, H. 2016. Tillage timeliness for spring cereals in Norway Yield losses due to soil compaction and sowing delay and their consequences for optimal mechanisation in relation to crop area Laglighet for jordarbeiding til vårkorn i Norge: Avlingstap ved jordpakking og utsatt såtid, og konsekvensene for optimal maskinkapasitet i forhold til kornareal. NIBIO-rapport 2 (112): 65 s.
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Austerrike. URL <https://www.R-project.org/>.
- R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

- Rivedal, S., Riley, H., Lunnan, T., Børresen, T., Øpstad, S., Sturite I. 2016. Verknad av traktorkøyning på engavling og jordfysiske forhold. Delrapport frå prosjektet: Proteinrike engbelgvekstar under ulike dyrkings- og klimaforhold. NIBIO-rapport 2 (145): 78 s.
- Rivedal, S., Østrem, L., 2018. Frøblandingar til beite og slått. NIBIO-rapport 4(24): 39 s.
- Skinner RH, Sanderson MA, Tracy BF, Dell CJ 2006. Above- and Belowground Productivity and Soil Carbon Dynamics of Pasture Mixtures. *Agron. J.* 98:320–326. doi:10.2134/agronj2005.0180a
- Soane BD, Van Oerwerkerk C. (Eds.) 1994. Soil Compaction in Crop Production. Developments in Agricultural Engineering Series, vol. 11. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, pp.662.
- Steinshamn, H., Nesheim, L., Bakken, A.K., 2016. Grassland production in Norway. *Grassl. Sci. Eur.* 21, 15–25.
- Steinshamn, H., Ystad, E., Henriksen, J.K., Naess, G., Walland, F., Bakken, A.K., Kostnadseffektivitet, Scenarioanalyser, A., Landbruk, G., Husdyrbruk, L.A., Kjersti Bakken, A., 2020. Grovførkostnader i norsk husdyrproduksjon - effekter av ulike valg i dyrking, høsting, konservering og utføring av grovfôr, NIBIO RAPPORT vol.6 Nr 132.
- Steinshamn H, Henriksen JK, Brodshaug E, Rivedal S, Østrem Liv (2022) Intensiv hausting av eng med robot på Vestlandet – Kostnadsanalyse. NIBIO Rapport 8(82): 33 s.
- Sturite, I., Uleberg, M.V., Henriksen, T.M., Jørgensen, M., Bakken, A.K., Breland, T.A., 2006. Accumulation and Loss of Nitrogen in White Clover (*Trifolium repens* L.) Plant Organs as Affected by Defoliation Regime on Two Sites in Norway. *Plant and Soil* 282, 165–182.
- Topp GC, Dow B, Edwards M, Gregorich EG, Curnoe WE, Cook FJ. 2000. Oxygen measurements in the root zone facilitated by TDR. *Can.J.Soil.Science*.80: 33-41.doi:10.4141/S99-037
- Volden, H., 2011. NorFor-The Nordic feed evaluation system, European Association for Animal Production. Wageningen Academic Publishers.
- Østrem L, Volden B, Larsen A 2013. Morphology, dry matter yield and phenological characters at different maturity stages of ×*Festulolium* compared with other grass species. *Acta Agr Scand B (Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science)*, 63, 531-542
- Østrem L, Volden B, Steinshamn H, Volden H (2015) *Festulolium* fibre characteristics and digestibility as affected by maturity. *Grass and Forage Science* 70 (2): 341–352.
- Østrem, L., Aune, A., 2020. Kva finst igjen i ei fjerdeårseng av det me sådde? *Bondevennen* 33, 18–199.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) vart oppretta 1. juli 2015 som ein fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnytting og forvaltning av biologiske ressursar frå jord og hav, framfor ein fossil økonomi basert på kol, olje og gass. NIBIO skal vere nasjonalt leiande i å utvikle kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerheit, berekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innan verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringar. Instituttet skal levere forskning, forvaltingsstøtte og kunnskap til bruk i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet elles.

NIBIO er eigd av Landbruks- og matdepartementet som eit forvaltingsorgan med særskilde fullmakter og eige styre. Hovudkontoret er på Ås. Instituttet har fleire regionale einingar.