



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Nye metoder for bedre drenering

Torpedogrøfter og slissegrøfter

NIBIO RAPPORT | VOL. 8 | NR. 172 | 2022



Esther Bloem, Sigrun H. Kværnø, Frederik Bøe og Jannes Stolte
Divisjon for miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

Nye metoder for bedre drenering. Torpedogrøfter og slissegrøfter

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Esther Bloem, Sigrun H. Kværnø, Frederik Bøe og Jannes Stolte

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
27.12.2022	8/172/2022	Åpen	51039	18/01414
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03207-6	2464-1162	34		

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Jens Wollebæk

STIKKORD/KEYWORDS:

Drenering, grøfting, torpedogrøfter, slissegrøfter, hydrologi, avrenning, jordfuktighet, vannledningsevne, elektrisk resistivitet

Drainage, mole drainage, backfill drainage, hydrology, outflow, water content, hydraulic conductivity, drainage efficiency, electrical resistivity

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Hydrologi, jordfysikk

Hydrology, Soil physics

SAMMENDRAG/SUMMARY:

På grunn av klimaendringer forventes en økning i ekstremværhendelser i fremtiden. Større nedbørmengder og mer intense nedbørsepisoder fører til flom og vannmettet jord, med negativ innvirkning på avlings- og driftsforhold knyttet til jordarbeiding og kjøring på jorda. Norge har et mål om økt selvforsyningsgrad, og i et endret, våtere klima kan det være behov for en forbedret dreneringstilstand. Dette prosjektets hovedmål har vært å gi økt kunnskap om nye grøftemetoder på dyrket jord med lav vannledningsevne og tette lag. Derfor ble det på Østlandet anlagt et forsøksfelt på leirjord, med ett ugrøftet kontrollfelt og tre grøftede forsøksledd: 1) tradisjonelle grøfter og torpedogrøfter, 2) tradisjonelle grøfter og slissegrøfter og 3) kun tradisjonelle grøfter.

Det ble tatt ut jordprøver i ploglaget og undergrunnsjorda. Prøvene ble analysert for mettet vannledningsevne (Ksat). Analysene viste stor variasjon i Ksat. Det ble funnet at jorda er anisotrop, med høyere horisontal enn vertikal Ksat. Ksat var høyere i ploglaget enn i undergrunnsjorda. Forsøksfeltet ble instrumentert for kontinuerlig registrering av grøfteavrenning, grunnvannsnivå og vannpotensiale. Dette var operativt i 2020 og 2021. Avrenningsmålingene viste en svak tendens til at torpedogrøfter totalt sett var noe mer effektive enn slissegrøfter og tradisjonelle grøfter mht. å få drenert ut størst vannmengde fra jorda. Det var til dels stor variasjon i vannmengde i de individuelle grøfterørene. Målinger av jordfuktighet med to forskjellige metoder, tensiometermålinger (vannpotensiale) og elektrisk resistivitetstomografi (ERT), har gitt innsikt i hvordan jordfuktigheten

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

responderer på nedbør og grøfting, i både tid og rom. Målingene viste bedre opptørking på grøftet jord enn på ikke grøftet jord (kontrollfelt), mens det var vanskelig å se entydige effekter av de ulike grøftemetodene.

Foreløpig konklusjon er at sekundærgrøfting (torpedogrøfter og slissegrøfter) synes å øke effektiviteten av grøftingen, men effektiviteten påvirkes av vær- og avrenningsforhold og hvor fuktig jorda er i utgangspunktet før nedbørsepisodene. Det anbefales at forsøket videreføres og utvides for å gi bedre grunnlag for å konkludere mht. effektivitet av de ulike grøftesystemene som her er studert.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Viken
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Indre Østfold
STED/LOKALITET: Grimsrud

GODKJENT /APPROVED

Roald Sørheim

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Esther Bloem

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Denne rapporten presenterer resultater fra prosjektet «Nye Grøfter - Forbedret drenering ved nye metoder, slissegrøfter og moler» (saksnummer 2018/64335, Agros 100983), som ble gjennomført i perioden 2019-2021. Prosjektet har vært finansiert av Landbruksdirektoratet.

I dette prosjektet har vi etablert forsøksfeltet på Grimsrud, med tre forsøksledd som representerer ulike grøftemetoder (torpedogrøfter, slissegrøfter og tradisjonelle grøfter) og et kontrollfelt uten grøfting. Her er avrenning, grunnvann og vannpotensiale registrert over en periode på to år, i tillegg til at det er gjort noen jordanalyser (vannledningsevne) og gjennomført elektrisk resistivitetstomografi (ERT) målinger. Innenfor rammene for prosjektet har det kun vært mulig å gjøre begrensede analyser av de innsamlede dataene.

I starten av prosjektet, mens forsøksfeltet ble etablert, var Atle Hauge (NIBIO) prosjektleder, og har i tillegg til å administrere prosjektet også vært involvert i søknadssprosessen, anleggelse av feltforsøket og feltarbeid. Esther Bloem (NIBIO) tok over som prosjektleder da han pensjonerte seg, og har siden hatt ansvaret for administrasjon av prosjektet, feltarbeid, dataanalyse og rapportering, samt at hun var involvert i søknadssprosessen.

Feltforsøket er anlagt på gården til Øistein Johansen (NIBIO), og vi ønsker å takke han for at han har stilt areal til disposisjon, i tillegg til at han også har bidratt med assistanse med feltarbeid/datainnsamling.

I tillegg har prosjektet hatt følgende prosjektmedarbeidere: Frederik Bøe, NIBIO (feltarbeid, laboratorieanalyser, rapportering), Kristian Sandem, NIBIO (feltarbeid, datainnsamling), Rikard Pedersen, NIBIO (feltarbeid), Perrine Fernandez, student (feltarbeid), Anette Dathe, NIBIO (ansvar for søknad, feltarbeid), Xander Berkouwer, student (feltarbeid), Sigrun H. Kværnø, NIBIO (rapportering) og Jannes Stolte, NIBIO (oppfølging av prosjektet, rapportering). Takk til alle som har bidratt til felt- og laboratoriearbeid, datainnsamling, dataanalyser og rapportering.

Ås, 27.12.22

Esther Bloem

Innhold

1	Innledning.....	6
1.1	Bakgrunn.....	6
1.1.1	Grøftebehov.....	6
1.1.2	Årsaker til dårlig drenering.....	6
1.1.3	Alternative grøftemetoder.....	7
1.1.4	Målemetoder.....	8
1.2	Mål med prosjektet.....	8
2	Materialer og metoder.....	9
2.1	Forsøkslokaliteten.....	9
2.2	Forsøksplan.....	10
2.3	Eksperimenter og analyser.....	11
2.3.1	Vannledningsevne.....	11
2.3.2	Nedbør, avrenning, grunnvann og vannpotensiale.....	12
2.3.3	Elektrisk resistivitet.....	13
3	Resultater og diskusjon.....	15
3.1	Vannledningsevne.....	15
3.2	Effekt av slissegrøfting og torpedogrøfting.....	16
3.2.1	Nedbør og grøfteavrenning i 2020.....	16
3.2.2	Jordfuktighet i 2020.....	18
3.2.3	Nedbør og grøfteavrenning i 2021.....	20
3.2.4	Jordfuktighet i 2021, målt med tensiometer.....	21
3.2.5	Jordfuktighet i 2021, målt med elektrisk resistivitet.....	23
3.3	Diskusjon og anbefalinger.....	30
4	Konklusjoner.....	31
5	Litteraturreferanse.....	32

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

1.1.1 Grøftebehov

Norsk landbruk utfordres av økt produksjonsetterspørsel, økt miljøbevissthet og klimaendringer. På grunn av klimaendringer forventes en økning i ekstremværhendelser i fremtiden. Høyintensive nedbørshendelser og økte nedbørsmengder fører til flom og vannmettet jord. Det kan ha negativ innvirkning på forholdene for plantevekst og for driftsmessige forhold knyttet til jordarbeiding (jordas laglighet for jordarbeiding) og transport (kjørbarhet på jorda), som igjen vil påvirke avlingsnivå og avlingskvalitet. Norge har et mål om økt selvforsyningsgrad, og i et endret, våtere klima betyr dette at det er behov for forbedret dreneringstilstand på jordbruksarealene. Dette gjelder særlig jord som skal brukes til grønnsaker og korn, matvarer som det i dag importeres mye av.

To tredjedeler av Norges jordbruksareal er grøftet (kunstig drenert), men i perioder har de grøftede jordene problemer med for høyt vanninnhold. Det fører til problemer med å foreta jordarbeiding på riktig tidspunkt, og det gir lavere avling (Hoel m.fl., 2013). Kjøring på våt jord fører også til større fare for pakkingskader (Børresen, 2010), noe som senker vannledningsevnen og gir ytterligere problemer med drenering og vannhusholdning. I 2010 omfattet Landbrukstelingen et spørsmål om dreneringsbehov. Der framkom det at ca. 10 % av den dyrka jorda vurderes som dårlig drenert. Hovedgrunnene til grøfting er ønske om høyere avling og økt avlingssikkerhet, og forbedret kjørbarehet og laglighet.

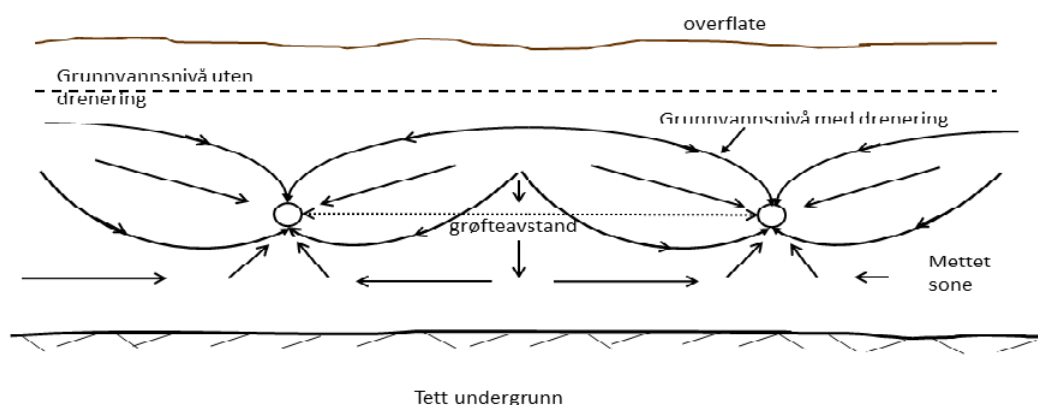
Avlingen av korn har stagnert, og dårlig drenering pekes på som en av årsakene til dette (Uhlen m.fl., 2017). Forsøk viser generelt bedre avlingseffekt av grøfting for korn sammenlignet med eng. Eldre kornforsøk viser at en kan få en økning i avling på 25-30 kg/daa vårkorn ved halvering av grøfteavstanden, helt ned til 4 meter (Hove 1981). Virkningen av tidligere jordarbeiding og såing er en stor del av denne gevinsten. Svensk forskning antyder en avlingsøkning i korn på ca. 10 prosent ved halvering av grøfteavstanden. En norsk spørreundersøkelse viste en avlingsøkning på 90 kg korn/daa når grøftetilstanden ble forbedret fra «dårlig» til «svært god», mens en forbedring fra «brukbar» til «svært god» økte avlingen med 66 kg/daa (Hauge m.fl., 2011). Også grønnsaksprodusenter har vanskeligheter, særlig med bæreevne, fordi høsting må foregå selv om det er våte perioder pga. krav fra grossistene. Dette kan gi vanskelige innhøstingsforhold og en stor fare for pakking ved kjøring på våt jord (Børresen, 2010).

1.1.2 Årsaker til dårlig drenering

Det er gjort få systematiske undersøkelser av hva som er årsakene til dårlig dreneringstilstand på jordbruksareal i Norge. En del steder er det så enkelt som at grøftesystemene er gamle, skadet og evt. tette av sedimenter. Da kan det være nok å gjennomføre nødvendig vedlikehold og reparasjoner, evt. kan arealet grøftes på nytt. Andre steder kan det tenkes at grøftene er i orden og i prinsippet fungerer som de skal, men likevel ikke klarer å ta unna nok vann. Det kan være direkte knyttet til faktorer som dimensjonering (rørdiameter) og grøfteintensitet (grøftedybde, avstand mellom grøftene). Men det kan også

være knyttet til f.eks. jordegenskaper. Under slike forhold kan det hende at grøfteintensiteten bør økes, eller at alternative grøftemetoder bør vurderes.

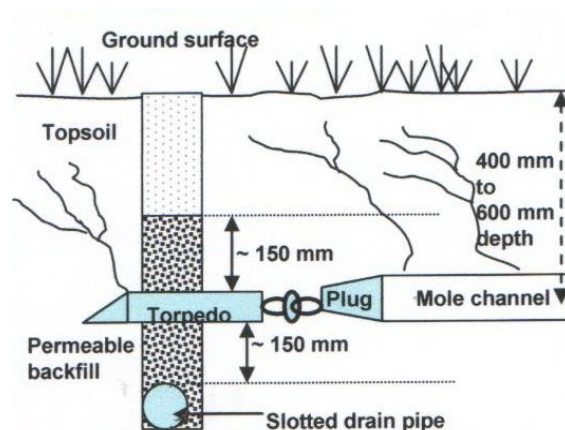
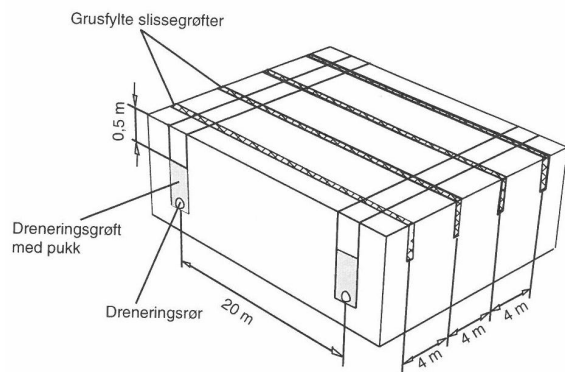
Jordas vannledningsevne er en spesielt viktig egenskap for dreneringstilstanden. På jord med lav vannledningsevne ledes vannet saktere til grøftene. Det gjelder særlig på finkornede jordarter (leirjord), på andre jordarter med tette lag, og på jord med pakkingsskader. F.eks. kan plogsålen være et stort problem for vannbevegelsen nedover. Vannledningsevnen kan være *anisotrop*, dvs. ulik i horisontal og vertikal retning. I Norge er grøftedybden gjerne mellom 60 og 100 cm, og grøfteavstanden 4-10 m, på leirjord ofte rundt 8 m. Det medfører at vannet har en lengre horisontal enn vertikal strømningsvei for å nå grøftene (Figur 1). Dreneringsmetoder som «fanger opp» vannet bedre i jord med lav vertikal ledningsevne eller tette lag, ved å utnytte en høyere horisontal ledningsevne, vil kunne forbedre dreneringseffekten. Kunnskap om jordfysiske funksjoner som horisontal og vertikal vannledningsevne, vil hjelpe med å bestemme hvilke grøftemetoder som er mest effektive.



Figur 1: Grunnvannet strømmes hovedsakelig horisontalt inn mot dreneringsrøret.

1.1.3 Alternative grøftemetoder

Alternative grøftemetoder er lite utprøvd i Norge, og i den grad det er utprøvd, har effektene ikke vært vitenskapelig dokumentert under norske forhold. En finner alternative metoder brukt i andre land med tilsvarende problemer med høy nedbør og tette jordarter, f.eks. på De britiske øyer. Her brukes et grøftesystem med relativt grunne, grusfylte «slissegrøfter» (figur 2, til venstre) med liten avstand, påkoblet rørgrøfter med større grøfteavstand (Galvin, 1983). Et annet alternativ er torpedogrøfting/moler (figur 2, til høyre), der man bruker en såkalt «torpedo» til å lage underjordiske kanaler som fører inn i hovedgrøftene. Slissegrøfter og torpedogrøfter blir en form for «sekundærgrøfting», og anlegges vinkelrett på nye eller eksisterende hovedgrøfter.



Figur 2: Slissegrøfting (venstre) og torpedogrøfting (høyre).

1.1.4 Målemetoder

For å kunne vurdere effekten av alternative grøftesystemer, og om disse har noen fordeler eller ulemper sammenliknet med tradisjonelle grøftesystemer, må det gjøres målinger som viser og tallfester hvordan jordfuktighet, grunnvannsnivå og avrenning påvirkes. Eksempler på aktuelle målemetoder er kontinuerlig registrering av avrenningsmengder ved oppsamling av vann fra grøftene, og registrering av grunnvannsnivå ved å installere rør med sensorer. Måling av jordfuktighet kan gjøres på flere måter, men medfører ofte at forholdene i og rundt målepunktet blir forstyrret, i tillegg til at man kun observerer forholdene i de enkelte målepunktene. Ikke-invasive metoder, som kartlegging av f.eks. elektrisk resistivitet (ledningsevne) vha. elektrisk resistivitetstomografi (ERT), er et godt supplement til punktmålinger for å få et bedre bilde av den romlige variasjonen i jordfuktighet over et større areal, både horisontalt og vertikalt. Hensikten med ERT er å bestemme variasjon i resistivitet under bakken gjennom målinger på jordoverflata. Elektrisk resistivitet avhenger imidlertid av flere faktorer enn jordas vanninnhold, så som jordegenskapene (f.eks. kornfordeling og poresystem), temperatur og konsentrasjon av løste salter. Metoden egner seg her derfor best der jorda er relativt homogen.

En kombinasjon av flere ulike metoder gir nyttig informasjon om prosessene som foregår i jorda, og danner det beste grunnlaget for vurdering av de ulike grøftesystemene.

1.2 Mål med prosjektet

Prosjektets hovedmål har vært å øke kunnskapen om hvordan drenering av dyrket jord med lav vannledningsevne og tette lag kan bli forbedret, med særlig søkelys på å prøve metoder som slissegrøfter og torpedogrøfting som et alternativ til tettere grøfting.

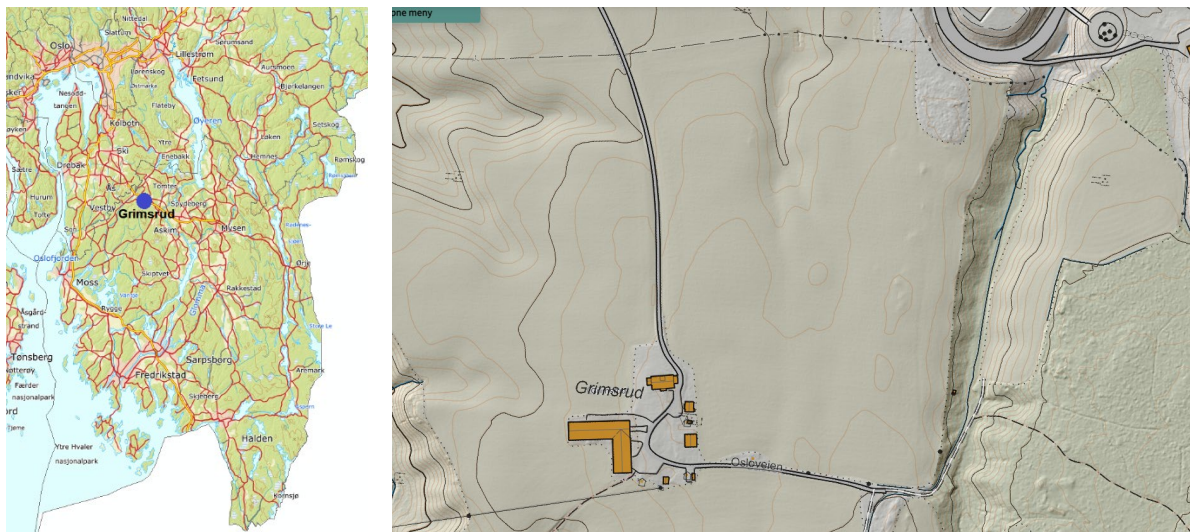
Prosjektet har følgende oppgaver:

- (1) Kvantifisere vannledningsevne i horisontal og vertikal retning.
- (2) Utvikle kunnskap om hvorvidt etablering av slissegrøfting og torpedogrøfting kan gi økt opptørking i tett eller lagdelt jord.
- (3) Måle effekten av dreneringssystemer på markvann og grøfteavrenning ved bruk av en kombinasjon av ulike måleteknikker.

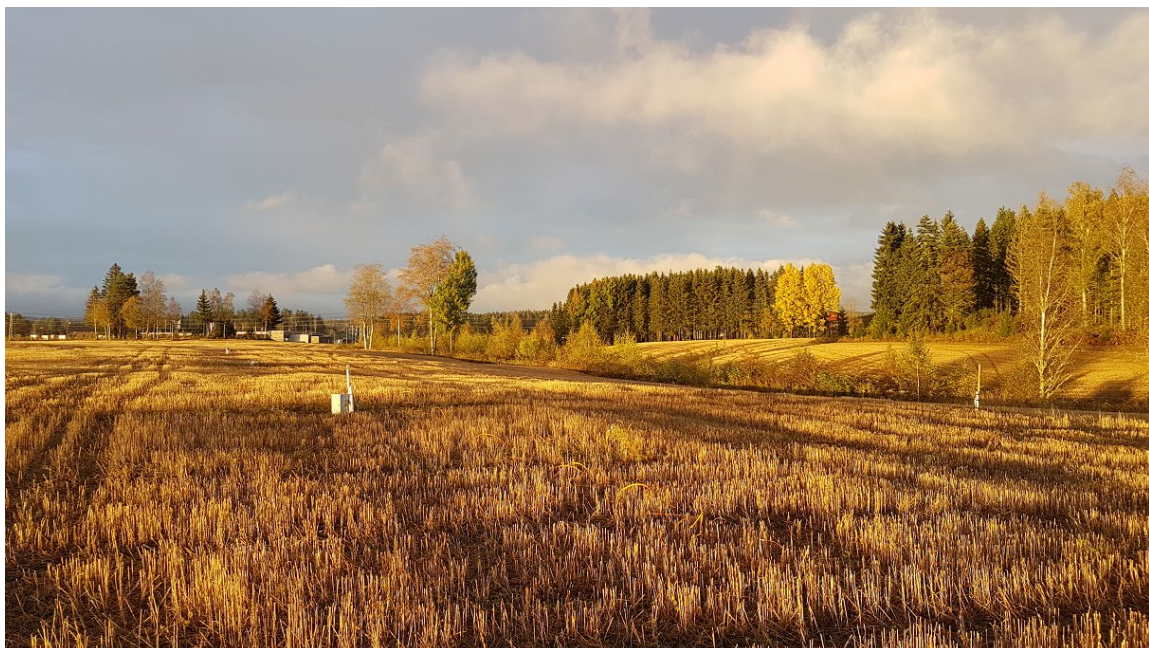
2 Materialer og metoder

2.1 Forsøkslokaliteten

Forsøket er lokalisert på Grimsrud gård i Indre Østfold kommune. Klimaet er fuktig kontinentalt med milde somre. Normal (1991-2020) årsnedbør for nærmeste meteorologiske stasjon med nedbørsregistreringer, Igsi i Hobøl, er 912 mm. Lokaliteten ligger på marin leire, og ifølge jordsmonnkart fra NIBIO er jordtypen Stagnic Albeluvisol (World reference base for soil resources), dvs. en jordtype med leire i ploglaget, og økning i leirinnholdet med dybden. Tekstur er i kartet klassifisert som siltig mellomleire, og det skal være mindre enn 6% organisk materiale i overflatesjiktet. Arealet er forholdsvis flatt. I forsøksperioden ble det dyrket korn på arealet.



Figur 3. Forsøkslokaliteten på Grimsrud gård i Indre Østfold.



Bilde 1: Oversiktsbilde over den delen av jorden der forsøkene ble gjennomført. Foto: Esther Bloem

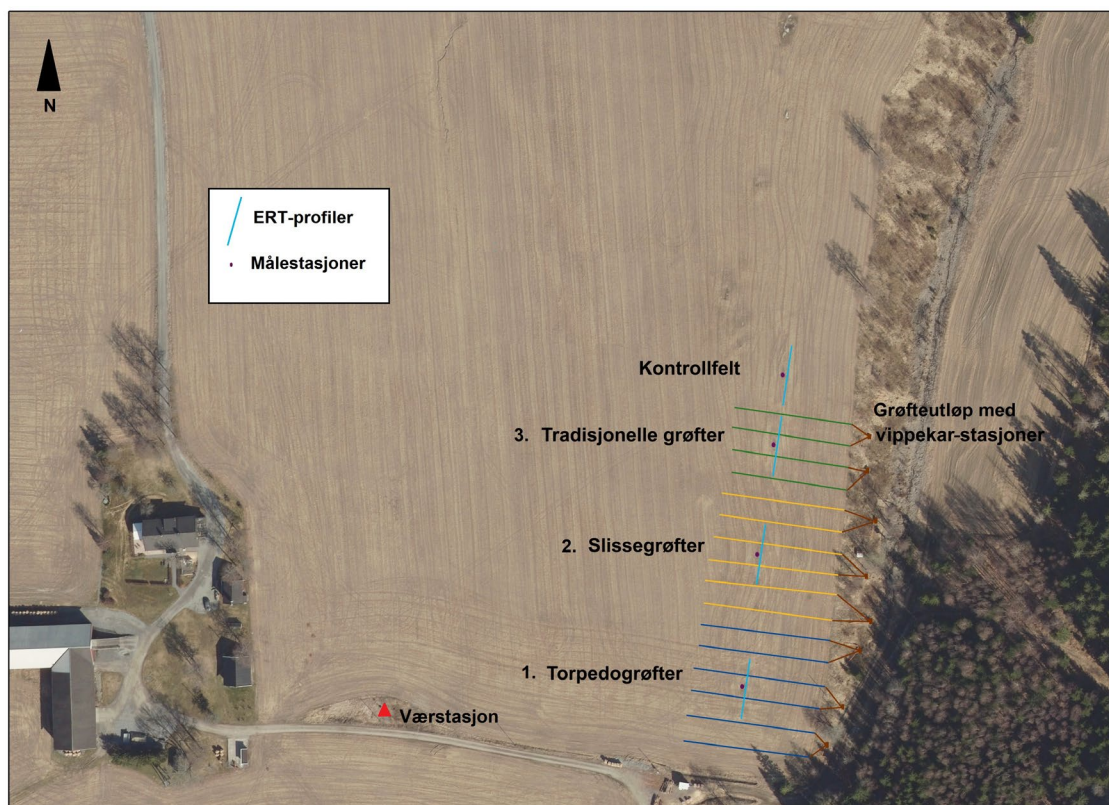
2.2 Forsøksplan

Etter noen innledende undersøkelser i juni 2019, ble den utvalgte forsøkslokaliteten delt inn i tre forsøksledd og ett kontrollfelt (figur 4):

- Forsøksledd 1: Torpedogrøfter
- Forsøksledd 2: Slissegrøfter
- Forsøksledd 3: Tradisjonelle grøfter
- Kontrollfelt: Ikke modifisert, ingen eksisterende grøfter, grøftetilstand ukjent.

I forsøksledd 1-3 ble det installert tradisjonelle grøfter, heretter kalt hovedgrøfter, med 8 meters avstand og på 80 cm dybde. Det ble installert 6 slike grøfter i forsøksleddene 1 og 2, og 4 grøfter i forsøksledd 3. Grøftene var 40 m lange, med utløp i nedkant av jordet, mot bekken i øst. I forsøksledd 1 og 2 ble det fylt 20 cm med grus over hovedgrøftene, før det ble fylt på jord. I forsøksledd 1 ble det lagt torpedogrøfter på ca. 50 cm dybde, med 4 meters avstand vinkelrett på de tradisjonelle grøftene. I forsøksledd 2 ble det lagt slissegrøfter rett under ploglaget. Disse ble også lagt med 4 meters avstand vinkelrett på hovedgrøftene, og de ble fylt med pukkk.

Hvert rørutløp i alle forsøksleddene ble utstyrt med måleutstyr for å registrere avrenning. I hvert forsøksledd og i kontrollfeltet ble det anlagt målestasjoner for registrering av grunnvannsnivå og jordfuktighet. I tillegg ble nedbør registrert. Registreringene pågikk fra 01.08.2021 - 30.09.2020 og 26.07.2021 - 15.10.2021.



Figur 4. Oversikt over forsøksarealet, med grøfter og målestasjoner (se nærmere beskrivelse av de ulike metodene i teksten) inntegnet. Foto: Kartverket

2.3 Eksperimenter og analyser

2.3.1 Vannledningsevne

Formålet med måling av mettet vannledningsevne (K_{sat}) var å undersøke om jordtypen er isotrop eller anisotrop, dvs. om vannledningsevnen er lik eller ulik i horisontal og vertikal retning. I juni 2019 ble det tatt ut jordprøver i hvert av de tre forsøksleddene, før grøfter ble installert. Det ble tatt ut totalt 32 prøver horisontalt og 18 prøver vertikalt, i to dybdeintervaller: 15-20/10-15 cm og 50-55 cm dybde (tabell 1).

Tabell 1: Antall jordprøver og dybde de ble tatt ut i, for forsøksledd 1, 2 og 3.

Forsøksledd	Dybde (cm)	Horisontal	Vertikal
1: torpedogrøfter	15-20	6 prøver	3 prøver
	40-45/50-55	6 prøver	3 prøver
2: slissegrøfter	15-20	6 prøver	3 prøver
	50-55	6 prøver	3 prøver
3: tradisjonelle grøfter	10-15	4 prøver	3 prøver
	50-55	4 prøver	3 prøver



Bilde 2: Uttak av jordprøver til analyse av mettet vannledningsevne. Foto: Esther Bloem

Jordprøvene ble analysert for mettet vannledningsevne (K_{sat}) i laboratoriet, ved bruk av 'constant head'-metoden: Først ble bunnen av jordsylindrene dekket av et tøyestykke.

Jordprøvene ble deretter satt i vannbad for å mette prøvene med vann. Sylindrene ble plassert i en trakt og det ble tilført vann fra toppen som infiltrerte gjennom jordprøven. Det ble holdt en konstant vannhøyde over jorda i cylinderen ved å tilføre vann kontinuerlig. Det infiltrerte vannet ble samlet opp og tiden ble notert. Det oppsamlede vannet ble veid for å beregne infiltrasjonshastigheten. K_{sat} ble beregnet ut fra tallene for stabil infiltrasjonshastighet, etter følgende formel:

$$K = (Q/At) \times (L / \Delta H) \quad \text{Formel 1}$$

der K = vannledningsevne, Q = vannvolum i målebeger, A = arealet, t = tid, L = prøvens høyde, ΔH = gradient = høydeforskjell mellom vann inn og ut (topp vannoverflate og bunn sylinder).

2.3.2 Nedbør, avrenning, grunnvann og vannpotensiale



Bilde 3: Vippekar for oppsamling av grøftevann. Foto: Esther Bloem

Feltet ble utstyrt med vippekar for å måle grøfteavrenning i hvert rørutløp.

Det ble etablert én målestasjon i midten av hvert forsøksledd, og én målestasjon i kontrollfeltet.

På målestasjonene ble det installert sensorer (tensiometer av typen METER TEROS 21) for registrering av vannpotensiale (egenskap direkte knyttet til jordfuktighet) i jorda i 10, 20 og 50 cm dybde. Tensiometerne ved 10 cm dybde viste seg å ikke gi realistiske verdier, så de er ikke diskutert i denne rapporten.

Det ble også satt ned grunnvannsrør med sensorer (SEBA SlimLogCom) for måling av grunnvannsstand mellom grøfter (ett rør per forsøksledd og i kontrollfeltet), men de resulterende dataene viste seg i ettertid å være beheftet med såpass mye feil at de ikke er inkludert i denne rapporten.

Nedbør ble registrert daglig (Figur 4).

Alle instrumentene var koblet til en datalogger (type Campbell 300) for automatisk lagring av de registrerte dataene.

Måleperioder og tidsoppløsning for de ulike variablene er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2: Måleperioder og tidsoppløsning for registrering av variable på målestasjonene i forsøket.

Variabel	Tids-oppløsning	2020		2021	
		start	slutt	start	slutt
Nedbør	Døgn	01.01.2020	31.12.2020	01.01.2021	31.12.2021
Avrenning	Time	26.06.2020	18.12.2020	29.04.2021	15.10.2021
Grunnvann	Time	24.06.2020	18.12.2020	01.01.2021	15.10.2021
Vannpotensiale	Time	24.06.2020	18.12.2020	01.04.2021	15.10.2021

Det var problemer med vippekarene til rør 3 i forsøksledd 2 i 2020 og rør 5 i forsøksledd 1 i 2021, og data for disse rørene i de nevnte periodene er derfor ikke inkludert i dataanalysene.



Bilde 4: Målestasjon med datalogger, grunnvannsrør og tensiometere. Foto: Esther Bloem

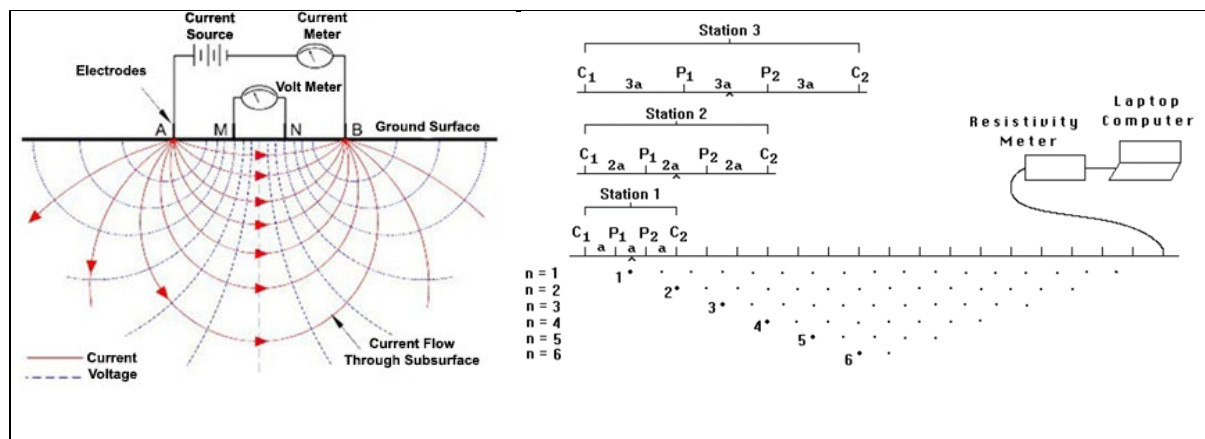
2.3.3 Elektrisk resistivitet



Bilde 5: Måling av elektrisk resistivitet. Foto: Esther Bloem

Vi brukte ERT for å måle hvordan de ulike grøftemetodene påvirker endringer i elektrisk ledningsevne, og dermed jordfuktigheten.

ERT er en metode der likestrøm blir sendt ned i grunnen ved hjelp av to stål-elektroder. To andre elektroder brukes til å måle det elektriske potensialet som oppstår i jorda. Alle elektrodene plasseres langs en rett linje. For hver måling registreres hvor stor strøm injeksjon (A) og potensial forskjellen (V) er, dette tilsvarer elektrisk motstand ($R=V/I$). Dette er rådataene som brukes for å tolke hvordan den elektriske resistiviteten (Ωm) til jorda er. Lav resistivitet er det samme som høy elektrisk ledningsevne. Som eksempel kan nevnes at tørr sand har ekstremt høy resistivitet mens leire har ekstremt lav resistivitet.



Figur 5: Prinsippskisse av målemetoden elektrisk resistivitetstomografi.

Hele forsøksfeltet ble først kartlagt med ERT før de nye grøftene ble installert i 2019.

Gjennom halvannen måned i 2021 ble det gjennomført timelaps-målinger, dvs. gjentatte målinger med ERT (Figur 4). Da kan man få frem endringer i vanninnhold fordi økende vanninnhold vil gi høyere ledningsevne. Et nettverk av 4 x 48 elektroder av rustfritt stål ble installert langs fire linjer på overflata, elektrodene hadde en avstand på 0,5 meter. Linjene ble plassert midt i hvert forsøksledd og i kontrollfeltet. I forsøksleddene med grøfter ble linjene plassert vinkelrett på hovedgrøftene og rett over to hovedgrøfter.

Tensiometermålingene (avsnitt 2.3.2) ble gjort i midten av hvert ERT-profil.

En Syscal Pro Switch (Iris Instruments) ble brukt til ERT-målingene. Måletiden for hver måling var ett sekund med en injeksjonsspenning på 50V. Dipol-dipol-konfigurasjon ble brukt. En fordel med dipol-dipol-konfigurasjonen (med Syscal Pro Switch) er at måletiden blir redusert fordi flere potensialmålinger kan gjøres samtidig for en strøminjeksjon. For å sikre god datakvalitet blir alle målingene gjort flere ganger, slik at man kan sjekke at avlesningen er stabil og kontakten mellom jorda og elektroden er tilstrekkelig (f.eks. Binley, 2015; Tso m.fl., 2017).

Inversjon av resistivitetsdataene for å få frem resistivitetsprofilen (tolkningen av rådataene), ble gjort i programmet R2 (<http://www.es.lancs.ac.uk/people/amb/Freeware/R2/R2.htm>). Programmet regner om fra tilsynelatende resistivitet (rådata, $R=V/I$), til faktiske resistivitetsverdier og -dybder.

Det ble også gjort timelaps-inversjon/ratio-inversjon av dataene, som viser endring i resistivitet over tid, og dermed ikke er påvirket av forskjeller i geologien.

Referansetidspunktet for timelapsemålingene var 26. august. For timelapsemålingene vises endringene i resistivitet som profiltversnitt der målingene er utført, med jorddybde (0 til ca. 1,5 m) på y-aksen og profilet lengde (23,5 m) på x-aksen. Verdiene varierer mellom 0 og 200, der 0-100 angis som blånyanser og viser fuktigere jord enn referansemålingen, mens 100-200 angis i rødnyanser og viser tørrere jord enn referansemålingen.

Det var veldig tørt i vekstsesongen 2021, og i denne perioden rant det ikke vann i grøftene. I slutten av september og første del av oktober 2021 var det mye nedbør, og grøftene ble aktive igjen, slik at jordfuktigheten kunne måles samtidig med at det ble målt grøfteavrenning. ERT-målingene ble gjennomført 26. august, 12. og 24. september, 2., 6., 8., 11. og 15. oktober.

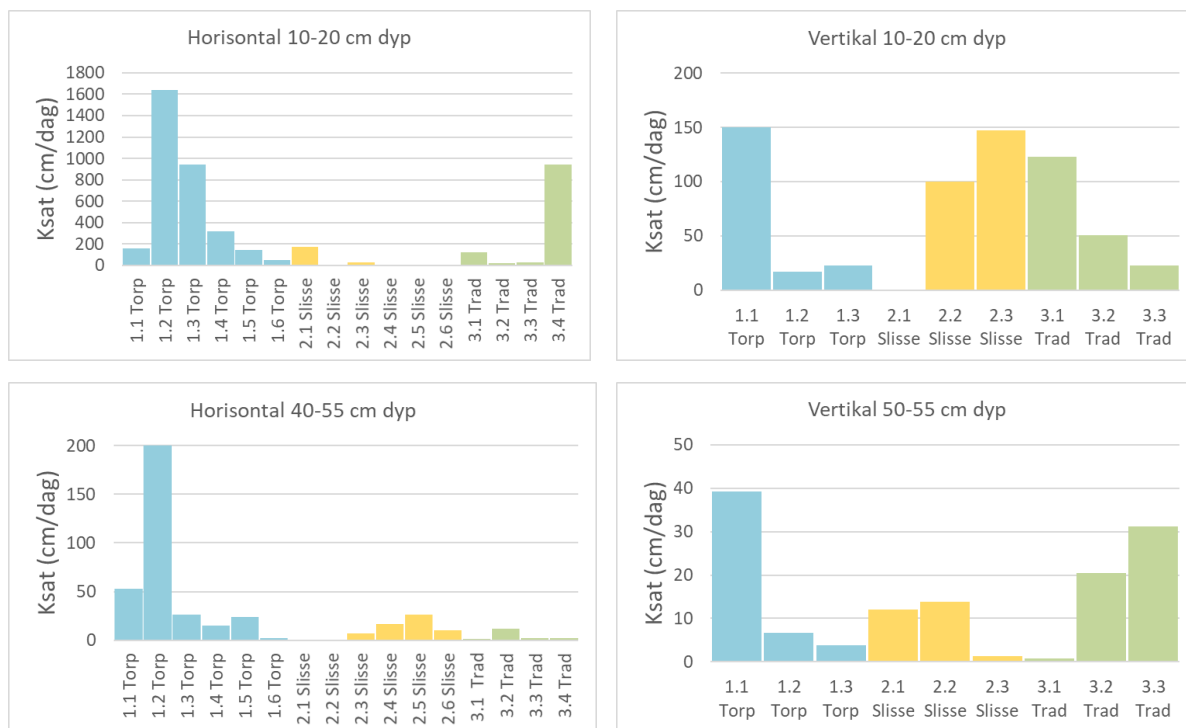
3 Resultater og diskusjon

3.1 Vannledningsevne

Mettet vannledningsevne (Ksat) er en viktig jordegenskap som påvirker hvor lett vannet kommer inn i grøftene. Måleresultatene indikerte at både horisontal og vertikal Ksat var høyere i det øvre laget (10-15/15-20 cm) enn i det dypere laget (50-55 cm) (Tabell 3 og Figur 5). For begge lag var gjennomsnittlig horisontal Ksat høyere enn gjennomsnittlig vertikal Ksat, hvilket betyr at jorda er anisotrop. Det var imidlertid stor variasjon i Ksat mellom prøver innenfor de ulike forsøksleddene og dybdene, og forskjellene er ikke testet statistisk. Resultatene må derfor anses som usikre.

Tabell 3: Målt horisontal og vertikal mettet vannledningsevne (Ksat) i gjennomsnitt per dybde og forsøksledd (gj.snitt 1), og i gjennomsnitt per dybde uavhengig av forsøksledd (gj.snitt 2). Forsøksledd: 1) Torpedogrøfter, 2) Slissegrøfter, 3) Tradisjonelle grøfter.

Forsøksledd	Dybde (cm)	Horisontal Ksat (cm/dag)			Vertikal Ksat (cm/dag)		
		Min - Max	Gj. snitt 1	Gj. snitt 2	Min - Max	Gj. snitt 1	Gj. snitt 2
1 Torpedo	15-20	48-1636	542	286	17-150	63	70
2 Slisse	15-20	0,12-177	36		0,2-147	82	
3 Tradisjonell	10-15	19-944	278		23-123	65	
1 Torpedo	40-45/50-55	1,7-200	53	25	3,8-39	17	14
2 Slisse	50-55	0,3-26	10		1,3-14	9	
3 Tradisjonell	50-55	1-12	4		0,7-31	17	

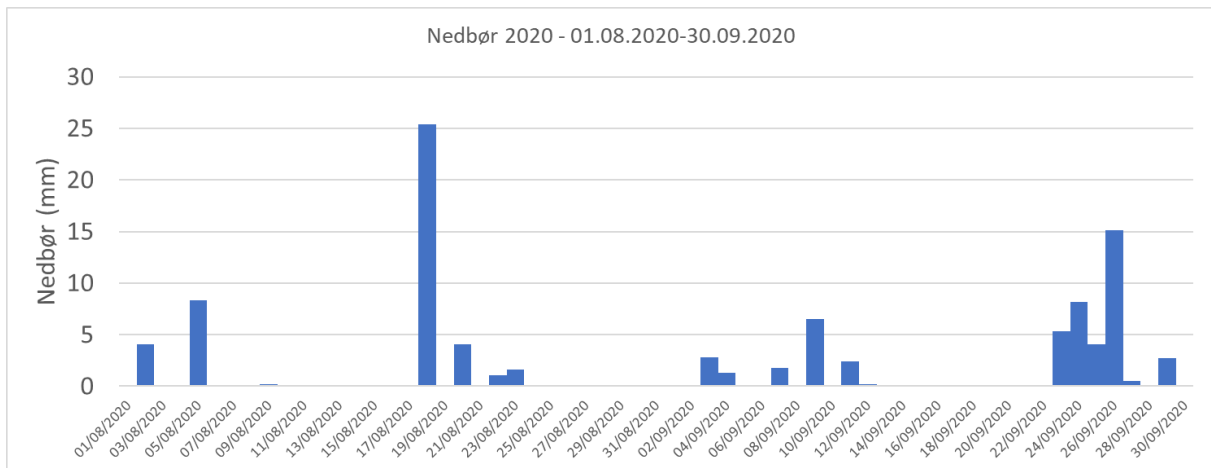


Figur 5: Målt horisontal og vertikal mettet vannledningsevne (Ksat) per prøve per dybde fra alle forsøksledd. Forsøksledd: 1 = Torpedogrøfter, 2 = Slissegrøfter, 3 = Tradisjonelle grøfter.

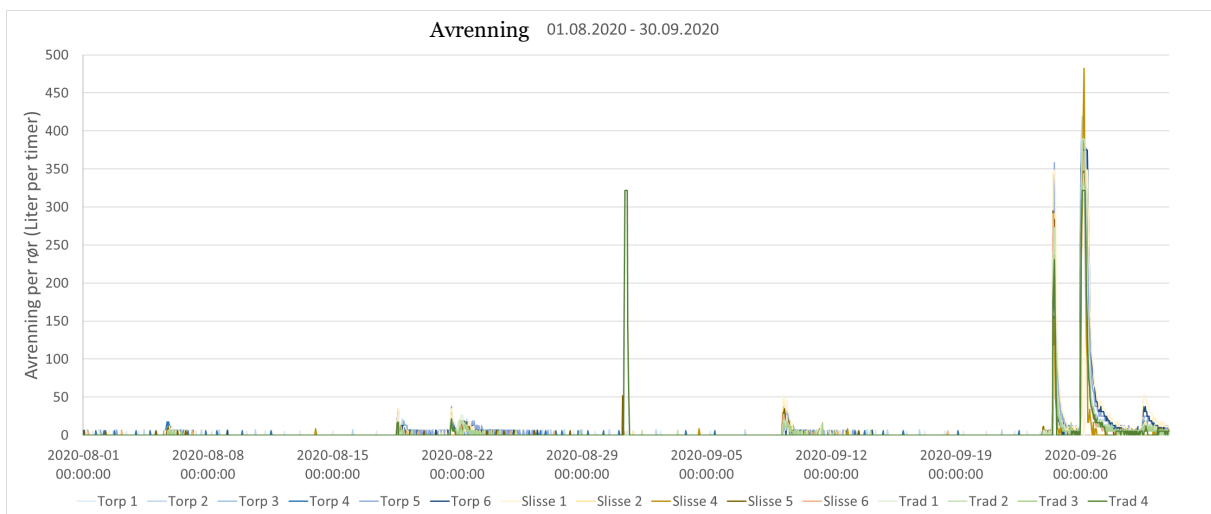
3.2 Effekt av slissegrøfting og torpedogrøfting

Det er samlet inn data sommeren 2020 og sommeren 2021. Basert på disse data har vi valgt to perioder for analyse: fra 01.08.2020 til 30.09.2020 og fra 27.07.2021 til 15.10.2021.

3.2.1 Nedbør og grøfteavrenning i 2020



Figur 6: Nedbør i 2020.



Figur 7: Grøfteavrenning per grøfterør i 2020 (rør nr. 3 i forsøksledd 2 med slissegrøfter er utelatt).

Nedbørsmengden gjenspeiler ikke direkte forventet grøfteavrenning, slik det vises av Figur 6 og 7. Avrenningen er bl.a. avhengig av jordfuktigheten i starten av en nedbørsepisode.

Tensiometerdataene gir informasjon om jordfuktigheten. For å evaluere de ulike grøftesystemene, har vi analysert total mengde vann som kommer ut av grøftene under tre individuelle nedbørs- og avrenningsepisoder i 2020: 18.-20. august, 23.-25. september og 25.-28. september.

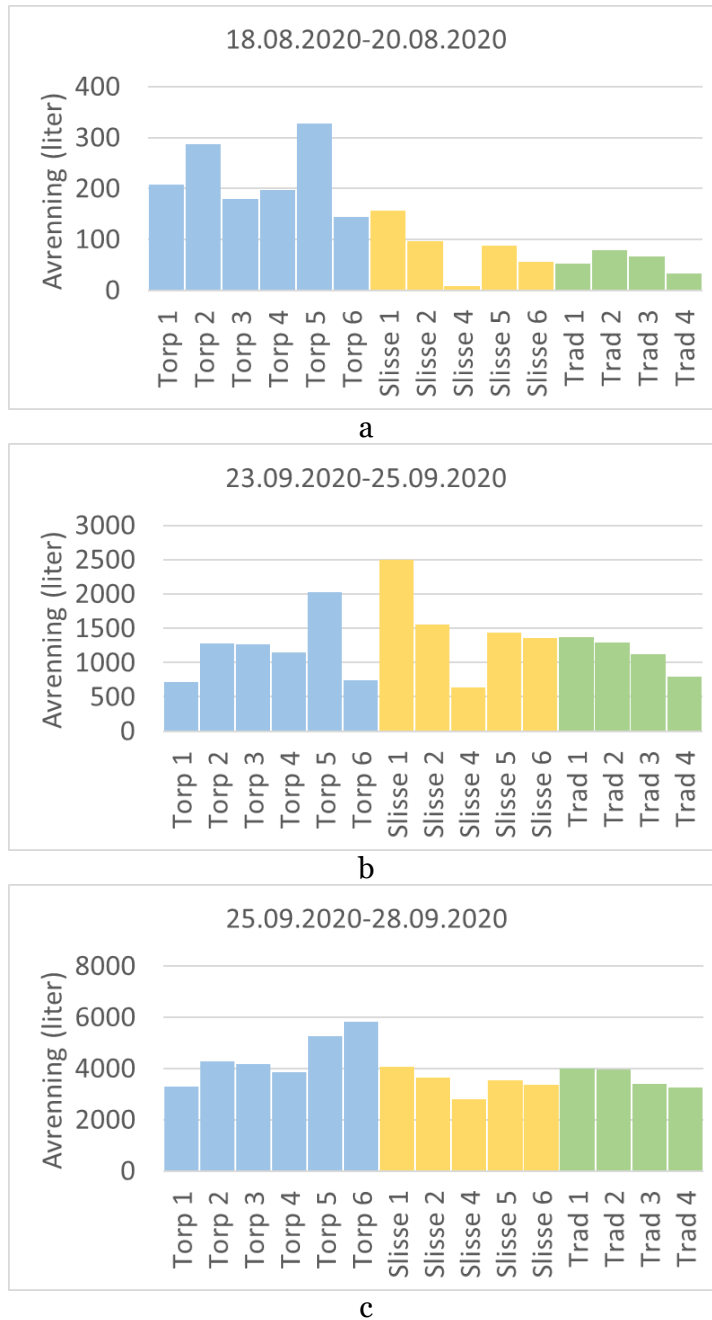
Total grøfteavrenning for hvert dreneringsrør ved hver episode er vist i Figur 8. Tabell 4 viser gjennomsnittlig grøfteavrenning for hvert forsøksledd per episode. Under antakelse av at alle ytre forhold (terreng, jordsmonn etc.) er like for alle forsøksledd, viser resultatene at:

- Under den første episoden (Figur 8a) kom det lite avrenning sammenliknet med de neste episodene. Nedbøren gikk hovedsakelig med til å fukte opp jorda, men aktiverte også grøftesystemene såvidt. Avrenning gjennom fem av seks grøfterør i forsøksleddet med torpedogrøfter var høyere enn for grøfterørene i forsøksledd med slissegrøfter og tradisjonelle grøfter.
- Under den andre episoden (Figur 8b) var det mer nedbør og mer avrenning enn i første episode. Gjennomsnittlig avrenning var høyest for slissegrøfter, og nest høyest for torpedogrøfter. Avrenningen fra flere av grøfterørene var omtrent lik, og det er ikke grunnlag for å konkludere med at noe grøftesystem var mer effektivt enn de andre under denne episoden.
- Under tredje episode (Figur 8c), som kom like etter andre episode, var det enda mer nedbør og avrenning enn i episoden før. Gjennomsnittlig avrenning var høyest for torpedogrøfter og nest høyest for tradisjonelt grøftesystem. Igjen var det ikke tydelig forskjell mellom de tre grøftesystemene.

For å oppsummere, varierte det mellom episoder hvilket grøftesystem som var mest «effektivt». Det var også variasjon mellom individuelle grøfterør innenfor samme grøftesystem. Alle episoder sett under ett, var det en tendens til høyest effektivitet av torpedogrøfting, etterfulgt av slissegrøfting, og lavest effektivitet av tradisjonell grøfting, men forskjellene var ikke statistisk signifikante.

Tabell 4: Gjennomsnittlig (min og maks i parentes) grøfteavrenning per grøfterør for utvalgte episoder i 2020 (rør nr. 3 i forsøksledd 2 med slissegrøfter er utelatt).

Utvalgte episoder i 2020	18.-20. august	23.-25. september	25.-28. september
Nedbør	25.4 mm	13.6 mm	19.7 mm
	Avrenning (liter)		
1. Torpedo	223 (144 – 327)	1195 (714 – 2023)	4448 (3304 – 5817)
2. Slisse	81 (8 – 157)	1495 (635 – 2498)	3486 (2802 – 4054)
3. Tradisjonell	57 (32 – 78)	1141 (788 – 1368)	3651 (3258 – 3987)



Figur 8: Grøfteavrenning per grøfterør for utvalgte episoder i 2020 (rør nr. 3 i forsøksledd 2 med slissegrøfter er utelatt).

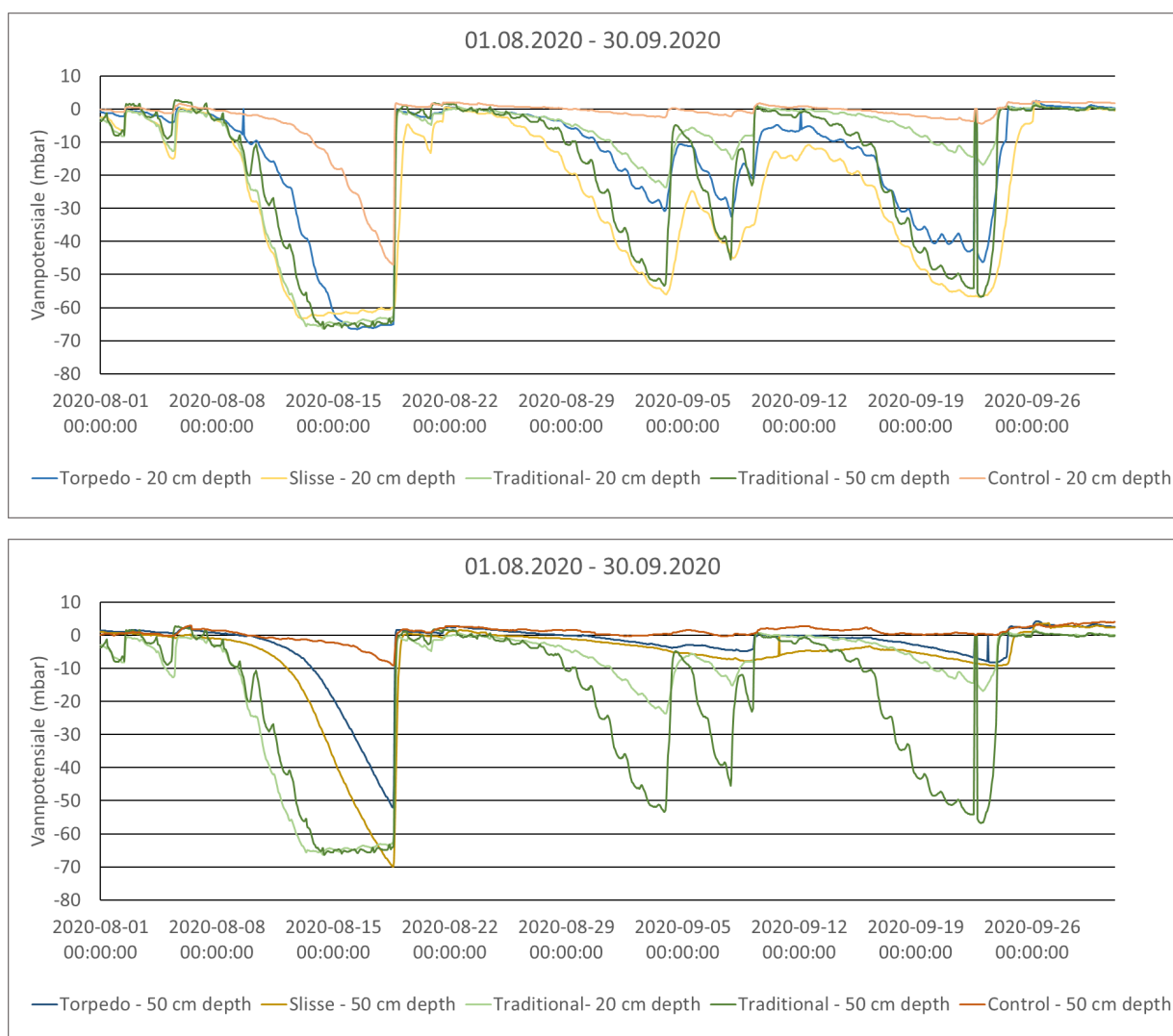
3.2.2 Jordfuktighet i 2020

Vannpotensialet ved 20 og 50 cm dybde, for de ulike forsøksleddene og kontrollfeltet, er vist i Figur 9.

I begynnelsen av måleperioden var det ifølge tensiometermålingene fuktig i jorda: vannpotensialet varierte mellom 0 og -10 mbar. Det var vekslning mellom lett uttørking og nær vannmettede forhold som følge av vekslning mellom dager med og uten nedbør (Figur 6). Samtidig var det lite avrenning i denne perioden (Figur 7), ettersom nedbørepisodene var små. Det var fire «større» tørkeperioder gjennom måleperioden, men ingen av dem ga sterk opptørking: vannpotensialet var aldri lavere enn -70 mbar. Dette er høyere enn ved

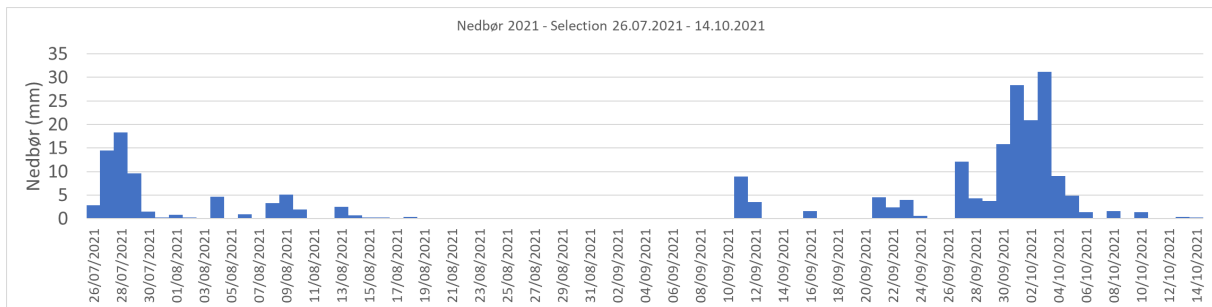
feltkapasitet, som generelt regnes å tilsvare et vannpotensiale på -100 mbar. Mellom 0 og -100 mbar vannpotensiale foreligger vannet i drenerbar («fri») form.

I kontrollfeltet, der det ikke var grøftet, var jorda fuktig i nesten hele måleperioden, bortsett fra noe opptørking i første halvdel av august. Etter nedbørsepisoden 18. august holdt vanninnholdet seg høyt ut måleperioden. Alle forsøksleddene med grøfting viste større opptørking i alle tørkeperiodene enn i kontrollfeltet. Det gjaldt særlig i ploglaget (20 cm dybde). Her var opptørkingen etter hver episode størst for slissegrøfter, nest størst for torpedogrøfter, og minst for tradisjonelle grøfter. I undergrunnsjorda (50 cm dybde) var det, som i kontrollfeltet, størst opptørking i den første tørkeperioden, og lite opptørking etter dette. Unntaket var for tradisjonelle grøfter, der opptørkingen ved 50 cm dybde var større enn ved 20 cm dybde. Dette virker urealistisk, og kan indikere at tensiometerne på 20 og 50 cm dybde har blitt byttet om (noe som må sjekkes ut ved evt. videreføring av forsøket). Om så er tilfelle, kan det se ut til at tradisjonelle grøfter og slissegrøfter oppfører seg ganske likt ved begge dybdene.

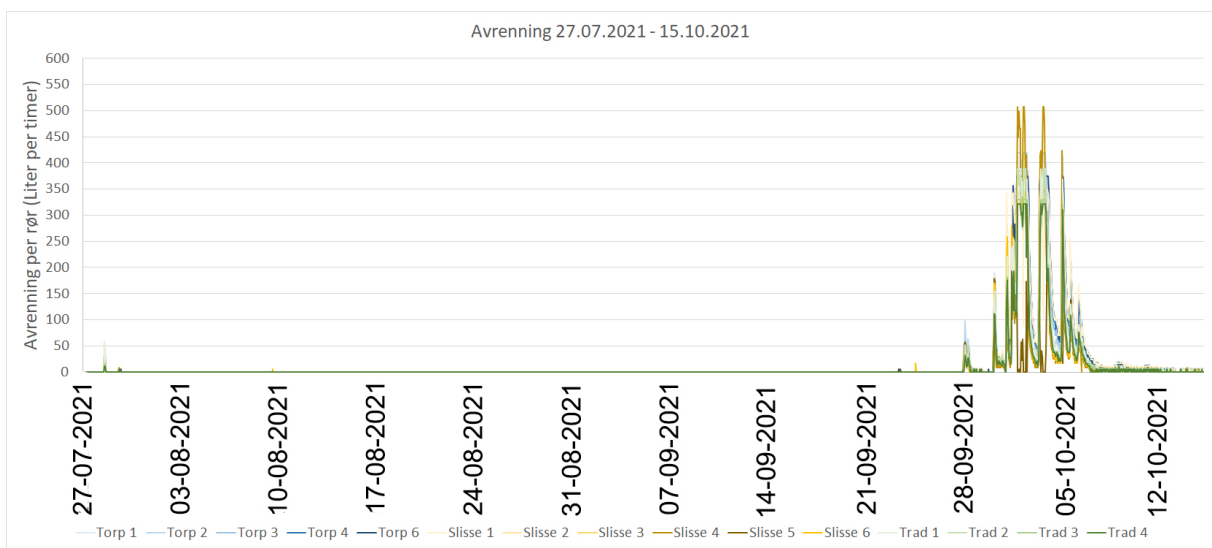


Figur 9: Vannpotensiale i jord i 2020, målt med tensiometre på ulike dybder.

3.2.3 Nedbør og grøfteavrenning i 2021



Figur 10: Nedbør i 2021.



Figur 11: Grøfteavrenning per grøfterør i 2021 (rør nr. 5 i forsøksledd 1 med torpedogrøfter er utelatt).

Figur 10 og 11 viser hhv. nedbør og avrenning i måleperioden i 2021. Sommeren 2021 rant det lite vann i grøftene, selv etter nedbørshendelsene i slutten av juli 2021. Både august og september 2021 var tørre, men med en kraftig nedbørsepisode i slutten av september 2021. For å evaluere de ulike grøftesystemene, har vi analysert total mengde vann som kommer ut av grøftene under fire individuelle nedbørs- og avrenningsepisoder i 2021: 28. juli, 27.-29. september, 29. september-7. oktober og 8. oktober.

Total grøfteavrenning for hvert dreneringsrør ved hver episode er vist i Figur 12. Tabell 5 viser gjennomsnittlig grøfteavrenning for hvert forsøksledd per episode. Under antakelse av at alle ytre forhold (terreng, jordsmonn etc.) er like for alle forsøksledd, viser resultatene at:

Under den første nedbørsepisoden (Figur 12 a) kom det lite avrenning. I gjennomsnitt kom det mest avrenning i de tradisjonelle grøftene, men tallene for de individuelle rørene viser sterk innvirkning av en høy verdi for ett rør og lave verdier for de andre rørene i det tradisjonelle grøftesystemet. Det kan bety at torpedogrøfter og slissegrøfter likevel var mer effektive.

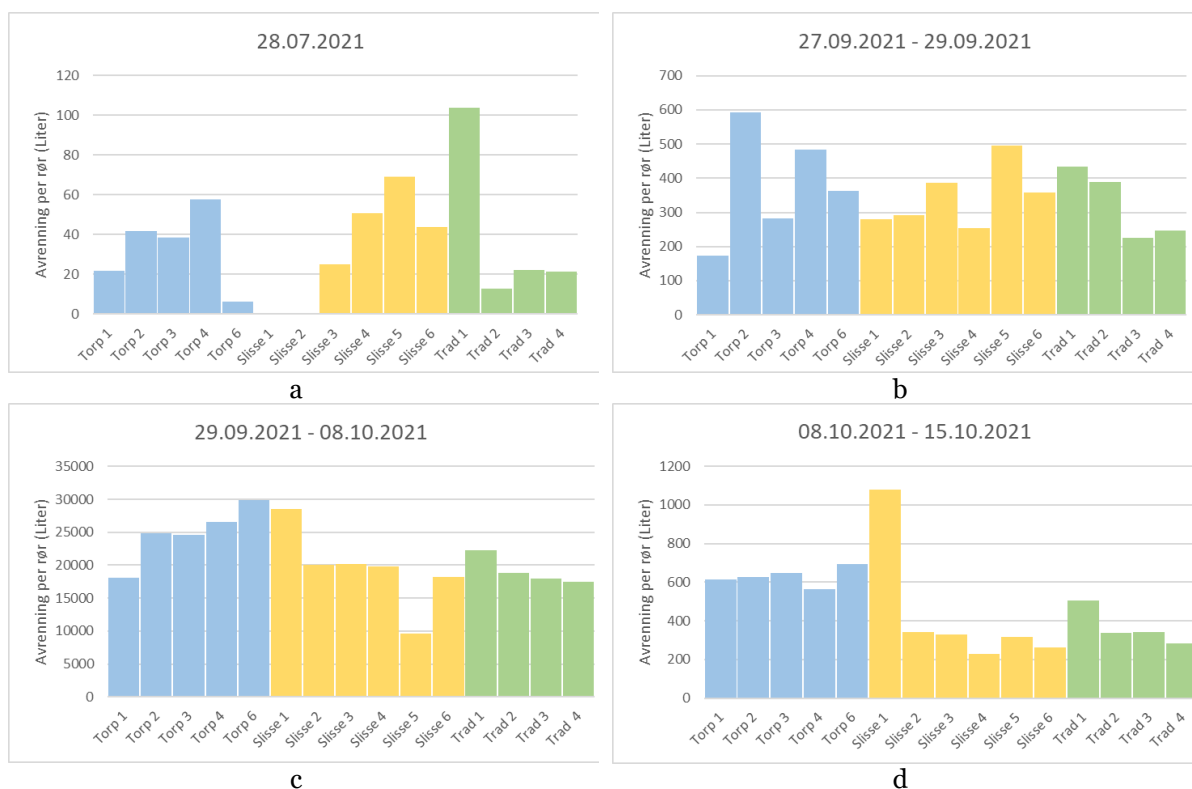
Under de tre andre episodene (Figur 12b-d) var det en svak tendens til at torpedogrøfter var mest effektivt, etterfulgt av slissegrøfter. Avrenningen fra de enkelte dreneringsrørene var i

samme størrelsesorden, men med noe høyere avrenning fra torpedogrøfter enn fra ordinære grøfter, og mer variabel avrenning fra slissegrøfter.

For å oppsummere, var tendensen den samme som i 2020, med høyest effektivitet av torpedogrøfing, etterfulgt av slissegrøfing, og lavest effektivitet av tradisjonell grøfing, men forskjellene var ikke statistisk signifikante.

Tabell 5: Gjennomsnittlig (min og maks i parentes) grøfteavrenning per grøfterør for utvalgte episoder i 2021 (rør nr. 5 i forsøksledd 1 med torpedogrøfter er utelatt).

Utvalgte episoder 2021	28. juli	27.-29. september	29. september-7. oktober	8.oktober
Nedbør	32.8 mm	20.2 mm	111.7 mm	3.8 mm
	Avrenning (liter)			
Torpedo	33 (6 - 58)	379 (174 - 594)	24782 (18045 – 29830)	630 (565 – 694)
Slisse	32 (0 - 69)	344 (254 - 497)	19391 (9610 - 28548)	427 (229 – 1080)
Tradisjonell	40 (13 – 104)	324 (226 – 434)	19125 (17463 – 22290)	367 (284 – 506)



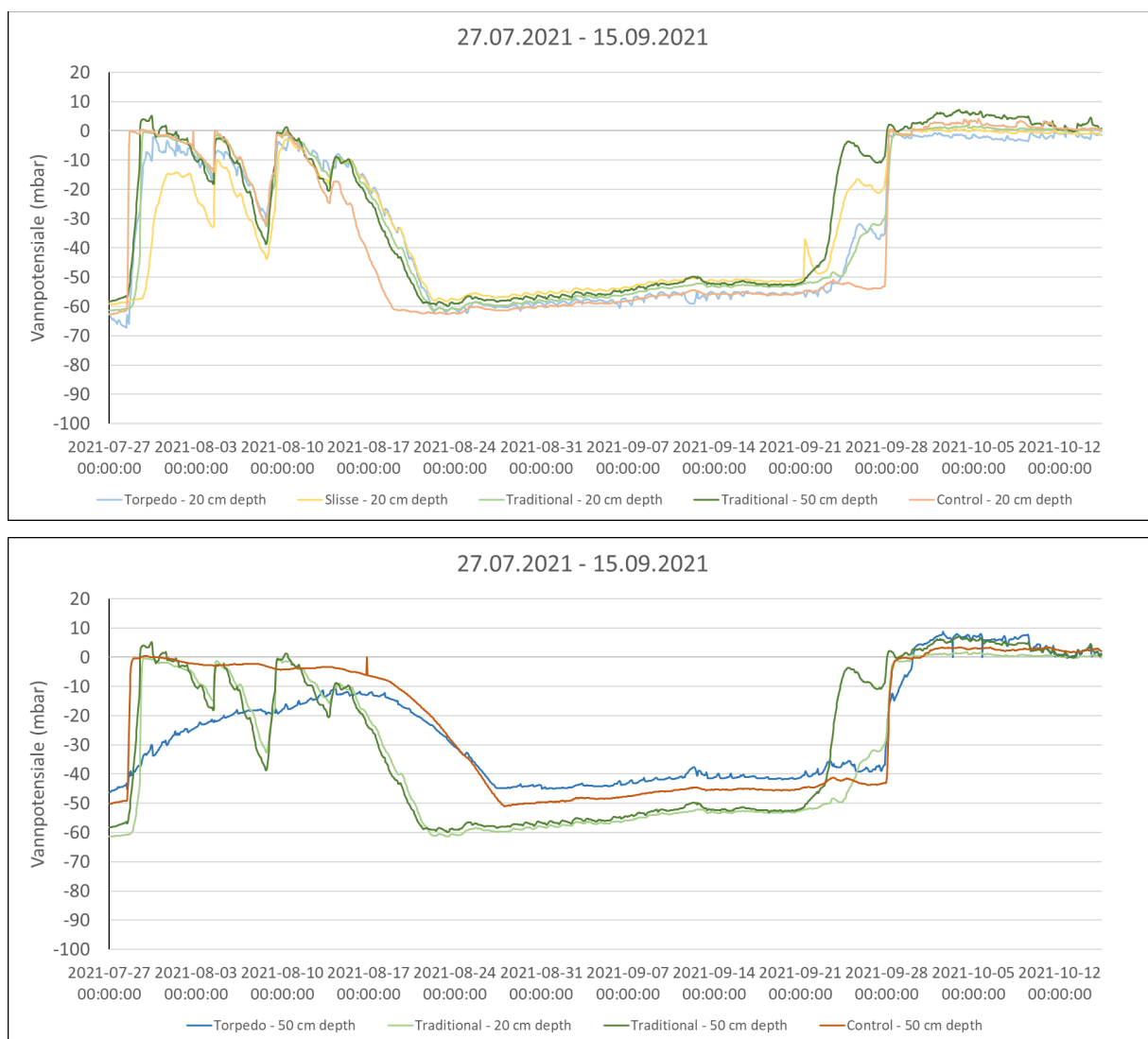
Figur 12: Grøfteavrenning per grøfterør for utvalgte episoder i 2021 (rør nr. 5 i forsøksledd 1 med torpedogrøfter er utelatt).

3.2.4 Jordfuktighet i 2021, målt med tensiometer

Det var en god del nedbør i begynnelsen av måleperioden (Figur 10), mens det knapt ble målt noe avrenning i samme periode (Figur 11). Den nedbøren som kom, gikk med til å fukte opp den forholdsvis tørre jorda. Tensiometermålingene (Figur 13) viser at vannpotensialet i alle forsøksledd og i kontrollfeltet lå rundt -60 mbar helt i starten av perioden, og responderte raskt med økning i vannpotensiale da det kom nedbør. I kontrollfeltet og i forsøksledd med torpedogrøfter og tradisjonelle grøfter ble ploglaget (20 cm dybde) nærmest vannmettet under de første nedbørsepisodene, mens der det var slissegrøfter ble det ikke fullt så fuktig

etter de første par nedbørsepisodene. En årsak til det kan være at slissegrøftene ikke ligger så dypt og derfor tar unna vann fra ploglaget raskere. Ved 50 cm dybde var det en liknende respons som ved 20 cm dybde, men med noen forskjeller: I kontrollfeltet var det lite opptørking i løpet av de første nedbørsepisodene, mens forsøksleddet med tradisjonelle grøfter viste samme respons som ved 20 cm dybde. Torpedogrøfting skilte seg ut med mindre oppfukning ved 50 cm etter nedbør i denne perioden. Dette kan være en forklaring på hvorfor torpedogrøftene var mindre aktive under denne episoden. Dataene for slissegrøfter var ikke realistiske ved 50 cm dybde, og blir derfor ikke vist og diskutert her.

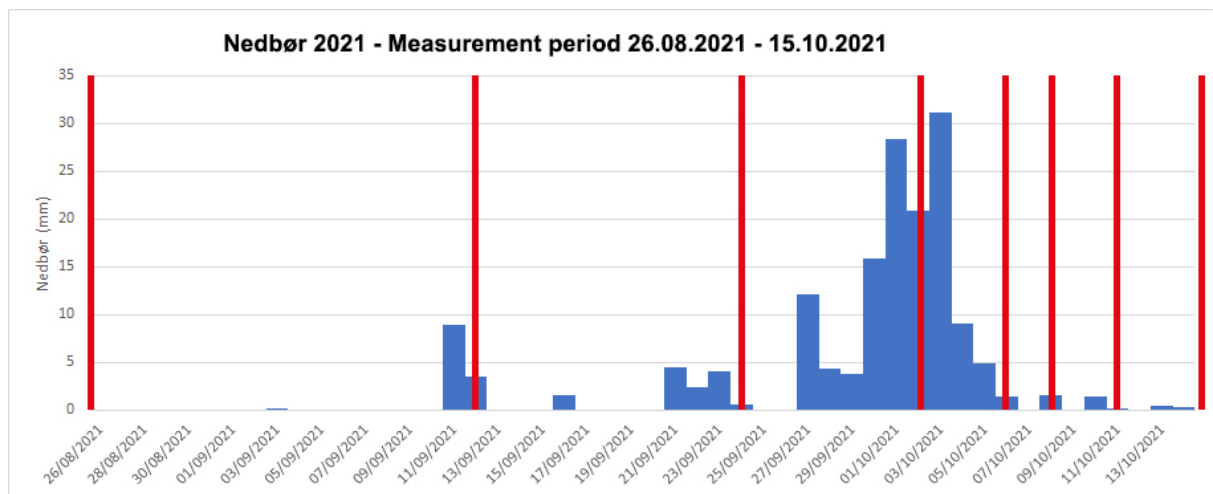
Utover i august ble det en lengre tørkeperiode som varte til slutten av september. Ved 20 cm dybde skjedde det en gradvis opptørking både i kontrollfeltet og i forsøksleddene. Denne opptørkingen skjedde raskere i kontrollfeltet enn i forsøksleddene. Vannpotensialet holdt seg siden rundt -60 mbar, både i kontrollfelt og i forsøksleddene, helt fram til det kom nedbør i slutten av september. I månedsskiftet september-oktober var det igjen vannmettet ved 20 cm dybde. Det var omtrent samme forløp ved 50 cm dybde. Som i 2020 (avsnitt 3.2.2), er det mulig at tensiometerne på 20 og 50 cm dybde kan være byttet om i forsøksleddet med tradisjonelle grøfter. De oppfører seg ganske likt, men man skulle forvente raskere økning i jordfuktigheten ved 20 cm dybde enn ved 50 cm i slutten av september.



Figur 13: Vannpotensiale i jord i 2021, målt med tensiometre på ulike dybder.

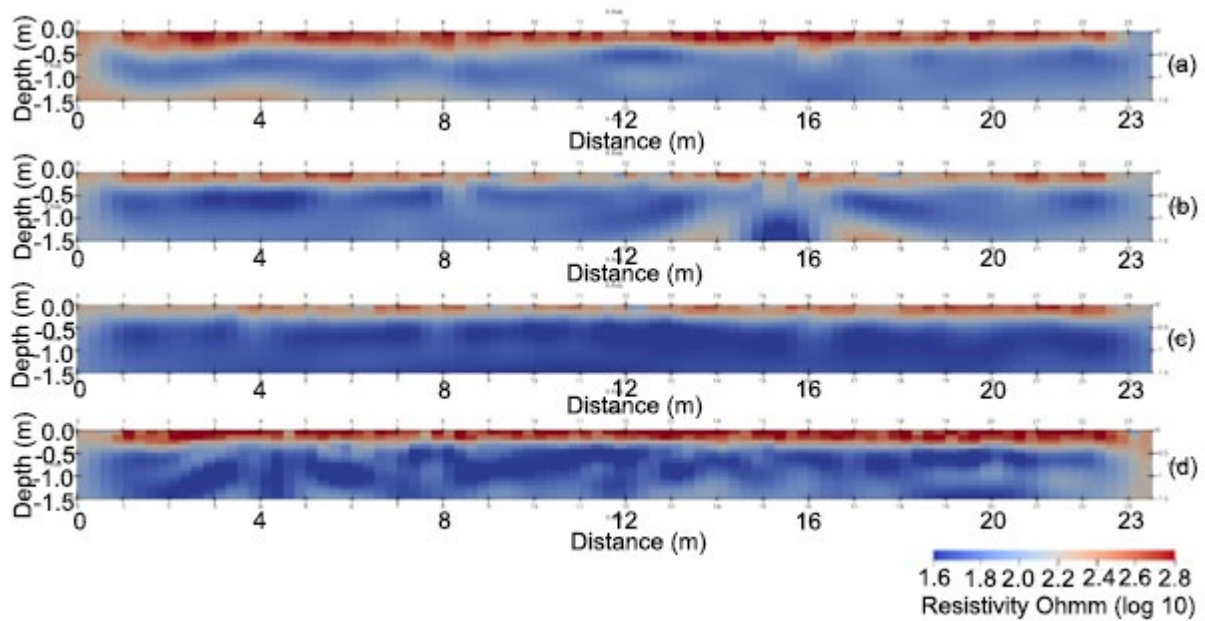
3.2.5 Jordfuktighet i 2021, målt med elektrisk resistivitet

I perioden 26. august til 15. oktober 2021 ble det gjennomført ERT-målinger ved åtte tidspunkter (Figur 14). Figur 15 og 16 viser ERT-profiler for de ulike tidspunktene. Hvert profil viser to grøfter og området rundt det, slik at man får et inntrykk av variasjon jordfuktighet i tid og rom. ERT-målingen som ble gjort den 26. august, er i den følgende diskusjonen referansetidspunktet som målingene på de andre tidspunktene sammenliknes med. Jo mindre rødt (verdier 100-200) og jo mer blått (verdier 0-100) et område er i Figur 15, dess høyere er resistiviteten, og dermed jordfuktigheten, sammenliknet med på referansetidspunktet.



Figur 14: Nedbør (blå stolper) i perioden 26.08.2021 – 15.10.2021, da ERT-målingene ble gjennomført (røde linjer).

I forsøksleddet med torpedogrøfter (Figur 15a) var det høye resistivitetsverdier i det øverste jordlaget, og lavere resistivitet i dypere lag. Det samme ble observert i forsøksleddet med tradisjonelle grøfter og i kontrollfeltet (Figur 15c og 15d), men det øvre laget med høyere resistivitet var tynnere her enn i forsøksleddet med torpedogrøfter. Målingene antydte også at det var høyere leirinnhold og/eller høyere vanninnhold i jorda der det var tradisjonelle grøfter og i kontrollfeltet (Figur 15). Tidsserien med ERT-målinger viste at jordfuktigheten økte over tid gjennom måleperioden. Hovedgrøftene var også synlige i profilene, som avgrensede flekker ved 8 og 16 m (Figur 16 og Vedlegg E).



Figur 15: Profiler med resistivitetsverdier i forsøksledd 1 med torpedogrøfter (a), forsøksledd 2 med slissegrøfter, forsøksledd 3 med tradisjonelle grøfter (c) og kontrollfelt uten grøfter (d) fra 26.08.2021.

Alle forsøksledd med grøfter viste forholdsvis like mønstre i relativ resistivitet (endring i jordfuktighet). Endring i jordfuktighet var ganske homogen langs profilene på de to måletidspunktene i september, mens det videre utover høsten, i oktober, var mer ujevn endring i vanninnhold, visualisert gjennom et flekkete mønster med vekslende mellom lave og høye relative resistivitetsverdier. Mønsteret i profilene med slissegrøfter var mer rotete enn for de andre profilene, særlig ved 16 m. Det kan skyldes at jorda er mye forstyrret ved installasjon av grøftene akkurat her. Kontrollfeltet, som ikke var grøftet, framsto som mer homogent på høyre del av feltet, på alle tidspunkt, mens venstre del av feltet viste et noe mer flekkete mønster som liknet på tilsvarende i forsøksleddene med grøfter. Herunder følger en mer detaljert oppsummering av resultatene:

Forsøksledd 1: Torpedogrøfter (Figur 16a)

ERT-målingene viser at jorda i ploglaget (0-20 cm dybde) var litt fuktigere 12. og 24. september enn ved referansetidspunktet 26. august, mens det var litt tørrere i undergrunnsjorda (20-80 cm dybde). Nedbøren som kom forut for de to måletidspunktene var altså nok til å fukte opp kun de øverste 20 cm av jorda. Tensiometerdataene (Figur 13) viser derimot en svak økning i vanninnholdet ved de to tidspunktene, men økningen var kortvarig, og kanskje så lokal at det ikke fanges opp i det større ERT-bildet. Det kan også ha vært vann som strømmet forbi tensiometeret gjennom en makropore. Etter nedbørsepisoden som startet 27. september, var hele jordprofilen jevnt over fuktigere 6. oktober enn 24. september, og mellom 6. og 15. oktober var det lite endring i jordfuktighet. Begge deler reflekteres i tensiometerdataene (Figur 13).

Forsøksledd 2: Slissegrøfter (Figur 16b)

ERT-målingene viser at ploglaget var litt tørrere etter nedbørsepisoden den 12. september enn ved referansetidspunktet 26. august. Nedbøren fra 11. september har tilsynelatende altså ikke ført til oppfukning av jorda i ploglaget. Tensiometerdataene (Figur 13) viser derimot en

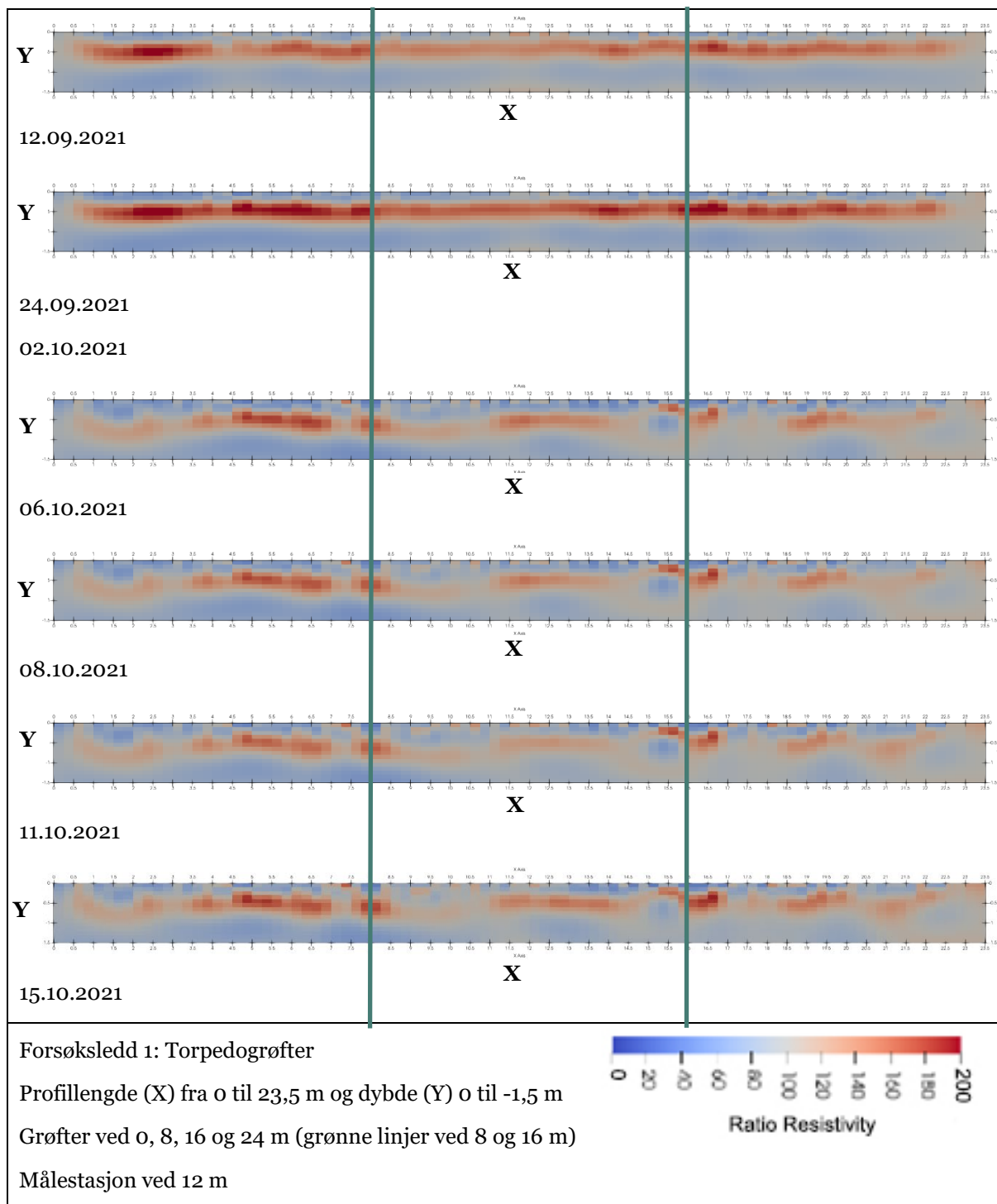
liten økning i jordfuktighet på dette tidspunktet. Den 24. september var situasjonen derimot den samme som for forsøksleddet med torpedogrøfter: nedbøren som kom i dagene før, fuktet opp matjordlaget, men ikke undergrunnsjorda. Målinger 2. oktober (mens grøftene var aktive) viser at jorda var hovedsakelig våt på dette tidspunktet, men med noen tørre flekker innimellom. I perioden 6.-11. oktober ble de tørre flekkene større og tørrere, mens andre flekker ble våtere. Det skjedde en redistribusjon av markvann i profilet. Tensiometerdataene (Figur 13) viser kun at det var lite endring i jordfuktighet over tid i denne perioden, som illustrerer hvordan en slik punktmåling ikke synliggjør den mer komplekse, romlige variasjonen. Den 15. oktober var profilet tilbake til samme fuktighetsnivå og -mønster som ved referansetidspunktet, og avrenningen opphørte.

Forsøksledd 3: Tradisjonelle grøfter (Figur 16c)

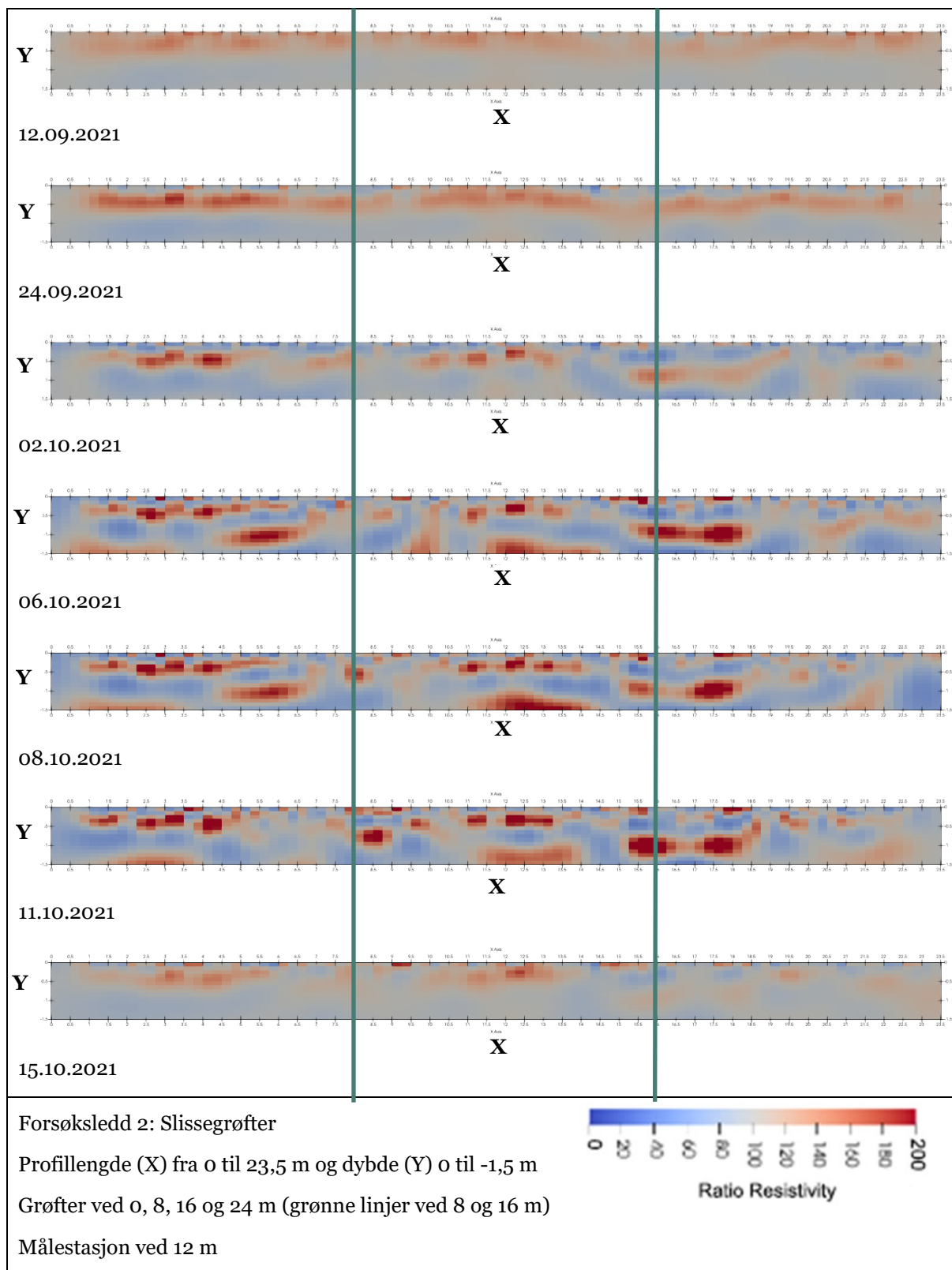
ERT-målingene viste generelt tørrere jord i hele jordprofilet (0-80 cm) etter nedbørsepisodene 12. og 24. september enn ved referansetidspunktet. Det var imidlertid noe oppfukning av matjordlaget den 24. september. Målingene 2. og 6. oktober viste at jorda nå var fuktet opp mellom 0 og hhv. 50 og 80 cm dybde. Målinger 8. og 11. oktober viste både våtere og tørrere flekker gjennom hele jordprofilet ned til 150 cm. Som i de andre forsøksleddene, var jordfuktigheten den 15. oktober tilbake til samme nivå som på referansetidspunktet, og avrenningen hadde opphørt.

Kontrollfelt uten grøfter (Figur 16d)

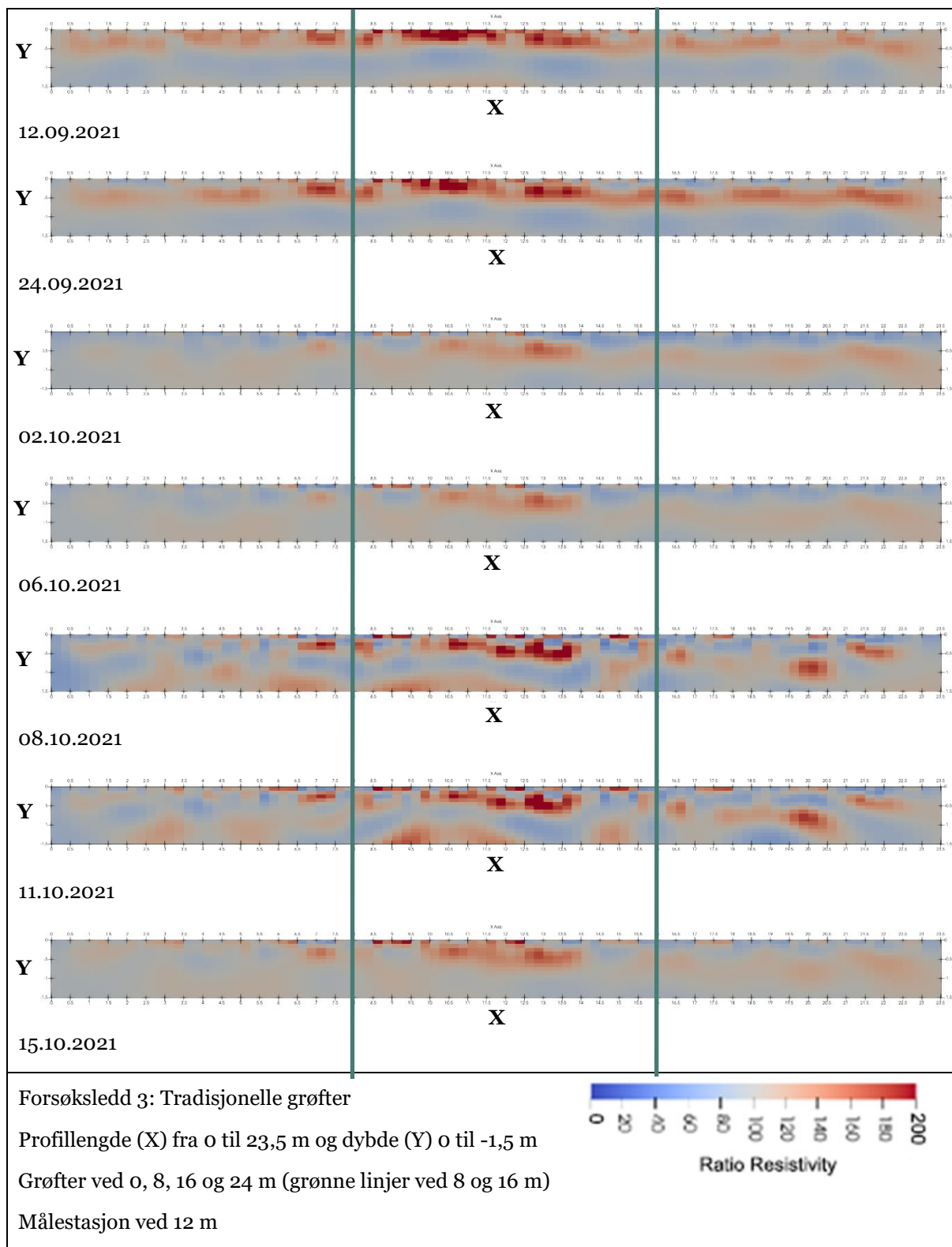
I kontrollfeltet, der det ikke var grøftet, viste ERT-målingene at ploglaget ble fuktet opp både 12. og 24. september og 2. oktober. Undergrunnsjorda i høyre del av profilet viste opptørking, selv den 2. oktober, mens venstre side av profilet oppførte seg mer likt som undergrunnsjorda i de andre forsøksleddene, med flekker med oppfukning. Det var lite utvikling i jordfuktighet fra 2. til 15. oktober, som også tensiometerdataene viser (Figur 13).



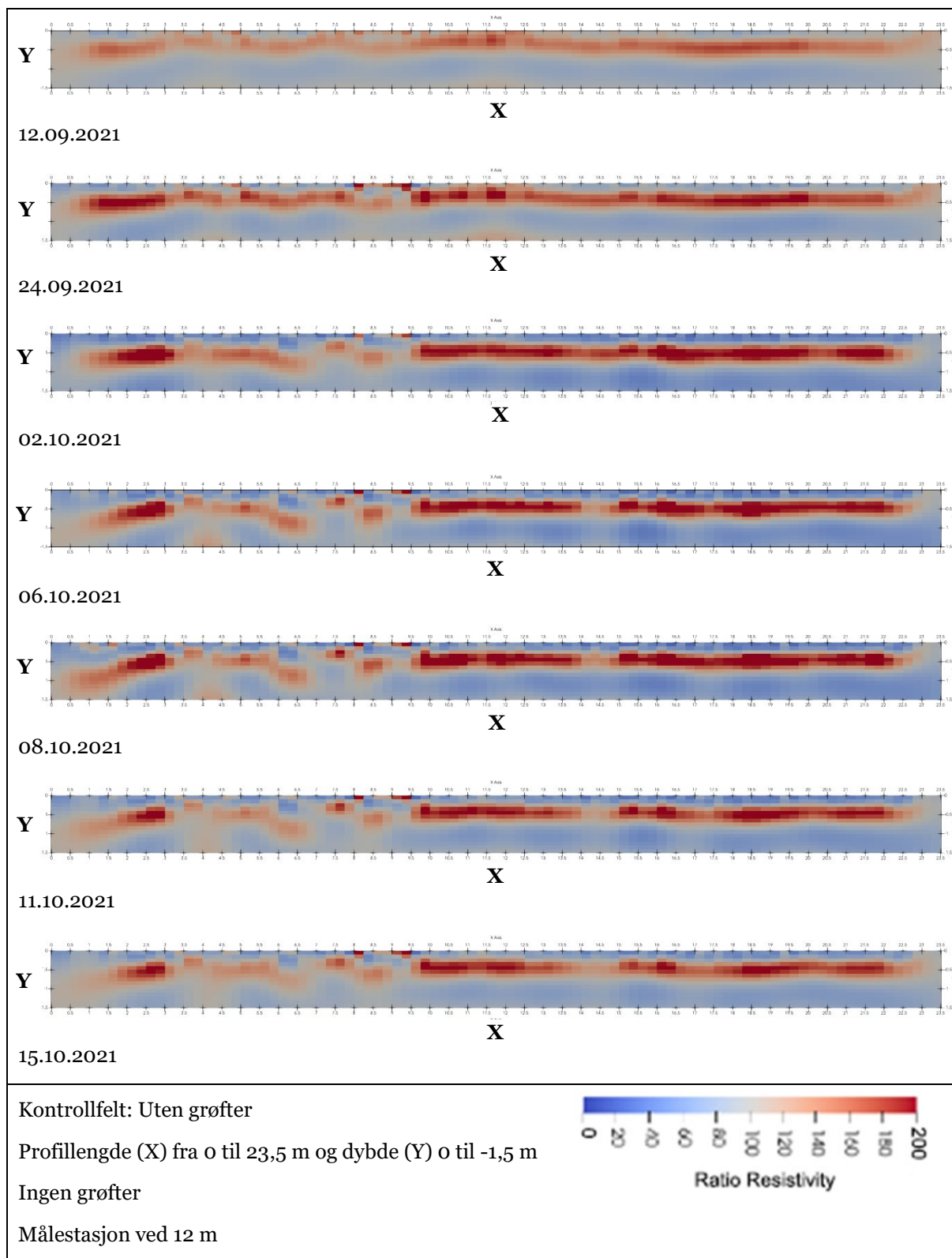
Figur 16a. Profiler med relative resistivetsverdier i forsøksledd 1 med torpedogrøfter.



Figur 16b. Profiler med relative resistivetsverdier i forsøksledd 2 med slissegrøfter.



Figur 16c. Profiler med relative resistivetsverdier i forsøksledd 3 med tradisjonelle grøfter.



Figur 16d. Profiler med relative resistivetsverdier på kontrollfelt uten grøfter.

3.3 Diskusjon og anbefalinger

I dette prosjektet har vi etablert forsøksfeltet på Grimsrud (Indre Østfold), med tre forsøksledd som representerer ulike grøftemetoder (torpedogrøfter, slissegrøfter og tradisjonelle grøfter) og et kontrollfelt uten grøfting. Her er avrenning, grunnvann og vannpotensiale registrert over en periode på to år, i tillegg til at det er gjort noen jordanalyser (vannledningsevne) og gjennomført ERT-målinger. Innenfor rammene for prosjektet har det kun vært mulig å gjøre begrensede analyser av de innsamlede dataene. Noen data har dessuten vist seg å være beheftet med så mye feil at de enten ikke kunne brukes, eller må analyseres nærmere ved evt. oppfølging av prosjektet.

De første resultatene gir noe indikasjon på høyere dreneringskapasitet for areal med tradisjonelle grøfter supplert med torpedogrøfter og slissegrøfter enn for areal med kun tradisjonelle grøfter. Forskjellene mellom grøftesystemene var imidlertid ikke statistisk signifikante, verken i 2020 eller 2021. Det er derfor ikke trukket noen definitive konklusjoner av resultatene. Det foreslås derimot at forsøket videreføres og utvides:

I denne studien ble kun et utvalg av nedbørsepisoder plukket ut for analyse. Analyser av avrenning har kun inkludert avrenningsmengde for disse episodene. Det er ønskelig å gjøre mer grundige og avanserte analyser av flere av nedbørsepisodene, der man ser nærmere på sammenhenger mellom dreneringskapasitet og faktorer som nedbørsintensitet, nedbørsmengde og jordfuktighet før og under episodene. Det bør også gjøres nærmere analyser av jordegenskapenes betydning.

Tidsserien bør også utvides med flere år for å representere ulike værforhold, men også for å se hvordan grøftesystemene oppfører seg over tid. Det er mulig at jorda de første par årene etter grøftingen er såpass forstyrret at det vil påvirke målingene. Over tid vil jorda sette seg, og grøftene vil potensielt også kunne fylles opp med sediment. Etter hvert som dette skjer, kan forskjeller mellom grøftesystemene kanskje bli tydelige. Samtidig har torpedogrøfter og slissegrøfter begrenset levetid sammenliknet med tradisjonelle grøfter, og det kan være nyttig å se hvor lang tid det tar før effekten evt. avtar eller opphører.

ERT- og tensiometermålinger har gitt informasjon om grøftesystemenes innvirkning på endring av vannpotensiale/jordfuktighet i tid og rom. Hver metode har sine fordeler og ulemper, og utfyller hverandre: ERT-målingene viser godt den romlige variasjonen på noen ulike tidspunkter, men kan ikke gjennomføres kontinuerlig. Tensiometermålingene gir med nåværende instrumentering kontinuerlig informasjon om endringer i jordfuktigheten, men gir lite informasjon om den romlige variasjonen mellom og innen de ulike forsøksleddene. I tillegg viste det seg at flere tensiometere ikke fungerte som de skulle. Ved evt. videreføring av forsøket foreslås det at det installeres flere tensiometere på hver dybde for å gi sikrere datatilgang.

Videre undersøkelser bør også inkludere registrering av hvordan plantevekst og avlingsnivå påvirkes av de ulike grøftemetodene, da dette er den kanskje viktigste indikatoren på om grøftesystemene virker etter hensikten og hvilke grøftesystemer som er mest effektive i så måte.

Miljøeffekter, i form av klimagassutslipp og tap av næringsstoffer, har ikke vært en del av dette prosjektet, men er også noe som bør undersøkes i forbindelse med alternative grøftemetoder.

4 Konklusjoner

I dette forsøket har vi studert effekter av ulike grøftemetoder på avrenning og jordfuktighet. Resultatene viste en svak tendens til noe forbedret drenering der tradisjonelle grøfter med 8 m avstand ble supplert med torpedogrøfter eller slissegrøfter med 4 meters avstand, vinkelrett på hovedgrøftene. Dette gjelder i begge sesongene som ble studert (2020 og 2021).

Avrenningsmålingene viste i tillegg en svak tendens til at torpedogrøfter totalt sett var noe mer effektive enn slissegrøfter mht. å få drenert ut størst vannmengde fra jorda. Det var antydninger til variabel effekt som følge av hvor våt jorda var i utgangspunktet. Ved langsom oppfukning av jorda syntes slissegrøfter å være mer effektivt enn torpedogrøfter, mens under kraftigere nedbørshendelser, eller når jorda allerede var våt, syntes torpedogrøfter å være mest effektivt. Det var til dels stor variasjon i vannmengde i de individuelle grøfterørene.

Målinger av jordfuktighet med to forskjellige metoder, tensiometermålinger og måling av elektrisk resistivitet, har gitt innsikt i hvordan jordfuktigheten responderer på nedbør og drenering, i både tid og rom. Målingene viser bedre opptørking på grøftet jord enn på ikke grøftet jord (kontrollfelt). Resistivitetsmålingene har vist at opptørking og oppfukning av jorda skjer simultant i ulike deler av jordprofilen. Det er eller vanskelig å konkludere ut fra jordfuktighetsdataene med hvilken grøftemethode som fungerer best.

I prosjektet er det også målt mettet vannledningsevne, som sier noe om strømningshastigheten i jorda. Det ble funnet at jorda er anisotrop, med høyere horisontal enn vertikal vannledningsevne. Dette påvirker utformingen av en dreneringsplan. Både torpedogrøfter og slissegrøfter utnytter den horisontale vannledningsevnen til å forbedre jordas dreneringstilstand.

Resultatene av forsøket er usikre pga. kort tidsserie og begrensede dataanalyser. Det anbefales at forsøket videreføres for å få lengre tidsserier med data, og med utvidede analyser av dataene som er samlet inn så langt. Forsøket bør også suppleres med mer informasjon om jordegenskaper og andre faktorer som kan påvirke resultatene. Dette vil danne et bedre grunnlag for å trekke konklusjoner mht. effektivitet av de ulike grøftesystemene som her er studert.

5 Litteraturreferanse

- Binley, A. 2015. Tools and Techniques: DC Electrical Methods, In: Treatise on Geophysics, 2nd Edition, G Schubert (Ed.), Elsevier., Vol. 11, 233-259, doi:10.1016/B978-0-444-53802-4.00192-5.
- Børresen, T. 2010. Grøfting og pakkingskader. Vann 04 2010.
- Hauge, A., Kværnø, S.H., Deelstra, J., Bechmann, M., Hovland, I., & Stornes, O.K., 2011. Dreneringsbehov i norsk landbruk – økonomi i grøftingen. Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 128 2011. 48s. ISBN 978-82-17-00859-0.
- Hove, P. 1981. Bæreevne og stabilitet i jorda i relasjon til drenering. Sluttrapport nr. 362. ISBN 82-7290-076-9. 10 s.
- Galvin, L.F. 1983. The drainage of impermeable soils in high rainfall areas. Irish Journal of Agricultural Research 22, 161-187.
- Hoel, B., Abrahamsen, U., Strand, E., Åssveen, M. & Stabbetorp, H. 2013. Tiltak for å forbedre avlingsutviklingen i norsk kornproduksjon. Bioforsk Rapport Vol. 8 Nr. 14 2013. 95s. ISBN 978-82-17-01054-8.
- Tso, C-h, A. Binley, O. Kuras, P.B. Wilkinson, S. Uhlemann, J.E. Chamber, P.I. Meldrum, J. Graham and E.F. Sherlock. 2017. Improved characterisation and modelling of measurement errors in electrical resistivity tomography (ERT) surveys, Journal of Applied Geophysics, 146, 103-119, DOI: 10.1016/j.jappgeo.2017.09.009.
- Uhlen, A.K., Børresen, T., Kværnø, S., Krogstad, T., Waalen, W., Strand, E., Bleken, M.A., Seehusen, T., Deelstra, J., Sundgren, T., Lillemo, M., Riley, H., Abrahamsen, U. og Øygarden, L. 2017. Økt norsk kornproduksjon gjennom forbedret agronomisk praksis. En vurdering av agronomiske tiltak som kan bidra til avlingsøkninger i kornproduksjonen. NIBIO Rapport Vol. 3 Nr. 87 2017. 47s. ISBN 978-82-17-01888-9.

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.