



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Transport av plantevernmidler i vegetasjonssoner med makroporestruktur

NIBIO RAPPORT | VOL. 10 | NR. 64 | 2024



Roger Holten¹, Randi Bolli¹, Kathinka Lang¹, Ivo Havranek¹, Dominika Krzeminska², Mona Pauer³, Attila Nemes³

¹Divisjon bioteknologi og plantehelse – Avdeling pesticider og naturstoffkjemi, ²Divisjon for miljø og naturressurser – Avdeling jord og arealbruk, ³Divisjon for miljø og naturressurser – Avdeling hydrologi og vannmiljø/NMBU

TITTEL/TITLE

Transport av plantevernmidler i vegetasjonssoner med makroporestruktur/Transport of pesticides in vegetative filter strips with macroporous soil

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Roger Holten, Randi Bolli, Kathinka Lang, Ivo Havranek, Dominika Krzeminska, Mona Pauer, Attila Nemes

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
10.05.2024	10/64/2024	Åpen	52349	20/01267
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03517-6	2464-1162	74	4	

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Semona Issa

STIKKORD/KEYWORDS:

Plantevernmidler, vegeterte buffersoner, vegetasjonssoner, overflateavrenning, makroporer, makroporetransport

Plant protection products, pesticides, vegetated buffer strips, vegetated filter strips, surface runoff, preferential flow, macropore flow, subsurface transport

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Plantevernmidlers skjebne i miljøet, overflateavrenning, miljø, landbruk

Fate and behavior of pesticides/plant protection products in the environment, surface and subsurface runoff, environment, agriculture

SAMMENDRAG/SUMMARY:

For å få mer kunnskap om overflateavrenning av plantevernmidler under norske forhold, dvs. i hellende terreng med jordsmonn med god makroporestruktur, har vi i årene 2020-2022 simulert overflateavrenning av vann og plantevernmidler inn i vegetasjonssoner. Relativt store mengder vann ble tilsatt i overkant av vegetasjonssoner med godt etablert grasdekke og det ble antatt at dette ville gi en del overflateavrenning. I forsøkene ble det vist at det aller meste av vannet som rant inn i vegetasjonssonene raskt infiltrerte nedover i jorda og fulgte makroporer og drenerør ut av jordprofilene. I forsøkene i 2021 ble 41% av alt tilsatt vann samlet opp og analysert for plantevernmiddelkonsentrasjoner kort tid etter start av forsøket, men lite/ingenting av dette kom fra overflateavrenning (0.01 %). Det ble funnet plantevernmidler og bromid i alle prøvene og selv på 80 cm dyp ble det etter kort tid funnet konsentrasjoner av plantevernmidler som var nær 100 % av den tilsatte konsentrasjonen. I 2022 flyttet man lokalitet og gjennomførte forsøk uten å grave like mye rundt rutene med vegetasjonssonene. Vann med plantevernmidler ble også tilsatt i dette forsøket. Dette året fikk man betydelig mer overflateavrenning fra vegetasjonssonene, med konsentrasjoner opp mot 100 % av tilsatte konsentrasjoner for MCPA, som er vannløselig, og noe lavere for benzovindiflupyr som bindes sterkere til partikler. Dette året fikk man ikke samlet opp like mye av utlekkingen og totalt samlet man bare opp 23 % av det tilsatte vannet, hvorav overflateavrenning utgjorde 63 %. Forsøkene har gitt ny kunnskap om vannets og plantevernmidlers transport gjennom

vegetasjonssoner med veletablert grasdekke og makroporestruktur, både via overflaten, makroporer, tettere jordsjikt og drenerør. Disse resultatene sammen med andre studier viser viktigheten av å ta hensyn til lokale forhold ved etablering av vegetasjonssoner da man ser at under spesifikke forhold så har kanskje ikke vegetasjonssonene den tiltenkte effekten ift. å redusere avrenningen av plantevernmidler. Rapporten kommenterer flere av anbefalingene i Mattilsynets veileder om vegeterte buffersoner i lys av disse resultatene.

LAND/COUNTRY: Norge/Norway
FYLKE/COUNTY: Viken
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Ås
STED/LOKALITET: Ås

GODKJENT /APPROVED



Marianne Stenrød

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



Roger Holten

NAVN/NAME

Forord

Denne rapporten presenterer resultater fra prosjektet «Transport av plantevernmidler i vegetasjonssoner med makroporestrukturer» finansiert over Handlingsplanen for bærekraftig bruk av plantevernmidler (2016-2020 og 2021-2025) i perioden 2020-2022. Det har vært et behov for mer kunnskap fundert i forsøksresultater oppnådd under norske jord- og klimaforhold for å sikre at krav om vegetasjonssoner for godkjenning av plantevernmidler er godt nok begrunnet. Dette er også viktig for å kunne gi bøndene god nok kunnskap for å etablere vegetasjonssoner som effektive tiltak mot arealavrenning av både plantevernmidler, partikler og næringsstoffer. Overordnet mål for prosjektet har derfor vært å bidra til mer miljøvennlig og bærekraftig planteproduksjon ved redusert tap av plantevernmidler gjennom overflateavrenning.

Prosjektet har vært gjennomført av NIBIO med prosjektleder Roger Holten og prosjektdeltakerne Randi Bolli, Kathinka Lang, Ivo Havranek, Nina Oseth Svendsen, Hans Ragnar Norli, Dominika Krzeminska og Attila Nemes. Takk også til Andrew Dobson for kjøring av vanntanker til og fra forsøksfeltet. Videre har vi fått god hjelp av studenter som Mona Pauer og Maria Dietrich. Alle prosjektdeltagerne fortjener stor takk for sitt engasjement og uvurderlig bidrag inn i et stort prosjekt som har frembragt mye data og ny kunnskap.

En stor takk til Signe Hansen, Kari Grønnerød og Siv Fagertun Remberg ved Institutt for plantevitenskap ved NMBU for lån av arealer og informasjon om forsøksfeltet, og til SKP for god hjelp ved behov for tilgang til vann og strøm. Vi må også rette en stor takk til Line Tau Strand ved Seksjon Jord- og vannfag ved NMBU for arbeidet med jordkarakteriseringen.

Ås, 15.05.24



Roger Holten

Innhold

Sammendrag	7
Summary	8
1 Innledning.....	9
1.1 Vegetasjonssoner som tiltak mot arealavrenning.....	9
1.2 Manglende kunnskap om effekten av vegetasjonssoner mot avrenning av plantevernmidler	9
1.3 Mål med prosjektet	10
2 Material og metoder	11
2.1 Plantevernmidler	11
2.1.1 Ariane S	11
2.1.2 Delaro SC 325	11
2.1.3 Elatus Plus	11
2.2 Analyser	12
2.2.1 Plantevernmidler i jord og vann	12
2.2.2 Bromid i jord og vann	12
2.2.3 pH i jord og vann	13
2.3 Sorpsjonsforsøk	13
2.4 Feltforsøk	13
2.4.1 Feltforsøk 2020	13
2.4.2 Feltforsøk 2021	18
2.4.3 Feltforsøk 2022	25
3 Resultater	28
3.1 Sorpsjonsforsøk	28
3.2 Feltforsøk 2020	28
3.2.1 Plantevernmidler	28
3.2.2 Bromid	29
3.3 Feltforsøk 2021	30
3.3.1 Bakgrunnskonsentrasjoner av plantevernmidler	30
3.3.2 Vanninnhold i toppjorda	31
3.3.3 Plantevernmidler i overflateavrenning og utlekking	32
3.3.4 Overflateavrenning og utlekking av bromid	36
3.3.5 pH i jord- og vannprøver	37
3.4 Feltforsøk 2022	38
3.4.1 Måling av vanninnhold i toppjorda	38
3.4.2 Plantevernmidler	38
3.4.3 Sammenligning av akkumulert prosent av mengde tilsatt i 2021 og 2022	39
4 Diskusjon	41
4.1 Forsøksfelt og jordsmonn	41
4.2 Vann- og stofftransport	41
4.2.1 Overflateavrenning	41
4.2.2 Utlekking/makroporetransport	42
4.2.3 Plantevernmidler og bromid	43

4.3	Forsøkets gyldighet	44
4.4	Vegetasjonssoner som tiltak	45
5	Konklusjon	47
	Litteraturliste	48
6	Vedlegg.....	50
6.1	Bakgrunnskonsentrasjon av plantevernmidler i jordprøver	50
6.2	Oppsamling av vann	51
6.2.1	Feltforsøk 2021	51
6.2.2	Feltforsøk 2022	61
6.2.3	Oppsummering resultater akkumulert mengde i % av tilsatt mengde.....	63
6.2.4	Utvikling av oppsamlet mengde i forhold til tilsatt mengde.....	64
6.3	LOQ og gjenfinning i vann- og jordprøvene	67
6.4	Jordkarakterisering.....	68
6.4.1	Profile 1. Ås apple orchard.....	68
6.4.2	Profile 2. Ås apple orchard.....	71

Sammendrag

For å få mer kunnskap om overflateavrenning av plantevernmidler under norske forhold, dvs. i hellende terreng med jordsmonn med god makroporestruktur, har vi i årene 2020-2022 simulert overflateavrenning av vann og plantevernmidler inn i vegetasjonssoner. Relativt store mengder vann ble tilsatt i overkant av vegetasjonssoner med godt etablert grasdekke og det ble antatt at dette ville gi en del overflateavrenning. I forsøkene ble det vist at det aller meste av vannet som rant inn i vegetasjonssonene raskt infiltrerte nedover i jorda og fulgte makroporer og drenerør ut av jordprofilene. I forsøkene i 2021 ble 41% av alt tilsatt vann samlet opp og analysert for plantevernmiddelkonsentrasjoner kort tid etter start av forsøket, men lite/ingenting av dette kom fra overflateavrenning (0.01 %). Det ble funnet plantevernmidler og bromid i alle prøvene og selv på 80 cm dyp ble det etter kort tid funnet konsentrasjoner av plantevernmidler som var nær 100 % av den tilsatte konsentrasjonen. I 2022 flyttet man lokalitet og gjennomførte forsøk uten å grave like mye rundt rutene med vegetasjonssonene. Vann med plantevernmidler ble også tilsatt i dette forsøket. Dette året fikk man betydelig mer overflateavrenning fra vegetasjonssonene, med konsentrasjoner opp mot 100 % av tilsatte konsentrasjoner for MCPA, som er vannløselig, og noe lavere for benzovindiflupyr som bindes sterkere til partikler. Dette året fikk man ikke samlet opp like mye av utlekkingen og totalt samlet man bare opp 23 % av det tilsatte vannet, hvorav overflateavrenning utgjorde 63 %. Forsøkene har gitt ny kunnskap om vannets og plantevernmidlers transport gjennom vegetasjonssoner med etablert grasdekke og makroporestruktur, både via overflaten, makroporer, tettere jordsjikt og drenerør. Disse resultatene sammen med andre studier viser viktigheten av å ta hensyn til lokale forhold ved etablering av vegetasjonssoner da man ser at under spesifikke forhold så har kanskje ikke vegetasjonssonene den tiltenkte effekten ift. å redusere avrenningen av plantevernmidler. Rapporten kommenterer flere av anbefalingene i Mattilsynets veileder om vegeterte buffersoner i lys av disse resultatene.

Summary

In order to obtain more knowledge about surface runoff of pesticides under Norwegian conditions, i.e. in sloping terrain with soils with good macropore structure, we have simulated surface runoff of water and pesticides into vegetated filter strips (VFS) in a three-year long study starting in 2020. Relatively large amounts of water were added just above the upstream edge of VFS with well-established grass cover, assuming this would result in surface runoff. These experiments showed that most of the water that entered into the VFS quickly infiltrated and was transported out of the soil profile through macropores and drainage pipes. In total, 41% of all applied water was collected in the trials in 2021, but little/none of this came from surface runoff (0.01%). Pesticides and bromide were found in all the samples, and even at 80 cm depth, pesticide concentrations soon reached close to 100 % of the concentration in the applied water. In 2022, the site was moved and left less disturbed by trenches for monitoring and sampling compared to the year before. Water with pesticides was also applied in this experiment. This year we saw significantly more surface runoff from the VFS, with concentrations once more approaching 100% of the concentrations in the applied water. This applied to both MCPA, which is water-soluble pesticide, and benzovindiflupyr a pesticide that sorbs stronger to soil particles. In the last year less of the leached water was collected; in total only 23% of the applied water of which surface runoff accounted for 63%. The experiments have provided new knowledge about the transport of water and pesticides through VFS with well-established grass cover and macropore structure, both via the surface, macropores, denser soil layers and drainage pipes. These results, together with other studies, show the importance of taking local conditions into account when establishing VFS, as these filter strips may be less useful in reducing pesticide runoff under specific conditions. The report comments on selected recommendations in the Norwegian Food Safety Authority's guidance on vegetated buffer strips in relation to the presented results.

1 Innledning

1.1 Vegetasjonssoner som tiltak mot arealavrenning

Vegetasjonssoner er et tiltak som kan redusere både tap av næringsstoffer og plantevernmidler (Blankenberg et al., 2017; Zhang et al., 2010), stoffgrupper som kan påvirke livet i bekker og vassdrag svært negativt (Houbraken et al., 2017; Petersen et al., 2015; Stehle & Schulz, 2015). Vegetasjonssoner er også sett å være et bra tiltak for artsmangfoldet i kulturlandskapet (Haddaway et al., 2016) og slike soner kan dermed bidra til et mer bærekraftig og miljøvennlig jordbruk på ulike nivåer. Vegetasjonssoner, både naturlig kantsoner og grasdekte kantsoner, er også løftet fram som viktige tiltak i Regionale miljøprogram (RMP) og i godkjenningen av plantevernmidler er vegetasjonssoner (vegeterte buffersoner) et risikohåndteringstiltak som benyttes for å beskytte vannforekomster mot uønsket avrenning. Mattilsynet har i godkjenningsprosessen av plantevernmidler implementert vegeterte buffersoner som et påkrevd tiltak for flere plantevernmidler for å redusere tap med overflateavrenning (Mattilsynet, 2020). Nødvendigheten og utformingen av slike vegeterte buffersoner er imidlertid basert på begrensede data fra norske studier samt modellprediksjoner med modeller som ikke er tilpasset norske forhold. Man vet at faktorer som jordsmonn, makroporetransport og kunstig drenering kan påvirke undergrunnstransport av vann, næringsstoffer og plantevernmidler i retning både grunnvann og overflatevann (Fox et al., 2004; Kladvko et al., 2001; Petersen et al., 2013; Shipitalo & Gibbs, 2000). Studier fra Norge indikerer at drensavrenningen kan utgjøre så mye som 90 % av den totale årsavrenningen i enkelte jordtyper (Kværnø & Bechmann, 2010), noe som indikerer at overflateavrenning kan være et mindre problem i en del områder. Det har dermed vært behov for å se nærmere på hva som skjer i vegetasjonssoner under norske forhold for å avdekke svakheter og identifisere hvilke grupper av plantevernmidler og eventuelt andre forhold ved vegetasjonssonene som bør undersøkes nærmere. Mer kunnskap er nødvendig for å sikre at vegetasjonssoner som tiltak i godkjenningen er godt nok tilpasset de faktiske utfordringene under norske forhold, og at bøndene har god nok bakgrunnskunnskap for å bruke vegetasjonssoner som tiltak mot arealavrenning av både plantevernmidler, partikler og næringsstoffer.

1.2 Manglende kunnskap om effekten av vegetasjonssoner mot avrenning av plantevernmidler

Det er gjort lite forskning på effekten av vegetasjonssoner på avrenningen av plantevernmidler i Norge (Syversen, 2002, 2005). Det foreligger noen resultater fra internasjonale studier (Prosser et al., 2020), men norsk landbruk foregår i områder der både klima og topografi kan skille seg kraftig ut fra f.eks. Det er gjort lite forskning på effekten av vegetasjonssoner på avrenningen av plantevernmidler i Norge (Syversen, 2002, 2005). Det foreligger noen resultater fra internasjonale studier (Prosser et al., 2020), men norsk landbruk foregår i områder der både klima og topografi kan skille seg kraftig ut fra f.eks. landbruksområder på det europeiske kontinentet der mye av den tilgjengelige kunnskapen kommer fra. I godkjenningen av plantevernmidler benyttes ofte datamodeller (PRZM, SWASH) som estimerer avrenningen av plantevernmidler ved ulik dyrkingspraksis, ulike topografiske forhold og under ulike jord- og klimaforhold. Modellene med tilhørende scenarier brukt i EU (FOCUS, 2001), er utviklet med tanke på de store landbruksområdene i Europa og er ikke nødvendigvis dekkende for norske forhold. Norske forhold preges av til dels store forskjeller i klima og topografi, fra våte og bratte områder på Vestlandet, via våte og flattere områder på Sør-Vestlandet til de flate og tørre bygdene i Innlandet. I Trøndelag kan det være like vått som på Sør-Vestlandet, men der er temperaturene lavere. Alt dette påvirker hvordan plantevernmidlene transporteres på og i jorda (Holten et al., 2022). Denne variasjonen dekkes ikke opp av EU-scenariene uten at disse bl.a. justeres med tanke på de lavere temperaturene man har i Norge (Eklo et al., 2021). Norsk landbruk utgjør et svært lite marked når det gjelder plantevernmidler og selv om Norge har implementert EUs plantevernmiddelregelverk, er det ikke prioritert fra plantevernmiddelindustriens eller EUs side å skaffe til veie data eller utvikle scenarier som er relevant for norske forhold. Vegetasjonssoner brukes i EU som et tiltak for å redusere avrenningen av plantevernmidler, men da altså med bakgrunn i data som ikke er fremskaffet

under norske forhold. Norge deltar i samarbeidet innen den nordre sonen for godkjenning av plantevernmidler i EU hvor det er utarbeidet harmoniserte retningslinjer for vurdering av plantevernmidler og deres helse- og miljøegenskaper (NZSC, 2023). Her åpnes det opp for å implementere spesifikke nasjonale krav til bruken av midlene så lenge det kan dokumenteres at dette er påkrevd ut fra f.eks. særskilte nasjonale forhold.

1.3 Mål med prosjektet

Målsetningene for prosjektet som rapporteres her var:

- 1) Øke kunnskapen om hvordan plantevernmidler transporteres gjennom et vegetasjonssoneprofil for å kunne sikre optimal implementering av vegetasjonssoner som tiltak mot arealavrenning av plantevernmidler,
- 2) Frembringe avrenningsdata som kan brukes i testing/validering av modellene VFSSMOD/SYNOPOS WEB som er i en prosess for tilpasning til norske forhold og som er planlagt brukt for å estimere og optimalisere effekten av vegetasjonssoner under norske forhold.

2 Material og metoder

2.1 Plantevernmidler

I dette prosjektet valgte vi å studere plantevernmidler med ulike egenskaper, fra stoffer som er definert å være mobile i jord (f.eks. MCPA) til stoffer som bindes til jordpartikler og dermed anses å være mindre mobile (benzovindiflupyr). De utvalgte stoffene ble også valgt fordi det allerede var utviklet kjemiske analysemetoder for disse i andre prosjekter. Tabell 1 gir en oversikt over de ulike stoffenes egenskaper for nedbryting og sorpsjon i jord.

Tabell 1: Forventet gjennomsnittsverdi for halveringstid i jord (DT₅₀) og målt variasjon for halveringstid, forventet gjennomsnittsverdi for binding til jord (Kf eller Kd) og målt variasjon for sorpsjonskoeffisient (Lewis et al., 2016).

Plantevernmiddel	Aktivt stoff	Nedbrytning i jord		Sorpsjon i jord	
		Gjennomsnittlig DT ₅₀ felt (d)	Variasjon DT ₅₀ felt (d),	Kf el. Kd (mL/g)	Variasjon Kf el. Kd (mL/g)
Ariane S	MCPA	25		0,66	0,12 – 3,37
	Clopyralid	8,2	2,0 – 13,5	0,071	0,032 – 0,151
	Fluroxypyr-meptyl	3	34 - 70	188,75	95 - 260
Delaro SC 325	Prothioconazole	0,77	0,49 – 1,4	44,2	15,6 – 64,1
	Trifloxystrobin	1,69	1,1 – 2,73	43,5	11,2 - 325
Elatus Plus	Benzovindiflupyr	127,3	0,001 - 336	62,1	31,6 – 93,3

2.1.1 Ariane S

Ariane S er et systemisk og kontaktvirkende ugrasmiddel som brukes i høst- og vårkorn, i grasgjenlegg og raigras med/uten korn som dekkvekst, i grasfrøeng og gras i grøntanlegg (etikett, mattilsynet.no). Preparatet inneholder de aktive stoffene fluroxypyr-meptyl, clopyralid og MCPA. Stoffene blir betegnet som ikke persistente og mobile (Lewis et al., 2016).

2.1.2 Delaro SC 325

Delaro SC 325 er et systemisk soppmiddel som brukes i korn og gras i grøntanlegg (www.felleskjopet.no). Preparatet inneholder de aktive stoffene prothioconazole og trifloxystrobin. Stoffene blir beskrevet som ikke-persistente og litt mobile. Prothioconazole brytes raskt ned til prothioconazole-desthio (Lewis et al., 2016).

2.1.3 Elatus Plus

Elatus Plus er et systemisk soppmiddel som brukes på høst- og vårformer av hvete, bygg, rug og rughvete (etikett, mattilsynet.no). Preparatet inneholder det aktive stoffet benzovindiflupyr. Benzovindiflupyr er et persistent og et litt mobilt stoff (Lewis et al., 2016).

2.2 Analyser

2.2.1 Plantevernmidler i jord og vann

Vannprøvene ble fortynnet 20 000 ganger for å tilpasse konsentrasjonen til måleområdet for analysemetoden som var 0,01 – 50 µg/mL. Til 10 mL av den fortynnede prøven ble det tilsatt 1 mL metanol, 10 µL intern standard (trifenyfosfat; TPP og fenoprop) og 12 µL maursyre for stabilisering. Prøven ble ristet opp og 1 mL ble filtrert gjennom et 0,2 µm sprøytefilter direkte i vial. Prøvene ble injisert på Agilent 6470 LC-MS/MS i positiv modus. Kvantifiseringen ble gjort mot en standardkurve med kranvann som var spiket med plantevernmidlene og opparbeidet på samme måte som vanlige prøver. Kvantifiseringsgrense (Limit of quantification; LOQ) var 0,02 – 0,05 µg/mL (vedlegg 6.3). Gjenfinningen vises i vedlegg 6.3.

Jordprøvene ble homogenisert og ekstrahert med acetonitril i to omganger. Først ble 7 mL acetonitril tilsatt til 2 ± 0,05 g homogenisert jord i 15 mL polypropylen-rør (PP). Denne blandingen ble så tilsatt 50 ng hver av fenoprop og TPP som internstandarder. Blandingene ble så ristet på en vortex-mixer og satt i et ultralydbad (romtemperatur) i 10 min. Deretter ble prøvene sentrifugert i 15 minutter ved 3500 rpm og supernatanten overført til et nytt 15 mL PP-rør. Prøvene ble så tilsatt 4 mL acetonitril, ristet på whirl-mixer og sentrifugert på samme måte som i første omgang. Supernatantene ble så slått sammen og fordampet til ca. 5 mL på varmeplate (40°C) under en konstant strøm av nitrogen. Prøvene ble så opprenset med bruk av HLB-kolonner (Oasis 6 cc., 30 mg sorbent). Eluatet fra hver prøve ble samlet opp i et 12-mL Kimax-rør, fordampet til helt tørt og re-løst i 1 mL metanol (100 %). Prøvene ble så ristet opp og 1 mL ble filtrert gjennom et 0,2 µm sprøytefilter direkte i vial. Prøvene ble injisert på Agilent 6470 LC-MS/MS i positiv modus. Kvantifiseringen ble gjort mot en standardkurve med kontrollprøve (null-prøve av jord, fri for analyttene) som ble spiket med analyttene og opparbeidet på samme måte som vanlige prøver. LOQ var 0,1 – 10 ng/g tørrstoff (vedlegg 6.3). Gjenfinningen var 92 – 95 % (vedlegg 6.3).

2.2.2 Bromid i jord og vann

Bromid ble benyttet som inaktivt sporstoff i deler av forsøket. Bromid benyttes da det ikke brytes ned, men i hovedsak følger vannstrømmen gjennom jorda. For måling av bromidkonsentrasjonen i jordprøvene ble det veid inn 25 g jord i teflon sentrifugerør (250 mL) som ble tilsatt 50 mL Milli-Q vann og ristet på ristemaskin i 30 min. Væskefasen ble overført til 50 mL sentrifugerør og sentrifugert i 20 min. (10000 rpm). Prøvene ble overført til begerglass i plast og Ionic Strength Adjuster (ISA; Orion Cat. No. 940011) ble tilsatt i et forhold på 50:1. Bromidkonsentrasjonen ble målt under sakte omrøring på magnetrører.

Vannprøvene ble fortynnet med Milli-Q vann i forholdet 1:1000. Deretter ble ISA tilsatt i forholdet 1:50 før bromidkonsentrasjonen ble målt under sakte omrøring på magnetrører.

Konsentrasjoner ble målt i mg/L. For jordprøvene ble målt konsentrasjon i mg/L regnet om til bromidkonsentrasjon i g/m³ jord. Beregnet konsentrasjonen ble justert for vanninnhold og vanninnholdet av jordprøvene ble målt ved å tørke 4-5 g jord i varmeskap (105 °C) i 24 timer. For beregning av bromidkonsentrasjon ble følgende formel brukt:

$$\text{Bromidkonsentrasjon i } \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right] = \frac{B * (EV + JV) * FF}{TW} * D$$

B: Målt bromid konsentrasjon i mg/L

EV: Volum vann brukt til ekstraksjon av bromid fra jordprøvene (50 mL)

JV: Vanninnholdet i jordprøvene i mL. Beregnet ut fra vanninnholdet i %

FF: Fortynningsfaktor som i denne beregningen er 1

TW: Tørrvekt av innveid jord til ekstraksjon

D: Jordtetthet i (g/cm³) som ble antatt å være 1.3 g/cm³

Bromidanalysene ble gjort med et Mettler Toledo pH/ion instrument koblet til en ioneselektiv elektrode (Thermo Fisher Scientific, Orion 9635BNWP). Instrumentet ble kalibrert minst en gang pr måleserie (dvs. pr dag med målinger). Parametre for godkjent kalibrering var slope 85 - 110% og offset mellom -60 mV og +60 mV. Til kalibrering ble det brukt 0,1 M bromidstandard (Orion Cat. No. 943506). Kalibreringsområdet var 0,43 – 128,2 mg/L.

2.2.3 pH i jord og vann

pH ble målt i noen av jord- og vannprøvene (første og siste prøve per oppsamlingspunkt) fra feltforsøket i 2021.

For pH måling i jord ble 5 g lufttørket og siktet (< 2 mm) jordprøve veid inn i 50 mL sentrifugerør og ekstrahert med 25 mL Milli-Q vann. Prøvene ble ristet opp i ca. 1 min. og ble deretter stående i 1 time. Prøvene ble ristet opp igjen og ble stående slik at jordpartiklene bunnfelles. Deretter ble pH målt direkte i prøven med Mettler Toledo pH/ion instrument koblet til en pH elektrode (Mettler Toledo InLab Routine Pro-ISM). Instrumentet ble kalibrert med buffer pH 4.01 og pH 7.0 (Orion Cat. No. 910104). pH i vannfasen ble målt direkte i prøvene.

2.3 Sorpsjonsforsøk

Sorpsjonsforsøket inkluderte 6 ulike plantevernmidler som er aktive stoffer i plantevernmidlene Ariane S (fluroxypyr, clopyralid og MCPA), Delaro SC 325 (trifloxystrobin, prothioconazole) og Elatus Plus (benzovindiflupyr). I tillegg ble prothioconazole-desthio (analytisk standard) inkludert i sorpsjonsforsøket på grunn av rask nedbrytning av prothioconazole. Det ble tatt ut jord fra overflatsjiktet (0-20 cm; Eikjelkamp jordbor d: 2 cm) ca. 1 meter nedenfor hver forsøksrute. Det ble tatt ut 4-5 stikk som igjen ble slått sammen til en samlet prøve. Omtrent 5 cm torv ble fjernet fra hvert stikk.

Jorda ble siktet og lufttørket før forsøket startet. Det ble laget tilsetningsstandarder av Ariane S (T1), Delaro SC 325 (T2), Elatus Plus (T3) og prothioconazole-desthio (T4). For T1 ble 54,6 g Ariane S løst i 1 L Milli-Q vann som gir en konsentrasjon av 2 µg fluroxypyr /mL, 1 µg clopyralid/mL og 10 µg MCPA/mL. For T2 ble 40 mg Delaro SC 325 løst i 1 L Milli-Q vann og det tilsvarer 6 µg trifloxystrobin/mL. For T3 ble 18,75 g Elatus Plus løst i Milli-Q vann som gir en konsentrasjon av 1,875 µg benzovindiflupyr/ mL. T4 ble laget i konsentrasjon 1,75 µg prothioconazol-desthio/mL.

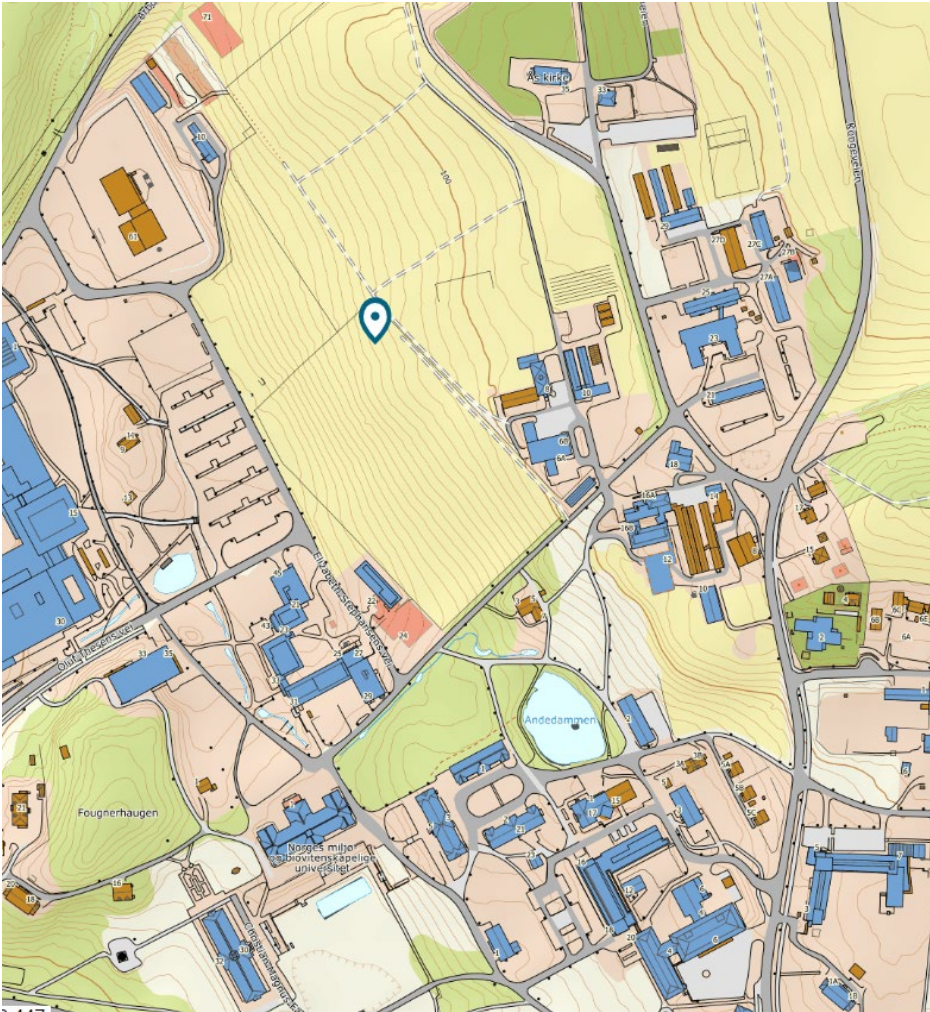
Det ble veid inn 5 g jord til teflonsentrifugerør og prøvene ble pre-ekvilibrert i 16 timer med 23 mL 0,01 M CaCl₂. 1 mL av hvert av tilsetningsstandardene ble tilsatt til 3 jordprøver etterfulgt av risting i 24 t. Etter risting ble prøvene sentrifugert og supernatant ble fortynnet med metanol (50:50). Prøven ble deretter filtrert og analysert med LC-MS/MS. Forsøket ble utført med 3 paralleller. Forsøket ble utført i henhold til OECD Guideline Test No. 106 (OECD, 2000).

2.4 Feltforsøk

2.4.1 Feltforsøk 2020

Feltforsøket ble designet for å simulere en større avrenningsepisode fra et hellende kornfelt inn i en vegetasjonssone med bredde på 6 meter (i hht. [RMP § 34 Grasdelt kantsone i åker](#)). Vann med plantevernmidler og bromid (Tabell 3) ble tilsatt i overkant av vegetasjonssonene og evt. overflateavrenning skulle så samles opp i nedre del av vegetasjonssonen (Figur 3).

Feltet var lokalisert i en vestvendt helling med veletablert grasmark i Åsbakken på NMBU (Norges miljø- og biovitenskapelige universitet) (Figur 1). Hellingen var på 9-13 % og jordtypen, WRB-enhet Umbric Epistagnic Albeluvisol (Siltic) med signatur EKO6KSi3 CD2, er et kompleks mellom to jordtyper, EKO6, som også gir navnet til jordtypen, og KSi3 (Dystric Cambisol). Den første er en havavsetning, mens den andre er en strandavsetning. I praksis betyr dette at både leire og sand finnes innenfor dette området (Tabell 2).



Figur 1: Kart over området i Åsbakken ved NMBU, med plassering av forsøksfeltet fra 2020 og 2021 markert (59.66961°N, 10.76670°Ø, www.kilden.nibio.no).

Tabell 2: Egenskaper til jordtypene i forsøksområdet i Åsbakken, NMBU. Rvvol13 = vanninnholdet ved pF1.3, dvs. feltkapasitet, rvvol42 = vanninnholdet ved pF4.2, dvs. visnegrensen.

Kart-kode	Sjikt	Øvre grense, cm	Nedre grense, cm	Sand, %	Silt, %	Leir, %	Org. C, %	Tetthet, g/cm ³	Tot. pore vol., %	rvvol13 %	rvvol42, %
EKo6	Ap	0	25	10	73	17	3.5	1.1	59.7	48.4	10.1
EKo6	Eg	25	50	5	79	16	0.3	1.5	43.9	36.8	9.2
EKo6	Btg	50		3	72	25	0.1	1.7	41.5	36.2	14.6
KSİ3	Ap	0	25	64	28	8	2.7	1.4	43.7	31.9	7.3
KSİ3	Bw	25	75	73	20	7	0.6	1.8	35.5	21.5	4.9
KSİ3	BC	75		73	20	7	0.7	1.9	34.9	20.5	5.2

Ved graving gjorde man følgende observasjon av jorda i rutene;

Rute 1 (kontrollrute): Leire under plogsjiktet ned mot ca. 50 cm dyp.

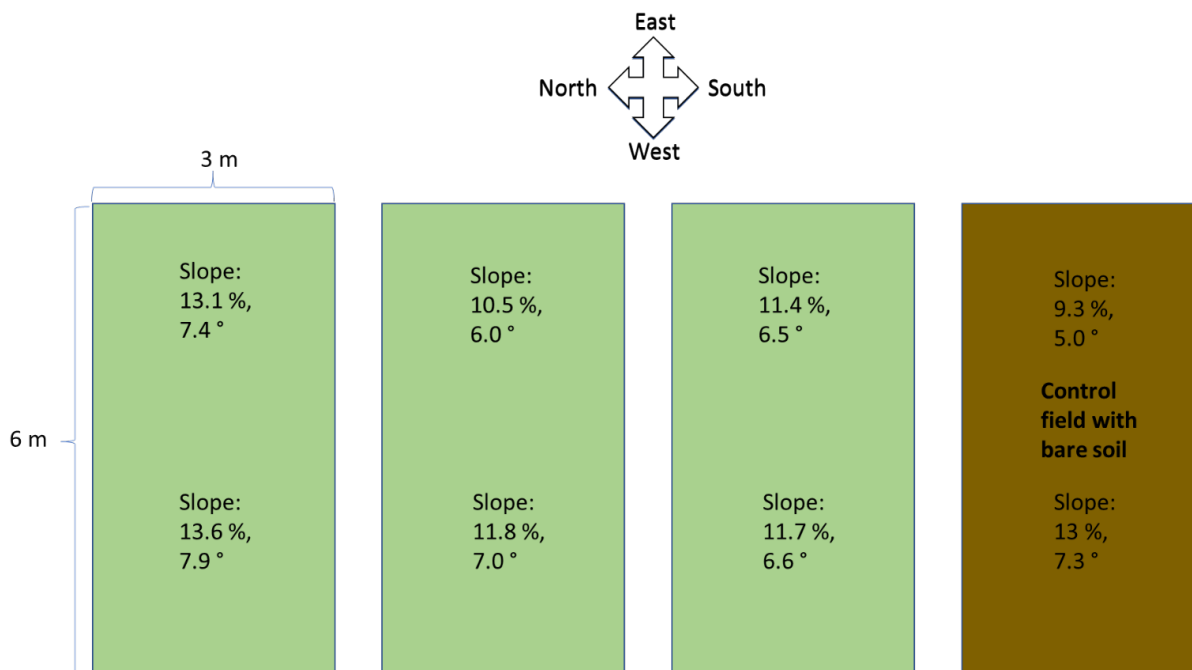
Rute 2: Leire under plogsjiktet ned mot ca. 50 cm dyp.

Rute 3: Mer stein og grus under plogsjiktet og ned mot 50 cm dyp, mindre eller lite leire.

Rute 4: Mer stein og grus under plogsjiktet og ned mot 50 cm dyp, mindre eller lite leire.

Dette indikerer at de to søndre rutene har jordtype EK06 og de to nordre rutene KSi3. Det ble benyttet 4 ruter på 3x6 meter (Figur 2). Rutene ble avgrenset med stålplater ca. 10-15 cm ned i jorda for å redusere lateral/sideveis transport av vann. Den ene ruten ble pløyd og harvet for å få bar jord. Denne ruten skulle fungere som en kontroll. En grøft ble gravd ut nederst på hver rute og det ble lagt ned en renne for å kunne samle opp overflateavrenning fra rutene (Figur 3).

Vegetasjonen i feltet bestod av diverse godt etablert gress, karplanter (kløver) og mose med ca. høyde på 10-15 cm gjennom hele forsøket.



Figur 2: Skjematisk oversikt over forsøksrutene benyttet i forsøket i 2020.



Figur 3: Oppsamlingsrenner nederst i vegetasjonssonene.

2.4.1.1 Tilsetning av vann, plantevernmidler og bromid

På grunn av en lengre periode med tørke forut for forsøket ble forsøksfeltet vannet i to dager før forsøket startet. Mengde vann som ble tilsatt på forhånd eller vanninnholdet i jorda ved forsøkets start ble ikke målt.

Fire plasttanker á 1000 liter ble fylt med springvann og tilsatt plantevernmidler og bromid (Tabell 3). Doseringen var noe lavere enn den normerte arealdosen (NAD) med tanke på at dette forsøket skulle simulere en avrenningsepisode fra et kornfelt og inn i en vegetasjonssone. Det ble plassert en tank ovenfor hver forsøksrute. Væsken ble pumpet inn i rutene ved hjelp av en pumpe (Gardena hagepumper 3500/4, kapasitet

3600 l/h) med en på forhånd bestemt vanningsrate på ca. 3 liter per minutt. Dette er en rate som er definert som en «normal» avrenningsrate i andre lignende forsøk (Krzeminska, 2020). I dette forsøket, med en vegetasjonssone på 18 m², tilsvarte denne raten en nedbørsmengde på 55 mm omregnet til nedbør fordelt på hele arealet. Målet med å bruke en slik vannmengde var å få en skikkelig rotbløyte og dermed generert overflateavrenning. Gardena hageslanger, og slangekoplinger ble benyttet mellom tankene og pumpene. Vanningsraten ble overvåket og justert med flowmetere (Gardena) montert på utløpet fra hver pumpe (Figur 4). Pumpene ble så koplet til 3-meters dyseslanger i overkant av hver rute. På hver av disse slangene var det montert 21 dryppdyser (Kärcher Rain System) med ca. 15 cm mellomrom. Dysene hadde en kapasitet på 0-10 liter/time pr dyse. Disse ble skrudd helt opp for å få maksimal mengde vann ut.

Væsken i tankene ble holdt i sirkulasjon ved hjelp av lensepumper (Biltema lensepumper/ nedsenkbar pumpe DP 252) for å sikre størst mulig grad av homogenitet i løsningen og redusere utfelling.

Tabell 3: Dosering av plantevernmidler og bromid benyttet i forsøket i 2020.

Preparat	Aktivt stoff	Konsentrasjon i tank		Dosering av preparat		Konsentrasjon preparat i tanken (g/L)	Kommentar
Ariane S	Fluroxypyr-meptyl	200	mg/L	100	mL/daa	5.48	50 % av NAD (200 mL/daa)
	Clopyralid	100	mg/L				
	MCPA	1000	mg/L				
Delaro SC 325	Trifloxystrobin	300	mg/L	40	mL/daa	2	40 % av NAD (100 mL/daa)
	Prothioconazole	350	mg/L				
Elatus Plus	Benzovindiflupyr	93.75	mg/L	18.75	mL/daa	0.94	25 % av NAD (75 mL/daa)
Kaliumbromid		10	g/L				Tilsvarende 6.7 g Br/L



Figur 4: Vanntankene ble koplet til en pumpe og videre til dyseslanger som fordelte vannet inn i vegetasjonssonene med en rate på ca. 3 liter/minutt. Slangene som ble benyttet var standard Gardena hageslanger (½", d=13 mm) med koplinger og overganger.

2.4.1.2 Oppsamling av vann

Målsettingen var å samle opp overflateavrenning, dvs. vann som rant ned i oppsamlingsrennene og videre ned i oppsamlingsdunkene. Prøvene ble samlet i 150 mL polykarbonatflasker og senere samme dag fryst ned. Prøvene ble senere analysert for plantevernmidler og bromid som beskrevet i kap. 2.2.

I kontrollruten og rute 2 fikk man noe overflateavrenning (Figur 5), men mesteparten av vannet kom ut lenger ned i jordprofilen, dvs. via åpne makroporer, langs leirsjiktet på 30 cm eller via drensrør. Dette medførte at vannet gikk forbi oppsamlingssystemet og fylte opp grøftene (Figur 6). Dette vanskeliggjorde prøvetakingen og det ble vanskelig å få kontroll på mengdene/volumene ut av rutene. Grøftene måtte lenses med jevne mellomrom og prøver ble tatt direkte fra grøftevannet. Totalt ble det samlet inn 33 prøver fra forsøket. Prøvene ble ikke veid.



Figur 5: Overflateavrenning i kontrollruta. Denne avrenningen infiltrerte etter kort tid.



Figur 6: Det meste av vannet lekket ut via åpne makroporer i jordprofilen, langs leirlaget ved 30 cm eller via drensrørene. Grøftene ble fylt opp av plantevernmidelløsning og måtte lenses fortløpende. Prøver måtte tas direkte fra grøftene.

2.4.2 Feltforsøk 2021

2.4.2.1 Ruter og oppsamlingssystem

Basert på erfaringene fra 2020 ble det gjennomført et nytt feltforsøk med noe mindre forsøksruter. Forsøksrutene med vegetasjonssoner ble redusert til 1x3 meter (Figur 7) for å lettere ha kontroll på avrenningen fra rutene. Videre ble det det gravd ut grøfter ned til ca. 1,5 meter foran og på den ene langsiden av hver rute (Figur 8) for å kunne installere oppsamlingsrør (avløpsrør d: 32 mm) nedover i jordprofilen. Dette ga muligheten for å fange opp det vannet som infiltrerte og fulgte tettere jordlag som en overflatenær avrenning eller vannet som lekket ned mot vanlig drepsdyp (ca. 80 cm her). Ni rør ble installert horisontalt i jordprofilene i hver av de fire rutene.

Hullene til de horisontale rørene ble boret med borhammer og 1.2 meter langt hammerbor (d: 40 mm) De horisontale rørene ble installert på 3 ulike dyp; ca. 30, 60 og 80 cm, 3 rør på hvert dyp. Disse rørene ble plassert med jevne mellomrom i jordprofilenes lengderetning, men samtidig slik at vi unngikk å plassere flere rør direkte over hverandre. Vi antok at det første vannet som kom inn i vegetasjonssonen ville følge overflaten og ikke infiltrere før etter en stund, så vi plasserte det øverste røret på 30 cm dyp ca. en meter fra toppen av vegetasjonssonen. Det neste røret ble plassert en meter lenger ned, mens det siste røret i øverste raden ble plassert ca. 80 cm nedenfor der igjen for å unngå å legge røret for nær kanten av profilen. Rørene lenger ned i profilene ble så plassert i forhold til rørene i øverste rad (Figur 10). Det ble brukt store stålbor (d. 4 cm) for å bore hull til oppsamlingsrørene. Pga. store steiner inne i jordprofilene ble ikke rørene nødvendigvis plassert med eksakt samme avstand mellom hvert rør.

Dette oppsamlingssystemet var i tillegg til rennene i nedkant av rutene som ble installert for å samle opp overflateavrenning på samme vis som i 2020-forsøket.

Pga. løsere jord i to av rutene måtte vi bygge opp en forskaling for å holde jordmassene på plass i tilfelle store nedbørsmengder (Figur 9).

Sensorer for å overvåke vanninnholdet i toppjorda (0-5 cm) ble også installert i rutene.



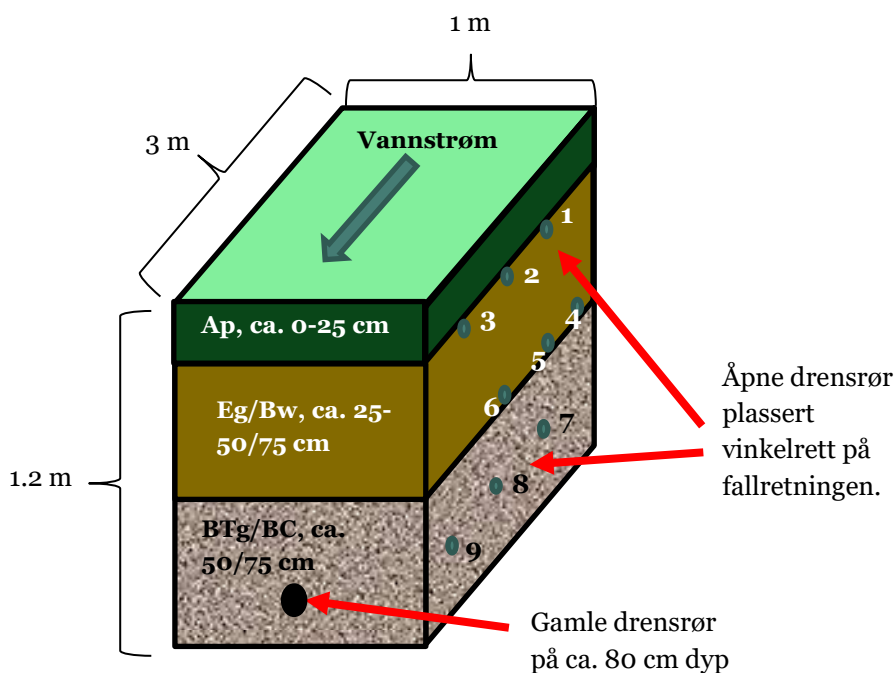
Figur 7: Feltforsøket i 2021 ble gjennomført i mindre ruter (1x3 m) (markert med rødt i bildene) anlagt innenfor yttergrensene av forsøksrutene fra 2020-forsøket.



Figur 8: Venstre: Utgraving av grøfter langs og foran gravemaskin. Høyre: Oppsamlingsrør installert horisontalt inn fra sidene på forsøksrutene for å samle opp vann som infiltrerte ned gjennom jordprofilen.



Figur 9: Forskaling ble bygget for å hindre at veggene i målegroft med mer sandig jord skulle skli ut i tilfelle store nedbørsmengder. Dette ble ikke vurdert nødvendig i grøfta med mer leirholdig jord.



Figur 10: Skisse av vegetasjonssoneprofil og tekniske installasjoner. Oppsamlingsrør (1-9) ble installert horisontalt inn i sidene på rutene for å samle opp vann som infiltrerte jordprofilen. I noen av rutene lå det gamle drensør på ca. 80 cm dyp.

2.4.2.2 Jordprøvetaking for å måle bakgrunnskonsentrasjon av plantevernmidler i jord

Det ble tatt ut jordprøver med jordbor (Eikjeltkamp, d: 2 cm) før forsøket startet for å kartlegge bakgrunnskonsentrasjonen av plantevernmidler fra forsøket utført i 2020. Det ble tatt ut prøver i alle fire ruter og i fire sjikt; 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm og 60-80 cm. Det ble tatt ut 4 stikk i hver rute for hvert sjikt, som ble slått sammen til samleprøver. Jordprøvene ble ikke tatt ut i den delen av ruta som skulle brukes i feltforsøket dette året, men innenfor yttergrensene av forsøksruta fra 2020 (Figur 7). Det ble også tatt ut jordprøver fra jordhauger (jord fra de oppgravde grøftene) like ved til bruk i metodeutvikling og som kontrollprøver (nullprøver) på laboratoriet.

2.4.2.3 Tilsetning av vann, plantevernmidler og bromid

Tilsetning av vann, plantevernmidler og bromid ble gjennomført med samme utstyr og oppsett som i 2020 (se avsnitt 2.4.1.1). Vi benyttet også de samme konsentrasjonene for plantevernmidlene, men pga. utfordringer med å få tak i nok bromid og lange leveringstider, måtte vi benytte en lavere konsentrasjon enn året før (Tabell 4). Med tanke på den høye dosen av bromid benyttet året før og de høye konsentrasjonene målt i avrenningen, ble det antatt at en redusert dosering fortsatt ville gi store nok mengder å måle på.

Tabell 4: Dosering av plantevernmidler og bromid benyttet i forsøket i 2021.

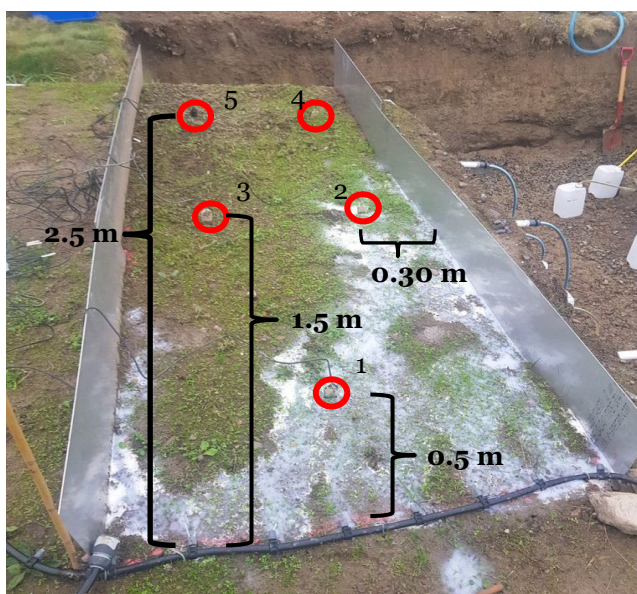
Preparat	Aktivt stoff	Konsentrasjon i tank		Dosering av preparat		Konsentrasjon preparat i tanken (g/L)	Kommentar
Ariane S	Fluroxypyr-meptyl	200	mg/L	100	mL/daa	5.48	50 % av NAD (200 mL/daa)
	Clopyralid	100	mg/L				
	MCPA	1000	mg/L				
Delaro SC 325	Trifloxystrobin	300	mg/L	40	mL/daa	2	40 % av NAD (100 mL/daa)
	Prothioconazole	350	mg/L				
Elatus Plus	Benzovindiflupyr	93.75	mg/L	18.75	mL/daa	0.94	25 % av NAD (75 mL/daa)
Kaliumbromid		4.25	g/L				Tilsvarende 2.85 g Br /L

2.4.2.4 Måling av vanninnhold i toppjord

Vanninnholdet i toppjorda (0-5 cm) ble målt hvert 5. minutt i hver rute gjennom hele forsøket vha. fem sensorer og en datalogger (Em50 Decagon Data Logger, Figur 11) med programvaren ECHO20 (METER Group, Inc. USA). En sensor ble plassert midtstilt og 0,5 m inn i ruta, mens de øvrige sensorene ble plassert i par ca. 30 cm fra kanten hhv 1,5 og 2,5 m inn i ruta målt (Figur 12).



Figur 11: Em50 Decagon Data Logger for logging av vanninnhold i toppjorda (0-5 cm).



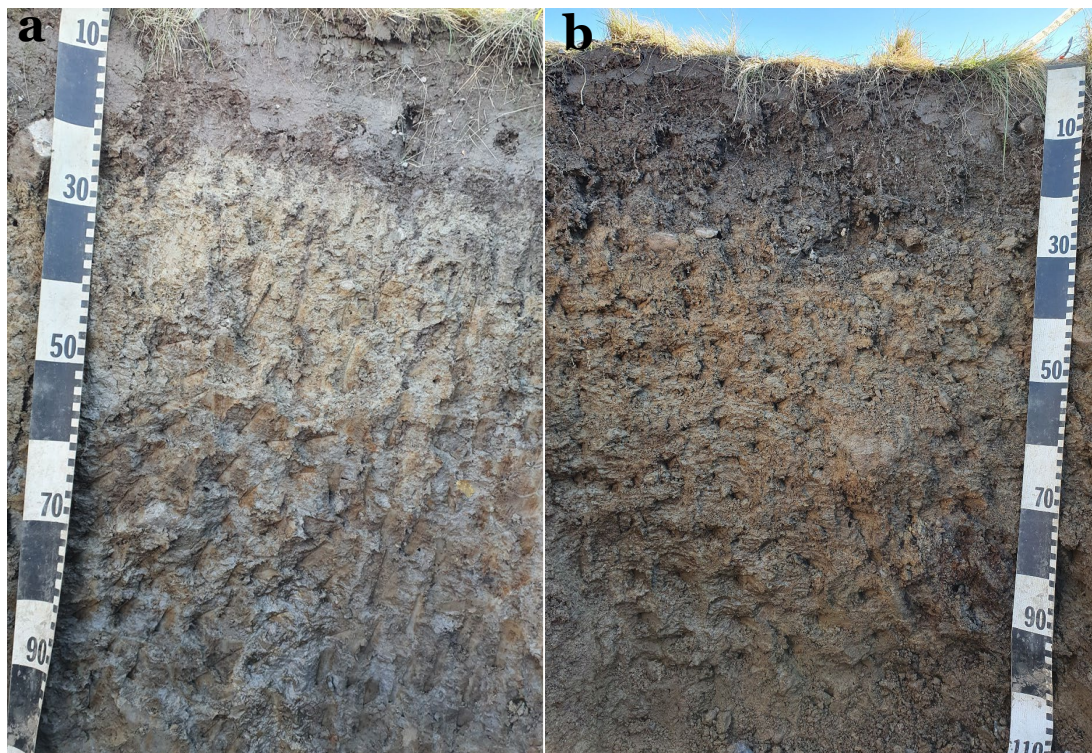
Figur 12: Plassering av sensorer for måling av vanninnhold i toppjord. Avbildet er rute 1; kontrollrute med tilnærmet bar jord.

2.4.2.5 Oppsamling av vann

Vann, tilsatt plantevernmidler og bromid, ble tilført i overkant av de fire forsøksrutene (ca. 1000 L per rute). I alle rutene ble både overflateavrenning samt avrenning under overflaten og ned gjennom hele jordprofilen forsøkt fanget opp gjennom drenerør på ulike dyp (tre drenerør per dyp på hhv. 30, 60 og 80 cm), som beskrevet i avsnitt 2.4.2.1. Det ble også samlet inn vann fra makroporer utenfor de innsatte rørene da man så at vann fulgte disse ut av profilet. Vannprøvene ble samlet opp i 5 og 10 L plastdunker som ble veid for å ha kontroll på hvor mye vann som ble samlet opp. En representativ prøve fra hver dunk ble overført til 150-mL polykarbonatflasker/plastflasker og fryst ned (-20°C) senere samme dag. Det ble også tatt ut prøve til bromidanalyser i et 50-mL-plastrør. Prøvene ble analysert for plantevernmidler og bromid i henhold til prosedyrer beskrevet i kapittel 2.2.

2.4.2.6 Jordkarakterisering

Tidligere jordkarakterisering i området har vært basert kun på stikkprøvetaking, og det derfor gjennomført en detaljert jordkarakterisering av de åpne jordprofilene (Figur 13). Dette ble utført av Line Tau Strand v/ NMBU (Vedlegg 6.4).



Figur 13: Utgravd og karakterisert jordprofil i rute 1 og 2 (a) og rute 3 og 4 (b).

Profil 1

Profil 1 beskriver rute 1 og 2. Jorda ble klassifisert som Umbric Epistagnic Albeluvisol (siltic) etter WRB (2006). Opprinnelig materiale er marine avsetninger med noen større steiner og moreneavsetninger som påvirker toppjorden. Jorden har utilstrekkelig til moderat god drenering og viser noen stagniske egenskaper. Et drensør i rute 1 ligger på dybde 70 cm. Jorden har et lavt innhold av organisk materiale og silt er dominerende (44–61 %) (Tabell 5). Hellingen på feltet er 2-5 % (vest/sørvest). Detaljert informasjon om pH, kationbyttekapasitet, næringsstoffer og jordtekstur vises i tabell 5 og 6.

Tabell 5: Jordkarakterisering profil 1 – representerer rute 1 og 2. Informasjon om pH, kationbyttekapasitet, næringsstoffer m.m.

Sjikt	Dybde cm	pH (H ₂ O) 1:2.5	cmol(+) kg ⁻¹						
			H ⁺	Ca ²⁺ *	Mg ²⁺ *	Na ⁺	Ka ⁺	CEC	BS%
Ap	0-20	5.75	7.5	7.1	1.1	0.071	0.35	16.1	53
A/E	20-30	6.26	6.7	6.7	0.7	0.063	0.14	14.3	53
Eg	30-40	6.18	7.3	7.6	0.77	0.063	0.11	15.8	54
Btg1	40-65	6.82	6.7	8.4	0.98	0.11	0.17	16.4	59
Btg2	65-95	7.17	6.5	10.0	1.5	0.082	0.17	18.3	64
CB	95-110+	7.31	6.0	9.7	1.4	0.094	0.15	17.4	65

(*syre- og basekationer for kationbytte med 1 M ammoniumacetat ved pH 7)

Tabell 6: Jordkarakterisering profil 1 – representerer rute 1 og 2. Informasjon om jordtekstur.

Sjikt	Dybde (cm)	Org.C %	Org.N %	Fe _{ox} * %	Al _{ox} * %	Leire %	Silt %	Sand %
Ap	0-20	2.50	0.20	0.5	0.18	16.7	44.7	38.6
A/E	20-30	0.75	0.08	0.42	0.12	16.5	61.3	22.2
Eg	30-40	0.36	0.06	0.43	0.11	21.3	57.0	21.7
Btg1	40-65	0.18	0.05	0.42	0.09	21.0	44.4	34.6
Btg2	65-95	0.19	0.05	0.37	0.095	26.7	51.3	22.0
CB	95-110+	0.21	0.05	0.33	0.075	25.6	59.1	15.3

(* Fe and Al ekstrahert med syre oksalat)

Profil 2

Profil 2 beskriver rute 3 og 4. Jorda ble klassifisert som Haplic Cambisol (Dystric) etter WRB (2006). Opprinnelig materiale er fra marine avsetninger med noen større steiner og moreneavsetninger som påvirker toppjorden. Jorden har utilstrekkelig til moderat god drenering og viser noen stagniske egenskaper. Jorden har et lavt innhold av organisk materiale og sand er dominerende (48–67 %). Hellingen på feltet er 2-5 % (vest/sørvest). Detaljert informasjon om pH, kationbyttekapasitet, næringsstoffer og jordtekstur vises i tabell 7 og 8.

Tabell 7: Jordkarakterisering profil 2 – representerer rute 3 og 4. Informasjon om pH, kationbyttekapasitet, næringsstoffer m.m.

Horizon	Depth cm	pH (H ₂ O) 1:2.5	cmol (+) kg ⁻¹						
			H ⁺	Ca ²⁺ *	Mg ²⁺ *	Na ⁺	K ⁺	CEC	BS%
Ap	0-25	5.42	12.0	5.9	0.91	0.067	0.35	19.2	38
Bw1	25-55	6.12	7.7	5.9	0.7	0.067	0.11	14.5	47
Bw2	55-90	5.69	6.5	5.9	0.62	0.045	0.088	13.2	51
BC	90-110	6.09	6.2	4.6	0.5	0.049	<0.062	11.4	45

(*syre- og basekationer for kationbytte med 1 M ammoniumacetat ved pH 7)

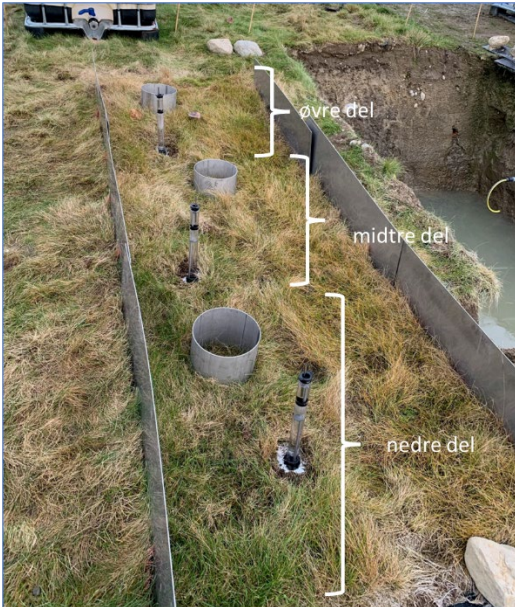
Tabell 8: Jordkarakterisering profil 2 – representerer rute 3 og 4. Informasjon om jordtekstur.

Horizon	Depth (cm)	Org.C %	Org.N %	Fe _{ox} * %	Al _{ox} * %	Clay %	Silt %	Sand %	Coarse Fraction**
Ap	0-25	2.50	0.19	0.55	0.17	11.2	41	47.9	
Bw1	25-55	0.34	0.05	0.45	0.075	8.5	28.1	63.4	
Bw2	55-90	0.19	0.05	0.48	0.075	7.8	29.8	62.3	
BC	90-110	0.07	0.03	0.18	0.043	5.8	27.1	67.1	

(* Fe and Al ekstrahert med syre oksalat)

2.4.2.7 Infiltrasjonsforsøk

Infiltrasjonstester gir informasjon om hvor fort vann vil infiltrere i jorda. Vi målte infiltrasjon med to ulike metoder: Beerkan infiltrasjonstest (Lassabatère et al., 2006) som indikator for «total infiltrasjon» (dvs. infiltrasjon gjennom både jordmetrikk og makroporestuktur) og «mini disk infiltrrometer» (Meter Group, 2023) som indikator for infiltrasjon dominert av jordmetrikk. I hver rute gjennomførte vi tre Beerkan infiltrasjonstester og tre «mini disk infiltrrometer» tester, for å beskrive tilstanden i henholdsvis nedre del, midtre del og øvre del av rutene (Figur 14).



Figur 14: Lokalisering av infiltrasjonsmålinger innen rutene.

I Beerkan infiltrasjonstesten, brukte vi en infiltrasjonsring med diameter på 20 cm som ble slått ned i jorda (Figur 15 a), til det ble tett rundt hele ringen. Deretter tok vi tiden på hvor fort en bestemt mengde vann, som kontinuerlig ble tilført jorda inne i ringen, rant unna. For mer informasjon se: <https://www.youtube.com/watch?v=vDrpUBuwvWY>. For målingen av jordmetrikk dominerte infiltrasjon ble infiltrometere plassert ved siden av infiltrasjonsringene (Figur 15 b). Etter påfylling av infiltrometrenes reservoar, satte vi suget til -1 cm og lot målingene gå til infiltrasjonshastigheten ble stabil over tid.



Figur 15: Infiltrasjonsforsøk: (a) Beerkan infiltrasjonstest; (b) «tension disk» infiltrometer.

Infiltrasjonsforsøket viser at gjennomsnittlig infiltrasjonsrate (cm/dag) med Beekan infiltrasjonstest (total infiltrasjon) var raskest på rute 4, etterfulgt av rute 3, rute 1 og rute 2 (Tabell 9).

Resultater fra mini disk infiltrasjonstesten viste at rute 3 hadde høyest gjennomsnittlig infiltrasjonsrate, etterfulgt av rute 4, rute 1 og rute 2 (Tabell 10).

Rute 3 og 4 hadde en høyere infiltrasjonsrate enn rute 1 og 2. Hvilken rute som hadde høyest infiltrasjonsrate var avhengig om målingene tok hensyn til makroporene (Tabell 9; rute 4) eller ikke (Tabell 10; rute 3). Rute 2 hadde lavest infiltrasjonsrate med begge metodene.

Disse analysene indikerer at makroporene har veldig mye å si i alle disse rutene. Infiltrasjonsraten går ned med ca. 98 % i rute 1, 2 og 4 og 91 % i rute 3, når man ser bort fra makroporetransporten under infiltrasjonen.

Tabell 9: Resultater fra Beekan infiltrasjonstest (total infiltrasjon) i de fire rutene.

BeeKan infiltrasjonstest (med makroporer)				
cm/d	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Bunn (-1)	829	539	1090	3488
Midten (-2)	323	285	1047	1331
Topp (-3)	510	255	294	298
Gj. snitt	554	360	810	1705

Tabell 10: Resultater fra mini disk infiltrasjonsforsøk i de fire rutene.

Mini disk infiltrasjonsforsøk (uten makroporer)				
cm/d	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
Bunn (-1)	4.4	6.6	118.2	57.6
Midten (-2)	7.4	4.3	86.3	48.6
Topp (-3)	18.7	6.7	22.0	7.4
Gj. snitt	10.2	5.9	75.5	37.9

2.4.3 Feltforsøk 2022

Utgraving på to sider av forsøksrutene slik det ble gjort i feltforsøket i 2021 kan ha skapt et sug i jordprofilen som har endret transportmønsteret for vann sammenliknet med en uforstyrret vegetasjonssone (Rafael Munoz-Carpena UF USA, pers. med. 2022). For å redusere denne effekten på vanntransporten, ble forsøket gjentatt med åpne jordprofil kun i nedkant av rutene. Forsøksfeltet fra 2020 og 2021 raste delvis sammen vinteren 2021-2022 og kunne ikke benyttes i forsøkene i 2022. De fire forsøksrutene på 1x3 meter ble derfor flyttet litt lenger ned i samme bakken. Rutene ble avgrenset med stålplater ca. 10-15 cm ned i jorda for å redusere sideveis transport av vannet. Det ble gravd en grøft i framkant av alle rutene og montert opp en renne for lettere å samle inn overflateavrenning (Figur 16). På denne måten ville det også bli lettere å ta prøver av vann fra eventuelle eksisterende dreneringer og åpne makroporer. Vegetasjonen i alle rutene bestod av godt etablert gress med høyde ca. 10-15 cm.

Jordsmonnet i denne delen av bakken var ble klassifisert som stagnosol slik som tidligere forsøksruter, men hadde muligens noe lavere innhold av organisk karbon (<https://kilden.nibio.no>). Detaljer om jordsmonnet er beskrevet i kap. 2.4.1.



Figur 16: Småruteforsøk med plantevernmidler i 2022.

2.4.3.1 Tilsetting av vann, plantevernmidler og partikler

Tilsetting av vann, plantevernmidler og bromid ble gjennomført med samme utstyr og oppsett som tidligere år (se avsnitt 2.4.1.1). Doseringen av plantevernmiddelpreparatene ble halvert ift. tidligere forsøk (Tabell 11). Vann tilsatt plantevernmidler ble tilført i overkant av de fire rutene (ca. 1000 liter per rute).

Det ble laget fire kanner med en slurry av jordpartikler som ble tilsatt 1000-liters tankene. I hver kanne var det 2000 g med jord, slik at det i hver tank skulle bli 2 g jordpartikler/L. Partikkelblandingen ble mikset sammen ved hjelp av en elektrisk håndmikser og deretter vasket gjennom en 2 mm sikt. Det som ble liggende igjen i sikten ble samlet opp, tørket og veid og tilbakeført til partikkelblandingen. Blandingene ble ristet opp hver dag fram til forsøksstart. En kanne med slurry ble tilsatt til hver tank.

Tabell 11: Dosering av plantevernmidler benyttet i forsøket i 2022.

Preparat	Aktivt stoff	Konsentrasjon i tank		Dosering av preparat		Konsentrasjon preparat i tank (g/L)	Kommentar
Ariane S	Fluroxypyr-meptyl	144	mg/L	50	mL/daa	2.74	25 % av NAD (200 mL/daa)
	Clopyralid	50	mg/L				
	MCPA	500	mg/L				
Delaro SC 325	Trifloxystrobin	150	mg/L	20	mL/daa	1	20 % av NAD (100 mL/daa)
	Prothioconazole	175	mg/L				
Elatus Plus	Benzovindiflupyr	46.88	mg/L	9.375	mL/daa	0.47	12.5 % av NAD (75 mL/daa)

2.4.3.2 Oppsamling av vann

Vannprøver ble samlet opp i 5-10 liters plastdunker som ble veid for å ha kontroll på hvor mye vann som ble samlet opp. En representativ prøve fra hver dunk ble overført til 50 mL plastrør som ble fryst ned(-20°C) samme dag. Prøvene ble senere analysert for plantevernmidler som beskrevet i kapittel 2.2.1. Til sammen ble det samlet inn ca. 60 prøver fra de fire rutene.

Det ble også samlet inn prøver i 1 liters plastkanner for analyse av partikler. Analysene ble gjennomført på NMBU og metode og resultater presenteres i prosjektet TOTBUFFER (Prosjektnummer 163335, Klima- og miljøprogrammet, Landbruksdirektoratet).

2.4.3.3 Måling av vanninnhold i toppjord

Som i 2021 ble vanninnholdet i toppjorda (0-5 cm) målt hvert 15. minutt i hver rute (Figur 17) gjennom hele forsøket vha. tre sensorer og en datalogger (Em50 Decagon Data Logger, Figur 11) med programvaren ECHO20 (METER Group, Inc. USA). Alle sensorene ble plassert på samme måte som i forsøket i 2021 (Kap. 2.4.2.4, Figur 12).



Figur 17. Ut plassering av sensorer for måling av vanninnhold i en av forsøksrutene i 2022.

3 Resultater

3.1 Sorpsjonsforsøk

Sorpsjonskoeffisienter, Kd og Koc, ble beregnet for alle plantevernmidlene som ble tilsatt i vegetasjonssonene for å kunne vurdere i hvor stor grad binding til jordpartikler kunne forklare de funnene som ble gjort i avrenningsvann fra vegetasjonssonene/forsøksrutene. Sorpsjonskoeffisienten indikerer forholdet mellom mengden av et plantevernmiddel som er bundet til partikler og mengden som er løst i vannfasen. Innholdet av organisk materiale i jorda kan ha betydning for sorpsjonen, noe som kan gi stor variasjon i sorpsjonskoeffisientene avhengig av jordtype. Dette tas ikke hensyn til i beregningen av sorpsjonskoeffisienten Kd, så det er ofte hensiktsmessig å regne om til koeffisienten Koc som da tar hensyn til innholdet av organisk karbon ($Koc = Kd * 100 / \% \text{ org. C}$). Kd beregnes ut fra en lineær kurvetilpasning, mens Kf baseres på en logtransformasjon av det samme datasettet. Kf gir ofte en bedre kurvetilpasning, dvs. høyere r^2 . Sammenlignet med resultatene oppgitt i Pesticide Properties Database (Lewis et al., 2016), ligger verdiene generelt høyere, eller evt. i den høyere enden av variasjonsbredden, i disse norske jordtypene (Tabell 12). Dette kan både skyldes høyere andel av leire og organisk materiale sammenlignet med jordtypene testet for godkjeningsvurderingene i EU.

Prøvene ble analysert for fluroxypyr, en metabolitt av det virksomme stoffet fluroxypyr-meptyl. På grunn av kort tid mellom tilførsel og prøvetaking forekom imidlertid det meste av stoffet trolig som fluroxypyr-meptyl, dvs i uspaltet form i disse prøvene.

Tabell 12: Sorpsjonskoeffisienter for de studerte plantevernmidlene beregnet ut fra laboratorieforsøk og fra Pesticide Properties Database (PPDB) (Lewis et al., 2016).

Stoff	Beregnet fra laboratorieforsøk (jord fra Åsbakken)		Verdier fra PPDB (jord fra EU-studier)	
	Kd (mL/g)	Koc (mL/g)	Kf (mL/g)	Kfoc (mL/g)
Clopyralid	4,2	135	0,03-0,15	3,4-7,3
MCPA	13,7	174	0,05-1,99	38-157
Fluroxypyr	n,a*	n,a*	0,11-1,9	51-81
Trifloxystrobin	149,8	4839	11,2-325	1642-3745
Benzovindiflupyr	236	7613	31,6-93,3	3172-4507
Prothioconazole-desthio	9,4	303	4,1-13,4	523-625

* I analysen ble det analysert for fluroksypyr, mens det i forsøket ble brukt fluroksypyr-meptyl. Riktig stoff ble derfor ikke gjenfunnet i analysen.

3.2 Feltforsøk 2020

Det var lite overflateavrenning i dette forsøket. Det gikk tre timer fra start av forsøket før det var mulig å starte oppsamling av overflateavrenningen i rute 1 og to timer i rute 2. Det var ingen overflateavrenning fra rute 3 eller 4 i løpet av forsøket.

Innsamling av utlekking, dvs. vann som rant under overflaten og gjennom makroporer, kunne starte ca. en time etter oppstart i både rute 1 og rute 2. Dette var mye raskere enn for overflateavrenningen. Det var kun minimal utlekking fra rute 3 eller 4 i løpet av hele forsøkets varighet

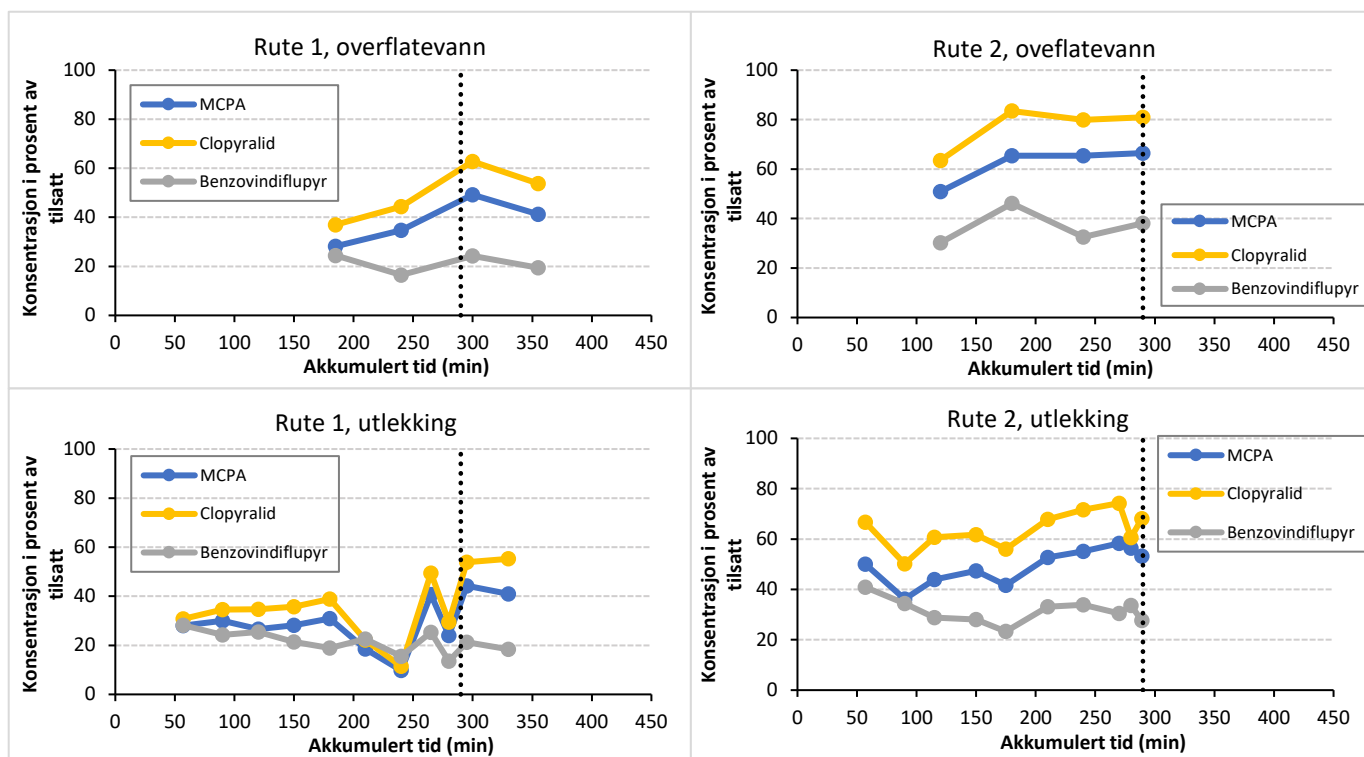
3.2.1 Plantevernmidler

I dette kapittelet presenteres kun et utvalg av resultatene for de to mobile stoffene MCPA og clopyralid samt stoffet benzovindiflupyr som bindes en del sterkere i jord (Tabell 12). Det var også disse stoffene som var lettest å analysere og som ga de resultatene som var lettest å tolke. Disse stoffene representerer også en bredde i egenskaper, spesielt med tanke på mobilitet, der MCPA og clopyralid er mer mobile, mens benzovindiflupyr bindes sterkere til jordpartikler (Tabell 12). Totalt ble det samlet inn 33 prøver fra forsøket, som alle ble tatt direkte fra grøftene under det installerte oppsamlingssystemet for overflateavrenning.

Det ble ikke gjort forsøk på å få samlet opp hele det utlekkede volumet, så en beregning av mengde tapt plantevernmidler var ikke mulig. Konsentrasjonene målt i de oppsamlede prøvene ble derfor sammenlignet med konsentrasjonen i det tilsatte vannet. Utviklingen av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) over tid for MCPA og clopyralid i overflateavrenning i rute 1 og 2 var relativt lik. Den målte konsentrasjonen i prosent av tilsatt ved start var 28 % og 37 % for hhv. MCPA og clopyralid i rute 1 og 51 % og 64 % i rute 2. Etter en økning av konsentrasjonene ble høyeste konsentrasjon oppnådd etter ca. 5 timer (24 %, 63 %) i rute 1 og etter 3 timer (46 %, 83 %) i rute 2 før konsentrasjonen stabiliserer seg eller går litt ned. Den målte konsentrasjonen ift. tilsatt av benzovindiflupyr fulgte i stor grad samme mønster i de to rutene som de to mobile stoffene om enn med en litt mindre tydelig konsentrasjonstopp. Høyest konsentrasjon ble målt i samme prøve for alle de tre stoffene.

Utviklingen av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) i utlekking over tid for MCPA, clopyralid og benzovindiflupyr viste noe høyere konsentrasjoner i rute 2 sammenlignet med rute 1. Innenfor hver rute var mønsteret relativt likt for alle stoffene, der utviklingen over tid var svakt økende for konsentrasjonen av MCPA og clopyralid og synkende for benzovindiflupyr i begge rutene (Figur 18). Med kun minimal utlekking fra rute 3 eller 4 i løpet av hele forsøkets varighet, ga det ikke nok prøvevolum til å analysere for plantevernmidler.

Resultatene viser at den målte konsentrasjonen i prosent av tilsatt var høyest for clopyralid, etterfulgt av MCPA og benzovindiflupyr som hadde den laveste målte konsentrasjonene i prosent av tilsatt for både grøfte- og overflateavrenning (Figur 18). Forskjellen var størst for overflateavrenning i rute 2.

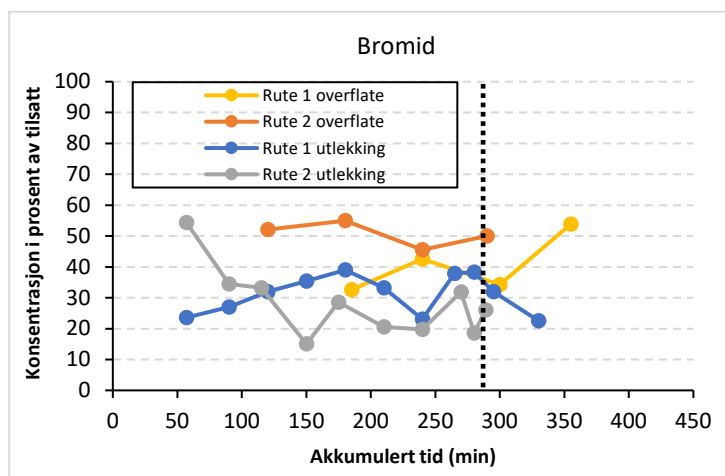


Figur 18: Utvikling av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) i overflateavrenning (øverst) og utlekking (nederst) over tid for tre utvalgte plantevernmidler for rute 1 og 2. Stiplet linje markerer tidspunkt for når tankene var tømte og tilførselen av vann sluttet, ca. 290 minutter etter at tilførselen startet.

3.2.2 Bromid

Bromidkonsentrasjonene målt i overflateavrenning var høyere sammenlignet med utlekking (Figur 19). Det var mest tydelig for resultatene fra rute 2 der det er en stor forskjell i konsentrasjonen mellom utlekking og overflateavrenning. De målte konsentrasjonene i overflateavrenningen var 45-55 % av tilsatt konsentrasjon, mens de målte konsentrasjonene i utlekking var 18-35 % av tilsatt konsentrasjon. For rute 1 var forskjellen

mindre. De målte konsentrasjonene i overflateavrenning var 32–54 % av tilsatt mengde og i utlekking var de målte konsentrasjonene 22–39 % av tilsatt konsentrasjon.



Figur 19: Utvikling av den målte konsentrasjonen av bromid (i prosent av tilsatt konsentrasjon) over tid for rute 1 og 2. Stiplet linje markerer tidspunkt for når tankene var tømte og tilførselen av vann sluttet, ca. 290 minutter etter at tilførselen startet.

3.3 Feltforsøk 2021

3.3.1 Bakgrunnskonsentrasjoner av plantevernmidler

Jordprøver fra forsøksfeltet ble analysert for plantevernmidlene som ble brukt i 2020 for å kartlegge evt. bakgrunnskonsentrasjoner før oppstart av forsøket i 2021. Figur 20 viser konsentrasjoner av de ulike plantevernmidlene i ulike sjikt i hver rute.

MCPA ble målt i jordprøvene i et konsentrasjonsområde mellom 25–150 µg/kg i de to øverste sjiktene (0–20 cm og 20–40 cm). I dypere sjikt (40–60 cm og 60–80 cm) var konsentrasjon av MCPA under 25 µg/kg (Figur 20). Høyest konsentrasjon ble påvist i rute 1. For rute 2 og rute 3 var konsentrasjonen av MCPA høyest i sjikt 0–20 cm, mens den var høyest i sjikt 20–40 cm i rute 1 og 4.

Benzovindiflupyr ble målt i veldig høye konsentrasjoner, spesielt i toppsjiktet (0–20 cm). Der var konsentrasjonene i tre av rutene > 2000 µg/kg TS (tørrestoff). For rutene 1–3 synker konsentrasjonen nedover i jordprofilen. I rute 4 ble høyest konsentrasjon av benzovindiflupyr målt i sjikt 20–40 cm.

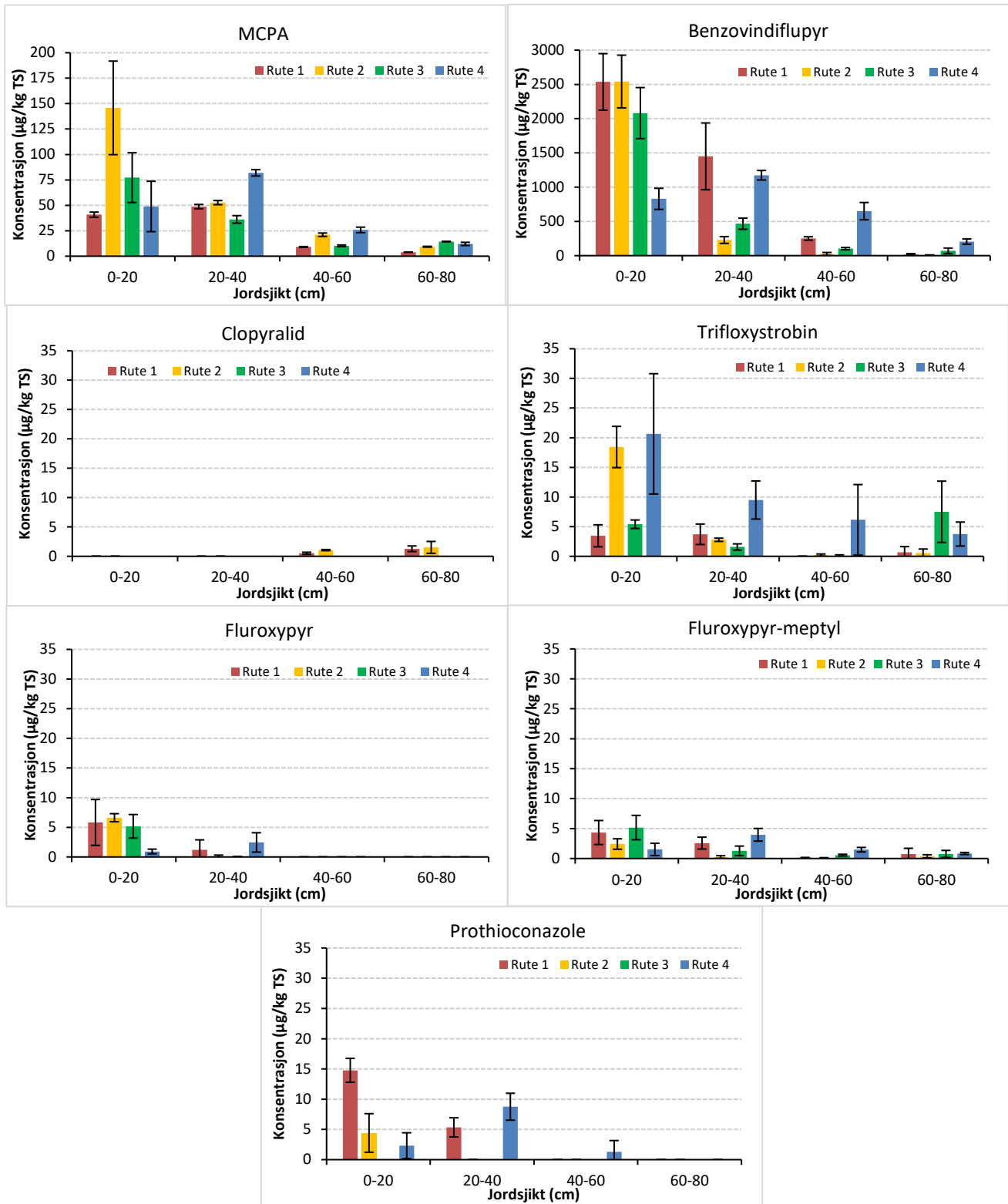
Clopyralid ble kun påvist i de dypere sjiktene (40–80 cm) og da kun i rute 1 og 2 og i lave konsentrasjoner (< 5 µg/kg TS).

De høyeste konsentrasjonene (ca. 20 µg/kg TS) av trifloxystrobin ble funnet i øvre sjikt (0–20 cm) i rute 2 og 4. I rute 4 var det også konsentrasjoner > 5 µg/kg TS i sjiktene 2–40 og 40–60 cm.

Fluroxypyr ble kun påvist mellom 0–40 cm. Konsentrasjonene var høyest i toppsjiktet (0–20 cm) for rute 1, 2, og 3 og lå på ca. 5 µg/kg TS. Fluroxypyr-meptyl, som er en metabolitt av fluroxypyr, ble påvist i alle sjiktene. Fluroxypyr-meptyl ble i hovedsak påvist i konsentrasjoner mindre enn 5 µg/kg TS.

Prothioconazole ble ikke påvist i rute 4 og kun funnet i toppsjiktet i rute 2. Høyest konsentrasjon ble påvist i øverste sjikt i rute 1, ca. 15 µg/kg TS.

For de fleste rutene ble de høyeste konsentrasjonene påvist i øvre sjikt (0–20 cm). Deretter sank konsentrasjonene med jorddyb og lavest konsentrasjon ble påvist i sjiktet 60–80 cm. Rute 4 var ofte unntak med høyest konsentrasjon påvist i sjikt 20–40 cm og deretter minkende konsentrasjoner i de etterfølgende sjiktene.

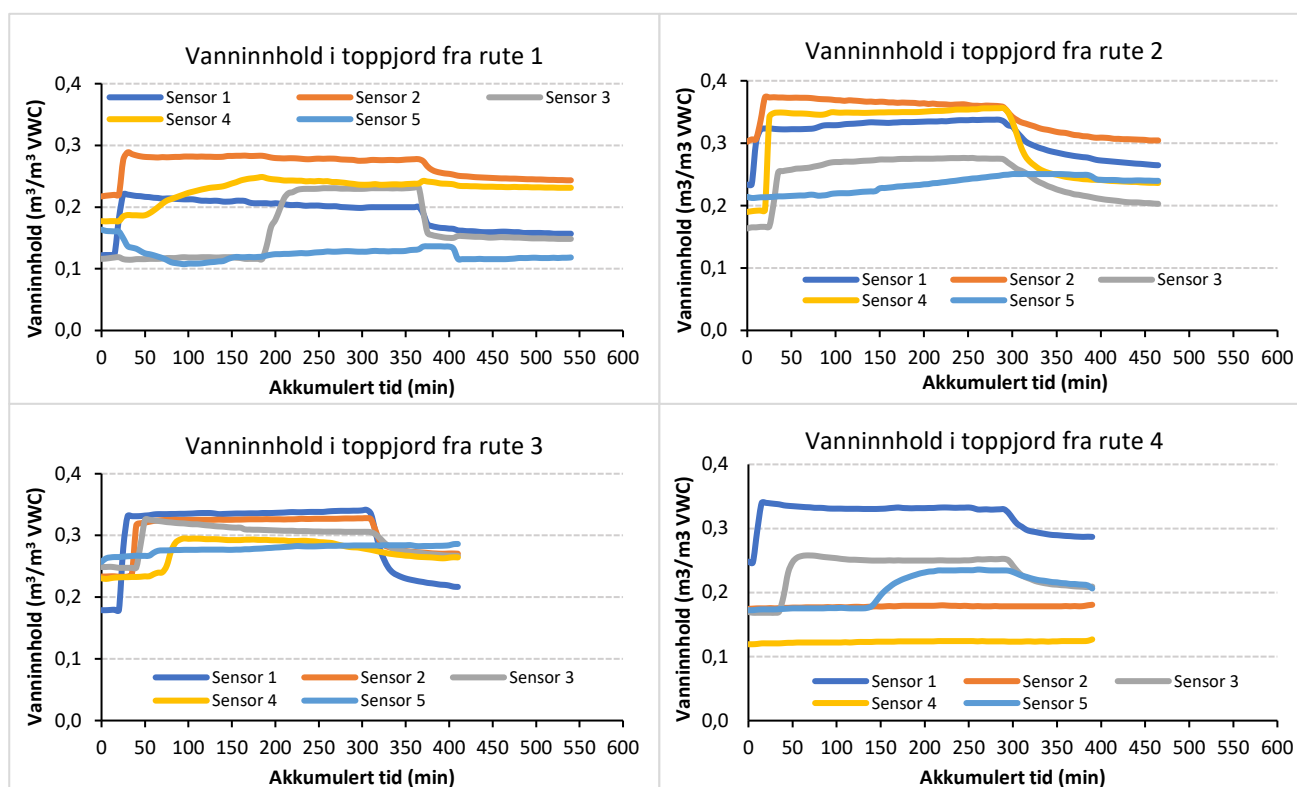


Figur 20: Bakgrunnskonsentrasjon av plantevernmidler i jord før oppstart av feltforsøk i 2021. TS=tørrstoff. Merk ulik skala på y-aksen for de to øverste figurene sammenlignet med de fire nederste figurene.

3.3.2 Vanninnhold i toppjorda

Resultatene av vannmålinger i de øverste 5 cm av jorda i rutene viste at sensor 1, som var plassert øverst i rutene, plukket opp en økning i jordfuktigheten kort tid etter at vanningen av rutene startet (Figur 21; se Figur 12 for plassering av alle sensorer). I rute 1, som var uten vegetasjon, ble det registrert en økning i

jordfuktigheten nærmest umiddelbart etter at vanningen startet. For de andre rutene, som hadde tett vegetasjon, var det en forsinkelse på 5-10 minutter før sensor 1 registrerte en økning. I alle rutene registrerte sensor 2 og 3, plassert i samme avstand fra overkant av ruta, økning i jordfuktighet noe senere enn sensor 1. I noen tilfeller var det noe avvik mellom registreringene av de sensorene som var satt ut i samme avstand fra overkant av ruta (sensor 2 og 3, og sensor 4 og 5). Dette kan skyldes at rutene hadde en svak helling slik at vannet nådde den ene sensoren før den andre. Dette ser man f.eks. i rute 1 og delvis i rute 2. I noen perioder registrerte ikke sensorene økning i jordfuktighet og sensor 5 var konsekvent den sensoren i alle rutene som registrerte minst økning i jordfuktighet.



Figur 21: Volumetrisk vanninnhold målt over tid i toppjord (0-5 cm) vha. fem sensorer i hver av forsøks rutene. VWC = Volumetric Water Content.

3.3.3 Plantevernmidler i overflateavrenning og utlekking

Totalt volum overflateavrenning og utlekkingsvann samlet inn fra de fire rutene tilsvarte ca. 1430 liter, noe som utgjorde ca. 41 % av mengde vann tilsatt øverst i rutene. Overflateavrenning utgjorde kun 0.01% (47.6 L) av tilsatt mengde vann og 0.033 % av den oppsamlede mengden vann. Totalt ble det samlet inn 332 vannprøver.

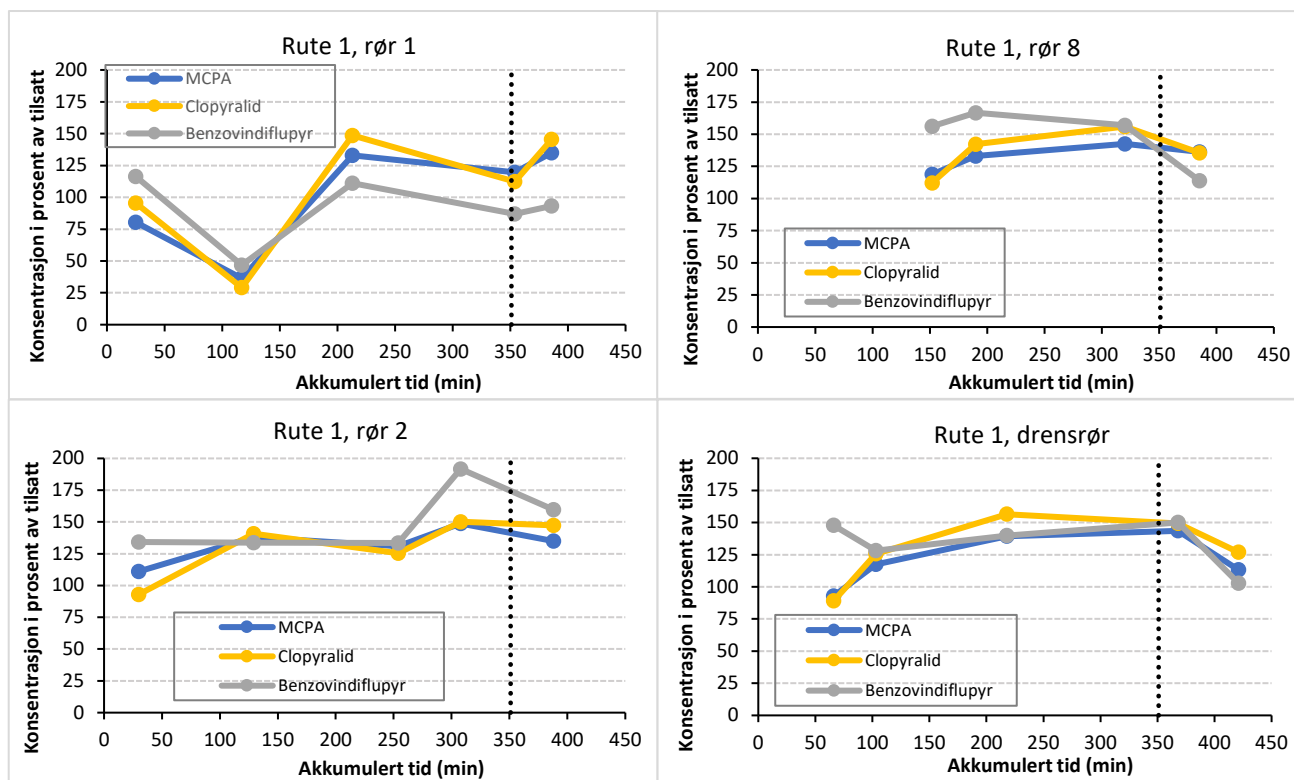
3.3.3.1 Rute 1

Overflateavrenning ble ikke observert i rute 1. Alt vannet infiltrerte, og de første prøvene ble samlet opp fra rør 1 og rør 2 som lå i øverste sjikt (på ca. 30 cm dybde) etter 25 minutter. Målte konsentrasjoner i rør 1 viste til dels stor variasjon over tid (Figur 22). Konsentrasjonen i første prøve (25 min. etter start av forsøket) var rundt 100 % av tilsatt konsentrasjon mens konsentrasjonen var 30 – 50 % av tilsatt etter 117 min., før den økte igjen opp til 150 % av tilsatt konsentrasjon. Årsakene til dette diskuteres senere i rapporten. Det var noe mindre variasjon i målt konsentrasjon over tid i rør 2. Det var ikke nok væsketransport for prøvetaking verken fra rør installert på rundt 60 cm dybde eller rør ved 80 cm dybde. Det ble imidlertid tatt ut prøve ved oppsamling av vann fra en makropore ved siden av rør 8 (80 cm). I tillegg var det et gammelt drenerør på ca. 80 cm dybde som det også ble tatt prøver fra.

Utlekkings- og prøvetakingsperioden var noe ulike for de ulike prøvetakingspunktene (oppsamlingsrørene) med start av prøvetaking i rør 1 og 2 ca. 40 minutter før prøvetaking fra drenerørret og ca. 140 minutter før prøvetaking fra makropore ved rør 8. Utlekkingen fra rør 1 og 2 og makroporen stanset omtrent samtidig, mens avrenningen fra drenerørret fortsatte noe lenger.

Konsentrasjonene i prøvene fra makropore og drenerør endret seg over tid med lavere konsentrasjoner i starten med deretter en økning i konsentrasjoner før de avtok igjen mot slutten av prøvetakingsperioden. Utviklingen var tilnærmet lik for MCPA og clopyralid, mens det var noe mer avvikende for benzovindiflupyr (Figur 22). Målt konsentrasjon i utlekkingsvannet i prosent av tilsatt konsentrasjon var i mange tilfeller over 100 %. Dette kan forklares med at tankblandingen ikke var godt nok homogenisert, noe som kom fram ved at lave konsentrasjoner, ca. 80-90 % sett i forhold til teoretisk konsentrasjon for disse tre stoffene, ble målt i prøver tatt ut fra tankene før eksperimentet startet. Det var disse målte tankkonsentrasjonene som ble brukt til beregningene og eventuelle utfelling eller varierende oppløsning av de ulike stoffene i tankene kan ha påvirket konsentrasjonene i prøvene som ble analysert.

Siden vi i dette forsøket hadde mer kontroll på volumet som ble samlet opp, var det mulig å beregne mengden plantevernmidler som ble samlet opp. Målt mengde i prosent av tilsatt mengde vises i vedlegg 6.2.4.1 (Figur 30).



Figur 22: Utvikling av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) over tid for tre utvalgte plantevernmidler i rute 1. Målingene er gjort i vann som lekket ut av drenerør installert på ulike dyp i jordprofilene; rør 1 og 2 på ca. 20 cm (venstre), rør 8 (makropore ved siden av røret) og drenerør på ca. 80 cm (høyre). Ikke alle de installerte rørene ledet vann slik at prøver kunne samles opp. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

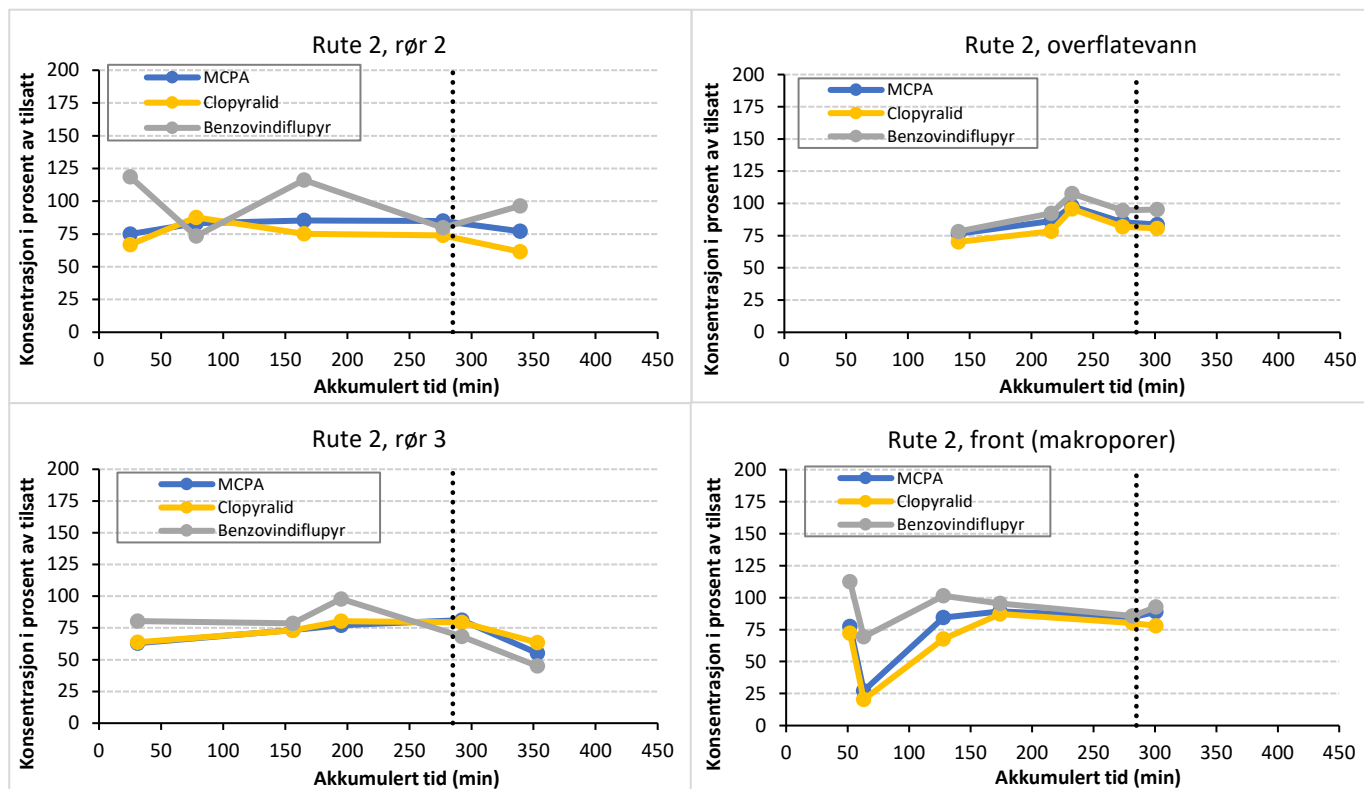
3.3.3.2 Rute 2

I rute 2 var det mulig å starte oppsamling og prøvetaking av overflateavrenning 140 min. etter start av forsøket (Figur 23). Ingen av de installerte oppsamlingsrørene nedover i jordprofilet viste seg egnet til prøvetaking. Prøvetaking av utlekkingsvann ble gjort ved oppsamling fra to makroporer ved siden av rør 2 og rør 3 (øverste sjikt) og en makropore i front av profilet. Her var det mulig å samle opp prøver fra og med 20-50 min. etter forsøksstart.

Mønsteret for hvordan målt konsentrasjon i prøvene i prosent av tilsatt konsentrasjon utviklet seg over tid varierte mellom hvert oppsamlingspunkt. MCPA og clopyralid fulgte stort sett det samme mønsteret ved hvert

prøvetakingspunkt, mens benzovindiflupyr var noe avvikende fra disse for prøver fra makroporen ved siden av rør 2. Målt konsentrasjon av benzovindiflupyr i prosent av tilsatt konsentrasjon var noen ganger over 100 %, noe som trolig kan forklares ut fra høye bakgrunnskonsentrasjoner i jord etter feltforsøket i 2020 (Figur 23).

Målt mengde i prosent av tilsatt mengde vises i vedlegg 6.2.4.1 (Figur 31).



Figur 23: Utvikling av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) over tid for tre utvalgte plantevernmidler i rute 2. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

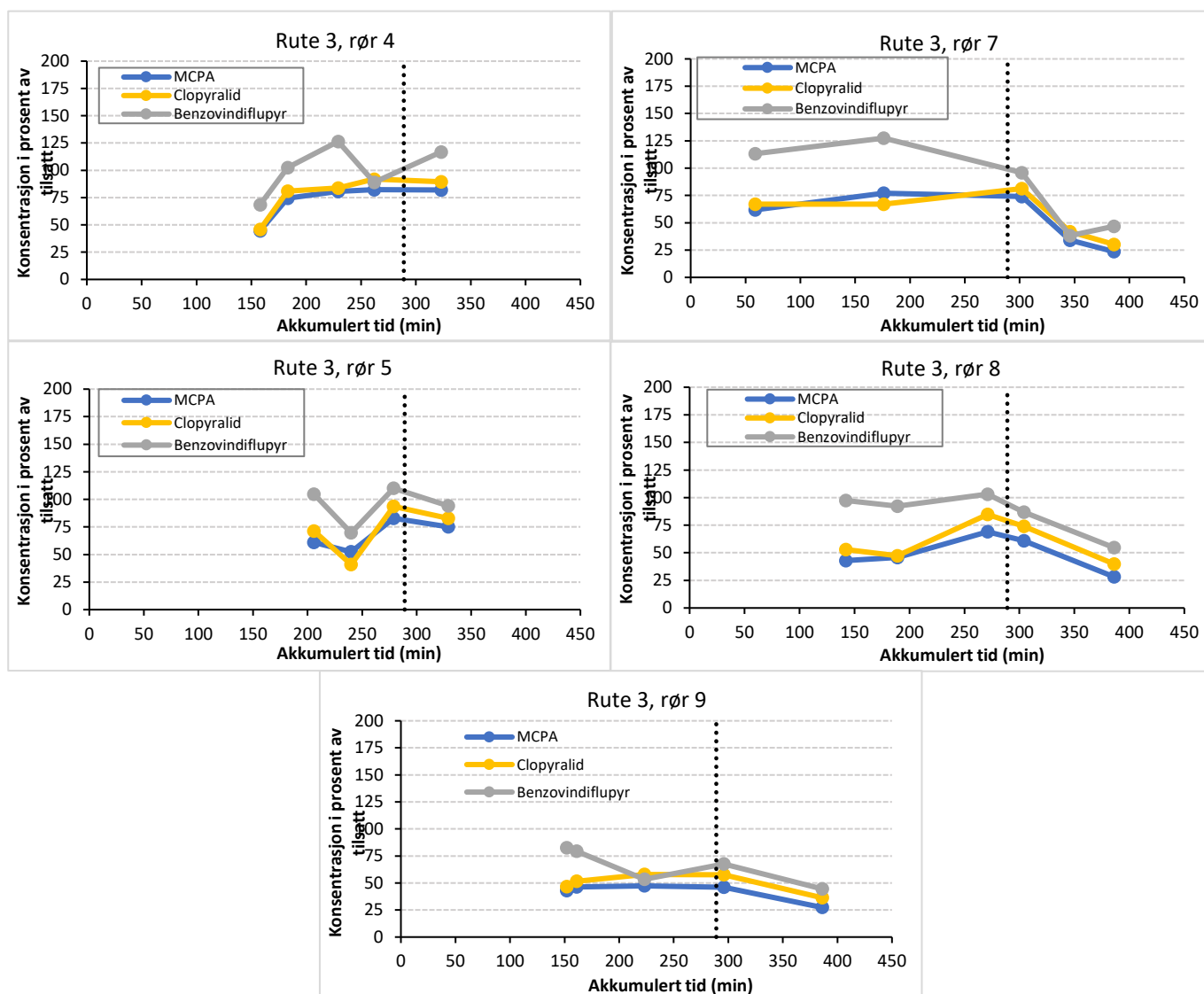
3.3.3.3 Rute 3

Det ble ikke observert overflateavrenning i rute 3 og det var heller ingen vannoppsamling fra rørene i øverste jordsjikt av ruten (rør 1-3 på ca. 20 cm dyp). I midtre sjikt (ca. 60 cm) ble det samlet opp prøver fra rør 4 og 5, og i nedre sjikt (ca. 80 cm) var det oppsamling fra alle punktene (rør 7-9). De fleste av prøvene ble samlet inn fra installerte rør, men to av prøveoppsamlingspunktene var makroporer (se vedlegg 6.2.2).

Det var raskest utlekking fra rør 7 hvor den første prøven ble samlet inn etter 58 minutter (Figur 24). Fra de andre punktene startet oppsamlingen av prøver først 140-200 min. etter start (senest fra rør 5). Kurveforløpet for MCPA og clopyralid var tilnærmet likt ved hvert oppsamlingspunkt, mens benzovindiflupyr ofte ble målt i en høyere konsentrasjon enn disse. De høyeste konsentrasjonene av MCPA og clopyralid ble målt i rør 4 og 7, på hhv. ca. 60 og 80 cm dyp, men tilnærmet like øverste sikten (ca. 30 cm), med konsentrasjoner rundt 75 % av tilsatt. Konsentrasjonen av benzovindiflupyr i disse to rørene var ofte over 100 % av tilsatt konsentrasjon (se 3.3.3.2). De laveste konsentrasjonene ift. tilsatt ble målt i rør 5, 8 og 9, som alle var plassert lenger unna tilførselspunktet for plantevernmidler enn rør 4 og 7.

Rør 4 og 5 var plassert i midtre sjikt (ca. 60 cm) av ruten (Figur 10) og var de rørene der vannavrenningen først stoppet. Rørene i nedre sjikt av ruten (rør 7, 8 og 9) hadde utlekking og prøveoppsamling ca. 60 min. lenger enn de andre oppsamlingspunktene.

Målt mengde i prosent av tilsatt mengde vises i vedlegg 6.2.4.1 (Figur 32).



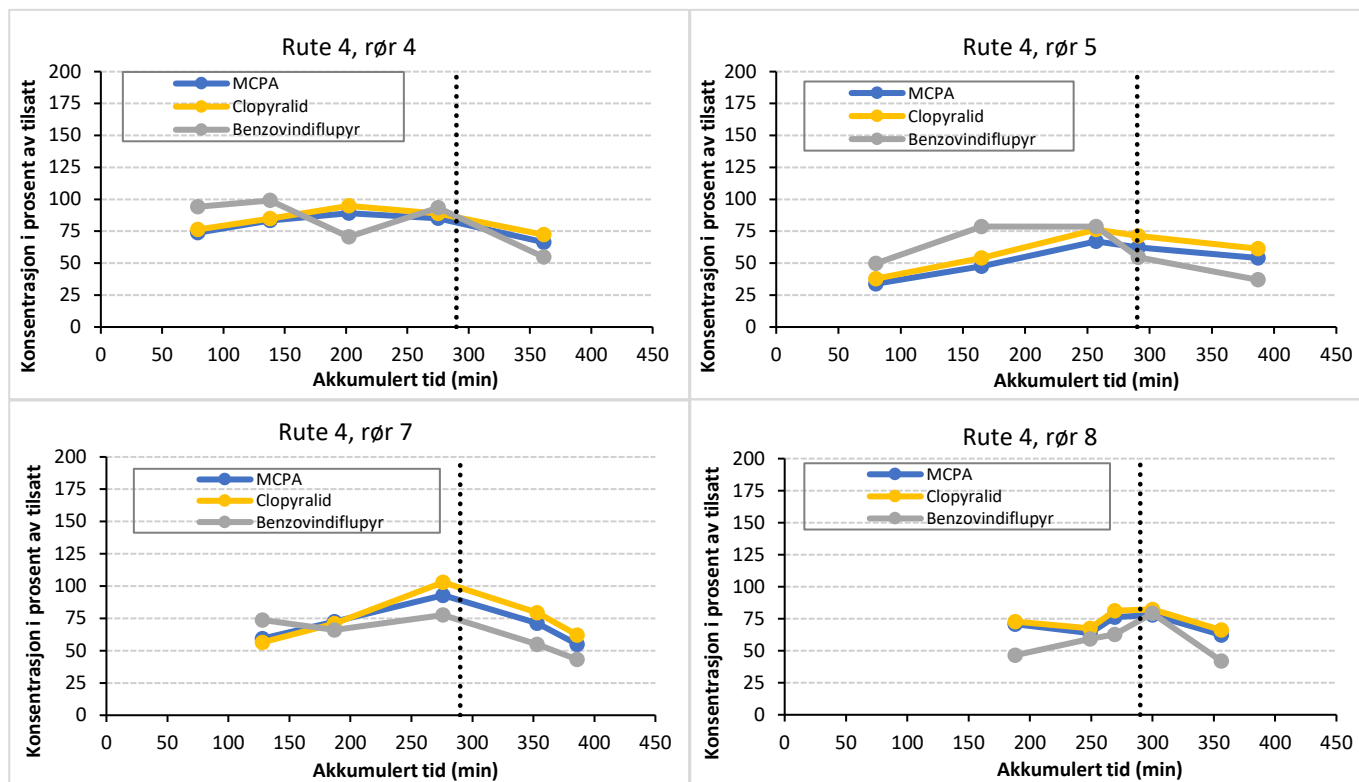
Figur 24: Utvikling av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) over tid for tre utvalgte plantevernmidler i rute 3. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

3.3.3.4 Rute 4

Det ble ikke observert overflateavrenning fra rute 4 og det ble heller ikke samlet vannprøver fra øverste sjikt i ruten (rør 1-3). I det midtre sjiktet ble det samlet opp vann fra rør 4 og fra makroporen ved siden av rør 5. I det nederste sjiktet ble det samlet opp prøver fra rør 7 og 8.

Målte konsentrasjoner i vannprøvene fra rute 4 var under 100 % av tilsatt konsentrasjon ved de fleste prøvetakingstidspunktene (Figur 25). Clopyralid og MCPA fulgte det samme mønsteret over tid ved hvert prøvetakingstidspunkt, mens utviklingen over tid var litt ulik for benzovindiflupyr. Generelt var det en svak økning i målt konsentrasjon fram til ca. midtveis i prøvetaksperioden.

Målt mengde i prosent av tilsatt mengde vises i vedlegg 6.2.4.1 (Figur 33).



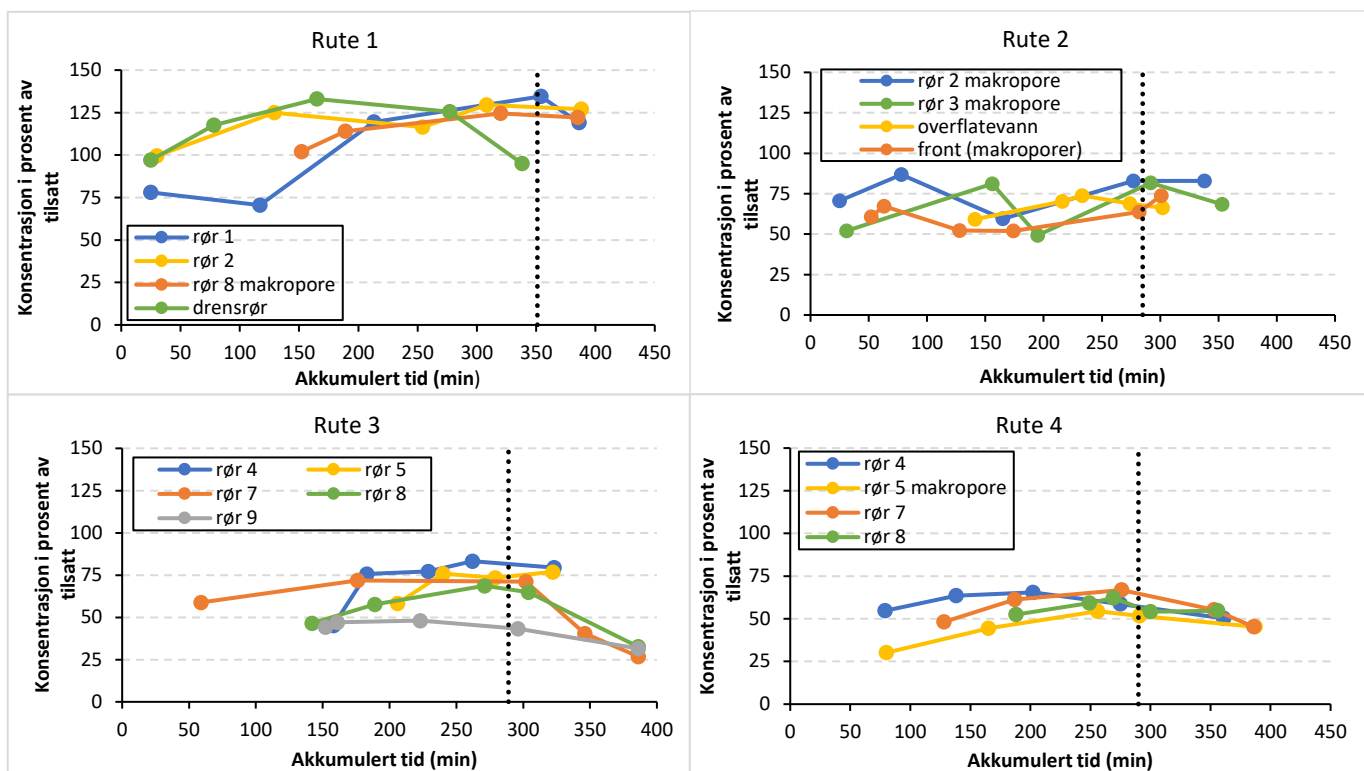
Figur 25: Utvikling av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) over tid for tre utvalgte plantevernmidler i rute 4. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

3.3.4 Overflateavrenning og utlekking av bromid

Målt konsentrasjon av bromid i prosent av tilsatt konsentrasjon for hver rute vises i figur 26. Utviklingen av den målte konsentrasjonen i oppsamlet vann fra rute 4 viste et mønster med en lavere konsentrasjon i starten, stigende konsentrasjoner over tid og en nedgang i konsentrasjon mot slutten av forsøksperioden. I rute 3 ser man litt av det samme mønsteret som i rute 4, men ikke like tydelig. Rute 1 og 2 viser en større variasjon innenfor enkelte prøvetakingspunkt enn i de andre to rutene der de målte konsentrasjonene endrer seg en del fra tidspunkt til tidspunkt, spesielt i rute 2. I rute 1 holder målt konsentrasjonsnivå seg på et stabilt høyt nivå mot slutten av måleperioden for alle prøvetakingspunktene unntatt drenerørret. Oppsamling av vann fra drenerørret ble avsluttet før de øvrige prøvetakingspunktene (etter ca. 5 timer) og rundt samme tid som vannføringen sluttet.

Generelt begynte prøvetakingspunktene nærmest tanken/tilførselspunktet for væskeløsning samt drenerørret raskere å lekke vann enn punktene som hadde større avstand til tanken. Overflateavrenning fra rute 2 startet etter rundt 2,5 timer. Det ble ikke observert overflateavrenning fra noen av de andre rutene.

Målt mengde i prosent av tilsatt mengde vises i vedlegg 6.2.4.1 (Figur 34).



Figur 26: Utvikling av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) over tid for bromid i både utlekkingsvann og overflateavrenning. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

3.3.5 pH i jord- og vannprøver

Jordprøvene i alle rutene hadde lavest pH i det øverste sjiktet (0-20 cm) og høyest pH i det nederste sjiktet (60-80 cm), bortsett fra i rute 3 hvor den laveste pH ble målt i sjiktet 40-60 cm (Tabell 13).

Tabell 13: Målt pH i jord (tatt ut før forsøket startet).

Sjikt	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
0 – 20 cm	6.0	5.8	5.6	5.6
20 – 40 cm	6.4	6.1	6.0	5.8
40 – 60 cm	6.7	6.5	3.4*	6.1
60 – 80 cm	7.0	6.8	6.6	6.3

*lav pH: antagelig for lavt. Fra profilbeskrivelse er pH på denne dybden ca. 5.7.

Tankløsningene hadde i gjennomsnitt en pH på 7.2. I vannprøvene var pH litt lavere med en gjennomsnittlig målt pH på 5.1–5.9 (Tabell 14).

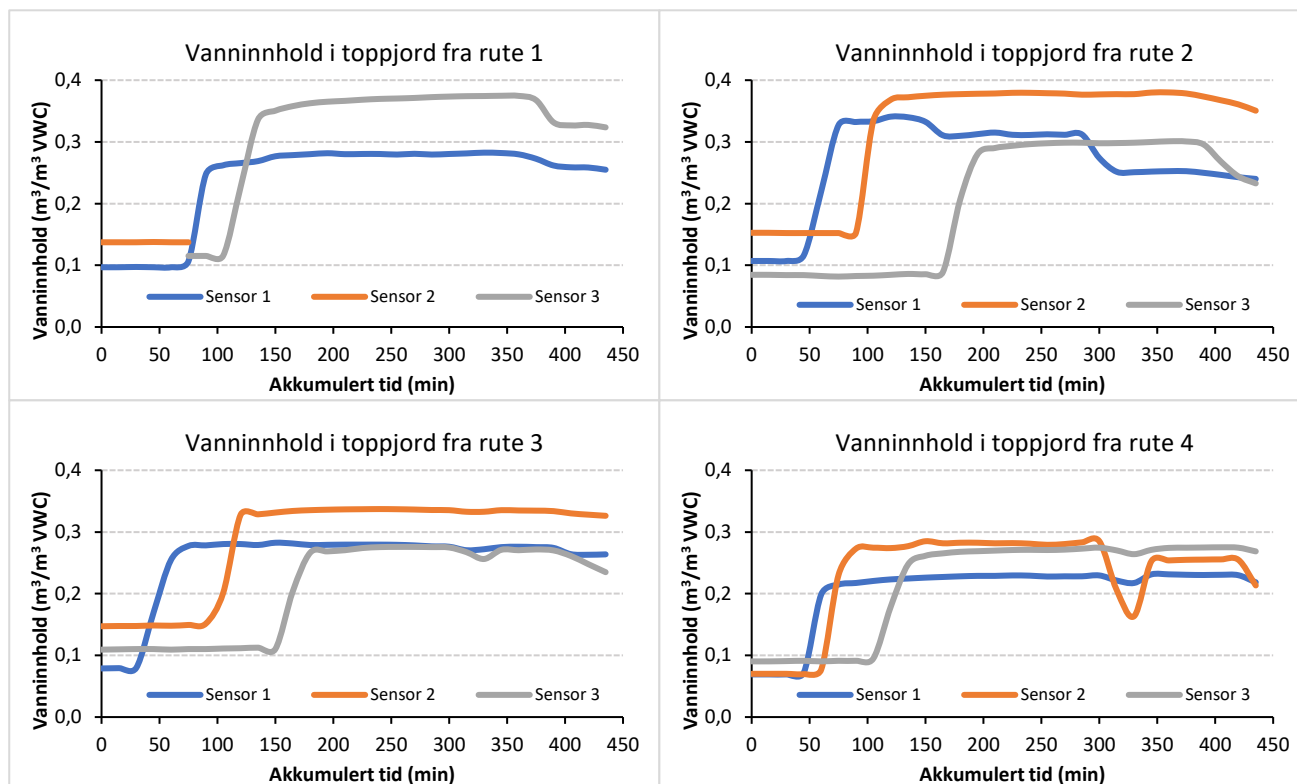
Tabell 14: Målt pH i tankløsningene og noen utvalgte prøver.

	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
pH tankløsning	7.2	7.3	7.3	7.0
pH (gjennomsnitt) prøver	5.1	5.9	5.2	5.1
Spennvidde pH prøver	4.8–5.8	5.1–6.7	4.7–5.6	4.8–5.6

3.4 Feltforsøk 2022

3.4.1 Måling av vanninnhold i toppjorda

Resultatene av vannmålinger i de øverste 5 cm av jorda viste at sensor 1, som var plassert nær overkant av rutene, registrerte en økning i jordfuktigheten tidligst (Figur 27). Økt fuktighet ble deretter registrert av sensor 2 etter ca. 10-60 minutter og deretter av sensor 3 etter ca. 1.5-2.5 timer. Sensorene var plassert hhv. ca. 1.5 og 2.5 m fra overkant av forsøksruta på samme måte som i forsøket i 2021 (Figur 12). I rute 1 ble økning i jordfuktigheten registrert senere enn for de andre rutene. I noen av rutene ble det registrert en nedgang i jordfuktighet mot slutten av forsøksperioden.



Figur 27: Målt vanninnhold over tid i toppjord vha. tre sensorer i de ulike rutene. (Sensor 2 fungerte ikke i rute 1).

3.4.2 Plantevernmidler

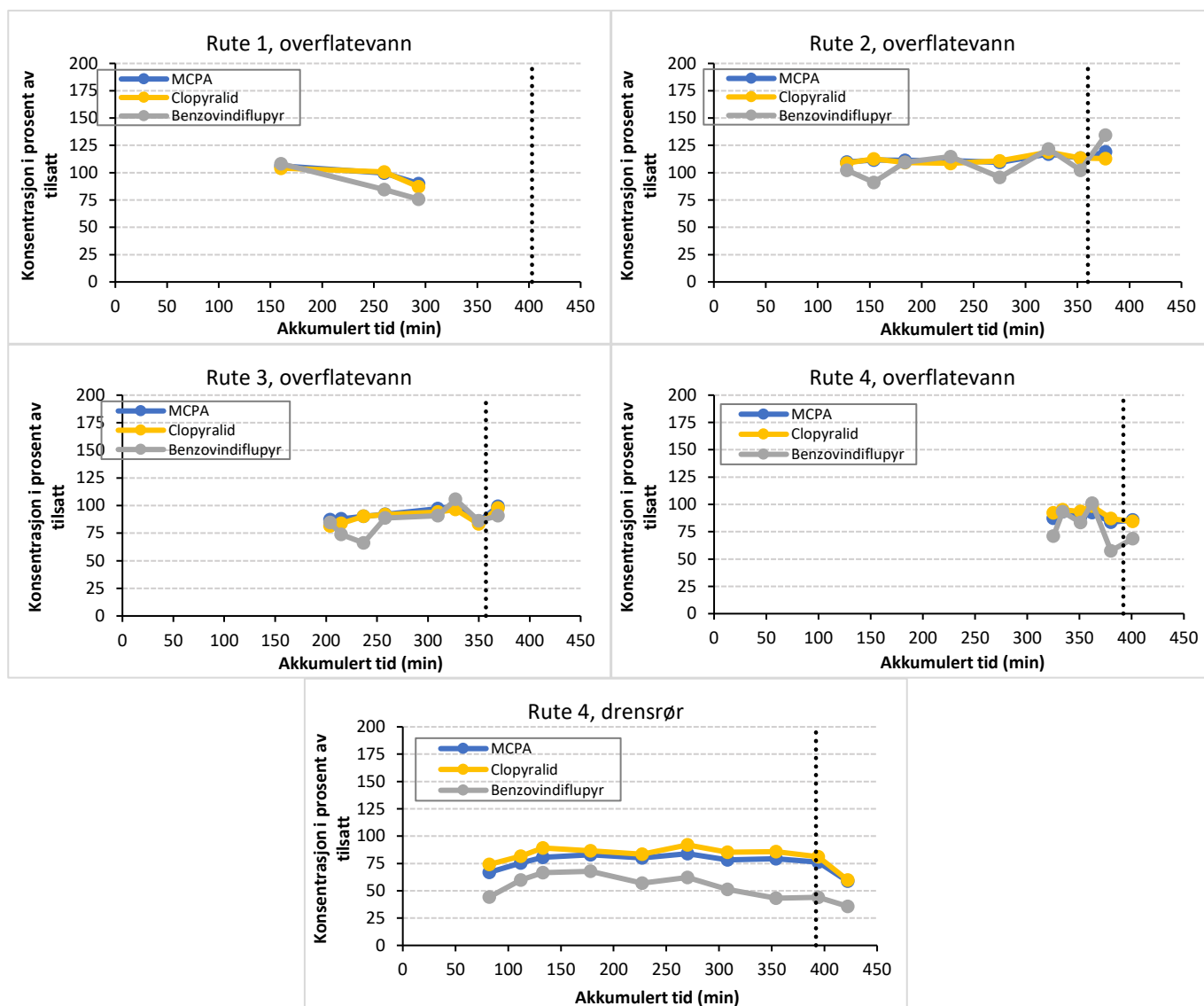
Til sammen ble det samlet inn ca. 60 vannprøver fra de fire forsøksrutene. Totalt volum samlet inn fra alle de fire rutene tilsvarte ca. 924 liter, noe som utgjorde ca. 24 % av mengden vann tilsatt. Overflateavrenningen utgjorde totalt rundt 15 % (585 L) av den tilsatte mengden vann og ca. 63 % av det oppsamlede vannet. Resten av vannet infiltrerte og forsvant nedover i jordprofilen eller lekket ut via makroporer i front av profilet og var vanskelig å samle opp.

Det ble samlet opp prøver fra overflateavrenning i hver rute i tillegg til at det ble tatt prøver fra et gammelt drenerør i rute 4. Den første vannprøven kunne samles opp ca. 80 min. etter start av tilførsel av plantevernmiddelblandingen og ble samlet opp fra drenerøret i rute 4 (på ca. 80 cm dyp). Overflateavrenning startet til ulik tid fra de ulike rutene; etter 2 timer i rute 2, 2,5 timer i rute 1 og 3, 5,5 timer i rute 4.

Sammenlignet med det som ble tilsatt var målt konsentrasjon av MCPA og clopyralid omtrent på samme nivå i prøver av overflateavrenning og dreneringsvann for de ulike rutene (Figur 28).

Benzovindiflupyr ble gjenfunnet generelt i litt lavere konsentrasjoner ift. tilsatt mengde sammenlignet med MCPA og clopyralid.

Målt mengde i prosent av tilsatt mengde vises i vedlegg 6.2.4.2 (Figur 35).

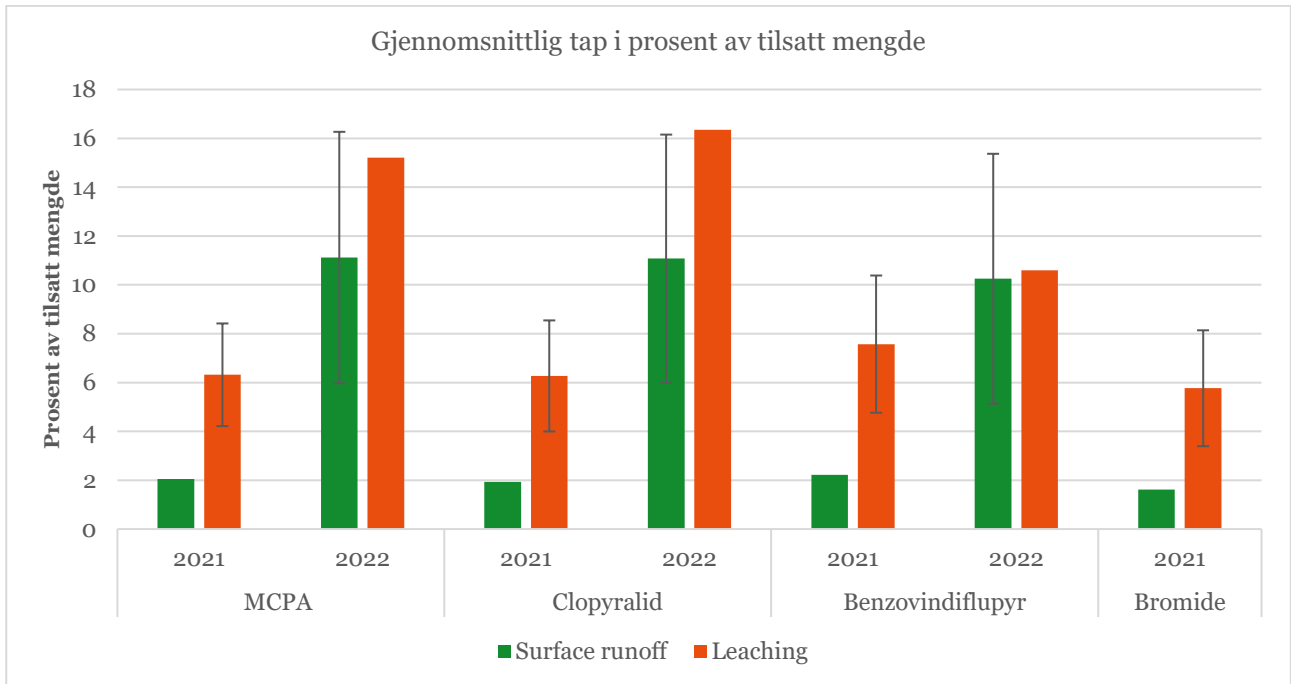


Figur 28: Utvikling av den målte konsentrasjonen (i prosent av tilsatt konsentrasjon) over tid for tre utvalgte plantevernmidler. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

Bromid ble ikke tilsatt i dette forsøket, men de oppsamlede vannprøvene ble likevel analysert for bromid for å få en indikasjon på bakgrunnsnivået i jord/jordvann. De målte konsentrasjonene i vannprøvene lå mellom 0.13–0.15 mg/L.

3.4.3 Sammenligning av akkumulert prosent av mengde tilsatt i 2021 og 2022

Det ble lagt en sammenstilling av gjennomsnittlig akkumulert mengde av tilsatt mengde for overflateavrenning, utlekking fra drensrør og utlekking fra makroporer/ jordmatriks for årene 2021 og 2022 (Figur 29). Det var kun ett oppsamlingspunkt for drensrør i 2021 og 2022 og ett for overflateavrenning i 2021. I begge årene var akkumulert mengde høyest i utlekkingen fra drensrør for de målte stoffene, men det var kun ett drensrør per år. Akkumulert mengde varierte en del for overflateavrenning. I 2021 var det veldig lite overflateavrenning med få prøver som ble samlet inn sammenlignet med 2022 (vedlegg 6.2.3). Data fra utlekking fra makroporer/ matriks er kun tilgjengelig fra 2021, men hadde litt lavere akkumulert mengde enn overflateavrenning eller utlekking fra drensrør i forsøket i 2021.



Figur 29: Akkumulert påvist mengde i prosent av tilsatt mengde for overflateavrenning og utlekking (fra drenerør og utlekking fra makroporer/matriks) i forsøkene fra 2021 og 2022. Det vises gjennomsnitt og standardfeil hvor det var flere oppsamlingssteder under hver kategori.

4 Diskusjon

4.1 Forsøksfelt og jordsmonn

Å kjøre feltforsøk i konvensjonelt drevne felt med f.eks. korn og etablerte vegetasjonssoner er krevende, både på grunn av utfordringer med å finne felt, men også fordi man da kan ha flere usikre parametere som nedbør og data på jordsmonn og drift. Videre er det ofte vanskeligere å få gjøre større inngrep i konvensjonelt drevne felt. Feltforsøket vårt ble derfor lagt opp som et simuleringsforsøk i et felt der vi hadde mye kunnskap om feltet og større frihet med tanke på å gjøre inngrep. I tillegg var feltet lett tilgjengelig inne på campus på Ås med vesentlig helling (9-13 %) og et godt etablert grasdekk med en blanding av ulike grasarter, kløver og mose. Vegetasjonen ble holdt på ca. 10-15 cm høyde. En godt etablert vegetasjon ble antatt å også gi en utbredt makroporestruktur i feltet da denne ikke ble forstyrret av jordbearbeiding av noe slag. Dette ble også bekreftet av infiltrasjonstestene som ble utført. Hellingen sammen med den relativt store vannmengden vi tilsatte over kort tid (1000 liter med en rate på 3 L/min), var faktorer som vi antok ville bidra til mye overflateavrenning. I studier har man indikasjoner på at ved helling på over 10 % vil få redusert effekt av eventuelle vegetasjonssoner pga. at vannet da i større grad vil renne gjennom sonen (Zhang et al., 2010). Ifølge karttjenesten kilden.no (www.kilden.nibio.no) skulle feltet være relativt homogent med jordtypen siltig lettleire (stagnosol), en jordtype som er representativ for større jordbruksområder i Ås-området og landet for øvrig med en utbredelse på f.eks. 34 og 62 % i hhv Trøndelag og Viken fylker (<https://www.nibio.no/tema/jord/jordkartlegging/jordsmonnstatistikk?>). Jorda i vårt felt inneholder lite organisk karbon i overflatesjiktet (2.5 %). Nøyere undersøkelser viste også at deler av feltet er strandavsatt med større innhold av grus og sand (grusholdig siltig sand) og at forsøksrutene vi benyttet de to første årene lå i en grensesone mellom disse jordtypene, noe som påvirket resultatene i forsøkene de to første årene. Siste forsøksåret ble feltet flyttet ca. 100 meter ned i bakken. Årsaken til at vi flyttet feltet så langt nedenfor var at det var mye fjell i dagen som gjorde gravingen utfordrende. Det nye feltet var en antydning brattere og hadde noe dårligere vegetasjon (dårligere vekst). Jordsmonnet skulle ifølge kilden.no være det samme. Basert på de tidligere årenes resultater ble ikke disse endringene antatt å ville påvirke forsøket i nevneverdig grad.

4.2 Vann- og stofftransport

4.2.1 Overflateavrenning

Forventningen med forsøksoppsettet vi hadde det første året (2020) var at mengden vann som ble tilsatt inn i en vegetasjonssone med en helling på 9-13 % ville gi en del overflateavrenning. 1000 liter vann inn i en vegetasjonssone på 18 m² gir tilsvarende vannmengde som ca. 55 mm nedbør. Med en rate på 3 L/min ville da denne mengden vann tømmes inn i vegetasjonssonen i løpet av ca. 5 timer. Basert på klimadata fra 1974-2023, er dette en nedbørsepisode som bare skjer hvert ca. 20 år i Ås-området (<https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb&locationId=SN17870>). På grunn av tørt vær i forkant av forsøket ble rutene vannet med spreder i dagene i forkant for å unngå urealistisk høy grad av infiltrasjon (Reichenberger et al., 2007). Mengden vann påført i dagene i forkant ble ikke målt og det er et spørsmål om det ble for lite siden det aller meste av vannet som ble tilsatt de fire rutene dette første året, infiltrerte og forsvant nedover i jorda. Noe overflateavrenning ble likevel samlet opp i rute 1 og 2, men ingenting fra rute 3 og 4 (Figur 18), noe man antakelig kan tillegge den noe tettere og mer leirholdige jordtypen i denne delen av feltet sammenlignet med den grovere, mer sandholdige jordtypen i rute 3 og 4. Den oppsamlede overflateavrenningen startet betydelig senere enn utlekkingen fra jordprofilene (100-300 minutter vs. 25 minutter) noe som antakelig skyldes lengre oppholdstid i rutene på grunn av vegetasjonen som bremsset vannet. Dette så man igjen i begge de to forsøksårene i dette feltet på tross av at rutene var mindre og mengden vann benyttet pr areal tilsvarte en nedbørsepisode på over 300 mm nedbør fordelt på 5 timer til disse rutene. Dette er en urealistisk stor mengde vann som langt overstiger det man kan forvente av nedbørintensitet i Ås-området, men likevel så man altså høy grad av infiltrering i begge de to siste forsøksårene. Perioden før

forsøksrunden i 2021 (utført i oktober) var preget av mye mer nedbør, og feltet ble ikke vannet i forkant. Dette året ble grøftene åpnet på to sider for å samle opp mer av vannet som infiltrerte (Figur 8-9), noe som kan ha økt transporten av vann ut av jordprofilene og dermed bidratt til redusert overflateavrenning. Årsaken til denne økningen kan skyldes at man ved å åpne profilene slik man gjorde skapte et unaturlig «sug» på vannet ut av jorda. Makroporetransport drives i stor grad av gravitasjon og vannet i jord tar oftest den letteste veien fra et sted med høyt vannpotensial til et sted med lavere vannpotensial (Jarvis, 2007). I vårt forsøk kan man tenke seg at etter hvert som toppjordas metningsgrad økte medvirket de installerte rørene til å øke transporten av vann ut av profilet sammenlignet med et lukket profil der færre slike kanaler ville lede vannet videre. Samtidig er dette prosesser som også ville foregått i de åpne makroporene (og mikroporene/matriks) om profilene var lukket, så det er vanskelig å si noe om hvor avgjørende nettopp dette var. At man fikk mer overflateavrenning i mer lukkede systemer som i 2020 og 2022, indikerer likevel at dette kan ha hatt betydning. I 2021 fikk vi samlet opp så mye som ca. 41 % av alt vannet man tilsatte i rutene. Overflateavrenningen utgjorde ca. 0.033 % av den oppsamlede mengden vann. Resten var vann som lekket ut via drenerør eller makroporer/matrix.

Forsøket i 2022 måtte flyttes nedover i bakken (Figur 16) da det opprinnelige feltet kollapset pga. de åpne grøftene og alt vannet. Ifølge Kilden.no skulle dette området lenger ned i bakken ha tilsvarende jordtype, selv om det kanskje var noe brattere. Vegetasjonen etc. var ellers sammenlignbart med feltet lenger oppe i bakken, men dette året droppet vi en egen kontrollrute med bar jord da vi ikke så at den ga oss noe ekstra informasjon utover de andre rutene. I 2022 fikk vi samlet opp ca. 24 % av vannet. Dette året ble det ikke prioritert å samle opp vann som kom ut fra fronten av rutene da alt vannet som piplet ut bidro til at deler av fronten raste ut og gjorde oppsamling vanskelig. Overflateavrenningen utgjorde derfor mye mer av det oppsamlede vannet enn året før, med ca. 63 %. Resten av vannet rant da enten ut av jordprofilene gjennom jorda, eller kom ut via makroporer og matriks i de åpne grøftefrontene og var vanskelig /umulig å samle opp.

4.2.2 Utlekking/makroporetransport

Som beskrevet ovenfor så man det første året at mye av den infiltrerte plantevernmiddelet løsningen lekket ut gjennom jorda på undersiden av oppsamlingssystemene for overflateavrenning. Man så at det piplet blakket vann ut fra åpne porer i framkanten av grøftene og fra en ødelagt drenergrøft under en av rutene. Denne utlekkningen skjedde i hovedsak i de to rutene med jordsmonn som hadde høyere leirinnhold og som også hadde et leirlag på ca. 20-30 cm dyp. Dette leirlaget så ut til å lede en del av det infiltrerte vannet ut av profilene. I forsøksoppsettet året (2021) etter hadde man mer kontroll over vannet, og kunne dokumentere den raske infiltrasjonen av vann i alle rutene og at utlekking via makroporer og drenergrøfter/rør begynte allerede 25-50 minutter etter at man begynte å slippe vann inn i vegetasjonssonene/rutene, mye tidligere enn overflateavrenningen som gjerne startet først etter 125-325 minutter (Figur 22-25). Det samme bildet så man også i det siste forsøksåret (2022). I disse forsøkene så man også at eldre drenerør på 80 cm dyp eller makroporer i front av profilveggen begynte å lede vann relativt kort tid etter installerte drenerør mye nærmere påføringsstedet for vann (Figur 28). Dette indikerer en sammenhengende makroporestruktur med åpne makroporer som ledet vannet raskt både vertikalt og lateralt gjennom jordprofilene. Denne typen transport benevnes ofte som «preferential flow» eller «non-uniform» flow da det meste av transporten av vann går gjennom disse porene og ikke gjennom hele jordprofilet (matrix flow) (Beven & Germann, 1982; Jarvis, 2007). Det er bl.a. vist at opp mot 95 % av vanntransporten kan gå gjennom bare 0.35 % av det totale porevolumet, dvs. at det aller meste av transporten går gjennom disse store porene og slik går forbi resten av jordprofilet/matriks (Watson & Luxmoore, 1986).

Det siste forsøksåret ble det ikke samlet opp vann som kom ut via makroporer i front av rutene. Et drenerør på 80 cm dyp ga likevel en god pekepinn på vertikal og lateral transport i jorda.

Infiltrasjonsforsøkene som ble utført indikerte at makroporene hadde veldig mye å si i alle 4 rutene. Infiltrasjonsraten gikk ned med hele 98 % i rute 1, 2 og 4 samt 91 % i rute 3 (Tabell 9-10), når man ser bort fra makroporetransporten under infiltrasjonen. Dette indikerer at også de mer sandholdige rutene inneholdt en del makroporer.

4.2.3 Plantevernmidler og bromid

Analysene av utlekket vann fra rutene det første året (2020) viste at dette blakkede utlekkingsvannet inneholdt konsentrasjoner av plantevernmidler på opp mot 80 % av konsentrasjonen i den tilsatte løsningen (målt konsentrasjon i tankløsningene). Høyest konsentrasjon ble påvist for clopyralid og lavest for benzovindiflupyr, en rekkefølge som stemmer overens med stoffenes sorpsjonskoeffisient. En lavere konsentrasjon for benzovindiflupyr kan tilskrives en sterkere binding til partikler og dermed en noe økt retensjon i vegetasjonssonen (Figur 18). Det ser ellers ut til at konsentrasjonen av plantevernmidlene var noe høyere i overflateavrenningen sammenlignet med det vi kan kalle «drens-/utlekkingsvannet». Forskjellene var små dette første året (2020) og noe av bildet vi ser kan kanskje forklares med tilfeldig variasjon. Det var ellers vanskelig å se noen forskjell i avrenning/utlekking på rute 1, som var pløyd og harvet og som skulle fungere som en «verste tilfelle» kontroll, sammenlignet med de tre rutene med etablert vegetasjon. Det var en indikasjon på at konsentrasjonene av plantevernmidler var lavere i overflateavrenningen og utlekkingen i kontrollruta sammenlignet med de andre, men det er vanskelig å vite om dette skyldes tilfeldig variasjon eller om det er en annen årsak. Det er ikke kjørt statistiske analyser av disse dataene pga. alle faktorene som kan påvirke resultatene og som det er vanskelig å ta høyde for i statistiske analyser.

I forsøket utført i 2021 var det vanskeligere å se forskjellen i konsentrasjon i overflateavrenningen mellom rutene sammenlignet med det man så året før, noe som kan forklares med mindre ruter, mer vann på et mindre areal og/eller raskere vanntransport og svært lite overflateavrenning totalt sett. Vi så ellers samme indikasjonen som første året, med noe lavere konsentrasjon av plantevernmidler i vannprøvene tatt fra et dreinsrør sammenlignet med konsentrasjonene i overflateavrenningen (Figur 22-25). Dette at konsentrasjonen kan være lavere i dreinsvann sammenlignet med overflateavrenning er kjent også fra andre studier (Bøe et al., 2024) og skyldes kanskje først og fremst at plantevernmidlene som infiltrerer jorda og når dreinsgrøftene, fortynnes i vann som allerede er til stede i jordprofilen. Dette er likevel ikke alltid tilfelle og nivåene kan være like høye, eller høyere i dreinsvann enn overflateavrenning slik som vist i feltforsøk utført på Syverud, Askim og Bjørnebekk i Ås (Eklo et al., 1994; Riise et al., 2004; Riise et al., 2006).

I studier hvor man undersøker stofftransport gjennom makroporer versus transport gjennom resten av jordmatriks ser man ofte at vannet med de aktuelle stoffene transporteres samlet og veldig raskt, som en puls, gjennom makroporene og ut av jorda, man får en såkalt gjennombruddskurve med en klar topp som en indikasjon på når størsteparten av stoffmengden, transporteres nedover jordprofilen. Foregår transporten gjennom hele jordprofilen, mer som et stempel, går transporten vanligvis saktere og er mye jevnere over tid (Holten et al., 2018).

I våre forsøk forventet vi også å se disse gjennombruddskurvene med en klar konsentrasjonstopp i utlekkingsvannet, med en forskjell mellom de to rutene med mer leirjord og de to rutene med mer sandig jord, men dette ble ikke observert i særlig grad. Uavhengig av rute og/eller jordtype så man i all hovedsak at konsentrasjonen varierte litt over tid, uten det helt tydelige mønsteret. Selv om man kunne se tendensen til at konsentrasjonen økte i utlekkingsvannet fram til et visst punkt, før den gikk ned igjen, er det vanskelig å si om dette var tilfeldig variasjon eller ikke. Selv om man ikke kunne se et veldig tydelig mønster i utviklingen av konsentrasjonene over tid for de enkelte plantevernmidlene, så man at utviklingen i konsentrasjonen over tid, som prosent av tilsatt konsentrasjon (målt i tanken), var ganske lik for alle plantevernmidlene i alle de tre forsøksårene. Det vil si at konsentrasjonskurvene for alle stoffene i all hovedsak hadde samme form og utvikling.

I 2021 ble det i flere tilfeller målt høyere konsentrasjon i de oppsamlede vannprøvene enn konsentrasjonen som ble tilsatt (målt i tankblandingen) og noen av analysene av prøver, spesielt fra rute 1 og 3, viser konsentrasjoner opp mot 125-200 % av den tilsatte konsentrasjonen. Analyseresultatene av selve tankblandingen, dvs. «nullprøvene» viser at målt konsentrasjon i tankene som ble brukt på nettopp de to rutene, var ca. 40-50 % lavere enn den nominelle/teoretiske konsentrasjonen. De målte konsentrasjonene i vannprøvene som ble samlet inn ble da sammenlignet med et lavere tall enn det som kanskje var reell konsentrasjon i prøvene. At konsentrasjonen var så lav i de målte «nullprøvene» kan skyldes dårlig homogenisering av løsningen i tanken, dvs. at stoffene ikke var jevnt fordelt i vannet. Siden rutene i dette

feltforsøket lå innenfor grensene til de store rutene brukt i 2020, ble det før forsøket startet opp i 2021 tatt ut jordprøver for å undersøke bakgrunnskonsentrasjonen for de ulike plantevernmidlene. Av de tre plantevernmidlene som er beskrevet i denne rapporten ble det påvist en del rester av MCPA og benzovindiflupyr (Figur 20). Spesielt benzovindiflupyr ble påvist med verdier over 2000 µg/kg jord i toppjorda (0-20 cm) i tre av rutene. Både MCPA, benzovindiflupyr og clopyralid ble påvist helt ned til 80 cm dybde. Denne bakgrunnen kan også ha medvirket til at det ble påvist mer av stoffene enn det som ble tilsatt dette året. I 2022 lå de fleste konsentrasjonene på rundt 100 % eller lavere sammenlignet med den tilsatte konsentrasjonen og var innenfor det vi kunne forvente. I feltet benyttet dette året var det ikke forventet å ha bakgrunn av de ulike stoffene i jorda.

Bromid skal fungere som sporstoff/tracer for vanntransporten, men i disse forsøkene gikk transporten av vann og plantevernmidler så raskt og alle kjemikalier kom nærmest samtidig ut av jordprofilene i en blakket løsning som også visuelt fungerte som en tracer i seg selv. Bromid ble derfor vurdert som overflødig som tracer i disse tilfellene og ble derfor utelatt fra forsøket det siste året (Figur 19 og 26).

De to siste forsøksårene ble alt vann som ble samlet opp veid, slik at man fikk mer kontroll på mengden man klarte å samle opp av de ulike plantevernmidlene. I forsøket i 2021 samlet man opp totalt ca. 6-8 % av tilsatt mengde av plantevernmidlene og bromid (relatert til målte mengder i vanntankene) hvor det aller meste (4.4-5.5 %) ble samlet opp fra drenerør og/eller makroporer (Figur 29; vedlegg 6.2.4). Det var liten eller ingen forskjell på plantevernmidlene, noe som indikerer transport med vannfasen uavhengig av hvordan stoffene bindes. Dette kan selvsagt skyldes den store vannmengden som ganske raskt gikk gjennom profilene og at stoffene ikke fikk tid til å reagere med partikler og/eller at også partikkelbundne stoffer, som f.eks. benzovindiflupyr, ble vasket ut av jorda. I forsøket i 2022 ble det samlet opp mye mindre vann totalt sett enn året før og det meste av det oppsamlede vannet var overflateavrenning (63 %). I det vannet som kom fra overflateavrenning var innholdet av plantevernmidler høyere (21-27 % av tilsatt mengde vann) enn mengden plantevernmidler som ble samlet opp fra det ene drenerøret som det ble tatt prøver fra (11-16 %). Dette siste året kunne man også se et ca. 33 % lavere tap av benzovindiflupyr gjennom drenering/makroporer sammenlignet med de mer mobile stoffene. Siden man dette året kun samlet opp dreneravrenning fra ett rør under bare en av rutene kan man se for seg at stoffet fikk mer tid til å binde seg til partikler og at disse i litt større grad ble fanget i jordmatriksen. Dette året ble det også tilsatt partikler i vannet for å se på effekten av disse på avrenningen og det kan være at dette har gitt en liten påvirkning på transporten av nettopp dette stoffet. Mengden benzovindiflupyr som ble transportert via overflateavrenningen var på mer eller mindre samme nivå som for de mer mobile plantevernmidlene (10 mot 11 %) til tross for partiklene tilsatt i vannet. Man kan tenke seg at en mindre mengde vann med lavere tilsetningsrate/hastighet inn i vegetasjonssonene hadde gitt et lavere tap av benzovindiflupyr da det kunne ha fått mer tid til å bli fanget i vegetasjonen. I tolkningen av disse dataene må man ta høyde for at forsøksoppsettet som vi hadde gir et «worst case»-bilde på en avrenningssituasjon.

4.3 Forsøkets gyldighet

Disse tre forsøkene er utført som simuleringsforsøk der vi har simulert overflateavrenning inn i en vegetasjonssone. Forsøkene er utført etter modell fra lignende studier utført i Norge med tanke på vannmengde benyttet og forsøksoppsett generelt. Selv om den valgte tilførselsraten på avrenningen med 3 L/min i tidligere studier ble definert som en lav rate, ga dette en ganske stor mengde vann inn i vegetasjonssonene på kort tid. Det første året, med større areal på vegetasjonssonene (18 m²), var dette noe man kan definere som en realistisk worst case situasjon, men de to siste årene utgjorde vannmengden totalt sett en urealistisk mengde avrenning inn i vegetasjonssonene i løpet de timene forsøkene varte. Likevel så man langt mindre grad av overflateavrenning enn forventet og mye mer infiltrasjon og tap gjennom jorda. Dette kan skyldes stor grad av makroporer i jordsmonnet, men kan også tilskrives at feltene var drenert og selve forsøksoppsettet som potensielt ga et høyere tap av vann og plantevernmidler ut av profilene enn under mer naturlige forhold, spesielt det andre året. Tørr jord kan ofte gi økt grad av infiltrering, men vi forsøkte å kompensere for dette det året det var veldig tørt i forkant. De andre årene ble det ikke vannet i forkant pga.

mer nedbør i tiden før forsøket ble gjennomført. Siste året ble kun fronten av rutene gravd opp og kun oppsamlingsopplegg for overflateavrenning installert. På grunn av alt det tilsatte vannet som infiltrerte rutene, og mye vann som kom ut via makroporer og matriks i front av rutene, kollapset deler av veggene i front av rutene noe som gjorde oppsamling av lekkasje fra makroporer veldig vanskelig. Vi mener at forsøkene ble utført under betingelser som klimamessig kan regnes som normal for årstiden i vår del av landet. Forsøkene de tre årene ble heller ikke utført under eksakt de samme betingelsene med tanke på tid eller rom, noe som gjør sammenligning mellom år mer utfordrende. Samtidig har man gode forklaringer på de fleste forskjellene man ser og relativt konsekvente resultater som kan tolkes ut fra de betingelsene som var rådende under forsøkene. Vi mener derfor at forsøkene og resultatene er gyldige og at man kan trekke en del viktige konklusjoner ut fra dem.

4.4 Vegetasjonssoner som tiltak

Vegetasjonssoner, eller vegeterte buffersoner, ble innført i Norge i 2015 som et risikoreducerende tiltak for plantevernmidler som er utsatt for overflateavrenning. I 2020 ble det utgitt en veileder om vegeterte buffersoner (Mattilsynet, 2020). Ifølge denne veilederen kan man ved å benytte seg av slike buffersoner redusere risikoen for avrenning såpass at man dermed kan godkjenne flere plantevernmidler i ulike bruksområder. Kravet om slike soner er spesifisert på etiketten til de plantevernmidlene dette er aktuelt for og det som står på etiketten er et absolutt krav og skal ikke unnvikes.

I denne veilederen gir man retningslinjer for når man skal anvende slike soner og hvordan de skal utformes og skjøttes. Mye av det som står i denne veilederen er riktig og basert på vitenskapelige studier, men med tanke på funnene man har gjort i forsøkene presentert i denne rapporten og kunnskap presentert i andre kilder, er det sterke indikasjoner på at veilederen blir veldig generell og at man i langt større grad bør åpne opp for lokale tilpasninger. Noen momenter diskuteres i litt mer detalj nedenfor.

- 1) Type vegetasjon. Veilederen slår fast at vegetasjonssonen skal ha veletablert plantedekke bestående av gress og/eller urter, trær eller busker. Veilederen slår også helt riktig fast at slik vegetasjon vil gi mer makroporer. Våre forsøk viser at selv store mengder vann vil raskt kunne infiltrere en etablert grasdekket sone og gi utlekking fra vegetasjonssonen og ut av jordsmonnet, enten via drens-systemer eller direkte via sammenhengende porenettverk til overflatevann. Enkelte studier viser at veletablerte vegetasjonssoner med grasdekke over tid gir mindre grad av makroporetransport på grunn av f.eks. økt innhold av organisk karbon og mindre grad av maskinell aktivitet og jordpakking. Samtidig sier andre studier igjen at grasmark lettere tørker opp og dermed gir økt grad av makroporetransport (Jarvis, 2007). I våre studier var jordsmonnet i hovedsak ganske tørt ved oppstart av forsøkene, til tross for innledende vanning, og makroporetransport var en viktig transportvei for vann og plantevernmidler i alle forsøksrutene i alle årene.
- 2) Vegetasjonssonens bredde. I veilederen står det at en slik sone bør være minimum ti meter. Mye litteratur støtter dette (Blankenberg et al., 2017; Reichenberger et al., 2007), men ikke all denne litteraturen tar hensyn til at enkelte typer jordsmonn kan ha veletablert og sammenhengende makroporenettverk som kan transportere mye vann over lengre avstander på kort tid eller at arealet er kunstig drenert. Våre forsøk indikerer nettopp dette at slike nettverk av kanaler og drenering er svært effektive i å transportere vann og plantevernmidler fra et nærliggende felt, gjennom vegetasjonssonen og ut i en nærliggende grøft. Makroporetransport er i hovedsak drevet av gravitasjonen og har du et felt med mye helling i tillegg slik som i vårt tilfelle, vil man kunne se en raskere transport over lengre avstander.
- 3) Type plantevernmidler. Det er vist at vegetasjonssoner kanskje er mest effektive i å redusere transporten av stoffer som bindes til partikler som bremses og sedimenteres i vegetasjonen, men dette er ikke alltid tilfelle. Våre forsøk viser at også stoffer som benzovindiflupyr, som bindes sterkere til jord enn f.eks. clopyralid og MCPA, også transporteres i høye konsentrasjoner i vannfasen gjennom makroporene. Norske studier med bl.a. glyfosat har vist noe av det samme. I en simuleringsstudie

lignende dem vi har utført viste Syversen og Bechmann (2004) at glyfosat bundet til mindre partikler ikke ble fanget opp i vegetasjonssonene.

- 4) Jordsmonn og drenering er ikke diskutert i særlig grad i veilederen. Våre studier indikerer at man kan få stor underjordisk transport av høye konsentrasjoner av plantevernmidler uavhengig av jordsmonn så lenge jordsmonnet enten har et utbredt makroporennettverk eller er drenert. I Norge er ca. halvparten av all dyrka mark naturlig drenert, mens resterende halvpart er drenert eller har behov for drenering (Lågbu et al., 2018). I de fleste tilfeller der man har drenering, går dreneringene enten direkte eller via en oppsamlingsgrøft, ut i en nærliggende bekk (Bechmann et al., 2023; Kværnø & Bechmann, 2010; Riise et al., 2004). Reichenberger et al. (2007) sier også at det man kaller hydrologiske by-pass som f.eks. grøfter og drenerør, kan redusere vegetasjonssonenes effektivitet ganske drastisk. Man har bl.a. sett at drenerte vegetasjonssoner gir redusert overflateavrenning i seg selv (Kladivko et al., 2001).
- 5) Mattilsynets veileder sier også noe om at felter med mindre hellingsgrad enn 2 % ikke behøver vegetasjonssoner. Forsøk NIBIO har gjennomført på Kjelle Videregående skole i årene 2014-2022 ved Bjørkelangen indikerer at dreneringen i snitt utgjør 80 % av den totale avrenningen fra felter med bare 2-3 % helling. Og selv med lave plantevernmiddelkonsentrasjoner viser dette at infiltrasjon gjennom vegetasjonssoner og avrenning via undergrunnsjord og dreneringsystemer kan være svært viktig (Bechmann et al., 2023; Hauken et al., 2015). I en studie utført på et felt med bare 1 % helling i Sverige observerte man overflateavrenning med konsentrasjoner av plantevernmidler som overskred vannkvalitetsstandardene i flere tilfeller. Dette var spesielt knyttet til perioder der jorda var nær vannmettet pga mye nedbør eller under snøsmeltingen (Larsbo et al., 2016).

5 Konklusjon

Vegetasjonssoner er et mye brukt risikohåndteringstiltak for å redusere overflateavrenning av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruket og i en del tilfeller et absolutt krav. Våre forsøk gir også indikasjoner på at dette er tilfelle, men viser samtidig at vegetasjonssoner som tiltak har svakheter og kan være mindre effektive under visse forhold. Selv med betingelser som kan betegnes som «worst case» med tanke på avrenning inn i vegetasjonssoner, ser vi at det meste av det tilsatte vannet raskt infiltrerer jorda i vegetasjonssonene og at relativt sett veldig lite renner av på overflaten. Dette til tross for de store vannmengdene og bratt helling i forsøksfeltene. Forsøkene våre indikerer rask transport av plantevernmidler gjennom jordprofilene og ut via åpne drengrofter, makroporer eller installerte rør, og da gjerne i svært høye konsentrasjoner. Våre resultater, der infiltrert vann med høye konsentrasjoner av plantevernmidler ganske raskt ble transportert lenger unna påføringsstedet, både vertikalt og lateralt, indikerer en godt utbredt makroporestruktur i feltene. Infiltrasjonstester bekrefter også at makroporer betyr svært mye for transporten av vann i forsøksrutene våre, i både en leirholdig og en mer sandholdig jordtype. Som i andre studier, viser også våre forsøk at infiltrasjon/utlekking og transport via drengroter kan være en vel så viktig transportvei for vann og plantevernmidler som overflateavrenning. I våre forsøk ser man heller ingen stor forskjell på transporten av stoffer som er mobile versus stoffer som bindes sterkere til partikler, men dette skyldes muligens den korte oppholdstiden stoffene fikk i disse jordprofilene. Forsøkene har gitt mye ny detaljkunnskap og også gode data til bruk i modeller som både beskriver utlekking og overflateavrenning.

Dette arbeidet viser videre at vegetasjonssoner ikke nødvendigvis er effektive i å redusere tap av plantevernmidler fra sprøytete arealer og at man kanskje bør være forsiktig med å gi generelle anbefalinger om dette. Det er mange faktorer som betyr noe i forhold til om en vegetasjonssone virker etter hensikten. Vi mener at disse forsøkene illustrerer viktigheten av å ta lokale hensyn når man vurderer å etablere vegetasjonssoner mot vannforekomster og at pålegg fort kan bli for generelle og ikke nødvendigvis gi den beskyttelsen man ønsker.

Litteraturliste

- Bechmann, M., Bøe, F., Havranek, I., Stenrød, M., & Tveiti, G. (2023). Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2021–2022 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. *NIBIO Rapport Vol. 9 Nr. 9*.
- Beven, K., & Germann, P. (1982). Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, 18(5), 1311-1325. <https://doi.org/10.1029/WR018i005p01311>
- Blankenberg, A.-G. B., Skarbøvik, E., & Kværnø, S. (2017). Effekt av buffersoner - på vannmiljø og andre økosystemtjenester. *NIBIO Rapport*, 3(14).
- Bøe, F., Havranek, I., & Bechmann, M. (2024). Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2022–2023 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. *NIBIO Rapport vol. 10 nr. 14*.
- Eklo, O. M., Aspmo, R., & Lode, O. (1994). Runoff and leaching experiments of dichlorprop, MCPA, propiconazole, dimethoate and chlorosulfuron in outdoor lysimeters and field catchment areas. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 13, 7-212.
- Eklo, O. M., Boahene, N. Y., Holth, T. F., Klein, M., Dirven, H., Engeset, D., Lyche, J. L., Ruus, A., & Nilsen, A. M. (2021). Establishing the representativeness of available surface water scenarios for plant protection products in environmental risk assessment Opinion of the Panel on Plant protection Products of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM) in Norway.
- FOCUS. (2001). FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC". Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SAN-CO/4802/2001-rev.2. 245 pp.
- Fox, G. A., Malone, R., Sabbagh, G. J., & Rojas, K. (2004). Interrelationship of macropores and subsurface drainage for conservative tracer and pesticide transport [Article]. *Journal of Environmental Quality*, 33(6), 2281-2289. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.2281>
- Haddaway, N. R., Brown, C., Eggers, S., Josefsson, J., Kronvang, B., Randall, N., & Uusi-Kämppä, J. (2016). The multifunctional roles of vegetated strips around and within agricultural fields. A systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 5, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13750-016-0067-6>
- Hauken, M., Kværnø, S., Bechmann, M., Tveiti, G., & Eklo, O. M. (2015). Etablering av Kjelle jordarbeidingsforsøk. Ruteforsøk med måling av overflate-og utlekking. *Bioforsk rapport 10*(33).
- Holten, R., Bolli, R., Solbakken, E., Anstensrud, T. C., Bovim, S., Larsen, K. O., & Eklo, O. M. (2022). Plantevernmidler - Tabeller for utlekkingsrisiko av plantevernmidler til bruk ved planlegging av sprøyting. *NIBIO Rapport*, 8(166), 148.
- Holten, R., Bøe, F. N., Almvik, M., Katuwal, S., Stenrød, M., Larsbo, M., Jarvis, N., & Eklo, O. M. (2018). The effect of freezing and thawing on water flow and MCPA leaching in partially frozen soil. *Journal of Contaminant Hydrology*, 219, 72-85. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.11.003>
- Houbraken, M., Habimana, V., Senaev, D., López-Dávila, E., & Spanoghe, P. (2017). Multi-residue determination and ecological risk assessment of pesticides in the lakes of Rwanda. *Science of the Total Environment*, 576, 888-894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.127>
- Jarvis, N. J. (2007). A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality [Review]. *European Journal of Soil Science*, 58(3), 523-546. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00915.x>
- Kladivko, E. J., Brown, L. C., & Baker, J. L. (2001). Pesticide Transport to Subsurface Tile Drains in Humid Regions of North America. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31(1), 1-62. <https://doi.org/10.1080/20016491089163>
- Kværnø, S., & Bechmann, M. (2010). Transport av jord og næringsstoffer i overflate- og grøftevann. Sammenstilling av resultater fra rutefelter og småfelter i Norge. *Bioforsk rapport*, 5.
- Larsbo, M., Sandin, M., Jarvis, N., Etana, A., & Kreuger, J. (2016). Surface Runoff of Pesticides from a Clay Loam Field in Sweden. *Journal of Environmental Quality*, 45(4), 1367-1374. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.10.0528>
- Lassabatère, L., Angulo-Jaramillo, R., Ugalde, J. M. S., Cuenca, R., Braud, I., & Haverkamp, R. (2006). Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments -: BEST. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 521-532. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0026>
- Lewis, K., Tzilivakis, J., Warner, D. J., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment*, 22(4), 1050-1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>
- Lågbu, R., Nyborg, Å. A., & Svendgård-Stokke, S. (2018). Jordsmonnstatistikk Norge. *NIBIO Rapport*, 4(13).
- Mattilsynet. (2020). Veileder om vegeterte buffersoner mot plantevernmidler i overflatevann - Versjon 1.1. Meter Group. (2023). *Mini Disk Infiltrometer. Unsaturated hydraulic conductivity*. Retrieved 07.11.2023 from <https://www.metergroup.com/en/meter-environment/products/mini-disk-infiltrometer-unsaturated-hydraulic-conductivity>

- NZSC. (2023). Guidance document on work-sharing in the Northern zone in the authorisation of Plant Protection Products. Version 11, July 2023.
- Petersen, C. T., Nielsen, M. H., Hansen, S., Abrahamsen, P., & Bender Koch, C. (2013). Undersøgelse af makroporekontinuitet ved markdræn og effekter af direkte forbundne makroporer på jords filterfunktion. *Bekæmpelsesmiddelforskning*, 144.
- Petersen, K., Stenrød, M., Odenmarck, S. R., Fredriksen, L., Gomes, T., Backhaus, T., & Tollefsen, K.-E. (2015). Exposure and toxicity of mixtures of plant protection products (PPPs) in the environment under Norwegian conditions. Evaluation of a cumulative environmental risk assessment of PPPs. *NIVA-rapport*, 6830, 46.
- Prosser, R. S., Hoekstra, P. F., Gene, S., Truman, C., White, M., & Hanson, M. L. (2020). A review of the effectiveness of vegetated buffers to mitigate pesticide and nutrient transport into surface waters from agricultural areas. *Journal of Environmental Management*, 261, 110210. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110210>
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., & Frede, H.-G. (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. *Science of the Total Environment*, 384(1), 1-35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.046>
- Riise, G., Lundekvam, H., Wu, Q. L., Haugen, L. E., & Mulder, J. (2004). Loss of Pesticides from Agricultural Fields in SE Norway – Runoff Through Surface and Drainage Water. *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2), 269-276. <https://doi.org/10.1023/B:EGAH.0000039590.84335.d6>
- Riise, G., Wu, Q., Lundekvam, H., Haugen, L. E., & Mulder, J. (2006). Suspended sediments as carriers for the fungicide propiconazole in agricultural runoff. *SIL Proceedings, 1922-2010*, 29(3), 1296–1300. <https://doi.org/10.1080/03680770.2005.11902891>
- Shipitalo, M. J., & Gibbs, F. (2000). Potential of earthworm burrows to transmit injected animal wastes to tile drains. *Soil Science Society of America Journal*, 64(6), 2103-2109. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462103x>
- Stehle, S., & Schulz, R. (2015). Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5750-5755. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500232112>
- Syversen, N. (2002). Effect of a cold-climate buffer zone on minimising diffuse pollution from agriculture [Article; Proceedings Paper]. *Water Science and Technology*, 45(9), 69-76. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0207>
- Syversen, N. (2005). Cold-climate vegetative buffer zones as pesticide-filters for surface runoff. *Water Science and Technology*, 51(3-4), 63-71. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0576>
- Syversen, N., & Bechmann, M. (2004). Vegetative buffer zones as pesticide filters for simulated surface runoff. *Ecological Engineering*, 22(3), 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.05.002>
- Watson, K. W., & Luxmoore, R. J. (1986). Estimating Macroporosity in a Forest Watershed by use of a Tension Infiltrometer¹. *Soil Science Society of America Journal*, 50(3), 578-582. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000030007x>
- WRB. (2006). World Reference Base for Soil Resources.
- Zhang, X., Liu, X., Zhang, M., Dahlgren, R. A., & Eitzel, M. (2010). A review of vegetated buffers and a meta-analysis of their mitigation efficacy in reducing nonpoint source pollution. *J Environ Qual*, 39(1), 76-84. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0496>

6 Vedlegg

6.1 Bakgrunnskonsentrasjon av plantevernmidler i jordprøver

Tabell 15: Bakgrunnskonsentrasjon av plantevernmidler i jord fra de ulike rutene fra forsøk utført i 2020.

	Konsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tørrstoff)							
	Clopyralid	MCPA	Benzovindiflupyr	Prothioconazole	Trifloxystrobin	Fluroxypyr	Fluroxypyr-meptyl	
Rute 1, 0-20 cm	i.p	40.84	2536.55	14.78	3.46	5.83		4.34
Std. avvik	-	2.50	413.09	1.97	1.86	3.87		2.01
Rute 1, 20-40 cm	i.p	48.76	1449.60	5.34	3.71	1.19		2.57
Std. avvik	-	2.11	487.27	1.58	1.73	1.69		0.99
Rute 1, 40-60 cm	0.51	9.07	250.51	i.p	i.p	i.p		0.13
Std. avvik	0.18	0.40	24.67	-	-	-		0.04
Rute 1, 60-80 cm	1.29	3.90	17.96	i.p	0.68	i.p		0.76
Std. avvik	0.48	0.09	12.39	-	0.96	-		0.94
Rute 2, 0-20 cm	i.p	145.83	2542.38	4.42	18.44	6.62		2.42
Std. avvik	-	45.99	384.79	3.19	3.48	0.68		0.87
Rute 2, 20-40 cm	i.p	52.66	228.64	i.p	2.78	0.13		0.24
Std. avvik	-	2.05	49.67	-	0.27	0.18		0.23
Rute 2, 40-60 cm	1.06	21.09	25.63	i.p	0.21	i.p		0.06
Std. avvik	0.10	1.67	20.79	-	0.17	-		0.08
Rute 2, 60-80 cm	1.52	9.28	9.28	i.p	0.57	i.p		0.37
Std. avvik	1.01	0.43	0.72	-	0.66	-		0.26
Rute 3, 0-20 cm	i.p	77.22	2081.55	i.p	5.41	5.17		5.17
Std. avvik	-	24.48	372.42	-	0.72	1.99		2.03
Rute 3, 20-40 cm	i.p	36.16	465.80	i.p	1.57	0.04		1.27
Std. avvik	-	3.72	81.51	-	0.52	0.06		0.80
Rute 3, 40-60 cm	i.p	10.24	103.00	i.p	0.10	i.p		0.56
Std. avvik	-	0.80	17.40	-	0.14	-		0.15
Rute 3, 60-80 cm	i.p	14.37	71.13	i.p	7.50	i.p		0.76
Std. avvik	-	0.04	39.09	-	5.17	-		0.59
Rute 4, 0-20 cm	i.p	48.91	829.02	2.31	20.65	0.93		1.51
Std. avvik	-	24.76	154.28	2.14	10.15	0.39		1.02
Rute 4, 20-40 cm	i.p	81.94	1174.06	8.76	9.49	2.45		3.96
Std. avvik	-	3.11	69.29	2.23	3.21	1.64		1.06
Rute 4, 40-60 cm	i.p	25.84	649.58	1.31	6.15	i.p		1.47
Std. avvik	-	2.70	126.44	1.85	5.95	-		0.38
Rute 4, 60-80 cm	i.p	12.09	205.79	i.p	3.75	i.p		0.84
Std. avvik	-	1.56	38.83	-	2.02	-		0.17

6.2 Oppsamling av vann

6.2.1 Feltforsøk 2021

Rute 1

Tabell 16: Mengde oppsamlet vann fra rute 1.

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 1-1	30	10:40	25	2.6
	R 1-1	30	10:52	37	4.4
	R 1-1	30	11:04	49	4.8
	R 1-1	30	11:18	63	4.8
	R 1-1	30	11:49	94	4.8
	R 1-1	30	11:53	98	5.0
	R 1-1	30	12:12	117	4.6
	R 1-1	30	12:33	138	5.4
	R 1-1	30	12:49	154	4.3
	R 1-1	30	13:11	176	5.4
	R 1-1	30	13:28	193	4.5
	R 1-1, makropore	30	13:36	201	4.5
	R 1-1	30	13:48	213	4.8
	R 1-1, makropore	30	13:57	222	4.5
	R 1-1	30	14:08	233	4.7
Rute 1, rør 1	R 1-1, makropore	30	14:13	238	4.2
	R 1-1	30	14:35	260	5.4
	R 1-1, makropore	30	14:40	265	5.2
	R 1-1, makropore	30	14:58	283	4.6
	R 1-1	30	15:00	285	4.6
	R 1-1, makropore	30	15:14	299	4.6
	R 1-1, makropore	30	15:28	313	4.6
	R 1-1, makropore	30	16:01	346	4.8
	R 1-1	30	16:09	354	5.0
	R 1-1, makropore	30	16:28	373	3.8
	R 1-1	30	16:41	386	1.0
	R 1-1, makropore	30	16:43	388	0.4
	Total mengde oppsamlet				117.3
	Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				14
	R 1-2	30	10:45	30	2.6
	R 1-2	30	10:55	40	4.4
	R 1-2	30	11:05	50	5.4
	R 1-2	30	11:15	60	5.3
	R 1-2	30	11:23	68	4.8
Rute 1, rør 2	R 1-2	30	11:34	79	5

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 1-2	30	11:43	88	5
	R 1-2	30	11:53	98	5.1
	R 1-2	30	12:10	115	5.6
	R 1-2	30	12:24	129	5.1
	R 1-2	30	12:34	139	5.4
	R 1-2	30	12:44	149	5.2
	R 1-2	30	12:53	158	4.7
	R 1-2	30	13:04	169	5.3
	R 1-2	30	13:13	178	5.4
	R 1-2	30	13:20	185	5.5
	R 1-2	30	13:27	192	5.4
	R 1-2	30	13:34	199	5.2
	R 1-2	30	13:40	205	5.3
	R 1-2	30	13:47	212	5.5
	R 1-2	30	13:52	217	5.4
	R 1-2	30	14:00	225	5.2
	R 1-2	30	14:05	230	4.7
	R 1-2	30	14:11	236	4.7
	R 1-2	30	14:17	242	5.2
	R 1-2	30	14:29	254	5.6
	R 1-2	30	14:36	261	5.6
	R 1-2	30	14:43	268	5.4
	R 1-2	30	14:49	274	5.6
	R 1-2	30	14:56	281	5.2
	R 1-2	30	15:02	287	5.1
	R 1-2	30	15:08	293	5.4
	R 1-2	30	15:17	302	5.5
	R 1-2	30	15:23	308	5.4
	R 1-2	30	15:30	315	5.7
	R 1-2	30	15:36	321	5.4
	R 1-2	30	15:38	323	5.4
	R 1-2	30	15:43	328	5.4
	R 1-2	30	15:51	336	5.4
	R 1-2	30	15:56	341	5.5
	R 1-2	30	16:02	347	5.3
	R 1-2	30	16:08	353	5.3
	R 1-2	30	16:19	364	4.5
	R 1-2	30	16:43	388	1.1
Total mengde oppsamlet					224.2
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					26
Rute 1, rør 5	R 1-5, makropore	60	13:13	178	4.6
Total mengde oppsamlet					4.6
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					0.5
Rute 1, rør 8	R 1-8, makropore	80	12:47	152	2.4
	R 1-8, makropore	80	13:24	189	1.1
	R 1-8	80	13:50	215	4

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 1-8, makropore	80	15:35	320	4.1
	R 1-8, makropore	80	15:46	331	4.3
	R 1-8	80	16:14	359	4.9
	R 1-8, makropore	80	16:40	385	1.6
Total mengde oppsamlet					22.4
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					3
Rute 1, drenerør	R 1-10	80	11:21	66	4.2
	R 1-10	80	11:45	90	8.1
	R 1-10	80	11:58	103	4.4
	R 1-10	80	12:26	131	9.2
	R 1-10	80	12:38	143	4.1
	R 1-10	80	12:59	164	9.2
	R 1-10	80	13:13	178	4.3
	R 1-10	80	13:41	206	8.0
	R 1-10	80	13:53	218	4.1
	R 1-10	80	14:25	250	8.6
	R 1-10	80	14:44	269	4.1
	R 1-10	80	15:26	311	9.3
	R 1-10	80	15:49	334	4.9
	R 1-10	80	16:23	368	8.3
	R 1-10	80	17:16	421	4.4
Total mengde oppsamlet					95.2
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					12
Total mengde oppsamlet fra rute 1 (kg)					463.7
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt (%)					54

Rute 2

Tabell 17: Mengde oppsamlet vann fra rute 2.

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 2-2, makropore	30	10:40	25	2.6
	R 2-2, makropore	30	10:49	34	4.4
	R 2-2, makropore	30	10:56	41	4.8
Rute 2, rør 2	R 2-2, makropore	30	11:03	48	4.8
	R 2-2, makropore	30	11:11	56	5.0
	R 2-2, makropore	30	11:19	64	5.0
	R 2-2, makropore	30	11:26	71	4.7

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 2-2, makropore	30	11:33	78	3.8
	R 2-2, makropore	30	11:41	86	4.7
	R 2-2, makropore	30	11:51	96	5.1
	R 2-2, makropore	30	12:05	110	4.9
	R 2-2, makropore	30	12:10	115	5.5
	R 2-2, makropore	30	12:23	128	5.1
	R 2-2, makropore	30	12:25	130	5.1
	R 2-2, makropore	30	12:36	141	5.4
	R 2-2, makropore	30	12:45	150	4.6
	R 2-2, makropore	30	12:52	157	4.7
	R 2-2, makropore	30	13:00	165	4.7
	R 2-2, makropore	30	13:10	175	5.4
	R 2-2, makropore	30	13:18	183	4.9
	R 2-2, makropore	30	13:30	195	5.2
	R 2-2, makropore	30	13:38	203	4.7
	R 2-2, makropore	30	13:44	209	5.1
	R 2-2, makropore	30	13:54	219	5.2
	R 2-2, makropore	30	14:07	232	4.7
	R 2-2, makropore	30	14:15	240	4.2
	R 2-2, makropore	30	14:27	252	5.4
	R 2-2, makropore	30	14:35	260	5.0
	R 2-2, makropore	30	14:38	263	5.6
	R 2-2, makropore	30	14:44	269	4.6
	R 2-2, makropore	30	14:52	277	5.2
	R 2-2, makropore	30	15:01	286	5.1
	R 2-2, makropore	30	15:53	338	3.2
Total mengde oppsamlet					158.4
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					18
Rute 2, overflatevann	R 2-10		12:36	141	4.7
	R 2-10		13:42	207	4.5

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 2-10		13:51	216	4.5
	R 2-10		13:59	224	4.6
	R 2-10		14:08	233	4.7
	R 2-10		14:17	242	4.9
	R 2-10		14:30	255	5.7
	R 2-10		14:49	274	5.6
	R 2-10		14:58	283	4.6
	R 2-10		15:17	302	3.7
Total mengde oppsamlet					47.5
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					6
	R 2-10, makropore		11:07	52	5.3
	R 2-10, makropore		11:18	63	5.4
	R 2-10, makropore		11:25	70	5.1
	R 2-10, makropore		11:36	81	8.4
	R 2-10, makropore		11:42	87	5.0
	R 2-10, makropore		12:00	105	9.0
	R 2-10, makropore		12:15	120	4.7
	R 2-10, makropore		12:23	128	8.9
	R 2-10, makropore		12:36	141	5.4
	R 2-10, makropore		12:38	143	5.0
	R 2-10, makropore		12:45	150	4.9
Rute 2, front	R 2-10, makropore		12:55	160	5.2
	R 2-10, makropore		13:05	170	4.9
	R 2-10, makropore		13:09	174	8.4
	R 2-10, makropore		13:15	180	4.9
	R 2-10, makropore		13:25	190	5.0
	R 2-10, makropore		13:29	194	4.4
	R 2-10, makropore		14:02	227	7.8
	R 2-10, makropore		14:24	249	5.4
	R 2-10, makropore		14:42	267	9.5
	R 2-10, makropore		14:57	282	5.2
	R 2-10, makropore		15:16	301	3.6
Total mengde oppsamlet					131.3

Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				15
Total mengde oppsamlet fra rute 2 (kg)				337.2
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt (%)				39

Rute 3

Tabell 18: Mengde oppsamlet vann fra rute 3.

Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)	
Rute 3, rør 4	R 3-4	60	12:15	158	1.7
	R 3-4	60	12:22	165	2.8
	R 3-4	60	12:40	183	4.8
	R 3-4	60	13:02	205	5.3
	R 3-4	60	13:26	229	5.0
	R 3-4	60	13:42	245	4.5
	R 3-4	60	13:59	262	4.6
	R 3-4	60	14:17	280	5.0
	R 3-4	60	14:39	302	4.6
	R 3-4	60	15:00	323	0.2
Total mengde oppsamlet				38.5	
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				4	
Rute 3, rør 5	R 3-5	60	13:03	206	5.3
	R 3-5	60	13:37	240	5.1
	R 3-5	60	14:16	279	5.0
	R 3-5	60	14:59	322	2.3
Total mengde oppsamlet				17.7	
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				2	
Rute 3, rør 7	R 3-7	80	10:36	59	4.6
	R 3-7, makropore	80	10:48	71	1.5
	R 3-7	80	10:55	78	4.5
	R 3-7, makropore	80	11:10	93	2.4
	R 3-7	80	11:16	99	4.7
	R 3-7, makropore	80	11:26	109	4.3
	R 3-7	80	11:34	117	4.7
	R 3-7	80	11:50	133	4.9
	R 3-7, makropore	80	11:52	135	2.0
	R 3-7	80	12:02	145	4.4
	R 3-7	80	12:10	153	4.4
	R 3-7, makropore	80	12:13	156	3.9
	R 3-7	80	12:19	162	5.1
	R 3-7, makropore	80	12:19	162	1.8

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 3-7	80	12:33	176	9.2
	R 3-7	80	12:44	187	4.8
	R 3-7	80	13:02	205	10.6
	R 3-7	80	13:15	218	5.6
	R 3-7, makropore	80	13:35	238	3.4
	R 3-7	80	13:35	238	9.8
	R 3-7	80	13:44	247	4.5
	R 3-7	80	14:04	267	9.6
	R 3-7	80	14:15	278	5.0
	R 3-7, makropore	80	14:15	278	3.7
	R 3-7	80	14:39	302	10.5
	R 3-7, makropore	80	15:09	332	2.0
	R 3-7	80	15:23	346	5.2
	R 3-7	80	16:03	386	2.3
Total mengde oppsamlet					139.4
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					15
	R 3-8, makropore	80	11:31	114	3.7
	R 3-8, makropore	80	11:56	139	4.7
	R 3-8	80	11:59	142	4.7
	R 3-8	80	12:06	149	5.5
	R 3-8, makropore	80	12:07	150	5.5
	R 3-8, makropore	80	12:14	157	4.8
	R 3-8	80	12:15	158	4.5
	R 3-8, makropore	80	12:21	164	4.3
	R 3-8, makropore	80	12:25	168	4.4
	R 3-8	80	12:28	171	4.4
	R 3-8, makropore	80	12:39	182	3.7
	R 3-8	80	12:46	189	4.7
	R 3-8, makropore	80	12:48	191	4.7
	R 3-8, makropore	80	13:00	203	4.8
	R 3-8, makropore	80	13:08	211	4.0
	R 3-8	80	13:16	219	9.9
	R 3-8, makropore	80	13:18	221	3.6
	R 3-8, makropore	80	13:29	232	4.4
	R 3-8	80	13:30	233	4.4
	R 3-8, makropore	80	13:42	245	5.1
	R 3-8, makropore	80	13:50	253	4.0

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 3-8	80	13:55	258	8.6
	R 3-8, makropore	80	14:02	265	4.6
	R 3-8	80	14:08	271	4.5
	R 3-8, makropore	80	14:12	275	4.5
	R 3-8, makropore	80	14:22	285	3.9
	R 3-8, makropore	80	14:38	301	5.2
	R 3-8	80	14:41	304	9.7
	R 3-8	80	15:03	326	4.8
	R 3-8, makropore	80	15:26	349	4.1
	R 3-8	80	16:03	386	3.5
	R 3-8, makropore	80	16:03	386	0.7
Total mengde oppsamlet					153.9
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					17
Rute 3, rør 9	R 3-9	80	12:09	152	4.4
	R 3-9	80	12:18	161	4.5
	R 3-9	80	12:47	190	4.7
	R 3-9	80	13:20	223	5.0
	R 3-9	80	13:56	259	4.6
	R 3-9	80	14:33	296	4.3
	R 3-9	80	15:17	340	2.0
	R 3-9	80	16:03	386	0.7
Total mengde oppsamlet					30.2
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					3
Total mengde oppsamlet fra rute 3 (kg)					379.7
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt (%)					41

Rute 4

Tabell 19: Mengde oppsamlet vann fra rute 4.

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
Rute 4, rør 4	R 4-4, makropore	60	10:33	56	4.2
	R 4-4, makropore	60	10:56	79	4.4
	R 4-4	60	10:56	79	5.0
	R 4-4, makropore	60	11:09	92	4.4
	R 4-4	60	11:20	103	4.7
	R 4-4, makropore	60	11:24	107	4.7
	R 4-4, makropore	60	11:42	125	4.7

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 4-4	60	11:55	138	5.3
	R 4-4, makropore	60	12:05	148	4.3
	R 4-4	60	12:11	154	4.6
	R 4-4, makropore	60	12:14	157	3.9
	R 4-4	60	12:25	168	4.4
	R 4-4, makropore	60	12:34	177	3.7
	R 4-4	60	12:44	187	4.8
	R 4-4	60	12:59	202	4.7
	R 4-4, makropore	60	13:00	203	4.7
	R 4-4, makropore	60	13:18	221	4.9
	R 4-4	60	13:19	222	5.0
	R 4-4, makropore	60	13:34	237	4.4
	R 4-4	60	13:37	240	5.1
	R 4-4, makropore	60	13:49	252	4.0
	R 4-4	60	13:53	256	4.6
	R 4-4, makropore	60	14:05	268	4.6
	R 4-4	60	14:12	275	4.5
	R 4-4, makropore	60	14:22	285	3.9
	R 4-4	60	14:30	293	4.9
	R 4-4, makropore	60	14:40	303	4.6
	R 4-4	60	15:24	347	4.1
	R 4-4, makropore	60	15:33	356	3.2
	Total mengde oppsamlet				127.1
	Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				15
Rute 4, rør 5	R 4-5, makropore	60	10:57	80	4.4
	R 4-5, makropore	60	11:13	96	4.3
	R 4-5, makropore	60	11:37	120	4.7
	R 4-5, makropore	60	12:00	143	4.4
	R 4-5, makropore	60	12:03	146	4.8
	R 4-5	60	12:10	153	4.1
	R 4-5, makropore	60	12:22	165	4.3
	R 4-5, makropore	60	12:40	183	4.8
	R 4-5, makropore	60	13:00	203	5.8
	R 4-5	60	13:15	218	4.0

	Prøve ID	Rør- dybde (cm)	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
	R 4-5, makropore	60	13:18	221	5.0
	R 4-5	60	13:20	223	4.4
	R 4-5, makropore	60	13:37	240	5.1
	R 4-5, makropore	60	13:53	256	4.6
	R 4-5, makropore	60	14:12	275	4.5
	R 4-5, makropore	60	14:28	291	4.9
	R 4-5, makropore	60	14:59	322	3.8
	R 4-5	60	15:03	326	0.7
	R 4-5, makropore	60	16:04	387	0.7
Total mengde oppsamlet					79.3
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					9
Rute 4, rør 7	R 4-7	80	11:45	128	1.0
	R 4-7	80	12:44	187	1.8
	R 4-7	80	13:45	248	2.7
	R 4-7	80	14:13	276	2.3
	R 4-7	80	15:30	353	4.1
	R 4-7	80	16:03	386	0.7
Total mengde oppsamlet					12.6
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					1
Rute 4, rør 8	R 4-8	80	12:45	188	2.3
	R 4-8	80	13:17	220	5.0
	R 4-8	80	13:46	249	4.8
	R 4-8	80	14:06	269	3.0
	R 4-8	80	14:37	300	5.2
	R 4-8	80	15:33	356	4.1
Total mengde oppsamlet					24.4
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt					3
Total mengde oppsamlet fra rute 4 (kg)					246.6
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt (%)					29

6.2.1.1 Teoretisk konsentrasjon av tilsatte plantevernmidler og faktisk konsentrasjon i tankene

Tabell 20: Målt konsentrasjon av MCPA, clopyralid og benzovindiflupyr i prøver fra tankene med plantevernmiddeletløsningen i feltforsøket 2021 i forhold til den teoretiske/nominelle konsentrasjonen.

	MCPA (mg/L)		Clopyralid (mg/L)		Benzovindiflupyr (mg/L)	
	Konsentrasjon målt i tanken	% av teoretisk/nominell konsentrasjon	Konsentrasjon målt i tanken	% av teoretisk/nominell konsentrasjon	Konsentrasjon målt i tanken	% av teoretisk/nominell konsentrasjon
Rute 1	611,5	61,2	57,4	57,4	48,1	51,3

Rute 2	1013,7	101,4	105,6	105,6	86,4	92,2
Rute 3	940,0	94,0	94,9	94,9	65,1	69,4
Rute 4	1017,6	101,8	96,1	96,1	99,7	106,4

6.2.2 Feltforsøk 2022

Rute 1

Tabell 21: Mengde oppsamlet vann fra rute 1 fra forsøk med simulert overflateavrenning.

	Prøve ID	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
Rute 1, overflatevann	1	13:00	160	19.8
	2	14:40	260	18.5
	3	15:13	293	16.9
	4	16:15	355	14.2
Total mengde oppsamlet				69.4
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				7.2
Rute 1, makropore (70 cm)	5	13:47	207	9.1
	6	13:56	216	1.2
Total mengde oppsamlet				10.3
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				1.1
Rute 1, makropore (50 cm)	7	13:50	210	2.2
Total mengde oppsamlet				2.2
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				0.2
Total mengde oppsamlet fra rute 1 (kg)				81.9
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt (%)				8.5

Rute 2

Tabell 22: Mengde oppsamlet vann fra rute 2 fra forsøk med simulert overflateavrenning.

	Prøve ID	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
Rute 2, overflatevann	8	12:28	128	21.5
	9	12:54	154	20.7
	10	13:24	184	23.8
	11	13:45	205	18.7
	12	14:08	228	20.4
	13	14:30	250	18.4
	14	14:55	275	19.2
	15	15:19	299	19.1
	16	15:42	322	19.6
	17	15:58	338	19.2
	18	16:13	353	20.3
	19	16:37	377	11.0

	Prøve ID	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
Total mengde oppsamlet				231.9
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				23.5
Rute 1, makropore (70 cm)	20	14:34	254	3.7
Total mengde oppsamlet				3.7
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				0.4
Total mengde oppsamlet fra rute 2 (kg)				235.6
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt (%)				23.9

Rute 3

Tabell 23: Mengde oppsamlet vann fra rute 3 fra forsøk med simulert overflateavrenning.

	Prøve ID	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
Rute 3, overflatevann	21	13:54	204	23.5
	22	14:05	215	10.1
	23	14:27	237	17.5
	24	14:37	247	10.3
	25	14:48	258	19.6
	26	14:59	269	9.6
	27	15:40	310	18.0
	28	15:49	319	10.8
	29	15:57	327	10.2
	30	16:13	343	23.4
	31	16:20	350	10.3
	32	16:39	369	15.4
Total mengde oppsamlet				178.7
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				18.3
Total mengde oppsamlet fra rute 3 (kg)				178.7
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt (%)				18.3

Rute 4

Tabell 24: Mengde oppsamlet vann fra rute 4 fra forsøk med simulert overflateavrenning.

	Prøve ID	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
Rute 4, overflatevann	34	15:55	323	20.6
	35	16:04	332	10
	36	16:21	349	20.1
	37	16:32	360	11
	38	16:50	378	22.8
	39	17:11	399	17.3
Total mengde oppsamlet				101.8

	Prøve ID	Tid	Akkumulert tid (min)	Mengde oppsamlet vann (kg)
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				10.4
Rute 4, makropore (50 cm)	40	14:51	259	5.4
Total mengde oppsamlet				5.4
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				0.6
Rute 4, drenerør (85 cm)	41	11:52	80	22.4
	42	12:22	110	19.3
	43	12:43	131	18.7
	44	13:05	153	20.7
	45	13:28	176	20.1
	46	13:54	202	22
	47	14:17	225	20.4
	48	14:39	247	19.4
	49	15:00	268	19.4
	50	15:38	306	19.1
	51	16:01	329	19.3
	52	16:24	352	21.9
	53	16:45	373	19.8
	54	17:04	392	18.6
	55	17:32	420	13.3
Total mengde oppsamlet				294.4
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt				30.2
Total mengde oppsamlet fra rute 4 (kg)				401.6
Total mengde oppsamlet i prosent av tilsatt (%)				41.2

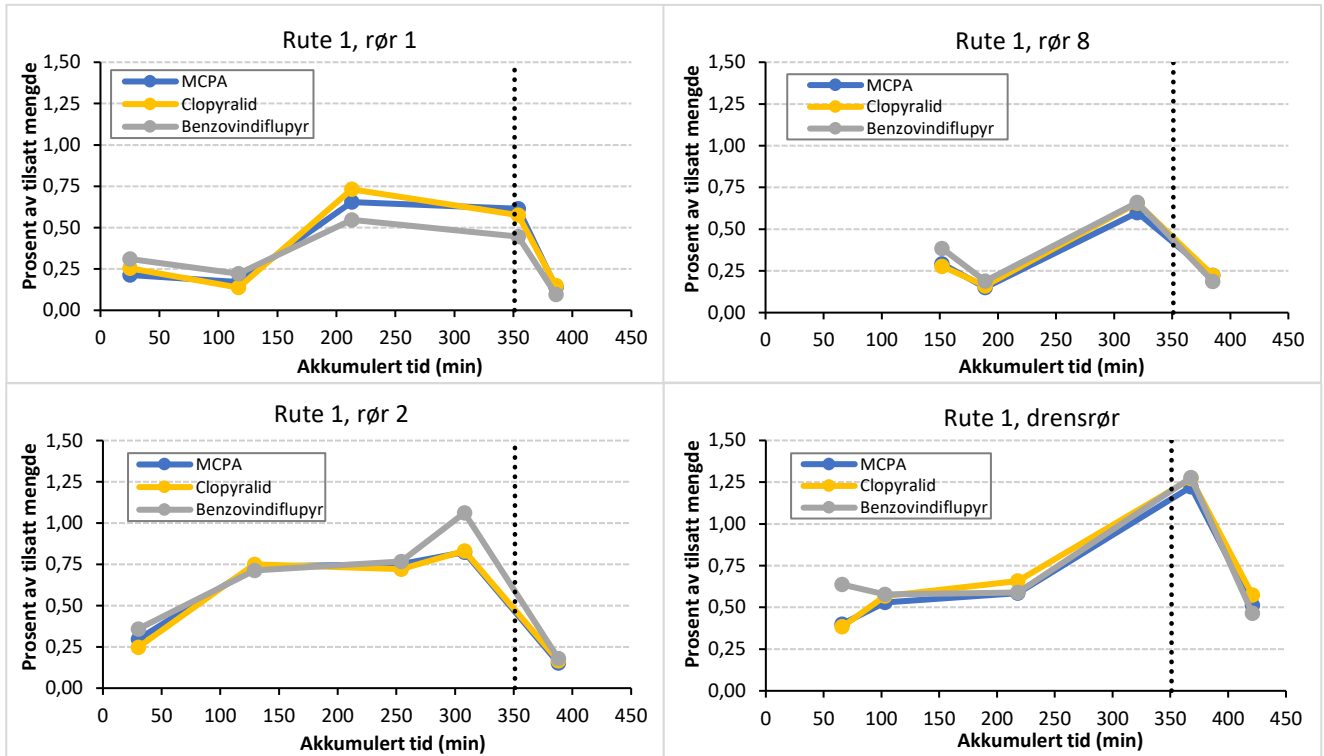
6.2.3 Oppsummering resultater akkumulert mengde i % av tilsatt mengde

Tabell 25: Oppsummering av akkumulert mengde i % av tilsatt mengde for MCPA, clopyralid, benzovindiflupyr og bromid fra feltforsøkene 2021 og 2022 for prøvene fra overflateavrenning, drenerør og makroporer/matriks.

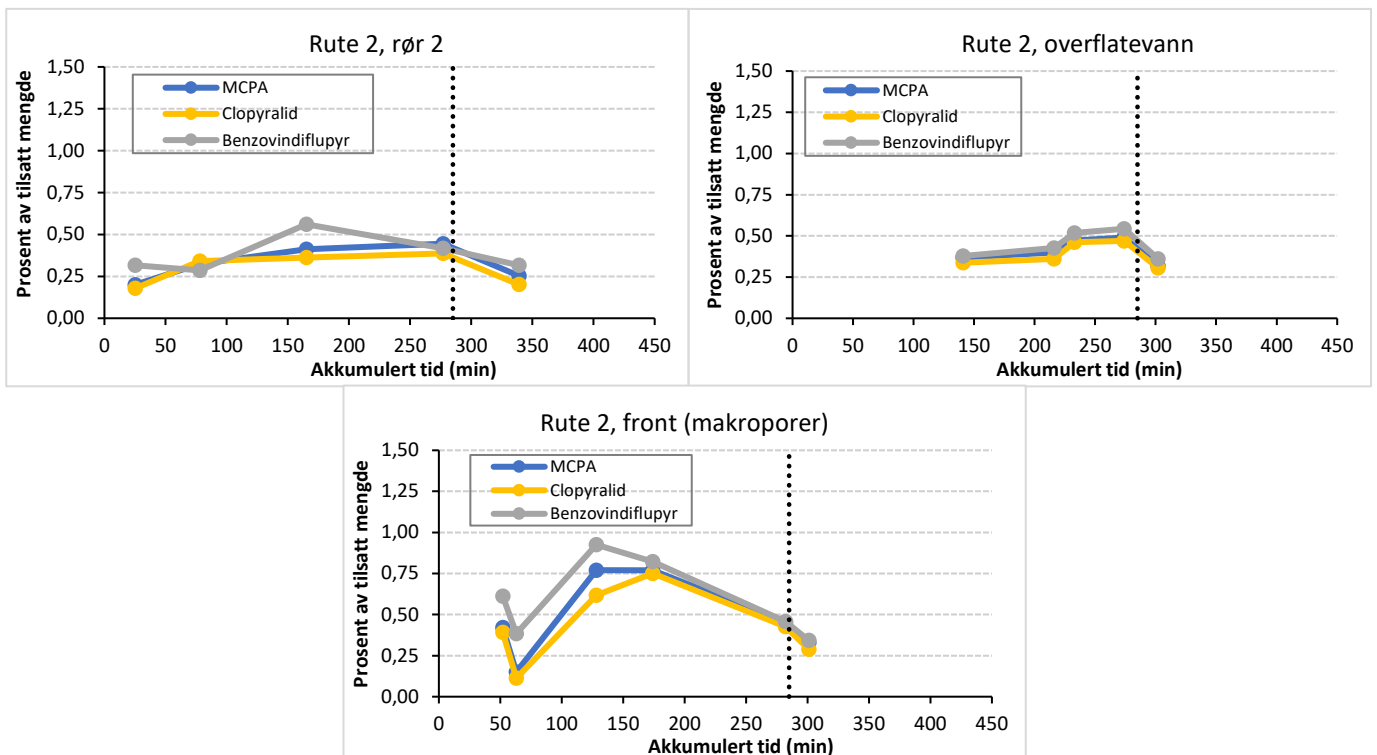
		MCPA		Clopyralid		Benzovindiflupyr		Bromid
		2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021
Overflate-avrenning	Gjennomsnitt	2	11.1	1.9	11.1	2.2	10.3	1.6
	Standardavvik		5.15		5.08		5.11	
	Antall oppsamlingspunkter	1	4	1	4	1	4	1
Drenerør	Gjennomsnitt	3.2	15.2	3.5	16.4	3.5	10.6	3
	Antall oppsamlingspunkter	1	1	1	1	1	1	1
Makroporer/ matriks	Gjennomsnitt	1.6		1.6		1.9		1.4
	Standardavvik	0.64		0.55		0.83		0.55
	Antall oppsamlingspunkter	14		14		14		14

6.2.4 Utvikling av oppsamlet mengde i forhold til tilsatt mengde

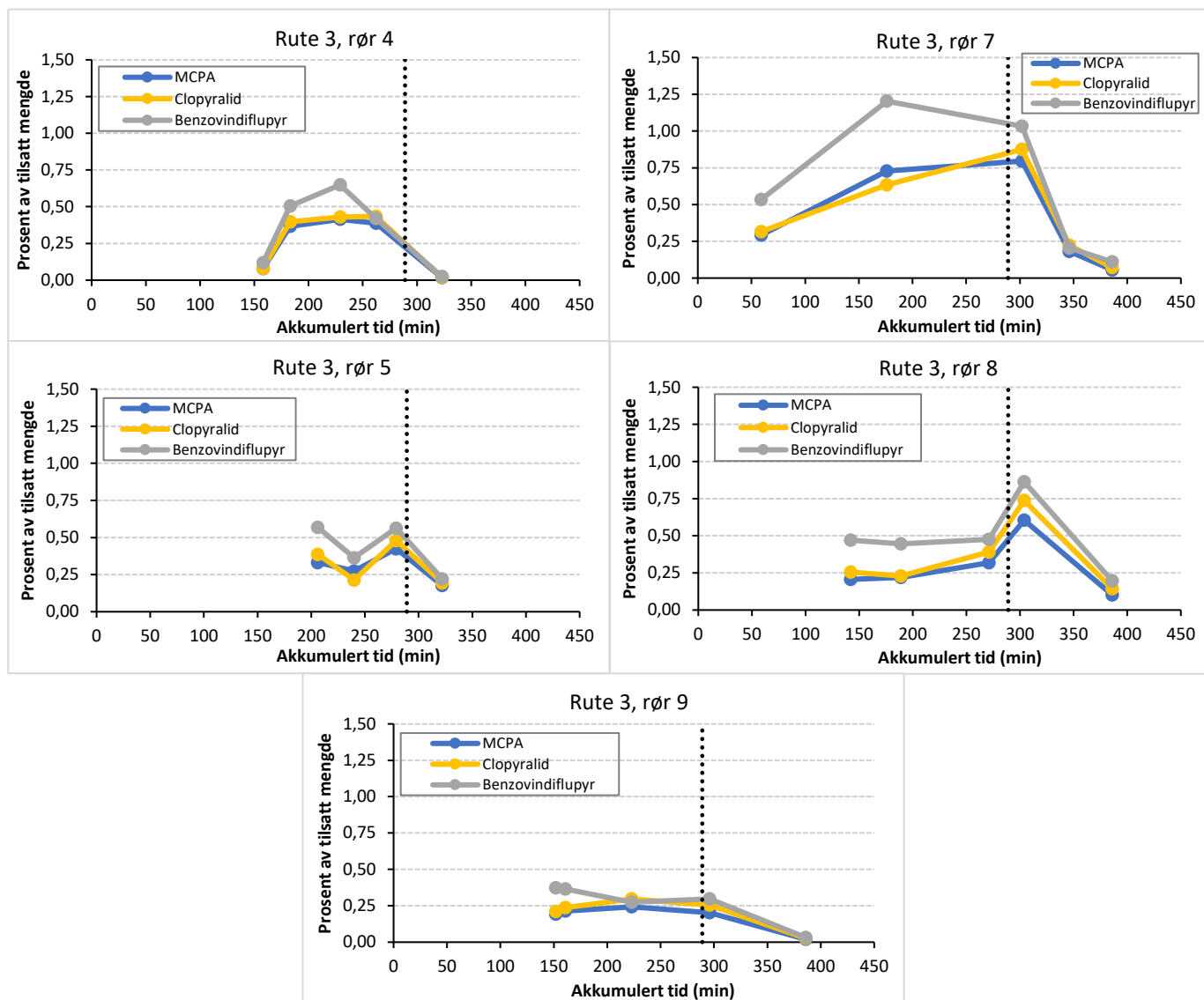
6.2.4.1 Feltforsøk 2021



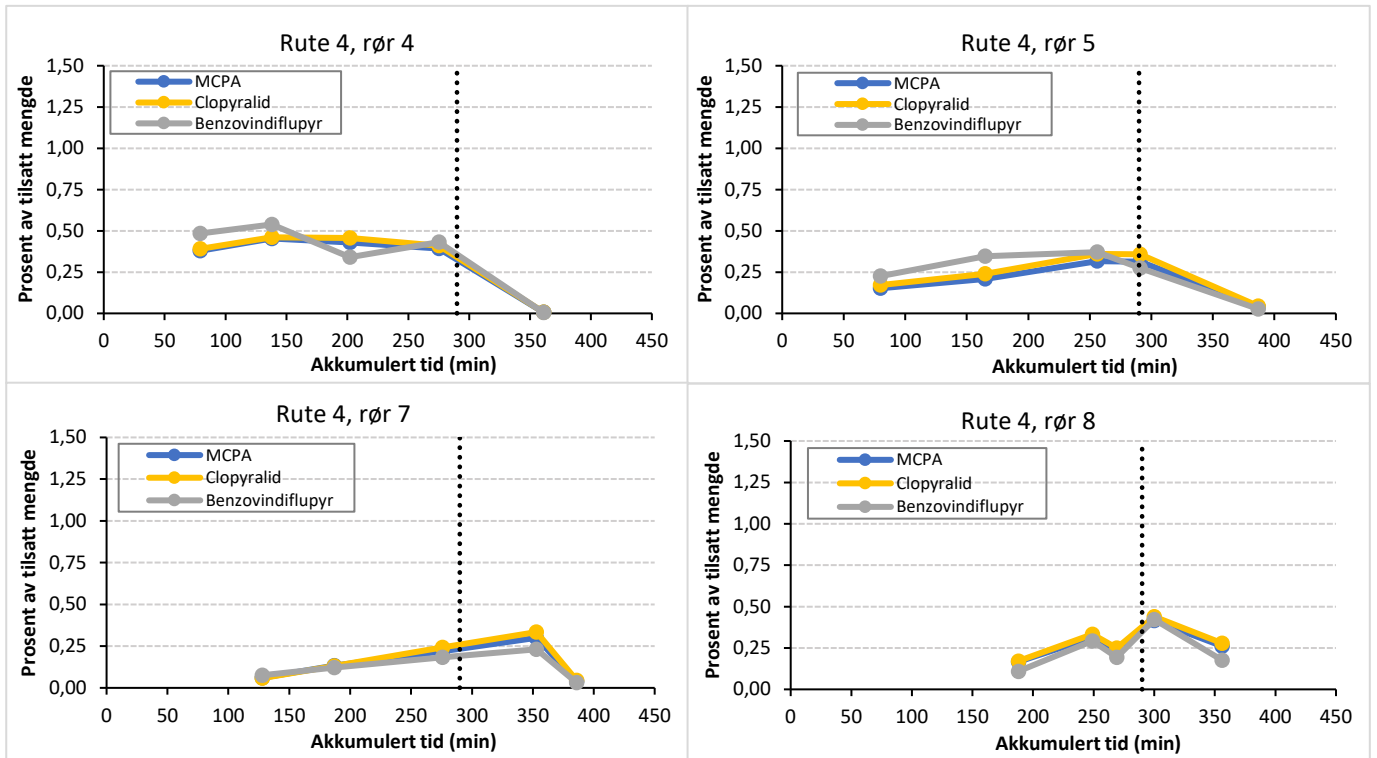
Figur 30: Utvikling av målt mengde (i prosent av tilsatt mengde) over tid for tre utvalgte plantevernmidler i rute 1. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.



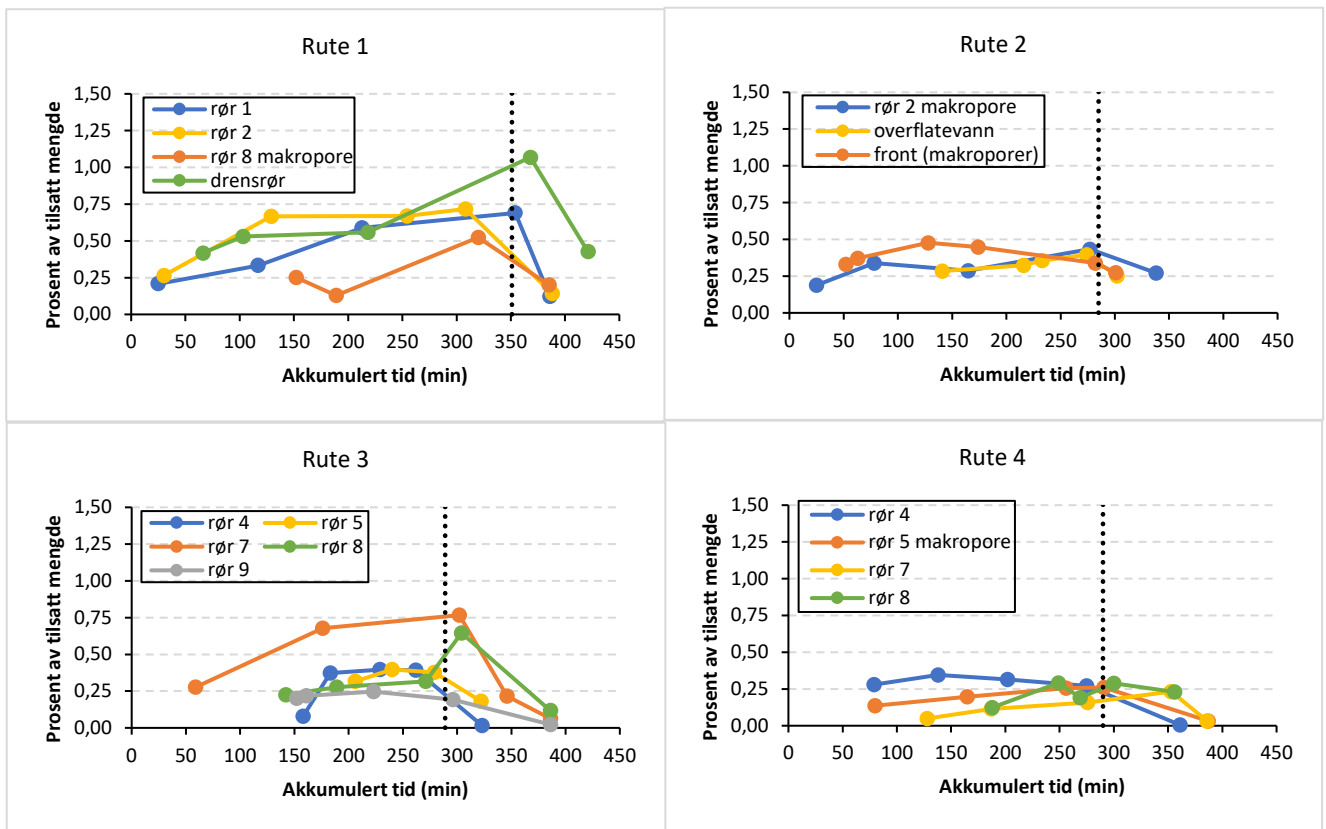
Figur 31: Utvikling av målt mengde (i prosent av tilsatt mengde) over tid for tre utvalgte plantevernmidler i rute 2. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.



Figur 32: Utvikling av målt mengde (i prosent av tilsatt mengde) over tid for tre utvalgte plantevernmidler i rute 3. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

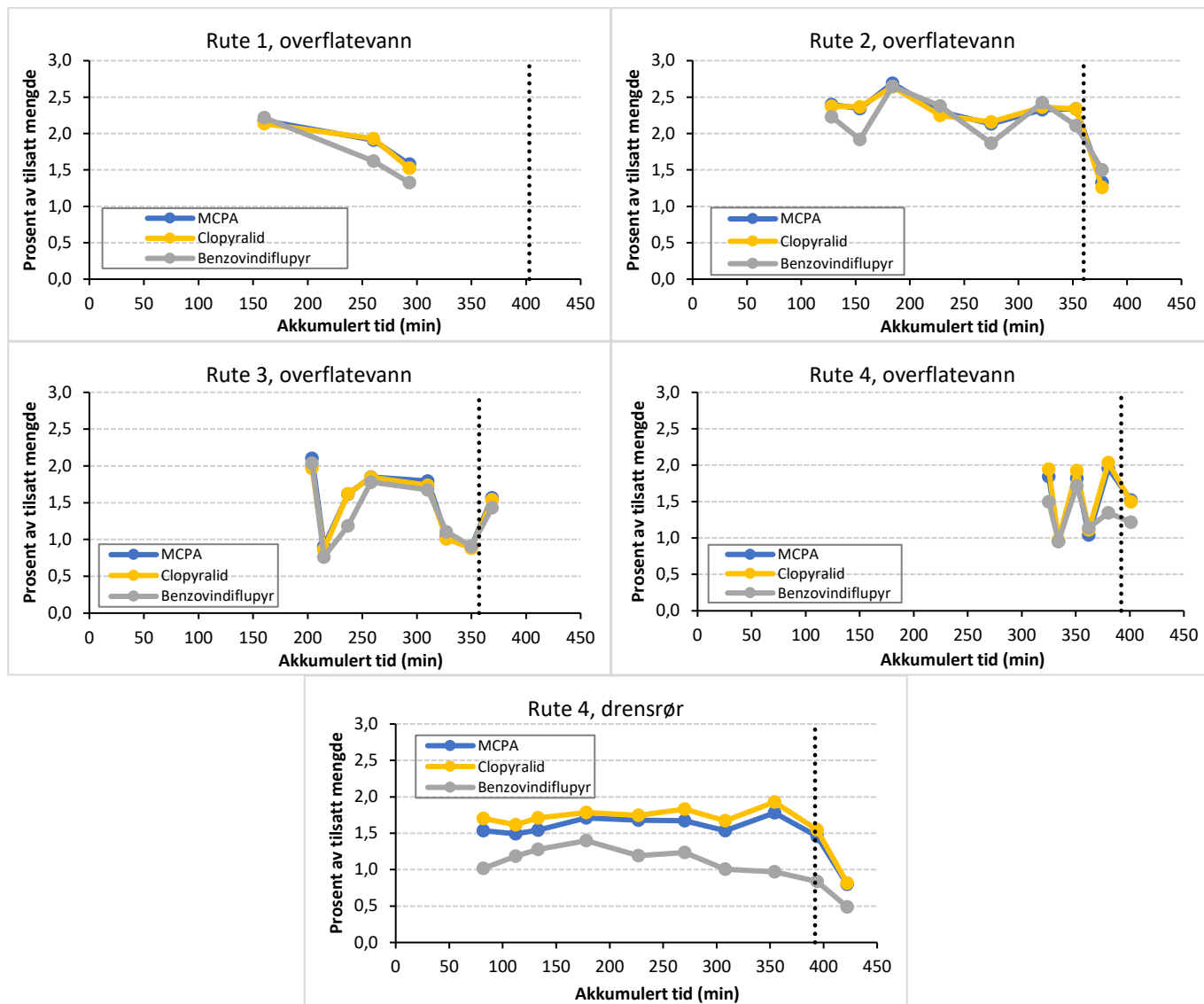


Figur 33: Utvikling av målt mengde (i prosent av tilsatt mengde) over tid for tre utvalgte plantevernmidler i rute 4. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.



Figur 34: Utvikling av målt mengde (i prosent av tilsatt mengde) over tid for bromid. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

6.2.4.2 Feltforsøk 2022



Figur 35: Utvikling av målt mengde (i prosent av tilsatt mengde) over tid for tre utvalgte plantevernmidler. Stiplet linje indikerer når tilsetningen av vann stanset.

6.3 LOQ og gjenfinning i vann- og jordprøvene

Tabell 26: Kvantifiseringsparametere for analyttene.

		LOQ	Gjenfinning (%)	R2
Jordprøver	Clopyralid	2.5 µg/kg	3	0.988
	MCPA	0.05 µg/kg	118	0.996
	Benzovindiflupyr	0.05 µg/kg	94	0.981
	Prothioconazole	0.05 µg/kg	5	0.981
	Trifloxystrobin	0.05 µg/kg	73	0.981

	Fluroxypyr	5 µg/kg	25	0.987
	Fluroxypyr-meptyl	2.5 µg/kg	28	0.993
Vannprøver	Clopyralid	0.05 µg/L	92	
	MCPA	0.05 µg/L	94	
	Benzovindiflupyr	0.05 µg/L	95	

6.4 Jordkarakterisering

6.4.1 Profile 1. Ås apple orchard

Profile description by L. Tau Strand. 21.10.2021. Sunny day after a period of heavy rain.



Figure 36: Area surrounding profile 1, photo: LTS

Site information:

Location:	Apple orchard NMBU, Ås, Viken county, Norway,
Altitude:	85 m.a.s.l.
Coordinates:	10°46' E.Gr. 59° 40' N.
Landform –physiography:	Summit, upper slope, W/SW, 2-5% slope
Vegetation – land use:	Grass, lawn between not used for a long time in between an apple orchard to the south and an ornamental orchard to the north.
Described by:	Line Tau Strand, 21.10.2021
Climate:	

Ås, met.st. normals 1961- 1990	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Annual
Precipitation, mm	49	35	48	39	60	68	81	83	90	100	79	53	785
Temperature, C°	-4.8	-4.8	-0.7	4.1	10.3	14.8	16.1	14.9	10.6	6.2	0.4	-3.4	5.3

General information on the soil:

Classification (WRB,2006)	Umbric Epistagnic Albeluvisol (Siltic)
Classification (ST)	Aquic Glossudalfs or a Mollic Glossaqualfs
Parent material:	Marin deposits/ some drop stones and topsoil influenced by surrounding Morain/till deposit.

Drainage:	Insufficient to moderately well drained, stagnic properties. Draining pipes at 70 cm. hanging groundwater at 75 cm needing pumping to empty the pit after a period with heavy rain
Moisture conditions in the profile:	Moist throughout, wet from 75 cm down
Surface stones and boulders:	Few 0.1-3%
Rock outcrops	< 50 meters (to the south)
Evidence of erosion:	None
Evidence of overflowing;	None
Total profile depth:	110 cm
Comments	Many earthworm burrows particularly many in visual in the border between the A and A/E, but also deep burrows going down to 70-80 cm

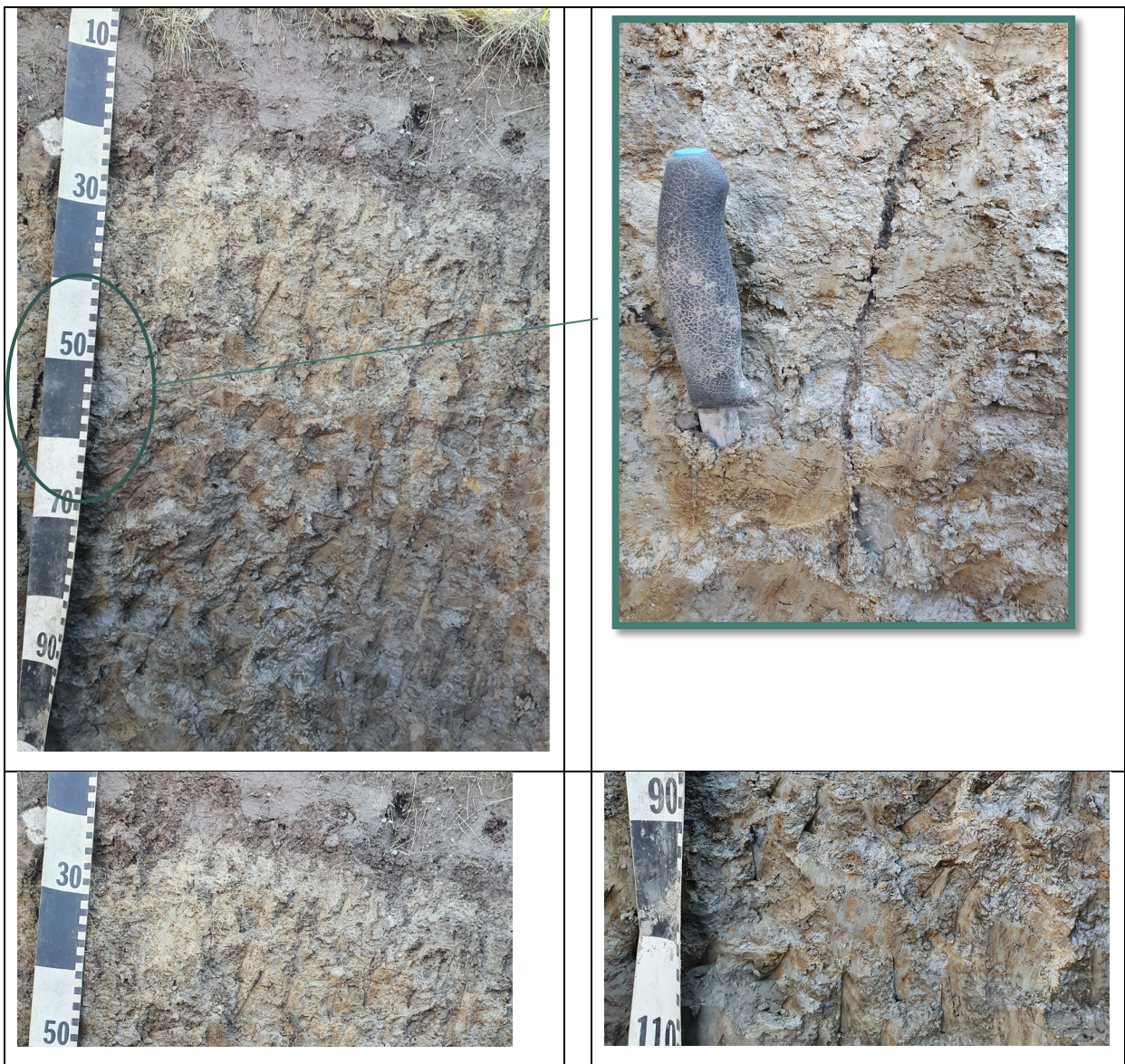


Figure 37: profile 1 with details showing earthworm borrows, horizon transitions, Photo: LTS

Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap	0-20	Dark reddish brown (10YR3/3); Loam, few coarse fragments; subangular medium to coarse blocky structure; abundant very fine to fine roots; abrupt, smooth boundary.
A/E	20 -30	Light brownish grey (10YR6/2) with browner strikes (10YR4/2) due to earth worm activity; Silt loam; weak, coarse to very coarse plates breaking down to fine to medium angular blocks; very friable (moist), non-sticky and slightly plastic (wet); many fine roots; clear smooth boundary.
Eg	30-40	Light brownish grey (10YR6/2) with common Dark brown (7.5YR3/4) mottles; silt loam; weak, fine to medium angular blocks; very friable to friable (moist), slightly sticky and slightly plastic (wet); common fine roots; gradual, abrupt irregular boundary
Btg1	40 - 65	Strong brown (7.5YR5/6) few light-coloured streaks following the aggregate surface, common reddish mottles; Loam, some clay coatings observed on aggregate surfaces; moderate to weak, coarse to very coarse prisms breaking up into strong, medium angular blocks; very friable to friable (moist), slightly sticky and slightly plastic (wet); some very fine roots; clear to gradual wavy boundary.
Btg2	65 -95	Yellowish brown (10YR5/8) some mottling (reddish brown); clay loam; weak, coarse prisms to massive structure, may be some stratification (layer with more clay). sticky and plastic (wet); few fine roots; diffuse smooth boundary.
CB	95 -110+	Olive (5Y5/4); silt loam; massive;

Horizon	Depth cm	pH(H ₂ O) 1:2.5	cmol(+) kg ⁻¹						
			H ⁺	Ca ²⁺ *	Mg ²⁺ *	Na ⁺ *	Ka ⁺ *	CEC	BS%
Ap	0-20	5.75	7.5	7.1	1.1	0.071	0.35	16.1	53
A/E	20 -30	6.26	6.7	6.7	0.7	0.063	0.14	14.3	53
Eg	30-40	6.18	7.3	7.6	0.77	0.063	0.11	15.8	54
Btg1	40 - 65	6.82	6.7	8.4	0.98	0.11	0.17	16.4	59
Btg2	65 -95	7.17	6.5	10.0	1.5	0.082	0.17	18.3	64
CB	95 -110+	7.31	6.0	9.7	1.4	0.094	0.15	17.4	65

(*exchangeable acidity and base cations by 1M NH₄oAc pH 7,)

Horizon	Depth (cm)	Org.C %	Org.N %	Fe _{ox} * %	Al _{ox} * %	Clay %	Silt %	Sand %	Coarse Fraction**
Ap	0-20	2.50	0.20	0.5	0.18	16.7	44.7	38.6	
A/E	20 -30	0.75	0.08	0.42	0.12	16.5	61.3	22.2	
Eg	30-40	0.36	0.06	0.43	0.11	21.3	57.0	21.7	
Btg1	40 - 65	0.18	0.05	0.42	0.09	21.0	44.4	34.6	
Btg2	65 -95	0.19	0.05	0.37	0.095	26.7	51.3	22.0	
CB	95 -110+	0.21	0.05	0.33	0.075	25.6	59.1	15.3	

(* Fe and Al extracted with acid oxalate, ** in volume %)

6.4.2 Profile 2. Ås apple orchard

Profile description by L. Tau Strand. 21.10.2021. Sunny day after a period of heavy rain. Lysimeter ditch for plantevernmiddele leaching project.



Figure 38: profile 2 surroundings, photo: LTS

Site information:

Location:	Apple orchard NMBU, Ås, Viken county, Norway, less than 5 m north/west of profile 1
Altitude:	85 m.a.s.l.
Coordinates:	10°46' E.Gr. 59° 40' N.
Landform –physiography:	Summit, upper slope, W/SW, 2-5% slope
Vegetation – land use:	Grass, lawn between not used for a long time in between an apple orchard to the south and an ornamental orchard to the north.
Described by:	Line Tau Strand, Date: 21.10.2021
Climate:	

Ås, met.st. normals 1961- 1990	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Annual
Precipitation, mm	49	35	48	39	60	68	81	83	90	100	79	53	785
Temperature, C°	-4.8	-4.8	-0.7	4.1	10.3	14.8	16.1	14.9	10.6	6.2	0.4	-3.4	5.3

General information on the soil:

Classification (WRB,2006/2015?)	Haplic Cambisol (Dystric)
Classification (ST?)	Humic Dystrudept
Parent material:	Marin deposits/ some drop stones and topsoil influenced by surrounding Morain/till deposit.
Drainage:	Insufficient to moderately well drained, stagnic properties. Draining pipes at 70 cm. hanging groundwater at 75 cm needing pumping to empty the pit after a period with heavy rain
Moisture conditions in the profile:	Moist throughout, wet from 75 cm down
Surface stones and boulders:	Few 0.1-3%
Rock outcrops	< 50 meters (to the south)
Evidence of erosion:	None
Evidence of overflowing;	None

Total profile depth:

110 cm



Figure 39: Detail from 50 cm - horizontal colour streaks, Photo:RH



Figure 40: Profile 2, Photo: LTS

Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap	0-25	Dark reddish brown (10YR3/3); loam, with few coarse fragments; medium to fine subangular and granular structure; abundant very fine to fine roots; abrupt, smooth boundary.
Bw1	25 -55	Brown (10YR4/3) and light brownish grey (10YR6/2) strikes, approximately 5m thick (see picture above); sandy loam, few stones; weak to moderate, medium sized plates /lenticular structure breaking down to fine angular blocks; very friable (moist), slightly sticky and slightly plastic (wet); many fine roots; clear smooth boundary.
Bw2	55-90	Dark brown (10YR3/4) light brownish grey (10YR6/2) strikes between 2 - 5 mm thick; sandy loam, few stones; moderate, coarse to medium angular blocks; very friable to friable; some fine roots; gradual, smooth boundary.
BC	90-110	Brown (7.5YR5/2) and strong brown (7.5Y4/6); sandy loam, few stones; moderate to weak, coarse to medium angular blocks; very friable to friable (moist);

Horizon	Depth cm	pH(H ₂ O) 1:2.5	cmol(+) kg ⁻¹						CEC	BS%
			H ⁺	Ca ²⁺ *	Mg ²⁺ *	Na ⁺ *	K ⁺ *			
Ap	0-25	5.42	12.0	5.9	0.91	0.067	0.35	19.2	38	
Bw1	25 -55	6.12	7.7	5.9	0.7	0.067	0.11	14.5	47	
Bw2	55-90	5.69	6.5	5.9	0.62	0.045	0.088	13.2	51	
BC	90-110	6.09	6.2	4.6	0.5	0.049	<0.062	11.4	45	

(*exchangeable acidity and base cations by 1M NH₄OAc)

Horizon	Depth (cm)	Org.C %	Org.N %	Fe _{ox} * %	Al _{ox} * %	Clay %	Silt %	Sand %	Coarse Fraction**
Ap	0-25	2.50	0.19	0.55	0.17	11.2	41	47.9	
Bw1	25 -55	0.34	0.05	0.45	0.075	8.5	28.1	63.4	
Bw2	55-90	0.19	0.05	0.48	0.075	7.8	29.8	62.3	
BC	90-110	0.07	0.03	0.18	0.043	5.8	27.1	67.1	

(* Fe and Al extracted with acid oxalate. ** in volume %)

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.

Forsidefoto: Erling Fløistad. Andre foto i rapporten er tatt av forfatterne i løpet av forsøkene.