



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Betydning av endret klima for drenering - klimasmart drenering

NIBIO RAPPORT | VOL. 6 | NR. 102 | 2020



Johannes Deelstra

Miljø og naturressurser, avdeling Hydrologi og vannmiljø

TITTEL/TITLE

Betydning av endret klima for drenering – klimasmart drenering

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Johannes Deelstra

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
23.06.2020	6/102/2020	Åpen	10201	17/03098
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02624-2	2464-1162	36	7	

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Johan Kollerud

STIKKORD/KEYWORDS:

Grøfteavrenning, næringsstofftap, grunnvann

Drainage runoff, nutrient loss, groundwater

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Agrohydrologi

Agrohydrology

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Klimaendringer antas å føre til mer nedbør, som kan resultere i økning av avrenning og tap av næringsstoffer. Denne rapporten presenterer resultater fra målinger foretatt ved Kvithamar lysimeterforsøk under både god og dårlig drenering. Resultatene viser, noe overraskende, at det er mindre grøfteavrenning ved dårlig drenering samtidig som tap av næringsstoff øker. Det er stor variasjon i både avrenning og tap av næringsstoffer mellom grøftene. Grunnvannsnivået ser ut til å endres fortere under gode dreneringsforhold. God drenering fører til mindre overflateavrenning, noe som har en positiv effekt på reduksjon av erosjon.

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Viken

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Ås

STED/LOKALITET:

Ås

GODKJENT /APPROVED



EVA SKARBØVIK

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



JOHANNES DEELSTRA



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Rapporten presenterer resultater fra prosjektet «Betydning av endret klima for drenering – klimasmart drenering» som ble gjennomført ved Kvithamar lysimeter forsøksanlegg.

Prosjektet ble finansiert av Landbruksdirektoratet (referansenr; 15/58189)

Dataanalysene og rapporteringen er gjennomført av Johannes Deelstra. En stor takk til Torfinn Torp (NIBIO) som har hjulpet med statistikk, Trond Børresen (Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, NMBU) for hjelp når det gjelder drenering og jordpakking, Lasse Weiseth (NIBIO) som har stått på og fulgt opp målingene på Kvithamar og Lars Nesheim (NIBIO) som har vært prosjek

Rapporten er kvalitetssikret av avdelingsleder Eva Skarbøvik, i henhold til NIBIOs kvalitetsrutiner.

Ås, 23.06.20

Johannes Deelstra

Innhold

1	Innledning.....	5
2	Materialer og metoder	7
3	Resultater.	10
3.1	Været.....	10
3.2	Grøfteavrenning	12
3.2.1	Grøfteavrenning i desember 2016	14
3.2.2	Grøfteavrenning juni 2017	15
3.2.3	Grøfteavrenning, oktober 2017	16
3.2.4	Grøfteavrenning, september 2018.....	17
3.3	Nitrogen- og fosforkonsentrasjon i vannprøver.	19
3.3.1	Nitrogen og nitrat konsentrasjon	19
3.3.2	Fosfor- og fosfatkonsentrasjon	20
3.4	Tap av nitrogen og fosfor	21
3.4.1	Nitrogentap	21
3.4.2	Fosfortap	21
3.5	Registreringer av grunnvannsnivå	23
3.5.1	Grunnvann og nedbør	24
3.5.2	Endringer i grunnvannsnivå.	26
3.6	Jordas vanninnhold.....	27
3.6.1	Jordas vanninnhold, eksempel fra juni 2017.....	28
3.6.2	Jordas vanninnhold, august og september 2018	29
3.6.3	Jordas vanninnhold, eksempel fra mars 2019.....	31
3.7	Tilført gjødsling og registrert avling.....	32
3.8	Drenering og jordpakking	33
4	Sammendrag og konklusjoner	35
5	Litteratur.....	36
6	Anneks	37

1 Innledning

Mange års lav dreneringsaktivitet og tilsvarende mangel på forskning har skapt et behov for økt kunnskap knyttet til drenering av jord. Dreneringsaktiviteten forventes å øke i de nærmeste årene som følge av klimaendringene, og det etterspørres opplæring og dimensjoneringskriterier fra næringsutøvere, forvaltning og rådgiving. Grøftesystemer installeres ofte på bakgrunn av eksisterende praksis og erfaring, en tilnærming som ikke er egnet under forhold med klimaendringer.

Nordic Association of Agricultural Scientist (NJF) organiserte i september 2013 et seminar med tema «Does climate change demand a new approach to drainage design» på initiativ av NIBIO (Johannes Deelstra, 2015a) med deltakere fra de Nordiske/Baltiske land, samt Nederland, Tsjekia, Irland og USA, noe som viste at det er stor interesse for dette tema. Noen av resultatene ble publisert i en special issue av ACTA -Agriculturæ Scandinavia Section B, Soil and Plant Science (Deelstra and Weström, 2015).

Grøftesystemer installeres for å oppnå gode vekstforhold men kanskje like viktig er betydningen av grøftesystemet for laglighet for jordarbeiding. Dette krever at grøftesystemet er i stand til å få grunnvannsnivået fortest mulig ned (ha en høy synkehastighet), noe som blir særlig viktig i et klima med økt nedbør. Resultater fra målinger i Øvre Time småfelt viste at det var en høy synkehastighet av grunnvannet samtidig som det var en god sammenheng mellom grunnvannsnivå og grøfteavrenning (Deelstra and Hauge, 2020). Det er også flere ganger påvist at grøftesystemer ofte kan være en «hovedvei» for både vann og næringsstoffer (Deelstra et al., 2014; Kværnø, 2013). Analyser av grøfteavrenning fra Øvre Time, Vandsems og Bye småfelt viste at grøftesystemene fungerte svært bra og var i stand til raskt å fjerne overskuddsvannet fra jordprofilen (Deelstra, 2020).

For å øke kunnskapen om sammenhengen mellom værforhold, jordart, grunnvann, avrenning og næringsstofftap er det nødvendig med forsøksfelt. En viktig konklusjon av Bioforsk-rapporten «Økt norsk kornproduksjon» (Hoel et al., 2013) er at dekaravlingen av korn har stagnert. I rapporten er det omtalt begrensninger og tiltak innenfor en rekke tema. Blant annet påpeker rapporten at dårlig drenering kan være en mulig årsak til stagnasjon av kornavling, og at et viktig tiltak er å heve kompetansen innen drenering, både i form av nye undersøkelser om hva som er optimalt og gjennom å heve kompetansen i rådgivingsapparatet. Denne typen kunnskap er meget viktig når det gjelder landbruks-/matproduksjon. Dårlig drenering kan i tillegg ha effekt på næringsstofftap/vannkvalitet samt utslipp av klimagass.

Som antydnet av Hoel et al. (2013), er det behov for å øke kunnskapen om agrohydrology/hydrateknikk, herunder strømningsveier for vann/næringsstoff. Dette er også viktig i den framtidige bioøkonomien. Den store utfordringen framover er den forventede økningen i nedbør og hvordan landbruket kan ta seg av dette for å kunne opprettholde matproduksjon. Scenarier for klimaendringer i Sør Trøndelag sier at årsnedbøren kan øke med 20% og sesongmessig fordeler dette seg slikt: vinter ($\pm 5\%$), vår ($\pm 5\%$), sommer ($\pm 20\%$) og høst ($\pm 25\%$) (Hanssen-Bauer et al., 2016).

Det er et godt etablert forsøksfelt ved Kvithamar hvor det har vært mulighet til måling både av overflate – og grøfteavrenning på 3 x 6 ruter (hver på 8 x 36 m). Forsøksfeltet ble anlagt i 1989, finansiert gjennom Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd NLVF (Myhr et al., 1996). Formålet med prosjektet var å måle effekt av forskjellige gjødslingsstrategier på tap av næringsstoff og målinger ble gjennomført fra 1990 – 1994. Det ble anvendt både vanlig kunstgjødsel og husdyrgjødsel fra gris. På grunn av feltets alder egner det seg meget bra for forsøk på drenering/agrohydrologi fordi eventuelle effekter fra anleggsarbeid etter så mange år er betydelig redusert.

Hovedformålet med dette prosjektets målinger på Kvithamar har vært å øke kunnskap om drenering samt å utvikle klimasmarte dreneringskriterier under forhold med økt nedbør, for både grovfôr og kornvekster i Midt-Norge. Dette innebærer blant annet å få økt kunnskap om:

- sammenhengen mellom grøfteavrenning, grunnvannsnivå og avlingsnivå for grovfor og korn
- strømningsveier av vann til grøftesystemer
- effekter av drenering på laglighet for jordarbeiding
- effekter av drenering på tap av næringsstoffer

Dreneringskriterier må ta hensyn til at disse må ha minst mulig negativ effekt på vannkvalitet.

Målgruppen for resultatene omfatter bønder, rådgivere, offentlig forvaltning, forskere og undervisningsinstitusjoner. Innsamlede data kan anvendes til kalibrering/validering av modeller som igjen kan brukes til å simulere effekter av klimaendringer dermed framtidig dimensjoneringsbehov for grøftesystemer.

I denne rapporten fremstilles resultatene fra målinger som ble foretatt under både gode og dårlige dreneringsforhold i perioden fra 1/11/2016 – 31/3/2019. Datainnsamlingen etter 31/3/2019 ble videreført som en del av Optikorn prosjektet, som er finansiert av Norges Forskningsråd og koordinert av NIBIO. Det tas sikte på å lage en sluttrapport av alle målingene mot slutten av 2020.

2 Materialer og metoder

Forsøksfeltet ved Kvithamar ble anlagt med tre forsøksområder som hver var delt opp i 6 ruter (Figur 1 a). Helningsgraden i feltet er 1- 2 %. En grøft ble plassert på langs i midten av hver rute. Dermed ble grøfteavstanden, $L = 8$ m, mens grøftedybden var 1,00 m. I forsøket fra 1990 – 1994 ble både overflate- og grøfteavrenning målt ved hjelp av vippekar. En målehytte for måling av overflate og grøfteavrenning ble etablert i 1989 (Myhr et al., 1996). Hver rute hadde en bredde på 8 m og en lengde på 36 m. Magnetiske brytere ble installert på vippekar og antall vipp ble registrert og lagret i en datalogger. Hvert forsøksområde hadde en målehytte.

Den dominerende jordart i Kvithamar feltet er siltig mellomleire og representerer en dominerende jordtype for jordbruksområdene i Trøndelag (Tabell 1).

Tabell 1. Kvithamar, Opphavsmateriale (avsetninger) og jordegenskaper¹

Sikt	Leire (%)	Silt (%)	Sand (%)	Jordart	Mold (%)
Matjordlag	34	62	4	siltig mellomleire	7,8
Undergrunnsjord	39	59	2	siltig mellomleire	0,6

¹ - Kværnø and Bechmann (2010).

Retensjonsdata eller fuktighetskarakteristikk, som viser sammenhengen mellom jordas volumetriske vanninnhold og jordas matrikspotensiale, ble bestemt på jordprøver tatt i de tre forsøksområdene. Gjennomsnittlige verdier er presentert i Tabell 2 (fra Myhr et al., (1996).

Tabell 2. Vanninnhold og matrikspotensial for matjordslag og undergrunnsjord

Sikt	Tørrvekt (gr/cm ³)	Tetthet (gr/cm ³)	Volumprosent vann			
			0,1 bar (pF = 2)	1,0 bar (pF = 3)	3,0 bar (pF = 3,4)	15 bar (pF = 4,2)
Matjordlag	1,13	2,26	48,4	40,5	36,1	12,5
Undergrunnsjoird	1,76	2,50	31,0	27,3	24,2	16,2

I dette prosjektet ble det brukt to forsøksområder (Figur 1 a). Forsøksområde 1 (alternativ a) har den opprinnelige dreneringen med en grøfteavstand, $L = 8$ m og en grøftedybde på 1 m. Målingene som ble foretatt i forsøksområde 2 (alternativ b) har dårlig drenering som ble oppnådd ved at grøfteutløpet i målehytten ble økt til 50 cm under overflate (Figur 1 c).



Forsøksfeltet, Kvithamar (a)



Målehytte med utløp grøfter (b)



Dårlig drenering, grøftedybde, $d = 0,5$ m (c)

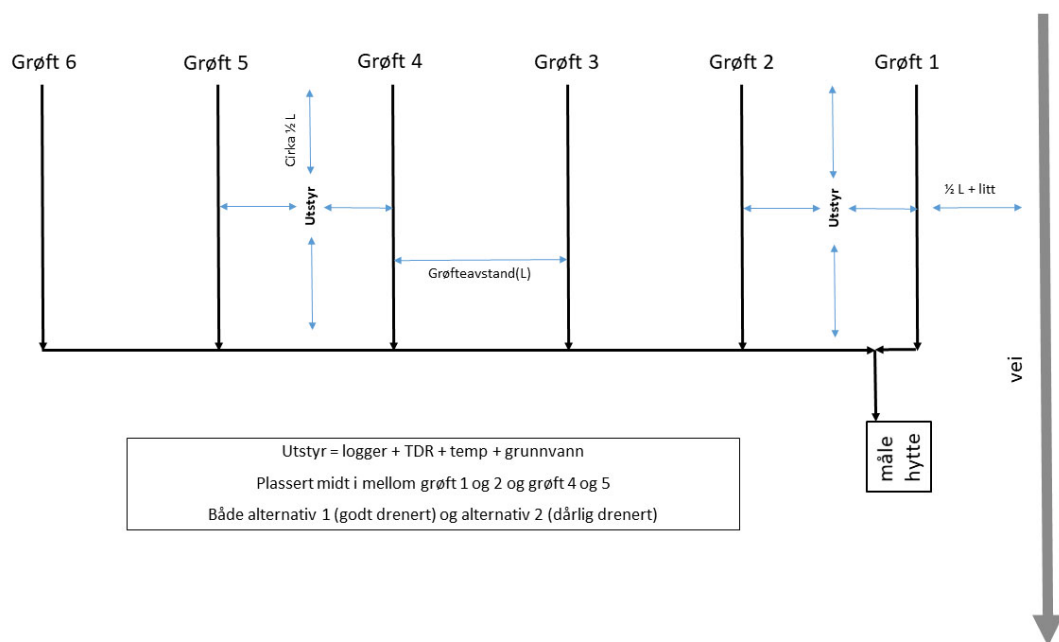


Installering av måleutstyr (d)

Figur 1. Kvithamar lysimeter anlegg.

Grøfteavrenningen ble målt, som i det opprinnelige prosjektet (Myhr et al., 1996), ved hjelp av vippekar. Data ble lagret i en Deltalogger (<https://www.delta-t.co.uk/product-category/data-loggers/>). I tillegg til magnetiske brytere ble også mekaniske brytere anvendt. For hvert feltbesøk ble data fra loggeren lastet ned til en PC samt at mekaniske brytere ble avlest. De to måter å registrere vannføringen på fungerer som en back-up for hverandre og garanterer sann informasjon om avrenningen over tid. For hvert feltbesøk ble måleopplegget kontrollert, som blant annet innebar at ikke fungerende tellemekanismer ble rapportert inn i feltrapporten, noe som gjaldt både de mekaniske så vel som magnetiske brytere.

Vannføringsproporsjonale blandprøver ble tatt ved at for hvert tipp av vippekaret en liten del av avrenningsvannet ble samlet opp i en plastdunk som sto plassert i en oppsamlingsdunk under vippekar. Vannprøvene ble analysert for nitrogen og fosfor. I gjennomsnitt ble det samlet opp en vannprøve annenhver måned og analysert for både totalt nitrogen (N_{tot}), nitrat (NO_3), totalt fosfor (P_{tot}) og fosfat (PO_4). På bakgrunn av målt avrenning og konsentrasjon i vannprøvene ble tap av næringsstoff beregnet for både det godt og dårlig drenerte alternativet.



Figur 2. Skisse av forsøksopplegget i alternativ 1 og 2.

I begge alternativene begynte registrering av grunnvannet i juni 2017. I alternativet 1 (godt drenert) ble grunnvannsrør plassert mellom grøfte 1 og 2 (R1A) og grøft 5 og 6 (R1B). I alternativet 2 (dårlig drenert) ble også grunnvannsrør plassert mellom grøft 1 og 2 (R2A) og 5 og 6 (R2B, Figur 2).

Målingene av jordas vanninnhold og jordtemperatur ble startet i juni 2017. Time Domain Reflectometer (TDR) sensorer av typen Imco Trime Pico 64 (<https://www.imko.de/en/trime-pico-64/>) ble installert på de samme stedene som grunnvannet ble målt. Målingene av jordas vanninnhold og temperatur ble foretatt på 20 cm, 40 cm, 60 cm og 80 cm under overflate. Målte verdier for jordas vanninnhold og jordtemperatur ble lagret for hver time i en datalogger.

Det ble foretatt en beskrivelse av jordprofilen og jordprøver ble tatt for å måle jordas mettede vannledningsevne og pF-kurve. Registreringene ble foretatt hver time og data ble lagret i en datalogger.

Alle rutene i alternativ 1 og 2 hadde samme vekst som gjennom måleperiode har vært eng. Tilført nitrogen og fosfor i gjødsel til eng har blitt registrert, i tillegg til høstedata, avling og bortført nitrogen og fosfor.

Det ble også foretatt registrering av jordpakking. Målinger ble foretatt med et penetrometer av typen Fieldscout SC900 Soil Compaction Meter (www.specmeters.com/soil-and-water/soil-compaction/fieldscout-sc-900-meter/sc900/)

3 Resultater

3.1 Været

Værdata blir samlet inn på NIBIO's LMT stasjon på Kvithamar. Den gjennomsnittlige årstemperatur for forsøksperioden 2016- 2018 var 6,2 °C, som er høyere enn normal årstemperatur (Tabell 3).

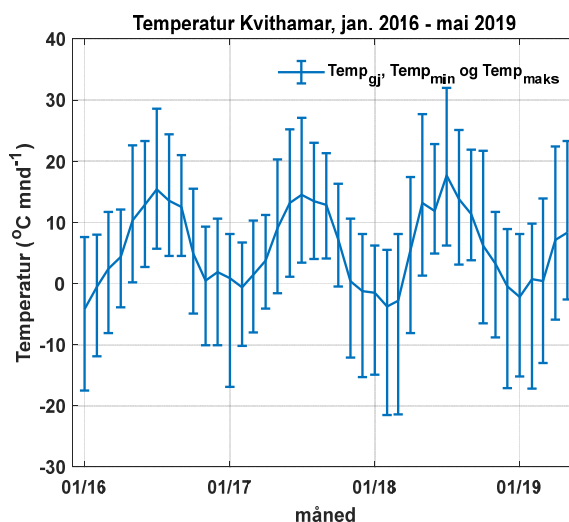
Den gjennomsnittlige månedstemperatur varierte fra – 4,2 °C i januar 2016 til 17,7 °C i juli 2018. For hele perioden fra januar 2016 - mai 2019 hadde 32 av 41 måneder en høyere månedstemperatur enn normal månedstemperatur. Unntaket er for måneder januar, oktober og november i 2016, mai og november i 2017, februar, mars og juni i 2018 og mai i 2019.

Den høyeste døgntemperatur på 32,0 °C ble målt i juli 2018 mens den laveste døgntemperatur, på -21,5 °C, ble målt i februar 2018. Det er en stor variasjon i døgntemperatur innenfor hver måned (Figur 3).

Tabell 3. Gjennomsnittlig månedstemperatur og normal temperatur, Kvithamar (LMT)

måned	2016	2017	2018	2019	normal ¹
januar	-4,2	0,9	-1,5	-2,2	-3,6
februar	-0,5	-0,6	-3,8	0,7	-2,8
mars	2,4	1,4	-2,8	0,4	0,1
april	4,3	3,7	5,5	7,1	3,6
mai	10,3	9,0	13,2	8,3	9,1
juni	12,9	13,2	11,9		12,4
juli	15,4	14,5	17,7		13,7
august	13,5	13,4	13,8		13,3
september	12,5	12,9	11,4		9,8
oktober	4,9	7,2	6,2		6,0
november	0,5	0,4	3,2		0,6
desember	1,9	-1,2	-0,5		-1,9
gjenn	6,2	6,2	6,2		5,0
maks	15,4	14,5	17,7		13,7
min	-4,2	-1,2	-3,8		-3,6

¹ – normal periode; 1961 - 1990



Figur 3. Gjennomsnittlig, maksimum og minimum månedstemperatur

Årsnedbør i 2016 og 2017 var betydelig høyere enn normal årsnedbør, mens årsnedbør i 2018 var litt lavere enn normal. For hele perioden fra jan 2016 – mai 2019 var nedbør i 23 måneder større enn normal nedbør. I noen måneder var nedbøren mer enn 2 ganger normal nedbør (Tabell 4).

Store deler av Norge hadde et betydelig nedbørunderskudd i 2018, noe som også gjald for Kvithamar. For perioden fra januar - juli var den totale nedbøren 258 mm, mens normal nedbør for denne perioden er 439 mm. Fra august og ut året var det igjen, med unntak av november, betydelig mer nedbør enn normal (Tabell 4, Figur 4).

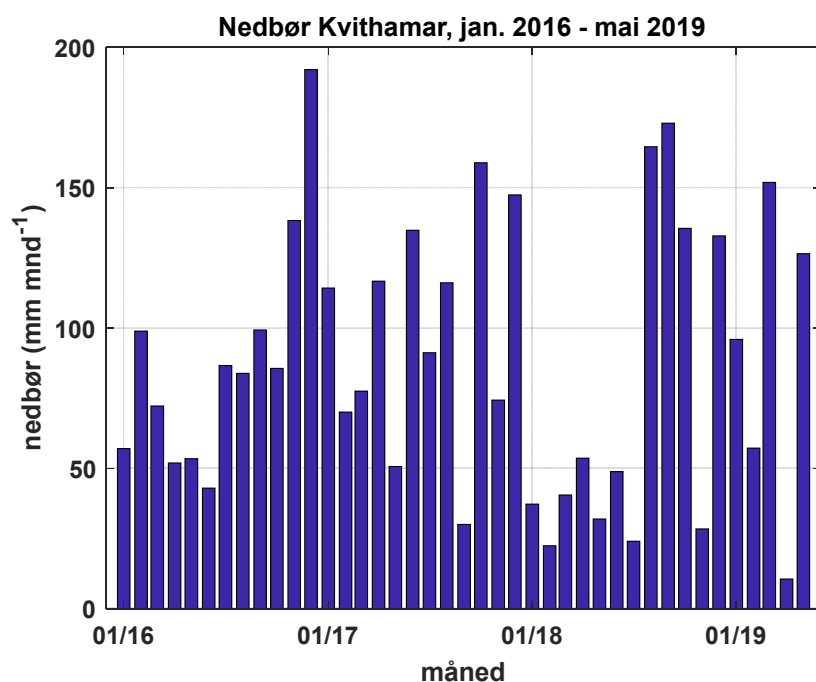
Maksimum døgntnedbør for hver måned er vist i Tabell 4. Den største døgntnedbøren ble målt i mars 2019, mens den nest største døgntverdi ble målt i desember 2016. Månedstnedbør i disse to måneder er også betydelige større enn normal nedbør. Det er en god sammenheng mellom månedstnedbør og maksimum døgntnedbør (Figur 5). Maksimum verdi for timenedbør er registrert i oktober 2017 på

10 mm time⁻¹. Det er to ganger registrert en timesnedbør på 9 mm time⁻¹. Maksimum verdier for timesnedbør varierer fra 2 – 10 mm time⁻¹ (Tabell 4, Figur 6). Det kan se ut til at også maksimum timesnedbør øker ved økt månedsnedbør men sammenhengen er mindre tydelig enn for døgnnedbør og månedsnedbør.

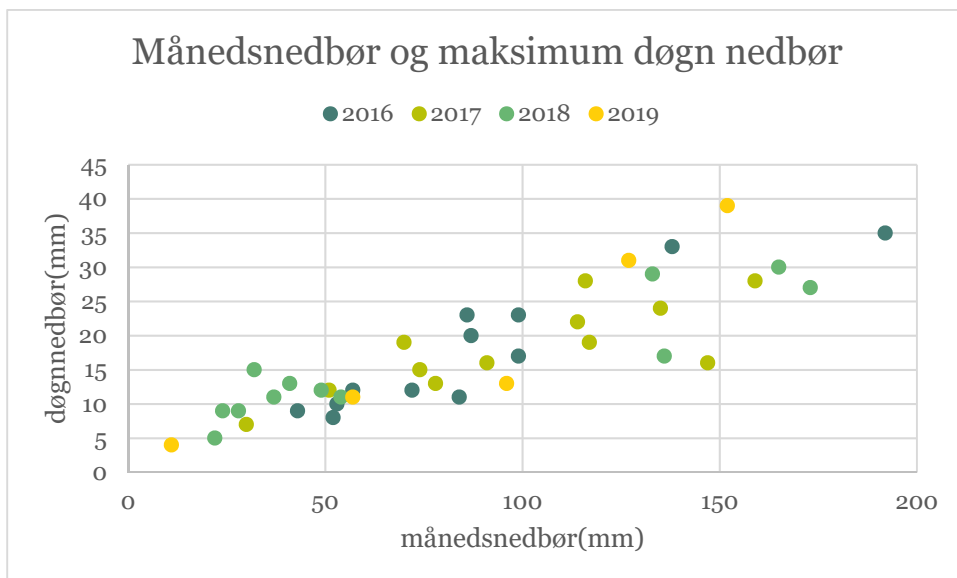
Tabell 4. Månedsnedbør, maksimum døgn og time nedbør, perioden nov 2017 – mar. 2019

	2016	2017	2018	2019	normal ¹	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019
måned	månedsnedbør (mm)					maks døgn nedbør (mm)				maks time nedbør (mm)			
januar	57	114	37	96	65	12	22	11	13	2	3	3	2
februar	99	70	22	57	53	23	19	5	11	3	2	2	2
mars	72	78	41	152	55	12	13	13	39	2	3	2	8
april	52	117	54	11	50	8	19	11	4	2	3	4	2
mai	53	51	32	127	53	10	12	15	31	4	2	3	5
juni	43	135	49		68	9	24	12		3	4	6	
juli	87	91	24		95	20	16	9		9	6	2	
august	84	116	165		87	11	28	30		6	6	9	
september	99	30	173		113	17	7	27		4	3	4	
oktober	86	159	136		104	23	28	17		4	10	4	
november	138	74	28		72	33	15	9		4	5	2	
desember	192	147	133		85	35	16	29		6	4	5	
årsnedbør	1062	1182	893		900								
gjennomsnitt	89	98	74		75								
maksimum	192	159	173		113								
minimum	43	30	22		50								

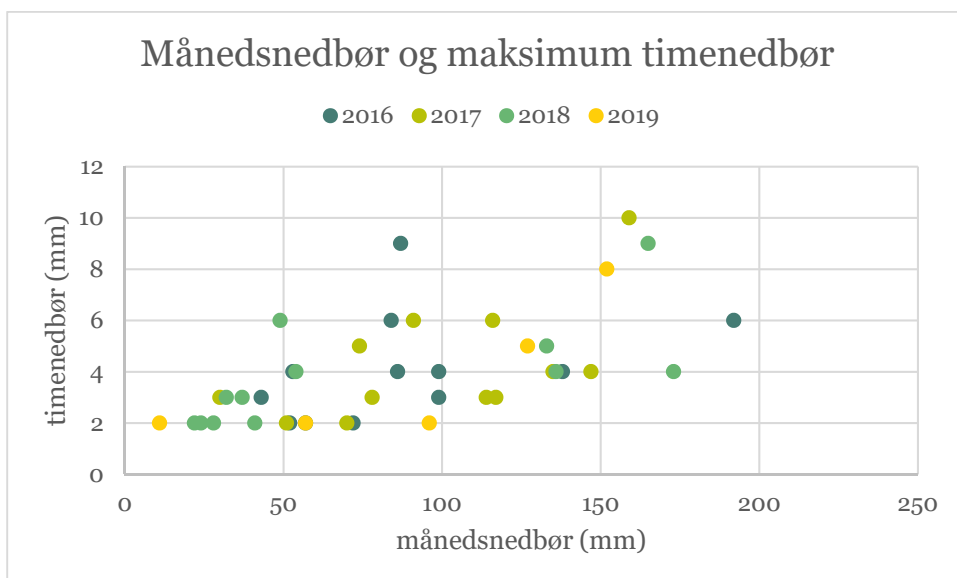
¹ – normal periode; 1961 - 1990



Figur 4. Månedsnedbør for perioden fra november 2017 – mars 2019



Figur 5. Månedsnedbør og døgnnedbør, Kvithamar



Figur 6. Månedsnedbør og timenedbør, Kvithamar

3.2 Grøfteavrenning

Grøfteavrenning ble målt for perioden fra november 2016 - mars 2019. Grøfteavrenning for hele perioden for alternativ 1 varierte fra 1176 – 2101 mm, med et gjennomsnitt på 1503 mm. Den gjennomsnittlige grøfteavrenningen for alternativ 2 var 1219 mm og varierte fra 1113 – 1620 mm (Tabell 5).

Det er en betydelig variasjon i grøfteavrenningen innenfor både alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2 (dårlig drenert; Figur 7). Både i alternativ 1 og 2 blir den største avrenningen målt i rute 1 mens den laveste avrenningen blir i rute 6.

For hele perioden fra november 2016 – mars 2019 har det i 2018 vært 5 måneder (januar, februar, mars, juni og juli) da det ikke ble registrert avrenning, hverken i alternativ 1 eller alternativ 2. I tillegg ble det ikke registrert grøfteavrenning i rute 2 og 3 i alternativ 2 i august 2018.

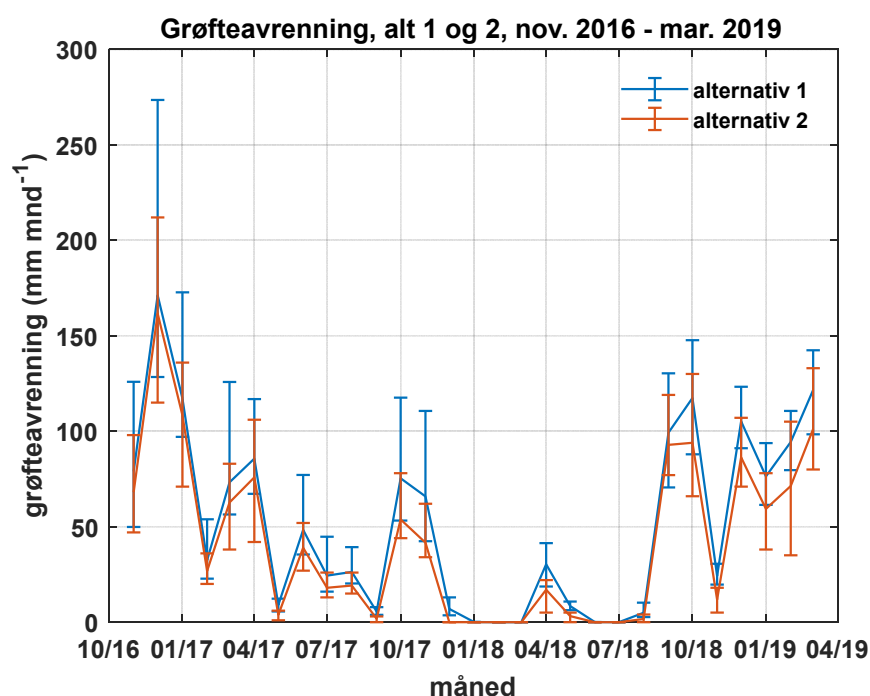
Månedsverdier for grøfteavrenning og nedbør er vist i Anneks 6.1.

Det er en betydelig overlapp i grøfteavrenningen mellom alternativene 1 og 2 (Tabell 5 og Figur 7).

En detaljert analyse ble gjennomført, i detalj beskrevet i Anneks 6.7, som konkluderer med at det er en signifikant forskjell i grøfteavrenningen mellom alternativene godt og dårlig drenert.

Tabell 5. Grøfteavrenningen (mm) målt på alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2 (dårlig drenert)

år	alternativ 1							alternativ 2							Nedb (mm)
	r1	r2	r3	r4	r5	r6	snitt	r1	r2	r3	r4	r5	r6	snitt	
2016	399	271	200	212	241	178	250	310	213	175	205	281	194	230	330
2017	890	568	454	510	564	437	570	593	436	311	442	508	416	451	1181
2018	467	403	313	393	449	315	390	401	297	224	309	334	276	307	892
2019	345	284	244	289	345	247	292	316	225	176	188	259	227	232	305
	2101	1526	1210	1403	1599	1176	1503	1620	1171	886	1144	1382	1113	1219	2708



Figur 7. Grøfteavrenningen (gjennomsnitt, maks og min (mm mnd⁻¹)) for alternativene 1 og 2 fra november 2016 – mars 2019.

For hele måleperioden er avrenningen i begge alternativene størst fra rute 1. En mulig årsak kan være at et større areal bidrar i avrenningen. Men tilsvarende burde i så fall også ha gjeldt for rute 6, men den har i begge alternativene den laveste avrenningen.

Det er usikkerhet omkring årsaken til den store variasjonen i grøfteavrenningen mellom rutene i hvert alternativ. Det kan være på grunn av en romlig variasjon i jordfysiske parametere, som påvirker infiltrasjonsevne og dermed overflateavrenningen i hver rute. En annen mulighet er naturlig

drenering, at vannet renner forbi grøftene ned mot grunnvannet. Størrelsen på denne naturlige dreneringen er i så fall forskjellige mellom rutene. Det er viktig å prøve å finne ut hva som er årsakene til denne variasjon, siden dette har betydning for hvordan man dimensjonerer grøftesystemer for jordarter tilsvarende de som dominerer Kvithamar forsøksfeltet.

Nærmere analyser foretatt som en del av prosjektet "Dreneringssystemer i leirjord i Trøndelag: Tilpasning til endret klima" (LDir, refnr.: 59748/2019), kan skaffe mer informasjon om dette.

En mulig årsak til forskjellen i grøfteavrenning mellom de to alternativene kan være en større overflateavrenning under alternativet 2. Dårlig drenering kan føre til økt overflateavrenning og dermed til mer erosjon og tap av partikulært fosfor (Robinson and Rycroft, 1999; Robinson, 1990; Skaggs et al., 1982). Overflateavrenning ble ikke målt men har forekommet, noe som er vist gjennom bilder tatt i april 2018 (Figur 8).

I perioden 1990 – 1994 ble det foretatt målinger av både overflate- og grøfteavrenning i alle rutene. I gjennomsnitt for denne perioden var overflateavrenningen 150 mm mens grøfteavrenningen var 457 mm (Oskarsen et al., 1997).

For noen av månedene med mye nedbør er det sett nærmere på grøfteavrenningen, først og fremst for å få en bedre innsikt i hvordan grøftesystemet i de to alternativene reagerte på nedbør.



Figur 8. Overflateavrenning, alternativ 1(venstre) og alternativ 2(høye). April 2018. Bilde tatt av Lasse Weiseth

3.2.1 Grøfteavrenning i desember 2016

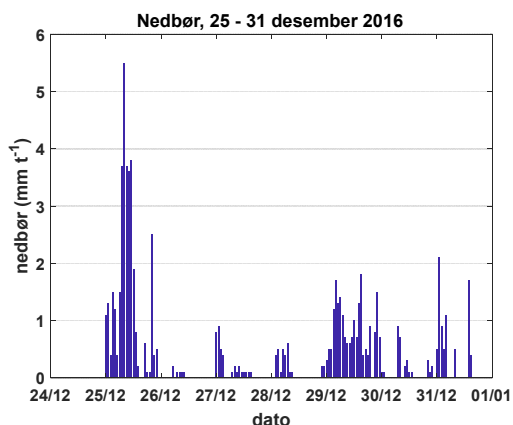
November og desember 2016 var to måneder med mye nedbør, mer enn to ganger normal nedbør, mens den gjennomsnittlige lufttemperatur i disse to måneder var > 0 °C. Det er derfor antatt at det ikke har vært tele i jorda og at det meste av nedbøren har blitt lagret i jordprofilen eller drenert bort gjennom grøftesystemet. Det ble sett nærmere på en avrenningsepisode mot slutten av desember 2016. Den totale nedbøren i denne måned var 192 mm. Avrenningen i desember for alternativet 1 (godt drenert) varierte mellom 128 mm i rute 6 og 274 mm i rute 1 med et gjennomsnitt på 171 mm. Avrenningen utgjorde 90 % av nedbøren i desember. Grøfteavrenningen i alternativ 2, som var dårlig drenert, varierte fra 115 mm i rute 3 og 212 mm i rute 1 med et gjennomsnitt på 162 mm, altså bare 10 mm lavere enn i alternativ 1 (Anneks 6.1.) I dette tilfellet utgjorde grøfteavrenningen 85 % av nedbøren.

Forskjellen i avrenningen mellom de to alternativene er altså liten, og kan skyldes ulik overflateavrenning.

Som eksempel er perioden fra 25 - 31 desember valgt ut. Den totale nedbørmengde i denne perioden var 74 mm (Figur 9). Avrenningen for alternativ 1 og 2 i denne periode er vist i Figur 10 og Tabell 6.

Det var liten forskjell i den gjennomsnittlige avrenningen for de to alternativene, mens det samtidig var store forskjeller i avrenningen mellom grøftene. Den gjennomsnittlige avrenningen fra de to alternativene i denne perioden utgjorde 84 % av nedbøren.

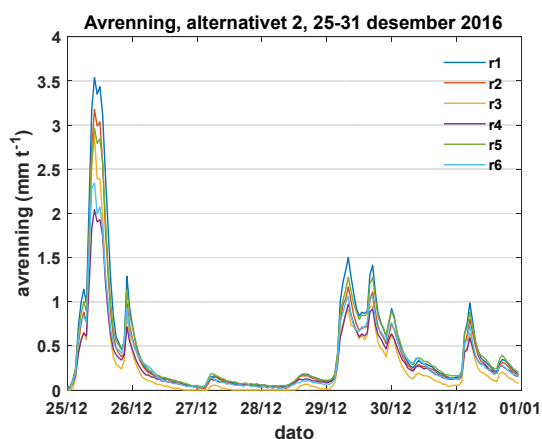
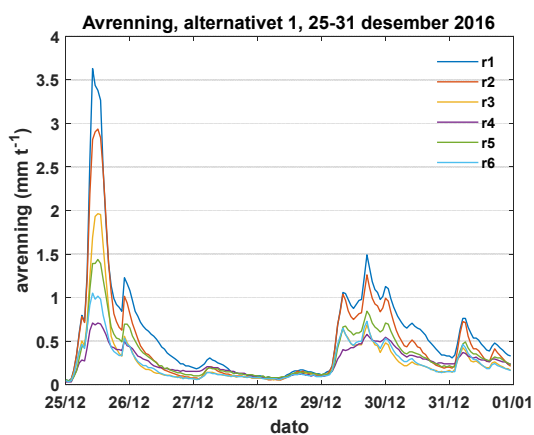
For begge alternativene var avrenningen i rute 1 størst mens den var minst for grøft 6 i alternativet 1 og minst for grøft 3 i alternativet 2. Dette samsvarer med resultatet for hele desember måned.



Figur 9. Nedbør Kvithamer-LMT fra 25 - 31 desember 2016.

Tabell 6. Avrenning, alternativene 1 og 2

	r1	r2	r3	r4	r5	r6	gjenn
alt 1	99	79	49	45	58	44	62
alt 2	80	66	47	53	74	60	63



Figur 10. Avrenning alternativene 1 og 2, 25 - 31 desember 2016.

3.2.2 Grøfteavrenning juni 2017

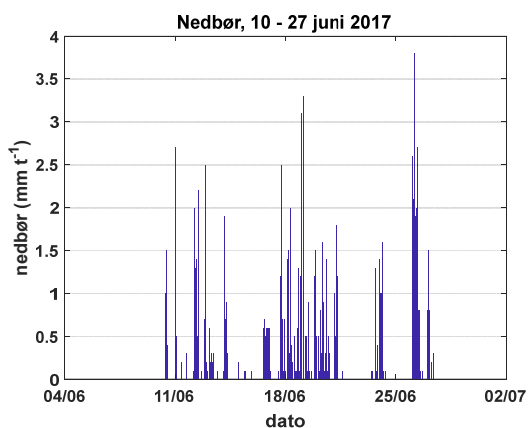
I juni 2017 kom det 135 mm med nedbør. Avrenningen for alternativet 1 varierte fra 35 mm i rute 6 til 77 mm i rute 1 mens gjennomsnittet var 48 mm (Anneks 6.1.). Avrenningen utgjorde 36 % av nedbøren. Avrenningen i alternativet 2 varierte fra 27 mm i rute 3 til 52 mm i rute 1 med et gjennomsnitt på 39 mm. I alternativet 2 utgjorde avrenningen 29 % av nedbøren.

En betydelig mindre andel av nedbøren rant av som grøfteavrenning sammenliknet med desember 2016, med fordamping som den sannsynligvis viktigste grunnen til dette.

Som eksempel er perioden fra 10 - 27 juni valgt ut. Nedbøren i denne perioden var 116 mm (Figur 11). Avrenningen for alternativene 1 og 2 er vist i Figur 12 og Tabell 7. Avrenning, alternativene 1 og 2.

Den gjennomsnittlige avrenningen i alternativ 1 og 2 var henholdsvis 43 og 37 mm. Det var en større relativ forskjell mellom de to alternativene sammenliknet med desember 2016. Samtidig var det også i denne perioden store forskjeller i avrenningen mellom grøftene, noe som gjaldt begge alternativene. Den gjennomsnittlige avrenningen i denne perioden utgjorde 37 % og 32 % av nedbøren i henholdsvis alternativ 1 og 2.

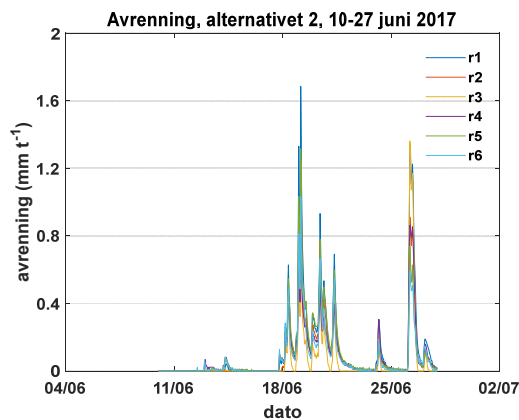
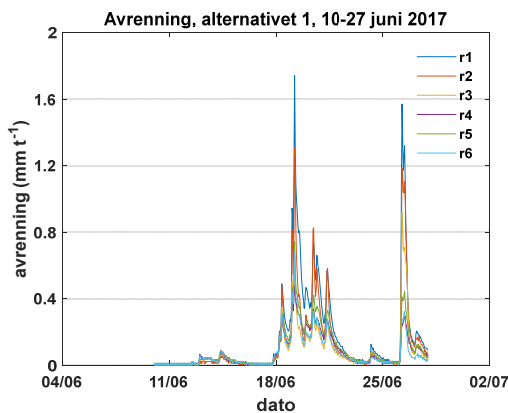
For begge alternativene var avrenningen i rute 1 størst mens den var lavest for rute 6 i alternativ 1 og rute 3 i alternativ 2, tilsvarende i desember 2016.



Tabell 7. Avrenning, alternativene 1 og 2

	r1	r2	r3	r4	r5	r6	gjenn
alt 1	69	50	34	33	40	31	43
alt 2	49	36	26	36	41	32	37

Figur 11. Nedbør Kvithamer-LMT fra 10 - 27 juni 2017



Figur 12. Avrenning alternativene 1 og 2, 10 - 27 juni 2017.

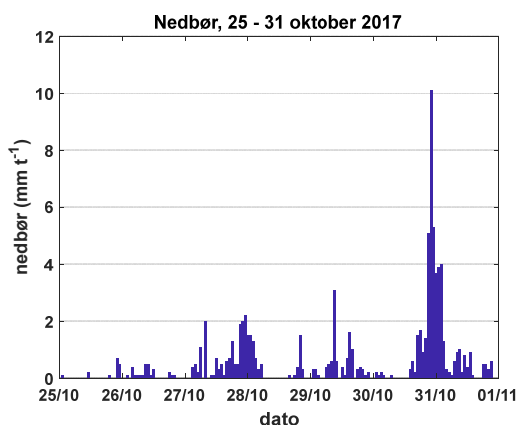
3.2.3 Grøfteavrenning, oktober 2017

Det kom 159 mm nedbør i oktober 2017. Den gjennomsnittlige avrenningen i alternativ 1 var 75 mm. Den laveste avrenningen på 53 mm var i rute 6 mens den største avrenningen, på 118 mm, var i rute 1 (Anneks 6.1). Den gjennomsnittlige grøfteavrenningen i denne måned utgjorde 47 % av nedbøren. Avrenningen i alternativet 2 varierte fra 44 mm i rute 3 til 78 mm i rute 1. Den gjennomsnittlige avrenning var 54 mm. I alternativ 2 utgjorde avrenningen 34 % av nedbøren, betydelig mindre sammenliknet med alternativ 1. En mulig årsak til denne forskjellen i grøfteavrenning kan ha vært overflateavrenningen som var større i alternativ 2. I tillegg er den store forskjellen mellom nedbør og avrenning ved begge alternativene fordampingen i vekstsesongen, som gjør at en god del av nedbøren ble lagret i jordprofilen.

Som eksempel er perioden fra 25.10 - 31.10.17 valgt ut. Denne perioden hadde en nedbørmengde på 87 mm, litt over halvparten av månedsnedbør (Figur 13). Avrenningen for denne perioden er vist i Figur 14.

Den gjennomsnittlige avrenningen i denne periode var 39 mm for alternativ 1 og 30 mm for alternativ 2 (Tabell 8). Som i forrige utvalgte perioder er for begge alternativene avrenning i rute 1 størst, mens det i dette tilfelle for begge alternativer er minst i rute 6.

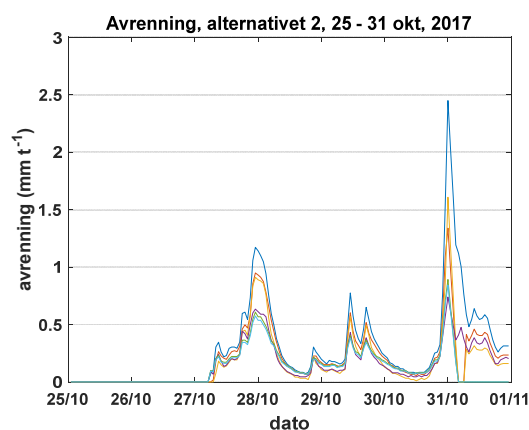
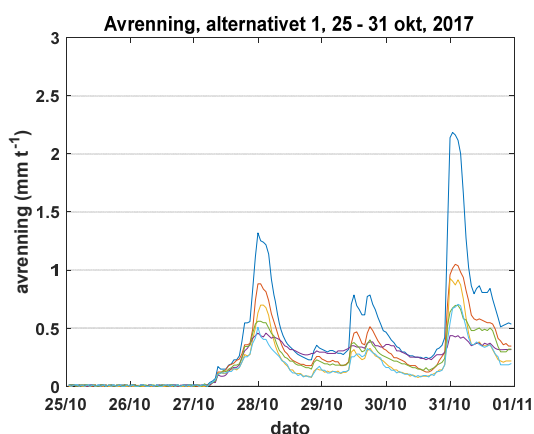
Avrenningen utgjorde 45 og 34 % av nedbøren for perioden fra 25 - 31.10.17, nesten likt det som gjald for hele oktober måned.



Tabell 8. Avrenning, alternativene 1 og 2

	r1	r2	r3	r4	r5	r6	gjenn
alt 1	66	42	29	36	34	26	39
alt 2	48	34	28	26	22	21	30

Figur 13. Nedbør Kvithamer-LMT fra 25 - 31 oktober 2017



Figur 14. Avrenning alternativene 1 og 2, 25 - 31 oktober 2017.

3.2.4 Grøfteavrenning, september 2018

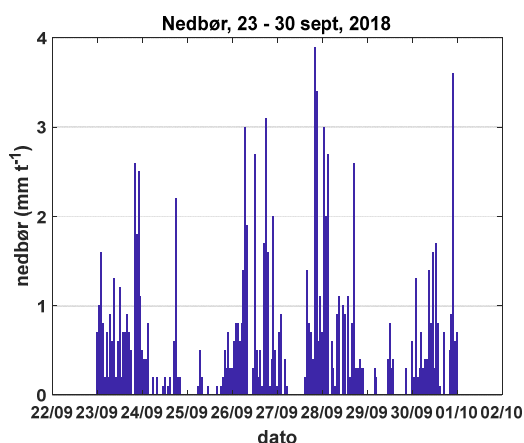
Etter den varme, tørre sommeren i 2018 kom nedbøren tilbake igjen i august. Skjønt det kom mye nedbør (165 mm) ble det ikke særlig med avrenning før i slutten av august. En god del nedbør ble brukt til å fylle på med vann i jordprofilen.

I september kom det 173 mm nedbør. Avrenningen i alternativ 1 i september varierte fra 70 mm i rute 6 til 129 mm i rute 1, mens den gjennomsnittlige avrenningen var 99 mm, som utgjorde 57 % av nedbøren. Avrenningen i alternativet 2 varierte fra 80 mm i rute 6 til 119 mm i rute 1. Den gjennomsnittlige avrenningen var på 93 mm som utgjorde 53 % av nedbøren. Det er sannsynlig at

forskjellen mellom nedbør og avrenning skyldtes at jordprofilen i utgangspunktet var tørt, og dermed ble nedbøren lagret i jordprofilen.

Avrenningen for perioden fra 24 - 30/9 er vist i Figur 16. Avrenning alternativene 1 og 2, 23 - 30 september 2018. I denne perioden kom det 110 mm nedbør. Den gjennomsnittlige avrenningen i alternativ 1 var 90 mm som utgjorde 82 % av nedbøren i denne perioden. Laveste og største avrenning ble målt i henholdsvis rute 6 og rute 1, det samme gjaldt for hele september måned (Tabell 9).

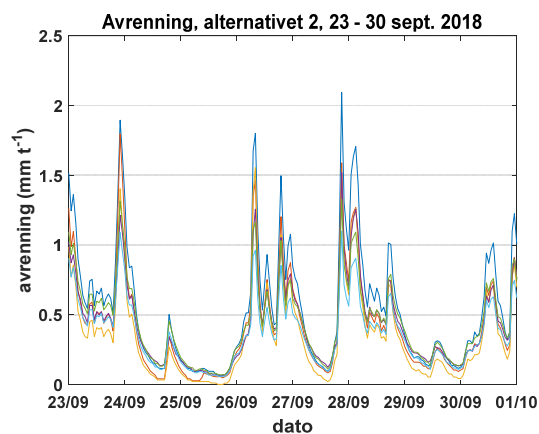
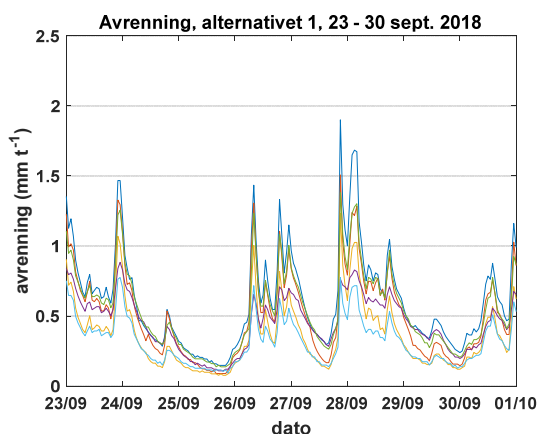
Avrenning i alternativ 2 var 82 mm og utgjorde 75 % av nedbøren. Den laveste avrenningen ble målt i rute 3, mens den laveste avrenningen for hele september måned ble målt i rute 6. Som for hele september måned ble det også for denne perioden den største avrenningen målt på rute 1.



Figur 15. Nedbør Kvithamer-LMT fra 23 - 30 september 2017

Tabell 9. Avrenning, alternativene 1 og 2

	r1	r2	r3	r4	r5	r6	gjenn
alt 1	118	98	70	87	104	61	90
alt 2	104	81	67	82	85	71	82



Figur 16. Avrenning alternativene 1 og 2, 23 - 30 september 2018

Variasjon i grøfteavrenning for de utvalgte måneder var stor. I alternativet 1 var den i alle tilfeller minst i rute 6 og størst i rute 1. Også i alternativ 2 var avrenningen størst i rute 1 og minst i rute 3, med unntak av september 2018 da den var minst i rute 6.

3.3 Nitrogen- og fosforkonsentrasjon i vannprøver.

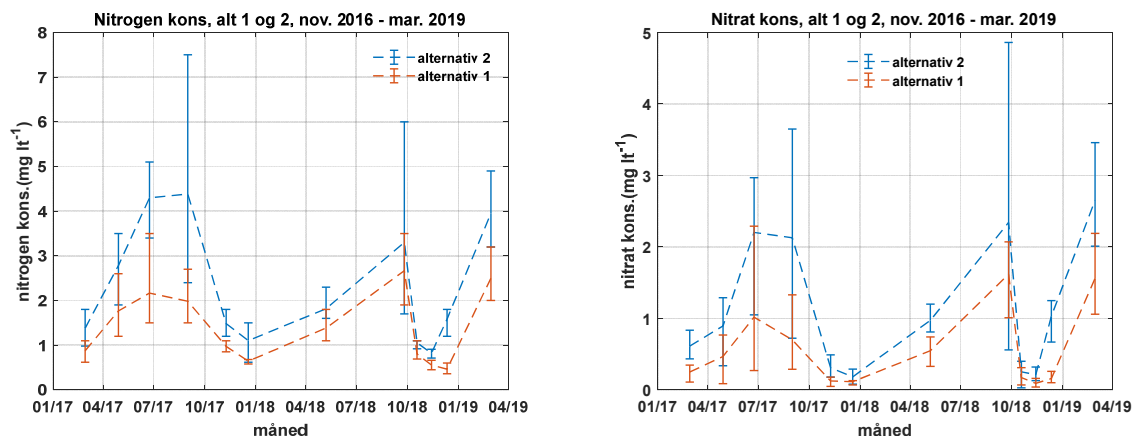
I gjennomsnitt ble det samlet opp en vannprøve annenhver måned fra hver rute i de to alternativene som ble analysert for både totalt nitrogen (N_{tot}), nitrat (NO_3), totalt fosfor (P_{tot}) og fosfat (PO_4).

3.3.1 Nitrogen og nitrat konsentrasjon

Resultatene viste at de gjennomsnittlige nitrogen- og nitratkonsentrasjonene var betydelig høyere i alternativ 2 sammenliknet med alternativ 1 (Tabell 10, Figur 17). Det var i tillegg en stor variasjon i konsentrasjon mellom grøftene innenfor de to alternativene. En fullstendig oversikt over konsentrasjonene for den enkelte grøft i alternativ 1 og 2 vises i Anneks 6.2. Nitrogenkonsentrasjoner er signifikant forskjellige mellom alternativ 1 og 2 (Anneks 6.7).

Tabell 10. Gjennomsnittlig konsentrasjon av total nitrogen (N_{tot} , mg/l) og nitrat (NO_3 , mg/l) under alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2 (dårlig drenert).

dato	N_{tot} (mg/l)		NO_3 (mg/l)	
	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 1	Alternativ 2
27.02.17	0,87	1,38	0,25	0,61
28.04.17	1,77	2,78	0,47	0,90
23.06.17	2,17	4,30	1,02	2,20
31.08.17	1,98	4,38	0,70	2,13
08.11.17	0,97	1,48	0,13	0,31
18.12.17	0,64	1,10	0,12	0,18
07.05.18	1,38	1,82	0,55	0,97
25.09.18	2,67	3,30	1,62	2,34
18.10.18	0,80	1,05	0,17	0,25
13.11.18	0,56	0,82	0,09	0,21
11.12.18	0,46	1,58	0,16	1,03
12.02.19	2,50	3,95	1,56	2,66
gjenn.	1,40	2,33	0,57	1,15



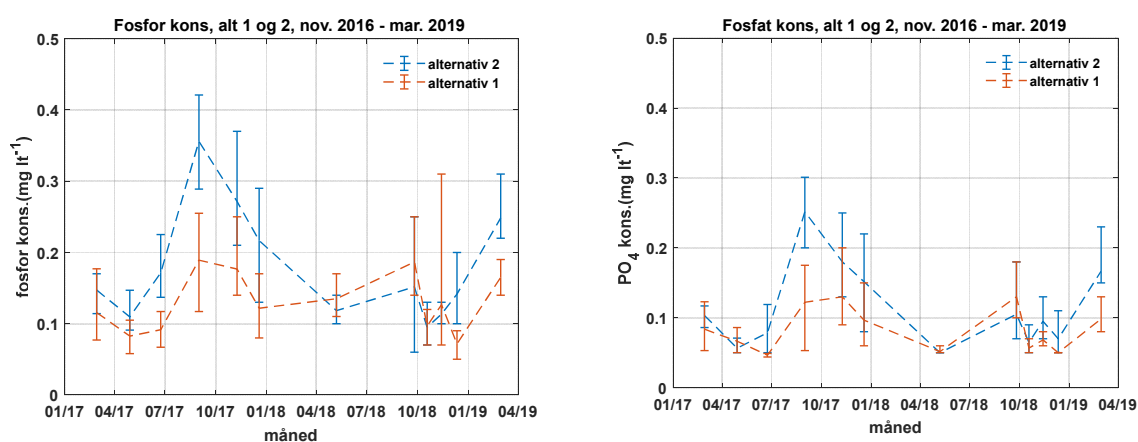
Figur 17. Nitrogen- og nitratkonsentrasjon i alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2 (dårlig drenert).

3.3.2 Fosfor- og fosfatkonsentrasjon

Som for nitrogen og nitrat er det også for total fosfor og fosfat en stor variasjon mellom grøftene, både i det dårlige og godt drenerte alternativet (Figur 18, Anneks 6.2).

Den gjennomsnittlige konsentrasjon av total fosfor og fosfat er høyere under dårlig drenert enn godt drenert (Tabell 11), skjønt forskjellen er mindre enn for nitrogen. Det finnes likevel to unntak. Den gjennomsnittlige P_{tot} konsentrasjonen i vannprøvene tatt ut den 25.9.18 og 13.11.18 viste en høyere gjennomsnittlige konsentrasjon i alternativ 1 enn i alternativ 2.

Årsaken til den høyere gjennomsnittlige P_{tot} konsentrasjonen i vannprøven tatt ut den 13.11.18 er på grunn av en meget høy konsentrasjon i rute 6 i alternativ 1. I prøven tatt ut den 25.9.2018 er P_{tot} konsentrasjon i alle rutene i alternativ 1 høyere enn i alternativ 2, med unntak av rute 5 (Anneks 6.2).



Figur 18. Fosfor og fosfat konsentrasjon i alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2 (dårlig drenert)

Tabell 11. Gjennomsnittlig konsentrasjon av total fosfor (P_{tot} , mg/l) og fosfat (PO_4 , mg/l) under alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2 (dårlig drenert).

dato	P_{tot} (mg/l)		PO_4 (mg/l)	
	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 1	Alternativ 2
27.02.17	0,12	0,15	0,08	0,10
28.04.17	0,08	0,11	0,07	0,06
23.06.17	0,09	0,17	0,05	0,08
31.08.17	0,19	0,36	0,12	0,25
08.11.17	0,18	0,27	0,13	0,18
18.12.17	0,12	0,22	0,10	0,15
07.05.18	0,14	0,12	0,05	0,05
25.09.18	0,19	0,15	0,13	0,11
18.10.18	0,10	0,10	0,06	0,07
13.11.18	0,13	0,11	0,07	0,10
11.12.18	0,07	0,14	0,05	0,07
12.02.19	0,17	0,25	0,10	0,17
Gjenn.	0,13	0,18	0,08	0,11

3.4 Tap av nitrogen og fosfor

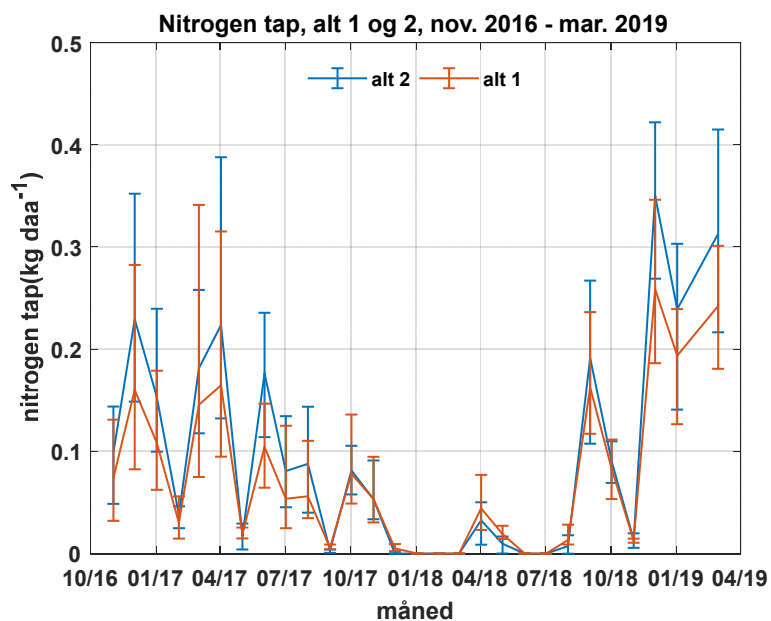
3.4.1 Nitrogentap

For hele måleperioden fra november 2016 – februar 2019 er det gjennomsnittlige nitrogentapet i alternativ 1 (godt drenert) 2,1 kg/daa. Det er en betydelig variasjon i tapet mellom grøftene, varierende fra 1,4 kg daa⁻¹ i rute 6 til 3,1 kg daa⁻¹ i rute 1, de samme rutene som også hadde den laveste og høyeste avrenning (Tabell 12, Figur 19).

For samme perioden er det gjennomsnittlige tapet i alternativ 2 (dårlig drenert) 2,7 kg/daa, som er større enn i alternativ 1. Også i alternativ 2 er det en betydelig variasjon mellom grøftene fra 1,9 kg daa⁻¹ i rute 3 til 3,3 kg daa⁻¹ i rute 1, de samme rutene som også hadde den laveste og høyeste avrenningen.

Tabell 12. Nitrogen tap (kg/daa) målt på alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2(dårlig drenert)

	alternativ 1, godt drenert							alternativ 2, dårlig drenert						
	r1	r2	r3	r4	r5	r6	gjenn	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Gjenn
2016	0,41	0,31	0,19	0,16	0,23	0,11	0,23	0,39	0,31	0,33	0,25	0,50	0,20	0,33
2017	1,54	0,96	0,67	0,54	0,73	0,50	0,82	1,38	1,18	0,77	0,85	1,55	0,84	1,10
2018	0,66	0,79	0,56	0,57	0,55	0,43	0,59	0,80	0,70	0,46	0,73	0,73	0,75	0,70
2019	0,46	0,54	0,46	0,42	0,42	0,31	0,44	0,72	0,66	0,36	0,56	0,50	0,51	0,55
sum N _{tap}	3,07	2,60	1,88	1,69	1,93	1,35	2,09	3,29	2,85	1,91	2,40	3,28	2,30	2,67



Figur 19. Nitrogen tap (kg/daa) i alternativ 1 og alternativ 2 for perioden fra november 2016 – februar 2019

3.4.2 Fosfortap

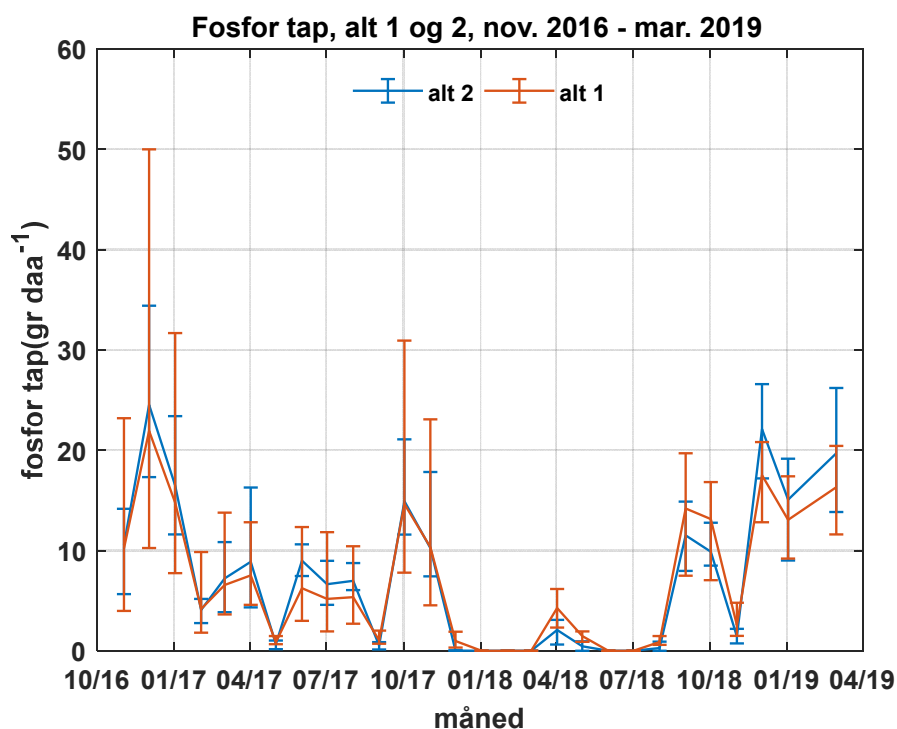
Tabell 13 og Figur 20 viser fosfortap fra alternativ 1, god drenert og alternativ 2, dårlig drenert. Gjennomsnittlig P-tap for alternativ 1, godt drenert var 193 gr daa⁻¹. Det var en stor variasjon i P-tap mellom rutene, fra 127- 339 gr daa⁻¹, målt i henholdsvis rute 1 og rute 6.

Det gjennomsnittlige P -tapet fra alternativ 2, dårlig drenert, var 203 gr daa⁻¹. Som for alternativ 1 var det også for alternativ 2 en betydelig variasjon i P-tapet, fra 160 – 259 gr daa⁻¹, målt i henholdsvis rute 3 og rute 1.

Avrenningen i alternativ 2 var mindre enn i alternativ 1 men årsaken til det større P tapet i alternativ 2 har vært at konsentrasjonene er høyere enn i alternativ 1.

Tabell 13. Fosfor tap (gr/daa), alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2(dårlig drenert)

	alternativ 1							alternativ 2						
	r1	r2	r3	r4	r5	r6	snitt	r1	r2	r3	r4	r5	r6	snitt
2016	73	35	25	23	23	14	32	45	29	31	34	48	23	35
2017	162	82	65	54	62	40	78	110	70	67	91	96	79	86
2018	66	66	37	51	56	48	54	59	41	39	48	51	49	48
2019	38	32	21	27	34	25	29	45	31	23	34	35	41	35
sum P _{avr}	339	215	147	156	174	127	193	259	172	160	207	230	192	203



Figur 20. Fosfor tap (gr daa⁻¹) i alternativ 1 og alternativ 2 for perioden fra november 2016 – februar 2019

Årsaken til den høyere nitrogenavrenningen under dårlig drenering er de betydelig høyere konsentrasjonene, fordi avrenningen fra dårlig drenering er lavere sammenliknet med god drenering. Fosfortapet fra dårlig drenering var også større under dårlig drenering, også på grunn av de høyere konsentrasjoner, skjønt forskjellen var mindre. Det er usikkerhet om hva som er årsaken til at nitrogen og fosfor konsentrasjon er høyere i det dårlig drenerte alternativet.

Det at nitrogentapet under dårlig drenering er større enn i godt drenert er litt overraskende siden internasjonal forskning antyder det motsatte, dvs. at bedre drenering resulterer i mer nitrogenavrenning (Kladivko et al., 2004; Skaggs et al., 2005). Også foreløpige resultater fra

DRAINIMP prosjektet (NIBIO-Fureneset, rapport under utarbeiding) viser tilsvarende resultater, dvs at en økning i grøfteintensitet fører til et større nitrogen tap.

Det ble ikke funnet litteratur som beskriver effekter av dårlig drenering på fosfor avrenning. I de fleste tilfeller ble det foretatt studier som viste effekter av grøftesystemer på overflateavrenningen, erosjon og tap av fosfor.

3.5 Registreringer av grunnvannsnivå

I begge alternativene begynte registrering av grunnvannet i juni 2017. I alternativet 1 (godt drenert) ble grunnvannsrør plassert mellom grøfte 1 og 2 (R1A) og grøft 5 og 6 (R1B).

I alternativet 2 (dårlig drenert) ble også grunnvannsrør plassert mellom grøft 1 og 2 (R2A) og 5 og 6 (R2B, Figur 2).

De gjennomsnittlige månedsverdiene for grunnvannsnivå er presentert i Anneks 6.4. Det er ikke store forskjeller i grunnvannsnivået mellom alternativene 1 (godt drenert) og 2 (dårlig drenert) (Tabell 14).

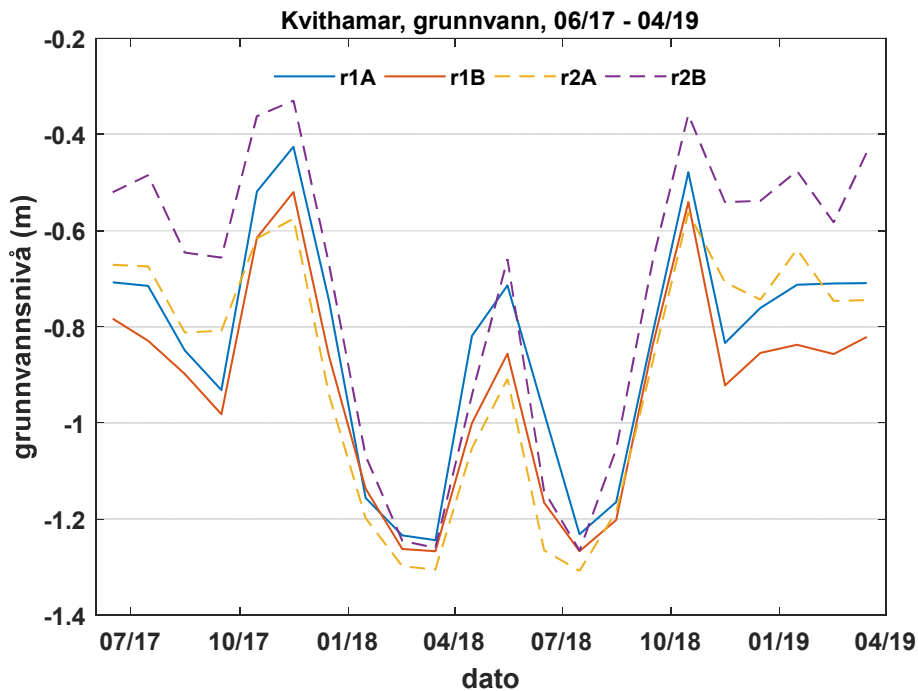
Grunnvannet i R2B under alternativ 2, mellom grøft 5 og 6, som er dårlig drenert, viser et høyere grunnvannsnivå enn i R1A/B og R2A som er en forventet en effekt av dårlig drenering.

Grunnvannsnivå i R2A, i alternativet dårlig drenert, er nesten likt grunnvannsnivå i R1B som er godt drenert og faktisk litt dypere enn i R1A som også ligger i det godt drenerte alternativet.

Tabell 14. Grunnvannsnivå i alternativ 1(godt drenert) og alternativ 2 (godt drenert)

	godt drenert		dårlig drenert	
	R1A	R1B	R2A	R2B
2017	-0,70	-0,78	-0,73	-0,52
2018	-0,95	-1,03	-1,03	-0,89
2019	-0,71	-0,84	-0,71	-0,50
hele periode	-0,84	-0,92	-0,89	-0,72

Det er vanskelig å vurdere effekten av et grøftesystem på bakgrunn av et gjennomsnittlig grunnvannsnivå over en lang periode. Men heller ikke månedsverdier viser tydelige effekter av gode og dårlig drenerte forhold på grunnvannsnivået. Også månedsverdier viser at grunnvannet i R2B og R1A er høyere enn i R2A og R1B (Figur 21).



Figur 21. Grunnvannsnivå (månedsverdier) fra 1/6 2017 - 31/3/2019. R1A og B er godt drenert; R2A og B er dårlig drenert.

Det som er viktig er hvor raskt vannet dreneres ut av et jordprofil eller hvor fort grunnvannsnivået synker, og da særlig i perioder med mye nedbør. Det er valgt ut perioder med mye nedbør for å se nærmere på effekter av grøftesystemet på grunnvannet.

3.5.1 Grunnvann og nedbør

Det forventes at grunnvannsnivå i det godt drenerte alternativet er lavere enn i dårlig drenerte alternativet og i tillegg skal synke lenger ned enn i alternativet 2 siden grøfteutløpet i dette alternativet er satt til 50 cm underoverflate.

Det er likevel mange episoder som viser at grunnvannsnivået er motsatt det som er forventet, som for eksempel i juni 2017 (Figur 22) når grunnvannsnivået i fra 18 – 21 juni i det godt drenert alternativet (R1A/B) er høyere enn i det dårlig drenerte alternativet (R2A/B).

Den 20. august 2017 har begge alternativene samme nivå (Figur 23). Men så er reduksjonen av grunnvannsnivået etter 20. august i alternativ 1 (godt drenert) betydelig raskere og dypere enn i alternativ 2 (dårlig drenert), noe som på en måte bekrefter det som forventes. Men det som likevel er merkelig er at grunnvannet i det dårlig drenerte alternativet synker forbi 50 cm under overflaten, det vil si forbi grøftedybde. Spørsmålet er da hvor vannet renner.

I oktober 2017 er det en raskere senkning av grunnvannet i det godt drenerte alternativet samtidig som grunnvannet i det dårlig drenert alternativet er høyere. I tillegg synker grunnvannet i det godt drenerte alternativet lenger ned sammenliknet med dårlig drenert (Figur 24).

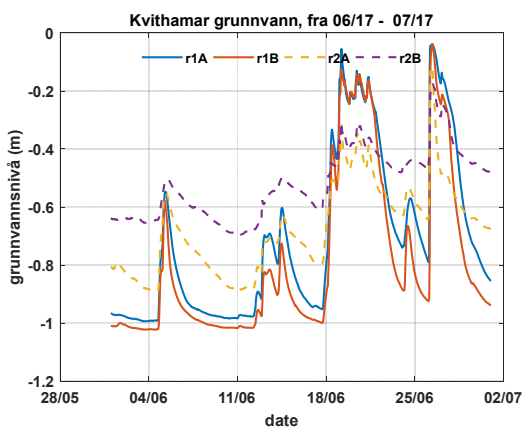
Som i juni 2017 er også i desember 2017 (Figur 25) grunnvannsnivå i R1A (godt drenert) betydelig høyere enn i R1B (godt drenert) og dårlig drenert (R2A og B). Hva som er årsaken til dette er ukjent.

I august 2018 er det en betydelige høyere grunnvannsnivå i det dårlig drenerte alternativet (Figur 26). I begge alternativer synker grunnvannet ned mot 80 – 100 cm under overflaten i midten av september. Det er igjen overraskende at også i det dårlig drenerte alternativet synker grunnvannet ned til denne dybde siden grøftene i prinsippet ligger 50 cm under overflate, noe som også skjedde i august 2017

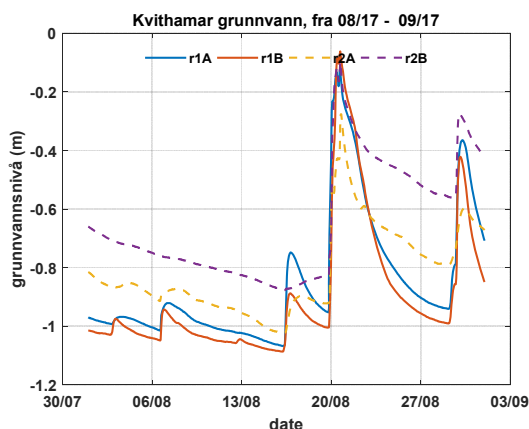
(Figur 23). Mot slutten av september 2018 (Figur 27) er det ikke mye forskjell i grunnvannsnivå mellom alternativene. En årsak til dette kan være mye nedbør i slutten av måneden da det fra 20. – 30. september kom 140 mm med nedbør.

Tilsvarende perioder med mye nedbør (100 mm) ble registrert i slutten av desember 2018 (Figur 28) og slutten av mars 2019 (110 mm, Figur 29) og viser at under slike forhold er det liten forskjell i grunnvannsnivå mellom alternativene.

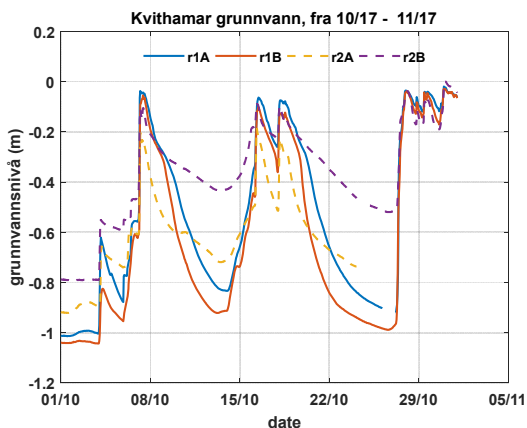
I de fleste tilfellene er det en synlig raskere synkehastighet av grunnvannet i det godt drenert alternativet (R1A/B) sammenliknet med det dårlig drenerte alternativet (R2A/B).



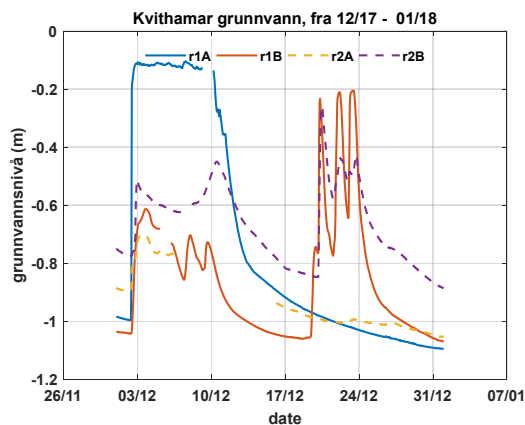
Figur 22. Grunnvannsnivå, juni 2017



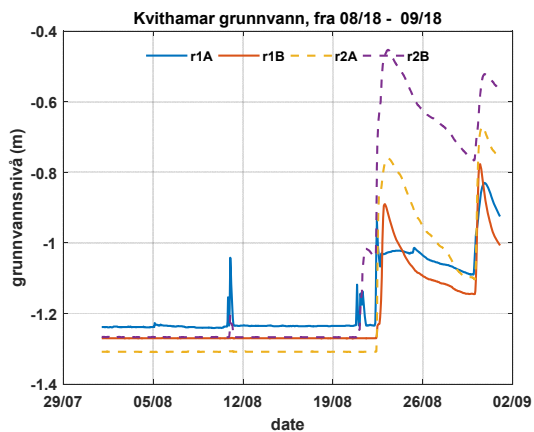
Figur 23. Grunnvannsnivå, august 2017



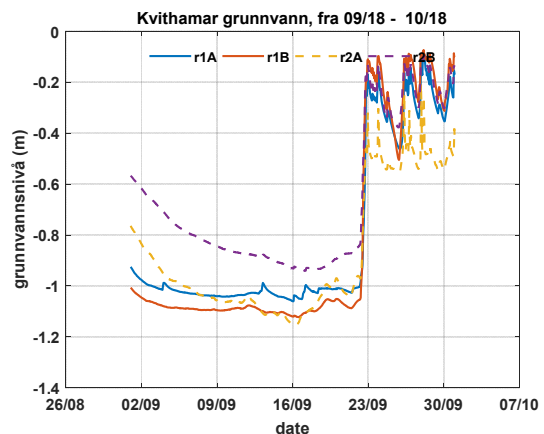
Figur 24. Grunnvannsnivå, oktober 2017



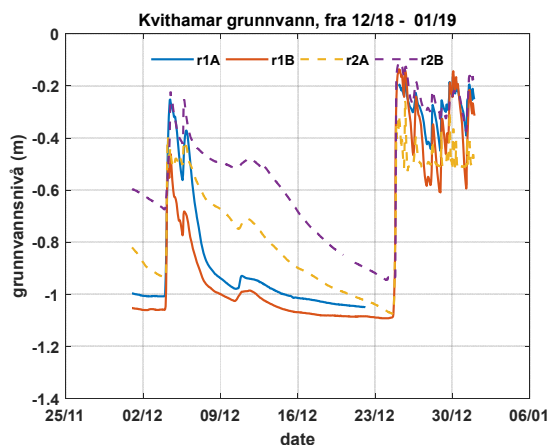
Figur 25. Grunnvannsnivå, desember 2017



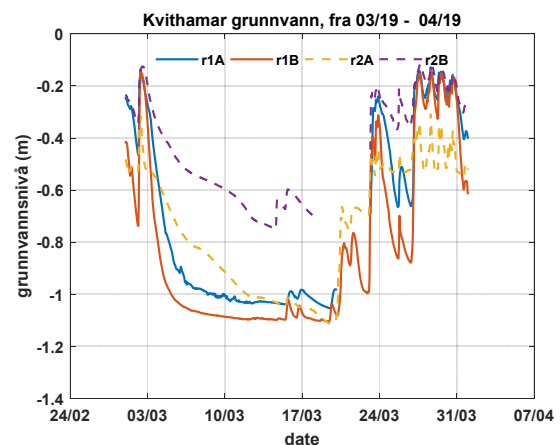
Figur 26. Grunnvannsnivå, august 2018



Figur 27. Grunnvannsnivå, september 2018



Figur 28. Grunnvannsnivå, desember 2018



Figur 29. Grunnvannsnivå, mars 2019

3.5.2 Endringer i grunnvannsnivå.

Grunnvannet ser ut til å reagere raskere; dvs. at det har en raskere synkehastighet under forhold med god drenering. Dette kan utdypes videre ved å beregne «flashiness» indeksen (Baker et al., 2004). Indeksen har blitt brukt i analyser av avrenning og beskriver hvor fort endringene i vannføringen skjer. Jo større verdien for flashiness indeksen er, desto fortere skjer endringene i vannføringen. Indeksen kan beregnes både på bakgrunn av døgnverdier så vel som timeverdier og kan også anvendes til å vurdere effekter av grøftesystemet på grunnvannet.

I denne rapporten er flashiness indeksen beregnet på bakgrunn av timeverdier for grunnvannet for noen utvalgte måneder med betydelig høyere nedbør enn normalen.

Resultatene viser at flashiness indeks er større i alternativ 1, godt drenert enn i alternativet 2, dårlig drenert (Tabell 15). Dette bekrefter at god drenering har en større effekt på endringer i grunnvannet enn dårlig drenering.

Tabell 15. Flashiness indeks (FI) og gjennomsnittlig grunnvannsnivå i måneder med nedbør større enn normal nedbør

måned	gjennomsnittlig grunnvannsnivå				(FI)				Nedbør (mm)	
	r1A	r1B	r2A	r2B	r1A	r1B	r2A	r2B	målt	normal
jun. 17	-0,71	-0,78	-0,67	-0,52	0,29	0,27	0,19	0,15	135	68
aug. 17	-0,85	-0,90	-0,81	-0,65	0,13	0,13	0,08	0,10	116	87
okt. 17	-0,52	-0,61	-0,62	-0,36	0,35	0,32	0,22	0,31	159	104
des. 17	-0,75	-0,86	-0,94	-0,67	0,10	0,19	0,02	0,13	147	85
aug. 18	-1,16	-1,20	-1,18	-1,05	0,06	0,03	0,04	0,05	165	87
sep. 18	-0,81	-0,84	-0,87	-0,66	0,18	0,16	0,19	0,18	173	113
okt. 18	-0,48	-0,54	-0,56	-0,36	0,44	0,55	0,30	0,41	136	104
des. 18	-0,76	-0,85	-0,74	-0,54	0,19	0,24	0,26	0,23	133	85
jan. 19	-0,71	-0,84	-0,64	-0,48	0,23	0,20	0,14	0,21	96	65
mar. 19	-0,71	-0,82	-0,74	-0,44	0,25	0,29	0,21	0,26	152	55

3.6 Jordas vanninnhold

En viktig funksjon av grøftesystemet er å fjerne grunnvannet etter perioder med nedbør for å oppnå optimale vekstforhold og laglige forhold for jordarbeiding. Grøftesystemer fjerner kun det lett drenerbare vannet mellom jordas metning ($pF = 0$) og feltkapasitet ($pF = 2$). For å oppnå laglige forhold for jordarbeiding må jordas vanninnhold bli lavere enn det som er vanninnholdet ved feltkapasitet, og som varierer avhengig av jordart fra 70 – 90 % av feltkapasitet (Riley, 2016). Fjerning av det ekstra jordvannet oppnås kun gjennom fordampning.

pF kurven som er sammenhengen mellom matrikspotensial (cm sug) og vanninnhold (%) er vist i Tabell 16 på 7 ulike prøvedyp for Kvithamar (Øverlie et al., 2017).

Dersom det tas utgangspunkt i jordas vanninnhold ved et matrikspotensial tilsvarende $h = 100$ cm (= $pF = 2$) målt på 15 cm dybde og dersom det antas at laglige forhold for jordarbeiding oppnås ved 90% av jordas vanninnhold ved feltkapasitet (Riley, 2016), betyr dette for Kvithamar at vanninnholdet må være i størrelsesorden 39 % som er $0,90 \times 43,8$ % (jordas vanninnhold ved $pF = 2/h = 100$ cm).

Tabell 16. Retensjonsdata som vol % vann og jordas matrikspotensial (h) i cm H₂O for ulike prøvedyp

Dybde (cm)	0	10	20	40	70	100	1000	15000
15	51,4	49,2	47,4	46,2	45,1	43,8	36,6	12,9
30	37,8	35,2	34,5	33,8	33,4	32,9	30,4	16,4
45	41,8	38,3	37,4	36,7	36,2	35,7	32,5	20,5
60	41,4	39,3	38,2	37,6	37,1	36,6	33,5	18,3
75	41,9	39,6	39,3	38,8	38,2	37,8	35,1	20,9
90	45,1	41,9	41,6	41,1	40,7	40,2	37,5	20,3
120	45,2	43,3	43,1	42,8	42,5	42,2	40,0	20,4

fra; Vann i jord; Simulering av vann- og energibalansen på Kvithamar markvannsstasjon, Nord-Trøndelag.

Som en del av dette prosjektet har det blitt gjennomført jordprofilbeskrivelser (Anneks 6.5). I tillegg har det blitt tatt jordprøver for bestemmelsen av retensjonskurven samt bestemmelsen av jordas mettede vannledningsevne. På det nåværende tidspunkt er kun vannledningsevne bestemt på prøver tatt ut ved R1A (godt drenert) og R2A (dårlig drenert). For hvert sjikt ble det tatt ut tre ringer til bestemmelse av vannledningsevne. Det er store forskjeller i vannledningsevne for hvert sjikt (Tabell

17). Og i noen tilfeller er det ekstremt høye verdier for vannledningsevne. I tillegg var det forventet at det skulle være en tydelig forskjell mellom horisontal og vertikal vannledningsevne. Resultatene så langt viser at dette kun er tilfelle for sjikt CG (anneks 6.5) i jordprøvene tatt ved R1A og R2A (Figur 2). Bestemmelse av vannledningsevne i prøvene som er tatt ved R1B og R2B må fortsatt foretas. I tillegg må retensjonskurven bestemmes på de prøvene som er tatt ut på de 4 lokalitetene. Mulig finansiering kan være gjennom prosjektet «Dreneringssystemer i leirjord i Trøndelag: Tilpasning til endret klima» (LDir, refnr.: 59748/2019).

Tabell 17. Horisontal og vertikal vannledningsevne tatt ved R1A (godt drenert) og R2A (dårlig drenert). Ap, BG og CG refererer til sjikt i jordprofilbeskrivelsen (anneks 6.5).

Vannledningsevne (cm dag ⁻¹)				Vannledningsevne (cm dag ⁻¹)			
R1A	Ring nr.	Vertikalt	Horisontalt	R2A	Ring nr.	Vertikalt	Horisontalt
Ap	1	898	904	Ap	1	713	1265
	2	408	494		2	661	506
	3	758	401		3	273	565
CG	1	6280	1355	BG	1	572	700
	2	166	432		2	739	545
	3	531	703		3	357	537
				CG	1	289	378
					2	1177	1590
					3	344	2070

3.6.1 Jordas vanninnhold, eksempel fra juni 2017

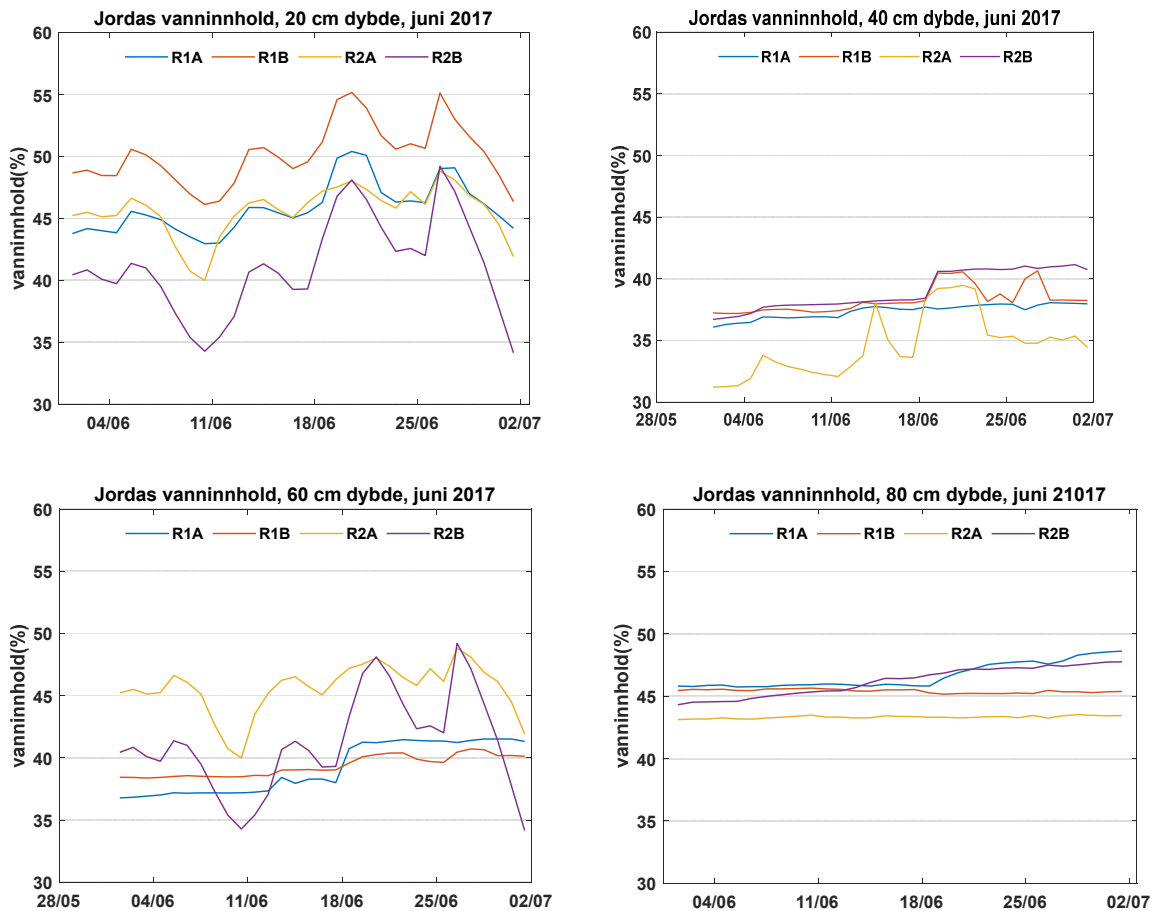
I juni 2017 kom det 135 mm med nedbør, to ganger større enn normal nedbør for denne måned. Vanninnholdet for denne måned er vist i Figur 30.

Vanninnholdet på 20 cm jorddybde målt av de 4 sensorene varierte fra cirka 40 - 50 % og nådde en topp rundt den 20. juni, samtidig som grunnvannsnivået også var høyest, tett opp under overflaten i det godt drenerte alternativet (R1) og på cirka 40 cm under overflaten i det dårlig drenerte alternativet (R2, Figur 22). Dette skulle ha betydd et vanninnhold på cirka 50% i det godt drenerte alternativet (R1) og et litt lavere vanninnhold i det dårlig drenerte alternativet (R2). Men resultatene er motsigende. Gjennom hele juni måned ble det høyeste vanninnholdet målt ved R1B, som er godt drenert. Derimot var vanninnholdet ved R1A, som også er godt drenert, nesten likt vanninnhold målt ved R2A (dårlig drenert) mens vanninnholdet ved R2B (dårlig drenert) var lavest.

Vanninnholdet på 40 cm jorddybde er lavere enn det som ble målt ved 20 cm dybde og i tillegg er det et litt lavere vanninnhold i alternativ R2A (dårlig drenert). Verdiene for målt vanninnhold stemmer sånn cirka overens med de verdiene som er gitt for mettede forhold på 30 - 45 cm dybde (Tabell 16).

Det er en større forskjell mellom sensorene på 60 cm dybde, med flest dager med størst vanninnhold i R2A og R2B og et nærmest likt vanninnhold i R1A og R1B. Vanninnholdet stemmer tilnærmet overens med vanninnhold under mettede forhold på 60 cm jorddybde (Tabell 16). Retensjonsdata som vol % vann og jordas matrikspotensial (h) i cm H₂O for ulike prøvedyp).

Vanninnholdet på 80 cm jorddybde er nærmest konstant på cirka 45 % mens det ikke er nevneverdig forskjell i målt vanninnhold mellom sensorene. Og dette vanninnholdet stemmer tilnærmet overens med det som er angitt for mettede forhold på 80 cm dybde (Tabell 16).

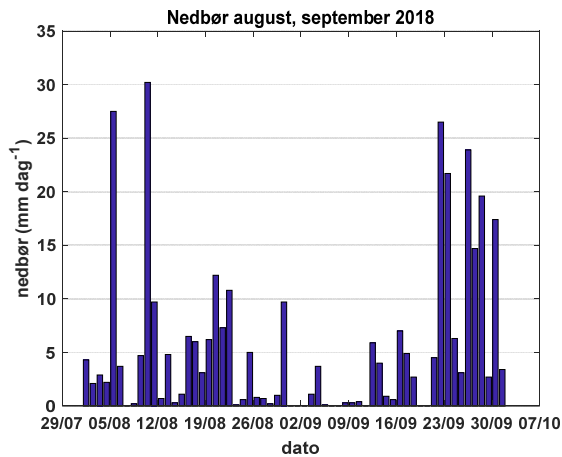


Figur 30. Jordas vanninnhold, juni 2017.

3.6.2 Jordas vanninnhold, august og september 2018

Den totale nedbøren i august måned var på 165 mm. En stor andel av dette, 128 mm, kom i perioden fra 1 - 20 august (Figur 31). I denne perioden økte jordas vanninnhold målt på 20 cm dybde fra cirka 15 % til litt over 40 % i alternativene R1B og R2A. Alternativene R1A og R2B har et vanninnhold som ligger da cirka 5 % lavere (Figur 32). Det merkelige er at vanninnholdet registrert av R1B skulle vært cirka likt det som ble registrert av R1A, noe som også gjelder R2A og R2B. Men forskjellene i vanninnhold, registrert av sensorene på 20 cm dybde er ikke særlig stor.

Fra 20 - 30 september kom det 144 mm med nedbør mens det for hele september måned kom 173 mm. Man ser også en tydelig økning i jordas vanninnhold på 20 cm dybde og forskjellene mellom de 4 sensorene på 20 cm dybde har blitt mindre.

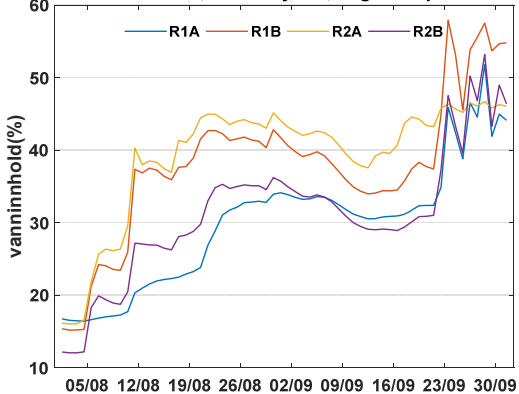


Figur 31. Nedbør LMT Kvithamar, august og september 2018.

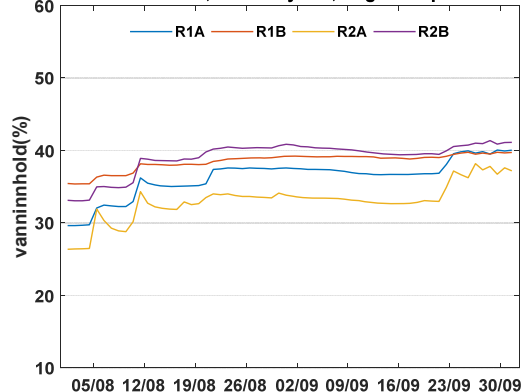
Forskjellene i vanninnhold mellom sensorene er ikke stor på 40 cm dybde samtidig som det er lite variasjon, vanninnhold ligger på et nærmest konstant nivå. Dette er vanskelig å forstå siden det var en tydelig endring i grunnvannsnivå, skjønt den også varierte for de 4 alternativene, ved at den økte mindre i det godt drenerte alternativet sammenliknet med det dårlig drenerte alternativet (Figur 27).

På 60 cm dybde vises det igjen endringer tilsvarende det som ble registret i juni 2017 med et cirka konstant vanninnhold i R1A og B mens den varierer i R2A og B. På 80 cm dybde er det også i denne periode mindre endringer samtidig som det er lite forskjell mellom de fire sensorene.

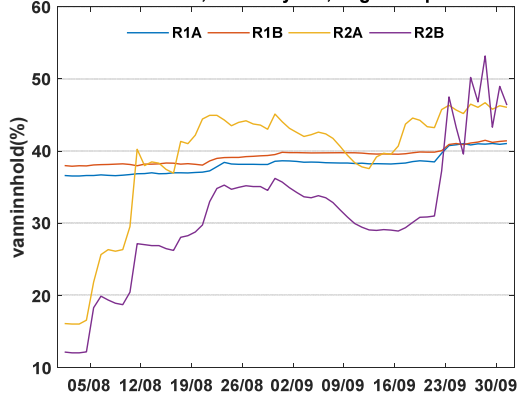
Jordas vanninnhold, 20 cm dybde, august/september 2018



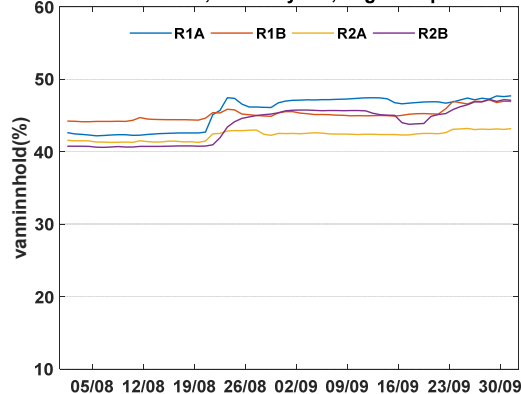
Jordas vanninnhold, 40 cm dybde, august/september 2018



Jordas vanninnhold, 60 cm dybde, august/september 2018



Jordas vanninnhold, 80 cm dybde, august/september 2018

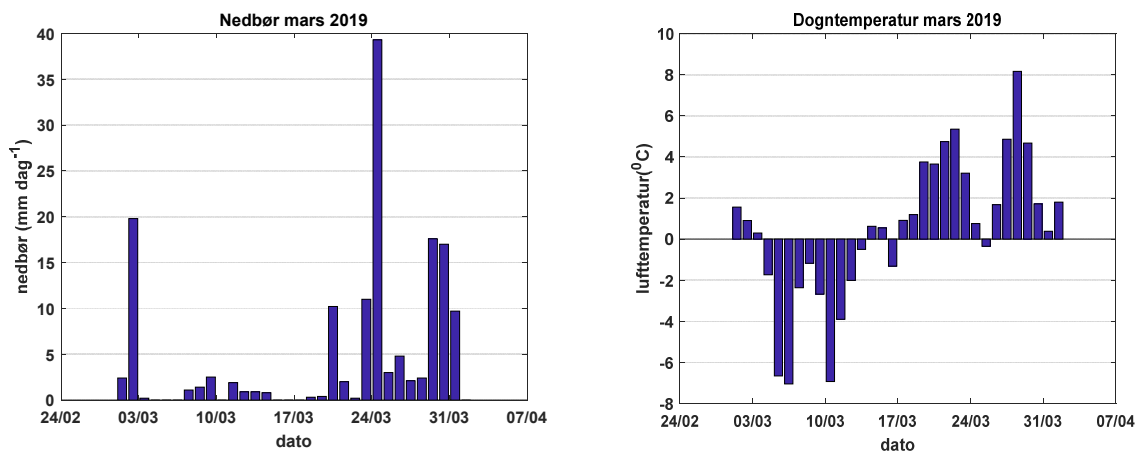


Figur 32. Jordas vanninnhold, august og september 2018

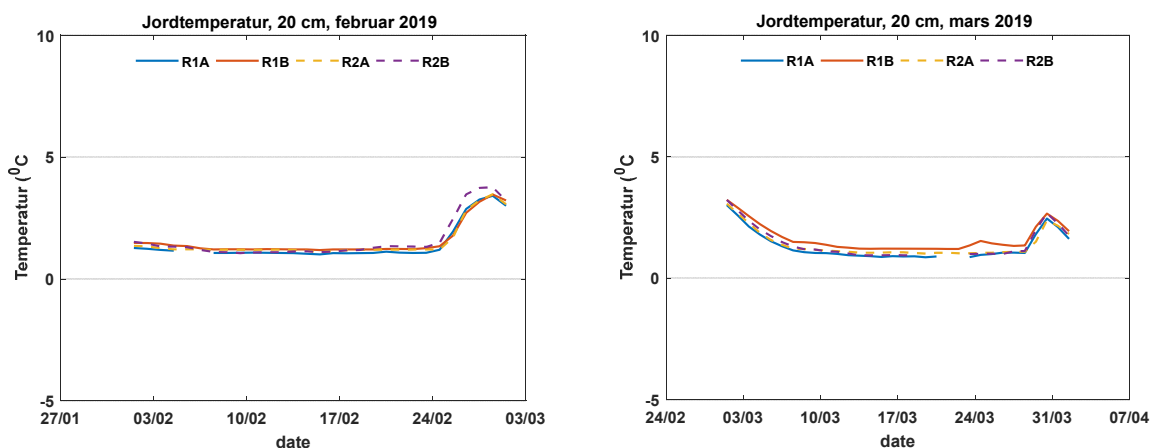
3.6.3 Jordas vanninnhold, eksempel fra mars 2019

Den totale nedbøren i mars 2019 var 152 mm, hvorav nedbøren fra 20 - 31 mars utgjorde den største andelen som var 119 mm. Den gjennomsnittlige døgntemperatur i mars måned var 0,4 °C, med temperaturer < 0 °C til 17 mars (Figur 33). Temperaturer < 0 °C kan ha ført til en jordtemperatur < 0 °C som igjen kan ha hatt en effekt på jordas vanninnhold. Dersom jordvannet fryser blir dette synliggjort ved at jordas vanninnhold (målt ved hjelp av en TDR sensor) blir redusert, skjønt det totale vanninnholdet (summen av vann + is) ikke endres. Jordtemperatur målt på 20 cm dybde har ikke vært < 0 °C hverken i februar eller mars måned (Figur 34).

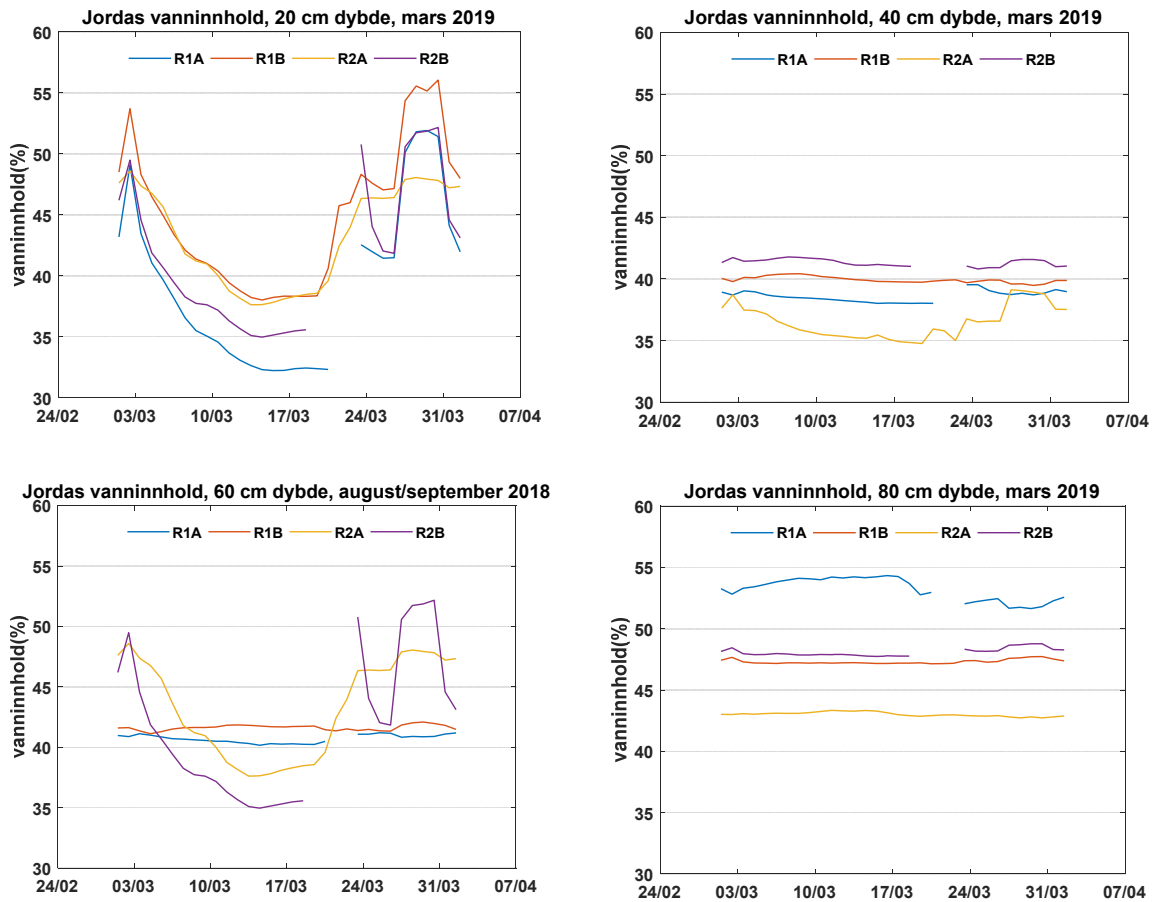
Dette kan derfor ikke være med på å forklare den reduseringen i jordas vanninnhold i første halvdel av mars 2019 (Figur 35). Den mest synlige årsaken er redusert grunnvannsnivå, både i det dårlige og godt drenerte alternativet i første halvdel av mars 2019 (Figur 29). I andre halvdel økte grunnvannstanden, som igjen førte til en økning i jordas vanninnhold ved 20 cm dyp (Figur 35).



Figur 33. Døgn nedbør og temperatur, mars 2019



Figur 34. Jordtemperatur på 20 cm dybde i måneder februar og mars 2019.



Figur 35. Jordas vanninnhold, mars 2019.

3.7 Tilført gjødsling og registrert avling

I 2017 og 2018 ble avlingen av eng målt i begge alternativene. I alternativ 1 ble avlingen målt i rute 2, 3 og 4 mens avlingen i alternativ 2 ble målt i rute 2, 4 og 5.

Avling i kilo per dekar ble beregnet på bakgrunn av høsteareal, rå avling av eng og prosent tørrstoff. I tillegg ble innholdet av nitrogen og fosfor bestemt, noe som danner grunnlaget for å beregne mengde nitrogen og fosfor som fjernes med avlingen. I 2017 og 2018 ble avlingen målt henholdsvis to og tre ganger. Detaljerte opplysninger av resultatene er vist i Anneks 6.6 mens et sammendrag er vist i Tabell 18.

Tabell 18. Avling, tilført og bortført nitrogen, N-, P balanse

Høstedata		Avling ts kg daa ⁻¹	Bortført (kg daa ⁻¹)		Tilført (kg daa ⁻¹)		Balanse (kg daa ⁻¹)		Tilført gjødsel ^a
			N	P	N	P	N	P	
22.06.2017	Alt 1	259	5,80	0,73	10,56	1,44	4,76	0,71	48
	Alt 2	319	7,76	0,87	10,56	1,44	2,80	0,57	
31.08.2017	Alt 1	495	6,55	1,14	7,48	1,02	0,93	-0,12	34
	Alt 2	492	7,61	1,20	7,48	1,02	-0,13	-0,18	
08.06.2018	Alt 1	370	6,48	0,86	9,46	1,29	2,98	0,43	43
	Alt 2	459	8,14	1,07	9,46	1,29	1,32	0,22	
27.07.2018	Alt 1	207	3,87	0,51	7,26	0,99	3,39	0,48	33
	Alt 2	176	3,57	0,40	7,26	0,99	3,69	0,59	
10.09.2018	Alt 1	76,1	2,87	0,31	7,26	0,99	4,39	0,68	33
	Alt 2	98,9	3,54	0,39	7,26	0,99	3,72	0,60	

^a – Gjødsel type 22-3-10, tilførsel i kg daa⁻¹.

Av i alt fem innhøstinger har avlingsnivå i det dårlig drenerte alternativet vært 3 ganger større enn avlingen i det godt drenert alternativet. Det er ikke gjort forsøk i Norge på effekter av drenering på avlingsnivå i eng. Likevel er det en allment oppfatning at dårlig drenering har en negativ, reduserende effekt på avlingen. Resultatet fra Kvithamar er derfor litt overraskende siden man forventer at god drenering skal gi et bedre avlingsresultat.

Det er viktig å understreke at man ikke kan vektlegge resultatene for mye siden det kun er to år med målinger; slike vekstforsøk pågår vanligvis over flere år. I tillegg har det i det andre året vært vanskelige vekstforhold på grunn av ekstremt lite nedbør over en lengre periode fra januar til juli 2018, noe som også ga utslag særlig på andre og tredje innhøsting (Tabell 18).

3.8 Drenering og jordpakking

Målingene av jordpakking ble gjort rett over grøfterørene i begge felt. I alternativet 1 over rute 2, 3 og 4 og i alternativet 2 over rute 2, 4 og 5. I 2017 ble det gjennomført 2 målinger og i 2018 1 måling. Tabell 19 – 21 viser resultatet av de tre målingene for hver dybde. Verdien for hver dybde er et gjennomsnitt av 10 målinger.

Jordpakking blir målt i kilopascal (kPa) og større verdier for kPa tyder på mer jordpakking. Dette kan bli forstyrret av jordas vanninnhold ved at en økning i vanninnhold reduserer penetrometermotstanden.

Forskjellene i målt jordpakking er ikke store mellom dårlig og godt drenert alternativ. Det brukes forskjellige kritiske grenser for penetrometermotstanden når rotveksten avtar betydelig. En mye brukt norm er 3000 kPa, mens andre igjen oppgir 2000 kPa som en kritisk verdi (Håkansson, 2000).

Ved en dybde på 25 cm er motstanden i dårlig drenert alternativ såpass stor ved første og siste måling (Tabell 19 og Tabell 21) at rotveksten kan bli hemmet under slike forhold. Også i godt drenert er motstanden på 25 cm ved siste målingen stor og kunne ha påvirket rotveksten.

Men dersom jorda pløyes er ikke dette noe skadelig jordpakking selv om det er noe større penetrasjonsmotstand. Så lenge jordpakking er kun i det øverste sjikt kan en årlig pløying rette opp i dette. Været i det enkelte år og dermed vanninnholdet i jorda ved kjøring betyr mye for jordpakking. Er det en tørr vår eller høst er det neppe utslag for dreneringsintensiteten. For å få et resultat av drenering, eller jordas vanninnhold på jordpakking trenger man med vanlig variasjon i været cirka 10 år (pers med.; Trond Børresen (NMBU)).

Tabell 19. Måling av jordpakking (kPa) fortetatt den 12. oktober 2017.

	dybde (cm)										
	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
Godt drenert (rute 4)	586	1070	1326	1302	1200	1169	1158	1246	1309	1218	1769
Godt drenert (rute 3)	456	593	765	906	825	867	821	793	804	951	1741
Godt drenert (rute 2)	516	562	727	786	821	769	807	909	870	1105	1776
Gjennomsnitt	519	742	939	998	949	935	929	983	994	1091	1762
Dårlig drenert (rute 5)	674	870	895	926	818	856	797	821	769	1232	2618
Dårlig drenert (rute 4)	646	874	1007	1091	1134	1049	1035	997	930	1348	2098
Dårlig drenert (rute 2)	625	937	1025	968	895	888	895	902	958	1200	1663
Gjennomsnitt	648	894	976	995	949	931	909	907	886	1260	2126

Tabell 20. Måling av jordpakking (kPa) fotetatt den 25. oktober 2017

	dybde (cm)										
	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
Godt drenert (rute 4)	769	1207	1411	1404	1460	1456	1453	1320	1337	1453	1656
Godt drenert (rute 3)	544	709	979	1011	976	972	954	962	951	930	1263
Godt drenert (rute 2)	498	635	797	863	954	895	881	902	877	979	1400
Gjennomsnitt	604	850	1062	1093	1130	1108	1096	1061	1055	1121	1440
Dårlig drenert (rute 5)	505	1000	1025	1035	993	891	902	1000	867	1235	2618
Dårlig drenert (rute 4)	712	1000	1242	1351	1292	1126	1081	1112	1032	1102	1512
Dårlig drenert (rute 2)	719	912	1000	1011	912	793	789	856	877	905	1253
Gjennomsnitt	646	971	1089	1132	1066	937	924	990	925	1081	1794

Tabell 21. Måling av jordpakking (kPa) foretatt den 5. november 2018

	dybde (cm)										
	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
Godt drenert (rute 4)	478	680	1048	1190	1288	1211	1225	1242	1281	1783	2277
Godt drenert (rute 3)	314	539	846	1025	888	926	969	1035	1169	1418	1597
Godt drenert (rute 2)	361	790	1004	1035	951	1028	972	860	1179	1407	1933
Gjennomsnitt	384	670	966	1083	1042	1055	1055	1046	1210	1536	1936
Dårlig drenert (rute 5)	642	933	1204	1053	1126	1144	1084	965	1197	1572	2333
Dårlig drenert (rute 4)	473	673	993	1098	1063	1063	1004	1018	1127	1684	2365
Dårlig drenert (rute 2)	491	792	989	986	958	1032	1032	1042	1032	1148	1530
Gjennomsnitt	535	799	1062	1046	1049	1080	1040	1008	1118	1468	2076

4 Sammen drag og konklusjoner

Denne rapporten har presentert resultater fra målingene som ble foretatt i Kvithamar forsøksfelt i perioden fra høsten 2016 til mars 2019. Det ble foretatt måling av avrenning, næringsstofftap, grunnvannsnivå, jordas vanninnhold, avling av eng og jordpakking under forhold med både dårlig og god drenering.

- I måleperioden var nedbør i 23 måneder større enn normal nedbør. Men det har også vært måneder med betydelige mindre nedbør enn normal (sommeren 2018). Den gjennomsnittlige årstemperaturen har vært større enn normalt (1961 – 1990).
- Det er en stor variasjon i avrenning mellom de 6 grøftene i både det godt og dårlig drenerte alternativet. Det er usikkerhet omkring årsaken til den store variasjon i grøfteavrenningen mellom rutene i hvert alternativ. Nærmere analyser i prosjektet "Dreneringssystemer i leirjord i Trøndelag: Tilpasning til endret klima" kan skaffe mer informasjon om dette.
- Det var en større grøfteavrenning det godt drenerte alternativet sammenliknet med dårlig drenering. Forskjellen i grøfteavrenning mellom de to alternativene resulterte sannsynligvis i en større overflateavrenning under alternativet dårlig drenering. Dårlig drenering i dette tilfelle har sannsynligvis ført til mer overflate avrenning som igjen kan føre til mer erosjon og tap av partikulært fosfor.
- Både nitrogen- og fosforavrenning var større i det dårlig drenerte alternativet sammenliknet med det godt drenerte alternativet. Årsaken har vært de høyere konsentrasjonene for nitrogen og fosfor i avrenningen.
- Den større nitrogenavrenningen fra dårlig drenering er overraskende og motsatt det som ofte kommer fram som resultat fra studier foretatt i utlandet. Det ble ikke funnet studier som beskriver effekter av dårlig drenering på tap av fosfor gjennom grøfteavrenning.
- Hva som er årsaken til de høyere konsentrasjonene i nitrogen og fosfor i det dårlig drenerte alternativet må ses nærmere på. Videreføringen av målingene på Kvithamar som en del av Optikorn prosjektet kan muligens gi en økt forståelse av de prosessene som fører til forskjell mellom de to alternativer.
- Resultatet av målingene av grunnvannet viste at god drenering gir en raskere synkehastighet enn dårlig drenering.
- Målingene av jordas vanninnhold viste flere ganger motstridende, til dels uventede resultater som gjorde at det ikke ble sett en tydelig effekt av drenering på jordas vanninnhold.
- Det ble ikke målt en effekt av drenering på jordpakking. Det ble heller ikke målt en effekt på avling. Til dette trenger man målinger over flere år.

Det er vanskelig på bakgrunn av resultatene oppnådd gjennom dette prosjektet å komme med klare tydelige råd når det gjelder dreneringskriterier. Det er også utfordrende å anvende resultatene i kalibreringen av prosessbaserte modeller. Målingene skal fortsette etter 31/3/2019 som en del av Optikorn prosjektet. Det tas sikte på å lage en sluttrapport av alle målingen mot slutten av 2020.

5 Litteratur

- Baker, D.B., Richards, R.P., Loftus, T.T., Kramer, J.W., 2004. A new flashiness index: Characteristics and applications to Midwestern rivers and streams. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 40, 503–522. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2004.tb01046.x>
- Deelstra, J., n.d. NIBIO Brage: Klimasmart drenering. Resultater fra småfelt Vandsemb, Bye og Øvre Time [WWW Document]. URL <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2656250> (accessed 6.5.20).
- Deelstra, J., Hauge, A., 2020. NIBIO Brage: Klimaendringer, grøfteavrenning og grunnvann, resultater fra målinger i Øvre Time, Jæren [WWW Document]. URL <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2653658> (accessed 5.9.20).
- Deelstra, J., Iital, A., Povilaitis, A., Kyllmar, K., Greipsland, I., Blicher-Mathiesen, G., Jansons, V., Koskiaho, J., Lagzdins, A., 2014. Reprint of “Hydrological pathways and nitrogen runoff in agricultural dominated catchments in Nordic and Baltic countries.” *Agric. Ecosyst. Environ.* 198. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.06.032>
- Deelstra, J., Weström, I., 2015. Climate Change and Drainage-Special Issue, Soil and Plant Science ACTA Agriculturae Scandinavica Section B.
- Håkansson, I., 2000. Packning av åkermark ved maskindrift. Sveriges Landbruksuniversitet, Uppsala.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B., 2016. Klimaprofil Sør-Trøndelag. Fra: Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015.
- Hoel, B., Abrahamsen, U., Strand, E., Åssveen, M., Stabbetorp, H., 2013. Tiltak for å forbedre avlingsutviklingen i norsk kornproduksjon. NIBIO (Before Bioforsk).
- Kladivko, E.J., Frankenberger, J.R., Jaynes, D.B., Meek, D.W., Jenkinson, B.J., Fausey, N.R., 2004. Nitrate Leaching to Subsurface Drains as Affected by Drain Spacing and Changes in Crop Production System. *J. Environ. Qual.* 33, 1803–1813. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.1803>
- Kværnø, S., 2013. Flowpaths and nutrient loss in four field-scale catchments., in: In: Bechmann, M., Deelstra, J. (Eds.), *Agriculture and Environment – Long Term Monitoring in Norway*. Akademika Publishing, Trondheim, Pp. 179–196. pp. 179–196.
- Kværnø, S.H., Bechmann, M.E., 2010. Transport av jord og næringsstoffer i overflate- og grøftevann Sammenstilling av resultater fra rutefelter og småfelter i Norge. Bioforsk Rapport.
- Myhr, K., Oskarsen, H., Haraldsen, T.K., 1996. The Kvithamar field lysimeter. 1. Objectives, methods and results of soil analysis. *NJAS* 10, 197–210.
- Oskarsen, H., Myhr, K., Haraldsen, T.K., Aastveit, A.H., 1997. The Kvithamar [Norway] field lysimeter II. Pipe drainage, surface runoff and nutrient leaching. *NJAS* 10, 211–228.
- Øverlie, T., Colleuille, H., Haugen, L.E., 2017. Vann i jord - Simulering av vann- og energibalansen på Kvithamar markvannsstasjon, Nord-Trøndelag. NVE.
- Riley, H., 2016. Tillage timeliness for spring cereals in Norway. NIBIO Rapport. 2/112/2016.
- Robinson, M., 1990. Impact of improved land drainage on river flows. Rep. - UK Inst. Hydrol. 113.
- Robinson, M., Rycroft, D.W., 1999. The impact of drainage on streamflow, in: R.W. Skaggs, J. van Schilfgaarde (Eds.), *Agricultural Drainage*, SSSA, Madison, WI. pp. 767–800.
- Skaggs, R.W., Nassehzadeh-Tabrizi, A., Foster, G.R., 1982. Subsurface drainage effects on erosion. *J. Soil Water Conserv.* 37.
- Skaggs, R.W., Youssef, M.A., Chescheir, G.M., Gilliam, J.W., 2005. Effect of drainage intensity on nitrogen losses from drained lands. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 48, 2169–2177. <https://doi.org/10.13031/2013.20103>

6 Anneks

6.1 Nedbør og grøfteavrenning, månedsverdier alternativ a, godt drenert og alternativ b, dårlig drenert

Tabell 1.1. Nedbør og grøfteavrenning (mm/mnd) alternativ 1 og alternativ 2, nov 2016 – mars 2019

måned	nedbør (mm)	avrenning, alternativ a						avrenning, alternativ b					
		rute						rute					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
nov. 16	138	126	82	66	75	75	50	98	60	60	62	81	47
des. 16	192	274	189	134	137	166	128	212	153	115	143	200	147
jan. 17	114	173	115	97	102	119	97	130	105	71	110	136	98
feb. 17	70	54	31	28	31	28	23	36	20	25	29	26	25
mar. 17	78	126	71	56	60	68	58	83	55	38	64	71	65
apr. 17	117	117	85	67	75	97	72	92	74	42	72	106	69
mai. 17	51	12	6	7	10	11	9	5	3	1	5	6	3
jun. 17	134	77	55	38	39	46	35	52	38	27	39	44	34
jul. 17	91	45	26	20	18	21	16	26	17	13	18	15	19
aug. 17	116	39	26	20	23	27	22	26	18	15	16	20	20
sep. 17	30	8	4	4	5	7	5	3	2	0	2	2	2
okt. 17	159	118	77	57	75	72	53	78	59	44	48	47	47
nov. 17	74	111	68	45	67	62	42	62	45	35	39	35	34
des. 17	147	11	5	13	5	5	4	0	0	0	0	0	0
jan. 18	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
feb. 18	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar. 18	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
apr. 18	53	41	35	24	32	30	19	21	15	5	21	22	18
mai. 18	32	11	9	6	9	10	7	5	1	0	4	5	4
jun. 18	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jul. 18	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aug. 18	165	4	3	3	4	5	10	1	0	0	2	4	3
sep. 18	174	129	108	77	94	113	70	119	93	77	91	97	80
okt. 18	135	149	122	91	119	141	89	130	94	66	96	97	81
nov. 18	28	31	20	20	23	27	25	18	11	5	14	15	8
des. 18	133	101	107	91	112	123	96	107	83	71	81	94	82
jan. 19	96	94	73	64	73	94	62	78	55	38	60	70	55
feb. 19	57	109	90	79	90	110	87	105	75	58	67	83	72
mar. 19	152	143	121	100	126	141	99	133	95	80	93	106	100
sum	2709	2101	1526	1210	1403	1599	1176	1621	1173	886	1176	1382	1113

6.2 Nitrogen, nitrat, fosfor og fosfat konsentrasjoner

Tabell 2.1. Nitrogen (N_{tot}, mg/l) konsentrasjoner i vannprøver

dato	Alternativ 1, godt drenert, N _{tot}						Alternativ 2, dårlig drener, N _{tot}						Gjenn.	
	rute						rute						Alt 1	Alt 2
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
27.02.17	1,00	1,10	0,90	0,71	0,91	0,62	1,20	1,40	1,80	1,20	1,70	0,98	0,87	1,38
28.04.17	2,60	2,30	1,60	1,20	1,60	1,30	2,80	2,90	3,00	1,90	3,50	2,60	1,77	2,78
23.06.17	1,50	2,50	3,50	1,60	1,70	2,20	4,60	3,40	4,20	5,10	5,00	3,50	2,17	4,30
31.08.17	2,70	2,20	2,20	1,60	1,70	1,50	3,80	7,50	3,70	2,40	5,70	3,20	1,98	4,38
08.11.17	1,10	1,10	1,00	0,85	0,91	0,88	1,30	1,40	1,60	1,60	1,80	1,20	0,97	1,48
18.12.17	0,65	0,64	0,66	0,65	0,68	0,58	1,50	1,00	1,20	0,62	1,40	0,89	0,64	1,10
07.05.18	1,80	1,40	1,60	1,20	1,10	1,20	1,70	1,60	1,70	2,30	1,90	1,70	1,38	1,82
25.09.18	2,80	3,50	2,70	2,40	1,90	2,70	2,60	2,00	1,70	3,40	4,10	6,00	2,67	3,30
18.10.18	0,73	1,10	0,87	0,69	0,73	0,70	0,92	1,10	1,10	1,10	1,00	1,10	0,80	1,05
13.11.18	0,52	0,66	0,64	0,54	0,52	0,45	0,71	0,83	0,91	0,87	0,87	0,74	0,56	0,82
11.12.18	0,39	0,60	0,51	0,53	0,39	0,36	1,70	1,70	1,60	1,50	1,80	1,20	0,46	1,58
12.02.19	2,20	3,20	3,10	2,50	2,00	2,00	3,80	4,90	3,60	4,30	3,20	3,90	2,50	3,95
Gjenn.	1,50	1,69	1,61	1,21	1,18	1,21	2,22	2,48	2,18	2,19	2,66	2,25	1,40	2,33

Tabell 2.2. Nitrat (NO₃, mg/l) konsentrasjoner i vannprøver

dato	Alternativ 1, godt drenert NO ₃						Alternativ 2, dårlig drener, NO ₃						Gjenn.	
	rute						rute						Alt 1	Alt 2
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
27.02.17	0,34	0,35	0,23	0,11	0,30	0,17	0,57	0,54	0,83	0,50	0,80	0,43	0,25	0,61
28.04.17	0,68	0,77	0,42	0,09	0,61	0,25	0,98	1,00	1,29	0,34	1,28	0,49	0,47	0,90
23.06.17	0,73	1,00	2,29	0,27	0,62	1,20	2,97	1,49	2,05	2,97	2,69	1,05	1,02	2,20
31.08.17	1,33	0,87	0,79	0,29	0,50	0,43	2,27	2,86	1,68	0,72	3,65	1,59	0,70	2,13
08.11.17	0,11	0,18	0,15	0,05	0,11	0,15	0,34	0,26	0,34	0,24	0,49	0,18	0,13	0,31
18.12.17	0,13	0,12	0,12	0,07	0,12	0,13	0,26	0,16	0,17	0,08	0,29	0,14	0,12	0,18
07.05.18	0,74	0,56	0,69	0,33	0,37	0,60	0,92	0,92	0,81	1,20	1,00	0,99	0,55	0,97
25.09.18	1,78	2,07	1,59	1,35	1,01	1,91	1,73	1,03	0,56	2,55	3,33	4,86	1,62	2,34
18.10.18	0,11	0,31	0,22	0,07	0,14	0,18	0,03	0,40	0,25	0,26	0,29	0,29	0,17	0,25
13.11.18	0,06	0,16	0,12	0,04	0,07	0,10	0,20	0,32	0,13	0,20	0,26	0,17	0,09	0,21
11.12.18	0,10	0,26	0,22	0,12	0,12	0,13	1,20	1,19	0,92	0,94	1,25	0,67	0,16	1,03
12.02.19	1,13	2,08	2,19	1,57	1,06	1,35	2,68	3,46	2,37	2,84	2,01	2,57	1,56	2,66
Gjenn	0,60	0,73	0,75	0,36	0,42	0,55	1,18	1,14	0,95	1,07	1,45	1,12	0,57	1,15

Tabell 2.3. Total fosfor (P_{tot} , mg/l) konsentrasjon i vannprøver

dato	Alternativ 1, godt drenert P_{tot}						Alternativ 2, dårlig drener, P_{tot}						Gjenn.	
	rute						rute						Alt 1	Alt 2
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
27.02.17	0,18	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,14	0,13	0,17	0,16	0,17	0,11	0,12	0,15
28.04.17	0,11	0,09	0,10	0,06	0,08	0,06	0,09	0,09	0,10	0,10	0,15	0,13	0,08	0,11
23.06.17	0,12	0,12	0,10	0,08	0,07	0,07	0,14	0,15	0,17	0,17	0,18	0,23	0,09	0,17
31.08.17	0,26	0,24	0,23	0,14	0,15	0,12	0,33	0,32	0,40	0,42	0,29	0,38	0,19	0,36
08.11.17	0,25	0,18	0,18	0,15	0,16	0,14	0,26	0,21	0,31	0,37	0,24	0,24	0,18	0,27
18.12.17	0,17	0,14	0,14	0,10	0,10	0,08	0,29	0,13	0,24	0,16	0,22	0,26	0,12	0,22
07.05.18	0,14	0,17	0,15	0,11	0,12	0,12	0,14	0,11	0,12	0,10	0,12	0,12	0,14	0,12
25.09.18	0,19	0,25	0,18	0,19	0,17	0,14	0,15	0,12	0,16	0,17	0,25	0,06	0,19	0,15
18.10.18	0,11	0,12	0,08	0,10	0,10	0,07	0,08	0,08	0,13	0,09	0,07	0,12	0,10	0,10
13.11.18	0,11	0,11	0,07	0,09	0,07	0,31	0,11	0,10	0,13	0,11	0,10	0,13	0,13	0,11
11.12.18	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,05	0,13	0,12	0,18	0,10	0,12	0,20	0,07	0,14
12.02.19	0,18	0,19	0,14	0,16	0,16	0,16	0,24	0,23	0,23	0,26	0,22	0,31	0,17	0,25
Gjenn	0,16	0,15	0,13	0,11	0,11	0,12	0,18	0,15	0,19	0,18	0,18	0,19	0,13	0,18

Tabell 2.4. Fosfat (PO_4 , mg/l) konsentrasjon i vannprøver

dato	Alternativ 1, godt drenert PO_4						Alternativ 2, dårlig drener, PO_4						Gjenn.	
	rute						rute						Alt 1	Alt 2
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
27.02.17	0,12	0,09	0,10	0,08	0,06	0,05	0,10	0,09	0,12	0,11	0,11	0,09	0,08	0,10
28.04.17	0,09	0,05	0,07	0,07	0,08	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06
23.06.17	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,08	0,09	0,08	0,12	0,05	0,08
31.08.17	0,18	0,17	0,17	0,05	0,09	0,08	0,23	0,21	0,29	0,30	0,20	0,28	0,12	0,25
08.11.17	0,2	0,14	0,14	0,09	0,12	0,09	0,16	0,13	0,21	0,25	0,16	0,17	0,13	0,18
18.12.17	0,15	0,11	0,12	0,07	0,06	0,07	0,17	0,08	0,16	0,14	0,14	0,22	0,10	0,15
07.05.18	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
25.09.18	0,13	0,18	0,14	0,12	0,1	0,11	0,09	0,07	0,1	0,09	0,1	0,18	0,13	0,11
18.10.18	0,06	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,09	0,06	0,05	0,09	0,06	0,07
13.11.18	0,06	0,08	0,06	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,11	0,1	0,09	0,13	0,07	0,10
11.12.18	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,08	0,06	0,06	0,11	0,05	0,07
12.02.19	0,1	0,13	0,08 ¹	0,1	0,08	0,1	0,15	0,15	0,16	0,16	0,15	0,23	0,10	0,17
Gjenn	0,10	0,10	0,09	0,07	0,07	0,07	0,10	0,09	0,13	0,12	0,10	0,14	0,08	0,11

¹ - opprinnelig var den 0,8 men antar det er feil og må være 0,08, siden i samme prøve $P_{tot} = 0,14$

6.3 Nitrogen avrenning i alternativ 1(godt drenert) og alternativ 2 (dårlig drenert)

Tabell 3.1. Nitrogen avrenning, alternativ 1 og alternativ 2 (kg daa⁻¹)

måned	alternativ 1, godt drenert						alternativ 2, dårlig drenert					
	rute 1	rute 2	rute 3	rute 4	rute 5	rute 6	rute1	rute 2	rute 3	rute 4	rute 5	rute 6
nov. 16	0.13	0.09	0.06	0.05	0.07	0.03	0.12	0.09	0.11	0.08	0.14	0.05
des. 16	0.28	0.21	0.12	0.10	0.16	0.08	0.26	0.22	0.21	0.18	0.35	0.15
jan. 17	0.18	0.13	0.09	0.07	0.11	0.06	0.16	0.15	0.13	0.14	0.24	0.10
feb. 17	0.06	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	0.02
mar. 17	0.34	0.17	0.09	0.07	0.11	0.08	0.24	0.17	0.12	0.13	0.26	0.18
apr. 17	0.32	0.20	0.11	0.09	0.16	0.10	0.27	0.22	0.13	0.14	0.39	0.19
mai. 17	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.03	0.01
jun. 17	0.15	0.14	0.12	0.06	0.08	0.08	0.24	0.18	0.11	0.17	0.23	0.12
jul. 17	0.13	0.06	0.05	0.03	0.04	0.02	0.10	0.13	0.05	0.05	0.09	0.06
aug. 17	0.11	0.06	0.05	0.04	0.05	0.03	0.10	0.14	0.06	0.04	0.12	0.07
sep. 17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
okt. 17	0.14	0.09	0.06	0.07	0.07	0.05	0.11	0.09	0.07	0.08	0.09	0.06
nov. 17	0.09	0.06	0.04	0.05	0.05	0.03	0.09	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03
des. 17	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jan. 18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb. 18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar. 18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
apr. 18	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02	0.01	0.05	0.04	0.03
mai. 18	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
jun. 18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul. 18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
aug. 18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
sep. 18	0.21	0.24	0.13	0.14	0.14	0.12	0.20	0.14	0.11	0.19	0.24	0.27
okt. 18	0.10	0.11	0.07	0.08	0.09	0.05	0.11	0.09	0.07	0.10	0.09	0.08
nov. 18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
des. 18	0.22	0.35	0.28	0.28	0.24	0.19	0.42	0.42	0.27	0.35	0.31	0.33
jan. 19	0.21	0.24	0.20	0.19	0.19	0.13	0.30	0.28	0.14	0.26	0.23	0.22
feb. 19	0.25	0.30	0.26	0.23	0.23	0.18	0.41	0.38	0.22	0.30	0.27	0.29
Tot. N tap	3.07	2.60	1.88	1.69	1.93	1.35	3.29	2.85	1.91	2.40	3.28	2.30

Tabell 3.2. Fosfor avrenning (gr/daa), alternativ 1 og alternativ 2

måned	alternativ 1						alternativ 2					
	rute 1	rute 2	rute 3	rute 4	rute 5	rute 6	rute 1	rute 2	rute 3	rute 4	rute 5	rute 6
nov. 16	23	11	8	8	7	4	14	8	11	10	14	6
des. 16	50	24	17	15	16	10	31	21	20	24	34	17
jan. 17	32	15	12	11	11	8	19	14	12	18	23	12
feb. 17	10	4	3	3	3	2	5	3	4	5	4	3
mar. 17	14	7	6	4	6	4	8	5	4	6	11	9
apr. 17	13	8	7	5	8	5	9	7	4	7	16	10
mai. 17	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
jun. 17	12	9	6	4	4	3	11	8	7	10	9	9
jul. 17	12	7	5	3	3	2	9	6	5	8	5	7
aug. 17	10	7	5	3	4	3	9	6	6	7	6	8
sep. 17	2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
okt. 17	31	15	11	12	12	8	21	13	14	18	12	12
nov. 17	23	11	7	8	8	5	18	7	9	9	8	9
des. 17	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
jan. 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
feb. 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar. 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
apr. 18	6	6	4	4	4	2	3	2	1	2	3	2
mai. 18	2	2	1	1	2	1	1	0	0	1	1	0
jun. 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jul. 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aug. 18	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
sep. 18	19	20	10	14	15	7	14	9	11	12	15	8
okt. 18	17	14	7	12	12	16	13	9	9	10	8	10
nov. 18	3	2	1	2	2	5	2	1	1	2	2	1
des. 18	18	21	13	18	20	15	27	20	17	21	21	27
jan. 19	17	14	9	12	15	10	19	13	9	16	16	17
feb. 19	20	18	12	15	18	14	26	18	14	18	19	23
	339	215	147	156	174	127	259	172	160	207	230	192

6.4 Grunnvann i alternativ 1 (godt drenert) og alternativ 2 (dårlig drenert)

Tabell 1.1. Månedlig grunnvannsnivå i alternativ 1 og alternativ 2

måned	R1A	R1B	R2A	R2B
	godt drenert		dårlig drenert	
jun. 17	-0.71	-0.78	-0.67	-0.52
jul. 17	-0.72	-0.83	-0.67	-0.48
aug. 17	-0.85	-0.90	-0.81	-0.65
sep. 17	-0.93	-0.98	-0.81	-0.66
okt. 17	-0.52	-0.61	-0.62	-0.36
nov. 17	-0.43	-0.52	-0.58	-0.33
des. 17	-0.75	-0.86	-0.94	-0.67
jan. 18	-1.16	-1.14	-1.20	-1.07
feb. 18	-1.23	-1.26	-1.30	-1.25
mar. 18	-1.24	-1.27	-1.31	-1.26
apr. 18	-0.82	-1.00	-1.05	-0.94
mai. 18	-0.71	-0.86	-0.91	-0.66
jun. 18	-0.98	-1.17	-1.27	-1.14
jul. 18	-1.23	-1.27	-1.31	-1.27
aug. 18	-1.16	-1.20	-1.18	-1.05
sep. 18	-0.81	-0.84	-0.87	-0.66
okt. 18	-0.48	-0.54	-0.56	-0.36
nov. 18	-0.83	-0.92	-0.71	-0.54
des. 18	-0.76	-0.85	-0.74	-0.54
jan. 19	-0.71	-0.84	-0.64	-0.48
feb. 19	-0.71	-0.86	-0.75	-0.58
mar. 19	-0.71	-0.82	-0.74	-0.44
gjenn.	-0.84	-0.92	-0.89	-0.72

6.5 Profilbeskrivelser

Lokalitet	Kvithamar i Stjørdal kommune	Beskrevet	31. mai 2017
Profilnummer	4 (R1A)	moh.	29 m
Beliggenhet	Profilen ligger i en meget svakt hellende skråning (2-6 % mot sør)		
Opphavsmateriale	Hav- og fjordavsetning	Vekst	Eng
Dreneringsgrad	Ufullstendig	Profildybde	100 cm
Stein og blokk	Ingen	Fjellblotninger	Ingen
Grunnvannsnivå	102 cm i grunnvannsrør dagen etter	Oversvømmelse	Ingen
Klassifisering	Mollic Gleysol (Siltic)		
Signatur	GTo6B1		



Ap (0 – 28 cm)

Svært mørk gråbrun (10YR 3/2) siltig lettleire. Fuktig. Middels grynstruktur med moderat stabilitet. Lett smuldrende som fuktig, svakt klebrig og plastisk som våt. Noen svært fine og noen fine porer. Mange svært fine og noen fine røtter tilfeldig fordelt. Skarp, plan sjiktgrense.

B (28 – 30 cm)

Grå (5Y 5/1) sandig silt med 1 % redokskonsentrasjoner, fine, loddrett stripet, diffuse grenser, som porebelegg. Svakt fuktig. Vanskelig å si noe om struktur, konsistens, porer og røtter. Skarp, innfingrende sjiktgrense.

Bg (30 – 72 cm)

Mørk grå (2.5Y 4/0) siltig mellomleire med 10 % gulbrune (10YR 5/8) redokskonsentrasjoner, fine og middels, loddrett stripet, diffuse grenser, som porebelegg. Svakt fuktig. Synlig redusert matriks. Svært tykk platestruktur og svært grov blokk, sterk. Svært fast som fuktig, klebrig og svært plastisk som våt. Få svært fine, fine og middels porer. Få svært fine røtter i sprekker og porer. Diffus, sterkt bølgende sjiktgrense.

Cg 72 cm +

Grå (2.5Y 5/0) siltig mellomleire. Svært fuktig. Synlig redusert matriks. 1 % gulbrune (10YR 5/8) redokskonsentrasjoner, middels, loddrett stripet, diffuse grenser, som porebelegg.

Massiv med noen vertikale sprekker. Klebrig og svært plastisk som våt. Få svært fine og middels porer. Få svært fine røtter i porer og sprekker.

Lokalitet	Kvithamar i Stjørdal kommune	Beskrevet	30. mai 2017
Profilnummer	3 (R1B)	moh.	29 m
Beliggenhet	Profilen ligger i en meget svakt hellende skråning (2-6 % mot sør)		
Opphavsmateriale	Hav- og fjordavsetning	Vekst	Eng
Dreneringsgrad	Ufullstendig	Profildybde	100 cm
Stein og blokk	Ingen	Fjellblotninger	Ingen
Grunnvannsnivå	101 cm i grunnvannsrør etter noen timer	Oversvømmelse	Ingen
Klassifisering	Mollic Gleysol (Siltic)		
Signatur	GTo6B1		



Ap (0 – 28 cm)

Svært mørk gråbrun (10YR 3/2) lettleire. Fuktig. Middels grynstruktur og grove korn, moderat stabilitet. Smuldrende som fuktig, svakt klebrig og svakt plastisk som våt. Få svært fine og få fine porer. Mange svært fine og få fine røtter tilfeldig fordelt. Skarp, plan sjiktgrense.

Bg (28 – 64 cm)

Svært mørk grå (5Y 3/1) siltig mellomleire med 5 % gulbrune (10YR 5/8) redokskonsentrasjoner, middels, loddrett stripet, diffuse grenser, som porebelegg. Svakt fuktig. Synlig redusert matriks. Svært tykk platestruktur og svært grov blokk med moderat stabilitet. Svært fast som fuktig, klebrig og svært plastisk som våt. Få svært fine, få fine porer. Få svært fine og få fine røtter i sprekker og porer. Diffus, svakt bølgende sjiktgrense.

Cg 64 cm +

Mørk grå (5Y 4/1) siltig mellomleire. Svært fuktig. Synlig redusert matriks. 1 % oliven (5Y 4/2) redokskonsentrasjoner, middels, loddrett stripet, diffuse grenser, som porebelegg. Massiv med noen sprekker og porer vertikalt. Klebrig og svært plastisk som våt. Få fine porer. Få svært fine røtter i porer og sprekker.

Lokalitet	Kvithamar i Stjørdal kommune	Beskrevet	29. mai 2017
Profilnummer	1 (R2A)	moh.	28 m
Beliggenhet	Profilen ligger i en meget svakt hellende skråning (2-6 % mot sør)		
Opphavsmateriale	Hav- og fjordavsetning	Vekst	Eng
Dreneringsgrad	Ufullstendig	Profildybde	100 cm
Stein og blokk	Ingen	Fjellblotninger	Ingen
Grunnvannsnivå	73 cm i grunnvannsrør dagen etter	Oversvømmelse	Ingen
Klassifisering	Mollic Gleysol (Siltic)		
Signatur	GTo6B1		



Ap (0 – 28 cm)

Svært mørk gråbrun (10YR 3/2) lettleire. Svakt fuktig. Middels grynstruktur med moderat stabilitet. Litt hard som fuktig, svakt klebrig og plastisk som våt. Få middels, få fine og noen svært fine porer. Få middels, noen fine og smange svært fine røtter tilfeldig fordelt. Skarp, svakt bølgende sjiktgrense.

Bg (28 – 68 cm)

Mørk grå (5Y 4/1) siltig mellomleire. Svakt fuktig. Sterkt brune (7,5YR 5/8) middels, loddrett stripet redokskonsentrasjoner med klar grense som porebelegg i porer (10 %). Grov/tykk platestruktur med innslag av grov/tykk skarpkantet blokk, moderat stabilitet. Hard som fuktig, svakt klebrig og svært plastisk som våt. Sammenhengende, tynne leirmineraler og noe seskvioksider i porer. Få middels, få fine noen svært fine porer. Få fine og få svært fine røtter i sprekker og porer. Diffus og uregelmessig sjiktgrense.

Cg (68 cm +)

Mørk grå (5Y 4/1) siltig mellomleire (mot stiv leire?). Svært fuktig. Synlig redusert matriks. Sterkt brune (7,5YR 5/8) middels, loddrett stripet redokskonsentrasjoner med diffus grense som porebelegg i porer (5 %). Løs som fuktig, svakt klebrig og svært plastisk som våt. Noe seskvioksider i porer. Få svært fine porer. Få svært fine røtter. Massiv.

Lokalitet	Kvithamar i Stjørdal kommune	Beskrevet	30. mai 2017
Profilnummer	2 (R2B)	moh.	28 m
Beliggenhet	Profilen ligger i en meget svakt hellende skråning (2-6 % mot sør)		
Opphavsmateriale	Hav- og fjordavsetning	Vekst	Eng
Dreneringsgrad	Ufullstendig	Profildybde	100 cm
Stein og blokk	Ingen	Fjellblotninger	Ingen
Grunnvannsnivå	70 cm i grunnvannsrør dagen etter	Oversvømmelse	Ingen
Klassifisering	Mollic Gleysol (Siltic)		
Signatur	GTo6B1		



Ap (0 – 28 cm)

Svært mørk gråbrun (10YR 3/2) lettleire. Fuktig. Fin og middels grynstruktur med sterk stabilitet. Lett smuldrende som fuktig, svakt klebrig og svakt plastisk som våt. Få svært fine og få fine porer. Mange svært fine og få fine røtter tilfeldig fordelt. Skarp, svakt bølgende sjiktgrense.

Bg (28 – 50 cm)

Mørk grå (5Y 4/1) siltig lettleire med 5 % lett brungrå (2,5Y 6/2) leirnedvaskingssprekker, middels, loddrett stripet, diffuse grenser. 10 % gulrøde (5YR 5/8) redoksflekker, middels og store, irregulære, klare og diffuse grenser som porebelegg. Siltig lettleire. Svakt fuktig. Svært tykk platestruktur og grov skarpkantet blokk med moderat stabilitet. Fast som fuktig, svakt klebrig og plastisk som våt. Få svært fine, få fine og få middels porer. Noen svært fine røtter i sprekker og porer. Diffus, sterkt bølgende sjiktgrense.

B/C (50 - 73)

Mørk grå (2,5Y 4/0) siltig mellomleire. Fuktig. Synlig redusert matriks. 5 % gulrøde (5YR 5/8) middels, loddrett stripet redoksflekker med diffus grense som porebelegg. 2 % fine, vannrett stripet leirsprekker som porebelegg. Svakere utviklet plate/blokk struktur enn i Bg, men enda grovere med

moderat stabilitet. Svært fast som fuktig, svakt klebrig og plastisk som våt. Få svært fine og få fine porer. Få svært fine røtter. Diffus, uregelmessig sjiktgrense.

Cg (73 cm +)

Mørk grå (2,5Y 4/0) siltig mellomleire. Svært fuktig. Synlig redusert matriks. 2 % gulrøde (5YR 5/8) middels, loddrett stripet redoksflekker med diffus grense som porebelegg. Massiv, men med noen sprekker. Klebrig og plastisk som våt. Få fine og få middels porer.

6.6 Lysimeteret Kvithamar. Avlingstall og bortført mengde N, P og K

Dato	Rute	Grøft	Høste-areal m2	Rå avling kg/daa	Rå prøve, g	Tørr prøve,g	Ts (%)	Avling kg ts/daa	Prot. (%)	% N	% P	% K	Bortført			Tilført			Balanse		
													N	P	K	N	P	K	N	P	K
22.06.2017	109	1.4	15.3	18.4	1186	240	20.2	243	12.3	1.97	0.26	2.76	4.8	0.63	6.7	10.6	1.4	4.8	5.8	0.8	-1.9
22.06.2017	110	1.1	15.2	22.7	1372	230	16.8	250	14.9	2.38	0.31	3.24	6.0	0.78	8.1	10.6	1.4	4.8	4.6	0.7	-3.3
22.06.2017	111	1.2	14.4	22.1	1148	212	18.5	283	14.7	2.35	0.28	2.73	6.7	0.79	7.7	10.6	1.4	4.8	3.9	0.6	-2.9
22.06.2017	114	2.5	14.3	35.4	1442	176	12.2	302	16.2	2.59	0.27	3.13	7.8	0.82	9.5	10.6	1.4	4.8	2.7	0.6	-4.7
22.06.2017	115	2.4	13.7	23	1290	238	18.4	310	12.1	1.94	0.26	2.95	6.0	0.81	9.1	10.6	1.4	4.8	4.6	0.6	-4.3
22.06.2017	117	2.2	13.5	32.3	1336	192	14.4	344	17.2	2.75	0.29	3.18	9.5	1.00	10.9	10.6	1.4	4.8	1.1	0.4	-6.1
31.08.2017	109	1.4	10.5	18	848	196	23.1	396	8.0	1.28	0.24	2.27	5.1	0.95	9.0	7.5	1.0	3.4	2.4	0.1	-5.6
31.08.2017	110	1.1	10.1	20.8	978	226	23.1	476	8.2	1.31	0.22	2.47	6.2	1.05	11.8	7.5	1.0	3.4	1.2	0.0	-8.4
31.08.2017	111	1.2	9.9	25.8	1028	242	23.5	613	8.5	1.36	0.23	2.04	8.3	1.41	12.5	7.5	1.0	3.4	-0.9	-0.4	-9.1
31.08.2017	114	2.5	13.2	33.4	1668	340	20.4	516	9.1	1.46	0.25	2.55	7.5	1.29	13.1	7.5	1.0	3.4	-0.1	-0.3	-9.7
31.08.2017	115	2.4	13.2	30.9	1262	244	19.3	453	10.6	1.7	0.24	2.48	7.7	1.09	11.2	7.5	1.0	3.4	-0.2	-0.1	-7.8
31.08.2017	117	2.2	13.2	30.8	1106	240	21.7	506	9.4	1.5	0.24	2.35	7.6	1.22	11.9	7.5	1.0	3.4	-0.1	-0.2	-8.5
08.06.2018	109	1.4	11.3	17.3	1022	227	22.2	340	11.1	1.77	0.24	2.97	6.0	0.82	10.1	9.5	1.3	4.3	3.4	0.5	-5.8
08.06.2018	110	1.1	9.5	18.1	972	214	22.0	419	11.0	1.76	0.23	2.78	7.4	0.96	11.6	9.5	1.3	4.3	2.1	0.3	-7.3
08.06.2018	111	1.2	9.5	14.6	1189	272	22.9	352	10.8	1.72	0.23	2.63	6.1	0.81	9.2	9.5	1.3	4.3	3.4	0.5	-4.9
08.06.2018	114	2.5	8.4	16.4	858	198	23.1	451	11.1	1.77	0.23	2.64	8.0	1.04	11.9	9.5	1.3	4.3	1.5	0.3	-7.6
08.06.2018	115	2.4	8.1	16.3	1319	307	23.3	468	11.3	1.81	0.24	2.85	8.5	1.12	13.4	9.5	1.3	4.3	1.0	0.2	-9.1
08.06.2018	117	2.2	8.3	18.2	1240	259	20.9	458	10.9	1.74	0.23	2.77	8.0	1.05	12.7	9.5	1.3	4.3	1.5	0.2	-8.4
27.07.2018	109	1.4	9.4	7.2	560	162	28.9	222	10.7	1.71	0.23	2.80	3.8	0.51	6.2	7.3	1.0	3.3	3.5	0.5	-2.9
27.07.2018	110	1.1	9.3	7	632	172	27.2	205	13.4	2.14	0.28	3.07	4.4	0.57	6.3	7.3	1.0	3.3	2.9	0.4	-3.0
27.07.2018	111	1.2	9.9	6.5	599	178	29.7	195	11.0	1.76	0.23	2.72	3.4	0.45	5.3	7.3	1.0	3.3	3.8	0.5	-2.0
27.07.2018	114	2.5	10.8	6.3	480	154	32.1	187	12.0	1.93	0.23	2.79	3.6	0.43	5.2	7.3	1.0	3.3	3.7	0.6	-1.9
27.07.2018	115	2.4	11.1	5.7	434	140	32.3	166	12.6	2.01	0.22	2.73	3.3	0.36	4.5	7.3	1.0	3.3	3.9	0.6	-1.2
27.07.2018	117	2.2	10.2	5.5	434	140	32.3	174	13.5	2.17	0.23	2.98	3.8	0.40	5.2	7.3	1.0	3.3	3.5	0.6	-1.9
10.09.2018	109	1.4	7.5	3	851	145	17.0	68	23.1	3.70	0.42	3.98	2.5	0.29	2.7	7.3	1.0	3.3	4.7	0.7	0.6
10.09.2018	110	1.1	7.8	3.3	426	68	16.0	68	24.7	3.94	0.40	3.85	2.7	0.27	2.6	7.3	1.0	3.3	4.6	0.7	0.7
10.09.2018	111	1.2	8.4	4.4	844	149	17.7	92	23.1	3.69	0.39	3.74	3.4	0.36	3.5	7.3	1.0	3.3	3.8	0.6	-0.2
10.09.2018	114	2.5	9	5.2	756	140	18.5	107	21.3	3.41	0.39	3.90	3.6	0.42	4.2	7.3	1.0	3.3	3.6	0.6	-0.9
10.09.2018	115	2.4	9.2	4.4	998	181	18.1	87	21.0	3.35	0.38	3.93	2.9	0.33	3.4	7.3	1.0	3.3	4.4	0.7	-0.1
10.09.2018	117	2.2	11.1	7.2	958	152	15.9	103	24.7	3.95	0.42	4.06	4.1	0.43	4.2	7.3	1.0	3.3	3.2	0.6	-0.9

6.7 Statistisk analyse, sammenligning av tidsserier

I de lange tidsrekkene er det målt avrenning for hvert døgn i perioden fra og med 1. november 2016 til og med 30. mars 2019, totalt 880 observasjoner. Avrenningen er målt i 12 grøfter, 6 grøfter med god drenering og 6 grøfter med dårlig drenering, på et felt på Kvithamar. Utgangspunktet er derfor 12 tidsrekker, hver med 880 observasjoner.

Problemstillingen er om det er grunnlag for å påstå at forventet avrenning fra grøftene med god drenering er forskjellig fra forventet avrenning fra grøftene med dårlig drenering. Jeg forsøker å svare på denne problemstillingen på en enklest mulig måte.

For å generalisere litt lar vi n være antall observasjoner i tidsrekkene [her $n = 880$]. k_1 betegner antall tidsrekker med god drenering [her $k_1 = 6$] og k_2 betegner antall tidsrekker med dårlig drenering [her $k_2 = 6$].

Vi lar Y_{ijt} være avrenning målt i døgn t fra grøft j med drenering i . $i = 1$ [god drenering], 2 [dårlig drenering]; $j = 1, 2, \dots, k_i$; $t = 1$ [1/11-2016], 2 [2/11-2016], \dots, n [30/3-2019].

For et bestemt døgn t , antar vi at forventet verdi til Y_{ijt} er den samme for alle grøftene med god drenering og den samme for alle grøftene med dårlig drenering. Det kan vi skrive som

$$E(Y_{ijt}) = \mu_{it}, \quad j = 1, 2, \dots, k_i \quad (1)$$

Vi lar \bar{Y}_{it} være gjennomsnittet av avrenningsmålingene i døgn t for de k_i grøftene med drenering i .

Det betyr at

$$E(\bar{Y}_{it}) = E\left(\frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} Y_{ijt}\right) = \mu_{it} \quad (2)$$

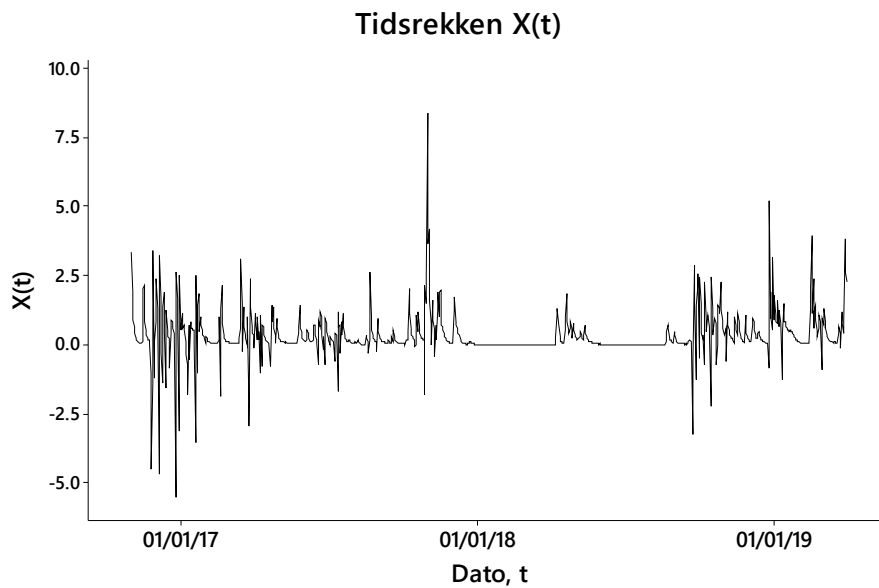
$$\text{Videre antar vi } \mu_{1t} - \mu_{2t} = \lambda, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\text{Videre definerer vi } X_t = \bar{Y}_{1t} - \bar{Y}_{2t}, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

som gir

$$E(X_t) = \lambda, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Tidsrekken $\{X_t\}$ framkommer med andre ord ved at X_t , for døgn t , beregnes som differansen mellom gjennomsnittet av avrenningsmålingene fra de k_1 grøftene med god drenering og gjennomsnittet av avrenningsmålingene fra de k_2 grøftene med dårlig drenering. $\{X_t\}$ er framstilt i Figur 1.



Figur 1

Flere modeller kan være aktuelle for å beskrive tidsrekken $\{X_t\}$, det samme som gjelder alle typer statistiske data. Her betrakter vi modeller fra modellklassen ARIMA [Autoregressive Integrated moving average]. Aktuelle modeller fra denne klassen identifiseres i utgangspunktet på grunnlag av estimater for funksjonene ACF [Autocorrelation function] og PACF [Partial autocorrelation function]. Etter å ha forsøkt og vurdert flere ARIMA-modeller valgte jeg å bruke en AR(4)-modell for $\{X_t\}$. Denne modellen kan skrives

$$X_t = \xi + \phi_1 \cdot X_{t-1} + \phi_2 \cdot X_{t-2} + \phi_3 \cdot X_{t-3} + \phi_4 \cdot X_{t-4} + Z_t \quad (6)$$

I (6) antas Z_t – ene å være uavhengige tilfeldige variabler, alle med samme fordeling, med forventning 0 og varians σ^2 . $\xi, \phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ og σ^2 er ukjente parametere som estimeres ved hjelp av de n observerte verdiene i tidsrekken $\{X_t\}$.

Estimater etc. for parameterne i modell (6) er gitt i tabell 1 [AIC = 2132.2].

Tabell 1

Parameter	Estimat	Standard feil	t	Tilnærmet p
ξ	0.1849	0.0273	6.78	0.000
ϕ_1	0.2010	0.0336	5.99	0.000
ϕ_2	0.0743	0.0343	2.17	0.030
ϕ_3	0.0488	0.0345	1.41	0.158
ϕ_4	0.1240	0.0340	3.65	0.000
σ^2	0.6546			

Under noen enkle forutsetninger kan det vises at forventet verdi til X_t er gitt ved

$$E(X_t) = \lambda = \frac{\xi}{1 - \phi_1 - \phi_2 - \phi_3 - \phi_4} \quad (7)$$

λ estimeres ved å erstatte parameterne i (7) med sine respektive estimater i tabell 1.

Det gir estimatet $\hat{\lambda} = 0.3349$ [med standard feil = 0.0494, $t = 6.78$, tilnærmet $p = 0.000$].

For å svare på problemstillingen om det er grunnlag for å påstå at forventet avrenning fra grøftene med god drenering er forskjellig fra forventet avrenning fra grøftene med dårlig drenering kan vi teste hypotesen

$$H_0: \lambda = 0 \text{ mot } H_1: \lambda \neq 0$$

Fra (7) ser vi at å teste hypotesen i (8) er ekvivalent med å teste hypotesen

$$H_0: \xi = 0 \text{ mot } H_1: \xi \neq 0$$

Fra tabell 1 ser vi at testobservatoren, t , for hypotesen i (9) har verdi 6.78 med tilhørende p -verdi tilnærmet lik 0.000. Det betyr at vi må forkaste H_0 i (8) og (9) med bruk av alle rimelige testnivåer.

Konklusjon:

Det synes å være en klar forskjell [differanse] mellom forventet avrenning fra grøftene med god drenering og forventet avrenning fra grøftene med dårlig drenering.

Differansen mellom forventet avrenning fra grøftene med god drenering og forventet avrenning fra grøftene med dårlig drenering er estimert til 0.3349 mm/døgn.

Noen kommentarer

Framgangsmåten skissert ovenfor kan i prinsippet brukes i alle noenlunde tilsvarende situasjoner.

Ovenfor sammenlignes tidsrekker fra to grupper, god drenering og dårlig drenering. Dersom vi har tidsrekker fra mer enn to grupper kan disse sammenlignes etter prinsippene ovenfor ved å sammenligne gruppene parvis.

Hvilken tidslengde de målte verdiene i tidsrekkene gjelder for spiller prinsipielt liten rolle, det være seg på timebasis, på døgnbasis [som ovenfor] eller på månedsbasis. Selvsagt må vi regne med at modellen i (6) antagelig bør erstattes med en annen ARIMA modell. Jeg har brukt samme framgangsmåte på de månedlige avrenningsdataene du sendte meg.

For disse synes en AR(1) modell på formen $X_t = \xi + \phi_1 \cdot X_{t-1} + Z_t$ å være relevant.

Tilpasning av denne gav blant annet estimatene

$$\hat{\xi} = 5.09 \text{ [SE} = 1.25, t = 4.08, p \approx 0.000]$$

og

$$\hat{\phi}_1 = 0.490 \text{ [SE} = 0.177, t = 2.77, p \approx 0.010],$$

$$\hat{\sigma}^2 = 44.7415$$

og

$$\hat{\lambda} = 5.09 / (1 - 0.490) = 9.98$$

Vi kan også tenke oss å bruke andre typer modeller for situasjonen ovenfor, blant annet modeller mer i slekt med modellen i (10) nedenfor.

Nitrogen konsentrasjonen fra dreneringsfeltet på Kvithamar

Er det grunnlag for å påstå at forventet nitrogen konsentrasjon fra grøftene med god drenering er forskjellig fra forventet nitrogen konsentrasjonen fra grøftene med dårlig drenering.

For denne situasjonen bruker jeg en annen type modell, blant annet fordi observasjonene er fra bare 12 datoer der tiden mellom datoene er forskjellig. Med andre ord 12 tidsrekker, 6 fra grøfter med god drenering og 6 fra grøfter med dårlig drenering, hver tidsrekke med 12 observasjoner. Modellen kan skrives på formen

$$y_{ijm} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijm} \quad (10)$$

I (10) er y_{ijm} målt nitrogen konsentrasjon i måned m [m angir månedsnummer der januar 2017 settes til måned 1], i grøft j [$j = 1, 2, \dots, k_i$], med drenering i [$i = 1 \sim$ god drenering, $2 \sim$ dårlig drenering]. m brukes for å måle tiden mellom observasjonene, her brukes for enkelhets skyld antall måneder, men vi kunne alternativt brukt for eksempel antall dager. μ er en ukjent konstant, α_i er effekt av drenering i . ε_{ijm} er tilfeldige variabler, feil ledd, som antas å være normalfordelte med forventning 0 og

$$\text{cov}(\varepsilon_{ijm_1}, \varepsilon_{ijm_2}) = \sigma^2 \cdot \rho^{|m_1 - m_2|}$$

($\sigma^2 > 0$ and $0 \leq \rho < 1$).

Feil ledd fra forskjellige grøfter antas å være ukorrelerte.

Estimater etc. for parameterne i modell (10) er gitt i tabell 2 [AIC = 458.7].

Tabell 5.2. Estimater til modell 10

Parameter	Estimat	Standard feil	t (for μ , α_1 og α_2) z (for ρ og σ^2)	Tilnærmet p
μ	1.4796	0.1698	8.71	< 0.0001
α_1	0	.	.	.
α_2	0.9822	0.2402	4.09	0.0001
ρ	0.3998	0.09194	4.35	< 0.0001
σ^2	1.4577	0.1825	7.99	< 0.0001

For å svare på problemstillingen om det er grunnlag for å påstå at forventet nitrogen konsentrasjon fra grøftene med god drenering er forskjellig fra forventet nitrogen konsentrasjonen fra grøftene med dårlig drenering kan vi teste hypotesen

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 \text{ mot } H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_2 \quad (11)$$

Hypotesen i (11) kan testes ved hjelp av en F -test. Denne har testobservator $F = 16.72$ med tilhørende p -verdi tilnærmet lik 0.0001. Det betyr at vi må forkaste H_0 i (11) med bruk av alle rimelige testnivåer. Merk at i denne situasjonen med bare to dreneringer [grupper] er denne F -testen

ekvivalent med å teste $H_0 : \alpha_2 = 0$ mot $H_1 : \alpha_2 \neq 0$. Testobservatoren [T -test] og tilhørende tilnærmede p -verdi for denne hypotesen er henholdsvis 4.09 og 0.0001 fra tabell 2 [$\sqrt{16.72} = 4.09$].

Konklusjon:

Det synes å være en klar forskjell [differanse] mellom forventet nitrogen konsentrasjon fra grøftene med god drenering og forventet nitrogen konsentrasjon fra grøftene med dårlig drenering.

Differansen mellom forventet nitrogen konsentrasjon fra grøftene med god drenering og forventet nitrogen konsentrasjon fra grøftene med dårlig drenering er estimert til $- 0.9822$ mg/l.

Kommentar

Residualplot fra tilpasningen av modellen i (10) indikerer at antagelsen om normalfordelte feil ledd kan forbedres noe ved å bruke en logaritme transformert responsvariabel istedenfor nitrogen konsentrasjonen direkte. Jeg har forsøkt det. Fra et praktisk ståsted er resultatene like for den problemstillingen jeg har sjekket. Jeg har derfor valgt å presentere resultatene fra tilpasning av modellen i (10) basert direkte på de nitrogen konsentrasjonene som er målt. Det har blant annet den fordel at tallene i resultatene er enkle å tolke og forholde seg til.

Nibio, 4/7-2019, Torfin T

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap. Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig. NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.