



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Renseeffekt og kanterosjon i kantsoner med forskjellig vegetasjonstype

NIBIO RAPPORT | VOL. 6 | NR. 30 | 2020



Krzeminska D., Blankenberg A-G., Bøe F., Nemes A., Skarbøvik E.
Divisjon for Miljø og Naturressurser

TITTEL/TITLE

Renseeffekt og kanterosjon i kantsoner med forskjellig vegetasjonstype

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Krzeminska D., Blankenberg A-G. B., Bøe F., Nemes A. og Skarbøvik E.

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
04.03.2020	6/30/2020	Åpen	10596-0	20/00270
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02530-6	2464-1162	32		

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Johan Kollerud

STIKKORD/KEYWORDS:

Kantsone, vegetasjon, klima, elv

Buffer zone, vegetation, climate, river

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Miljøtiltak, vannkvalitet

Environmental measures, water quality

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Kantsoner langs vassdrag har flere ulike funksjoner; i dette prosjektet er to funksjoner undersøkt (renseeffekt på næringsstoffavrenning fra jordbruksområder, og evne til å motstå kanterosjon), i tre typer vegetasjon: gras/ugras; kombinasjonen gras/bærbusker og trær. En kombinasjon av feltforsøk og modellering er benyttet. Kantsoner med trær hadde best infiltrasjonsevne. Bærbuskene var nyplantede med dårlig utviklet rotsystem, noe som sannsynligvis påvirket infiltrasjonsevnen negativt. Renseeffekten i kantsoner med gras og busker/ gras var omtrent den samme. Renseevnen avtok noe med økt nedbør/avrenning. Det var ingen overflateavrenning fra kantsoner med skog. Forutsatt at jord og næringsstoffer ikke fant veien til bekk/elv gjennom sprekkssystemer i jorda, var renseeffekter i areal med trær svært god. Det er imidlertid behov for ytterligere studier om hva som skjer med vann og næringsstoffer i selve jordprofilet (subsurface). Modellresultatene viser at kantsoner med trær hadde best evne til å redusere kanterosjon/øke skråningsstabilitet.

Buffer zones along streams can have several different functions; in this project two such functions have been examined (retention of nutrients from adjacent agricultural fields, and resistance of bank erosion) in three types of vegetation: grass/weeds, a combination of grass and berry bushes, and trees. A combination of field experiments and modelling has been used. Buffer zones with trees had the highest infiltration capacity. Low infiltration capacity within buffer zones with berry bushes was and effect of poorly developed root system of newly planted bushes. The retention effect of buffer zones with grass and berry bushes was nearly the same and very high. A slight decrease in the retention effect was observed with increased rainfall / runoff intensities. There was no surface runoff observed in the trees covered buffer zones, would indicate very good retention effect of the area (if no subsurface leakage is assumed). However, it indicates the need to investigate subsurface processes. Based on slope

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

stability modeling we can conclude that stream banks covered with trees are the most stable and show the highest capacity to accommodate potential shear stress.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Viken
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Hobøl
STED/LOKALITET: Hobøelva, Vannområde Morsa

GODKJENT /APPROVED



JANNES STOLTE

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



DOMINIKA KRZEMINSKA



Forord

Prosjektet «Valg av vegetasjon i buffersoner for best mulig renseeffekt og redusert erosjon i et endret klima (BUFFERKLIMA)» er finansiert av Landbruksdirektoratet gjennom Klima og miljøprogrammet. Prosjektet startet 1.1. 2017 med varighet på tre år. Prosjektet ble gjennomført innenfor kostnadsrammen tildelt av Landbruksdirektoratet på inntil 1 600 000 kroner. Tilskuddet utgjør 85 prosent av totalkostnadene i prosjektet.

I utlysningen for Klima- og miljøprogrammet for 2016 ble det etterspurt blant annet økt kunnskap om tiltak for å begrense problemer med arealavrenning og erosjon, samt å utvikle og formidle praktisk rettet kunnskap mot næringen. BUFFERKLIMA-prosjektet har hatt som hovedmål å øke kunnskapen om hva slags vegetasjon som er best egnet i kantsoner langs elver og bekker for å redusere avrenning og motvirke kanterosjon.

I denne rapporten er det presentert resultater av utført feltforsøk og modellering. Som prosjektleder vil jeg rette en stor takk til en dedikert og entusiastisk prosjektgruppe, og alle involverte parter. Jeg vil også takke grunneierene som gav oss tillatelse til å bruke deres eiendom til både overvåking og felteksperimenter.

Det er også utarbeidet et faktaark som oppsummerer de viktigste funnene fra BUFFERKLIMA på en populærvitenskapelig måte.

Ås, 04.03.20

Dominika Krzeminska

Prosjektleder

Innhold

1	Innledning.....	6
1.1	Bakgrunn.....	6
1.2	Kunnskapsstatus og kunnskapshull	6
1.3	Mål og målgrupper	7
2	Metoder.....	8
2.1	Felt- og arbeidsbeskrivelse	8
2.2	Renseeffekt i kantsoner.....	9
2.2.1	Forsøksoppsett.....	9
2.2.2	Prøvetaking og analyser	11
2.3	Kanterosjon	12
2.3.1	Overvåking av hydrologi og kanterosjon.....	13
2.3.2	Modellering.....	14
3	Resultater	15
3.1	Jordanalyser.....	15
3.2	Renseeffekt i kantsoner.....	18
3.3	Kanterosjon	23
3.3.1	Overvåking	23
3.3.2	Modellering.....	26
4	Sammenfattende konklusjon	28
5	Litteraturreferanser.....	30

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Klimaendringer med økt nedbør, mer intense nedbørepisoder og høyere temperaturer (Hanssen-Bauer m. fl., 2015) vil kunne medføre økt erosjon og flomfare, og dermed gi utfordringer for jordbruket med hensyn på avrenning og robuste renseløsninger (Øygarden m. fl., 2011, Deelstra m. fl., 2011; Blankenberg, 2014). Areal langs bekker og elver er blant de landskapselementene som først vil merke virkningen av klimaendringene i form av oversvømmelser, kanterosjon og tap av jord og næringsstoffer til vann. Samtidig er disse arealene ofte svært produktive med næringsrik matjord, og kan være viktige biotoper for biologisk mangfold i jordbrukslandskapet. Økt fokus på dette arealet er derfor viktig i et fremtidig klima, både for matproduksjon, naturmangfold og vannkvalitet.

Arealet langs elver og bekker i jordbrukslandskapet kan utnyttes på mange ulike måter. Selv om vannressurslovens § 11 tilsier at det skal «oppretholdes et begrenset naturlig vegetasjonsbelte som motvirker avrenning og gir levested for planter og dyr» langs bredden av vassdrag med årssikker vannføring, finnes det mange varianter av arealbruk i disse områdene. Enkelte steder dyrkes det nesten helt til vannkanten, flere steder er det anlagt en grasdekt kantsone i åker, eller kantsonen kan være av varierende bredde og bestå av «naturlig vegetasjon» med trær, busker, gras og annen vegetasjon. NIBIO opplever stor interesse fra forvaltningen om slike kantsoner langs vassdrag, ikke minst i forbindelse med implementeringen av vannforskriften (EUs Rammedirektiv for vann). Spørsmålene som stilles er blant annet hva som er optimal bredde på kantsonene, hvilken type vegetasjon som egner seg best og hvordan vegetasjonen eventuelt bør skjøttes, både for å redusere kanterosjon og tap av næringsstoffer fra dyrka mark til vann. Det er en utfordring at det per i dag ikke finnes tilstrekkelig kunnskap til å besvare disse spørsmålene på en tilfredsstillende måte.

Kantsoner:

«Kantsone» menes her som arealet mellom jordbruksareal og elver og bekker. En «grasdekt kantsone» er en sone med etablert gras mellom åker og naturlig kantsone/elv/bekk. Grasdekte kantsoner er et miljőtiltak for å redusere avrenning og erosjon fra jordbruksarealer.

Annen terminologi som brukes i internasjonal litteratur eller tidligere i Norge er «bufferzoner»

1.2 Kunnskapsstatus og kunnskapshull

En omfattende litteraturgjennomgang om kantsoner ble utført i prosjektet 'Effekt av bufferzoner på vannmiljø og andre økosystemtjenester' med nasjonal og internasjonal litteratur (Blankenberg m. fl., 2017). Her gis en kort oversikt over kunnskapsstatus og identifiserte kunnskapshull for utvalgte tema som vi har fokusert på i dette prosjektet:

Tilbakeholdelse av jord og næringsstoffer: Effekten av etablert vegetasjon langs vassdrag kan avhenge av bredden på kantsonen, type vegetasjon, samt jord- og værforhold. Norsk- og internasjonal litteratur rapporterer store variasjoner i målt effekt av anlagte grasdekte kantsoner. Tidligere undersøkelser på grasdekte kantsoner i Norge viser at renseeffekten på overflateavrenning i kantsonene varierte fra 42-96 % for fosfor, 27-81 % for nitrogen og 83-90 % for organisk materiale (Syversen, 2002). Det er viktig å understreke at disse undersøkelsene er utført på relativt bratte arealer med helling på 12 % til 20 %, og jordtypen var siltig leirjord, som er svært erosjonsutsatt. Det foreligger få eller ingen undersøkelser i annen topografi eller jordtyper i Norge, og de nevnte undersøkelsene er derfor de som ligger til grunn for eksisterende beregninger av kost-effekt av kantsoner (Refsgaard m. fl., 2010; 2013).

I tidligere norske feltforsøk gjennomført på Østlandet ble det ikke funnet signifikant forskjell i renseeffekt mellom kantsoner tilsådd med gras og kantsoner med enkelte løvtrær, verken i sommer-

eller vinterhalvåret (Søvik m. fl., 2008). Undersøkelsene forklarer manglende forskjell med at trærne var unge med dertil dårlig utviklet rotsystem i forsøksperioden. I lysimeterforsøk er det imidlertid funnet en signifikant høyere renseeffekt i kantsoner med trær sammenlignet med kantsoner med bare gras, når vannet infiltrerer vertikalt gjennom rotsonen (Søvik m.fl., 2008). Her var infiltrasjon gjennom umettet sone og opptak av næringsstoffer de viktigste prosessene. Det er et behov for bedre undersøkelser av infiltrasjonsprosesser i kantsoner med trær, særlig mht. betydningen av bredden på kantsonene. For grasdekte kantsoner vil tungt utstyr for å høste gras kunne føre til jordpakking, som igjen kan medføre redusert infiltrasjonskapasitet, økt overflateavrenning og dermed redusert effekt av tiltaket (Skarbøvik & Blankenberg, 2014).

Det er mange kunnskapshull tilknyttet renseeffekten av kantsoner, og de viktigste kunnskapshullene er: (1) Effekt av kantsoner anlagt i områder med lav til middels erosjonsrisiko; (2) effekt av ulike former for vegetasjonsdekke i sonene (herunder effekten på infiltrasjonskapasitet, stabilisering av jord, evne til å bremse vann, partikler og næringsstoffer, utlekking/opptak av løste næringsstoffer, frigjøring av næringsstoffer fra dødt plantemateriale og plantenes behov for vann og næringsstoffer i vekstperioden); og (3) konsekvensen av belastning fra tunge jordbruksmaskiner på kantsonens funksjoner.

Kanterosjon langs elv og bekk: Undersøkelser i norske leirevassdrag har vist at kantmaterialet inneholder en betydelig andel fosfor, og at kanterosjon derfor bidrar med tilførsler av både jord og næringsstoff til vannforekomstene (Skarbøvik & Blankenberg, 2014; Skarbøvik, 2016). Kanterosjon er særlig aktiv ved høy vannføring med økt vannhastighet og i perioder da elvebankene er mettet med vann pga. nedbør eller snøsmelting (f.eks. Hooke, 1980; Fox & Wilson, 2010;). Da øker skjærstresset mot kantene, samtidig som jorda har mindre motstandsevne mot utglidinger. Kanterosjonen øker i likhet med annen erosjon og avrenning i perioder med flom (Bull, 1997). Kantvegetasjon regnes som et effektivt tiltak mot kanterosjon, bl.a. fordi jordfuktigheten kan reduseres når plantene tar opp vann (Greenway, 1987). Mer viktig er antakelig at røttene, og særlig røtter som når dypt ned i jorda, kan armere og stabilisere jorda i elvekantene (Abernethy & Rutherford 2000; Genet m. fl., 2005; Vergani m. fl., 2012). Dette er undersøkt mange steder (Greenway, 1987; Gray & Sotir, 1996; Abernethy & Rutherford, 2000; Genet m. fl., 2008; Mao m. fl., 2012; Abdi, 2014), men det er ikke funnet systematiske undersøkelser av dette i Norge. Generelt viser de ovennevnte undersøkelsene at vegetasjonens betydning for å redusere erosjon varierer mye avhengig av type vegetasjon og stedsspesifikke forhold (jord, klima, m.m.).

1.3 Mål og målgrupper

Målet med prosjektet har vært å øke kunnskapen om hva slags vegetasjon som egner seg best i kantsoner, med særlig fokus på å redusere overflateavrenning og kanterosjon, i et fremtidig klima med fare for økt avrenning, kanterosjon og flom.

I prosjektsøknaden ble følgende spørsmål stilt:

- hva slags kantvegetasjon er best egnet for å redusere tilførsler av næringsstoffer og jordpartikler til vassdrag under ulike klimatiske forhold?
- hva slags kantvegetasjon er best for å redusere kanterosjon?
- hvordan vil klimaforhold og vegetasjonsdekke påvirke kanterosjonen?

Prosjektets målgrupper er først og fremst landbruks- og vassdragsforvaltningen, fra nasjonalt til lokalt nivå, men også landbruksrådgiving og forskning.

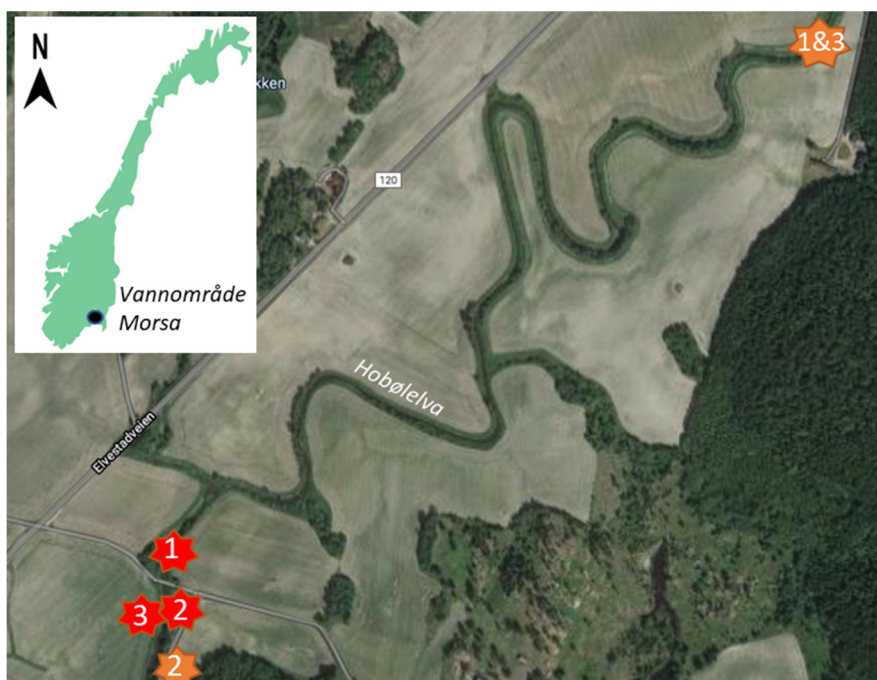
2 Metoder

2.1 Felt- og arbeidsbeskrivelse

Prosjektet bygger på allerede utført og pågående forskning om emnet:

- Litteraturgjennomgang, kontakt med bønder og forvaltning og kunnskap om lover og regler knyttet til kantsoner, utført i prosjektet 'Effekt av buffersoner på vannmiljø og andre økosystemtjenester' (Blankenberg m. fl., 2017);
- EU-prosjektet RECARE (www.recare-project.eu), hvor det ble opprettet et feltforsøk langs Hobøelva i Akershus fylke (Figur 1).

En stor del av arbeidet i dette prosjektet har vært feltforsøk (kap. 2.2) og feltovervåking (kap. 2.3). Feltforsøkene ble utført langs Hobøelva, i Vannområde Morsa (Figur 1). Hobøelvas nedbørfelt er 333 km² og består av ca. 16% jordbruksareal, 5% åpent vann og 79% skog (Blankenberg m. fl., 2008). Dominerende jordtype i nedbørfeltet er grov morene i skogsområdene og marine avsetninger med siltig leire i landbruksområdene (Skarbøvik & Bechmann, 2010). Gjennomsnittlig årstemperatur er 5,6 °C, målt ved Rygge værstasjon. Gjennomsnittlig årlig nedbør er 829 mm (Skarbøvik & Bechmann, 2010). Vannføringen i Hobøelva er svært varierende (Skarbøvik m. fl., 2014); fra å være relativt stabil (1-3 m³/s) på sommer- og vinterstid, til svært varierende (7-48 m³/s) om våren og høsten. Dette er imidlertid under endring grunnet mindre stabile værforhold de siste årene.



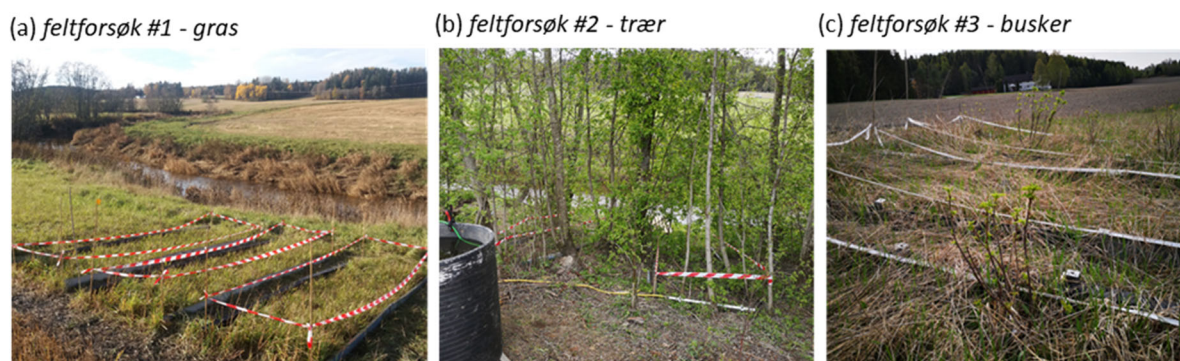
Figur 1. Lokalisering av feltforsøk (røde stjerner) og lokalisering av overvåkede elvekanter (oransje stjerner). Tallene indikerer ulike vegetasjonstyper: 1-ugras(røde)/ gras (oransje); 2-trær og 3-busker (Kilde: Google Maps).

2.2 Renseeffekt i kantsoner

Ett av formålene med prosjektet er å undersøke hvordan kantsonenes evne til å holde tilbake jord og næringsstoffer påvirkes av type vegetasjon og klimatiske forhold. Følgende undersøkelser er gjennomført for å belyse denne problemstillingen:

- studere retensjon av partikler og næringsstoffer fra overflateavrenning i kantsonene
- måling og analyse av hvordan jordas fysiske egenskaper varierer mellom kantsoner med ulik vegetasjon, og mellom kantsone og åker
- studere sammensetning av kornfordeling, næringsstoffer og innhold av organisk materiale i ulike typer kantsoner

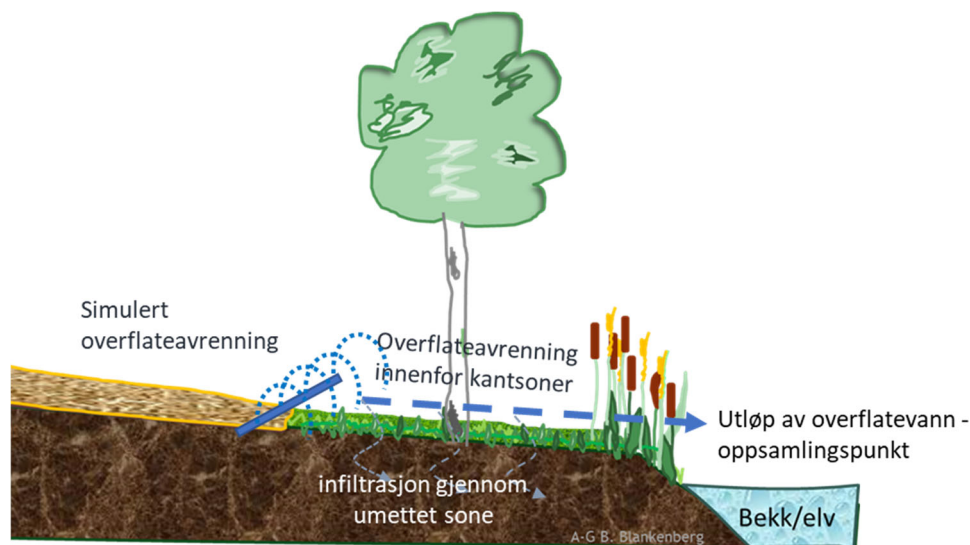
Etter gjennomgang av kart/flyfoto og befaringer ble forsøksområder med følgende kantvegetasjon valgt (Figur 1 og 2): 1) gras (opprinnelig til grasproduksjon), 2) trær og 3) bærbusker (rips og solbær ble plantet på forsøksfeltet med gras-ruter etter at forsøket med gras var gjennomført. På hver lokalitet ble det anlagt tre ruter (4 x 1 m). Kantsonene hadde en helling på 11-13% for gras og busker og 14-16% for trær.



Figur 2. Foto fra forsøkslokalitetene. Til venstre: kantsone med gras, i midten: kantsone med trær og til høyre: grasdekt kantsone med nyplantede bærbusker (Foto: D. Krzeminska, NIBIO).

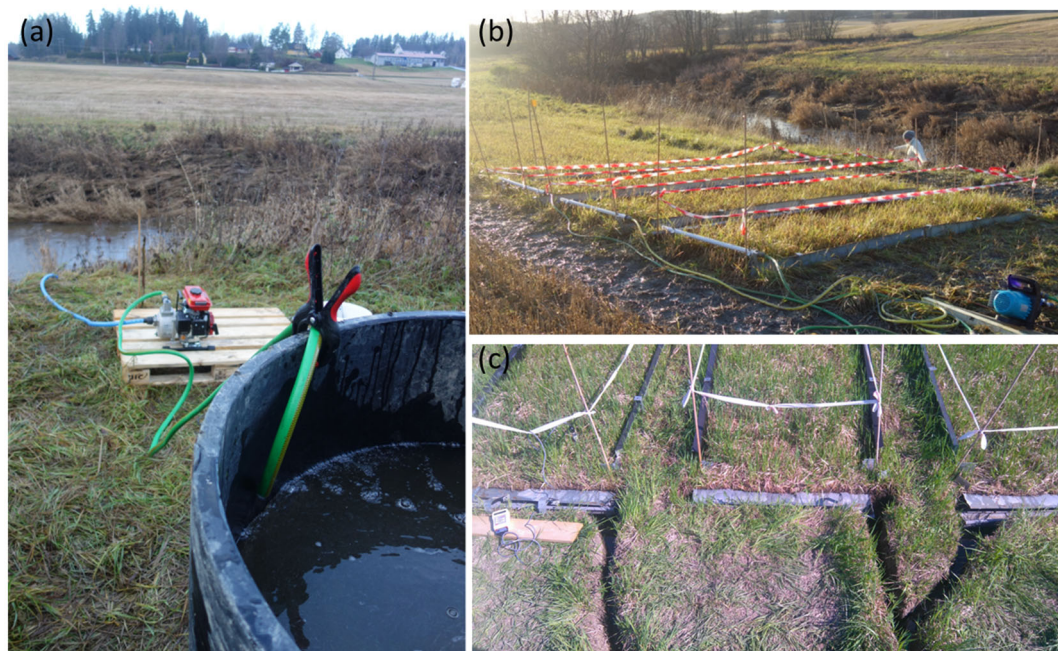
2.2.1 Forsøksoppsett

Prosesser i naturen er væravhengige. For å kunne foreta målinger under kontrollerte værforhold ble det bygget en 'avrennings-simulator', utviklet for å simulere overflateavrenning fra jorden, gjennom kantsonen og til bekken. Simulatoren ga mulighet til å undersøke effekten kantsoner med ulike vegetasjon har på overflateavrenning i ulike vær-situasjoner (Figur 3).



Figur 3. Skisse av forsøksoppsettet. Overflateavrenning ble generert ved å pumpe vann fra Hobølelva til vanntanker, og videre til perforerte rør. Vannet som ble tilført inneholdt SS konsentrasjoner mellom 760 og 1100 mg SS/L, 0,7 til 1 mg/L for total fosfor (TP) og fra 1,4 til 2 mg/L for totalnitrogen (N-tot).

Forsøket ble gjennomført med Hobølelva som vannkilde. Vann ble pumpet i vanntanker (Figur 4a), og videre i perforerte plastrør som ble plassert øverst i hver forsøksrute, hvor overflateavrenning ved ulik intensitet ble generert (Figur 4 b). Nedenfor hver forsøksrute ble det lagt ned oppsamlingsrenner for å samle opp overflateavrenningen (Figur 4c). Overflateavrenningen ble fraktet videre i slanger til bøtter hvor avrenningsvolum og intensitet ble målt. Det ble tatt ut volumproporsjonale vannprøver som ble analysert for suspendert stoff (SS), total fosfor (P-tot), løst fosfor ($\text{NO}_3\text{-N}$), totalnitrogen (N-tot), organisk materiale (TOC) og leirinnhold (leir%).



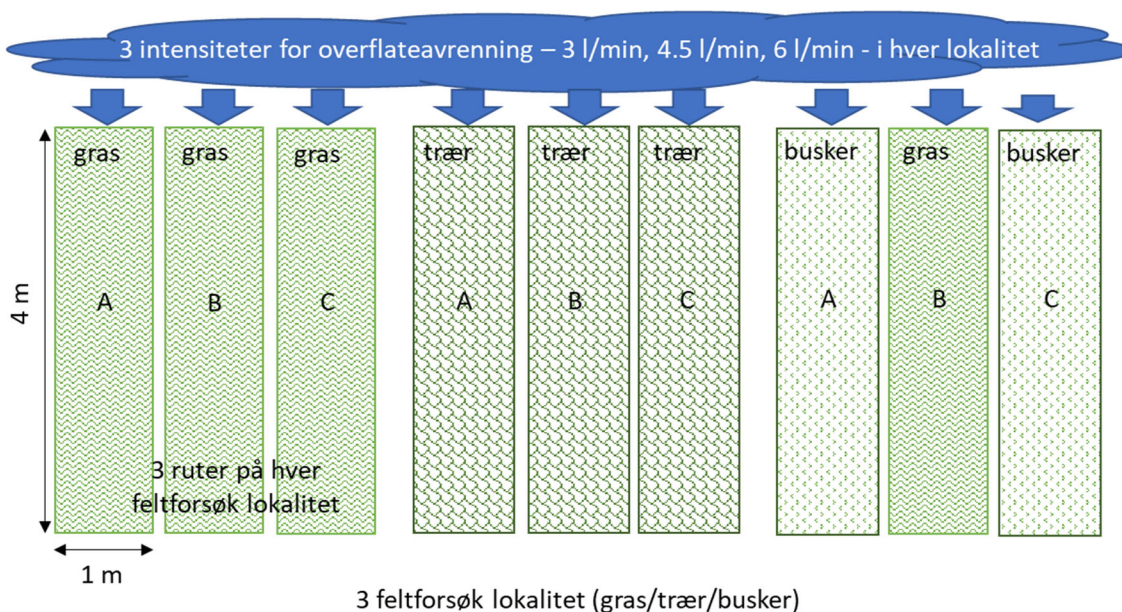
Figur 4. Bilder av forsøksoppsettet: (a) vann ble pumpet fra elva til store tanker, hvor sediment/jordpartikler ble blandet med ellevannet; (b) vannet ble deretter pumpet i slanger til perforerte rør, plassert over hver forsøksrute; (c) overflatevann ble samlet opp i renner nederst i rutene og overført til prøveflasker for analyse

Foto: D. Krzeminska, NIBIO.

For å oppnå et mer representativt innhold av jordpartikler og næringsstoffer i generert overflateavrenning, ble jord fra åkeren blandet i elvevannet. Partikkelkonsentrasjon (SS) i generert overflateavrenning varierte mellom 760 og 1100 mg SS/L, mens konsentrasjonen av næringsstoffer varierte fra 0,7 til 1 mg/L for total fosfor (TP) og fra 1,4 til 2 mg/L for totalnitrogen (N-tot). Tilsvarende partikkelkonsentrasjon er rapportert brukt av Syversen (2002) og Søvik m. fl. (2008). Ved slutten av hvert eksperiment ble vann fra elva – *uten* tilsatt jord – pumpet ut systemet; dette for å ‘rense’ systemet.

For å vurdere renseseffekten til kantsoner i et endret klima med økt nedbør og avrenning ble forsøkene utført med tre ulike avrenningsintensiteter: 3 liter/min, 4,5 liter/min og 6 liter/min.

En skjematisk fremstilling av avrenningseksperimentet er vist i figur 5.



Figur 5. Oppsett av eksperiment for simulert overflateavrenning.

Med renseseffekten til kantsoner menes evnen kantsoner har til å holde igjen/fjerne jordpartikler og næringsstoffer (R_{sim}). Renseseffekten til forsøksruter med ulik vegetasjon er beregnet med følgende formel:

$$R_{sim} = \frac{m_{in} - m_{out}}{m} \cdot 100\%$$

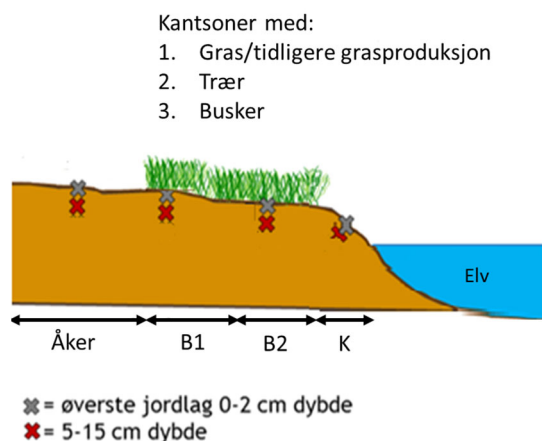
der m_{in} og m_{out} er mengden jordpartikler og næringsstoffer tilført ved “innløpet” (m_{in}) og samlet opp ved “utløpet” (m_{out}) av forsøksrutene. Overflateavrenningen fra utløpet av rutene ble samlet opp ved bestemte volumintervall (mellom 15 og 20 liter). Det ble tatt vannprøver for hvert volumintervall. Den totale mengde vann tilført og samlet opp for hver av forsøksrutene ble beregnet i etterkant.

2.2.2 Prøvetaking og analyser

Jordsmonn og plantebestand er beskrevet med kvantitative og kvalitative metoder for hvert forsøksområde. Jordas fysiske egenskaper er beskrevet med målinger i felt (infiltrasjon) og med laborietester (mettet vannledningsevne - K_{sat} , umettet vannledningsevne - $K_{near sat}$, jordporøsitet, jordtetthet og kornfordeling). Infiltrasjonskapasitet i åker og i de ulike kantsonene ble undersøkt med dobbeltring-infiltrrometer (ASTM, 2003), og/eller Beerkan infiltrrometer (Lassabatere, 2006). Mettet- og umettet vannledningsevne ble målt med NIBIOs målingsapparat for konstant trykkehøyde og mini-disk-infiltrrometer (METER Group). Målingene ble gjennomført som beskrevet i Klute (1986).

Figur 6 viser en skjematisk fremstilling av jordprøvetaking per rute i de forskjellige forsøkslokalitetene. Blandprøver ble tatt fra det øverste jordlaget (0-2 cm) og i dypere jordlag (5 til 15 cm) fra de ulike rutene og i de forskjellige forsøkslokalitetene. Prøvene ble analysert for innhold av leire (%), organisk stoff (TOC), total fosfor (P-tot), P-Al, og total nitrogen (N-tot).

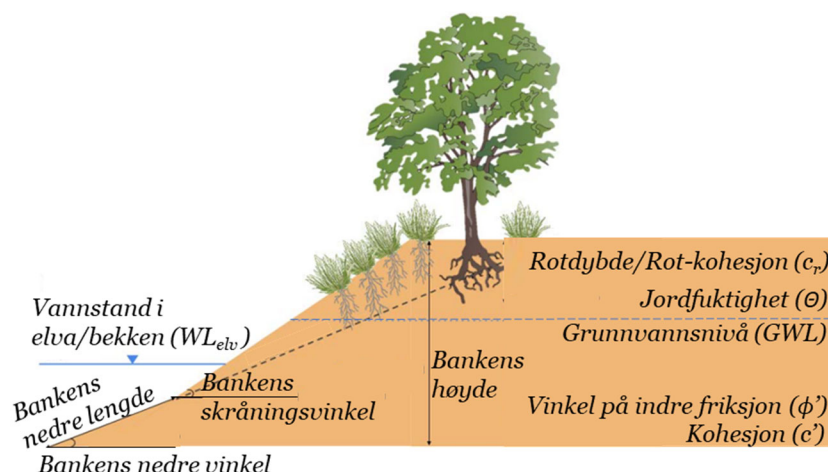
Jordprøvene ble analysert på akkreditert laboratorium (Eurofins).



Figur 6. Skisse av jordprøvetaking per rute innenfor hver forsøkslokalitet. B1 er øvre del av kantsonen (ca. 3 m bred), B2 er nedre del av kantsonen (ca. 3 m bred). K er elvebredden.

2.3 Kanterosjon

Formålet med delprosjektet om kanterosjon var å undersøke effekten av ulike vegetasjonstyper på stabiliteten til elvekantar. Skråningsstabiliteten avhenger av elvekantens utforming, jord-/sedimentforhold, vegetasjon og hydrologiske variasjoner som vannstand i elva, grunnvannstand og jordas fuktinnhold (Figur 7 og Tabell 1).



Figur 7. Skjematisk fremstilling av faktorer som påvirker stabiliteten til elvekantar (Modifisert etter Lammers, 2015).

Studiet av kanterosjon er en videreføring av forsøk initiert i prosjektet RE CARE (Krzeminska m. fl., 2019). Elvekantar med tre ulike typer vegetasjon ble undersøkt: (1) ugras, (2) små trær og (3) busker (ripsbusker ble plantet i september 2016) (Figur 8). For å sikre sammenlignbare forhold, ble det valgt ut tre nærliggende plott langs samme elvekant. Elvekantene lå i snitt om lag 4 meter over elvebunnen.

Skråningsvinkelen til elvekantene varierte fra 28° til 33° for gras, fra 39° til 54° for små trær og fra 25° til 40° for bærbusker.

I forsøket ble overvåking av hydrologiske forhold (fuktinnhold i jorda, porevannstrykk og vannstand i elven gjennom flere sesonger) kombinert med modellering av elvekantstabiliteten. Det ble tatt hensyn til regnets infiltrasjonshastighet, avrenning fra åkeren og vannstandsendringer i elven, herunder variasjon i grunnvannsnivå og fuktinnhold i jorda (se neste avsnitt).



Figur 8. Bilder av overvåkede elvekanter med dekke av: (1) gras/ugras, (2) trær og (3) bærbusker

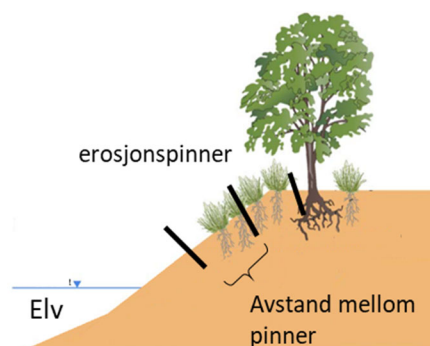
Foto: D. Krzeminska, NIBIO.

2.3.1 Overvåking av hydrologi og kanterosjon

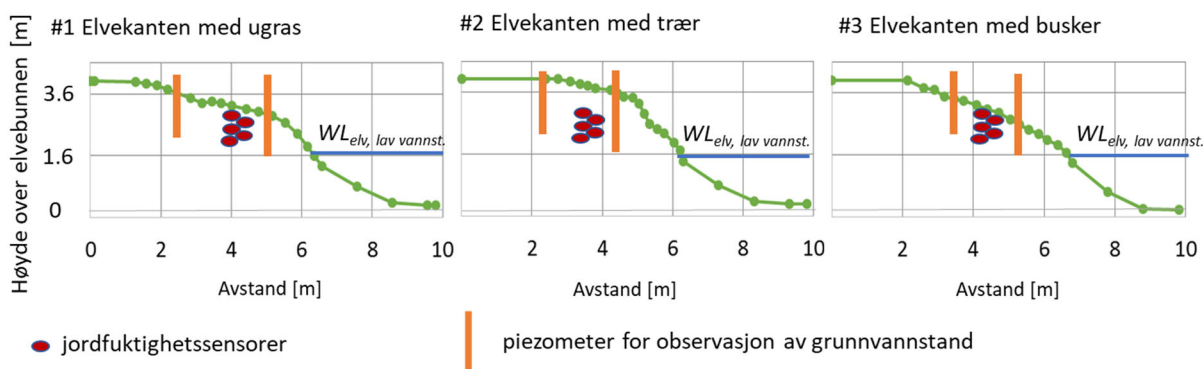
Hydrologisk overvåking: Vannstanden ble overvåket med to grunnvannsrør (piezometer) i hvert forsøksfelt (Figur 10). Ett grunnvannsrør ble satt ned så nær elva som mulig, og slik at nederste del av røret lå om lag 1,6 meter over elvebunnen. Dette nivået tilsvarte den gjennomsnittlige elvevannstanden den relativt tørre sommeren 2016 (i forbindelse med RECARE-prosjektet). Det andre grunnvannsrøret ble plassert på toppen av elvekanten. Her lå den nederste delen av grunnvannsrøret om lag 2,3 meter over elvebunnen. Grunnvannsnivået ble målt med automatiske trykkmålinger hvert tiende minutt (Diver; Eijkelkamp, Nederland). For hver av elvekantene ble det installert jordfuktighetssensorer og temperatursensorer som logget hvert 30 minutt (FDR, 5TM fra Decagon Devices). For å kunne undersøke fuktighetsendringer i jorda ble sensorer installert i fem ulike dyp. For kantsoner med gras og busker ble følgende dyp valgt 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m, 0,4 m og 0,5 m, mens det for kantsonen med trær ble valgt følgende dyp; 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m og 0,8 meter. Vannstandsendringer i elva ble overvåket med Ultrasonic Distance Sensor (UDL, fra PIL Sensoren GmbH). Vannstanden i rørene ble logget hvert 30 minutt.

Overvåking av kanterosjon og stabilitet: Det ble installert erosjonspinner for å undersøke eventuelle utglidninger i elvekantene. Seks pinner ble plassert ved hver elvekant (e.g.: Skarbøvik, 2016; Figur 9), og eventuelle forflytninger ble målt ved å GPS-feste posisjonen til hver av pinnene over tid (Topcon differential GPS system from Topcon Positioning Systems). «Udrenert skjærstyrke» ble målt ved bruk av vingebor (Vane Tester, FIVT, Eijkelkamp, Netherlands). Jordporøsitet ble analysert på lab ved uttak av uforstyrrede jordprøver (ringvolum, 100 cm³).

Værdata: Meteorologiske data ble overvåket med nedbørsbøtte (Davis Rain Gauge Smart Sensor, 0.2 mm oppløsning) og værstasjon (HOBO® Micro Station Data logger, ONSET Computer Corporation).



Figur 9. Prinsippskisse av undersøkelser i elvekanterosjon.



Figur 10. Lokalisering av jordfuktighetssensorer og grunnvannsrør i forsøksområder med: (1) ugras, (2) trær og (3) busker. $WL_{elv, lav vannst.}$, refererer til gjennomsnittlig vannstand i elva målt den tørre sommeren 2016 (Krzeminska m. fl., 2019). Sensordybde er ikke vist.

2.3.2 Modellering

For å modellere stabiliteten til elvekanten ble det benyttet en versjon av BSTEM modellen (Bank-Stability and Toe-Erosion Model; Simon m.fl., 1999). Modellen beregner en såkalt *sikkerhetsfaktor* (F_s) som er et forhold mellom drivende moment (skjærstress) og stabiliserende moment (skjærstyrke) til elvekanten.

Modellen tar hensyn til porevannstrykket i mettet og umettet sone, samt trykk påført fra vannføringen i elva (WL_{elv} , Figur 7). Faktorer som styrer elvekantens dynamikk er det totale volumet og vekten av jord (og vann) i jord. Se Krzeminska m.fl. (2019) for beregninger.

Elvekanten bestemmes som *stabil* dersom stigningstallet til sikkerhetsfaktoren beregnes til større enn 1,3. Elvekanten med sikkerhetsfaktor beregnet til mellom 1,0 og 1,3, er betegnet som *betenget stabil*. Elvekanten som faller innenfor denne kategorien kan for eksempel være ansett som stabile, men grunnet usikkerhet eller begrenset datasett legges det inn en sikkerhetsmargin. Sikkerhetsfaktor mindre enn 1,0 er ansett som *ustabil* (Simon m.fl., 2000).

Den tilpassede modellen ble i første omgang anvendt på de tre overvåkede kantsonene for å undersøke den «nåværende stabiliteten». Videre ble det bestemt ulike modelleringsscenarioer, for å sammenligne stabiliteten til kantsonene:

- Scenario #1: Skåningsstabiliteten til de tre kantsonene ble undersøkt ved å anta en maksimal skråningsvinkel (54°).
- Scenario #2: Skåningsstabiliteten til de tre kantsonene ble undersøkt ved å se på endringer i vegetasjonsdekke.

3 Resultater

3.1 Jordanalyser

Tabell 1 og 2 viser resultater av infiltrasjonskapasitet, vannledningsevne, jordporøsitet og jordtetthet i forsøksområdene. Jordkarakteristika for gras og busker er identiske, siden vi plantet buskene på grasarealet etter at undersøkelsene på gras var fullført. For infiltrasjonsmålinger og mettet vannledningsevne er det benyttet fargekoder for å skille mellom grad av infiltrasjon/vannledningsevne (etter Blankenberg m.fl., 2019).

Resultatene viste, som forventet, bedre infiltrasjon i kantsone med trær enn i grasdekt kantsone. Overraskende nok er det ingen stor forskjell mellom åker og grasdekket kantsone; i begge tilfeller er infiltrasjonskapasitet generelt dårlig. Dette stemmer med resultater fra Skarbøvik og Blankenberg (2014).

Tabell 1. Fysiske egenskaper til jord i feltforsøkene med dekke av gras (og busker; samme lokalitet).

	Dybde	Åker	Kantsone	
			Øvre del av kantsone (B1)	Nedre del av kantsone (B2)
Infiltrasjonskapasitet [cm/min]	Jord-overflate	0,15-0,22	<0,01	<0,01
Mettet vannledningsevne - K_{sat} [cm/min]	0-10 cm	0,24-0,46	0-0,01	0,01-0,25
	20-30 cm	<0,01	<0,01	<0,01
Umettet vannledningsevne – $K_{near sat}$ [cm/min]	0-10 cm	0,02-0,03	0,02-0,05	0,02-0,05
	20-30cm	0,02	<0,01	<0,01
Jordporøsitet [%]	0-10 cm	51-54	42-44	42-44
	20-30 cm	39-45	-	-
Jordtetthet [g/cm³]	0-10 cm	1,22-1,33	1,48-1,54	1,39-1,55
	20-30 cm	1,46-1,63	-	-

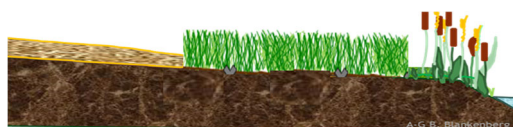
Tegnforklaring

dårlig

middels

god

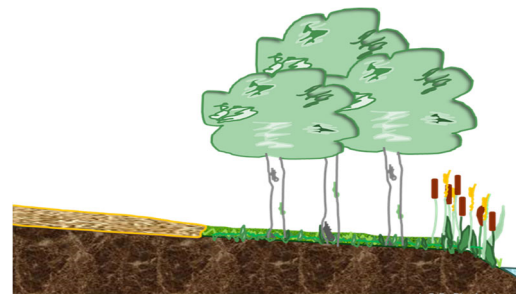
ikke klassifisert



Tabell 2. Fysiske egenskaper av jord i feltforsøk med dekke av trær.

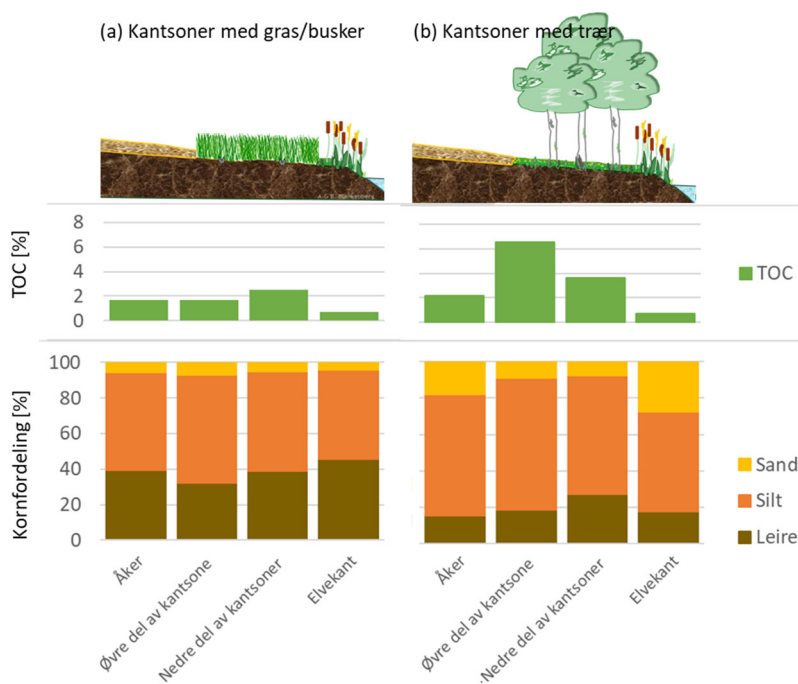
Tegnforklaring

	dårlig
	middels
	god
	ikke klassifisert

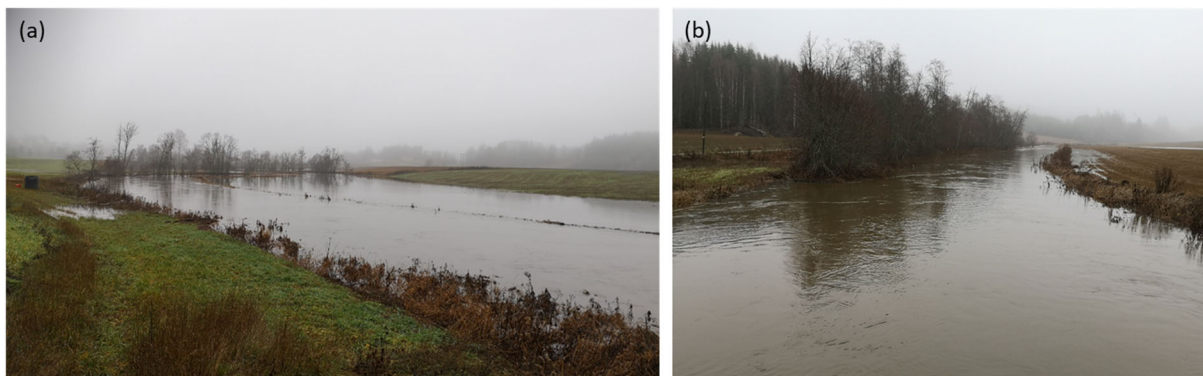


	Dybde	Åker	Øvre del av kantsone (B1)	Nedre del av kantsone (B2)
Infiltrasjonskapasitet [cm/min]	Jord-overflate	0,15-0,22	1,56-1,65	0,55-1,38
mettet vannledningsevne - K_{sat} [cm/min]	0-10 cm	0,24-0,46	0,42-1,33	0,88-3,61
	20-30 cm	<0,01	0,15-2,18	0,47-2,15
umettet vannledningsevne – $K_{near sat}$ [cm/min]	0-10 cm	0,02-0,03	0,26-0,76	1,63 – 1,87
	20-30cm	0,02	1,01 – 1,46	1,26 – 3,16
Jordporøsitet [%]	0-10 cm	51-54	67-71	63-64
	20-30 cm	39-45	64-67	55-59
Jordtetthet [g/cm³]	0-10 cm	1,22-1,33	0,71-0,77	0,78-0,84
	20-30 cm	1,46-1,63	0,88-0,96	0,85-0,98

Figur 11 viser variasjon i kornstørrelsesfordeling målt i kantsoner med forskjellig vegetasjon, i åker, samt i øvre- og nedre kantsoner. Jorda i de ulike forsøksområdene varierer fra stiv leire til siltig lettleire med noe mindre leire i områder dekket av gras. Innholdet av organisk karbon i jord var høyere i forsøksområdet med trær som dekke. Det var også noe forskjeller innenfor hver av forsøksrutene. Høyest innhold av leire ble målt i de nedre delene av kantsonene, noe som kan tilskrives tilførsler av sediment fra elva etter flomepisoder (Figur 12).

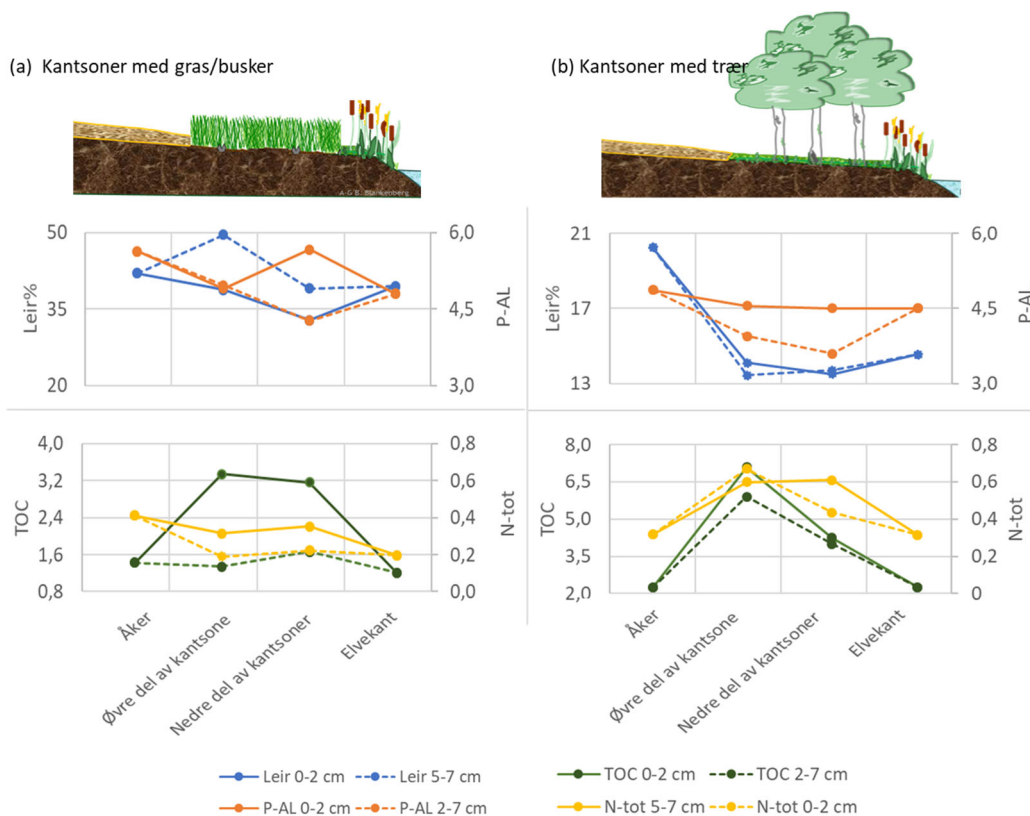


Figur 11. Kornstørrelsesfordeling [%] og organisk karbon (TOC, [%]) målt i forsøksfelt med: (a) gras/busker og (b) trær. Analyser av blandprøver tatt i 0-30 cm dyp.



Figur 12. Hobølelva i flom i november 2018: (a) Forsøksfelt #1: grasdekte kantsoner (senere plantet med bærbusker); (b) Forsøksfelt #2: kantsoner med trær.

Figur 13 viser sammendrag av kjemisk jordkarakteristikk. Fosforinnholdet var lavere i kantsoner, både i grasdekt kantsone og kantsone med trær, sammenlignet med åker. Dette var også tilfellet for fosforinnholdet i sediment i elvekantene. Vannløselig fosfor var noe høyere i det øverste jordlaget (0-2 cm), sammenlignet med målinger nær jordoverflaten (2-7 cm). Tilsvarende er også rapportert i f.eks. Blankenberg (2014). Målinger av totalt organisk karbon (TOC) og totalnitrogen (N-tot) viser klare forskjeller mellom grasdekte kantsoner/kantsoner med bærbusker, og kantsoner dekket med trær. Innholdet av totalt organisk karbon (TOC) målt i området med trær var høyere enn i grasdekte kantsoner/kantsoner med bærbusker. I tillegg var karboninnholdet relativt stabilt nedover i jordprofilen i kantsoner med trær, mens det var større variasjon i grasdekte kantsoner/kantsoner med bærbusker. Totalnitrogen var generelt høyere i kantsoner med trær sammenlignet med grasdekte kantsoner/kantsoner med bærbusker.



Figur 13. Gjennomsnittlig innhold av P-AL [mg/100g], leire [%], totalnitrogen (N-tot, [g/100g]) og total organisk karbon [g/100g] i forsøksfelt med: (a) gras/busker og (b) trær. Analyser foretatt på blandprøver tatt i to dyp: 0-2 cm og 2-7 cm. Figuren er fremstilt med forskjellig y-akse for kantsoner med gras og trær.

3.2 Renseeffekt i kantsoner

Tabell 3 og 4 viser resultater fra avrenningseksperimentet for forsøksruter med gras og busker. Ved bruk av den minste avrenningsintensiteten (3 L/min), viser resultatene ingen signifikant forskjell i tilbakeholdelse av jordpartikler og næringsstoffer mellom grasdekte kantsoner og kantsoner med busker. Ved økende avrenningsintensitet, ble kantsonenes evne for tilbakeholdelse av jordpartikler og næringsstoffer noe redusert. Redusert renseeffekt ved økt avrenningsintensitet var mer fremtredende i kantsoner med et dekke av busker. Dette kan skyldes 1) kort etableringsperiode for bærbuskene og 2) fjerning av gras og mose ved planting.

1) Forsøket ble gjennomført om lag 1,5 år etter at bærbuskene ble plantet. Tiden mellom planting og forsøksgjennomføring kan ha vært noe kort for å sikre et godt forgreinet rotsystem som øker infiltrasjonen.


2) Renseeffekten kan ha blitt noe svekket som følge av at gras og mose ble fjernet ved planting. Bar jord utgjorde da en del av rutearealet (om lag seks). Et nytt dekke av gras og mose vokste gradvis frem og dekte den bare jorda.

Figur 14 og 15 viser resultater fra partikler- og næringsstoffkonsentrasjoner analysert ved utløpet av forsøksrutene for kantsoner med henholdsvis gras og busker. Generelt ble partikkelkonsentrasjonen redusert til om lag halvparten av det som ble tilført. Totalfosfor og totalnitrogen ble redusert med ca. 40-50%. Ved slutten av forsøket ble kun elvevann tilført (uten jordpartikler), og vannkvaliteten ved utløpet av plottene ble betydelig bedre. Det ble ikke observert signifikante forskjeller mellom soner med gras og soner med unge busker.

For totalt organisk karbon (TOC) var det liten forskjell i det som ble tilført og det som rant av i grasdekt sone, men i sonen med busker ble TOC signifikant redusert.

Tabell 3. Resultater fra analyser av partikler- og næringsstoffkonsentrasjoner målt i avrenning fra grasdekte kantsoner.

Konsentrasjoner i overflateavrenning – "innløpet" til forsøksrutene				
Suspendert stoff [mg/L]	760			
Total Fosfor [µg/L]	777			
Total Nitrogen [µg/L]	1260			
Total organisk karbon TOC [mg/L]	14			




Totalt vannvolum av simulert avrenning	L	550	682	859
Intensitet av simulert avrenning	L/min	3,0	4,5	6,0

Renseeffekt i kantsoner med gras - R_{sim}				
Infiltrasjon/overflateavrenning reduksjon	%	72 – 82	76-77	60-68
Suspendert stoff	%	90 - 92	93 – 94	86 – 88
Total Fosfor	%	84 - 89	85 – 87	76-80
Total Nitrogen	%	84 – 89	82 – 85	78-83
Total organisk karbon (TOC/NPOC)	%	77 – 80	72 – 74	67-73

Tabell 4. Resultater fra analyser av partikler- og næringsstoffkonsentrasjoner målt i avrenning fra kantsoner med busker.

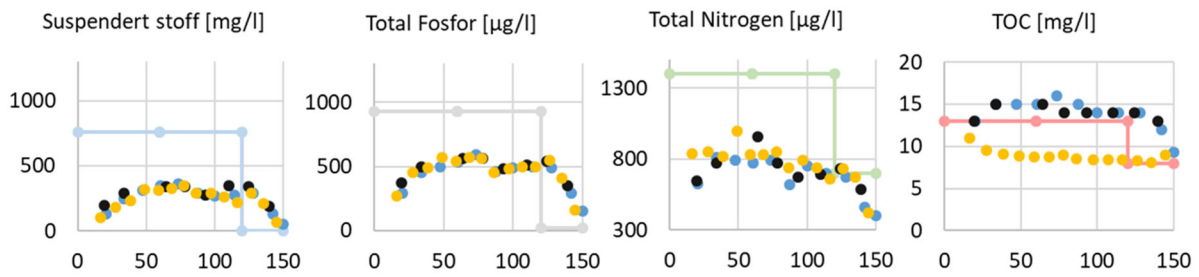
Konsentrasjoner i overflateavrenning – "innløpet" til forsøksrutene				
Suspendert stoff [mg/L]	817			
Total Fosfor [µg/L]	761			
Total Nitrogen [µg/L]	1742			
Total organisk karbon TOC [mg/L]	21			



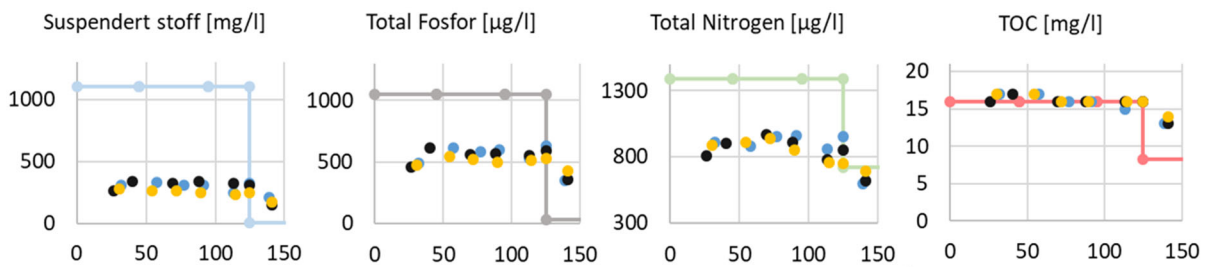
Totalt vannvolum av simulert avrenning	L	405	571	730
Intensitet av simulert avrenning	L/min	3,0	4,5	6,0

Renseeffekt i kantsoner med busker - R_{sim}				
Infiltrasjon/overflateavrenning reduksjon	%	69-80	60-71	51-59
Suspendert stoff	%	90-93	88-90	84-85
Total Fosfor	%	78-85	75-81	74-76
Total Nitrogen	%	76-84	73-79	68-71
Total organisk karbon (TOC/NPOC)	%	74-85	75-79	68-73

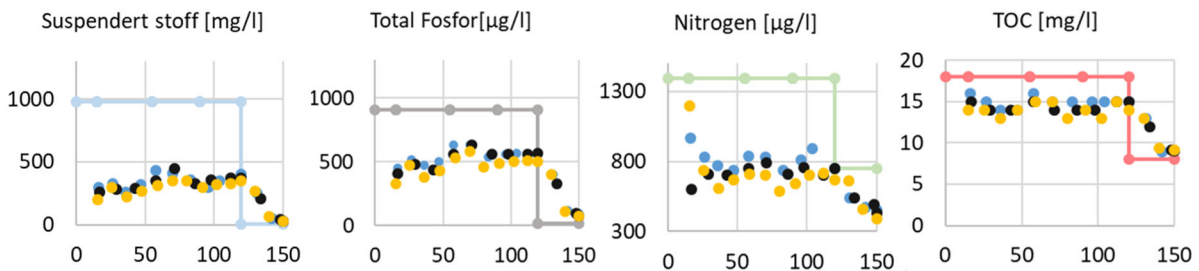
(a) Intensitet av simulert avrenning fra åker – 3 L/min



(b) Intensitet av simulert avrenning fra åker – 4,5 L/min



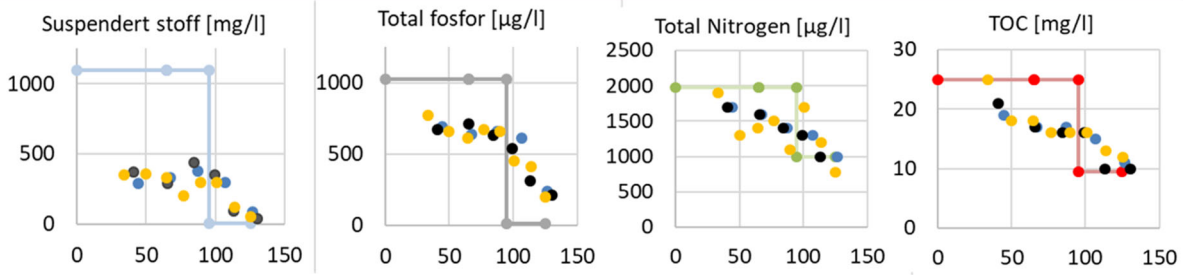
(c) Intensitet av simulert avrenning fra åker – 6 L/min



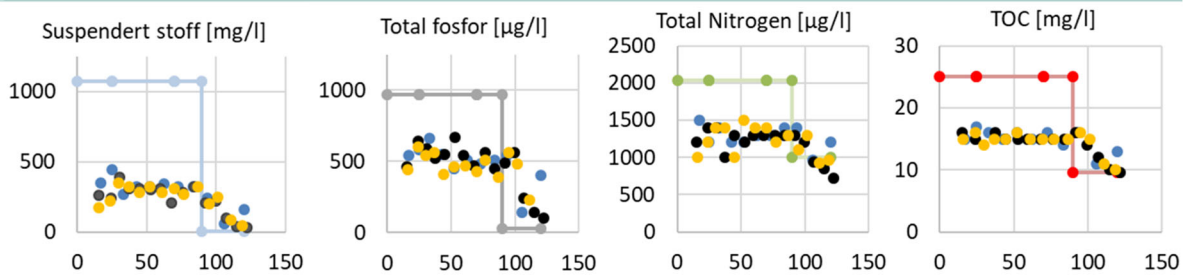
Tegnforklaring: konsentrasjoner i "innløpet" av forsøksrutene —●— ● —●— ● —●— ● —●— ●
konsentrasjoner i "utløpet" av forsøksrutene ■ rute A ● rute B ● rute C (se Fig. 5)

Figur 14. Konsentrasjoner målt i overflateavrenning med ulik intensitet, fra åker og gjennom kantsoner med gras. X-aksene viser tid (i minutter) og Y-aksene viser konsentrasjon (i mg/l eller µg/liter, vist i hver enkelt figur).

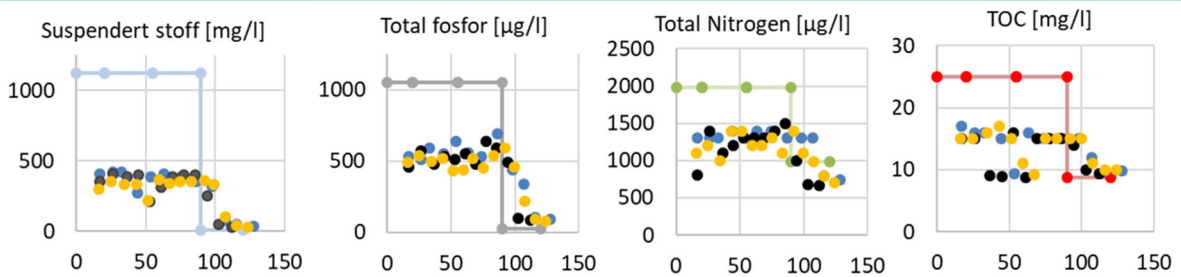
(a) Intensitet av simulert avrenning fra åker – 3 L/min



(b) Intensitet av simulert avrenning fra åker – 4,5 L/min



(c) Intensitet av simulert avrenning fra åker – 6 L/min




Tegnforklaring: konsentrasjoner i "innløpet" av forsøksrutene —●— —●— —●— —●—
 konsentrasjoner i "utløpet" av forsøksrutene ■ute A ●ute B ●ute C (se Fig. 5)

Figur 15. Konsentrasjoner målt i overflateavrenning med ulik intensitet, fra åker og gjennom kantsoner med bærbusker. X-aksene viser tid (i minutter) og Y-aksene viser konsentrasjon (i mg/l eller µg/liter, vist i hver enkelt figur).

Tabell 5 viser resultater fra tester utført i kantsoner med trær. Tabellen viser kun analyseresultater av partikkel- og næringsstoffkonsentrasjoner i tilført vann, siden alt vannet infiltrerte ned i jorda. Det var derfor ingen overflateavrenning så vi kunne ta vannprøver ved utløpet av forsøksrutene. Selv om resultatene indikerer at kantsoner med trær har god evne for å rense overflateavrenning fra åker, så kan det infiltrerte vannet transporteres til elva via poresystem/langs røtter i jordprofilen; hastigheten på denne prosessen er foreløpig ukjent.

Tabell 5. Resultater fra analyser av partikkel- og næringsstoffkonsentrasjoner målt i avrenning i kantsoner med trær. Det ble ikke generert overflateavrenning da alt vannet infiltrerte ned i jorda.

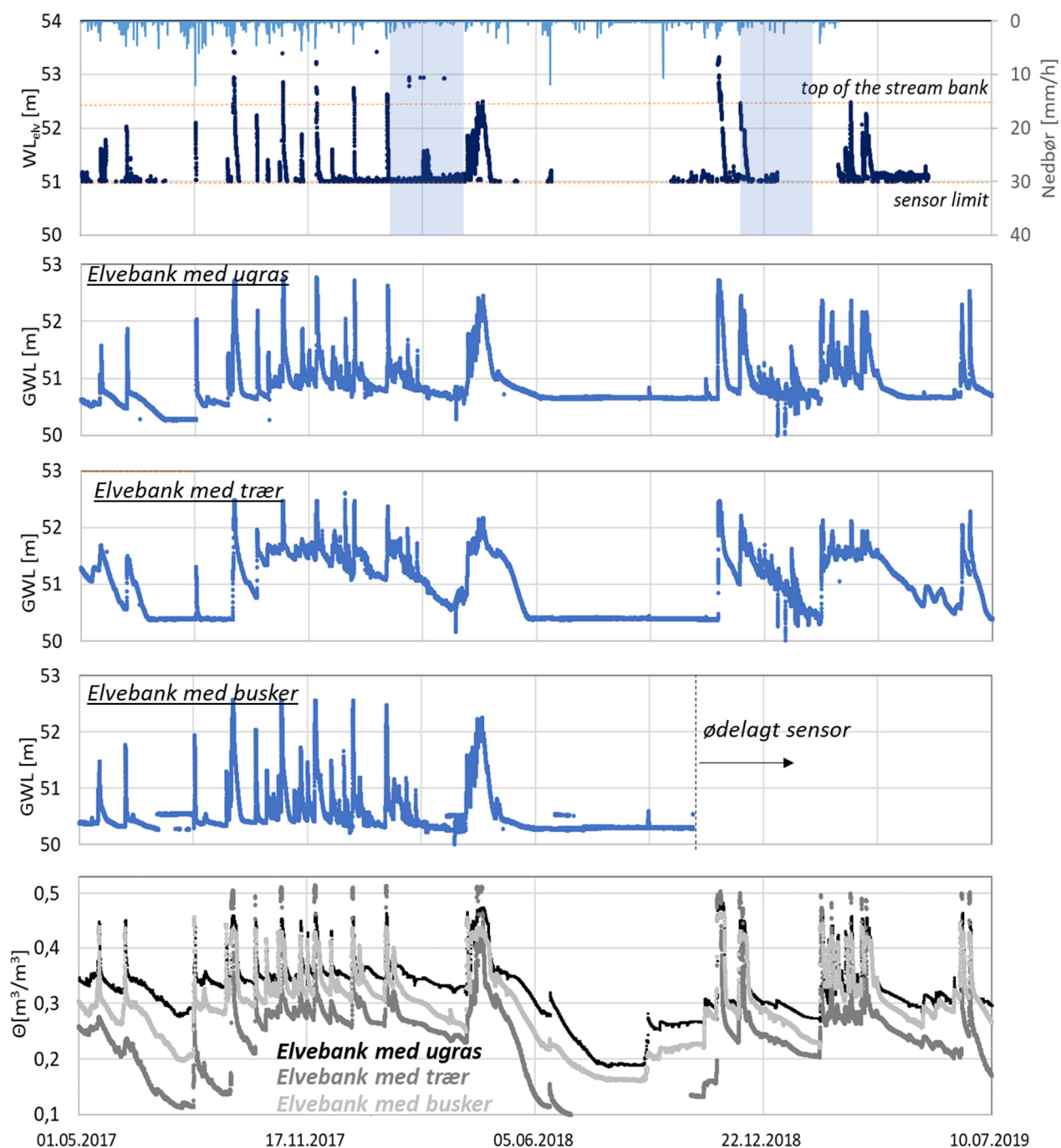
Konsentrasjoner i overflateavrenning – "innløpet" til forsøksrutene				
Suspendert stoff [mg/L]		817		
Total Fosfor [µg/L]		761		
Total Nitrogen [µg/L]		1742		
Total organisk karbon TOC [mg/L]		21		
				
Totalt vannvolum av simulert avrenning	L	478	627	795
Intensitet av simulert avrenning	L/min	3,0	4,5	6,0
Renseeffekt i kantsoner med busker - R_{sim}				
Infiltrasjon/overflateavrenning reduksjon	%	100	100	100

3.3 Kanterosjon

3.3.1 Overvåking

Figur 16 viser overvåkingsresultater av nedbør, vannstand i elva, grunnvannsstand og jordfuktighet målt i perioden 01.05.2017 til 10.07.2019 for elvekanter med gras, busker og trær. Resultatene viser at det var sammenlignbare variasjoner i grunnvannstand og jordfuktighet målt i elvekanter med gras og elvekanter med busker. Derimot var det større forskjeller målt i forsøksrutene med dekke av trær. Grunnvannsstands-topper som respons på nedbør var relativt like i alle tre forsøksfelt. Grunnvannsstands-nivået målt i forsøksfeltet med trær holdt seg på et høyere nivå over lengre tid sammenlignet med de to andre forsøksfeltene. De observerte vannstandstoppene i elva under frostperioder kan mest sannsynlig tilskrives formasjon av is eller snø (isoppstuvning).

De observerte variasjonene i jordfuktighetsmålinger korresponderer med variasjonene i grunnvannstandsmålinger. Det var forskjeller mellom forsøksfeltene. Forsøksruter med trær viste lavest jordfuktighet, men høyest respons på nedbør og økning i vannstand i elva. Forsøksfelt med gras og busker viste tilsvarende trend, men med noe tørrere forhold for ruter med bærbusker sammenlignet med gras. Frostperiodene vinteren 2017/2018 og 2018/2019 gjenspeiles i lav jordfuktighet.



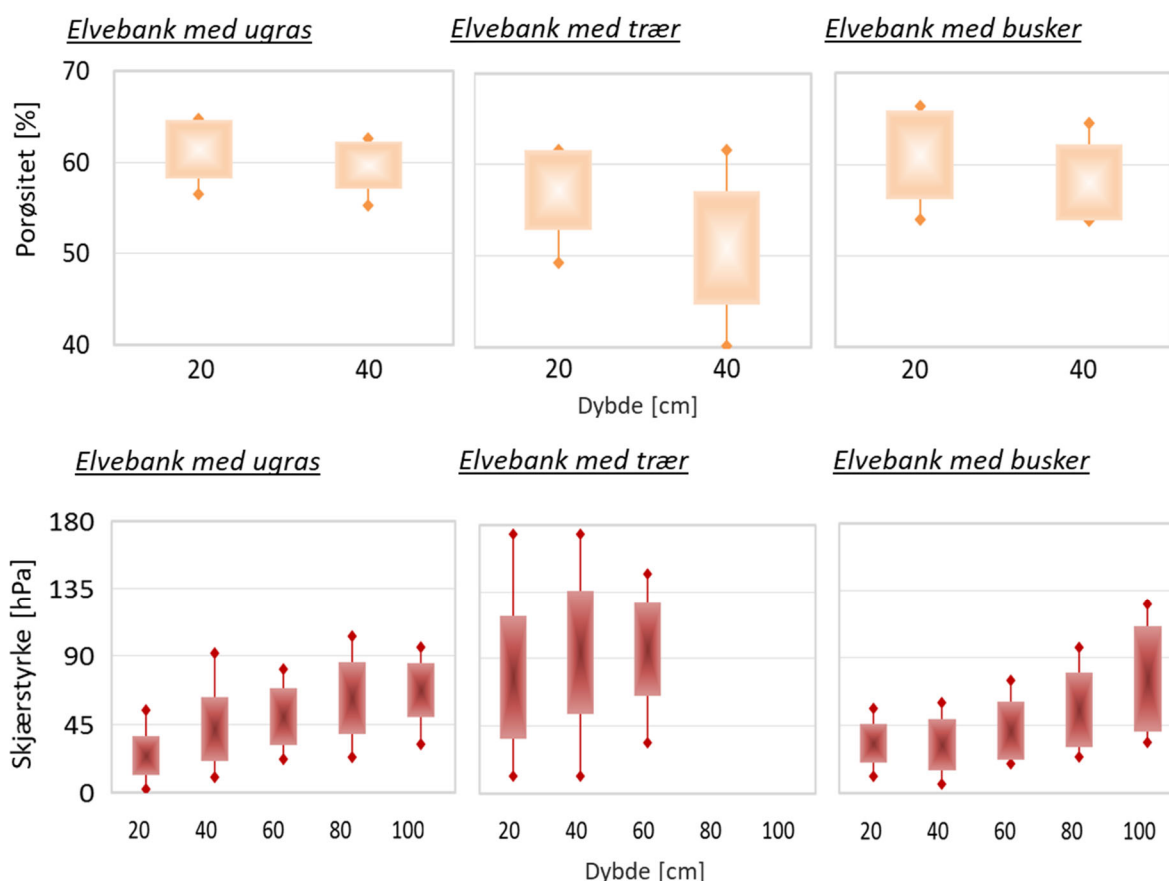
Figur 16. Hydrologisk overvåking av nedbør, vannstand i Hobøllelva (WL_{eiv}), grunnvannsstand (GWL) og jordfuktighet (Θ), målt i overvåkingsperioden (01.05.2017 til 10.07.2019) for elvekanter med gras, trær og busker. Blå skraverte felt angir frostperioder.

Figur 17 viser resultater av jordporøsitet og skjærstyrke målt i ulike jorddybde innenfor hver forsøksrute. Resultatene viser at jordporøsiteten ble redusert med økende jorddybde. I forsøksruter med trær var porøsiteten lavere sammenlignet med forsøksruter med gras og bærbusker. For alle forsøksruter økte skjærstyrken med dybden. Dette kan tilskrives økt jordpakking ved økende dyp (Tabell 6), samt tilstedeværelsen av røtter som armerer jorden (rottdybden varierer med vegetasjonstype; f.eks. har trær dypere røtter enn gras). Målinger av skjærstyrke var høyest i forsøksruter med trær, men her var det også store variasjoner innbyrdes, ettersom målingene i stor grad avhenger av avstanden til et rotsystem.

Tabell 6 viser jordkarakteristika for forsøksruter med gras, trær og busker. Tabellen inkluderer målte («saturated unit weight», γ_{sat}), samt estimerte (c' , ϕ') parameter. Friksjonsvinkel (ϕ') er basert på geotekniske data (Geotechdata, 2013), mens kohesjon (c') er basert på både geotekniske data (Geotechdata, 2013) og målinger i felt (Krzeminska m. fl., 2019). Kohesjon i jord er gitt ut fra skjærstyrke, målt i jord, under rotdybden ved nær metning.

Tabell 7 viser resultater for rot-kohesjon (c_r) som er et resultat av ulike sammensetninger av sorter/arter av planter innenfor hver forsøksrute, beregnet med en modul av BSTEM (RipRoot).

Resultatene for erosjonsspinner viste ingen endringer i elvekantenes profil i overvåkingsperioden. Dette stemmer også overens med hva som ble observert ved feltbesøk.



Figur 17. Målt jordporøsitet og skjærstyrke ved ulike jorddyb innenfor forsøksfelt med gras, trær og busker. Grafene viser bokser med gjennomsnittlige verdier (+/-), standardavvik, samt maksimum- og minimumsverdier.

Tabell 6. Egenskaper til jord i forsøksruter med gras, trær og busker, samt input parameter til modellen BSTEM.

Jordlag	Dyp [m]	Saturated unit weight (γ_{sat})			Friksjonsvinkel (Φ')		Kohesjon (c')			
		Gras	Trær	Busker	min ⁽²⁾	maks ⁽²⁾	BSTEM input ^(e)	min ^(m)	maks ^(m)	BSTEM input ^(e,3)
		[kN/m ³]			[degree]		[kPa]			
1	0,2	16,0 ^(m,av)	16,5 ^(m,av)	16,1 ^(m,av)	18,0	32,0	26,4	2,0	8,0	4,3
2	0,4	16,0 ^(m,av)	16,6 ^(m,av)	16,1 ^(m,av)	18,0	32,0	26,4	2,0	8,0	4,3
3	0,6	16,3 ^(m,av)	17,8 ^(m,av)	16,7 ^(m,av)	18,0	32,0	26,4	2,0	8,0	4,3
4	1,6	18,0 ^(1,e)	18,0 ^(1,e)	18,0 ^(1,e)	18,0	32,0	26,4	-	-	4,3
5	4,1	18,0 ^(1,e)	18,0 ^(1,e)	18,0 ^(1,e)	18,0	32,0	26,4	-	-	4,3

^(m) målt; ^(av) gjennomsnittlig verdi; ^(e) ekspert vurdering;

⁽¹⁾ Schaap et al (2001); ⁽²⁾ Geotechdata (2013); ⁽³⁾ default BSTEM parameter.

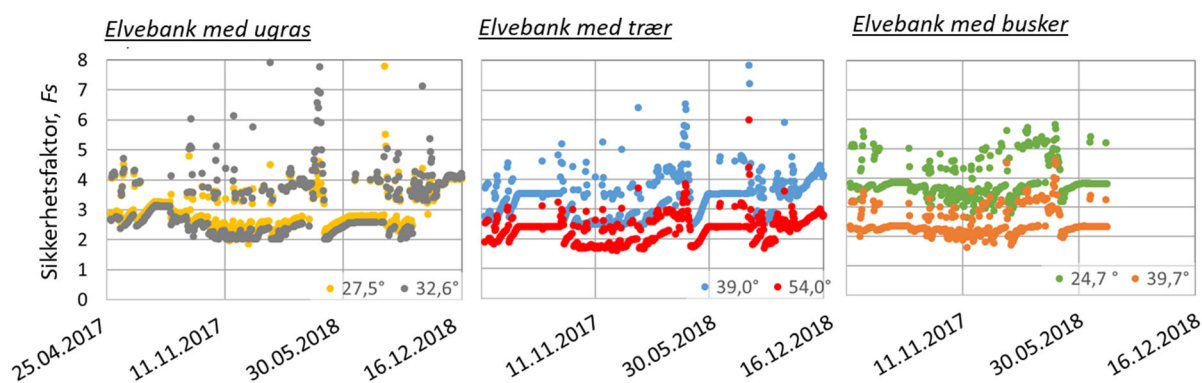
Tabell 7. Rot-koehesjon, basert på RipRoots sub-model (Pollen-Bankhead & Simon, 2009)

Elvekant med	Vegetasjonsdekke			Rot-koehesjon (c_r)
	type	Alder (år)	% dekke	[kPa]
Ugras/Gras	blandet gras, urter	2	90	0,35
Trær	blandet trær	Ca. 25	40/40	7,18
Busker	gras/bærbusker	2/3	30/70	1,31

3.3.2 Modellering

Modellen brukt i dette prosjektet krever bl.a. kontinuerlige data for vannstand. I tørre perioder falt vannstanden under loggerens deteksjonsgrense. For å komplementere datasettet, ble hullene fylt inn med verdier tilsvarende et gjennomsnitt av manuelle vannhøydemålinger foretatt i den tørre sommerperioden (1,6 meter over elveleiet) (Krzeminska m.fl., 2019). I tillegg ble det antatt at dersom det ikke ble målt vann i grunnvannsrøret (piezometeret), var grunnvannstanden tilsvarende som dybden til grunnvannsrøret (1,6 meter over elveleiet).

Figur 18 viser modellerte sikkerhetsfaktorer (F_s) for de ulike elvekantene slik de ble målt i felt. Resultatene viser sikkerhetsfaktorer over 1,3 for alle modellerte elvekanter, noe som også stemmer overens med observasjoner i felt og GPS- målinger av erosjonsspinner. De modellerte endringene over tid korresponderer til endringene i grunnvannstandsmålingene (GWL), samt vannstanden i elva (WL_{elv} ; Figur 4). Ved en økning i vannstanden i elva (WL_{stream}), økes også skråningsstabiliteten som følge av at elva påfører stabiliserende trykk til elvekanten. Når vannstanden i elva senkes er stabiliteten til elvekanten avhengig av grunnvannstanden i elvekanten.. Høy grunnvannstand gir ofte ustabile elvekanter.



Figur 18. Variasjoner i sikkerhetsfaktor (F_s) over tid for elvekant med ugras, trær og busker. Forskjellige farger angir ulike skråningsvinkler som målt i felt: 27,5° og 32,6° for grasdekt elvekant, 39° og 54° for elvekant med trær, og 24,7° og 39,7° for elvekant med busker.

Tabellene 8-10 viser beregninger av kantstabilitet (vist som sikkerhetsfaktor) for målt utgangspunkt og ulike scenarier, presentert som prosentandel av dager i overvåkingsperioden med ulik status: *stabil*, *betenget stabil* og *ustabil*. Scenario #1 antar brattere skråning (maksimal skråning observert i alle tre overvåkede lokaliteter) og scenario #2 antar endringer i vegetasjonsdekke.

I modelleringer for scenario #1 (brattere skråning) for elvekanter dekket med gras, viser resultatene både *betenget stabile* elvekanter/skråninger (dager med sikkerhetsfaktorer mellom 1,0 og 1,3), og *ustabil* (sikkerhetsfaktor under 1,0), som indikerer mulig utglidning. For elvekanter dekket med busker, viser resultatene *betenget stabile* elvekanter/skråninger. For elvekanter med trær scenario#1 er de

samme som «utgangspunktet», da dette er det observerte området med bratte skråninger. Elvekanter med trær viste seg å være *stabile* uansett skråning.

Men i modelleringene for scenario #2 for elvekanter med trær, med endringer i dekke av vegetasjon (bytte til gras eller busker), viser modelleringene *betinget stabile* elvekanter/skråninger (dager med sikkerhetsfaktorer mellom 1,0 og 1,3), samt *ustabil* (sikkerhetsfaktor under 1,0), som indikerer mulig utglidning.

Elvekanter med gras og busker viste seg å være *stabile* hvis de beplantes med trær.

Tabell 8. Grasdekte elvekanter: Kantstabilitet (sikkerhetsfaktorer) for ulike scenarioer presentert som prosentandel av dager i overvåkingsperioden med ulik status: *stabil*, *betinget stabil* og *ustabil*. 1) Utgangspunkt (under observerte feltforhold), 2) scenario #1: antar maksimal skråningshelning som observert i felt (54°) og 3) scenario #2: antar ulikt dekke av vegetasjon som uttrykt med ulike rot-kohesjonsfaktorer.

F _s	Stabilitetsstatus	Utgangspunkt		Scenario #1	Scenario# 2			
		gras c _r =0,35		gras c _r =0,35	dekket med busker c _r =1,31		dekket med trær c _r =7,13	
		27,5°	32,6°	54°	27,5°	32,6°	27,5°	32,6°
<1.0	Ustabil	0	0	1	0	0	0	0
1.0-1.3	Betinget stabil	0	0	10	0	0	0	0
>1.3	Stabil	100	100	90	100	100	100	100

Tabell 9. Elvekant med trær: Kantstabilitet (sikkerhetsfaktorer) for ulike scenarioer presentert som prosentandel av dager i overvåkingsperioden med ulik status: *stabil*, *betinget stabil* og *ustabil*. 1) Utgangspunkt (under observerte feltforhold), 2) Scenario #2: antar ulikt dekke av vegetasjon som uttrykt med ulike rot-kohesjonsfaktorer.

F _s	Stabilitetsstatus	Utgangspunkt		Scenario# 2			
		trær c _r =7,13		dekket med gras c _r =0,35		dekket med busker c _r =1,31	
		39°	54°	39°	54°	39°	54°
<1.0	Ustabil	0	0	0	48	0	2
1.0-1.3	Betinget stabil	0	0	16	14	0	33
>1.3	Stabil	100	100	84	38	100	65

Tabell 10. Elvekant med busker: Kantstabilitet (sikkerhetsfaktor) for ulike scenarioer presentert som prosentandel av dager i overvåkingsperioden med ulik status: *stabil*, *betinget stabil* og *ustabil*. 1) Utgangspunkt (under observerte feltforhold), 2) scenario #1: antar maksimal skråningshelning som observert i felt (54°) og 3) scenario #2: antar ulikt dekke av vegetasjon som uttrykt med ulike rot-kohesjonsfaktorer.

F _s	Stabilitetsstatus	Utgangspunkt		Scenario #1	Scenario# 2			
		busker c _r =1,31		busker c _r =1,31	dekket med gras c _r =0,35		dekket med trær c _r =7,13	
		24,7°	39,7°	54°	24,7°	39,7°	24,7°	39,7°
<1.0	Ustabil	0	0	0	0	0	0	
1.0-1.3	Betinget stabil	0	0	1	0	0	0	
>1.3	Stabil	100	100	99	100	100	100	

4 Sammenfattende konklusjon

BUFFERKLIMA bygger på utvalgte behov for kunnskap om effekter av kantsoner, og prosjektets mål har vært å belyse effekten av kantsoner med ulikt vegetasjonsdekke (gras, bærbusker og trær) på renseeffekt (tilbakeholdelse av næringsstoffer) og beskyttelse mot kanterrosjon.

Tabell 11 viser en oversikt over kunnskapshull (jf. kapittel 1.2), og prosjektets bidrag til å belyse disse. BUFFERKLIMA har bidratt til å øke kunnskapen om renseeffekten av kantsoner med ulikt vegetasjonsdekke i områder med lav erosjonsrisiko. Erosjonsrisiko er her knyttet til risiko for erosjon på jordbruksareal, og ikke i vannstrengen. Videre har BUFFERKLIMA økt kunnskapen om risiko for kanterrosjon langs vassdrag basert på ulikt vegetasjonsdekke langs vassdraget, både mht. hydrologisk og mekanisk effekt.

Tabell 11. Kunnskapshull om kantsoners evne til å rense jordbruksavrenning og hindre kanterrosjon, og BUFFERKLIMAs bidrag til å belyse disse.

Kunnskapshull:		Bidrag fra BUFFERKLIMA
Renseeffekt: Tilbakeholdelse av jord og næringsstoffer i kantsoner	Effekt av kantsoner i områder med lav helling (lav til middels erosjonsrisiko)	✓
	Effekt av ulike former for vegetasjonsdekke i sonene (gras/trær/busker)	✓
	Konsekvens av belastning fra tunge jordbruksmaskiner på kantsonens rensefunksjon	÷
Kanterrosjon langs elv og bekk	Effekt av ulike former for vegetasjonsdekke i elvekanten på jordfuktighet (hydrologisk effekt)	✓
	Effekt av røttene fra ulik vegetasjon til å armere og stabilisere jorda i elvekantene (mekanisk effekt)	✓
	Variasjon i røttenes evne til å stabilisere jorda (røttenes kohesjon) over tid / sesong	÷

Resultatene gir økt kunnskap om hva slags vegetasjon som egner seg best i kantsoner som grenser til jordbruksareal med lav helling (10-16%) (lav erosjonsrisiko), når målet er å redusere avrenning og kanterrosjon både nå, og i et fremtidig klima med fare for økt avrenning, erosjon og flom. Tabell 12 viser hva slags vegetasjon som er best egnet til å redusere tilførsler av næringsstoffer og jordpartikler, og til å redusere kanterrosjon.

Økt 'nedbør' generert med nedbørsimulatoren påvirket ikke renseeffekten av de undersøkte kantsonene vesentlig, men noe redusert effekt ble observert ved økt avrenning.




Tabell 12 viser at:

- Kantsoner med trær hadde overlegent bedre infiltrasjonskapasitet av vann enn kantsoner med gras og bærbusker;
- Renseeffekten av partikler, fosfor og nitrogen var tilnærmet lik i kantsoner med gras og busker; den observerte forskjellen ansees å være innenfor usikkerheten i metoden, ikke minst siden bærbuskene var plantet bare ett år før forsøkene.
- I kantsoner med trær kunne renseeffekten ikke måles siden alt vannet infiltrerte. Dette illustrerer at vann infiltrerer raskt der det er trær med etablert rotsystem.
- Kanterrosjon er minst sannsynlig i soner med trær, etterfulgt av soner med bærbusker, og deretter gras. Med andre ord er gras minst egnet til å beskytte elvebredden mot kanterrosjon.

Tabell 12. Sammendrag av resultatene fra BUFFERKLIMA

Kantsoner i områder med lav helling med:	Infiltrasjon	Målt renseeffekt av				Modellert stabilisering av elvekanten	
		partikler	fosfor	nitrogen	organisk karbon	hydrologisk effekt	mekanisk effekt
Gras							
Busker							
Trær	100%	Overflateavrenning ble ikke generert					

Tegnforklaring

	Betydelig positiv effekt
	Middels positiv effekt
	Liten eller ingen positiv effekt

Erfaringene fra BUFFERKLIMA-prosjektet understreker behovet for videre undersøkelser av vegetasjonsvalg, både mht. renseeffekt og kanterosjon i kantsoner:

- bedre kunnskap om overflateavrenning ved ulike vegetasjon, f.eks. forskjellige blomsterfrøblandinger, urteblandinger og godt etablerte busker;
- undersøke prosesser i umettet sone, særlig i kantsoner med trær, herunder undersøke kvaliteten på vannet som renner gjennom skogbunnen: Hvor raskt renner vannet i poresystemer, og hvor godt blir dette vannet renset i jorda;
- undersøke røtter fra ulike typer vekster, med fokus på evnen til å armere jorda.

I tillegg til dette må det understrekes at vegetasjon i kantsoner har flere 'økosystemtjenester' enn å rense vann fra jordbruksareal og hindre kanterosjon (se f. eks. Blankenberg m.fl. 2017). Hensynet til både akvatisk og terrestrisk biomangfold må ivaretas, og bruk som rekreasjon, jakt og fiske kan med fordel vurderes.

5 Litteraturreferanser

- Abernethy, B., Rutherford, I.D., 2000. The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surf. Proc. Land.* 25, 921–937.
- ASTM, 2003. D3385-03 Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer. Annual Book of ASTM Standards 04.08. American Society Testing Materials.
- Blankenberg A-G. B. (2014). Effekt av randsoner langs vassdrag i jordbruksområder på Jæren – delprosjekt 2. Bioforsk rapport Vol. 9, Nr. 90, 2014. 43s. ISBN 978-82-17-01289-4.
- Blankenberg, A-G., Paruch, A., Paruch, L., Deelstra, J., Haarstad, K., 2016. Nutrients tracking and removal in constructed wetlands treating catchment runoff in Norway, In: J. Vymazal (eds) *Natural and Constructed Wetlands*. ISBN 978-3-319-38926-4.
- Blankenberg, A-G., Skarbøvik E., Kværnø S. 2017. Effekt av buffersoner - på vannmiljø og andre økosystemtjenester. NIBIO RAPPORT;3(14) 2017
- Blankenberg, A-G., Skarbøvik E., Kværnø S. 2019. Kantsoner: Renseeffekt av plantedekke mellom jordbruksjord og vassdrag NIBIO POP 5(7) 2019
- Bogaard, T.A., van Asch T.W.J., 2002. The role of the soil moisture balance in the unsaturated zone on movement and stability of the Beline landslide, France. *Earth Surf. Proc. Land.* 27, 1177–1188. doi: 10.1002/esp.419
- Genet, M., Kokutse N., Stokes, A., Fourcaud, T., Cai, X., Ji, J., Mickovski S. 2008. Root reinforcement in plantations of *Cryptomeria japonica* D. Don: effect of tree age and stand structure on slope stability. *Forest Ecol. Manag.* 256, 1517–1526.
- Genet, M., Stokes, A., Salin, F., Mickovski, S.B., Fourcaud, T., Dumail, J.F., van Beek R., 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. *Plant. Soil* 258, 1–9.
- Geotechdata, 2013. Angle of Friction, <http://geotechdata.info/parameter/angle-of-friction.html> (as for 07 June 2013).
- Gray, D.H. og Sotir R.B., 1996. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: a Practical Guide for Erosion Control*. Toronto, John Wiley & Sons, pp. 365.
- Greenway, D.R., 1987. Vegetation and slope stability, in: Anderson, M.F., Richards, K.S. (eds): *Slope Stability*, New York, John Wiley & Sons, pp. 240.
- 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. og Ådlandsvik B., 2015. Klima i Norge 2100. NCCS report no. 2/2015.
- Klute, A. (ed.) 1986. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Krzeminska, D.M., 2012. The influence of fissures on landslide hydrology. PhD Thesis, Delft University of Technology, Netherlands
- Lammers, W., 2015. Uncertainty and sensitivity in the bank stability model: implications for estimating phosphorus loading. MSc thesis, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Lassabatere, L., Angulo-Jaramillo, R., Soria Ugalde, J. M., Cuenca, R., Braud, I., og Haverkamp, R. 2006. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments—BEST. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 521. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0026>
- Pollen-Bankhead, N. og Simon, A., 2009. Enhanced application of root-reinforcement algorithms for bank-stability modeling. *Earth Surf. Proc. Land.* 34, 471-480, doi:10.1002/esp.1690.

- Simon, A., Curini, A., Darby, S.E. og Langendoen, E.J., 1999. Streambank Mechanics and the Role of Bank and Near-Bank Processes in Incised Channels, in: S.E. Darby, and A. Simon (eds.) *Incised River Channels: Processes, Forms, Engineering, and Management*, John Wiley & Sons, London, pp. 123-152.
- Simon, A., Curini, A., Darby, S.E. og Langendoen, E.J., 2000. Bank and near-bank processes in an incised channel. *Geomorphology* 35, 193–217.
- Skarbøvik, E., 2016. Uttesting av metoder for kvantifisering av kanterosjon i leirvassdrag, og betydning av kanterosjon for fosfortap til vannforekomstene, *Vann 01*, 30-42.
- Skarbøvik, E. og Bechmann, M., 2010. Some Characteristics of the Vansjø-Hobøl (Morsa) Catchment. *Bioforsk Report* 128 (5), pp 44.
- Skarbøvik, E., Haande, S. og Bechmann, M., 2014. Overvaking Vansjø/Morsa 2011–2012. Resultater fra overvåkningen i perioden oktober 2011 til oktober 2012. *Bioforsk Rapport* 71 (8), pp 164.
- Skarbøvik, E. og Blankenberg A.-G. B. 2014. Vurdering av kantsoner langs Lierelva oppstrøms Bjørkelangen (Vannområde Haldenvassdraget). Resultater fra undersøkelser i 2014. *Bioforsk Rapport Vol. 9*, nr. 179, 34 s.
- Syversen, N. 2002. Cold-climate vegetative buffer zones as filters for surface agricultural runoff – retention of soil particles, phosphorus and nitrogen. *Doctor Scientiarum Theses 2002:12*. Agricultural University of Norway.
- Søvik, A.K., Syversen, N., og Mæhlum, T. 2008. Vegetasjonssoner som rensefilter for overflateavrenning - effekt av ulik vegetasjon og variasjon i renseffekt over tid. *Bioforsk FOKUS Vol 3(6):2008*.
- Vergani, C., Chiaradia, E. og Bischetti, G., 2012. Variability in the tensile resistance of roots in Alpine forest tree species. *Ecol. Eng.* 46, 43–56.
- Øygarden, L., Deelstra, J., Blankenberg, A-G.B., Hauge, A., Kitterød, N.O. og Eggestad, H.O., 2011. Runoff and Mitigation Measures in Agricultural Catchments under Climate Change in Norway, in: Kelman, I. (eds) *Municipalities Addressing Climate Change. A Case Study of Norway*. NOVA Science Publisher, 25-49:150. ISBN: 978-1-61324-716-7.

Nøkkelord:	Kantsone, vegetasjon, klima, elv
Key words:	Buffer zone, vegetation, climate, river
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	www.nibio.no/tiltak

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.