

Bioforsk Rapport

Vol. 8 Nr. 161 2013

Vurdering av kanterosjon og vegetasjonssoner i Haldenvassdraget oppstrøms Bjørkelangen

Resultater av undersøkelser i 2012 og 2013

Eva Skarbøvik og Anne-Grete Buseth Blankenberg

Bioforsk Jord og miljø



Forsidefoto: Infiltrasjonstest på åker. Bioforsk.

<i>Titel:</i> Vurdering av kanterosjon og vegetasjonssoner i Haldenvassdraget oppstrøms Bjørkelangen
<i>Forfattere:</i> Eva Skarbøvik og Anne-Grete Busetth Blankenberg

<i>Dato:</i> Desember 2013	<i>Tilgjengelighet:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr.:</i> 8602	<i>Saksnr.:</i>
<i>Rapport nr./Report No.:</i> Vol. 8, nr. 161	<i>ISBN-nr./ISBN-no:</i> 978-82-17-01175-0	<i>Antall sider:</i> 53	<i>Antall vedlegg:</i> 3

<i>Oppdragsgiver:</i> Vannområdeutvalget Haldenvassdraget; delfinansiert gjennom LMD/Bioforsk via SIS-prosjektet Catchy	<i>Kontaktperson:</i> Finn Grimsrud
--	--

<i>Stikkord/Keywords:</i> Kanterosjon elv, vegetasjonssone, jordbruk, næringsstoff Streambank erosjon, vegetation zones, agriculture, nutrients	<i>Fagområde/Field of work:</i> Miljøforskning Environmental research
---	---

Sammendrag:
Undersøkelser og registreringer av kanterosjon og vegetasjonssoner er utført i en elvestrekning i øvre deler av Haldenvassdraget oppstrøms Bjørkelangen, i 2012 og 2013. Det pågår aktiv kanterosjon langs med strekningen, men det er vanskelig å kvantifisere hvor mye kanterosjonen utgjør i forhold til annen erosjon i feltet. Infiltrasjonskapasiteten varierer kraftig fra sted til sted, og flere målinger må utføres før vi kan trekke sikre konklusjoner. Det var bare små forskjeller i fosforkonsentrasjoner, inkludert P-AL-nivå, i jord/sediment fra åker, vegetasjonssone, elvekanter og elvebunn.

Summary:
Investigations of streambank erosion and vegetation zones have been carried out in the upper reaches of the Haldenvassdraget catchment, in 2012 and 2013. Streambank erosion has been identified, but quantification of its relative importance is difficult. Infiltration rates of water show huge variations, and more data are needed before any final conclusions can be drawn. Only small differences in phosphorus levels were found in soil/sediments from grain fields, grass covered vegetation zones, river banks and river beds.

<i>Fylke:</i> Østfold	<i>Lokalitet:</i> Haldenvassdraget
-----------------------	------------------------------------

Godkjent

Prosjektleder



Per Stålnacke
Forskningsleder

Eva Skarbøvik
Prosjektleder

Forord

Bioforsk og Vannområdeutvalget Haldenvassdraget signerte i september 2012 en kontrakt om «Vurdering av kanterosjon og vegetasjonssoner». Oppdraget er blitt finansiert gjennom midler fra Miljødirektoratet. Arbeidet har vært forskningspreget og derfor blitt delfinansiert av et forskningsprosjekt, «Catchy», som er et strategisk instituttsatsningsprosjekt (SIS) i Bioforsk, finansiert av Landbruks- og matdepartementet (LMD).

Prosjektet har vært ledet av Eva Skarbøvik, som har hatt hovedansvar for tema kanterosjon. Anne-Grete Buseth Blankenberg har hatt hovedansvar for tema vegetasjonssoner. Mens vi to har utført feltarbeid (herunder prøvetaking av jord/sediment, infiltrasjonstester, måling av jordfuktighet, erosjonsspinner), gjennomført dataanalyser og skrevet rapporten, hadde vi aldri kommet i mål uten et team av dyktige og kreative medarbeidere. Forfatterne takker derfor alle som har stilt opp i forbindelse med dette prosjektet: Torsten Starkloff og Lars-Erik Sørbotten (nå Norconsult) har bidratt vesentlig i arbeidet med erosjonsspinner. Torsten Starkloff, Rikard Pedersen, Lars Jakob Gjemlestad og Hege Bergheim har bistått i forhold til infiltrasjonsmålinger og prøvetaking av jord og sediment. Inga Greipsland har bistått i felt for å evaluere erosjonsspinner. Geir Tveiti har hatt ansvaret for turbiditets-sensoren ved Lier gård og fått assistanse til dette av Thor Endre Nytrø. Torsten Starkloff har utført databearbeiding av historiske flyfoto. Vannføringsdata er hentet fra NVEs stasjon i Lierfossen. Alle foto i denne rapporten er tatt av Bioforsk. Kvalitetssikring er utført av Per Stålnacke.

En stor takk rettes til jordbrukerne i nedbørfeltet for deres vilje til samarbeid og ikke minst tålmodighet i forhold til å ha forskere ute på jordene sine i alle fire årstider. Vi har spesielt hatt nytte av informasjon gitt av Jens Kristian Waaler, Stein Lier og Lars Lier. Stein Lier har dessuten stilt kano til disposisjon for prøvetaking av sedimenter fra elvebunn.

Forskning for å få bedre forståelse for prosesser i naturen kan være tidkrevende, og utbyttet kan være usikkert. Oppdragsgiver Finn Grimsrud ved Områdeutvalget Haldenvassdraget fortjener derfor stor takk, ikke bare for godt samarbeid, men også for utvist forståelse for at prosjektet har trengt tid før det har vært mulig å rapportere resultater. Fortsatt gjenstår mye arbeid for å få bedre innsikt i dette tema, men etter halvannet år har vi produsert data og informasjon som har gitt større innsikt i enkelte prosesser. Vi mener at de foreløpige konklusjonene bør være av interesse for forvaltningen.

Ås desember 2013



*Eva Skarbøvik
Prosjektleder*

Innhold

1. Sammendrag	7
2. Innledning.....	9
2.1 Hensikten med prosjektet.....	9
2.2 Feltområde.....	9
2.3 Hva er kanterosjon?	10
2.4 Hvor mye utgjør kanterosjon i andre vassdrag?	12
2.5 Hva betyr vegetasjon for kanterosjon?.....	12
2.6 Hvordan defineres vegetasjonssoner og hvordan virker de?	13
3. Metodikk	17
3.1 Vurdering av egnet metodikk.....	17
3.2 Befaringer og fotografering	17
3.3 Erosjonsspinner	18
3.4 Turbiditetsmålinger.....	19
3.5 Historiske flyfotografier	19
3.6 Infiltrasjonsmålinger	20
3.7 Jord og sediment – prøvetaking og kjemiske analyser	22
4. Resultat.....	25
4.1 Informasjon fra fotografering og befaring av elva	25
4.1.1 Eksempel A.....	25
4.1.2 Eksempel B.....	27
4.1.3 Eksempel C.....	27
4.2 Erfaringer med utsetting av erosjonsspinner	29
4.3 Turbiditetsmålinger – foreløpige data	32
4.4 Resultat av tolking av flyfoto.....	33
4.5 Fosfor i sediment- og jordprøver	35
4.6 Resultat av infiltrasjonsmålinger.....	38
5. Konklusjoner og anbefalinger	43
5.1 Kanterosjon.....	43
5.2 Vegetasjonssoner.....	43
5.3 Anbefalinger til forvaltningen	44
5.4 Behov for ytterligere undersøkelser	44
6. Referanser	47
7. Vedlegg.....	51
Vedlegg 1. Sediment- og jordprøver: Analyseresultat kjemi og leire%.....	51
Vedlegg 2. Skjema for infiltrasjonsmålinger.....	53
Vedlegg 3. Detaljert tabell, erosjonsspinner.....	55

1. Sammendrag

Hensikten med dette prosjektet har vært å øke kunnskapen om betydningen av kanterosjon og vegetasjonssoner for tilførsler av sediment og fosfor til Lierelva.

Undersøkelser har pågått i halvannet år (2012 og 2013), i en strekning av Haldenvassdraget oppstrøms Bjørkelangen (mellom Lierfossen og Lier gård).

Metodisk sett har undersøkelsene vært utfordrende, og det er benyttet mange ulike metoder for å komme frem til resultater. En litteraturgjennomgang er også utført.

Det pågår aktiv kanterosjon langs med den undersøkte strekningen, og det er flere steder registrert utglidinger av jord mot elva. Kantmaterialet inneholder fosfor og kanterosjonen bidrar derfor både med jord og fosfor til vannforekomsten. Fjerning av trær, anleggsarbeid og kjøring med tunge maskiner nært kantene kan øke problemet. Omfanget av kanterosjonen er utfordrende å kvantifisere, men det arbeides videre med mulige fremgangsmåter for å få til dette.

Vannets infiltrasjonshastighet ble undersøkt i seks transekter; tre om våren i grasdekt vegetasjonssone og spirende åker (vestre felt), og tre om høsten i grasdekt vegetasjonssone og nyhøstet åker i stubb (østre felt). Generelt er det store variasjoner i infiltrasjonskapasiteten, og derfor vanskelig å si noe sikkert om dette. I vestre felt ble testene tatt om våren og der var infiltrasjonskapasiteten i snitt noe bedre i vegetasjonssonen enn på den spirende åkeren. I østre felt ble testene tatt i september, og der var det gjennomsnittlig omlag like rask infiltrasjonskapasitet på gras som på stubbmark. Kjøring med tunge maskiner kan ha medført redusert infiltrasjonskapasitet enkelte steder, både på åker og vegetasjonssone. Funnene kan tyde på at overflateavrenning fra åker enkelte steder kan infiltreres og renses av vegetasjonssonen, særlig når vegetasjonen på åkeren ikke har rukket å utvikle et godt rotsystem. Når åkeren står i stubb ser det imidlertid ut til at infiltrasjonskapasiteten er like god på åker som på gras. Disse funnene må imidlertid bekreftes av flere målinger før sikre konklusjoner kan trekkes.

Fosforinnholdet i jorda i vegetasjonssonene var i snitt nesten likt som på åkeren, noe som for den vestre sonen ikke er overraskende siden det der er gitt tillatelse til fullgjødsling. Fosfornivået i jord og sediment ser ellers ut til å følge andel leire i materialet, jo høyere leireinnhold desto høyere innhold av både fosfor og P-AL. Lavere fosforinnhold i elved sedimentet enn i jorda skyldes at innholdet av leire var lavere i sedimentet, sannsynligvis som følge av at den fineste leira er erodert bort og fraktet nedover vassdraget mot nedstrøms innsjø, Bjørkelangen.

Det er behov for ytterligere undersøkelser, ikke minst i forhold til å få til stedstilpassete miljøtiltak med best mulig effekt mot jord- og fosfortap, samtidig som tapet av produksjonsareal ikke blir for stort. Bl.a. trengs mer informasjon om ugrødslette vegetasjonssoner og soner med naturlig vegetasjon. Undersøkelser av optimal bredde av ulike typer soner, herunder i kombinasjon med grasdekte vannveier, er viktig for å få vegetasjonssoner så kostnadseffektive som mulig.

2. Innledning

2.1 Hensikten med prosjektet

Graving i elvekanter kan medføre at både sediment og fosfor tilføres vannmassene. Fosforet stammer dels fra apatittholdige leirmineraler, dels fra jord tilsatt gjødsel der elva renner gjennom jordbruksarealer. For å kunne sette inn rett tiltak på rett sted er det av interesse å finne ut mer om hvor stor andel av fosforet som kommer fra kanterosjon i elver og bekker og hvor stor andel som kommer fra erosjon på jorder. Videre er det av interesse å vurdere i hvilken grad kantvegetasjon kan hindre erosjon og tilførsler av næringsstoffer til elver og bekker. Et annet moment er at klimaendringer kan medføre at erosjonen i elvekantene øker pga. økt nedbør og flere flomepisoder.

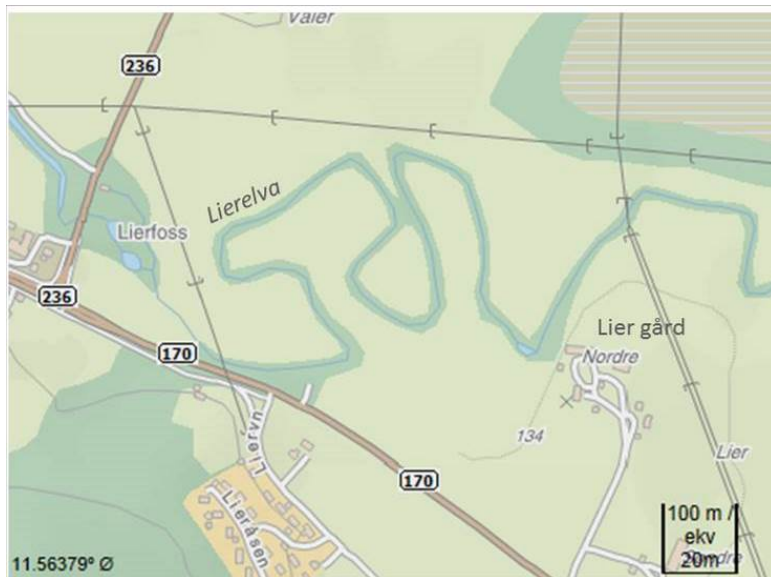
Dette er imidlertid krevende og omfattende spørsmål. Prosjektet har derfor først og fremst hatt som mål å *øke kunnskapsgrunnlaget* om betydningen av kanterosjon og vegetasjonssoner for tilførsler av sediment og fosfor til Lierelva.

Prosjektet har omfattet mye forskning og ikke minst utprøving av metoder. Av den grunn er deler av det som har vært utført finansiert gjennom forskningsprosjektet Catchy (en strategisk instituttsatsning støttet av LMD).

Tidligere erfaringer fra andre forskere gir nyttig informasjon, og innledningen til denne rapporten gir derfor en kortfattet gjennomgang av kunnskapsstatus innen fagfeltet, basert på et litteratursøk.

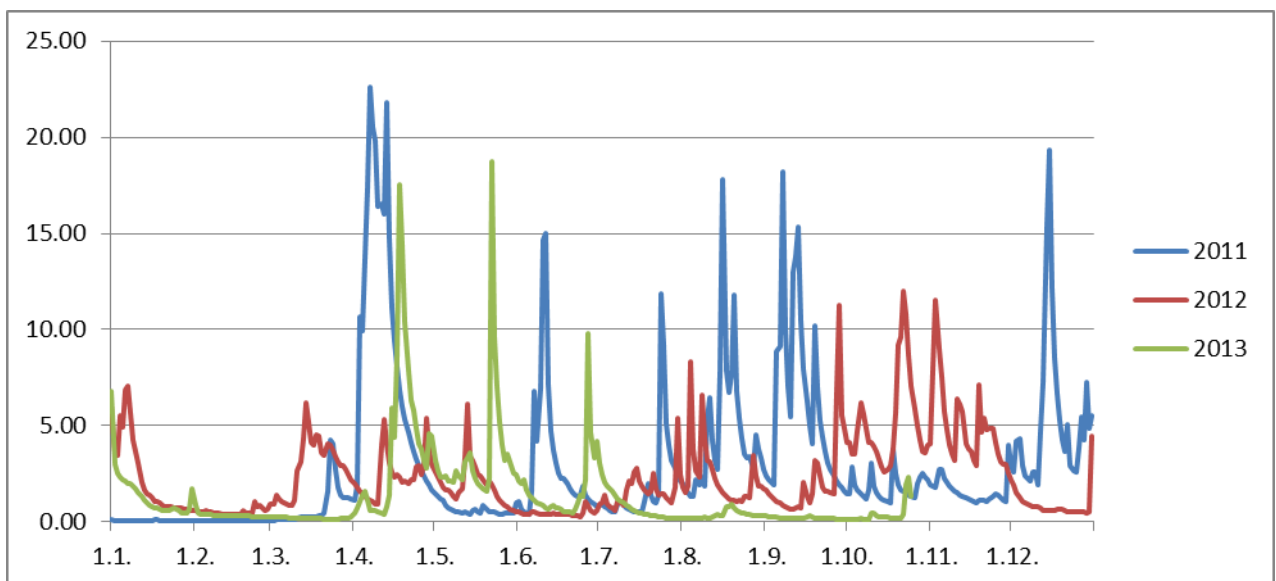
2.2 Feltområde

Feltområdet er lagt til Lierelva, oppstrøms Bjørkelangen. Det meste av arbeidet er utført i strekningen mellom Lierfossen i vest, og til litt nedstrøms Lier gård i øst, jf. figur 1.



Figur 1. Kart over feltområdet.

Figur 2 viser vannføringen i Lierelva ved Lierfossen i 2011, 2012 og 2013. Elva er karakterisert av store og raske vannføringssendringer, med variasjoner fra 0,04 til 22,6 m³/s i de tre årene som hittil er målt. Det er av stor betydning å fortsette vannføringsmålingene ved Lierfossen, og vi håper at dette kan prioriteres. Nedbørfeltet oppstrøms Lierfossen er på omlag 130 km², hvorav ca. 15 % er landbruksjord (Greipsland og Bechmann 2013).

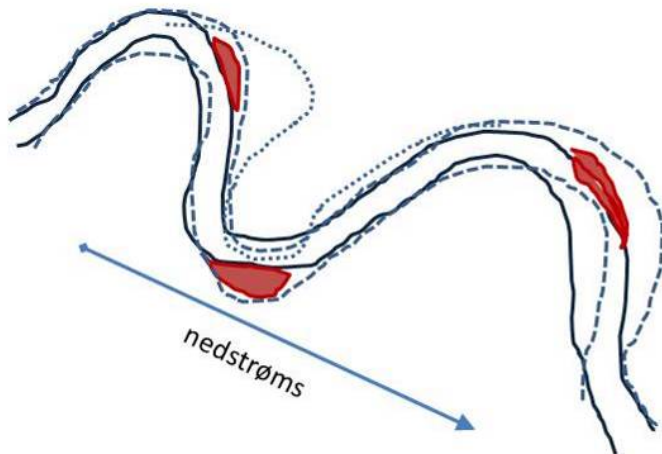


Figur 2. Vannføring (m³/s) fra Lierfoss (hentet fra NVEs VM 1.200.0.1001.1) i 2011, 2012 og 2013.

2.3 Hva er kanterosjon?

Erosjon i bekker og elver kan foregå både ved at det eroderes langs kantene eller i bunnen av elva, men i dette prosjektet settes fokus på kanterosjon. Dette er i utgangspunktet en naturlig

prosess som skjer i alle elver. I meandrerende elver vil det ofte eroderes i ytterkant av meanderen og avsettes materiale i innersvingsbanker, og elveleiet kan flytte seg, f.eks. som vist i illustrasjonen i figur 3. Erosjon kan imidlertid også skje i innersvinger eller i rette elveløp (Hooke 1980).



Figur 3. Mulig utvikling i meandrerende elvestrekning. Heltrukken linje: opprinnelig elveløp; Stiplet og prikket line: nye elveløp etter erosjon. Røde felt er områder som hadde høy erosjonsrisiko i opprinnelig elveløp.

Kanterosjonsprosessen er kompleks siden den varierer i tid og rom og styres av en rekke fysiske, geotekniske og hydrauliske krefter som pågår samtidig (Fox & Wilson 2010, Hooke 1979, 1980):

- Kantmaterialets egenskaper, herunder fuktighet (vannmetning, poretrykk), kornfordeling, pakking og lagdeling;
- Skråningens helling, fasong og lengde;
- Hydrologiske forhold, herunder vannhastighet i elva og frekvens av flomepisoder;
- Nedbørmengde og -intensitet;
- Temperaturforhold, herunder fryse-og-tine-prosesser.

Når det gjelder hydrologiske forhold fant f.eks. Midgley *et al.* (2012) ut at kantene eroderte mer ved en påfølgende serie av mellomstore flomepisoder enn ved én enkelt stor episode, og mente at dette skyldtes at erosjonen avhenger av en kombinasjon av eroderende krefter i vannet (fluvial erosjon) og geoteknisk motstand i jorda (bl.a. vannmetning).

Av meteorologiske forhold påviste Lawler (1993) hvor viktig fryse-tineprosesser kan være. I en elv i Wales var kanterosjonen størst mellom november og april, og det var særlig dannelsen av isnåler i kantsedimentet som bidro til dette. Nålisdannelsen ble igjen styrt av lufttemperatur og fuktighet i kantsedimentet, og jo lenger frostperiodene varte jo lenger ble isnålene. Lange frostperioder fulgt av vannføringsøkninger ga spesielt høye sedimentkonsentrasjoner i elvevannet.

Fox & Wilson (2010) viste også at prosessene nede i jorda har stor betydning, herunder porevannstrykket og markvanns-/grunnvannsstrømning. Vannstrømning gjennom makroporer og langs med røtter har også betydning, f.eks. viste en undersøkelse at 60 % av ravineringen på europeiske jorder skyldtes gravning i makroporer (Bocco, 1991, referert i Fox & Wilson 2010).

Erosjonen kan enten foregå ved at en og en partikkel løsner, eller ved at større deler av kanten sklir ned. Sedimentets sammensetning er viktig i denne sammenheng, siden leire er mer kohesivt og derfor mer resistent i forhold til erosjon (Hjulstrøm 1939, Fox & Wilson 2010, Hooke 1979). Erosjon i leirejord vil derfor sannsynligvis oftest foregå ved utglidinger. Hooke (1980) viste dessuten at den prosessen hvor en og en partikkel eroderer blir mest påvirket av elvas vannføring og vannhastighet; mens større utglidinger oftest er styrt av vannmetningen i jorda.

2.4 Hvor mye utgjør kanterosjon i andre vassdrag?

I en oppsummering av erosjon i britiske elver fant Walling (2005) at kanterosjon utgjorde 4-40 % av suspenderte partikler men at det vanligste var omlag 5-15 %. Andelen var størst i de øvre deler av nedbørfeltene.

Bull (1997) viste imidlertid at kanterosjonens bidrag i elva Severn varierte kraftig over tid: På årlig basis utgjorde kanterosjonen 17% av suspenderte partikler i elva, mens det i enkelte nedbørepisoder kunne komme så mye som 64% i fra elvekantene. I Danmark brukte Laubel et al. (1999) erosjonsspinner for å vurdere kanterosjon, og fant at ca. 50-75% av materialtransporten i bekkene kom fra kantene. I tropiske områder av Australia undersøkte Caitcheon et al. (2012) tre større elver, og fant at mer enn 90% av partiklene i disse elvene kom fra raviner og kanterosjon, mens bare 10 % kom fra overflateerosjon.

I et vassdrag i Brasil viste Minella et al. (2008) at redusert jordarbeiding ga redusert erosjon på jordet, men at dette kunne ikke måles i ellevannet pga. at kanterosjonen i elva i samme periode økte fra 2 til 22 %. Altså maskerte kanterosjonen i dette tilfellet de tiltakene som ble utførte for å redusere erosjon fra jorder. Dette tilsier at det er viktig å kunne mer om disse prosessene og hva som påvirker dem. Hvis det er slik at enkelte værforhold fører til økt kanterosjon så vil dette ha betydning for hva slags tiltak som bør iverksettes for å redusere erosjonen i årene som kommer.

Basert på forsøkene referert over kan derfor kanterosjon utgjøre alt fra 4 til 75 % av sedimenttransporten i ei elv, sett i forhold til øvrige sedimentkilder i nedbørfeltet.

2.5 Hva betyr vegetasjon for kanterosjon?

Flere studier har sett på hvorvidt kanterosjon kan kontrolleres ved å etablere vegetasjon langs elver og bekker. Bull (1997) påpekte at kantvegetasjon vil påvirke erosjon, stabilitet av elvekanten og også akkumulering av nytt materiale langs med kantene.

Beeson og Doyle (1995) fant at meandersvinger uten vegetasjon hadde 30 % større sjanse for betydelig kanterosjon enn der det fantes vegetasjonsdekke.

I USA fant Micheli *et al.* (2004) at elvebredder som grenset til jordbruksland var 80-150% mer eroderbare enn elvebredder som var dekket av skog. Tilsvarende, i Australia, fant Bartley *et al.* (2006) ut at bankeerosjonen var signifikant mindre der breddene var dekket av vegetasjon.

Et viktig spørsmål er imidlertid hva slags type vegetasjon som trengs – gras, busker eller trær. For de ovenstående undersøkelsene er det gjerne snakk om skogsvegetasjon. I Norge er vegetasjonssoner ofte enbetydende med grasdekke. Imidlertid er undersøkelser av vegetasjonssoner i Norge oftest knyttet til renseeffekten av slike soner sett i forhold til avrenning fra åker, og ikke i forhold til å redusere kanterosjon. Dette er mer utdypet i neste avsnitt.

2.6 Hvordan defineres vegetasjonssoner og hvordan virker de?

Vegetasjonssoner er et relativt vidt begrep som kan brukes om flere typer etablerte eller naturlige soner med vegetasjon. En vegetasjonssone kan defineres som et belte av vegetasjon i tilknytning til dyrka mark. I dette avsnittet er effekten av vegetasjonssoner definert ved at sonen fungerer som et naturlig rensetiltak, i første rekke på overflateavrenning fra jordbruksjord for jordpartikler, næringsstoffer og evt. plantevernmidler og patogene organismer. Vegetasjonssoners innvirkning på kanterosjon er lite undersøkt i Norge, og derfor ikke omtalt i dette avsnittet.

Det er flere begrep som brukes på samme type og ulike typer vegetasjonssoner og i det følgende er det satt opp en definisjon på ulike vegetasjonssoner, eksempelvis; Vegetasjonssone / Ugjødslede randsoner / Buffersoner, Grasdekte vannveier, Tverrgående vegetasjonssoner, Hyphoreiske soner/soner som tidvis ligger under og tidvis over grunnvannsnivå, Naturlige vegetasjonssoner, Belte av stubb i dalsøkk eller mellom jordekant og vannresipient. I denne rapporten omhandler vegetasjonssoner overgangssonen mellom dyrket mark (kornproduksjon) og vassdrag.

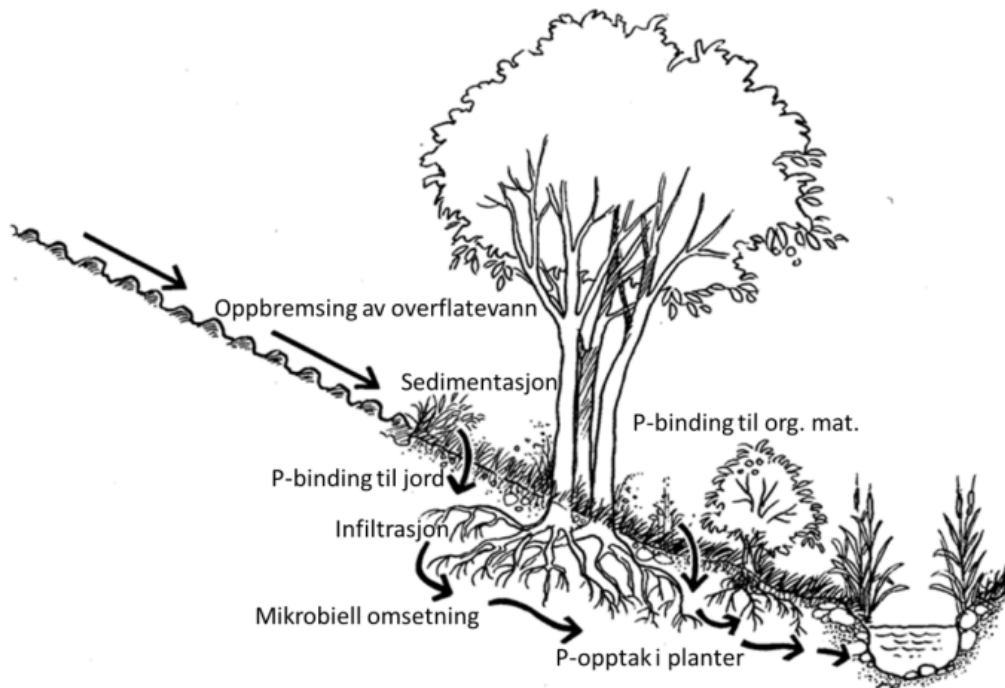
I vegetasjonssonene/ugjødslede randsonene skal det ikke gjødsles, sprøytes eller jordarbeides. I noen områder er det imidlertid gitt dispensasjon for en forsiktig N-gjødsling for å opprettholde et rikt plantedekke. Det kan anbefales å så til med grasblandinger som inneholder nitrogenfikserende belgplanter, for eksempel kløver. Belgvekster kan fikserer nitrogen fra luften ved hjelp av bakterier som lever i symbiose med planten. Nitrogenet som tas opp fra luften omdannes til ammoniumnitrogen før det blir tilgjengelig for plantene, noe som er en energikrevende prosess. I første omgang bruker vekstene selv det nitrogenet de samler fra luften. Etter hvert vil røtter og avlingsrester kunne gi næring for etterfølgende vekster. For best mulig effekt skal vegetasjonssonene høstes hvert år, for på den måten å fjerne næringsstoffene som er tatt opp i vegetasjonen gjennom vekstsesongen.

Vegetasjonssoner har flere essensielle funksjoner med hensyn til retensjon av partikler, næringsstoffer (N og P), pesticider og patogene organismer. Vegetasjonssonene er en buffer mellom vannresipienten og diffus avrenning fra nedbørfeltet, hvor overflatevann og grunnvann enten passerer over, eller gjennom sonen. Hvilke renseprosesser som er aktive avhenger av hvilke stoffer som skal fjernes og om transporten av næringsstoffene/forurensningen skjer via overflateavrenning eller via strømming i jord. I denne rapporten fokuseres det på retensjon av P og dermed også sedimenter, siden det meste av P forekommer i partikkelbundet form.

De viktigste renseprosessene i en vegetasjonssone er (figur 4):

- Oppbremsing av overflateavrenning.

- Sedimentasjon av jordpartikler og stoffer bundet til disse.
- Infiltrasjon av overflatevann og løste stoffer.
- Binding av næringsstoffer og pesticider til jord.
- Opptak av næringsstoffer i vegetasjonen.
- Mikrobiell omsetning av næringsstoffer.
- Nedbrytning av organisk materiale.



Figur 4. Prinsippskisse av prosesser som skjer når overflatevann renner inn i og passerer en vegetasjonssone. (grunnskisse laget av R. Skøyen, redigert med tekst).

Effektiviteten til vegetasjonssoner avhenger av faktorer som bredde på sonene, helling i sonene og bakenforliggende jordbruksjord, størrelse på nedbørfelt, jordtype, klimatiske forhold og type vegetasjon. Effekten av vegetasjonssoner vil være større om den er etablert i et område med stor erosjonsrisiko, enn om den ligger i et område med lav erosjonsrisiko.

Liu et al. 2008 har gjort en internasjonal sammenstilling på over 80 publiserte forsøk på vegetasjonssoner, og kommet frem til at bredde-, sammen med helling på vegetasjonssoner er de to viktigste faktorene med hensyn på å bremse opp sedimenter, og dermed også bundet P. Økt helling medførte økt effekt inntil et visst punkt der retensjonen igjen avtok. Den optimale hellingen ble funnet å være ca. 9 grader. Renseeffekten for partikler i norske undersøkelser på leirområder på Østlandet (korn) varierer fra 55-97 % i vegetasjonssoner med 5-10 m bredde (Syversen, 2002a). I en fransk undersøkelse (Dorioz *et al.*, 2006) varierte tilbakeholdelsen av sediment mellom 40-100 %, med mer enn 50 % reduksjon i mer enn 95 % av tilfellene. Helmers *et al.* (2005) fant at gjennomsnittlig tilbakeholdelse av sediment lå på rundt 80 %. Variasjonen avhenger av mengde tilført erodert materiale og hvor stor evne vegetasjonssonen har til å redusere vannhastigheten og dermed legge til rette for sedimentasjon av erodert materiale.

Variasjonen i renseeffekt for fosfor avhenger i stor grad av om det er gode sedimentasjonsforhold i vegetasjonssonen, da størstedelen av fosforfjerning skjer gjennom sedimentering av partikkelbundet fosfor. Blant annet en sammenstilling av litteratur i Poulsen og Rubæk (2005), viser at vegetasjonssoner med bredde på 5-10 meter holder tilbake en stor andel av fosfor tilført gjennom overflateavrenning. Sammenstillingen viser også en relativt stor tilbakeholdelse av total fosfor selv i buffersoner med bare 4-5 m bredde (41-97 %) og at ved en fordobling av bredden øker tilbakeholdelsen med 0-32 %. Renseeffekten for total fosfor er i norske undersøkelser på leiområder på Østlandet (korn) funnet å variere fra 42-96 % i vegetasjonssoner med bredde 5-10 m bredde (Syversen, 2002a). Ved 4-5 m brede vegetasjonssoner har Kronvang *et al.*, (2008) funnet en tilbakeholdelse av total fosfor på 41-97 %. I en fransk studie (Dorioz *et al.*, 2006) var tilbakeholdelsen av partikulært fosfor 40-100 %.

Det er svært komplekse prosesser som foregår i en vegetasjonssone, og til tross for at vegetasjonssoner kan være et godt rens tiltak for å redusere fosfor-transport til vannresipienten, kan det også forekomme lekkasjer av løst fosfor (bl.a. Hoffmann *et al.*, 2009). Faren for lekkasjer av fosfor fra grasdekte områder er størst om vinteren (gjennom fryse- og tine-prosesser) og våren når dødt plantemateriale frigjør fosfor og nye planter fortsatt ikke er godt nok etablert til å ta opp næringsstoffene (Bechmann, 2005a, Uusi-Kämppä, 2007 og Øgaard, A. in prep.).

I områder hvor infiltrasjon og opptak av næringsstoffer er de viktigste prosessene, er det funnet en bedre retensjon av næringsstoffer om våren, sommeren og tidlig høst sammenlignet med sen høst (Søvik og Syversen, 2008).

Med hensyn til redusert forurensing er det flere fordeler med å ha kantvegetasjon langs vannresipienter. Vegetasjonssoner skal normalt ikke gjødsles, og den bufferavstanden som vegetasjonssonen gir vil redusere faren for vinddrift av næringsstoffer ned i vannresipienten. Redusert gjødsling over tid vil sannsynligvis også medføre et lavere fosforinnhold i jorda nær vannresipienten, og utlekking av fosfor vil dermed også reduseres. Ved å unngå å kjøre tunge maskiner helt ut til f. eks. bekkanten hindres pakking av jorda og det legges til rette for utvikling av en god rot-struktur. Dette er faktorer som øker infiltrasjon av overflatevann som dermed vil infiltrere i vegetasjonssonen og renses gjennom jordprofilet før det når vannresipienten. Ved å unngå jordarbeiding helt ned til vannresipienten, reduseres også faren for utrasing av bekkanten som følge av trykkbelastning fra tunge maskiner.

3. Metodikk

3.1 Vurdering av egnet metodikk

Kanterosjon er utfordrende å måle siden prosessen varierer mye både i tid og rom (eks. Hooke 1979, 1980, Fox og Wilson, 2010). Sagt med andre ord kan erosjonen foregå når som helst og hvor som helst langs med elveløpet, og i praksis blir det meget ressurskrevende å måle overalt og kontinuerlig. Vi har derfor valgt flere ulike metoder for å få best mulig grunnlag for våre vurderinger.

- Fotografering og befaringer. Vassdraget er besøkt mange ganger i løpet av prosjektperioden, og det er tatt mange fotografier av elvebreddene. Dette har gjort det mulig å utføre en kvalitativ beskrivelse av kanterosjonen langs med vassdraget.
- Erosjonspinner.
- Målinger av turbiditet.
- Sammenligning av elveløpet før og nå ved hjelp av flyfoto fra 60-tallet.
- Kjemiske analyser av jord- og sedimentprøver av elvebunn, elvekanter, vegetasjonssoner og jorder, med særlig fokus på fosfornivået.
- Målinger av hastighet av vanninfiltrasjon i vegetasjonssoner og på åker, samt målinger av jordfuktighet.

I tillegg er tre andre metoder testet ut med midler fra forskningsprosjektet Catchy. For det første er det utført nøyaktige landmålinger av to elvestrekninger. Disse vil bli gjentatt våren 2014 for å se om det kan registreres volumendringer ved denne metoden. Den andre utprøvde metoden er kjemisk sporing. Denne baserer seg på at ulike sediment-kilder har ulikt kjemisk signal. Dette fungerte imidlertid dårlig i dette tilfellet siden materialet i de to hovedkildene (elvekant og jorde) var nokså homogent. Selv om vi fant ulikheter så var disse så små at det ble meget utfordrende å skille de ulike sedimentkildene fra hverandre i suspensjonsmaterialet i elvevannet. Den tredje metoden som er prøvd ut forskningsmessig er 3D fotografering av elvebredder (fotogrammetri) før og etter erosjon. Dette fungerte til en viss grad, men kun på lavvann om våren når det ikke var vegetasjon. Dette innebar at vi var avhengige av å få fotografert innenfor et svært begrenset tidsrom. I tillegg er bearbeidingen tidkrevende og beheftet med usikkerhet. Vi har derfor valgt å ikke gå videre med de to siste metodene.

Under er en mer detaljert beskrivelse av de metodene som det rapporteres resultater fra i denne rapporten.

3.2 Befaringer og fotografering

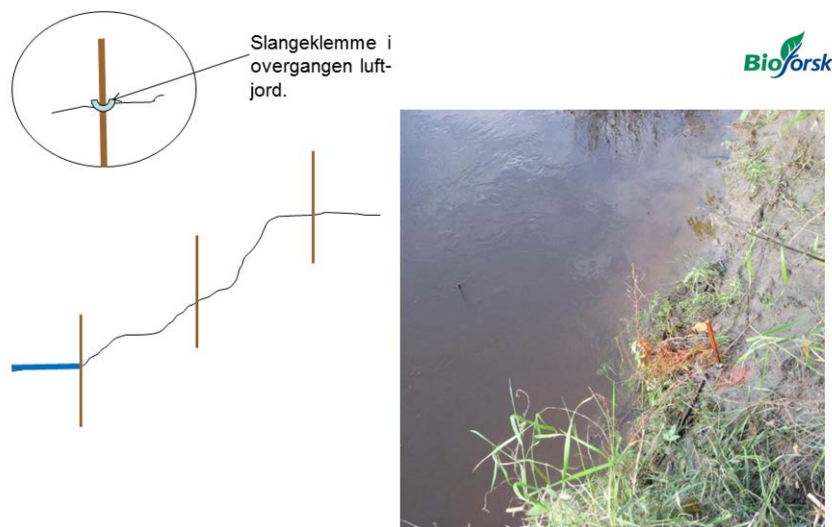
I forbindelse med feltarbeid (både innen forskningsprosjektet Catchy (LMD-SIS) og dette prosjektet for Vannområdeutvalget Haldenvassdraget) ble det i løpet av 2012 og 2013 tatt flere bilder av vassdraget. Sammenligninger av bilder over tid har gjort det mulig å identifisere områder med omfattende kanterosjon.

3.3 Erosjonspinner

Erosjonspinner er en enkel og derfor mye brukt metode (f.eks. Bartley et al. 2006, Laubel et al. 1999, Lawler 1993). Dette er rett og slett staver som dyttes eller bankes inn i elvebredden, og med en slangeklemme eller lignende som markerer overgangen mellom jord og luft/vann idet de settes ned. Dermed kan man måle erosjonen fra pinnene settes ned til neste gang man oppsøker dem. Lengden på pinnene bør være minst 80 cm (Hooke, 1979), selv om pinner på 1 meter også kan bli borte ved større utglidinger av elvebreddene.

En kritikk mot erosjonspinner har vært at de gir liten informasjon om prosesser som styrer erosjonen, ettersom man bare observerer pinnene de gangene man er i felt. Derfor er det også utviklet erosjonspinner med fotoelektriske sensorer (Lawler, 2008). Disse kan måle endringer kontinuerlig, slik at erosjonsepisoder kan tidsbestemmes og dermed settes i relasjon til variasjoner i temperatur, vannføring, nedbør osv. Imidlertid må slike erosjonspinner graves inn i bankene (ledningen sitter innerst og føres opp gjennom jorda til overflaten) og antall steder de kan settes inn blir dermed begrenset. I vårt tilfelle fant vi ut at det i første omgang var best å satse på de tradisjonelle – og enklere – erosjonspinnene.

Det er satt ned over 30 erosjonspinner. Pinnene er laget av stål og er ca. 1 meter lange, skissen i figur 5 viser hvordan de er satt ned med en klemme for å markere overgangen jord-luft da de ble satt ned. Pinnene ble satt ned i flere omganger, 26. juni og 10. september 2012, og pinner som ikke ble gjenfunnet¹, ble erstattet i juli 2013.



Figur 5. Prinsippskisse av nedsetting av erosjonspinner. Pinnene ble satt i vannkanten (det var relativt lav vannføring de dagene pinnene ble satt ned), midtveis i skråningen og et lite stykke inn fra kanten. Bildet til høyre viser en erosjonspinne i vannkanten (pinnen er malt med oransje maling).

¹ Dette kan skyldes at de var erodert bort, fjernet i forbindelse med hogst eller pløying/grashøsting langt ut på kanten mot elva.

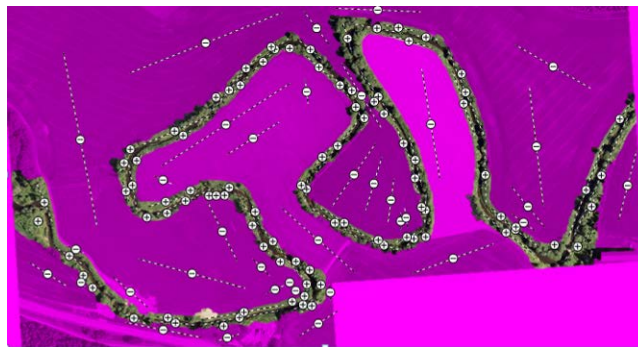
3.4 Turbiditetsmålinger

I september 2013 ble det installert en turbiditetsmåler ved Lier gård. Måleren ble satt ut for å vurdere hvor raskt – og i forhold til hvilke vannføringer – sedimenttransporten i elva økte. Dataserien er for kort til å trekke konklusjoner men foreløpige data er rapportert her.

3.5 Historiske flyfotografier

Bruk av flyfotografier for å vurdere kanterosjon er bl.a. benyttet av Bartley et al. (2006) og De Rose og Basher (2011). Åtte flyfotografier av Lierelva oppstrøms Bjørkelangen, fra 29. mai 1963, er benyttet i dette arbeidet. I tillegg er det hentet ut flyfoto fra Norge i bilder (www.norgeibilder.no) fra 4. juni 2011. Innledningsvis ble bildene undersøkt manuelt men siden denne visuelle metoden viste at det var svært små endringer i meanderbuene, ble også følgende utført: Dagens flyfoto av strekningen rett nedstrøms Lierfossen ble klippet til slik at kun elveløpet ble igjen (Figur 6 og 7). Deretter ble utklippet av elveløpet lagt over flyfoto fra 1963. Figur 8 viser et eksempel på dette før de to bildene ble helt tilpasset hverandre.

En feilkilde er at projeksjonene i flyfoto fra 1963 og kartfoto hentet fra dagens tilstand fra Norge i bilder er ulike. Imidlertid har denne usikkerheten blitt redusert ved at vi valgte små kartutsnitt av gangen.



Figur 6. Bildet viser hvordan flyfoto fra nå-tid ble klippet til for å fjerne alle andre landskapselementer enn elveløpet. Eksemplet er fra bilde tatt rett nedstrøms Lierfossen.



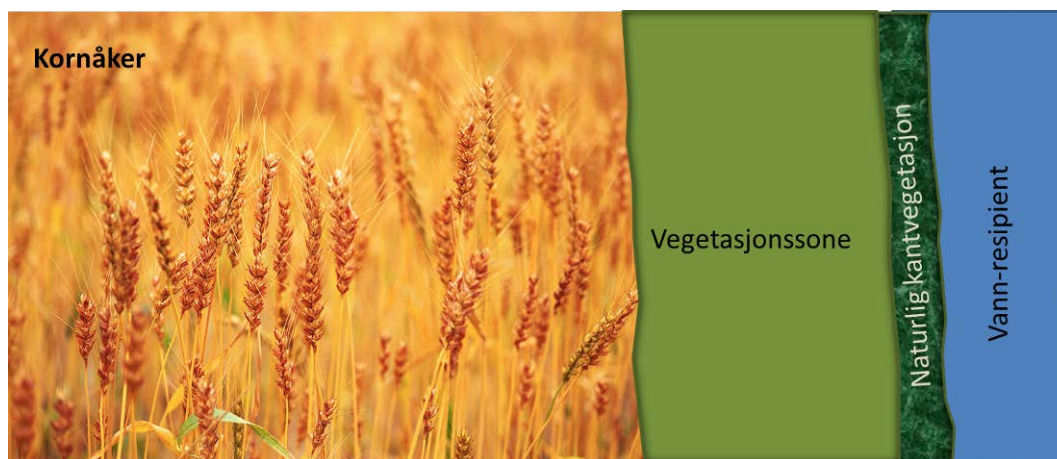
Figur 7. Nåtids bilde - kun av elveløpet.



Figur 8. Bildet av nåtids elveløp ble lagt oppå bildet fra 1963, her er dette illustrert før de to bildene ble helt tilpasset hverandre.

3.6 Infiltrasjonsmålinger

Infiltrasjonsmålinger gir informasjon om hvor raskt vannet infiltrerer i jord. Høy infiltrasjonskapasitet gir redusert fare for overflateavrenning. Infiltrasjonstester ble gjennomført i naturlig kantvegetasjon, i vegetasjonssoner i overgangssonen mellom dyrket mark og vassdrag og på åker (se illustrasjonsskissen i figur 9). Figur 10 viser de seks lokalitetene hvor infiltrasjonstestene ble gjennomført. Det ble gjennomført infiltrasjonstester i tre transekter i østre del av forsøksområdet og tre transekter i vestre del av nedbørfeltet. Av praktiske grunner ble infiltrasjonstestene i vestre del gjennomført i juni, mens de i østre del ble gjennomført i september. Vi ville i første rekke vurdere hvilket utbytte målingene i juni ga, og om det i tilfelle var behov for justeringer, før vi gikk videre med testene.



Figur 9. Prinsippskisse av vegetasjonssone mellom jordbruksareal med kornåker og vann-resipient.



Figur 10. De seks lokalitetene hvor infiltrasjonstester ble gjennomført. Testene ble gjennomførte i åker, grasdekt vegetasjonssone og i naturlig vegetasjon mot elva.

Det ble benyttet dobbel-ring infiltrometer (Figur 11).



Figur 11. Bildene viser infiltrasjonsmålinger med dobbelring-infiltrometer.

Infiltrometer-testene ble gjennomført ved at ringene ble banket ned i bakken som vist i figur 11. Ringene ble banket 6-10 cm ned, slik at det ble tett rundt ringene og vann ikke kunne lekke ut. I forkant av at ringene ble banket ned i bakken ble vegetasjonen klippet ned uten å forstyrre røttene, og det ble skåret forsiktig med kniv i jordprofilet der ringene skulle settes ned for å unngå å forstyrre jorda for mye.

Den ytre ringen skal sikre at vannstrømmingen i den indre ringen skjer vertikalt. Begge sylindere ble forsiktig fylt opp med vann samtidig, slik at vannivået var likt i de to sylindrerne. Ved målingens start ble vannivået justert til et bestemt nivå, X, som ble lest av på en linjal som var festet på innsiden av den innerste ringen. Dette punktet var likt ved alle avlesninger, dvs. at infiltrasjonshastigheten av den samme vannsøylen ble målt i alle forsøk. Deretter ble stoppeklokka startet, og starttidspunkt (T1) ble notert. Videre ble tida det tok for at vannet i den innerste ringen sank med en cm registrert. Deretter ble vannet igjen fylt opp til 'nivå X' i begge sylindere, og prosedyren ble gjentatt.

Målingene ble gjennomført så lenge at det ble oppnådd en tilnærmet stabil synkehastighet, og dette antas å være oppnådd når de tre sist målte synkehastighetene var tilnærmet like. Denne synkehastigheten tilsvarer da infiltrasjonskapasiteten ved såkalt 'stabil tilstand'. Gjennomsnittet av de tre siste infiltrasjonshastighetene ble brukt som et mål på jordas vanngjennomtrengelighet, eller infiltrasjonskapasitet. (Vedlegg 2 viser skjema som ble benyttet for å notere nivåer, tidspunkter o.l.). Figur 12 viser et foto av vegetasjonssonen i den østlige lokaliteten.



Figur 12. Vegetasjonssone mellom kornareal og bekk i vestre forsøksfelt for infiltrasjonstester.

I tillegg til infiltrasjonsmålinger ble det også foretatt jordfuktighetsmålinger med en TDR-sensor. Jordfuktighetsmålingene ble gjennomført i hver lokalitet på samme dag som infiltrasjonstestene, dvs. i juni i det vestre feltet og i september i det østre. Målingene gir informasjon om jordfuktigheten (volumprosent vann i jorden).

3.7 Jord og sediment - prøvetaking og kjemiske analyser

Det ble tatt prøver til kjemisk analyse og analyse av andel leireprosent i tilsammen 33 lokaliteter:

- 6 prøver av vegetasjonssoner (september 2013)
- 9 prøver av åker (september 2013)
- 10 prøver av elvekant (august 2013)
- 7 prøver av elvebunn (september 2013)
- 1 prøve fra bunnmaterialet oppstrøms en liten terskel ved Lier gård (august 2013)

Prøvetakingen ble gjennomført som blandprøver for å få mest mulig representativt materiale. Dette er i praksis enklere på flate områder som i vegetasjonssonene og på åkeren, enn i elvekantene og elvebunnen. På flater ble det derfor tatt ni delprøver som ble satt sammen til en enkeltprøve, mens det i elvekanter og elvebunn ble tatt så mange delprøver som var praktisk mulig.

Transektene i åker og vegetasjonssone ble prøvetatt samme dag, i september etter innhøsting.

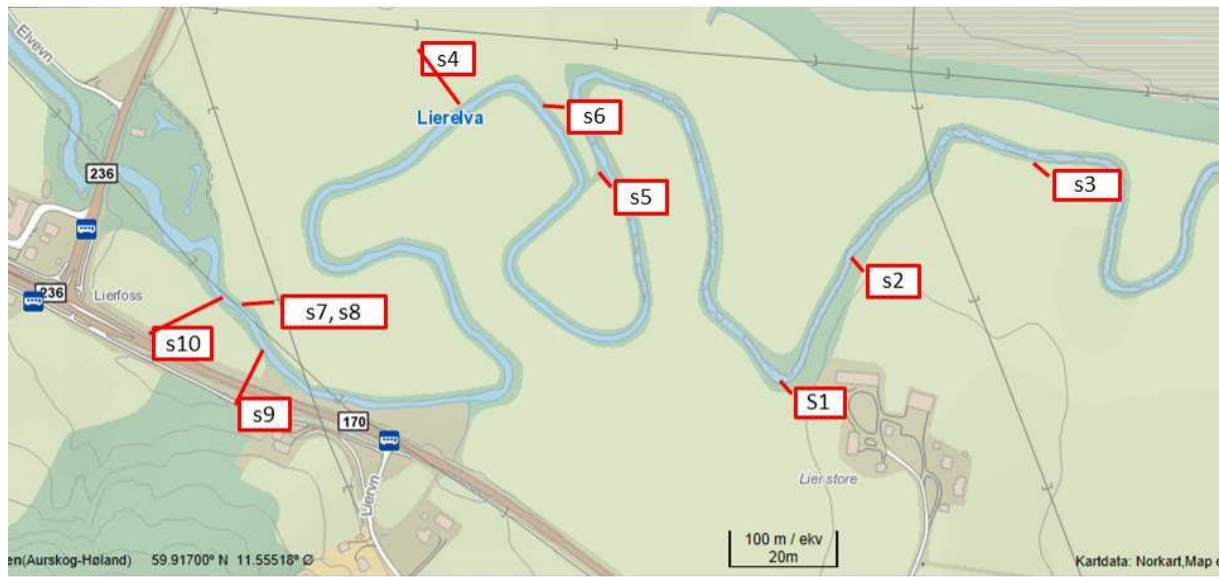
Kartene i figurene 13-15 viser lokalitetene.



Figur 13. Prøvelokaliteter for jordprøver av kantsoner og åker i vestre del av feltet. Prøvene 10, 12 og 14 er tatt av jord i vegetasjonssoner, 11, 13 og 15, samt 7, 8 og 9 fra åker.



Figur 14. Prøvelokaliteter for jordprøver av kantsoner og åker (røde markører) i østre del av feltet, samt bunnprøver fra elva (oransje markører). Prøvene 1, 3, 5 er fra vegetasjonssone, 2, 4 og 6 fra åker.



Figur 15. Prøvelokaliteter for sediment fra elvekant.

4. Resultat

4.1 Informasjon fra fotografering og befaring av elva

Gjentatte besøk i vassdraget i løpet av undersøkelsesperioden viser at det foregår aktive erosjonsprosesser langs med elvekantene. I det følgende er tre utvalgte lokaliteter beskrevet, plasseringene av disse er vist i figur 16.



Figur 16. Oversiktskart over lokalitetene A, B og C.

4.1.1 Eksempel A

Lokalitet A ligger rett nedstrøms Lierfoss. Figur 17 viser lokaliteten i hhv. fugleperspektiv (venstre bilde) og fra bakken (høyre fotografi). I april 2012 var det en rad med trær langsmed søndre elveløp. Disse trærne ble hugget i løpet av vinteren 2012/2013, såvidt vites av et nett- eller elektrisitetsselskap. Dette ble antakelig gjort for å hindre at trærne skapte problemer for strømforsyningen. Figur 18 viser en bildeserie av området etterat trærne er hugget.



Figur 17. Eksempellokalitet A. På oversiktsbildet til venstre vises (1) en sedimentbanke i elva og (2) en strekning som våren 2012 var bevoskt med trær (kart fra finn.no). Foto til høyre er tatt våren 2012, fra sedimentbanken (1) og nedstrøms.



(I) April 2013. Kantvegetasjonen er kuttet ned, trærne er etterlatt langs med vassdraget. (Sedimentbanken fra fig. 17 til høyre i bildet.)



(II) Juni 2013. Samme sted etter jordarbeiding på åker. (Sedimentbanken i forgrunnen)



(III) Juli 2013: Trærne har falt ut i elva og kanten bak er tydelig erodert. Nedenfor erosjonskanten samler rasmaterialet seg. Tatt fra nordre banke.



(IV) August 2013. Bilde tatt fra søndre banke mot øst. Rød stiplet linje viser ny overgang mellom åker og kant, til venstre for rød linje er det rasmateriale.



(V) November 2013. Fra søndre banke og mot øst. Rasmaterialet ligger nedover skråningen mot elva.



(VI) Mot nordre banke, der det nå er fare for økt erosjon pga at vannhastigheten i elveløpet øker.

Figur 18. Bildeserie fra Lokaltet A i perioden juni 2013 – november 2013. Bildene I-III tatt fra nordre banke, bildene IV-VI tatt fra søndre.

Det som kan skje når materiale – og trær – raser ut i elva langs den ene kanten, som her, er at elveløpet blir smalere. Det gjør igjen at vannhastigheten blir raskere, og materiale fra den andre banken (her, den nordlige), samt nedstrøms elvebredder, kan begynne å erodere. Slike inngrep som i dette eksempelet kan derfor skape erosjon flere steder i elveløpet.

4.1.2 Eksempel B

Retten nedstrøms eksempel A hadde kommunen gravd langs elvekanten i forbindelse med nye kummer (Figur 19). Nygravde masser ligger i hauger ned mot elvekanten og vil med stor sannsynlighet havne i elva ved neste nedbørepisode. Både eksempel A og eksempel B viser at det er viktig med informasjon, også til andre enn grunneiere, for å hindre inngrep som kan medføre erosjon langs kantene.

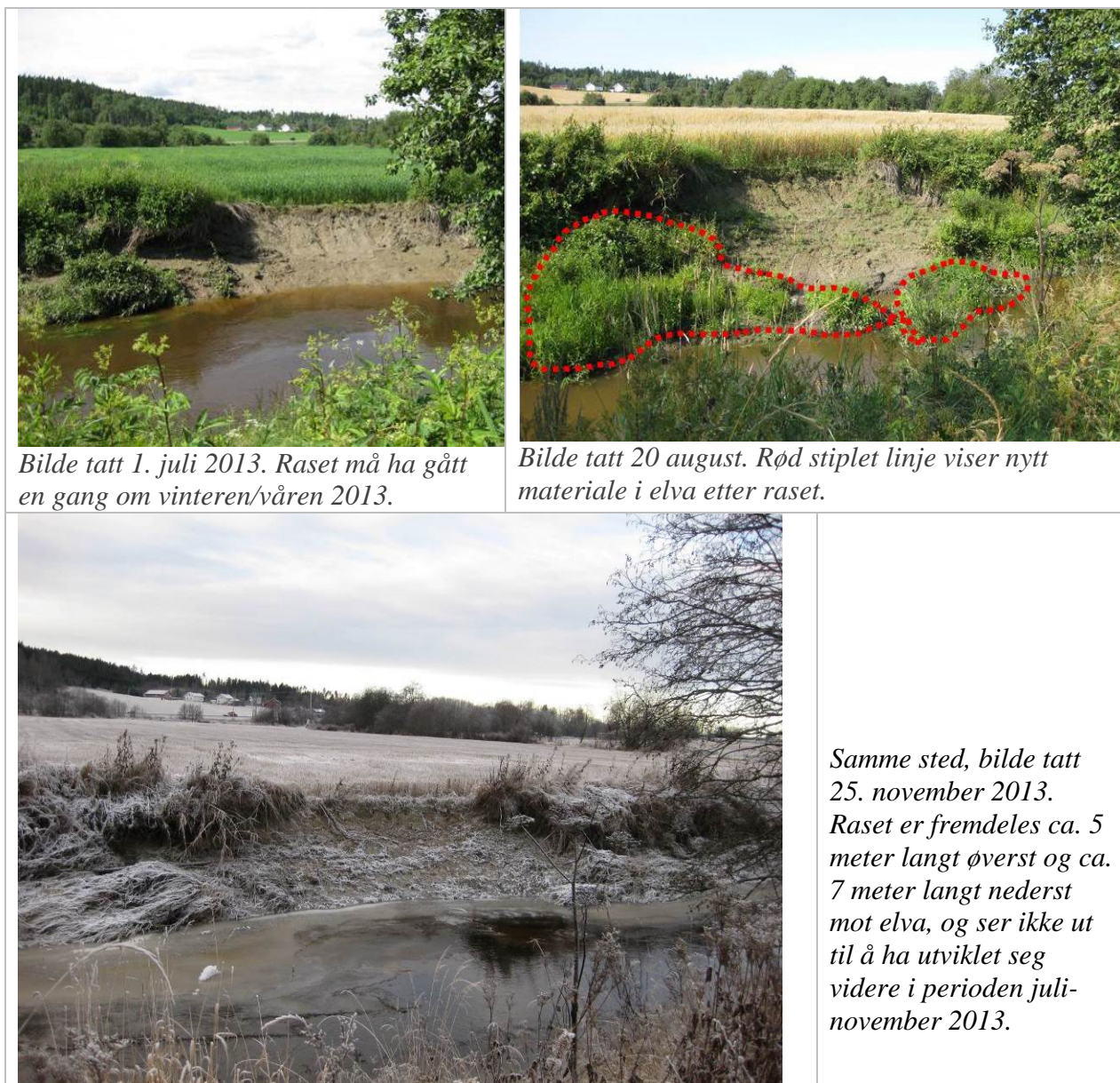


Figur 19. Lokalitet B, med nedgraving av nye kummer på nordre elvebredd (bilde tatt april 2013).

4.1.3 Eksempel C

I det tredje eksempelet (lokalitet C i figur 16) har elvekanten rast ut i elva vinteren/våren 2013, i en bredde på ca. 5 meter, se figur 20. I augustbildet er vannstanden lavere enn i julibildet og det blir tydelig at det nede i elva ligger utrast materiale. Slikt materiale vil medføre at løpet snevrer seg noe inn, og vannhastigheten kan derfor øke, noe som kan medføre ustabile elvekanter både på motsatt side og nedstrøms rasstedet. Etterhvert vil det nedraste materialet erodere og bli en del av sedimenttransporten i elva.

I dette tilfellet er det sannsynlig at det er mangelen på vegetasjonssone, og pløying helt ned til vannkanten, som er årsak til utrasingen.



Figur 20. Foto fra Lokalitet C.

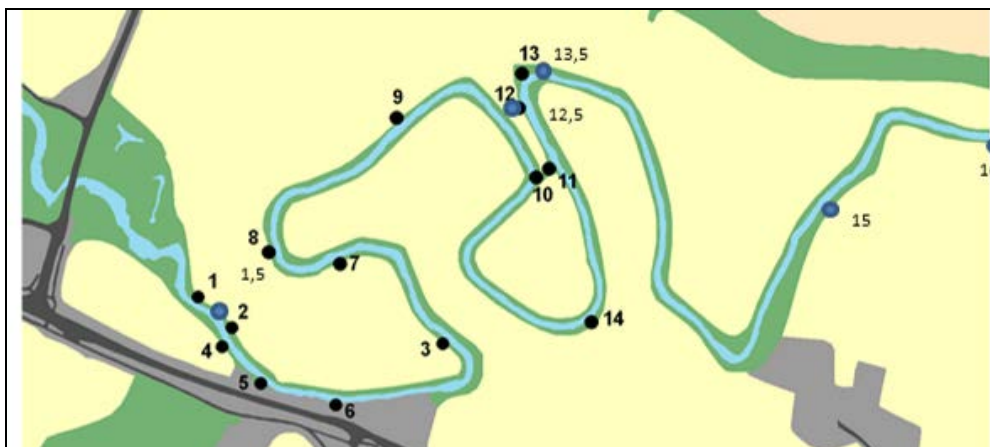
Det kan også bemerkes at det ved befaringer langs med vassdraget er vanlig å se sprekkedannelser langs med elvekanten (figur 21). Dette *kan* tyde på at kantene langs med elva er ustabile, muligens på grunn av at vannet i elva undergraver elvekantene, at jorda belastes av tyngre maskineri, eller en kombinasjon av dette.



Figur 21. Eksempel på sprekkdannelse langs med elva.

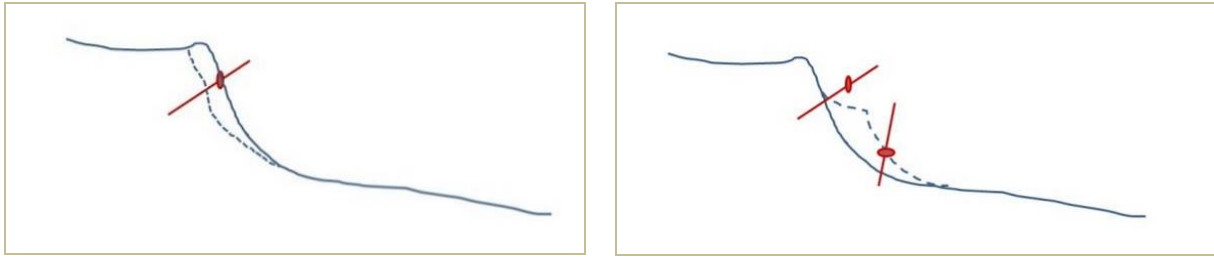
4.2 Erfaringer med utsetting av erosjonsspinner

Det ble satt ned over 30 erosjonsspinner i elvekantene. Vedlegg 3 viser plassering, når pinnene ble satt ned, og forløp i detalj. Figur 22 viser en oversikt over alle steder det er satt ned pinner.



Figur 22. Kart over lokaliteter for erosjonsspinner.

Generelt ser det ut til at erosjonsspinner i denne typen leirevassdrag er mindre egnet til å beregne erosjonsrater enn i elver med mer silt- og sandrikt materiale i elvebreddene. Figur 23 viser en prinsippskisse for dette: venstre figur viser erosjon i mer silt/sandrikt materiale, her eroderer partiklene én og én, og det er mulig å gjenfinne markøren for opprinnelig overgang mellom sediment og luft. I elvekanten med mye leire vil imidlertid materialet gli ut i større masser, og erosjonsspinnen vil følge med. Figur 24 viser et fotografi fra lokalitet 5 for utsetting av erosjonsspinner som illustrerer dette.



Figur 23. Venstre skisse: Erosjonspinne ved antatt forløp i silt/sandjord; skråningen eroderes partikkel for partikkel og avstanden mellom tidligere elvekant (heltrukket) og etter erosjon (prikket) kan måles. Høyre skisse: Observert forløp i leire. Hele elvekanten sklir ned og erosjonspinnen gjenfinnes i en ny vinkel, uten at erosjonsraten kan beregnes.



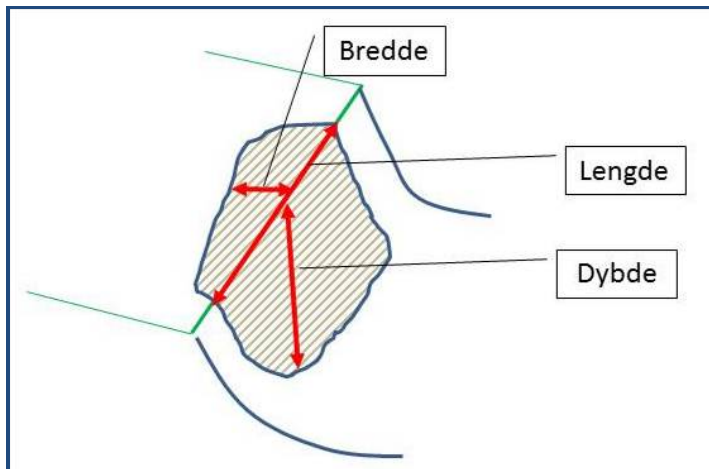
Figur 24. Foto av lokalitet 5 for erosjonspinner. Den midterste pinnen har seget ned sammen med jordmasser og vegetasjon, og ligger nå rett ved den nederste pinnen, jf. skissen i figur 23.

Gjenfinning av pinnene kan også by på utfordringer, bl.a. for de nederste pinnene ved høy vannstand (elvevannet har svært lite siktedyp), eller om våren ved isgang, som vist i figur 25.



Figur 25. Lokalitet nr 6 i april 2013 – isen skjulte pinnene. Isgang i elva vil også bidra til kanterrosjon.

Imidlertid har erosjonspinnene gitt oss endel informasjon, og tabell 1 oppsummerer resultatene så langt. Skissen i figur 26 definerer hva som i tabell 1 menes med bredde, lengde og dybde på utglidinger.



Figur 26. Figuren definerer begrepene bredde, lengde og dybde i tabell 1 og refererer seg altså til omfanget av utglidinger/erosjon langs med elveløpet.

Tabell 1. Oversikt over omfanget av erosjon ved hver lokalitet.

Nr.	Tid for måling (fra til): mm.åå-mm.åå	Tidsforløp antall måneder	Ca. mengde erodert materiale			
			dybde (m)	bredde (m)	lengde (m)	volum (m ³)
1	06.12 – 07.13.	17 mnd	2	0,5	10 m	10
1,5	07.13-11.13	4 mnd	0	0	0	0
2	06.12-11.13	17 mnd	2	0,5	7	7
3	06.12-11.13	17 mnd.	2	0,40	7	6
4	06.12-11.13	17 mnd.	2	1,5	14	40
5	06.12-11.13	17 mnd. Grøfteerosjon?	1,5	4 m	2 m	8 - 12
7	09.12- 11.13	13 mnd.	2	0,75	7 m	10
8	09.12-	Ikke gjenfunnet	?	?	?	?
9	09.12- 11.13	13 mnd. Grøfteerosjon.	0	?	?	?
10	09.12- 11.13	13 mnd.	0	0,15?	?	*
11	09.12- 11.13	13 mnd.	0	0,60?	?	*
12	09.12- 11.13	13 mnd. Hogst – pinner forsvunnet		?	?	?
12,5	07.13-11.13	4 mnd		0	0	0
13	09.12- 11.13	13 mnd.	0,15	-	3 m	0,45
14	09.12- 11.13	13 mnd.	?	0,15	4?	0,6
15	07.13-11.13	4 mnd	0	0	0	0
16	07.13-11.13	4 mnd	0	0	0	0

* I lokalitet 10 og 11 er kantene forbygd for å hindre at elva bryter gjennom og danner nytt løp, med søndre meandersving etterlatt som er avsnørt meandersjø. Etersom det foregår både forbygginger og hyppige oversvømminger er det vanskelig å beregne erosjonsrater.

Volumet av materialet, som angitt i høyre kolonne i tabell 1, er kun det som er sklidd ned elvekanten. Mye av dette ligger fremdeles igjen langs kantene, jf. figur 18 og 20. Etterhvert er det imidlertid sannsynlig at dette materialet vil mobiliseres, f.eks. ved større flommer, isgang, m.m., men hvor raskt dette vil skje avhenger av hydrologien i elva.

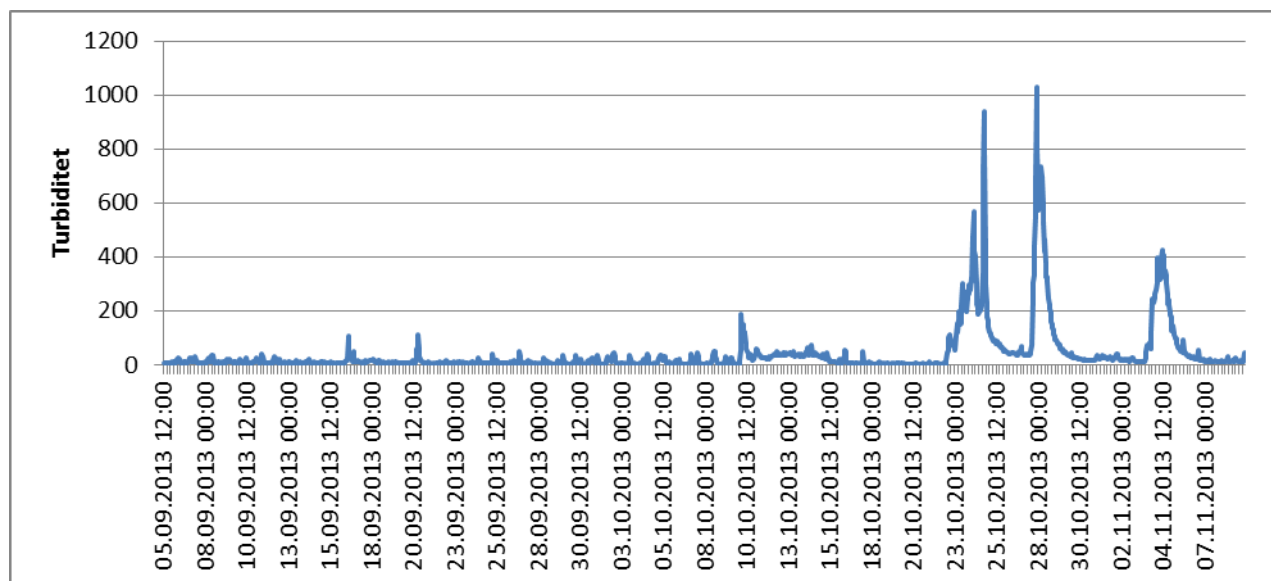
Det er behov for å vurdere hvorvidt resultatene i tabell 1 kan oppskaleres, slik at vi kan gi et estimat av omfanget av kanterosjonen, sett i forhold til total erosjon i feltet. Det vil arbeides videre med ulike metoder for hvordan dette kan gjøres.

Selv om det er vanskelig å beregne eksakte erosjonsrater har imidlertid erosjonspinnene gitt mye informasjon, som kan oppsummeres som følger:

- Det pågår aktiv erosjon langs med elvekantene i dette vassdraget. Som vist i avsnitt 4.1 kan det være flere årsaker til slik erosjon.
- I flere av lokalitetene er erosjonspinnene erodert helt bort.
- I enkelte av lokalitetene har erosjonspinnene flyttet seg nedover i skråningen, noe som indikerer seg av leiremateriale ned mot elva.
- I enkelte lokaliteter registrerer vi at den øverste pinnen nå er nærmere elvekanten enn tidligere, noe som tyder på at elvekantene eroderer innover mot vegetasjonssone/åker.
- Erosjonen ser ut til å være minst i partier med trær langs med elva, dette støttes av litteratur på emnet (se avsnitt 2.5).

4.3 Turbiditetsmålinger - foreløpige data

Tilsvarende som vannføringen i elva (figur 2) varierer turbiditeten kraftig, fra de helt lave verdier på lavvann, til mer enn 1000 NTU ved høyere vannføringer (figur 27). Målingene av turbiditet er nettopp igangsatt og det kreves mer data for f.eks. å kunne si noe om hvorvidt turbiditeten øker også utenom kraftige nedbørepisoder. Det er i denne forbindelse meget viktig at vannføringsmålingene fortsetter ved Lierfoss.



Figur 27. Turbiditet (målt i NTU) høsten 2013.

4.4 Resultat av tolking av flyfoto

Figur 28 og 29 viser resultatet av flyfotosammenligning i 1963 og 2011. Som nevnt i metodekapittelet (kap. 3.4) må det tas høyde for at projeksjonen i bildene fra 1963 og 2011 er forskjellig. Allikevel er konklusjonen at det ikke kan påvises større endringer i elveløpet på de nesten femti årene som er gått siden mai 1963.

Vi har med annen finansiering også analysert bilder fra en meanderstrekning i Hobøelva, Akershus/Østfold, for å se om denne har endret seg over tid. Resultatene tyder på det samme som i Haldenvassdraget, dvs. at det er vanskelig å se noen tydelige endringer over tid.



Figur 28. Sammenligning av elveløpet i 2011 (fargelagt elveløp) og i 1963 (underliggende sort-hvitt foto).



Figur 29. Tilsvarende bilde som i figur 28, dvs. med elvestrekning anno 2011 lagt oppå kartet fra 1963, men her for nedstrøms strekning. I høyre del av bildet sees en kanalisering som må ha blitt utført før 1963, da det underliggende sort-hvitt-bildet ble tatt.

Imidlertid er elveløpet forbygget, bl.a. hvor dette er indikert i figur 30. Hvis denne forbygningen ikke hadde vært der ville elva ha brutt gjennom på dette punktet, og den sørlige meanderbuen hadde blitt en avsnørt meandersjø.



Figur 30. Kart hvor mulig forløp av elveløpet er inntegnet, forutsatt at det ikke hadde vært forbygget mot erosjon.

En mulig endring siden 60-tallet ser ut til å være at vegetasjonen langs med vassdraget har økt. Bildene i figur 32 er tatt med bare 5 kalenderdagers forskjell og løvdekket burde derfor være relativt likt. Antall trær langs med elva ser ut til å ha økt i perioden.



Figur 31. Nærbilde av meanderstrekning rett nedstrøms Lierfossen i slutten av mai 1963.



Figur 32. Nærbilde av meanderstrekning rett nedstrøms Lierfossen tidlig i juni i 2011. Sammenlignet med bilde 31 ser det ut til å være flere trær langs kantene i 2011.

4.5 Fosfor i sediment- og jordprøver

En oversikt over resultatet av alle kjemiske data er vist i vedlegg 1. Tabell 2 viser en oversikt over resultatet av kjemiske analyser, som gjennomsnittlig konsentrasjon for ulike jord- og sedimenttyper (åker, vegetasjonssone, elvekant og elvebunn).

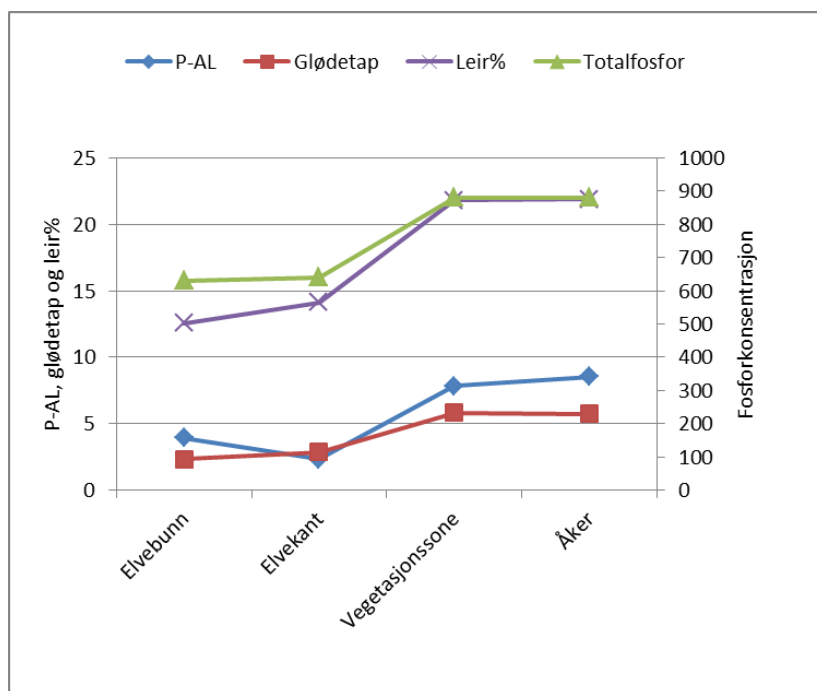
Tabell 2. Gjennomsnittlig innhold av kjemiske parametre i fire hovedtyper av sediment/jord.

Parameter	Enhet	Elvebunn	Elvekant	Vegetasjonssone	Åker
pH		6,4	5,9	6,3	6,1
Fosfor (P-AL)	mg/100g	3,9	2,3	7,8	8,5
Kalium (K-AL)	mg/100g	6,6	4,7	7,9	20,4
Magnesium (Mg-AL)	mg/100g	12,4	8,1	5,9	5,5
Kalsium (Ca-AL)	mg/100g	60	45	153	109
Natrium (Na-AL)	mg/100g	3,6	2,8	2,5	2,9
Glødetap	% TS	2,3	2,9	5,8	5,7
Totalfosfor	mg/kg	631	640	882	881
Leirinnhold	%	13	14	22	22

Generelt er P-AL-innholdet (mål på plantetilgjengelig fosfor) i alle prøver relativt lavt, med et snitt på 8,5 mg/100 g på åker.

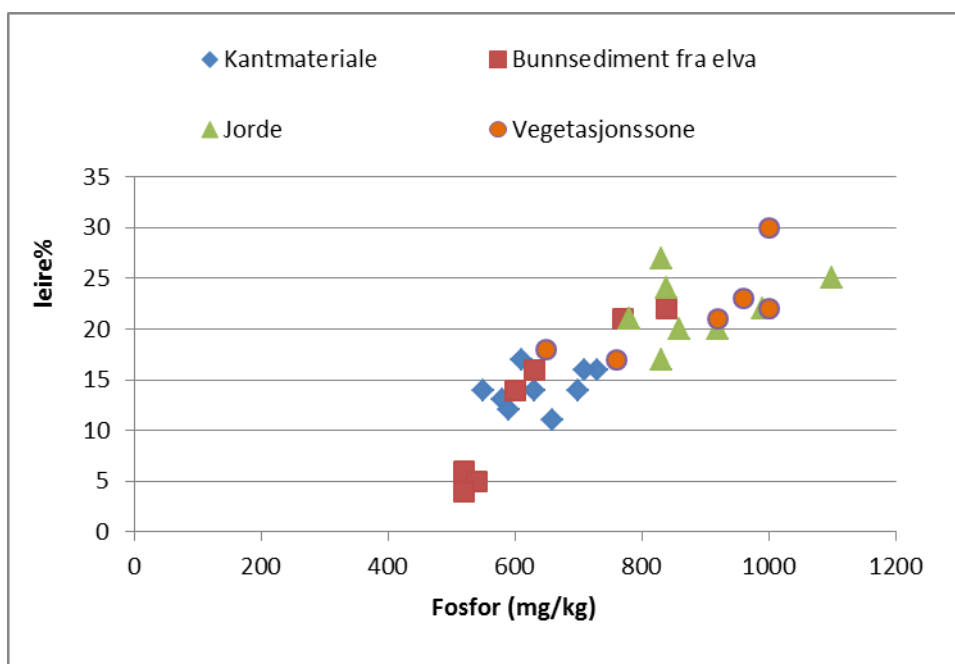
I figur 33 vises konsentrasjoner av totalfosfor og P-AL i hhv. åker og vegetasjonssone, og elvekant og elvebunn. Forskjellene er relativt små, og årsaken til dette ser primært ut til å ligge i leireprosenten, dvs. prosentvis andel av partikkelfraksjoner mindre enn 0,002 mm i

diameter (figur 34). Det er nemlig god korrelasjon mellom leireprosent og totalfosfor for alle prøver ($R^2=0,7$). Tilsvarende, jo høyere fosfornivå, jo høyere er P-AL-nivået (figur 35).

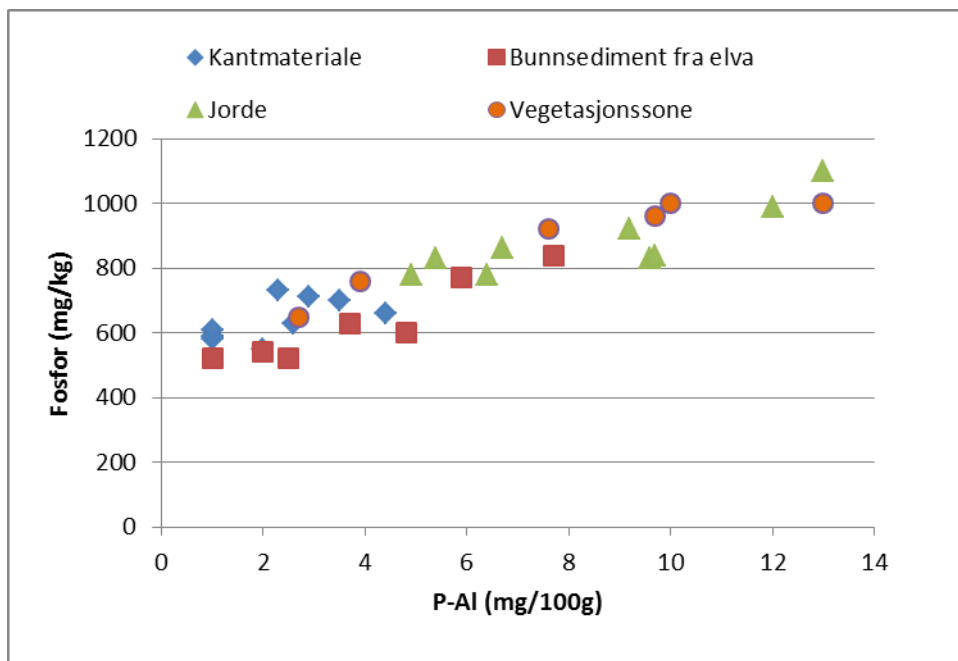


Figur 33. Gjennomsnittlig innhold av total fosfor (mg/kg), P-AL (mg/100 g) glødetap (%) og leireinnhold (%) i de fire ulike jord/sedimenttypene. Antall prøver: Elvebunn 7; elvekant 10; vegetasjonssone 6; og åker 9.

Figuren viser også at glødetapet er høyere i jorda enn i elved sedimentet, noe som er naturlig siden organisk materiale vil vaskes ut av elved sedimentet.



Figur 34. Forholdet mellom konsentrasjon av totalfosfor (mg/kg) og leireandel (%) for fire ulike jord/sedimenttyper.



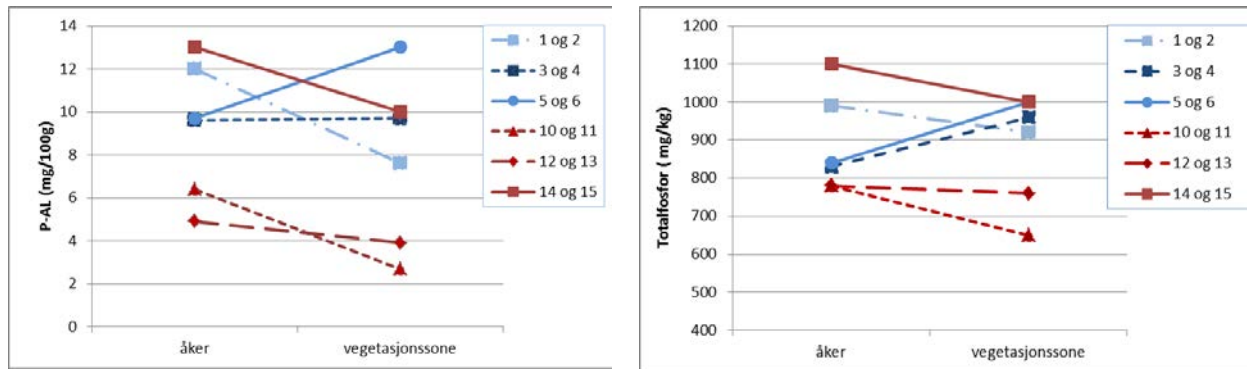
Figur 35. Forholdet mellom konsentrasjon av totalfosfor (mg/kg) og P-AL (eller plantetilgjengelig fosfor; mg/100 mg) i fire ulike jord/sedimenttyper.

Resultatene viser at materialet i elva ikke er vesentlig annerledes enn materialet i åker og vegetasjonssone, men det inneholder mindre leire, og derfor mindre fosfor. Sannsynligvis har de finere leirepartiklene blitt erodert bort av ellevannet. I så fall er både disse – og det fosforet som er adsorbent til disse partiklene – fulgt med ellevannet nedover mot Bjørkelangen.

Videre viser resultatene at fosforkonsentrasjonen i alle jordprøvene (åker og vegetasjonssone) varierer mellom ca. 650 - 1100 mgP/l, mens P-AL tallene varierer mellom 3 – 13 mg/100g. Figur 36 viser hhv. P-AL (venstre graf) og fosforkonsentrasjoner (høyre graf) i de tre transektene i østre felt (prøvetakingspunkt 1-6, blå farge) og vestre felt (prøvetakingspunkt 10-15, rød farge).

I det østre feltet (prøvene 1-6) er det ingen tydelig trend i forhold til fosforstatus i jord på åker og vegetasjonssone. P-AL øker fra åker til vegetasjonssone i ett transekt, er det samme i transekt nummer to, mens det reduseres i et tredje transekt. Innhold av totalfosfor er høyere i to av transektene i vegetasjonssonen og lavere i ett, i forhold til på åkeren. I dette feltet ble det oppgitt at vegetasjonssonen ikke gjødsles utover at den kan ha blitt tilført gjødsel i forbindelse med gjødsling av kornåkerne, noe som gjør at en kunne forvente en reduksjon i fosforinnhold og P-AL tall i vegetasjonssonen i forhold til på åkeren.

I det vestre feltet (prøvene 10-15) er det en svak reduksjon i fosforkonsentrasjon og P-AL tall i vegetasjonssonen i forhold til på åkeren, til tross for at det er gitt dispensasjon for fullgjødsling i vegetasjonssonene. Dette kan indikere at helårsdekkende grasvegetasjon har et bedre næringsopptak enn kornåkeren. Et redusert fosforinnhold i vegetasjonssonen er positivt i forhold til faren for fosforlekkasjer til elva.



Figur 36. Fosfor-konsentrasjoner og P-AL tall i de tre transektene i hhv. vestre felt (prøvetakingspunkt 10-15, røde farger) og østre felt (prøvetakingspunkt 1-6, blå farger).

4.6 Resultat av infiltrasjonsmålinger

Infiltrasjonskapasiteten måles i hvor mange cm vannsøyle som infiltrerer i jorda per minutt.

Infiltrasjonskapasiteten er oppgitt med fargekoder etter følgende inndeling (inndelingen er utført av forfatterne):

Fargekode:	Betegnelse:	Infiltrasjonskapasitet:
	Dårlig	0 - 0,05
	Mindre god	0,05 – 0,3
	God	> 0,3

Permanent grasdekke i vegetasjonssoner vil utvikle et godt rotsystem over tid, noe som i teorien vil være med på å øke infiltrasjonskapasiteten og dermed redusere eventuell overflateavrenning, samt rense infiltrasjonsvannet gjennom jordprofilen.

Resultatene viser at det er relativt store variasjoner i infiltrasjonskapasiteten både i den naturlige vegetasjonen mellom elv og vegetasjonssone, i vegetasjonssonene og på åkeren.

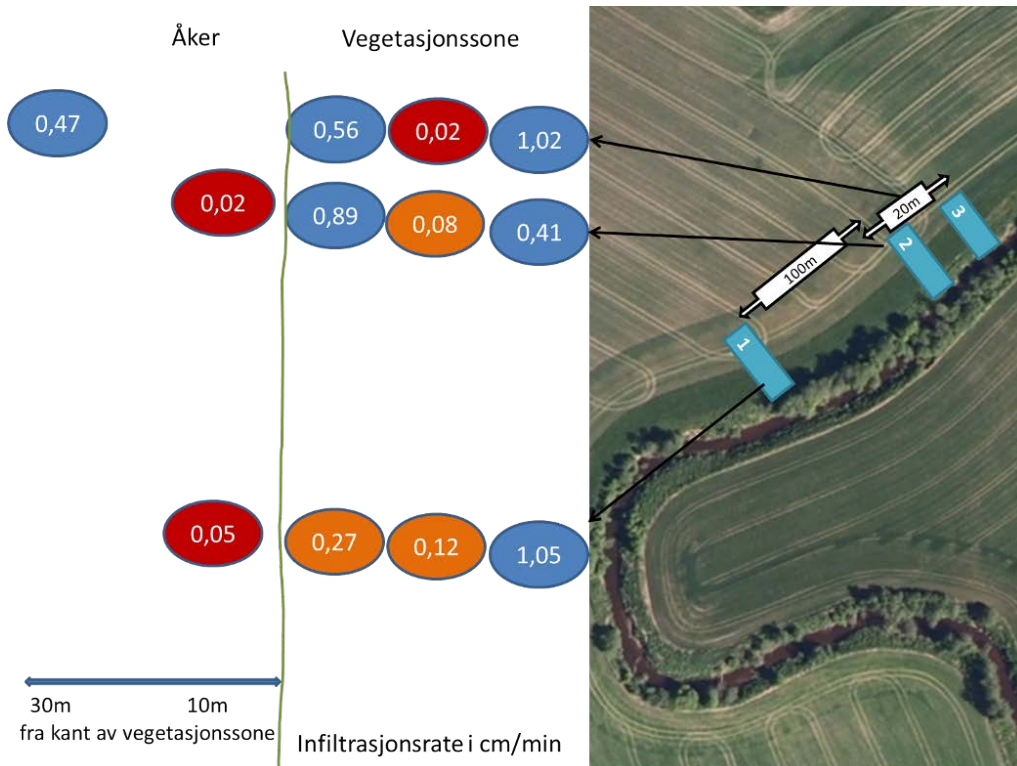
I det vestre feltet ble infiltrasjonstestene gjennomført på forsommeren 2013. Åkeren hadde da bare lave, unge spirer (se forsidefoto). Infiltrasjonskapasiteten var god i den delen av vegetasjonssonen som var nærmest åkeren og den delen som var nærmest elva, mens det var dårlig infiltrasjonskapasitet midt i vegetasjonssonen (figur 37). Dette kan skyldes trykkbelastning og pakking på midten av vegetasjonssonen, da den ifølge gårdbruker blir brukt til kjørevei både til og fra åker og når det utføres arbeid på vegetasjonssonen. Hvis denne antakelsen stemmer, og det er vanlig å bruke vegetasjonssoner som transportvei, kan dette redusere effekten av slike soner.

På åkeren var det dårlig infiltrasjonskapasitet ca. 5-10 m fra vegetasjonssonen, noe som kan skyldes trykkbelastning siden maskiner snur i dette området. Lengre inne på åkeren var det bedre infiltrasjonskapasitet, 0,47 cm/min, men vi har kun én måling av dette i det vestre feltet. Resultatene fra dette feltet antyder at om det forekommer avrenning fra åker med ung vegetasjon uten et velutviklet rotsystem, så kan vannet kunne infiltreres og renses gjennom jordprofilen på begge kantene av vegetasjonssonen, men at midten av vegetasjonssonen

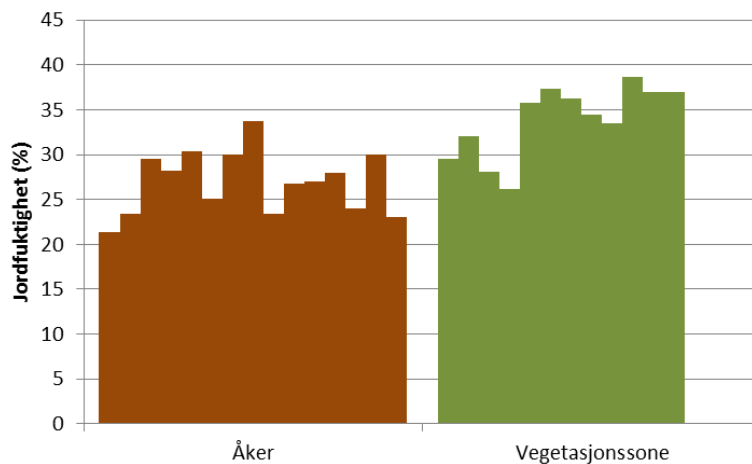
infiltrerer dårlig. Imidlertid trengs det flere målinger for å kunne si noe med sikkerhet, siden det var store variasjoner i infiltrasjonskapasiteten fra sted til sted.

Jordfuktighetsmålinger ble foretatt samtidig med infiltrasjonsmålingene. I det vestre feltet ble derfor jordfuktighetsmålinger foretatt i juni, etter en vår med mye regn. Noen steder sto det enda dammer med vann på åkeren, mens det andre steder var sprukket opp leire etter at det øverste jordlaget var tørket opp. Nedbørepisodene etter såing denne våren forårsaket at deler av åkeren sto under vann i perioder, og flere områder måtte såes om igjen. I vegetasjonssonene sto det ikke noe vann da vi var ute i felt. At det sto igjen dammer av vann på jordet, mens vegetasjonssonene var frie for vann kan i seg selv indikere at vegetasjonssonen har en bedre infiltrasjonskapasitet, samt evne til å ta opp fuktighet gjennom godt etablert vegetasjonsdekke.

Det ble foretatt jordfuktighetsmålinger vilkårlig på 15 steder inne på åkeren og 12 steder i vegetasjonssonen. Jordfuktighetsmålingene viser at jordfuktigheten var høyere på åkeren enn i vegetasjonssonen. I vegetasjonssonen var den gjennomsnittlige jordfuktigheten 27 %, mens jordfuktigheten på åkeren var gjennomsnittlig 24 % (figur 38). Den noe høyere jordfuktigheten i vegetasjonssonen kan skyldes at det her var et godt plantedekke og derfor liten opptørking av det øverste jordlaget. På åkeren var det tørt på forsommeren før kornet hadde etablert seg, den øverste jordskorpen hadde tørket opp, og det var sprekkdannelse på overflaten av åkeren. Analyser av innhold av leire og organisk materiale i jorden viser at dette er relativt likt på åkeren og i vegetasjonssonen, noe som indikerer at dette ikke har betydning for jordfuktigheten.



Figur 37. Infiltrasjonskapasitet i tre transekter på det vestre feltet.

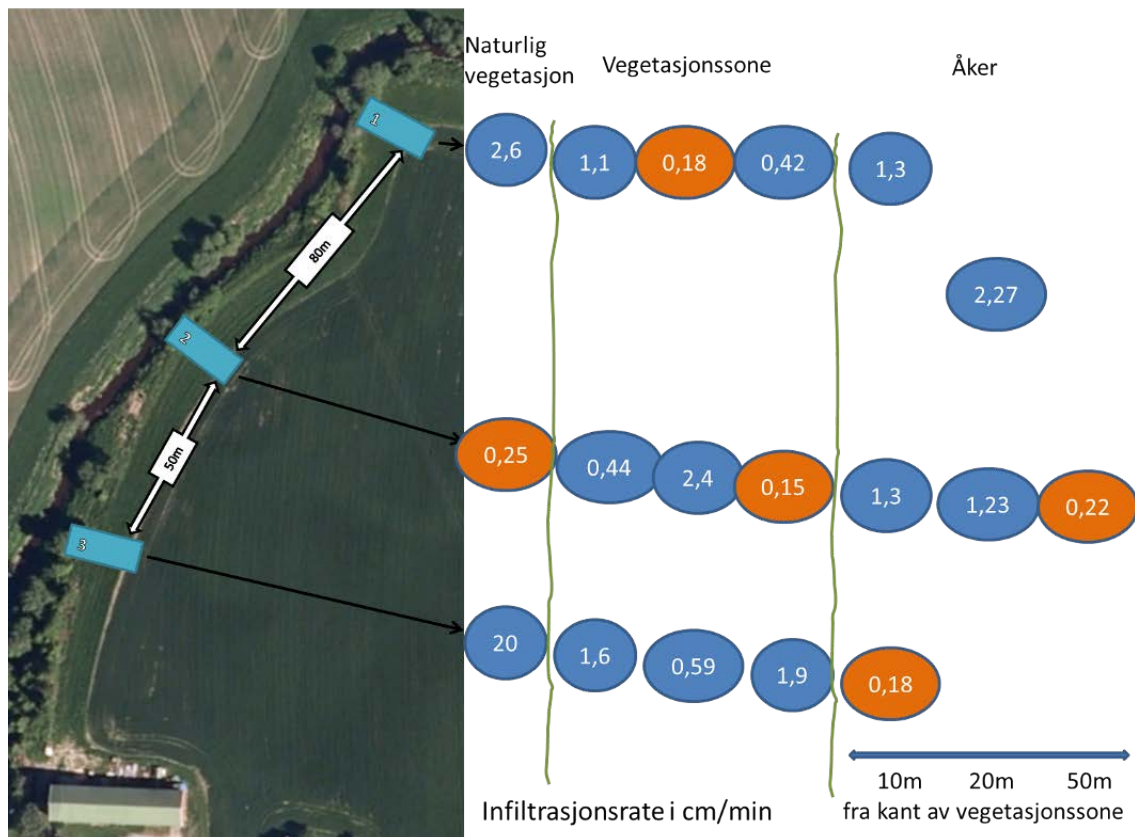


Figur 38. Jordfuktighet i det vestre feltet.

Figur 39 viser infiltrasjonskapasiteten i det østre feltet, hvor infiltrasjonstestene ble gjennomført i september etter innhøsting. Åkeren var da i stubb. I dette feltet var det større bredde på beltet med naturlig vegetasjon mellom elva og grasdekt vegetasjonssone enn i det vestre feltet. Dette muliggjorde infiltrasjonsmålinger også på naturlig vegetasjon (hovedsakelig bestående av sorter som brennesle, burot, o.l.). Infiltrasjonen i dette feltet var svært varierende, fra omlag 20 cm/minutt (antakelig var det her en sprekkeseone i bakken) til 0,25 cm/minutt.

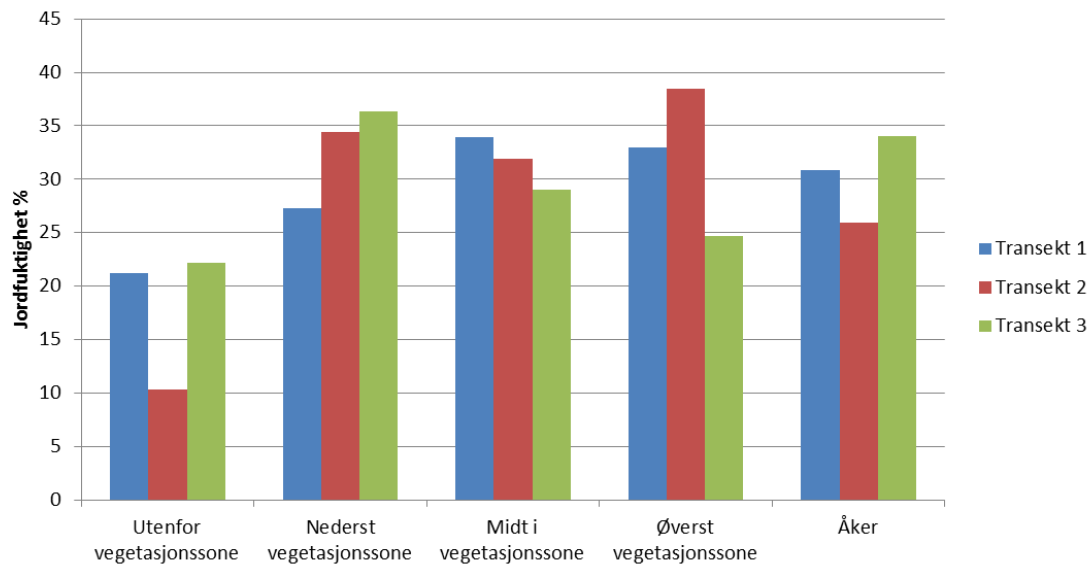
I dette feltet var det forøvrig bedre infiltrasjonskapasitet både på åker (stubbmark) og dyrket gras enn i det vestre feltet. Dårligste infiltrasjonskapasitet ble målt til 0,18 cm/minutt, og ingen hadde målinger innenfor den dårligste klassen (<0,05 cm/minutt). Lokalteter med mindre god infiltrasjonskapasitet var noe tilfeldig spredd i de tre transektene. I dette feltet viser resultatene heller ingen tegn at det var dårligere infiltrasjonskapasitet i midten av vegetasjonssonen, noe som kan tyde på at trykkbelastningen fra landbruksmaskiner ikke var så konsentrert der. Totalt sett var det altså svært liten forskjell i infiltrasjonskapasiteten i åker og vegetasjonssone i dette feltet. Dette kan skyldes at kornet på åkeren hadde fått utviklet gode rotsystemer i løpet av sommeren, men flere målinger må til før det kan trekkes sikre konklusjoner.

Gjennomsnittlig leirinnhold på de to lokalitetene var relativt like, på hhv. 21 % i det vestre feltet og 25 % i det østre feltet. Glødetapet lå på mellom 5 og 6 % for begge felt. Dette indikerer at det ikke er innhold av leire eller organisk materiale som er avgjørende for at infiltrasjonskapasiteten er noe bedre på det østre feltet enn det vestre. Det bør imidlertid gjøres flere slike undersøkelser før endelig konklusjon kan trekkes, ettersom også andre forhold kan spille inn.



Figur 39. Infiltrasjonskapasitet i tre transekter på det østre feltet.

I det østre feltet ble det gjennomført jordfuktighetsmålinger i den naturlige vegetasjonen langs elva, i vegetasjonssonen og på åkeren. Jordfuktigheten var lavest i den naturlige vegetasjonen mellom elv og vegetasjonssone, med en gjennomsnittlig jordfuktighet på 18 %. I den grasdekte vegetasjonssonen var den gjennomsnittlige jordfuktigheten i de tre transektene hhv 32 %, 32 % og 33 %, mens på jordet var den 30 %. Figur 40 viser variasjonen i jordfuktigheten i de tre transektene. Infiltrasjonskapasiteten i to av forsøkene var høy i den naturlige kantvegetasjonen noe som ican forklare lavere jordfuktighet. Det var bare små forskjeller i jordfuktighet mellom vegetasjonssone og åker.



Figur 40. Jordfuktighet i det østre feltet.

5. Konklusjoner og anbefalinger

5.1 Kanterosjon

Denne undersøkelsen har vist at det pågår aktiv kanterosjon langs med den undersøkte elvestrekningen. Erosjonspinnene viser at det flere steder skjer ras og utglidinger. I enkelte lokaliteter er det tildels kraftig erosjon langs med kantene, og det er meget sannsynlig at denne erosjonen er menneskeskapt, enten ved tre-fellinger langs vassdraget, anleggsarbeid, eller jordbruksaktivitet. I forhold til sistnevnte sannsynliggjør bl.a. sprekkedannelser langs med elva at bruk av tunge maskiner langt ut til elvekanten kan bidra til å øke erosjonsratene.

Det som er overraskende er at vi ikke kan se noen tydelige endringer i elveløpet i løpet av de siste 50 år. Vi vet ikke om dette kan skyldes at elveløpet forbygges, eller om pløying ut til kanten kan «dekke over» erosjonsspor, eller om det kan finnes andre årsaker. Imidlertid vet vi at elva hadde brutt gjennom og dannet et nytt løp, med en avsnørt meandersjø, ved erosjonspinne-lokalitetene 10 og 11, hvis det ikke hadde vært for forbygginger. En slik avsnøring ville ha ført til økt vannhastighet som igjen kunne ha ført til mer kraftig kanterosjon, og på sikt nye løpsendringer. Av den årsak fungerer grunneiernes forbygginger sannsynligvis som erosjonsvern, ikke bare der de bygges, men for elveløpet som helhet.

Sedimentet i elvekantene er rikt på fosfor, og elveerosjonen bidrar derfor til eutrofieringen av nedstrøms innsjø, Bjørkelangen. Innholdet av fosfor ser først og fremst ut til å være bestemt av leireprosenten i sediment/jord. Elvesedimentet inneholder noe mindre leire, og derfor mindre fosfor, men de er sannsynlig at leireprosenten her er lavere fordi de fineste partiklene er erodert med elvevannet nedover i vassdraget. I så fall vil disse ha bidratt til eutrofiering av nedstrøms innsjø, Bjørkelangen.

Omfanget av kanterosjonen er utfordrende å kvantifisere. Vi kan foreløpig påvise at det eroderes materiale, mens det er meget utfordrende å kvantifisere mengdene. Vi arbeider imidlertid videre med mulige fremgangsmåter for å få til dette.

5.2 Vegetasjonssoner

Målinger av infiltrasjonskapasitet varierer kraftig og det bør tas flere slike målinger før sikre konklusjoner kan trekkes. Infiltrasjonskapasiteten i vegetasjonssonene var i snitt noe bedre enn på spirende åker. Dette kan bety at overflateavrenning fra spirende åker kan infiltreres og renses gjennom jordprofilen i vegetasjonssonen. I tillegg kan jordpartikler fra åker sedimentere på vegetasjonssonen. Vi fant imidlertid bare små forskjeller i infiltrasjonskapasitet i åker i stubb og i grasdekt vegetasjonssone. Infiltrasjonsmålingene antyder videre at hyppig belastning med tunge landbruksmaskiner i vegetasjonssonen kan medføre redusert infiltrasjonskapasitet, noe som vil redusere effekten av vegetasjonssonen.

Det er relativt små variasjoner i konsentrasjoner av fosfor i jordprøvene. P-AL tall og innhold av totalfosfor i vegetasjonssonene var i noen tilfeller litt lavere i vegetasjonssonen enn på åkeren, men i andre tilfeller var det omvendt. Vegetasjonssonen i vestre felt har blitt

fullgjødslet. Det er behov for flere analyser av jord fra ugjødslete vegetasjonssoner før vi kan trekke noen konklusjoner om jorda i slike soner etterhvert vil ha lavere fosfornivå enn i den tilstøtende åkeren.

5.3 Anbefalinger til forvaltningen

I første rekke anbefales følgende:

- Kanterosjon bidrar med både jordpartikler og fosfor til vassdraget. Kanterosjonen ser ut til å være størst der det ikke er trær og større busker med velutviklet rotsystem langs med elva. Fjerning av trær ga f.eks. kraftig erosjon langs en strekning rett nedstrøms Lierfoss. Tilgjengelig litteratur om emnet tilsier det samme. Med en sannsynlig økning i flomfrekvens fremover vil det bli økt behov for å forebygge tap av jord gjennom kanterosjon og skred. Informasjon bør derfor formidles om at trær langs elva er nyttig for å unngå erosjon. Virkemidler for å beholde trær og busker langs med vannløpene bør vurderes. Det er imidlertid viktig å skjømte trærne, så en unngår at trær velter ut i elveleiet. Ved tilplanting av trær er det også viktig å velge tresorter med et rotsystem som armerer best mulig.
- Hittil er vegetasjonssoner stort sett brukt som et rensetiltak mot overflateavrenning, og grasproduksjon kan derfor være en fornuftig arealbruk i sonene. Infiltrasjonstester utført så langt viste at vannet renner lettere ned i jorda i vegetasjonssonen enn på spirende åker, men at det ikke var store forskjeller mellom vegetasjonssonen og åker i stubb. Hvis vegetasjonssoner også skal være et middel mot kanterosjon kan det være gunstig å tilplante vegetasjonssonene med spredte «lysåpne» trær. På den måten vil vegetasjonssonen både armere kanten og opprettholde et tett marksjikt som bremser opp vannet, samt sørge for gode infiltrasjonsbetingelser. Det må derfor vurderes nærmere hva som skal være *hensikten* med vegetasjonssoner.
- Jordbrukerne som driver de to vegetasjonssonene vi har undersøkt har gjort alt etter boka: De opprettholder grasvegetasjon mot elva; og en av dem har søkt og fått tillatelse til å fullgjødsle for å øke grasproduksjonen. Før regelverket eventuelt endres er det behov for ytterligere undersøkelser om virkning av ulike typer vegetasjon ned mot elveløp, både i forhold til å redusere overflateavrenning og kanterosjon. Dette bør gjøres for å få til stedstilpassete miljøtiltak med best mulig effekt mot jord- og fosfortap, samtidig som tapet av produksjonsareal ikke blir for stort. Bøndernes erfaringer er viktige å få med i denne sammenheng.

5.4 Behov for ytterligere undersøkelser

For å komme videre i dette arbeidet er det nødvendig å fortsette å undersøke prosesser knyttet til kanterosjon og vegetasjonssoner. Vegetasjonssoner er et vidt begrep, og kan omfatte alt fra gjødslet grasproduksjon til naturlig kantvegetasjon. Virkninger av ulike typer vegetasjonssoner bør undersøkes bedre, i dag har vi ikke gode nok data på dette, selv om denne undersøkelsen har gitt noe mer informasjon. Kan det f.eks. tenkes at det, på flate områder, kan være vel så nyttig med et smalere belte av tett markvegetasjon med spredte trær (naturlig eller tilplantet) enn et bredt belte med grasproduksjon? Kan det tenkes at vi får bedre

effekt av vegetasjonssoner når de kombineres med grasdekte vannveier, evt. vinterdekke med stubb i dråg ned mot resipienten? Disse, og mange andre spørsmål, kan vi per i dag ikke gi gode nok svar på. Konkrete oppfølgingsoppgaver kan derfor omfatte:

- Undersøkelser av vegetasjonssoner som ikke består av grasproduksjon men mer naturlig vegetasjon. Her trengs bl.a. data om fosfornivå og infiltrasjonskapasitet.
- Undersøkelser i smalere vegetasjonssoner med tett marksjikt og spredte trær i forhold til redusert erosjon og tap av sedimenter og næringsstoffer.
- Undersøke effekten av grasdekte vannveier i dråg i tillegg til en smal naturlig eller tilplantet vegetasjonssone i forhold til effekten ved å ha én bred vegetasjonssone langs vassdraget.
- Undersøke effekten av å beholde stubb i dråg om vinteren i forhold til å pløye hele jordet.
- Undersøkelser av vegetasjonssoner med grasproduksjon som ikke har vært gjødslet, for å vurdere om fosfornivået i jorda reduseres på sikt. Dette kan enten gjøres ved å kontakte jordbrukere i vassdraget for å få historikken til vegetasjonssonene deres, eller ved å opprette langtidsforsøk i noen soner. Samtidig vil det da være naturlig også å undersøke produksjonstapet av gras på sikt.
- Undersøkelser om optimal bredde av ulike typer soner, dette for å få vegetasjonssonene så kostnadseffektive som mulig (minst mulig reduksjon av produktiv matjord).
- Undersøkelser som gir økt kunnskap om prosessene som styrer kanterrosjonen i norske leirevassdrag.
- Undersøke ulike typer tresorter i forhold til hvor egnet rotsystemet er som erosjonssikring.
- Landmålinger av elvekantene ble utført høsten 2013 av to elveskråninger, og planlegges utført våren 2014. Når vi får resultater kan vi vurdere om metoden er tilstrekkelig detaljert til å gi informasjon om erosjonsrater.
- Metoder for å oppskalere resultatene av både erosjonsspinner og evt. landmålinger bør utvikles.

6. Referanser

- Bartley, R., Keen, R. J., Hawdon, A. A., Disher, M. G., Kinsey-Henderson, A. E. and Hairsine, P. B. 2006. Measuring rates of bank erosion and channel change in northerne Australe: a case study from the daintree River catchment. CSIRO Land and Water Science Report 43/06: 51 pp.
- Bechmann, M.E., Kleinman, P.J.A., Sharpley, A.N. and Saporito, L.S. 2005a. Freeze-thaw effects on phosphorus loss in runoff from manured and catch-cropped soils. *J. Environ. Qual.* 34: 2301-2309.
- Beeson, C.E. og Doyle, P.F. (1995) Comparison of bank erosion at vegetated and non-vegetated channel bends. *Jawra – Journal of the American Water Resources Association.* Vol. 31 (6): 983-990.
- Bull, L.J. 1997. Magnitude and variation in the contribution of bank erosion to the suspended sediment load of the River Severn, UK. *Earth Surface Proc. and Landforms.* Vol 22, No. 12: 1109-1123.
- Caitcheon, G.G., Olley, J. M., Pantus, F., Hancock, G., Leslie, C. 2012. The dominant erosion processes supplying fine sediment to three major rivers in tropical Australia, the Daly (NT), Mitchell (Qld) and Flinders (Qld) Rivers. *Geomorphology* 151–152: 188-195.
- De Rose, R.C. og Basher, L. R. 2011. Measurement of river bank and cliff erosion from sequential LIDAR and historical aerial photography. *Geomorphology* 126: 132–147.
- Dorioz, J.M., Wang, D., Poulenard, J., Trevisan, D. 2006. The effect of grass buffer strips on phosphorus dynamics—A critical review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117 (2006) 4–21.
- Fox, G.A. & Wilson, G. V. 2010 The Role of Subsurface Flow in Hillslope and Stream Bank Erosion: A Review. *Soil Sci Soc Am J* Vol 74, 3: 717-733.
- Greipsland, I. og Bechmann, M. 2013. Overvåking Haldenvassdraget 2012/2013. Resultater fra 21 elver og bekker. *Bioforsk rapport Vol. 8 Nr. 106* 2013.
- Helmers, M.J., Eisenhauer, D.E., Dosskey, M.G., Franti, T.G., Brothers, J.M. and McCullough, M.C. 2005. Flow pathways and sediment trapping in a field-scale vegetative filter. *Trans. ASAE* 48:955–968.
- Hjulstrøm, F., 1939, Transportation of debris by moving water, in Trask, P.D., ed., *Recent Marine Sediments; A Symposium: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists*, p. 5-31.
- Hoffmann, C.C., Kjaergaard, C., Uusi-Kämppä, J., Hansen, H.C.B., Kronvang, B. 2009. Phosphorus Retention in Riparian Buffers: Review of Their Efficiency. *J. Environ. Qual.* 38:1942–1955 (2009). Hooke, J.M., 1979. An analysis of the processes of river bank erosion. *Journal of Hydrology*, 42: 39-62.
- Hooke, J.M., 1980. Magnitude and distribution of rates of river bank erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 5: 143-157.

- Hudson, N., Baker, A. and Reynolds, D. (2007) Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted waters-a review. *River research and applications* 23, 631-649.
- Kronvang, B., Baatrup-Pedersen, Ejrnæs, R., Schou, J.S., Jørgensen, U. og Børgesen, C. 2008. Udyrkede bræmmer og randzoner langs vandløb og søer. Kortlægning af risikoarealer for fosfortab i Danmark. B3: Arealændringer i risikoområder. Årgang 1, 2008 Nr. B3, vers. 1.
- Liu, X., Zhang, X. and Zhang, M. 2008. Major Factors Influencing the Efficacy of Vegetated Buffers on Sediment Trapping: A Review and Analysis. *J. Environ. Qual.* 37:1667–1674.
- Laubel, A., Svendsen, L.M., Kronvang, B., and Larsen, S.E. 1999. Bank erosion in a Danish lowland stream system. *Hydrobiologia* 410: 279-285.
- Lawler D.M. 1993. Needle ice processes and sediment mobilization on river banks: the River Ilston, West Glamorgan, UK. *J Hydrology*; Volume 150, 1: 81–114
- Lawler, D.M. 2008. Advances in the continuous monitoring of erosion and deposition dynamics: Developments and applications of the new PEEP-3T system. *Geomorphology* 93: 17-39.
- Micheli, E.R., Kirchener, J.W., Larsen, E.W. 2004. Quantifying the effect of riparian forest versus agricultural vegetation on river meander migration rates, Central Sacramento River, California, USA. *River Res. Applic.* 20: 537–548 (2004)
- Midgley, T.L., Fox, G.A., Heeren, D.M. 2012. Evaluation of the bank stability and toe erosion model (BSTEM) for predicting lateral retreat on composite streambanks. *Geomorphology* 145-146: 107-114.
- Minella, J.P.G., Walling, D.E., Merten, G.H. 2008. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. *J Hydrol.* 348: 546-563.
- Poulsen, H. D og Rubæk, G. H. (red). 2005. Fosfor i dansk landbrug. Omsætning, tab og virkemidler mod tab. DJF rapport Husdyrbrug nr. 68 December 2005.
- Roddy, B.P. 2010. The use of the sediment fingerprinting technique to quantify the different sediment sources entering the Whangapoua estuary, North Island, in New Zealand. PhD thesis, University of Waikato, New Zealand.
- Syversen, N. 2002. Cold Climate vegetativ 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. og Syversen, N. 2008. Videreutvikling av vegetasjonssoner som rensefilter for overflateavrenning – Effekt av ulik vegetasjon og variasjon i renseeffekt over tid. Bioforsk rapport, Vol 3, Nr 2, 2008.
- Uusi-Kamppa, J. 2007. Effects of freezing and thawing on DRP losses from buffer zones. p. 169-172. In G. Heckrath et al. (ed). Diffuse phosphorus loss, The 5th International phosphorus Workshop (IPW5). DJF Plant Science no. 130.
- Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Sci. Tot. Env.* 344 (2005): 159-184.

Øgaard, A. F. Freezing and thawing effects on phosphorus release from grass and cover crop species. (in prep.).

7. Vedlegg

Vedlegg 1. Sediment- og jordprøver: Analyseresultat kjemi og leire%

Jordprøver fra åker og vegetasjonssone:

Type substrat*		vs	åk	vs	åk	veg	åk	åk	åk	åk	vs	åk	vs	åk	vs	åk
Nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Parameter	Enhet															
Volum-vekt	kg/L	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.4	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3
pH		6.2	6.8	6.4	6.2	6.4	6.5	5.5	5.5	5.5	6.2	6.0	6.0	6.0	6.7	6.5
Fosfor (P-AL)	mg/100g	7.6	12	9.7	9.6	13	9.7	9.2	6.7	5.4	2.7	6.4	3.9	4.9	10	13
Kalium (K-AL)	mg/100g	7.1	15	8.4	14	12	13	26	25	20	6.8	23	6.3	21	6.6	27
Magnesium (Mg-AL)	mg/100g	4.5	7.4	8.0	9.7	13	9.7	3.2	2.0	3.5	2.6	3.8	4.2	5.3	3.1	5.3
Kalsium (Ca-AL)	mg/100g	160	200	180	140	180	140	40	35	43	100	100	95	97	200	190
Natrium (Na-AL)	mg/100g	<5.0	<5.0	<5.0	6.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Glødetap	% TS	7.0	6.6	6.4	5.3	5.6	4.4	6.4	5.9	4.6	5.3	6.8	4.7	4.9	5.9	6.7
Fosfor	mg/kg	920	990	960	830	1000	840	920	860	830	650	780	760	780	1000	1100
Leir-innhold	%	21	22	23	27	30	24	20	20	17	18	21	17	21	22	25

vs: Vegetasjonssone

åk: Åker

Sedimentprøver elvekant.

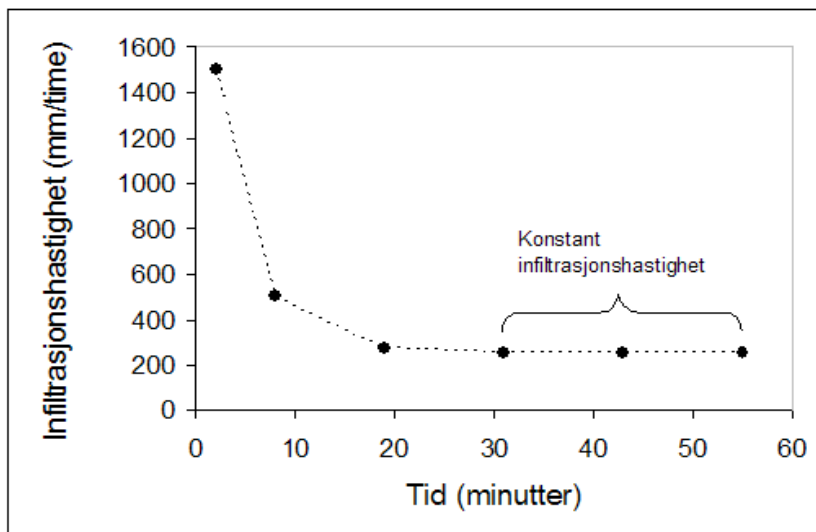
Type substrat		Sediment fra elvekant									
Nr		s1*	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10
Parameter	Enhet										
Volumvekt	kg/L	1.4	1.7	1.7	1.5	1.2	1.4	1.3	1.6	1.7	1.4
pH		7.3	6.0	6.0	6.4	6.0	5.7	5.7	5.8	5.8	5.5
Fosfor (P-AL)	mg/100g	10	<2	<2	2.6	4.4	2.3	2.9	3.5	2	1
Kalium (K-AL)	mg/100g	37	3.0	5.0	4.3	7.1	5.7	6.0	4.9	2.6	3.4
Magnesium (Mg-AL)	mg/100g	52	8.1	11	13	13	9.3	5.9	7.1	3.8	2.1
Kalsium (Ca-AL)	mg/100g	150	42	48	69	40	60	41	56	30	20
Natrium (Na-AL)	mg/100g	5.7	<5.0	<5.0	<5.0	5.4	<5	<5	<5	<5	<5
Glødetap	% TS	1.9	2.1	2.6	2.5	4.3	3.9	2.9	3.1	1.9	2.5
Fosfor	mg/kg	690	580	590	630	660	730	710	700	550	610
Leirinnhold	%	63	13	12	14	11	16	16	14	14	17

* Tatt fra bunnen av elva, rett oppstrøms en liten demning ved Lier gård. Meget spesielt materiale, jf. den høye leireprosenten, uten at fosfornivået er tilsvarende høyt. Var blålig på farge. Er foreløpig ikke diskutert videre i rapporten siden det er såpass avvikende fra øvrige sedimentprøver.

Sedimentprøver elvebunn:

Type substrat		Elvesediment - bunn						
Nr		1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A
Parameter	Enhet							
Volumvekt	kg/L	1.7	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.4
pH		6.5	6.5	6.4	6.3	6.2	6.5	6.3
Fosfor (P-AL)	mg/100g	5.9	2.5	3.7	4.8	2.0	<2	7.7
Kalium (K-AL)	mg/100g	11	3.9	8.5	6.6	3.1	2.9	10
Magnesium (Mg-AL)	mg/100g	17	5.2	21	13	4.0	3.8	23
Kalsium (Ca-AL)	mg/100g	93	42	81	57	37	36	71
Natrium (Na-AL)	mg/100g	<5	<5	6.9	<5	<5	<5	6.1
Glødetap	% TS	3.3	1.5	4.7	1.6	1.4	1.2	2.6
Fosfor	mg/kg	770	520	630	600	540	520	840
Leirinnhold	%	21	6	16	14	5	4	22

5	0	12	$((60 - 10)/(12 - 0)) * 60 = 250$
6	0	12	$((60 - 10)/(12 - 0)) * 60 = 250$



Vedlegg 3. Detaljert tabell, erosjonsspinner.

Nr.	Satt ned dato	Beskrivelse *	Tidsforløp
1	26.06.2012	3 pinner, øverste ca. 50 cm fra kanten.	I juli 2013 ble det satt inn ny topppinne (50 cm fra kant) siden den første ikke ble gjenfunnet. I november var denne på samme sted som i juli, dvs 50 cm fra kant. Utgliding i dette området på omlag 10 meters bredde. Mulig at denne utgliding da har vært en halvmeter dyp eller med.
1,5	1. juli 2013	To pinner satt ned, en på land 70 cm fra kanten, og en 95 cm ned i skråningen (165 cm fra øverste pinne).	November 2013: samme avstand som i juli.
2	26.06.2012	3 pinner, øverste ca. 127 cm fra kanten.	den 1. juli var øvre pinne 73 cm fra kanten, kanten er rast ut i 7 meters lengde, 0,5 meters bredde, ca 2 meter dypt -> omlag 7 m ³ glidd ut. (Mye av dette ligger fremdeles langs kanten). November 2013: Fremdeles 73 cm til kanten.
3	26.06.2012	3 pinner, den øverste 82 cm fra kanten.	den 9. september 2012 hadde de to nedre pinnene erodert bort, det hadde gått et lite ras, og to av pinnene var borte. Dette viser at det pågår aktive erosjonsprosesser i området. Den 1. juli 2013 var igjen alle pinner erodert bort. November 2013: Øverste pinne var nå 40 cm fra kanten. 120 cm mellom pinnene. Raset er nå 7 meter langt.
4	26.06.2012	3 pinner, den øverste ca. 24 cm fra kanten.	April 2013: Så de to øverste (nederste dekket av vann). November 2013: Fant ikke igjen pinnene.
5	26.06.2012	3 pinner, den øverste 40 cm fra kanten.	Her hadde det mellom april og juli skjedd et lite ras, og den midterste pinnen var seget ned mot vannkanten. November 2013: Fant ikke igjen pinnene, en 1,5-2 meter bred og 4 meter lang grøft fra åker og ned til elva har rast ned.
6	10.09.2012	To pinner ved siden av hverandre i vannkanten.	Ikke gjenfunnet i april 2013 pga is (figur ___) og i juli pga kraftig vegetasjon – men fant begge pinner i vannkanten i november.
7	10.09.2012	To pinner – ved kanten og	Juli 2013: Begge pinner fremdeles

		vann-nivå. Den øverste pinnen ca. 130 cm fra kanten.	der og med samme avstand til kanten. Imidlertid utgliding av masser rett oppstrøms. November 2013: Ytterligere utrasning har skjedd – øverste pinne nå 55 cm fra kanten. 75 cm er altså erodert. Flere små utglidinger, tilsammen ca 7 meter lange.
8	10.09.2012	2 pinner, i vannkanten og en som var 40 cm. fra kanten.	I juli 2013 fant vi igjen pinnen i vannkanten men ikke den oppe. November: Fant ikke igjen pinnene. Kraftig kjerr ned mot elva.
9	10.09.2012	Dette er et utløpsrør fra en grøft. Kun en pinne ble satt ned.	I 2012 fant vi igjen erosjonspinnen i ulike stadier på vei ut i elva, og i 2013 var den borte. Så den ikke i november 2013 heller.
10	10.09.2012	Her er elva forbygd. En pinne ble satt ned 35 cm fra kanten.	I april 2013 ble pinnen funnet igjen samme sted, men i juli var pinnen bøyd. Vi rettet den ut og flyttet den ca. 20 cm fra kanten. November 2013: Pinnen gjenfunnet 5 cm fra kanten.
11	10.09.2012	Her er elva forbygd. En pinne ble satt ned 60 cm fra kanten.	I april 2013 var det ikke lett å se hvor langt det var til kanten siden pinnen stod i gjørme i vann-nivået, men i juli 2013 var pinnen bare 20 cm fra kanten. Vi vet ikke om den er blitt manuelt flyttet. I november 2013 var pinnen helt ute på kanten, bak en tømmerstokk.
12	10.09.2012	2 pinner, vann-nivå og 66 cm fra kant.	Disse pinnene fant vi ikke igjen verken i april, juli eller november 2013.
12,5	01.07.2013	I juli 2013 satte vi ned to nye pinner i lokalitet 12, ca. 2 meter mellomrom mellom pinnene. Tre-bevokst kant.	Fant disse igjen i november, ingen endringer her.
13	10.09.2012	2 pinner, i vann-nivå og ved kanten, 60 cm fra kant men i vegetasjon.	I april ble begge pinner gjenfunnet, ingen synlig erosjon. I juli var markøren mellom luft og sediment 15 cm fra bakken – vi er usikre på om dette betyr at den er blitt løftet opp av is eller om den er «skrudd opp» av driv-is. Ingen endring i november 2013.
13,5	01.07.2013	Satte ut en ny pinne rett nedstrøms nr. 13.	Pinnen str 40 cm opp fra bakken. Ingen endring i november 2013.

14	10.09.2012	2 pinner satt ned, i vann-nivå og 65 cm fra kant.	November 2013: Fant igjen begge pinnene – nå ca. 50 cm til kant, og 2,5 m mellom de to pinnene. Fra øverste pinne og til større trestamme i sørøst: 78 cm.
15	01.07.2013	Rett ved vegetasjon, ikke langt fra ras-kant: 1 pinne satt ned 1 meter fra ras-kant.	Ingen endring i november 2013.
16	01.07.2013	2 pinner satt ned, kant og i vann-kant, 3,20 meters mellomrom.	Ingen endring i november 2013.

* Med «kanten» menes det punktet hvor åkeren/vegetasjonssonen begynner å skråne kraftig ned mot elva. I denne elvestrekningen er denne overgangen som regel meget tydelig.

