

Uttesting av metoder for kvantifisering av kanterosjon i leirvasdrag, og betydning av kanterosjon for fosfortap til vannforekomstene

Av Eva Skarbøvik

Eva Skarbøvik er seniorforsker ved NIBIO (Norsk institutt for bioøkonomi).

Summary

Title: Bank erosion in streams – Assessment of quantification methods and importance for phosphorus losses

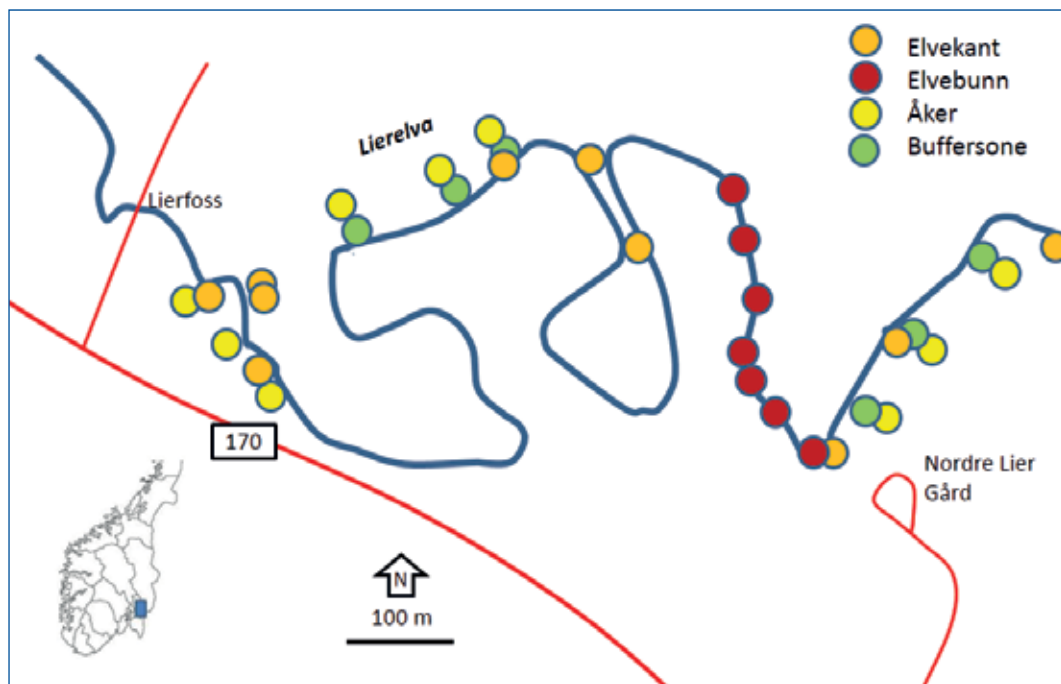
This study has investigated the phosphorus levels in riverbank material, and assessed five different methods to quantify bank erosion in agricultural rivers draining marine clay deposits. The average level of total phosphorus (TP) in the bank material in two rivers was about 700 mg TP/kg. This was somewhat lower than in the agricultural fields, but the difference was closely linked to the content of clay size particles and organic matter in the sediment. The tested bank erosion methodologies included field observations, erosion pins, photogrammetry (3D photography), evaluation of changes in river channel morphology by using historical orthophotos, and chemical fingerprinting techniques. None of these methods was found to be optimal for quantifying the erosion in this type of river, but a combination of simple field surveys and erosion pins enabled a rough estimate of the bank erosion. Of 13 locations where erosion could be quantified, four locations had no detectable erosion and nine had erosion rates ranging from 100 to more than 1500 kg sediment per meter riverbank and year. The highest erosion rates were found at a location where a row of trees had been cut down.

Sammendrag

Artikkelen presenterer resultater fra analyser av fosforinnhold i sediment i elvekanter, samt uttesting av fem ulike metoder for å kvantifisere kanterosjon i to leirelver på Østlandet. Gjennomsnittlig innhold av totalfosfor i kantsedimentet var om lag 700 mg/kg. Fosforinnholdet i kantsedimentet var noe lavere enn i åkerjorda, men denne forskjellen kunne forklares med en lavere andel leirfraksjoner og organisk materiale i kantsedimentet. Metodene som ble testet ut for å kvantifisere kanterosjon, omfattet gjentatte befaringer og fotografering av elvekantene, erosjonsspinner, fotogrammetri (3D-fotografering), sammenligning av elveløpsform med historiske flyfoto, samt kjemisk sporing av sedimentet. Konklusjonen var at ingen av de utprøvde metodene er optimale, men at erosjonsspinner kombinert med fotografering under befaringer kan gi et grovt estimat av erosjonen. Av 13 lokaliteter var det fire hvor det ikke ble påvist erosjon, og ni lokaliteter hvor beregnede erosjonsrater utgjorde fra 100 til mer enn 1500 kg sediment pr. lengdemeter elvebredde og år. Den mest omfattende erosjonen ble funnet ved en lokalitet hvor trær langs elvekanten var kuttet ned.

Innledning

I forbindelse med gjennomføringen av vannforskriften er det stilt spørsmål om erosjon langs elve- og bekkeløp kan utgjøre en vesentlig tilførsel



Figur 1. Kartutsnitt av Lierelva med lokaliteter for sediment- og jordprøver. Elva renner fra venstre mot høyre, og løper ut i Bjørkelangen, ca. 6 km nedstrøms.

av fosfor. I leirvassdrag under marin grense kan slik kanterosjon tilføre naturlig fosfor til elva, siden leira er rik på mineralsk fosfor (apatitt-P). Norske leirelver drenerer ofte et landskap med intensiv jordbruksaktivitet, og kanterosjon kan derfor medføre økte tilførsler også av landbruksrelaterede næringsstoffer.

Tidligere undersøkelser har vist at kanterosjon kan tilføre en betydelig andel av sedimenter til elvevann, alt fra 4-90% av det suspenderte sedimentet i elva (f.eks. Laubel m.fl. 1999; Walling 2005; Caitcheon m.fl. 2012). Bogen og Sandersen (1991) undersøkte sedimentkilder i Leiravassdraget på Romerike, og fant at sedimentbidraget fra kanterosjon var særlig høyt etter større flommer. De beregnet at kanterosjonen i slike perioder utgjorde ca. 70% av alt suspendert sediment i elva, mens erosjon fra landbruksjord utgjorde ca. 30%. Tilsvarende viste Bull (1997) at kanterosjonen i elva Severn i Storbritannia utgjorde om lag 64% av all sedimenttransport i perioder med høye vannføringer, mens den i snitt bidro med om lag 38%. Et klima

med mer nedbør og hyppigere flomepisoder kan med andre ord gi økt kanterosjon. Minella m.fl. (2008) demonstrerte at kanterosjon kan kamuflere virkningen av miljøtiltak på jordet. De viste at redusert jordarbeiding ga mindre tap av jord fra åkrene, men samtidig økte bidraget av sediment fra kanterosjon. Dermed ble ikke sedimenttransporten i elva redusert.

Kanterosjon styres av flere ulike faktorer, som kantsedimentets fuktighet, kornfordeling, pakking og lagdeling; skråningens helling, fasong og lengde; hydrologiske forhold (herunder vannhastighet i elva og tidsperioden mellom flomepisoder); nedbørmengde og -intensitet; samt temperaturforhold (herunder fryse-tine-prosesser) (Fox og Wilson 2010; Hooke 1979; 1980). Erosjonen kan variere betydelig i tid og rom, og det er vanskelig å forutsi hvor og når erosjonen vil foregå. Derfor er dette en utfordrende prosess å kvantifisere (eks. Lawler 2008; Hooke 1980).

NIBIO har over en 2-årsperiode (2012-2014) testet ut ulike metoder for å kvantifisere kanterosjon i norske leirvassdrag. For å vurdere



Figur 2. Kartutsnitt av Hobøelva med lokaliteter for sedimentprøver med fosforanalyser. Nummererte prøver henviser til nummereringen i figur 6 og 7, se Aakerøy m.fl. (2008) for detaljerte beskrivelser av hver lokalitet.

kanterosjonens betydning for fosfortap ble det også tatt analyser av fosforinnholdet i kantmaterialet. I denne artikkelen oppsummeres resultatene av disse undersøkelsene. Data er hentet fra en strekning av Lierelva, som er den største tilførselselva til innsjøen Bjørkelangen i Haldenvassdraget, Østfold fylke, figur 1. Enkelte tidligere undersøkelser fra Hobøelva, som til nå kun har vært beskrevet i et Bioforsk-notat (Aakerøy m.fl. 2008), samt noen nyere undersøkelser fra samme elv er også benyttet i denne artikkelen, figur 2. Hobøelva er den største tilførselselva til innsjøen Vansjø i Østfold fylke.

Metodikk

Kjemisk analyse av sedimentet

I Lierelva, figur 1, ble det i 2013-14 tatt prøver av følgende typer materiale: Kornåker (9 stk), grasledd buffersone (6 stk), elvekanter (10 stk) og bunnsediment i elva (7 stk). Hver prøve ble tatt som blandprøve, med unntak av elvebunnsprøvene som ble tatt opp med sedimenthenter. Prøvene ble analyserte ved et akkreditert laboratorium for totalfosfor, P-Al, leirinnhold og glødetap. P-Al er en betegnelse på fosforfraksjonen som fås ved å analysere med Ammoniumacetat-laktat løsning. Fraksjonen benyttes ofte i jordbruksammenheng, hvor det regnes med at høye P-Al-verdier i jord betegner høy andel plantetilgjengelig fosfor.

I Hobøelva, figur 2, ble det i 2008 tatt 26 sedimentprøver fra elvekanter, to prøver av rasmateriale fra et leirskred ved Våler i 2008, og tre prøver fra jord fra kornåker ved Våler (Aakerøy m.fl. 2008). Samtlige prøver ble tatt fra en strekning under marin grense på om lag 20-25 km i luftlinje. De tre jordprøvene ble tatt som samleprøver fra raskanten etter leirskredet, fra hhv. 0-20 cm, 40 cm og 80 cm dyp. To av prøvene (nr. 7 og 11, figur 2) bestod hovedsakelig av blåleire. I tillegg til totalfosfor og P-Al-nivå ble også totalt reaktivt fosfor (TRP) undersøkt i dette sedimentet. Krogstad og Løvstad (1991) viste at TRP samsvarer godt med algetilgjengelig fosfor i algetester. Åtte av prøvene fra elvekantene og de tre jordprøvene ble også analyserte for 12 grunnstoff i henhold til NS EN ISO 11885: Bly, kobber, nikkel, aluminium, jern, kalium, kalsium, magnesium, mangan, natrium, krom og kobolt. Disse analysene ble benyttet til vurderingen av metoden som kalles kjemisk sporing eller fingeravtrykkmetoden, se under.

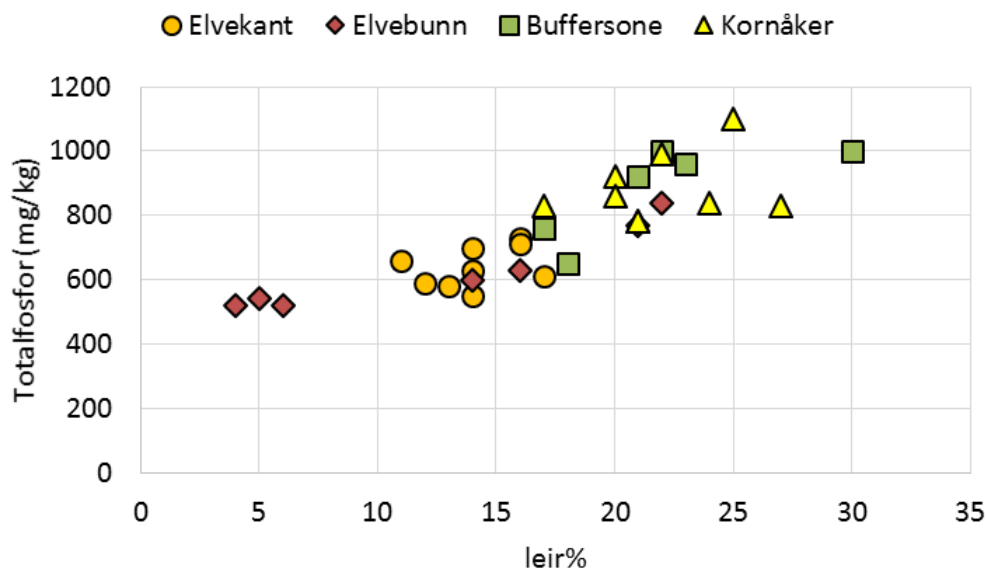
Uttesting av metodikk for kanterosjon

I alt fem ulike metoder for kvantifisering av kanterosjon ble testet ut i perioden april 2012-september 2014. Disse omfattet

- Gjentatte befaringer og fotografering av elvekanter
- Fotogrammetri (3D-fotografering)
- Sammenligning av elveløpsform med historiske flyfoto

Parameter	Enhet	Elvekant	Elvebunn	Buffersone	Kornåker
Fosfor som P-Al	mg/100g	2,3	3,9	7,8	8,5
Totalfosfor	mg/kg	640	631	882	881
Glødetap	% TS	2,9	2,3	5,8	5,7
Leirinnhold	%	14	13	22	22

Tabell 1. Gjennomsnittlig innhold av kjemiske parametere i fire typer sediment/jord, Lierelva, Haldenvassdraget (TS: Tørrstoff).



Figur 3. Forholdet mellom konsentrasjon av totalfosfor (mg/kg) og leireandel (%) for fire ulike jord/sedimenttyper.

- Kjemisk sporing (fingeravtrykksmetoden)
- Erosjonsspinner

Mer informasjon om hver av disse metodene er gitt i avsnittet om Metodetesting, under.

Fosfornivå i kantmaterialet

Tabell 1 viser gjennomsnittskonsentrasjoner av totalfosfor, fosfor som P-Al, glødetap og leirprosent i fire ulike sedimenttyper fra Lierelva. Fosfornivået i buffersonen og på jorden innenfor var i snitt høyere enn i elvekantene og elvebunnen.

Fosfornivået korrelerte godt med leirprosenten, figur 3 (R^2 for hele serien var på 0,72). Tilsvarende hadde korrelasjonen mellom glødetap

og totalfosfor en R^2 på 0,70. Høyt innhold av fosfor i sedimentet hang med andre ord sammen med høyt innhold av leirfraksjoner og organisk materiale. Leire kan inneholde mineralsk fosfor (apatitt-P), samtidig som de mest finkornete partiklene lettere adsorberer fosfor på overflaten. Hvis elvekantene i utgangspunktet består av samme materiale som landbruksjorda, kan det tenkes at de fineste partiklene og mye av det organiske materialet er erodert bort av elvevannet. Det kan også finnes grovere og mer uorganisk materiale i elvekantene som er tilført lenger oppe fra nedbørfeltet.

Funnene i Lierelva skiller seg ikke vesentlig fra de i Hobøelva (Aakerøy m.fl. 2008). I sedimentprøvene fra elvekantene i Hobøelva varierte

totalfosfor-konsentrasjonene mellom 476 og 965 mg/kg, med et snitt på 762 mg/kg. P-Al nivået i kantmaterialet fra Hobøelva var også sammenlignbart med det fra Lierelva; det varierte mellom 0,7 og 6,2 mg/100 g; med et snitt på 2,5 mg/100 g. Totalt reaktivt fosfor i elvekantene til Hobøelva lå i snitt på 323 mg/100 g, og utgjorde ca. 40% av totalfosforet. Variasjonene var store, og i de to prøvene med stor andel blåleire var prosentandelen av reaktivt fosfor 60 og 90%.

Totalt sett viser disse undersøkelsene at det er betydelige mengder fosfor i kantsedimentet i disse to leirelvne, selv om nivået er noe lavere enn på åker og i de grasdekte buffersonene langs Lierelva. Forskjellen ser ut til å skyldes kornfordeling og mengde organisk materiale i sedimentet, og det er derfor sannsynlig at leirfraksjonen av elvesedimentet inneholder like mye fosfor som jordbruksjorda. Undergrunnsjord, inkludert blåleire, har relativt høye verdier av både totalfosfor og algetilgjengelig fosfor, sett i forhold til elvekanten og overflatejord fra åker; men dette er basert på bare tre prøver av undergrunnsjord.

Metodetesting

Gjentatte befaringer av vassdraget

Gjentatte befaringer av samme elvestrekning ved ulike sesonger og etter værepisoder som snøsmelting og flom, vil kunne gi verdifull informasjon om prosesser og sedimentkilder (f.eks. Eyre og Pepperell, 1999). I Lierelva i Haldenvassdraget

ble den samme elvestrekningen befart og fotografert flere ganger i perioden april 2012 – september 2014. Ved hvert besøk ble det observert utglidninger i stadig nye segmenter av elvekanten, noe som viste at det foregikk aktiv erosjon langs med løpet, figur 4. Etter utglidning ble ras materialet ofte liggende igjen en tid nederst i skråningen, før det ble transportert bort av elvevannet. Elveløpet ble derfor mer innsnevret og vannhastigheten forbi rasstedet økte. Enkelte steder resulterte dette i at vannet undergravde skråningen i motstående elvebredd, med brattere skråningsvinkel og påfølgende utrasinger der. Befaringene viste også at reetablering av vegetasjon i rasskråningene ofte gikk raskt i sommerhalvåret (figur 4), og at det derfor var lett å overse enkelte utglidninger hvis det gikk for lang tid mellom befaringsene. Konklusjonen var at befaringer ga nyttig informasjon, men at dette i seg selv ikke ga et godt nok grunnlag til å kvantifisere kanterosjonen.

Sammenligning med historiske flyfoto

Bruk av historiske flyfotografier for å vurdere kanterosjon er bl.a. benyttet av Bartley m.fl. (2006) og De Rose og Basher (2011). I Lierelva ble det benyttet åtte flyfotografier av strekninger oppstrøms Bjørkelangen, tatt 29. mai 1963. Tilsvarende ble det benyttet flyfoto fra Hobøelva nedstrøms Elvestad fra 30. september 1949. For å sammenligne med nåtilstand ble det hentet ut flyfoto fra Norge i bilder (www.norgebilder.no)



Figur 4. Bildene viser et eksempel på utrast elvekant i Lierelva, Haldenvassdraget; 1. juli 2013 (venstre) og 20. august 2013 (høyre). Foto: Eva Skarbøvik.



Figur 5. Bildet av nåtids elveløp i Lierelva (2011) lagt oppå bildet fra 1963, her illustrert før (øverst) og etter (nederst) de to bildene ble helt tilpasset hverandre. Stjerne i nederste bilde: se tekst. (Bildebehandling utført av Torsten Starkloff, NIBIO; bildegrunnlag fra norgebilder.no og Widerøe Flyveselskap AS).

fra 4. juni 2011. Innledningsvis ble bildene undersøkt manuelt, men denne visuelle metoden viste at det var svært små endringer i meanderbuene. Flyfoto fra «nåtid» ble deretter klippet digitalt, slik at kun elveløpet ble igjen. Deretter ble utklippet av elveløpet lagt over det gamle

flyfotografiet, figur 5. En feilkilde var at projeksjonene i de eldre flyfotoene og i kartfoto hentet fra Norge i bilder var ulike. Denne usikkerheten ble forsøkt redusert ved at det ble valgt ut små kartutsnitt om gangen.

Konklusjonen ble at det ikke kunne påvises større endringer i elveløpet på de om lag 50 (Lierelva) og 65 (Hobøelva) årene som hadde gått mellom bildegrunnlagene. Årsaken til denne manglende forflytningen av elveløpet, tross aktiv kanterosjon, er ikke klar. En medvirkende årsak kan være at deler av elveløpet er erosjons-sikret med stein for å hindre videre erosjon. Uten slike forbygninger er det sannsynlig at elva ville ha brutt gjennom meanderbuer enkelte steder, f.eks. ved den røde stjernen i det nederste av fotografiene i figur 5. Det ville i så fall ha økt hastigheten i elva ved dette stedet, med sannsynlig påfølgende økt erosjon og graving nedstrøms. En annen årsak kan være at det foregår et sig i leirmassene mot elva, slik at elveløpet på sikt ikke utvides eller endres på tross av erosjonen langs kantene. Det må også påpekes at metoden som er benyttet til flyfototolkning i denne undersøkelsen er relativt grov, og mindre endringer av elveløpets utforming kan derfor ha blitt oversett. Konklusjonen er allikevel at metoden egner seg dårlig til å vurdere kanterosjon i leirvassdrag i jordbruksområder, siden det tydelig pågår aktiv erosjon uten at løpet flytter seg vesentlig over tid.

Fotogrammetri

Metoden går ut på å ta bilder av elvebredden og så overføre disse til 3D-bilder ved hjelp av et egnet dataprogram. Ved å sammenligne bilder tatt før og etter erosjon kan mengden materiale som er erodert bort beregnes. Pyle m.fl. (1997) testet metoden i en raskt eroderende grusbanke og konkluderte med at metoden ga bedre nøyaktighet enn mange andre metoder. Barker m.fl. (1997) brukte også en slik metodikk og rapporterte at metoden var nyttig, forutsatt at bankene var lett tilgjengelige og godt synlige fra den andre sida av elva.

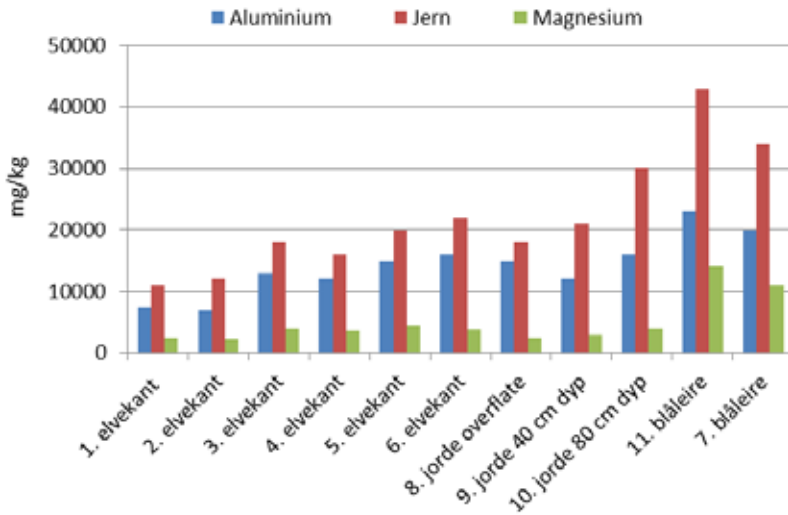
Uttestinger av denne metoden ble gjort både i Lierelva og Hobøelva, og avslørte en del utfordringer. Metoden var avhengig av fastmerker i form av en bro, lyktestolpe eller lignende. Dermed var det bare noen få og ganske korte segmenter av elvebankene som egnet seg. Dataprogrammet som ble benyttet var også noe tidkrevende og krevde opplæring. Det største

problemet var allikevel at fotografering ikke kunne foregå hele året. Om vinteren er elvebreddene dekket av snø og is, mens de om sommeren er dekket av vegetasjon. I tillegg kunne det ikke tas bilder under høy vannføring når vannet dekket elvebreddene. Den beste tiden å ta bilder av skråningene var derfor tidlig om våren, ved lav vannstand, etter snøsmelting, men før plantevekst. Konklusjonen ble at metoden var lite egnet til å beregne total erosjon langs en elvestrekning siden det bare kunne måles på et begrenset antall lokaliteter og i et kort tidsvindu om våren, og metoden ble derfor ikke utforsket videre.

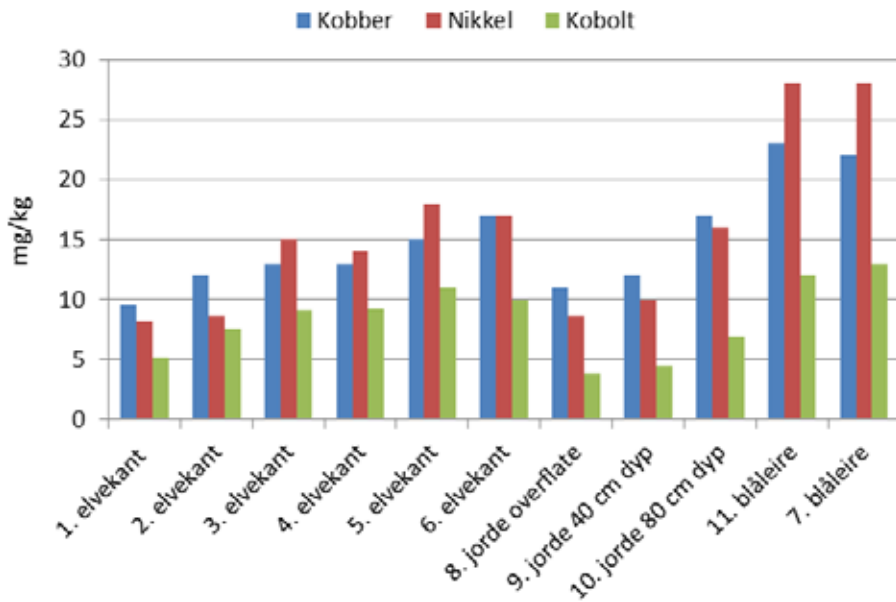
Kjemisk kildesporing

Kjemisk kildesporing kan gjøres ved å studere ulike egenskaper i jordprøver i et nedbørfelt, herunder geokjemi, mineralogi, biomolekyler og radioaktive isotoper, og så sammenligne dette med de samme egenskapene i suspendert sediment i elva (f.eks. Walling 2005, Collins m.fl. 2012). Det skilles mellom metoder som bruker ett sporstoff (som oftest radioaktive stoffer fra atmosfærisk nedfall) og metoder som benytter mange forskjellige egenskaper ved sedimentet (på engelsk «fingerprinting»; på norsk kan vi kalle dette fingeravtrykksmetoden). Metoden som benytter radioaktive stoffer har bl.a. blitt brukt til å skille mellom sedimentkilder i undergrunnsjorda i forhold til overflatejorda (f.eks. Fox og Papanicolaou 2007, Caitcheon m.fl. 2012). Fingeravtrykkmetoden bruker en rekke egenskaper i jordprøver fra ulike kilder på land, og sammenligner dette med tilsvarende egenskaper i det suspenderte sedimentet ved hjelp av statistiske metoder. En viktig forutsetning er at opphavsmaterialet har tydelig forskjellig kjemisk sammensetning, og lovende resultat er gjerne funnet i nedbørfelt med klart ulike sedimentkilder, som åker, vei, gruvedrift, områder som har vært utsatt for skogbranner, osv. (Collins m.fl. 2012, Smith m.fl. 2011, Smith og Blake 2014, Stone m.fl. 2014).

For å undersøke om metoden kunne benyttes i norske leirelver ble sedimentprøvene fra Hobøelva benyttet, figur 2. Resultatene av analyser av



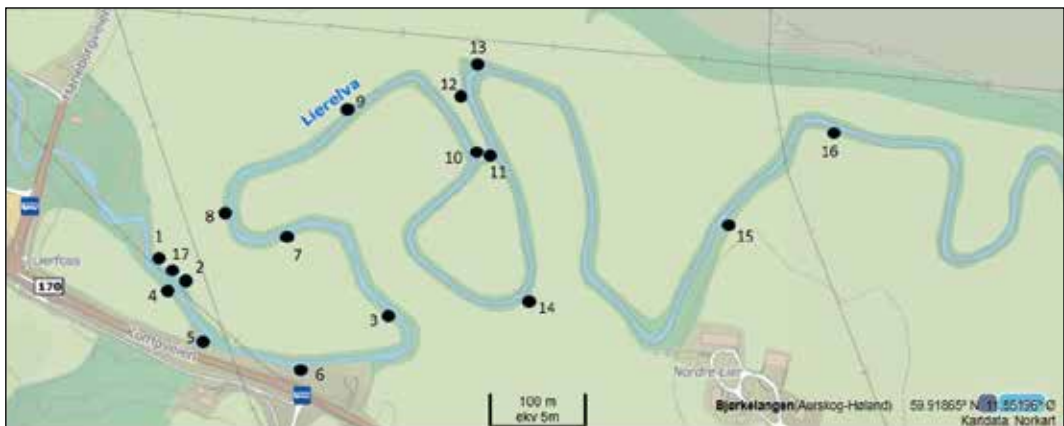
Figur 6. Innhold av aluminium, jern og magnesium i sediment fra elvekanter, jord fra åker og undergrunnsjord langs Hobølelva.



Figur 7. Innhold av kobber, nikkel og kobolt i sediment fra elvekanter, jord fra åker og undergrunnsjord langs Hobølelva.

12 ulike grunnstoff viste at den kjemiske sammensetningen var relativt lik for overflatesediment og -jord, som illustrert for seks av stoffene i figurene 6 og 7. De to prøvene av blåleire og

åkerprøven fra 80 cm dyp viste imidlertid noe høyere innhold av de undersøkte metallene enn prøvene tatt fra elvekanter og i 0-40 cm sjiktet i åkeren. Dette reflekterer sannsynligvis en anrik-



Figur 8. Oversikt over de 17 lokalitetene med erosjonspinner i Lierelva.

ning av mineraler med jorddyp. Det er derfor mulig at metoden kan benyttes til å vurdere andelen suspendert sediment i elva som stammer fra undergrunnsjord i forhold til overflate, hvor overflate inkluderer både elvekanter og åkerjord, men dette var ikke fokus i denne undersøkelsen. Antall prøver tatt i denne uttestingen var relativt få, og utsagnskraften i resultatene er derfor lav. På den annen side vil kjemiske analyser av flere prøver fra både kildematerialet og det suspenderte sedimentet i elva bli relativt dyrt. I figur 3 vises dessuten et eksempel på hvordan leirprosenten kan bidra til å forklare ulikheter i fosforkjemi i materiale fra åker og elvekanter. Dette bekrefter kritikk som nylig er fremsatt om fingeravtrykkmetoden, og som fremholder at bl.a. leirandel og innhold av organisk materiale kan forklare vel så mange av variasjonene i sedimentets kjemi som opphavsmaterialet (Smith og Blake 2014). Basert på disse resultatene er konklusjonen at metoden er lite egnet til å skille mellom sedimentkilder fra elvekant og overflateavrenning fra åker i et område med relativt homogene marine avsetninger.

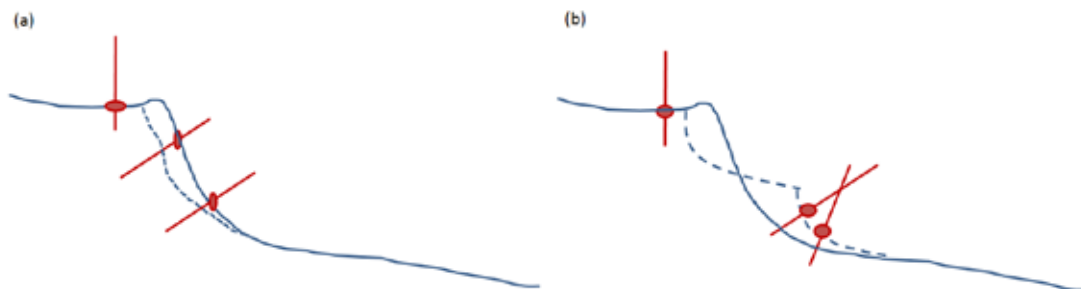
Erosjonspinner

Erosjonspinner er en enkel og derfor mye brukt metode til å måle kanterosjon (f.eks. Lawler 1993, Laubel m.fl. 1999, Bartley m.fl. 2006). Dette er pinner som bankes inn i elvebredden, med en markør ved overgangen mellom jord og luft. En eventuell erosjon måles i tidsintervall etter utset-

ting, som økt avstand mellom markøren og bakken. I Lierelva ble det benyttet erosjonspinner laget av ca. 1 meter lange armeringsjern. Overgangen luft/jord ble markert med en slangeklemme, og pinnene ble banket inn i elvebredden på 17 lokaliteter, figur 8. Ved hver lokalitet ble det som hovedregel satt ned 3 pinner: Én oppe på kanten, én midtveis i skråningen og én nær vannkanten ved lavvannsføring. Lokalitetene var dels steder med aktiv erosjon, dels steder det ikke foregikk synlig erosjon. Vegetasjonen langs kantene inkluderte både trær, grasdekte buffersoner og kornåker. De første pinnene ble satt ut i juni 2012, og deretter fulgt opp gjentatte ganger over en periode på 2 år og 3 måneder frem til september 2014.

I elvekanter uten trær eroderte ikke leirmassene i kantsonen som én og én partikkel, men løsnen enten i små skred, eller i sig nedover mot elva. I førstnevnte tilfelle ble som regel pinnene erodert bort; mens i sistnevnte tilfelle ble pinnene gjenfunnet i nye vinkler, uten at det kunne måles noen avstand mellom slangeklemmen og kantsedimentet, figur 9. Enkelte av erosjonspinnene som ble borte ble erstattet i løpet av måleperioden, noe som betyr at pinnene stod ute i ulike tidsperioder.

Pinnene som var plassert oppe på kanten kunne brukes til å kvantifisere erosjonen ved å måle avstanden fra kanten til pinnen ved hver feltbefaring. Dette var mulig siden elvekantene var tydelig markerte, særlig der det pågikk aktiv erosjon i måleperioden.



Figur 9. (a): Prinsippskisse for erosjonsspinner ved antatt forløp i silt/sandjord: avstanden mellom markøren og elvekant før (heltrukken linje) og etter erosjon (prikket linje) kan måles. (b): Observert erosjonsforløp i leire. Hele elvekanten sklir ned og erosjonspinnene gjenfinnes i nye vinkler.

For de pinnene som stod i elvekanten med trær virket det som om røttene hindret masseutglidinger, og i disse tilfellene var det mulig å måle erodert masse som avstanden fra bakken til markøren. I situasjoner tidlig om våren var det noen ganger mistanke om at pinner kunne ha blitt løftet opp fra bakken som følge av isgang i elva.

Beregning av tap av jord og fosfor

Basert på over to år med data fra erosjonsspinner og feltbefaringer med fotografering, samt tetthets- og fosforanalyser av kantsedimentet, ble det gjennomført en beregning av tap av jord og fosfor i de undersøkte lokalitetene i Lierelva, figur 8. I lokalitetene hvor det kunne måles en avstand mellom bakken og markøren, ble erosjonsraten basert på denne avstanden. I lokaliteter hvor det gled ut større mengder sediment, ble erodert volum (V , i m^3) beregnet som

$$V = (L * D * H) / 2$$

Hvor L er lengde; D er dybde og H er høyde av utglidd masse (alt i meter). Volumet ble delt på 2 fordi utglidningene oftest var mer omfattende øverst enn nederst ved vannflaten. Volumet ble deretter omregnet til vekt sediment basert på tettheten til sedimentet (målt i laboratoriet til 1,5 kg/l i gjennomsnitt); og til vekt fosfor (gjennomsnittlig fosfornivå i elvekantene var blitt målt til 640 mg TP/kg sediment; tabell 1). For hver lokalitet ble deretter tap av jord og fosfor beregnet per lengdemeter elvekant, tabell 2. Som et eksempel ble erosjonspinnene i lokalitet

nr. 1 overvåket over en periode på 17 måneder. Lengden på masseutglidningen i denne perioden ble målt til 10 meter, dybden til 0,5 meter og høyden til 2 meter, noe som ga et samlet tap på 5 m^3 eller ca. 7500 kg sediment. Per år tilsvarte dette en erosjon på 5294 kg for hele utglidningen, noe som igjen ga en erosjon per lengdemeter elvebredde på 529 kg sediment, og 0,34 kg totalfosfor.

I lokalitetene 8 og 9 ble ikke pinnene gjenfunnet, og i lokalitetene 10 og 11 var det fylt på med stein for å hindre erosjon; i disse fire lokalitetene var det derfor ikke mulig å beregne erosjon. I fire av lokalitetene ble det ikke påvist erosjon, mens det i de resterende ni lokalitetene ble påvist erosjon med svært ulik erosjonsrate, fra ca. 100 til over 1500 kg sediment pr. løpemeter elvebredde og år, med et snitt på om lag 960 kg/m og år. Tilsvarende var snittet for fosfortap 0,6 kg TP/m og år i disse ni lokalitetene. I lokalitet 4 ble det hugget ned en trerekke langs kanten av elva i forbindelse med linjerydding for e-verk. I dette området raste det ut store mengder jord, med påfølgende erosjon i motsatt banke, og inngrepet demonstrerte derfor at slik snauhugst av trær langs en elvebanke bør unngås. I lokalitet 5 kom det ut en drenggrøft fra vei som ga økt erosjon. Begge disse lokalitetene viser hvordan andre inngrep enn jordbruksdrift kan øke kanterosjonen langs leirvassdrag ytterligere.

Oppskalering av resultatene fra tabell 2 til hele elvestrekningen er utført i Skarbøvik og Blankenberg (2014). Denne oppskaleringen ble basert på en rekke antakelser og anses som

Lokalitet nr.	Årlig tap av sediment (kg/m)	Årlig tap av totalfosfor (kg/m)
1	529	0,34
2	529	0,34
3	424	0,27
4	1588	1,0
5	3176	2,1
6	0	0
7	1038	0,67
12	0	0
13	104	0,07
14	104	0,07
15	1177	0,76
16	0	0
17	0	0

Tabell 2. Beregnet tap av jord og totalfosfor per lengdemeter elvekant i lokalitetene vist i figur 8. For lokalitetene 8-11 ble det ikke beregnet tap; se tekst for begrunnelse.

usikker, ikke minst fordi erosjonspinnene i denne studien primært ble plassert for å vurdere metodens egnethet i en leirelv. For fremtidige studier anbefales det at erosjonsspinner settes med jevne mellomrom på begge sider av elva for å få et mer representativt estimat av andelen lengdemetere som eroderer.

Konklusjon

Fosfornivået i sediment fra elvekantene i to undersøkte leirvassdrag var noe lavere enn i jord fra åker, men dette så ut til å være knyttet til en lavere andel av leire og organisk materiale i kant-sedimentet. I snitt var totalfosforinnholdet i elvekanter i Lierelva i Haldenvassdraget på 640 mg totalfosfor/kg, mot 880 mg/kg på åker. I Hobøl-elva er det vist at reaktivt fosfor i elvekanter kan utgjøre ca. 40% av totalfosforet i snitt, men at i underliggende lag (blåleire) kan andelen komme opp mot 90% reaktivt fosfor (Aakerøy m.fl. 2008). Erosjon av elvekanter kan derfor tilføre betydelige fosformengder til vannforekomstene.

Uttesting av ulike metodikk for å måle kante-rosjon i leirvassdrag har demonstrert at dette er en prosess som er vanskelig å kvantifisere. Utfordringene er knyttet til at kanterosjon varierer

kraftig i tid og rom, og det er derfor ikke mulig å forutsi hvor eller når erosjonen vil inn-treffe. Oppsummert viste vurderingen av de ulike metodene følgende:

- Gjentatte befaringer og fotograferinger av elvekantene viste at kanterosjonen var aktiv, men befaringer alene ble ikke vurdert som tilstrekkelig til å kvantifisere erosjonen.
- Bruk av historiske flyfotografier ga liten informasjon om omfanget av erosjonen, ettersom elveløpsforflytninger i leirelver ser ut til å skje så langsomt at det ikke kunne oppdages endringer ved sammenligninger av dagens løp mot løpsformen for 50-65 år siden.
- Fotogrammetri (3D-fotografering) kunne bare benyttes i elveskrenter hvor det fantes fastpunkter, ved lav vannstand, og kun når skrånningene var fri for vegetasjon, snø og is. Dermed kunne metoden hovedsakelig bare testes ut om våren under gunstige forhold, og den ble derfor ikke videre utforsket.
- Kjemisk sammensetning av kantmaterialet skilte seg ikke vesentlig fra sammensetningen i åkerjorda, og kjemisk sporing ser derfor ut til å egne seg dårlig til å skille mellom

erosjonsmateriale fra åker og kanterosjon i leirelver. Dette resultatet er basert på få prøver, men metoden var såpass kostbar at videre uttesting ikke kunne gjennomføres i denne undersøkelsen.

- Erosjonsspinner med markør mellom bakke og luft, plassert i elvekantene, egnet seg kun der det vokste trær. I disse tilfellene var det mulig å måle erosjon som avstanden mellom bakken og markøren i perioden siden utplassering. I områder uten trær skled elvekantene oftest ut i små ras, og i disse kantene fungerte ikke erosjonsspinner med markører.
- I kantsoner uten trær kunne erosjonspinnene plasseres ovenfor kanten, et stykke inn på buffersonen eller åkeren. Siden elvekantene oftest var svært markerte kunne erosjon av kantsonen måles som redusert avstand mellom pinnen og kanten.

Ingen av de fem undersøkte metodene ble ansett som ideelle til kvantifisering av total kanterosjon langs et leirevassdrag, men erosjonsspinner kombinert med gjentatte befaringer og fotograferinger ble vurdert som mest lovende. I fremtidige studier anbefales bruk av erosjonsspinner som fastmerker oppe på elveskrenten, jf. figur 9, men da i et større omfang enn det som var mulig i denne studien. Det anbefales også at pinnene settes med jevne mellomrom på begge sider av elva, for å bedre kunne vurdere andelen lengdemetere langs elvekantene som eroderer. Det er viktig at det etableres et samarbeid med grunneiere eller leietakere av jorda slik at pinnene ikke fjernes.

Takk

Denne artikkelen er basert på arbeid som er utført i prosjekter finansiert av Landbruks- og matdepartementet (strategisk instituttsatsning; www.bioforsk.no/catchy) og Klima- og miljødepartementet (tildelt gjennom Vannområde Haldenvassdraget ved leder Finn Grimsrud, og Vannområde Morsa ved daværende leder Helga Gunnarsdóttir). Grunneiere langs vassdragene takkes for velvillig samarbeid. Takk rettes også til alle medarbeidere, nåværende som tidligere, fra

NIBIO som har bidratt i feltarbeid, herunder Anne-Grete Buseth Blankenberg, Torsten Starkloff, Inga Greipsland, Lars Erik Sørensen og Katrin Knot de Zarruk.

Referanser

- Barker, R., Dixon, L. & Hooke, J. 1997. Use of terrestrial photogrammetry for monitoring and measuring bank erosion. *Earth Surf. Proc. Land.* 13:1217-1227
- Bartley, R., Keen, R. J., Hawdon, A. A., Disher, M. G., Kinsey-Henderson, A. E. & Hairsine, P. B. 2006. Measuring rates of bank erosion and channel change in northern Australia: a case study from the Daintree River Catchment. CSIRO Land and Water Science Report 43/06: 51 s.
- Bogen, J. & Sandersen, F. 1991. Sedimentkilder, erosjonsprosesser og sedimenttransport i Leira-vassdraget på Romerike. NVE Publikasjon nr. 20 1991, 125 s.
- 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.* 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.
- Collins, A.L. Zhang, Y., McChesney, D., Walling, D.E., Haley, S.M. & Smith, P. 2012. Sediment source tracing in a lowland agricultural catchment in southern England using a modified procedure combining statistical analysis and numerical modelling. *Sci. Total Environ.* 414: 301-317
- De Rose, R. C. & Basher, L. R. 2011. Measurement of river bank and cliff erosion from sequential LIDAR and historical aerial photography. *Geomorphology* 126: 132-147.
- Eyre, B.D. & Pepperell, P. 1999. A spatially intensive approach to water quality monitoring in the Rous River catchment, NSW, Australia. *J. Environ. Manage.* 56: 97-118.
- Fox, J. F., & Papanicolaou A. N., 2007. The Use of Carbon and Nitrogen Isotopes to Study Watershed Erosion Processes. *J. Am. Water Resour. As.* 43(4):1047-1064.
- 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.* 3 (74): 717-733.
- Hooke, J.M., 1979. An analysis of the processes of river bank erosion. *J. Hydrol.*, 42: 39-62.

- Hooke, J.M., 1980. Magnitude and distribution of rates of river bank erosion. *Earth Surf. Proc. Land.* 5: 143-157.
- Krogstad, T. & Løvstad, Ø. 1991. Available soil phosphorus for planktonic blue-green algae in eutrophic lake water samples. *Arch. Hydrobiol.* 122: 117-128.
- Laubel, A., Svendsen, L.M., Kronvang, B. & 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 Hydrol.* 1 (150): 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.
- 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.
- Pyle, C.J., Richards, K.S. & Chandler, J.H. 1997. Digital photogrammetric monitoring of river bank erosion. *Photogram. Rec.* 15(89): 753-764.
- Smith, H.G., Sheridan, G.J., Lane, P.N.J., Noske, P.J. & Heijnis, H. 2011. Changes to sediment sources following wildfire in a forested upland catchment, southeastern Australia. *Hydrol. Process.* 25: 2878-2889.
- Smith H.G. & Blake W.H. 2014. Sediment fingerprinting in agricultural catchments: A critical re-examination of source discrimination and data corrections. *Geomorphology* 204: 177-191
- Skarbøvik, E. & 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.
- Stone, M., Collins, A.L., Silins, U., Emelko, M.B. & Zhang, Y.S. 2014. The use of composite fingerprints to quantify sediment sources in a wildfire impacted landscape, Alberta, Canada. *Sci. Total Environ.* 473-474: 642-650
- Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Sci. Total Environ.* 344 (2005): 159-184.
- Aakerøy, P. A., Skarbøvik, E. & Øgaard, A. F., 2008. Fosforinnhold i sediment i Hobøelva. Bioforsk Notat 2008, 15 s.