

Åsmund Ertshus Mathisen

Utbedring av og problemer med kvist- og
stokkdammer sett i et geomorfologisk perspektiv, med
utgangspunkt i teori og observasjoner fra Soknedal,
Norge

Masteroppgave i geografi

Trondheim, våren 2015

Veileder: Geir Vatne

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for samfunnsvitenskap og teknologiledelse
Geografisk institutt



Abstract

Small branch and log dams are a new type of check dam used in small (~1km²) basins to prevent infrastructure damage resulting from heavy precipitation. These dams are built to deposit sediments, reduce flood volume and mitigate hillslope processes. From a geomorphological perspective, this thesis addresses problems with small branch and log dams, and how to make them more resilient and sustainable in regard to erosion, sediment deposition, and flood control. During 2014 four dams were constructed in Soknedal, Norway, an area prone to flooding and landslides. Alterations in the dams were recorded during fieldwork undertaken throughout the Autumn and Winter of 2014-2015. These records are combined with theory to answer the aforementioned problems.

A dry Autumn and Winter resulted in low dam activity, with no flooding or erosion recorded, nevertheless there was a noticeable amount of fine sediment deposition in two of the dams. Observations and theory suggest that these sediments will be subsequently eroded and transported downstream during a flood. One might consider constructing taller dams if rapid sediment deposition in a short time span is a problem. Taller dams require better erosion control, but would reduce the flood volume more efficiently. This thesis suggests that using step-pool morphology as inspiration when constructing several dams would result in a large amount of energy dissipation. Further research is needed to better record how dams respond to floods in respect to reducing flood volume, erosion and sediment transportation.

Forord

I løpet av masterløpet har jeg erfart at å starte med en god problemstilling og det å ha god kunnskap om hva man går til, før man setter i gang, vil forenkle prosessen med å skrive masteroppgave betraktelige. I det første semesteret lignet oppgaven mer på en konsulentrappott enn en masteroppgave i geografi, over nyttår endret dette seg gradvis, heldigvis. Jeg vil derfor rette en takk til min veileder Geir Vatne som ledet meg på rett spor mot en bedre oppgave.

Jeg ønsket meg for første gang i livet en fuktig høst, men høsten ble tørr og resultatene likeså, med lite action-fylt datagrunnlag. At jeg det første semesteret var på ville veier resulterte også i mindre godt feltarbeid, men jeg har forsøkt å utnytte det som ble gjort i felt på en best mulig måte. Jeg har ikke gjennomført feltarbeidet alene, og vil takke Kenneth T. Rudolfsen og Eirik Larsen for assistanse og gode opplevelser i felt.

Selv om det har vært utfordrende å skrive om kvist- og stokkdammer, vil jeg takke Jernbaneverket for å introdusere meg til temaet, jeg har lært mye nytt.

Beboerne på lesesal 6483 takkes for gode faglige, ikke-faglige og humorfylte samtaler, uten de hadde det blitt et svært tungt år. Jeg vil også takke Vilde Øyen for å gi meg moralsk støtte gjennom masterløpet, samt korrekturlesning. James Grave fortjener også et takk for korrekturlesning.

Innholdsfortegnelse

Abstract	III
Forord	V
Figurliste	IX
1 Bakgrunn	1
1.1 NIFS.....	1
1.2 Hendelsen i Soknedal.....	2
1.3 Naturgeografiske perspektiver.....	3
1.3.1 Hvorfor studere kvistdammer?	4
1.4 Problemstilling	4
1.5 Oppgavens struktur.....	5
1.6 Kvist- og stokkdammer	5
.....	7
1.6.1 Tidligere erfaringer med kvist- og stokkdammer	7
2 Områdebeskrivelse	11
2.1.1 Storlykkja	13
2.1.2 Engan	14
2.1.3 Oversikt over kvist- og stokkdammene	16
2.1.4 Bygging av kvistdammer	17
2.1.4.1 Videre arbeid med dammene	19
3 Teori	21
3.1 Fremtidig nedbør.....	21
3.2 Erosjon og sedimenttransport.....	21
3.2.1 Overflateavrenning	21
3.2.2 Løpserosjon	22
3.2.3 Sedimenttransport.....	23
3.2.4 Erosjon og hydrologi i steg	24
3.2.4.1 Hydrologi.....	24
3.2.4.2 Erosjon.....	25
3.3 Selvorganisering i step-pool.....	26
4 Metode	29
4.1 Vanstrykksensor	29
4.1.1 Oppsett i felt.....	29
4.1.2 Feilkilder	30
4.1.3 Objektivitet.....	31
4.2 PIT-tags	31
4.2.1 Hva ble gjort.....	32
4.2.2 Feilkilder	32
4.2.3 Objektivitet.....	32
4.3 Observasjon og flomberegning.....	33
4.3.1 Observasjon.....	33
4.3.2 Flomberegning	33

5	Resultat.....	35
5.1	<i>Vannstand.....</i>	35
5.2	<i>PIT-tags.....</i>	37
5.2.1	Engan.....	37
5.2.2	Storlykkja.....	38
5.3	<i>Sedimentavsetning i dammene.....</i>	40
5.3.1	Høst 2014.....	40
5.3.2	Mars 2015.....	43
5.4	<i>Flomberegning.....</i>	45
6	Diskusjon.....	47
6.1	<i>Sedimentavsetning i dammene.....</i>	47
6.2	<i>Erosjon i steg.....</i>	49
6.3	<i>Størrelse på dammene.....</i>	53
6.4	<i>Ulike dammer på ulike steder.....</i>	55
6.4.1	Alternative løsninger.....	56
6.5	<i>Metodene.....</i>	58
6.5.1	Vanntrykksensor.....	58
6.5.2	PIT-tags.....	58
6.5.3	Flomberegning.....	59
7	Konklusjon.....	61
8	Forslag til videre forskning.....	63
9	Referanser.....	65

Figurliste

Figur 1: Illustrasjon på hvordan en kvistdam i et lengdeprofil kan se ut. Den grå streken viser fiberduken som er dekket av sedimenter og som dekker den nederste stokken. De vertikale støttestokkene er slått ned i bakken. Det grønne viser hvordan kvistene er anlagt med den tykkeste enden på selve kvistdammen. Kvister legges langt mer tett enn det illustrasjonen antyder. Stokkene er fundamentert i sidene.	6
Figur 2: Illustrasjon på hvordan en stokkdam i et lengdeprofil kan se ut. Den grå streken viser fiberduken som er dekket av sedimenter og som dekker den nederste stokken. Stokkene er forankret i sidene, samt støttestokker som er slått ned i bakken på nedstrøms stokkene.	7
Figur 3: Erosjon under den nederste stokken på en kvistdam i Slovakia(foto Braskerud et al. (2014))	8
Figur 4: Erosjonshull nedstrøms en stokkdam i Slovakia(foto Braskerud et al. (2014)).	8
Figur 5: Erosjon på den laterale delen av en stokkdam i Slovakia(foto Braskerud et al. (2014)).	9
Figur 6: En kvistdam som ble bygget i 2012 på Minnesund. Kvistdammen er fylt opp med sedimenter til den øverste stokken (foto Braskerud et al. (2014)).	9
Figur 7: Oversikt over feltområdet, inkludert de to nedbørfeltene Engan(grønn) og Storlykkja(rød)(Gule sider 2015, Kartverket 2015a).	11
Figur 8: Løsmassekartlegging. De to nedbørfeltene er markert med rødt(NGU 2015).	12
Figur 9: Antatt nedbørfelt for Engan til venstre. Antatt nedbørfelt for Storlykkja til høyre(Kartverket 2015b)... ..	12
Figur 10: Kanalen mellom stokkdam Storlykkja og kvistdam Storlykkja. Den stiplede linjen angir hvor vannstrømmen gikk 10.november 2014.	13
Figur 11: kummen som er lokalisert nedstrøms kvistdam Storlykkja. Bildet er tatt 28.august 2014.	14
Figur 12: Bildet til venstre viser kanalen i Engan, bildet er tatt ved nedre stokkdam Engan. Høyre viser jordet der vann dreneres ned til Engan. Bildene er tatt 13.03.2015	15
Figur 13: Illustrasjonstegning av tverrsnittet til en stokkdam med utgangspunkt i nedre stokkdam Engan. Prikkalinjer viser stokkene forankret i jorda, i tillegg er de forankret med støttestokker på nedstrømside. Den nederste stokken er gravd ned i en slisse og i tillegg dekket av en fiberduk. Øverste stokk stopper mot midten for å styre vannet over midten på dammen.	17
Figur 14: Legging av stein for forankring av fiberduk. Fiberduken er lagt i en slisse under steinene. Bildet er tatt 17.08.2014.	18
Figur 15: Stokkdam Engan er her halvferdig. Fiberduken ligger begravd oppstrøms og forankringen er ferdig lagt. I tillegg ser man steinene som sikrer erosjon nedstrøms ligger oppå fiberduken. Bildet er tatt 17.08.2014.	18
Figur 16: Kvistdam og stokkdam som ble bygget i Engan 14.oktober. Det røde markerer de stokkene som ikke er forankret i jorda. Bildet er tatt 20.10.2014.	19
Figur 17: Oversikt over ulike faktorer som påvirker overflateavrenning/erosjon(Guy 1964).	22
Figur 18: Illustrasjon på lengdeprofilet til et step-pool-system. Steget(step) forårsaker erosjon som avtar frem til neste steg(Lin et al. 2008).	24
Figur 19: Tverrsnitt av kanalen sett fra nedstrømside. Måleren ble installert på det dypeste punktet.	30
Figur 20: Bilde av vanntrykkloggeren lokalisert oppstrøms kvistdam Storlykkja. Bildet til venstre er tatt 4.september, bildet til høyre er tatt 30.september. Den nederste stripsen har i løpet av perioden blitt dekket av sedimenter og vegetasjon.	31
Figur 21: Vannstand i Storlykkja fra 4.september - 29.september.	35
Figur 22: Vannstanden i kanalen fra kvelden 26.september til morgenen 27.september 2014. Vannstanden er angitt i cm.	36
Figur 23: Nedbør i samme området som Storlykkja. Datamaterialet er interpolert(Senorge 2014).	36
Figur 24: Tverrsnittet der vanntrykksensoren er installert. Blå viser 3 cm vannstand. Rød viser 5 cm vannstand.	37
Figur 25: Bilder fra nedre stokkdam Engan. Steinene innenfor det røde er PIT-tag merkede. Pilen angir strømretningen. Bildet til venstre er tatt 4.september. Bildet til høyre er tatt 16.oktober.	38
Figur 26: Bildene er tatt oppstrøms øvre stokkdam Engan. Bildet til venstre er tatt 4.september. Bildet til høyre er tatt 16.oktober.	38
Figur 27: PIT-tag lokasjoner i kvistdam Storlykkja. Det røde markerer hvor PIT-tagene ble plassert på kvistdammen. Bildet er tatt 27.oktober 2014.	39
Figur 28: PIT-tag lokasjoner i stokkdam Storlykkja. Det røde markerer hvor PIT-tagene ble plassert på stokkdammen. Bildet er tatt 4.september 2014.	39

Figur 29: Sedimentprøve fra stokkdammen i Storlykkja. Bildet er ingen indikasjon på dybden til sedimentsammensetningen i dammen. Bildet er tatt 27.10.2014.....	40
Figur 30: Sedimenter fra Storlykkja etter å ha blitt tatt ut av sedimentprøvetakeren. Bildet til venstre er fra stokkdam Storlykkja, bildet til høyre fra kvistdam Storlykkja. Bildene er tatt 27.10.2014.....	41
Figur 31: De røde rammene viser hvor det meste av sedimentene er avsatt. Stottdam Storlykkja til venstre, kvistdam Storlykkja til høyre. Bildene er tatt 27.oktober 2014.....	42
Figur 32: Den røde streken markerer toppen på den nederste stokken i stokkdam Engan. Den svarte rammen markerer lokasjonen på sedimentavsetningen. Bildet er tatt 30.09.2014.....	42
Figur 33: Bilde av øvre stokkdam Engan. Rødt markerer hvor vannet har erodert seg i det oppbygde materiale. Bildet er tatt 13.03.2015.....	44
Figur 34: Nedre stokkdam Engan. Rød markering viser hvor vannstrømmen gikk. Bildet er tatt 13.03.2015.....	44
Figur 35: Bildet er tatt på nedstrøms av nedre. Tydelig vegetasjon/kvister mellom stokkene. På høyre side kan man se hvor vannstrømmen går. Bildet er tatt 13.03.2015.....	45
Figur 36: Illustrasjon for hva som menes med etablert system under normal vannføring. Dammene er fylt med sedimenter. Pilene angir vannhastighet og turbulens (turbulensen er kun for å illustrere og derfor ikke eksakt bilde av virkeligheten).....	50
Figur 37: Illustrasjon på hvordan flere nedfellingene kan se ut.....	51
Figur 38: Illustrasjon på hvordan situasjonen kan se ut i et etablert stokkdam-system under en 5-årsflom.....	52
Figur 39: Illustrasjonen til venstre illustrerer vannstrømmen under en 5-årsflom i en fylt stokkdam med vertikalt fall. Illustrasjonen til høyre illustrerer vannstrømmen under en middels flom i en fylt kvistdam der fallet er vinklet og vannet alltid er i kontakt med underlaget.....	53
Figur 40: Illustrasjonstegning av lengdeprofilen til to ulike måter å bygge stokkdam på: lave(blått) og høye(grønt) steg. Strekene illustrerer vannstrømmen under normal vannføring.....	54
Figur 41: Illustrasjon av hvordan vannstrømmen under en 5-årsflom i et system med fylte kvist- og stokkdammer kan oppføre seg.....	56
Figur 42: Lengde(venstre)- og fugleprofil(høyre) av hvordan en stokkdam med tette kvister kan se ut. Pil på fugleperspektivet angir strømretningen.....	57
Figur 43: Lengde(venstre)- og fugleprofil(høyre) av hvordan en stokkdam med støttestokker kan se ut. Pil på fugleperspektivet angir strømretningen.....	57

1 Bakgrunn

I 2012 kom stortingsmeldingen «Hvordan leve med farene – om flom og skred» fra Olje- og Energidepartementet. En stortingsmelding som skulle sette lys på flom og skred som en økende trussel mot både menneskeliv og infrastruktur, der en økende vekst i både økonomi og befolkning vil føre til økt skadepotensiale. Fra 1980 til 2010 var kostnaden fra flom og skred skader fra naturskadeforsikring og Statens naturskadefond på 6.1 milliarder kroner, mens bare i 2011 var skadeserstatningene på 700 millioner kroner. Økende vekst i økonomi og befolkning fører til økt arealpress, med blant annet bygging langs elver og skråninger, og det kan være vanskelig for en kommune å si nei til bygging av næringsbygg etc. på attraktive tomter, som kan være flom- og skredutsatt. Formålet med stortingsmeldingen var å gi retningslinjer for arbeidet med å håndtere risikoen som flom og skred utsetter oss for. Det er lagt vekt på kunnskap, med det å forstå hva som skjer, og hvorfor det skjer(Olje- og energidepartementet 2012).

I perioden stortingsmeldingen kom ut så fikk flom og skred et økt fokus. Dette fordi man i 2012 blant annet opplevde skredet i Soknedal, men enda mer på grunn av hendelsene i Gudbrandsdalen i 2011 og 2013 som førte til store ødeleggelser på både bebyggelse og infrastruktur. I Soknedal ble jernbanen stengt, mens i Gudbrandsdalen ble også vei berørt i stor grad. Felles for begge disse stedene er at infrastrukturen befinner seg i et område med bratte skråninger, dyrket mark, skog og løsmateriale. For å øke kunnskap om denne problematikken vil det være nødvendig med flere undersøkelser i felt for å se på hvordan menneskelig aktivitet og tiltak påvirker vannets vei og materialetransport i et nedbørfelt. Det er her mye av fokuset til NIFS(Natur – Infrastruktur – Flom – Skred) prosjektet ligger, der Norges vassdrag- og energidirektorat(NVE), Jernbaneverket(JBV) og Statens vegvesen(SVV) er bidragsyttere(NIFS 2014).

1.1 NIFS

NIFS er som nevnt et samarbeidsprosjekt mellom flere etater, og denne oppgaven er skrevet i samarbeid med NIFS. NIFS-prosjektet er et kompetansehevende prosjekt som ser på skred- og flomhendelser langs infrastruktur, og er fundamentert i den nevnte stortingsmeldingen. Prosjektet består av flere delprosjekt, og ett av disse er å redusere skader på personer, bebyggelse og infrastruktur som er forårsaket av *vann på avveie*. Med kompetanseheving vil infrastruktur bli mer robust i henhold til flom- og skredhendelser. NIFS-prosjektets

overordnede mål er: «...et tryggere samfunn med mer robust infrastruktur, trygg bebyggelse, trygg samferdsel og god skred- og flomfarevarsling»(Wahl et al. 2012).

Denne oppgaven er en del av delprosjekt 5 i NIFS som innebærer håndtering av flom og vann på avveie. Vann på avveie er vann som ikke blir tatt opp i dreussystemene på en tilfredsstillende måte. Dette er vann som renner på steder som ikke er ønskelig og som kan være en fare for bebyggelse og infrastruktur. Videre er klimaframskrivninger i fokus, der nedbøren ser ut til å øke. I delprosjektet ses et stort behov for forbedring på både drift, vedlikehold og nybygging. Delprosjektet er delt opp i ulike målsetninger, der denne oppgaven faller innenfor «Samarbeid om tiltak ved utbygging og drift av vannveiene». Målet er å sikre at det tidlig i planleggingsfasen av infrastruktur tas hensyn til naturfarer, dette innebærer tiltak, tilsyn og rutinemessig vedlikehold av dreussystemer. Delprosjektet overordnede mål å øke kunnskap om tiltak og drift av vannveier, dette gjøres ved hjelp av litteraturstudier, analysering av eksempler på tiltak som kan/har vist seg egnet, samt modell- og fullskalaforsøk(Wahl et al. 2012). Soknedal som pilotfelt er en del av del prosjekt 5. Sett i lys av hendelsen i 2012, ønskes det blant annet å se på hvordan vann på avveie kan håndteres, med blant annet kvist- og stokkdammer som tiltak. Økt kompetanse om dette kan føre til mer bruk av denne typen tiltak langs infrastruktur i andre deler av Norge.

1.2 Hendelsen i Soknedal

13.mars 2012 ble det utløst et skred i Soknedal, Midtre-Gauldal kommune som berørte jernbanestrekningen Støren-Soknedal, som er en del av Dovrebanen. Dette førte til stengt jernbane og alle togselskap som normalt tok i bruk strekningen ble berørt(Jernbaneverket 2012).

Det var i timene før raset et beredskapsnivå på grønt nivå, det innebærer økt overvåkenhet, sjekking av dreusanlegg og økt mengde undersøkelser i området. Meldinger fra området gikk ut på at alt var under kontroll, frem til det på natten 13.mars gikk et ras ovenfor Jernbanen. Skredet medførte at en stikkrenne ble tettet av jordmasser og at man mistet kontroll på avrenningen. Senere på dagen går et nytt skred nedenfor jernbanen, og det første skredet med oppdemming av vann vurderes til å være årsaken til det sekundære skredet(Jernbaneverket 2012). Ifølge data fra senorge.no kom det dagene før hendelsen ca. 10-15mm per døgn, 13.mars kom det opp mot 50mm nedbør. Videre ble det vurdert at vannlagringskapasiteten i jorda gikk fra å ha liten lagringsevne 12.mars, til å ha svært liten lagringsevne 13.mars(Senorge 2014). Totalt sett ble konsekvensene for skredet ca. 600 forsinkelsestimer, ca. 500 innstilte tog og ca. 250 ekstra godstog ble kjørt via Rørosbanen.

Med bakgrunn i denne hendelsen, og flere andre hendelser som skjedde i samme tidsperiode ble det gjennomført oversiktskartlegging av skråningene i området, nye tiltak har blitt satt i gang og terskelen for å øke beredskapen har blitt lavere. Kostnadsprognoser knyttet til utbedringer etter skredet var på 50 millioner kroner(Jernbaneverket 2012).

1.3 Naturgeografiske perspektiver

Økt hyppigheten av ekstremnedbør som fører til mer flom og skred er noe samfunnet må ta en stilling til for å øke robustheten. Diskusjon rundt problematikken med menneskelig påvirkning på nedbørfelt og hvordan gode tiltak kan gjennomføres er dog ikke noe nytt.

I 1864 kom George Perkins Marsh ut med boken «*Man and Nature*» som dokumenterte menneskelig påvirkning i naturen. Dette var den første boken som så på mennesket som en del av naturen, og mennesket som avhengig av naturen. Videre sa boken at en økende mengde menneskelig aktivitet vil kunne overkjøre naturens evne til å reparere seg selv, og at naturen derfor ville ødelegges på grunn av mennesket. Før denne boken ble gitt ut hadde vi et natursyn der naturen var laget for mennesket, og at vi hadde nær uendelig tilgang på naturressurser. Etter at boken ble utgitt, endret noe av dette synet seg(James & Marcus 2006). Woeikof (1901) forsket også på problematikken rundt menneskelig påvirkning, der han fokuserte på jorderosjon og sedimentering på steder med beitemark og urbanisering. Felles for både Marsh og Woeikof var manglende fokus på populasjonsvekst som årsak til menneskelig påvirkning. I 1905 videreførte Nathaniel Southgate Shaler, professor ved Harvard, Marsh sitt arbeid ved å koble menneskelig påvirkning og populasjonsvekst. Det var konferansen «*Changing the Earth*» i 1955 som satte et større fokus på menneskelig påvirkning og endret geomorfologisk forskning. Hva som studeres, samt metodebruk og teknologi har ført til bedre forståelse både i rom og tid(James & Marcus 2006).

I ettertid har forskning på menneskelig påvirkning blitt et av de vanligste studier innen naturgeografien. James C. Knox dokumenterte i 1977 at endring i arealbruk førte til økning i antall flommer, og at det endret morfologien både oppstrøms og nedstrøms i et nedbørfelt(Graf 2013). Kondolf et al. (2002) sammenlignet to nedbørfelt med ulik type menneskelig påvirkning som har ført til ulik utvikling, der begge kan sies å ha hatt en negativ påvirkning i form av økt flomfare og uønsket erosjon. Wenzel et al. (2014) så på problematikken i at mennesker fjerner trær og store stokker(senere omtalt som large woody debris(LWD)) fra bekkekanaler for å forhindre at de gjør skader nedstrøms. Deres resultater viser at om disse får ligge i fred så vil

flomtappen reduseres. Harden (2006) så på hvordan menneskelig arealbruk i Andesfjellene påvirket nedbørfeltene. Resultatene viste endring i erosjon, sedimenttransport og morfologien i elva. Videre viste han at endring fra naturlig vegetasjonsdekket areal til dyrket mark førte til en økt sårbarhet for overflateavrenning og erosjon, og at dekket ble enda mer sårbart for klimaendringer.

1.3.1 Hvorfor studere kvistdammer?

Kvist- og stokkdammer er små dammer som bygges i nedbørfelt opp mot 1 km². Dammene bygges med høyde på ca. 40 – 100 cm som bygges på tvers av fluviale kanaler. Det er primært tre årsaker til at kvist- og stokkdammer anlegges: (1) Å stoppe sedimenter og vegetasjon som er under transport, for å forhindre tetting av stikkrenne og lignende. (2) Å redusere flomtopp og vannets energi under flomhendelser. (3) Å stabilisere skråninger ved å bygge opp kanalen og redusere erosjon i sidene som kan føre til underkutting (Kravcik et al. 2012, Braskerud et al. 2014).

Mennesket har vært med på å påvirke landskapets utvikling ved å påføre oss selv uønskede hendelser. Naturgeografi har gjerne et mer naturlig, såkalt «soft engineering» syn på hvordan uønskede hendelser i kan reduseres, med minst mulig menneskelig påvirkning. Tradisjonelt sett i sikring av elver har løsningen vært en såkalt «hard engineering» tilnærming, som fokuserer på å endre elve- og bekkeløp totalt. I det ene nedbørfeltet (Engan) denne oppgaven tar for seg er planen store inngrep ved å plastre hele kanalen, for å forhindre skråningsaktivitet. Et motsvar til et slikt tiltak er kvist- og stokkdammer. Kvist- og stokkdammer kan være en løsning som kombinerer både soft og hard engineering, det er et slags «hard engineering»-tiltak som endrer på morfologien i kanalen. Men ved hjelp av et naturgeografisk perspektiv så kan inspirasjon hentes fra naturlig geomorfologi for å få et stabilt og mer naturlig system.

1.4 Problemstilling

For å øke kunnskapen om kvistdammer, så stilles følgende problemstillinger:

Tanken om kvist- og stokkdammer er at de over tid skal fylles opp med sedimenter for så å etablere nye dammer istedenfor å tømme de eksisterende dammene. Ved å bruke teori og egne observasjoner fra Soknedal, vil sedimentene avsettes i dammene, og vil de lagres?

Erosjon nedstrøms steg kan forårsake at damkonstruksjonen svekkes og kollapser. Hva sier teori om erosjon i naturlige og kunstige steg, og hva kan gjøres for å redusere erosjonsprosessene?

Teori viser at en naturlig bunnform som step-pool oppnår optimal oppbremsing for å redusere energi og vannhastighet, er dette noe som kan læres av og implementeres i anlegging av kvist- og stokkdammer?

Formålet med å bygge kvist- og stokkdammer kan være ulikt for ulike steder, det kan for eksempel være å redusere flomtopper eller hindre skråningsaktivitet. Forskjellige nedbørfelt vil ha ulik vannføring, avrenning, tilgang på sedimenter og lokal topografi. Med bakgrunn i teori og observasjoner fra Soknedal, hvordan kan kvist- og stokkdammer best bygges med hensyn til ulike formål og lokale forhold?

1.5 Oppgavens struktur

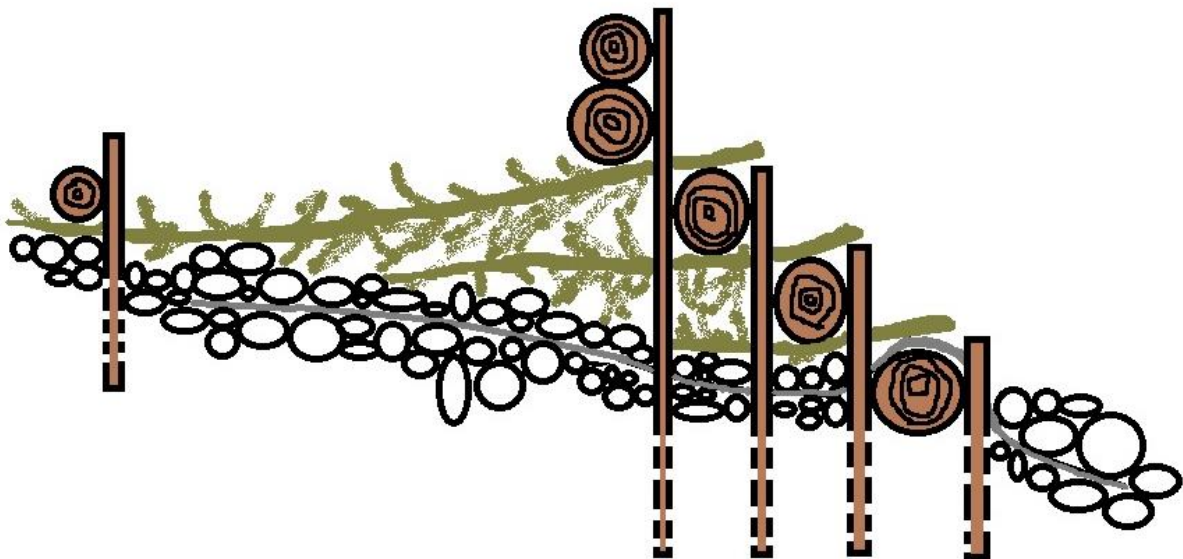
Introduksjonskapittelet etterfølges av en områdebeskrivelse av pilotfeltet Soknedal, og mer detaljert om de to nedbørfeltene der kvist- og stokkdammer har blitt bygget. Teorikapittelet vil danne det teoretiske grunnlaget i oppgaven. Her ligger mye av fokus på naturlig geomorfologi samt erfaringer fra forskning som sammenligner naturlig geomorfologi med menneskeskapt elementer. Metodekapittelet er det fjerde kapittelet som tar for seg metodene som har blitt brukt under feltarbeidet i Soknedal. Resultatkapittelet tar for seg resultatene fra metodene og observasjoner gjort i felt. Til slutt følger diskusjonskapittelet med diskusjon knyttet opp mot problemstillingen, samt en diskusjon av metodene.

1.6 Kvist- og stokkdammer

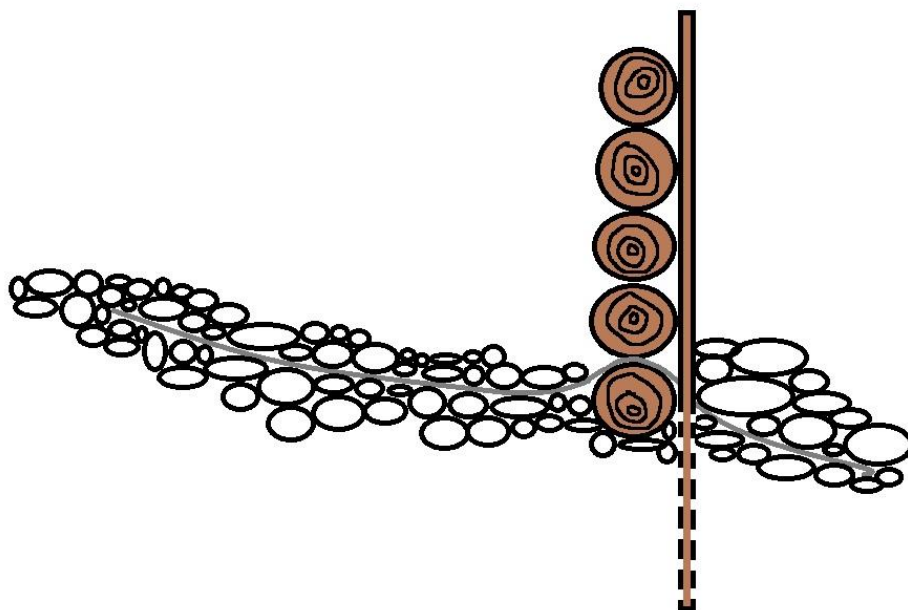
Kvistdam brukes ofte som et samlebegrep for både kvist- og stokkdammer, i denne oppgaven skilles det mellom disse to. Kvist- og stokkdammer bygges opp på to ulike måter: (1)Kvistdammer bygges som trappetrinn, det vil si at stokkene ikke ligger horisontalt over hverandre, som Figur 1 illustrerer. Funksjonen med en slik løsning er å bremse vann og redusere erosjon nedstrøms dammen. Figur 1 viser at kvistdammen er bygd opp med kvister mellom hver stokk samt en stokk oppstrøms for å holde de kvistene nede. Tanken bak kvistenes funksjon er at de skal fungere som armeringsjern der materiale vil avsettes og lagres i dammen, i tillegg vil kvistene forhindre erosjon i de laterale delene av kanalen. (2)Stokkdammer består av stokker plassert vertikalt over hverandre som vist på Figur 2. Den primære funksjonen til stokkdammer er å være flomdempende samt å fange sedimenter og LWD. Det opereres også med en kombinasjon av kvistdam og stokkdam, der dammen bygges opp som en stokkdam og er supplementært med kvister for å forhindre erosjon i de laterale delene(Braskerud & Myrabø

2014). Dammene vil også å ha en skråningsstabiliserende effekt, etter hvert som sedimenter fanges opp og over tid bygges opp i kvist- eller stokkdammen så vil de ha en stabiliserende effekt på nærliggende skråninger(Lenzi et al. 2003b).

For å bygge kvist- og stokkdammer er forutsetningen at det skal være økonomisk gunstig. Dette innebærer at bygningsmateriale finnes in situ og at det er enkelt å grave i jorda for å forankre stokkene. Selve konstruksjonen skal være permeable så vannet har muligheten til å renne mellom stokkene for å redusere energien(Braskerud & Myrabø 2014). Kvist- og stokkdammer vil derfor ikke fungere som en «vegg» som stopper vannet, det kunne ført til en uønsket høy belastning på stokkene når vannføringen økes(Noetzli et al. 2002).



Figur 1: Illustrasjon på hvordan en kvistdam i et lengdeprofil kan se ut. Den grå streken viser fiberduken som er dekket av sedimenter og som dekker den nederste stokken. De vertikale støttestokkene er slått ned i bakken. Det grønne viser hvordan kvistene er anlagt med den tykkeste enden på selve kvistdammen. Kvister legges langt mer tett enn det illustrasjonen antyder. Stokkene er fundamentert i sidene.



Figur 2: Illustrasjon på hvordan en stokkdam i et lengdeprofil kan se ut. Den grå streken viser fiberduken som er dekket av sedimenter og som dekker den nederste stokken. Stokkene er forankret i sidene, samt støttestokker som er slått ned i bakken på nedstrøms stokkene.

1.6.1 Tidligere erfaringer med kvist- og stokkdammer

Ideen om å bruke kvist- og stokkdammer i Norge kommer fra Slovakia, der det var et stortilt prosjekt med bygging av kvist- og stokkdammer. Gjennom prosjektet som startet i 2010 ble over 80 tusen dammer av ulike slag anlagt, også av stein og jord (Kravcik et al. 2012). Ansatte fra JBV, SVV og NVE reiste til Slovakia for å lære om hvordan dammene ble bygd, og identifisere mulige svakheter og styrker (Braskerud et al. 2014).

Erfaringene fra Slovakia er basert på befarings. Generelt om kvist- og stokkdammen i Slovakia ble det observert svakheter i forhold til erosjon. Spesielt ble det observert erosjon under den nederste stokken som Figur 3 er et eksempel på. Spesielt for stokkdammer var det synlige erosjonssår nedstrøms dammene forårsaket av fallet over steget som vist på Figur 4. Til slutt ble det observert erosjon på de laterale delene av stokkene som vist i Figur 5. Andre erfaringer fra Slovakia er at bredde og høyde trolig spiller en rolle på kvist- og stokkdammenes robusthet. Dammer med bredde opp mot 10 meter viste seg å ha store svakheter fordi mye vann vil bli magasinert og dammene ble ødelagt. Det ble også observert at dammer med høy konstruksjonshøyden hadde større sårbarhet for erosjon og nedbrytning av konstruksjonen (Braskerud et al. 2014).

I Minnesund ble det i 2012 bygget kvist- og stokkdammer i forbindelse med NIFS prosjektet. I Minnesund har det også blitt gjort erfaringer med erosjon under nederste stokk. Det har vist seg her at bruk av fiberduk har en evne til å forhindre slik erosjon. I tillegg viser Figur 6 hvordan en kvistdam på kort tid har blitt fylt opp med sedimenter helt til øverste stokk (Braskerud et al. 2014).



Figur 3: Erosjon under den nederste stokken på en kvistdam i Slovakia(foto Braskerud et al. (2014))



Figur 4: Erosjonshull nedstrøms en stokkdam i Slovakia(foto Braskerud et al. (2014)).



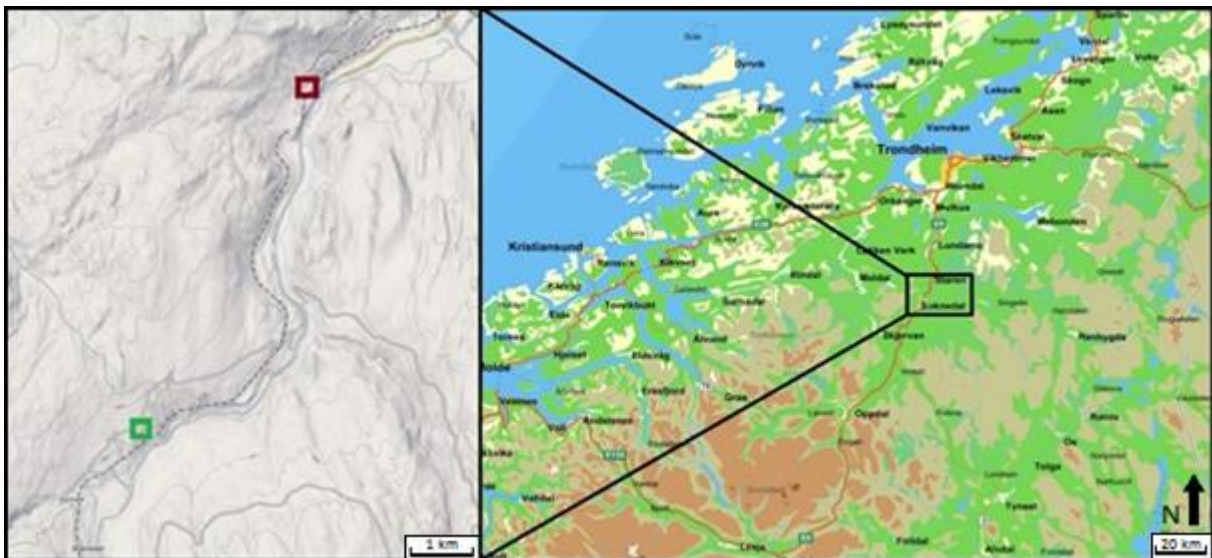
Figur 5: Erosjon på den laterale delen av en stokkdam i Slovakia(foto Braskerud et al. (2014)).



Figur 6: En kvistdam som ble bygget i 2012 på Minnesund. Kvistdammen er fylt opp med sedimenter til den øverste stokken (foto Braskerud et al. (2014)).

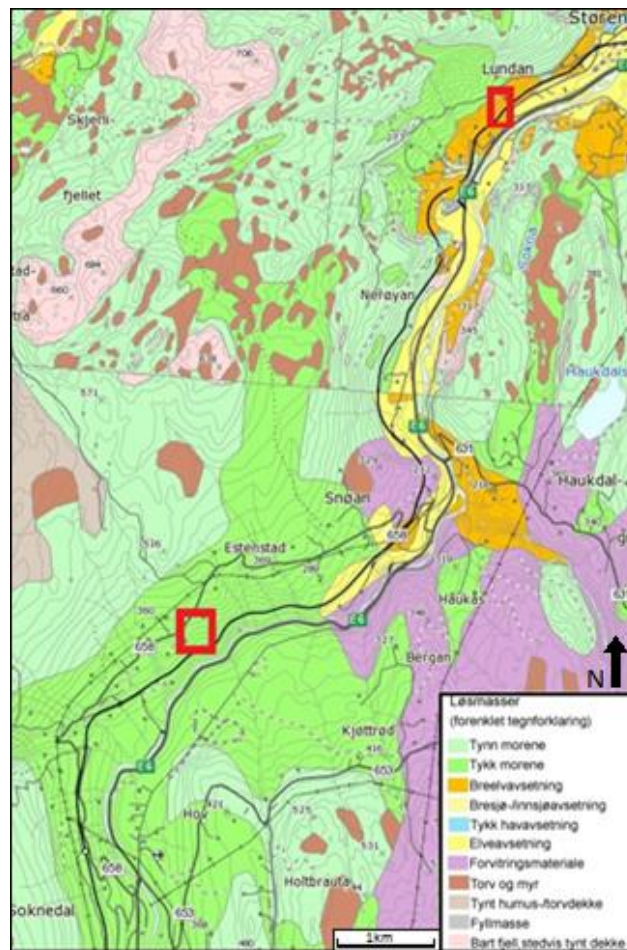
2 Områdebeskrivelse

Ettersom denne oppgaven er skrevet i samarbeid med NIFS der Soknedal er et pilotfelt, så er Soknedal et naturlig område å fokusere feltarbeid på. Pilotfeltet er en del av jernbanestrekningen Dovrebanen, Garli – Støren, 482.5 – 501km. Jernbanelinjen deler opp strekningene på Dovrebanen i antall km fra Oslo(Sjøvold et al. 2013). Nærmere bestemt befinner feltområdet seg i Midte-Gauldal kommune i Sør-Trøndelag, ca 50km sør for Trondheim. Figur 7 viser nærmere lokasjon av feltområdet og de to nedbørfeltene i feltområdet.



Figur 7: Oversikt over feltområdet, inkludert de to nedbørfeltene Engan(grønn) og Storlykkja(rød)(Gule sider 2015, Kartverket 2015a).

Jernbanestrekningen har siden den ble anlagt vært utsatt for skredaktivitet, dette i sammenheng med områdets topografi og geomorfologi. Feltområdet kan beskrives som en dal der elva Sokna har erodert seg ned og skråninger opp imot 100 meter og helninger på 20-45 grader som er koblet til elva(Sjøvold et al. 2013). Videre sørover dalsiden flates ut terrenget. Selve nedbørfeltet ved Støren(Storlykkja) ligger i bunn av en skråning. Nedbørfeltet ved Soknedal(Engan) i knekkpunktet der gradienten øker. Der det er vegetasjon i feltområdet er det mye skog som for det meste består av or og gran.



Figur 8: Løsmassekartlegging. De to nedbørfeltene er markert med rødt(NGU 2015).



Figur 9: Antatt nedbørfelt for Engan til venstre. Antatt nedbørfelt for Storlykkja til høyre(Kartverket 2015b).

2.1.1 Storlykkja

Utforming og størrelse på nedbørfeltet er noe vagt. Ved analysing av høydekvoter på kart og observasjon i felt, så gir Figur 9 et grovt bilde på området som antas å være nedbørfeltet. Det er usikkerhet om det er noe drenering ved veien, og om det er landbruksdrenering som drenerer vann til andre nedbørfelt, eller til Storlykkja nedbørfelt.

Det ble på dette området etablert en stokkdam og en kvistdam juli 2014. Kanalen ser ut til å bestå av forholdsvis lite vann og kan i lengre tørre periode være fri for vann i bevegelse. Spredt utover kanalen ligger det noen grove sedimenter med noe avrundede kanter av størrelser på ca. 4×4×2 cm til 20×20×10 cm. Det er mye synlig erosjon i kanalen, det kan se ut som om det er har vært mye underkutting(se Figur 10), vannet eroderer her i kohesivt materiale. Feltet ligger i et område med løsmasser som er resultat fra breelavsetning(se Figur 8), området befinner seg også under maringrense. Der kvist- og stokkdammene er bygget er gradienten på kanalen 4 - 5°.

Delen av nedbørfeltet der dammene er anlagt ligger primært i urørt skogsområde, 100-150 meter oppstrøms er det dyrket mark, bilvei og enda lengre oppstrøms et hogstfelt. Nedstrøms dammene er det anlagt en kum som fører vannet til en stikkrenne(se Figur 11), kummen ligger plassert ca 20 meter oppstrøms jernbanen. Om kummen skulle bli tettet igjen eller vannføringen bli for stor, skal vannet mulighet til å renne videre ned til en større stikkrenne.



Figur 10: Kanalen mellom stokkdam Storlykkja og kvistdam Storlykkja. Den stiplede linjen angir hvor vannstrømmen gikk 10.november 2014.



Figur 11: kummen som er lokalisert nedstrøms kvistdam Storlykkja. Bildet er tatt 28.august 2014.

2.1.2 Engan

I likhet med Storlykkja er det vanskelig å gi et bestemt bilde på nedbørfeltet. Figur 9 gir et grovt bilde av det antatte nedbørfeltet.

Det ble her bygget to stokkdammer i August 2014 øverst i kanalen. Disse ble ikke bygget ferdig da, de andre stokkene ble lagt i Oktober 2014, i tillegg ble flere kvist- og stokkdammer anlagt. Dette nedbørfeltet har et noe annet utgangspunkt enn Storlykkja. Kanalen er alluvial og i likhet med Storlykkja er det mye erosjon i sidene. Rett oppstrøms dammene er det store områder med dyrket mark. Da de første stokkdammene ble anlagt lå kanalen tørr, senere i August 2014 ble det gravd ut en grøft på et jorde som drenerer vann ned til kanalen, dette er vann som kommer fra landbruksdrenering, stikkrenner og grøfter langs riksvei 658. Figur 12 viser deler av jordet, bildet er tatt ca. 15-20 meter oppstrøms den øverste stokkdammen. Gradienten på kanalen der kvist- og stokkdammene er bygget er 10 - 11°.





Figur 12 viser at det er bratte sider ned til kanalen og det ser ut som om det er stor fare for skredaktivitet med synlige ferske skredsår. Å redusere skredaktivitet er et av de primære målene med anlegningen av kvist- og stokkdammer her. Dammene i Engan er lokalisert lengre oppstrøms i sitt nedbørfelt enn dammene i Storlykkja, og det er et større antall grove lett avrundede steiner i kanalen. Engan er lokalisert over maringrense, men det er mye sand og silt i og rundt kanalen. I skredsårene er det mengder med kohesivt materiale. Det er viktig å notere seg at løsmassekartleggingen(Figur 8) i dette området trolig ikke er like god som i Storlykkja, da det kommer tydelig frem i løsmassekartet fra NGU at oppløsningen i dette feltet er langt lavere enn i Støren feltet. Det kan derfor antas at løsmassekartleggingen er dårligere i Engan.



Figur 12: Bildet til venstre viser kanalen i Engan, bildet er tatt ved nedre stokkdam Engan. Høyre viser jordet der vann dreneres ned til Engan. Bildene er tatt 13.03.2015

2.1.3 Oversikt over kvist- og stokkdammene

Dette delkapittelet beskriver de ulike kvist- og stokkdammene som omtales videre utover oppgaven slik at det er enklere å få bedre begrep over hvilke kvistdammer som omtales og hvordan de ser ut.

	<p>Kvistdam Storlykkja: Kvistdammen i Storlykkja er lokalisert nederste i Storlykkja nedbørfelt like oppstrøms en stikkrenne.</p>
	<p>Stokkdam Storlykkja: Stokkdammen er lokalisert ca. 50 meter oppstrøms kvistdam Storlykkja.</p>
	<p>Nedre stokkdam Engan: Dette var den nederste stokkdammen som ble bygget før det ble bygd en til nedstrøms senere høsten 2014.</p>
	<p>Øvre stokkdam Engan: Dette er den øverste stokkdammen i Engan.</p>

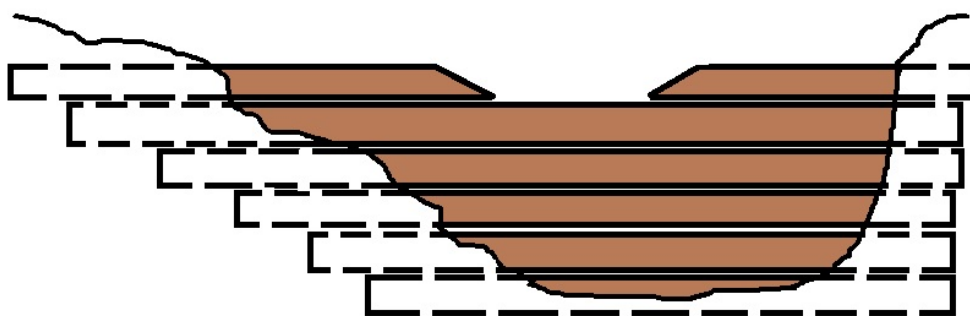
2.1.4 Bygging av kvistdammer

Dette delkapittelet er ment som å gi et innblikk i hvordan kvist- og stokkdammer bygges basert på forfatterens egne erfaring.

I starten av august 2014 ble det bygget to nye stokkdammer i Engan(Nedre og Øvre stokkdam Engan). Det ble bestemt at det skulle bygges stokkdammer her, og at det skulle bygges flere kvist- og stokkdammer etter at vi ble ferdig med vårt arbeid (se kapittel 2.1.4.1). Kvist- og stokkdammen i Storlykkja var laget ferdig før oppgaven ble satt i gang

Det var totalt en gruppe på sju personer i arbeid, der gruppen var delt opp i to lag på tre personer per lag, sistemann felte trær. To lokasjoner i kanalen ble pekt ut for etablering av kvistdam. Det ble da satt i gang med graving for forankring av stokkene. Figur 13 illustrerer fra oppstrøms side hvordan stokker ble lagt inn i jorda på nedre stokkdam, der de ligger ca. 50-60 cm forankret inn i jorda. Her var det varierende fasthet i jorda. På venstre side var det mye konsolidert sand og silt, på høyre side var det mer løs jord som gjorde det vanskeligere å forankre stokkene godt nok. Det ble pakket godt med jord rundt stokkene etter hvert som de ble lagt ned for å forankre de ekstra godt.

Det ble lagt en fiberduk over nederste stokk for å forhindre erosjon under stokken samt nedstrøms dammen. Fiberduken ble lagt fra ca. en meter oppstrøms til en meter nedstrøms stokkdammen, samt at den dekket de laterale sidene opp mot den midterste stokken. Duken ble gravd ned i en slisse oppstrøms for at vann ikke skal kunne renne under duken og erodere. I tillegg ble det lagt en del stein oppå duken som forankring som vist på Figur 14 og 15.



Figur 13: Illustrasjonstegning av tverrsnittet til en stokkdam med utgangspunkt i nedre stokkdam Engan. Prikkalinjer viser stokkene forankret i jorda, i tillegg er de forankret med støttestokker på nedstrømside. Den nederste stokken er gravd ned i en slisse og i tillegg dekket av en fiberduk. Øverste stokk stopper mot midten for å styre vannet over midten på dammen.



Figur 14: Legging av stein for forankring av fiberduk. Fiberduken er lagt i en slisse under steinene. Bildet er tatt 17.08.2014.



Figur 15: Stokkdam Engan er her halvferdig. Fiberduken ligger begravd oppstrøms og forankringen er ferdig lagt. I tillegg ser man steinene som sikrer erosjon nedstrøms ligger oppå fiberduken. Bildet er tatt 17.08.2014.

Det ble også lagt steiner rett nedstrøms konstruksjonen som erosjonssikring. Dette er ikke ansett som like viktig i en kvistdam da stokkene blir lagt stegvis og derfor dreper mye av energien (Braskerud & Myrabø 2014). I øvre stokkdam ble det lagt noen kvister mellom stokkene for å redusere erosjon i sidene og bunnen av kanalen.

2.1.4.1 Videre arbeid med dammene

14. Oktober gjennomført JBV et feltkurs med kvistdambygging i Engan feltet. Studenter fra NTNU var da med og bygget ferdig stokkdammene som ble bygget i august, i tillegg ble det anlagt tre dammer til; to stokkdammer og en kvistdam.

Kvistdammen ble anlagt med en ny stokkdam anlagt nært oppstrøms, som vist i Figur 16. Det er viktig å legge merke til at de to øverste stokkene på kvistdammen ikke ble forankret i jorda, men stopper før de kommer i jordkontakt. Alle dammene ble bygget med toppstøkker som avsluttes mot midten for å styre vannet over midten på dammen.

Under byggeprosessen ble feltområdet svært forstyrret. Mye løsmateriale og vått vær under byggeprosessen resulterte i at feltområdet ble rotet til og dammene fikk tilført endel finsedimenter (sand, silt og leire) på grunn av graving. Ingen av de nye stokkdammene ble anlagt med kvister.



Figur 16: Kvistdam og stokkdam som ble bygget i Engan 14. oktober. Det røde markerer de stokkene som ikke er forankret i jorda. Bildet er tatt 20.10.2014.

3 Teori

3.1 Fremtidig nedbør

Klimaindikasjoner viser at vi er på vei mot en tid med både redusert og økt gjennomsnittlig årlig flomtopper i Norge. Blant annet vil man på Vestlandet se en økning, mens Østlandet, Trøndelag og Finnmark vil se en nedgang (Lawrence & Hisdal 2011). Årsaken til denne endringen er fordi vi for eksempel i Trøndelag går mot varmere vintre, mindre snø og derfor mindre snøsmelting (Hanssen-Bauer et al. 2009), den typiske store vårflommen vil derfor reduseres (Vatne 2013).

Til tross for reduksjon i den typisk store vårflommen, vil vi trolig se en økning i styrtflommer forårsaket av en økning i større nedbørshendelser (Hanssen-Bauer et al. 2009). Styrtflommer finner sted på begrensede områder og kan derfor føre til stor økning i vannføring i små nedbørfelt. Styrtflommer er forårsaket av intens nedbør med varighet på noen timer (Marchi et al. 2010). Klimafremskrivninger viser at det frem i tid kan bli en økning i antall dager med mye nedbør, og at den gjennomsnittlige mengden nedbør på disse dagene øker (Hanssen-Bauer et al. 2009). Modellering av nedbør i fremtiden viser også at antall dager med ekstremt nedbør i løpet av ett døgn ser ut til å øke i Gaula nedbørfelt, som Engan og Storlykkja er en del av (Skaugen & Førland 2011).

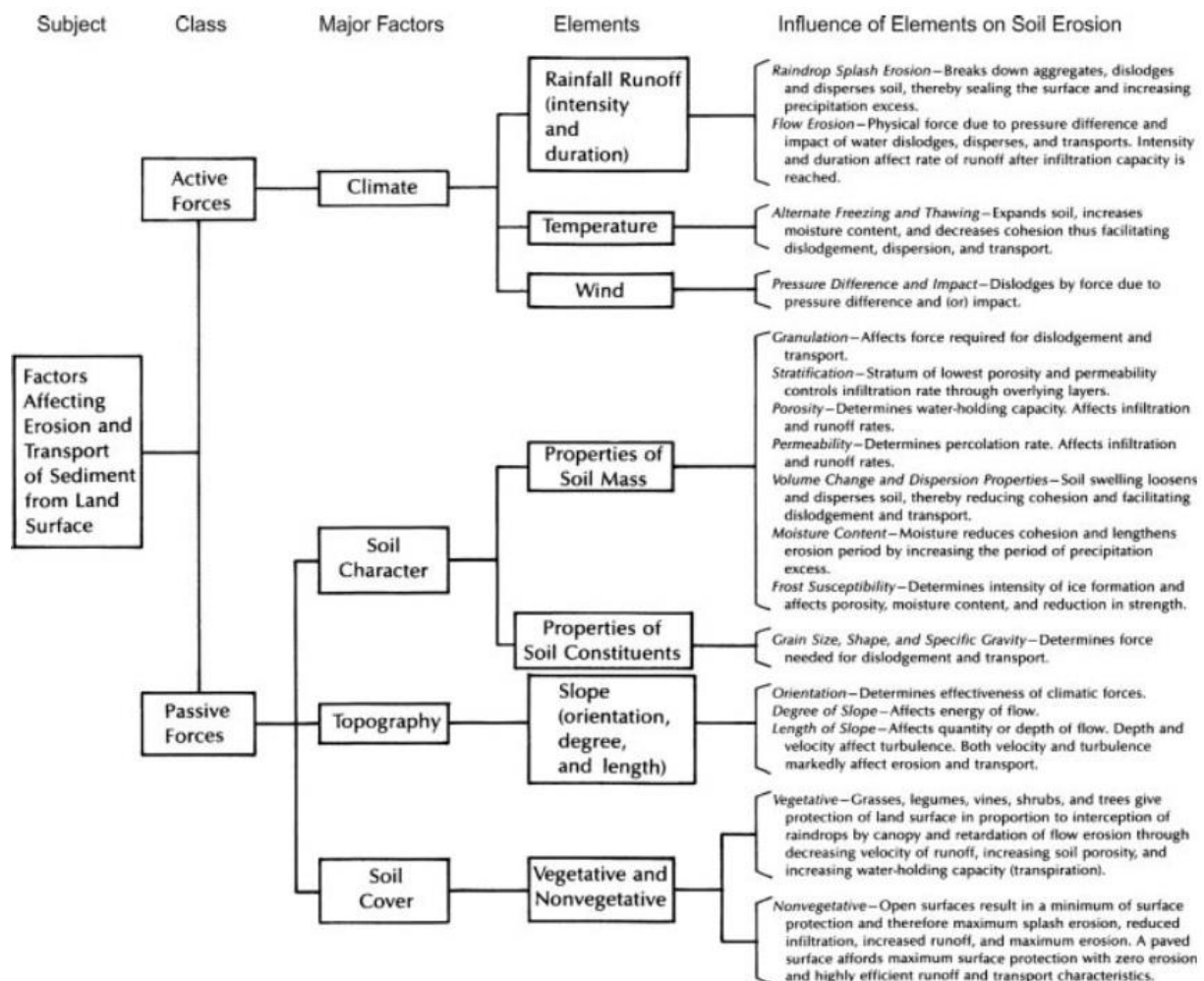
Hvor intens nedbør inntreffer bestemmes først og fremst av regionale atmosfæriske forhold og topografi. I følge O'Connor & Costa (2004) og Marchi et al. (2010) vil topografi og spesielt områder med bratte skråninger kunne forårsake ortografisk intens nedbør. Potensialet for avrenning har mye å si for om en styrtflom inntreffer. Tidligere har oppfatningen vært at vann i øvre jordlag og grunnvann har hatt lite å si på avrenning, Marchi et al. (2010) viste derimot til at nedbørfelt som er mettet på vann vil reagere raskere enn et tørt nedbørfelt, og at avrenning vil kunne øke med avskoging, dyrking av mark, infrastruktur og urbanisering.

3.2 Erosjon og sedimenttransport

3.2.1 Overflateavrenning

Overflateerosjon er en form for erosjon som innebærer å løse jord fra overflaten for så å frakte det. Dette er primært et resultat av nedbør som forårsaker dråpeerosjon og som videre tilfører finsedimenter til kanaler (Gomi et al. 2005). Dråpeerosjon vil i hovedsak finne sted på overflater med lite vegetasjon. Etter hvert som dråpeerosjonen pågår endres strukturen i jorda, dammer oppstår og muligheten for infiltrasjon ned i bakken reduseres, og overflateavrenningen vil øke.

Dråpeerosjon vil forårsake dannelse av riller der vann vil konsentrere seg, videre øker vannhastigheten, erosjonen og sedimenttransporten i rillen. Hvis man i tillegg har en skråning som øker i gradient, vil erosjonsevnen øke (Brooks et al. 2012). Guy (1964) laget en oversikt over faktorer som påvirker overflateavrenning og erosjon, vist i Figur 17. Det opereres her med en aktiv og en passiv klasse, der klima er aktiv og passive faktorer er de som er på stedet; jordtype, topografi og jordoverflate.



Figur 17: Oversikt over ulike faktorer som påvirker overflateavrenning/erosjon(Guy 1964).

3.2.2 Løpserosjon

Erosjon i steg er sentralt i teori om løpserosjon i små bratte kanaler, dette tas opp i kapittel 3.2.4.1. For annen erosjon i kanaler vil det meste av erosjon oppstå i bunnen og i yttersvingen, eller der vannstrømmen går rett mot en kant. Om erosjon i en elvekanal oppstår er avhengig av gradient på kanalen og friksjon, som vil avgjøre hastigheten på vannet. Samtidig som den er

avhengig av hvilke materiale kanalen består av og dens kohesjon. Silt og leire er materiale som ofte er kohesivt, jo mer kohesivt materialet er, jo mer motstandsdyktig mot erosjon er det (Knighton 1998).

3.2.3 Sedimenttransport

Generelt foregår sedimenttransport med bunn og suspendert sedimenttransport, der små partikler transporteres suspendert og større sedimenter på bunn. I små kanaler er sedimenttransport dominert av LWD, annen vegetasjon og sedimenter fra skråninger koblet til kanalen der det eroderes. Hassan et al. (2005) definerer små kanaler som kanaler der morfologi og hydrologi i stor grad vil være påvirket av individuelle steiner og LWD. Dette skiller små kanaler i bratte omgivelser fra store elver som renner i alluvialt materiale.

I følge Hassan et al. (2005) vil ikke suspendert materiale ha stor påvirkning på kanalens morfologi, derimot vil bunntransport ha stor påvirkning. Steiner og LWD som har blitt avsatt som følge av bunntransport, falt ut i kanalen eller lignende kan påvirke avsetning og pålagring av sedimenter. Avsatt stein og LWD vil bremse vannet i tillegg til at de kan kile seg fast i andre steiner og LWD slik at enda større hinder dannes. Vannets transportevne reduseres og suspendert materiale kan avsettes og lagres midlertidig ved disse objektene. For bunntransport vil store hendelser forårsake sedimenttilførsel. Mindre kontinuerlige hendelser som kryp og overflateerosjon vil tilføre suspendert materiale.

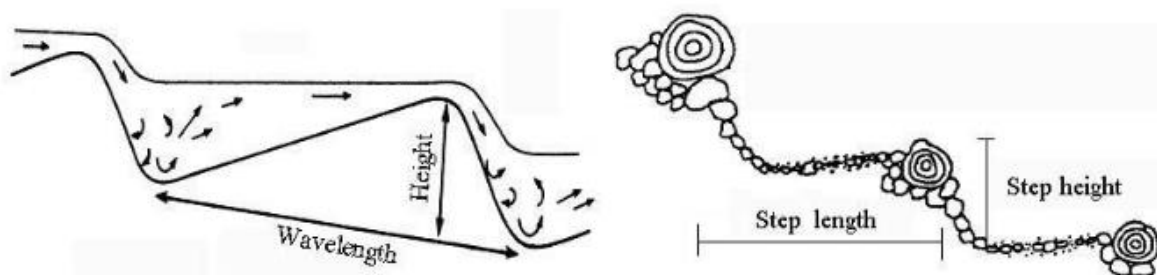
I store elver vil finsedimenter kunne lagres over lang tid på flomslettene. I mindre bratte fjellelver er lagringsevnen langt dårligere. Som nevnt kan LWD påvirke lagring, i tillegg spiller områder av kanalen der vannhastigheten avtar (pools) en stor rolle i lagring av finsedimenter i kortere perioder, frem til en økning i vannføring som fører til videre sedimenttransport (Gomi et al. 2005). Det har gjennom flere år vært gjennomført forskningsarbeid i Vekveselva i Trollheimen i regi av Geografisk Institutt på NTNU. Elva karakteriseres som en bratt fjellelv som er dominert av *step-pool*-morfologi (videre forklart i kapittel 3.2.4.1), med et nedbørfelt på ca. 33 km² (Mevik 2013). Vekveselva får tilført materiale i form av fint og grovt materiale fra skråningsaktivitet som er koblet til elva. Elvesystemet består av svært lite finsedimenter på grunn av at det i korte perioder vil lagres, men ved økt vannføring vil det transporteres ut av systemet (Vatne 2015). Dette er stort sett felles for alle *step-pool*-system; stegene (step) består av grovt materiale, mens pools består av finere materiale som vil settes i transport ved en liten økning i vannføring. Dette gjelder spesielt finsedimenter som kan fraktes suspendert på grunn

av turbulensen som oppstår i et stegvis elve- og bekke-system(Gomi et al. 2005). I de tilfellene der finsedimenter lagres i bratte fjellelver, så har de blitt lagret i evjer(eddy) som er den delen av pools der vannet nesten står stille. Eddy-pools er tilfeller der pools er langt bredere enn hovedstrømmen. I slike pools vil vannhastighet og turbulens på de laterale delene reduseres og finsedimenter avsettes og kan i tilfeller lagres over lang tid. Derimot der hovedstrømmen befinner seg er finsedimenter nærmest ikke-eksisterende(Rathburn & Wohl 2003).

3.2.4 Erosjon og hydrologi i steg

3.2.4.1 Hydrologi

Kvist- og stokkdammer vil være med på å endre retningen på hovedstrømmen i en kanal i likhet med de andre nevnte elementene. Dammene vil bli en menneskeskapt stegvis bunnform etter hvert som de fylles opp med sedimenter og flere dammer anlegges. Stegvis bunnform vil forårsake en rask økning i vannhastighet i det vannet nærmer seg og passerer steget til det treffer bunnen av steget. I naturlig bratte elver med en stegvis bunnmorfologi gjenkjennes det som step-pool-morfologi (Lenzi et al. 2003b, Comiti et al. 2005). Step-pool er en steglignende bunnform der store partikler i form av sedimenter og LWD på tvers av kanalen danner et steg. Steget fører til at vannet får en økt hastighet (superkritisk) frem til vannet treffer poolen der det skapes et hydraulisk sprang, fordi vannhastigheten der er lavere (subkritisk). Dette er et mønster som repeteres videre nedover og flere steg dannes (Chin 2003, Comiti et al. 2005). En slik type vannbevegelse benevnes vanligvis som *nappe flow*(Molnar et al. 2010). Figur 18 viser to lengdeprofiler, lengdeprofilet til høyre illustrerer hvordan step-pool kan se ut i et lengdeprofil med store steiner og LWD som danner steg(step) og finere materiale nedstrøms(pool). Samtidig viser lengdeprofilet til venstre hvordan turbulens og løpsmønsteret kan oppføre seg under normal vannføring(Lin et al. 2008).



Figur 18: Illustrasjon på lengdeprofilet til et step-pool-system. Steget(step) forårsaker erosjon som avtar frem til neste steg(Lin et al. 2008).

I step-pool-morfologi vil stegene redusere energien der den potensielle energien reduseres i det vannet treffer poolen. Som nevnt tidligere oppstår det et hydraulisk sprang i det den superkritiske vannstrømmen treffer subkritisk vannstrøm. Dette fører til turbulens som står for mye av oppbremsingen i step-pool-systemet (Comiti et al. 2005). Dette forårsaker at energi som ellers kunne blitt omgjort til kinetisk energi og ført til økt vannhastighet, erosjon og sedimenttransport, vil reduseres (Wohl & Thompson 2000, Zimmermann & Church 2001). Wilcox et al. (2011) kom frem til at to tredjedeler av energien forsvinner på grunn av fallet som er forårsaket av stegene i et step-pool-system. Nikseresht et al. (2013) sine resultater fra forskning på energiredusering i menneskeskapte renner/kanaler viser også at step-pool sekvenser er effektive for å redusere energi. Nedstrøms slike konstruksjoner har man sett at med vertikale fall reduseres energien raskere enn med konstruksjoner der vannet alltid er i kontakt med noe fast.

3.2.4.2 Erosjon

Reduksjon av energi i form av fall fører også til lokal erosjon der vannet faller, altså rett nedstrøms i foten av et steg. Dette medfører at erosjonshull oppstår, som kan svekke steget som forårsaker fallet (Lenzi & Comiti 2003, Lenzi et al. 2003b, Comiti et al. 2005, Lin et al. 2008, Pagliara & Kurdistani 2013). Hvor erosjonshull oppstår vil være avhengig av flere faktorer. Vannføring, høyden på steget og dropphøyden på vannet er det som primært bestemmer lokasjon, dybde og geometri på erosjonshullet. Flere studier (Mason 1989, Bormann & Julien 1991, Lenzi et al. 2003b) har sett på hvordan dropphøyde og erosjon henger sammen. Dropphøyde kan ha høy påvirkning på grunn av flere faktorer: (1) det bestemmer akselerasjonen til vannet i sammenheng med gravitasjonskrefter. (2) det bestemmer hvordan vannet treffer nedstrøms. (3) det kan være avgjørende for hvordan luftbobler oppstår, som vil påvirke erosjon.

Andre faktorer som er avgjørende for erosjon er formen på steget og bunnmateriale. For eksempel vil man med et steg som ikke styrer vannstrømmen konsentrert over midten på konstruksjonen ha mindre kontroll på hvor erosjonshull oppstår. Videre vil erosjonshull lokaliseres nærmere steget jo smalere og konsentrert vannstrømmen er. Det er mulig å bruke en formel for å identifisere dette. Bredden på steget (l) sammen med bredden på vannstrømmen (b) kan brukes slik:

$$\text{Lokasjon på maksimum dybde erosjonshull} = \frac{l}{b}$$

Jo høyere verdi, jo nærmere foten av steget vil erosjonshull kunne oppstå (Pagliara & Kurdistani 2013). Til slutt så Lin et al. (2008) på steg bygget av sement i et lab-eksperiment og kom frem til at økt gradient resulterer i dypere og lengre erosjonshull.

Mengden vann i systemet vil også ha en innvirkning på erosjon. I et system med små pools med lite vann, så vil det i stor grad være turbulens i vannet som fører til erosjon. I større dammer med mer vann er det mindre turbulens. Turbulens vil ikke bare bremse vannet, men også føre til økt erosjon. Turbulens kan føre til at vannet enklere kan løfte sedimenter for så å mobilisere de (Zimmermann & Church 2001).

3.3 Selvorganisering i step-pool

I brosjyren som forklarer anlegging av kvist- og stokkdammer (Braskerud & Myrabø 2014) nevnes det at nye dammer skal anlegges etter hvert som de eksisterende fylles. Det kan derfor antas at et etablert kvist- og stokkdam-system med sedimentfylte dammer vil få et stegvis system som vil ligne på step-pool-morfologi.

Step-pool er ifølge Chin & Phillips (2007) selvorganiserende og oppnår naturlig en egenskap som bremser vannet og slakker ut gradienten til kanalen. Et step-pool-system vil justere seg i forhold til gradienten, der en brattere gradient vil øke frekvensen og høyden på stegene (Comiti et al. 2005). Dette har man sett både i step-pools formet av steiner og de av LWD. Chin & Phillips (2007) har også vist at lengden på pools avhenger av bredden på kanalen, for eksempel at lengden på pools er fra en til fire ganger så lang som kanalbredden.

Flere har funnet eksempler på at etablert step-pool-morfologi korrelerer med forholdene for å få maksimum oppbremsing av vann (Abrahams et al. 1995, Wohl et al. 1997, Madej 2001, MacFarlane & Wohl 2003). Wohl et al. (1997) viste til at gjennomsnittlig step-avstand er proporsjonale med gradienten og bredden på kanalen, samt nedbørfeltet. Det ble også vist til at step høyde er proporsjonal med bredden på kanalen. MacFarlane & Wohl (2003) viste til at LWD i et step-pool-system vil øke oppbremsingen ytterligere. Videre viste de at oppbremsing og høyde på step ikke viser en klar korrelasjon, derimot er det korrelasjon når avstand mellom steps tas med. Madej (2001) viste til at jo mer organisert et step-pool-system er, jo høyere oppbremsing.

Abrahams et al. (1995) viste med sin modell at step-pool-systemer oppnår maksimal oppbremsing fordi det vil være det samme som å ha et maksimalt stabilt system. Et maksimalt stabilt step-pool-system er definert ut fra de tre faktorene: høyden på step (H), avstand mellom

steps(L) og gjennomsnittlig gradient på kanalen(S). For å oppnå maksimal oppbremsing kan man i teorien regne ut den best egnede pool-lengde og høyde på steg med formelen:

$$1 < \frac{H/L}{S} < 2$$

Formelen vil gi en relativ helningsverdi (c). Et godt organisert step-pool-system vil ha $c = 1.5$. Det er dog problemer med denne formelen når den brukes i den virkelige verden. Chartrand & Whiting (2000) så at ved gradienter under $5-7^\circ$ fikk man c på over 2. Det har også blitt observert at for at formelen skal stemme er man avhengig av et godt etablert step-pool-system, der det har vært flere episoder med høy vannføring(Lenzi 2001).

Lin et al. (2008) forsøkte å finne den optimale avstanden mellom menneskelagde steg i små nedbørfelt. Bunnformen som oppnås med et etablert steg-system ligner et step-pool-system. De kom frem til at steg bør bygges med en avstand på to til fire ganger kanalbredden ved en gradient på under to grader. Ved gradient over to grader bør avstanden være mindre enn to ganger kanalbredden. Årsaken til dette er fordi en slik avstand vil ha størst effekt i å bremse sedimenttransport og redusere erosjon. Comiti et al. (2005) gjorde en sammenligning mellom kunstige og naturlige step-pool. De så på parameterne maksimum pool-dybde og -lengde, og det ble ikke funnet noen statistisk signifikant forskjell mellom det kunstige og naturlige. Lenzi et al. (2003a) gjorde noe av det samme som de overnevnte forskerne og så på erosjon og avstand mellom steg. De så at lav gradient resulterer i lange pools og at vannet aldri hadde en superkritisk tilstand, kun subkritisk til kritisk. Ved høy gradient er det derimot vanlig å bygge tette steg, vannet får da en subkritisk til superkritisk tilstand likt som i step-pool. Ved å redusere avstanden ble også erosjonskapasiteten ved foten av steget redusert, både dybden og lengden på erosjonshullet ble redusert.

Som nevnt vil step-pool-morfologi også endre gradienten. I motsetning til meanderende elver som forlenger og bremser opp vannet, vil step-pool ha samme effekt ved hjelp av at det skjer vertikalt, vannets vei nedover forlenges og gradienten senkes. I tillegg kan det i pools dannes en positiv gradient, som igjen er med på å forlenge vannets løp(Chin & Phillips 2007). Effekten på oppbremsing avtar med stor økning i vannføring ettersom step-pools drukner, vannets tilstand endres fra nappe flow til *skimming flow*. Hastigheten øker og vannet lander lengre ut i poolen, og når vannføringen er høy nok så forsvinner fallet helt og vannet får tilstand som

skimming flow(Lee & Ferguson 2002). Store flomhendelser(større enn middelflom) vil kunne føre til at pools eroderes og økt styrke i vannføringen fører til at steps kollapser og bunnmorfologien flates ut. Dette gjør at oppbremsingseffektene til step-pool er mest gjeldende under normal vannføring og middelflom (Lee & Ferguson 2002, Chin 2003, Comiti et al. 2005, Molnar et al. 2010).

4 Metode

Under feltarbeidet ble ulike metoder tatt i bruk for å samle inn data. PIT-tags ble brukt for å se på erosjon og sedimenttransport, vanntrykksensoren ble brukt for å dokumentere vannstanden i kanalen. Observasjoner har blitt gjort for å dokumentere situasjonen i og rundt dammene. I tillegg har det blitt gjennomført flomberegninger basert på IVF-data(Intensitet – Varighet – Frekvens).

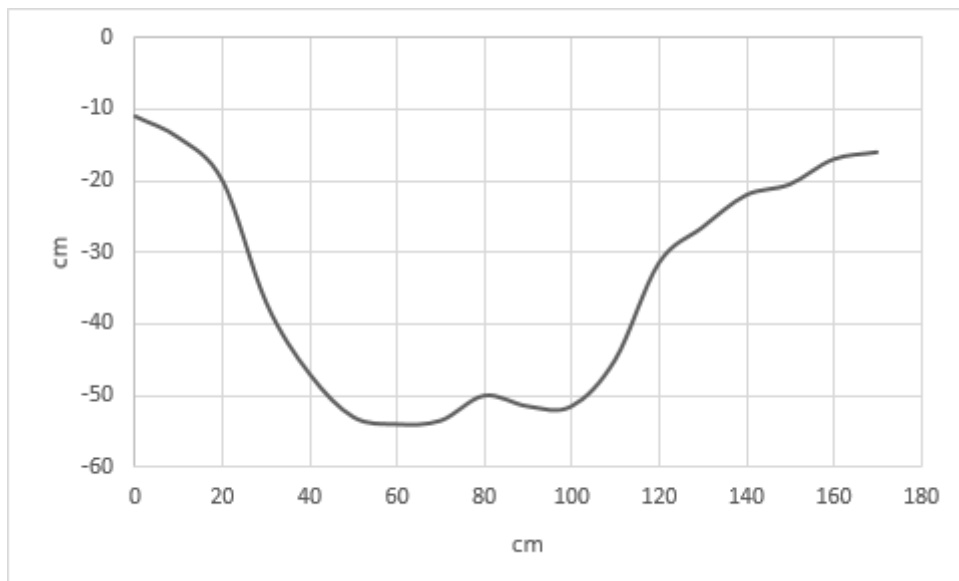
4.1 Vanntrykksensor

For å måle vannstand ble det brukt en GlobalWater GL500-7-2 Data Logger med en WL400 trykksensor. GL500 er et instrument som kan måle ulike parametere som for eksempel vanntrykk og suspensjonstransport i vann. Vanntrykksensoren måler vanntrykket og angir høyden på vannstanden. Måleren har en nøyaktighet på centimeternivå og skal kunne brukes i et bredt spekter av temperaturer(GlobalWater 2014b). Det finnes ulike innstillinger for hvordan man kan logge vannstand, som for eksempel fast(ti målinger i sekundet), programmerbart intervall og logaritmisk(antall målinger øker over tid) (GlobalWater 2014a).

4.1.1 Oppsett i felt

Storlykkja ble ansett som det mest egnede stedet for å sette opp vanntrykksensoren. Årsaken til dette var fordi Engan-feltet var tørrlagt på den tiden instrumentet ble satt opp på, i tillegg skulle det gjennomføres kvist- og stokkdamm-bygging der i løpet av feltperioden.

Vanntrykksensoren ble installert ca. fem meter oppstrøms øvre stokkdamm Storlykkja. Det ble funnet et område her som ble ansett som trygt for trykksensoren nedstrøms en stor stein der vannet rant rolig og skader fra bunntransport var minst sannsynlig. Figur 19 viser tverrsnittet av kanalen, der måleren ble installert på det dypeste punktet. Det ble slått en stakk av tre ca. en meter ned i bakken slik at den sto stabilt. Vanntrykksensoren ble da stripset fast i stokken med tre strips. Den nedre delen av vanntrykksensoren sto da ca. en cm over bunnen i kanalen for å unngå å bli dekt og tettet av sedimenter og lignende. Figur 20 viser vanntrykksensoren den dagen den ble satt ut.



Figur 19: Tverrsnitt av kanalen sett fra nedstrømside. Måleren ble installert på det dypeste punktet.

Instrumentets innstilling ble satt til å måle vannhøyden hvert tredje minutt (programmerbart intervall). Årsaken til et såpass kort intervall er fordi det var ønskelig å måle styrtflommer, disse skjer som kjent på kort tid. Et lengre intervall kan derfor resultere i at man går glipp av verdifull data. Videre ble den satt opp med en oppvarmingstid på tre sekunder, det vil si at instrumentet gir vanntrykksensoren energi i tre sekunder før den tar en måling for å spare batteritid (GlobalWater 2009). Det ble valgt å bruke 12-volts batteri i størrelsen 97 x 47 x 53 mm, slik at batteriet fikk plass i instrumentets beholder.

Å finne tidligere erfaringer på hvordan man best kan sette opp en vanntrykksensor i felt er utfordrende. Reed et al. (2008) og Schwartz et al. (2014) er noen av de som har tatt i bruk vanntrykksensor, uten at det er skrevet noe om hvordan de har blitt satt opp.

4.1.2 Feilkilder

Figur 20 viser vanntrykksensoren før og etter 30. september 2014. Det har tydelig vært lagring av sedimenter rundt og på vanntrykksensoren, sedimentene dekker den nederste stripsen. Dette kan derfor være en betydelig feilkilde som kan gi utslag på datamaterialet.

Det var forhåpning om at batteritiden var på flere måneder da måleren ble satt ut. Etter å ha stått ute fra 27. august til 4. september var spenningen redusert til 11.68 volt. 30. september var den nede på 4.14 volt. Det ble så installert et nytt batteri og innstilt til å måle hvert femte minutt for å se om dette ville forlenge batteritiden. I en periode på 11 dager var spenningen på batteriet tett under 12 volt, batteritiden var derfor trolig forlenget.



Figur 20: Bilde av vanntrykkloggeren lokalisert oppstrøms kvistdam Storlykkja. Bildet til venstre er tatt 4.september, bildet til høyre er tatt 30.september. Den nederste stripsen har i løpet av perioden blitt dekket av sedimenter og vegetasjon.

4.1.3 Objektivitet

Et usikkerhetsmoment er nøyaktigheten på data. Vanntrykksensoren baseres som nevnt på trykk fra vannet som blir oversatt til antall cm med vann. Det er usikkert hvor god den er til å måle på centimeternivå ved lav vannføring, for eksempel om en cm stigning faktisk er en cm. Dette ble testet ved hjelp av å fylle en flaske med vann for så å sammenligne målingene fra vanntrykksensoren med en centimeterstokk, resultatene ut fra dette var en feilmargin på -1 til +1 cm.

4.2 PIT-tags

Passive Integrated Transponder(PIT) tags er basert på Radio Frequency Identifier(RFID)-teknologi som blir brukt til å identifisere individuelle objekter (Lamarre et al. 2005). Signaler sendes fra en sender til en mottaker, der en sender kan være en PIT-tag og en mottaker en skanner som er laget for å registrere PIT-tags. Hver PIT-tag har en unik kode som gjør hver enkelt tag identifiserbar, dermed vil det være mulig å følge enkelt sedimenter og hvordan sedimenter påvirkes på ulike steder i kanalen. PIT-tags er passive, det vil si at de ikke krever noen form for batteri og vil derfor ha svært lang levetid. PIT-tagene ligger i små kapsler i glass med lengde på millimeter til centimeternivå. (Allan et al. 2006).

Innen fluvialgeomorfologien er det vanlig å bruke PIT-tag for å spore bevegelser på sedimenter under sedimenttransport(Lamarre et al. 2005).Erfaringer fra tidligere studier (Lamarre et al. 2005, Allan et al. 2006) viser at PIT-tag merkede steiner kan skannes gjennom materiale som jord, vann, tre, og stein, men med mye mineraler til stede kan magnetisme forstyrre skanningen(Biomark 2014).

4.2.1 Hva ble gjort

Steiner av ulik dimensjon ble tatt med til lab for å installere PIT-tags. De fleste av steinene som ble brukt hadde en størrelse på ca. 5×4×2 cm i tillegg til større steiner på ca. 12×10×6 cm. Form og størrelse varierer naturligvis, men tallene gir en ide om størrelsen på steinene.

Fugemasse ble brukt for å feste PIT-tags. Fugemassen skal være motstandsdyktig mot vann og fungerer på de fleste overflater, den vil derfor ikke skade glasset til PIT-tagen på noen måte. PIT-tagene festet direkte på overflaten på steinene i naturlige kriker og kroker på steinene for å utsette PIT-tagene minst mulig for støt og slag. Fugemassen hadde en tørketid på en uke ved 20 grader celsius, man bør derfor beregne god tid før man drar ut i felt.

4.september ble PIT-tags plassert ut på strategiske steder rundt dammene der erosjon antas å oppstå, som nedstrøms i foten av konstruksjonen og der fiberduken er festet oppstrøms. Videre ble steiner lagt i de laterale delene av dammene der erosjon kan oppstå, i tillegg ble det lagt ut steiner løst i kanalene for å se om det var noen form for bunntransport i kanalen.

4.2.2 Feilkilder

Hvor godt PIT-tagene sitter på steinene var en bekymring under feltperioden. Alle steinene har vært eksponert for fuktighet under hele feltperioden og ingen av PIT-tagene har falt av på grunn av dette. Samtlige PIT-tags sitter intakt på steinene etter hele feltperioden.

Tid og vær vil være en utfordring ved bruk av PIT-tags. I en kanal med svært lav vannføring er det nødvendig med en større nedbørshendelser for at erosjon og sedimenttransport settes i gang. Hvis feltsesongen er tør så er det fare for at man ikke får registrert noe erosjon eller sedimenttransport.

4.2.3 Objektivitet

For å få gode data er det ønskelig at de merkede steinene ligger så naturlig som mulig i kanalen for å se om det er realistisk med bunntransport i kanalen. Lamarre & Roy (2008) løste problemet ved å ignorere data fra første flomperiode da steinene ble lagt unaturlig til i første omgang. Etter første flom vil steinene ha lagt seg naturlig, og det er først da man kan begynne å samle inn data. Det kunne vært ønskelig å gjennomføre metoden slik, men tidsbegrensning satte dessverre en stopper for dette. Det overnevnte problemet gjelder dog kun for PIT-tags plassert i kanalen. PIT-tags i denne oppgaven ble i stor grad brukt for å kvantifisere erosjon nedstrøms i foten av kvist- og stokkdammene. Med tanke på at steinene legges rundt kvist- og stokkdammer så er det ikke viktig at steinene ligger naturlig, fordi dammene i seg selv er kunstige.

4.3 Observasjon og flomberegning

4.3.1 Observasjon

Observasjon er en viktig metode for å innhente enkel informasjon som nødvendigvis ikke trenger å kvantifiseres.

For å identifisere hvilke type sedimenter kvist- og stokkdammene blir fylt opp med så ble det tatt i bruk en sedimentprøvetaker. Det ble kun brukt et rør av gjennomsiktig plast med åpning i begge ender for å ta sedimentprøvene. Sedimenter ble tatt opp i røret, videre ble sedimentene klassifisert ved å tygge og kjenne på de mellom fingrene. For å kontrollere dybden og spredning på sedimentene i dammene ble det tatt bilder og målt med tommestokk.

Skråningsaktivitet og erosjon ble observert og dokumentert med bilder. Dette ved å observere skredsår nær kanalen samt tegn på at vannet i kanalen eroderer i sidene.

4.3.2 Flomberegning

I tillegg til observasjon har kart og IVF-data blitt tatt i bruk for å beregne forventet avrenning i de to nedbørfeltene. For å hente nødvendige data har kartverket sitt norgeskart(Kartverket 2015b) blitt brukt for å få areal, lengde og høydeforskjell på de to nedbørfeltene. IVF-data har blitt hentet fra meteorologisk institutt sitt eKlima.no(eKlima 2015). IVF data-er hentet fra en målestasjon på Risvollan i Trondheim. Dette er den målestasjonen med gode IVF-data som ligger nærmest de to nedbørfeltene.

Den rasjonelle formel hentet fra Vegdirektoratet (2014) har blitt brukt for å beregne avrenning. Formelen er vanlig å bruke for nedbørfelt mindre enn 5km². Formelen angir forventet avrenning i liter/sekund(Q), og beregnes slik:

$$Q = C \times i \times A \times K_f$$

Avrenningsfaktoren (C) er basert på typen overflate vannet vil renne på. Dimensjonerende nedbørintensitet(i) er data hentet fra IVF-data og nedbørfeltet som angir forventet liter/sekund per hektar. Areal(A) beregnes med arealverktøyet til norgeskart(Kartverket 2015b). Klimafaktoren(K_f) er tall basert på hvor lang returperiode man velger(Vegdirektoratet 2014).

5 Resultat

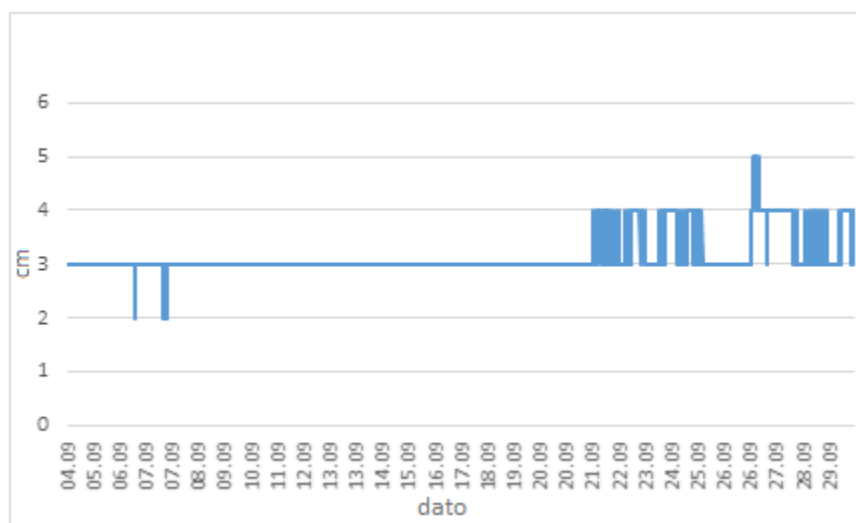
Dette kapitlet presenterer data fra feltarbeidet som foregikk 27.august – 10.november 2014, samt observasjoner 13.mars 2015 og flomberegninger.

5.1 Vannstand

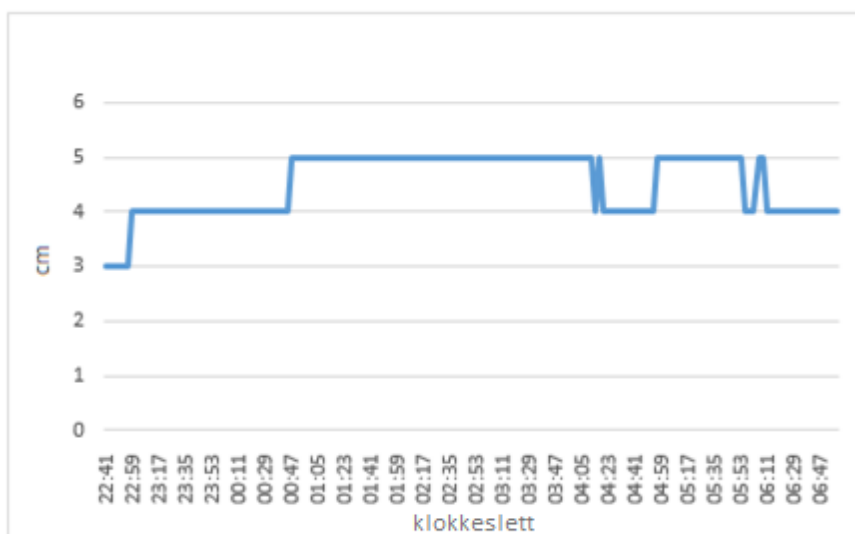
Vanntrykksensoren logget kontinuerlig fra 27.august til 3.oktober. Videre logget den fra 27.oktober til 10. november. Årsaken til opphold i perioden 3.oktober – 27. oktober var dødt batteri. Årsaken til avsluttet logging 10.november var at ingen store nedbørshendelser så ut til å inntreffe i fremtiden, samtidig med økt sjanse for frost og snø.

Som sammenligningsgrunnlag blir resultatet fra vanntrykksensoren visuelt sammenlignet med nedbørsdata fra senorge.no (Senorge 2014). Datamaterialet til Senorge kommer fra et samarbeid mellom Meteorologisk institutt og NVE. Datamaterialet kommer fra observasjoner gjort i et område fra værstasjoner, som videre blir interpolert og representerer så værdata i romlig form (Engeset 2013). Det er derfor mye usikkerhet i datamaterialet fra Senorge, men det kan brukes som en pekepinn på den generelle vær-situasjonen som har vært i området.

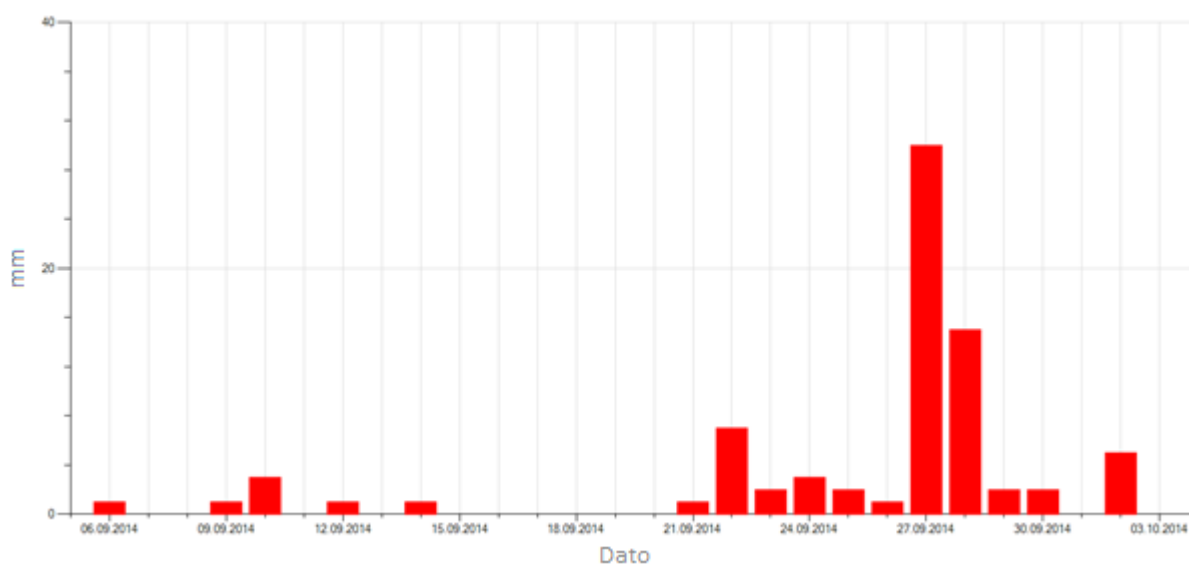
Vannstanden var stabil på rundt 3 cm under hele feltperioden bortsett fra 21 – 27.september. Figur 21 viser vannstand i perioden som trolig var den våteste i feltperioden. Datamaterialet viser tydelig høyere vannstand i perioden 21.september med varierende vannstand frem til avsluttet måling 30.september. Videre viser Figur 22 at fra perioden kvelden 26.september til morgenen 27.september hadde den høyest målte vannstanden under feltperioden. Datamaterialet fra Senorge presentert i Figur 23 viser at det i denne perioden var en større nedbørshendelse med 20 – 50 mm nedbør på et døgn. Figur 24 viser hvordan vannstanden kan ha vært basert på tverrsnittet til kanalen der sensoren var installert.



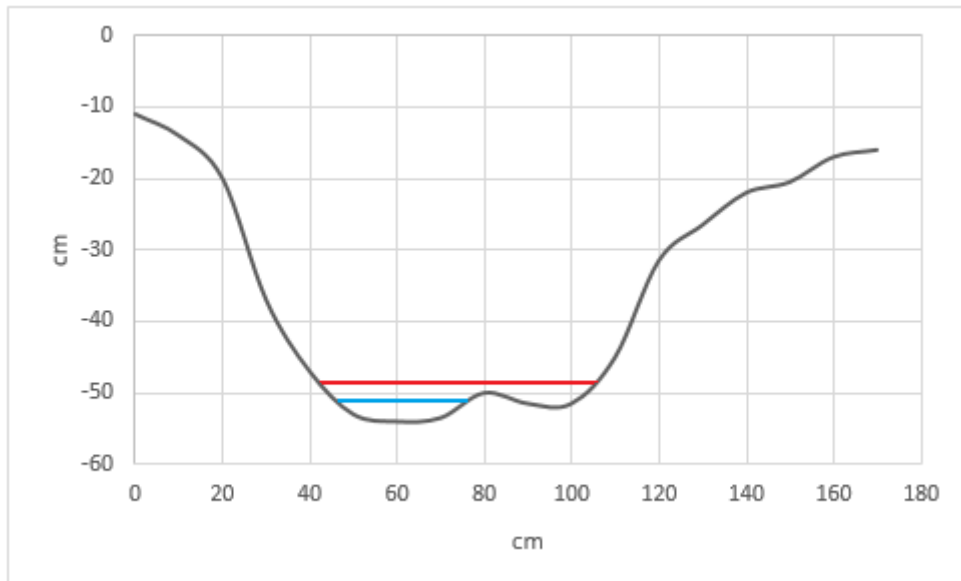
Figur 21: Vannstand i Storlykkja fra 4.september - 29.september.



Figur 22: Vannstanden i kanalen fra kvelden 26.september til morgenen 27.september 2014. Vannstanden er angitt i cm.



Figur 23: Nedbør i samme området som Storlykkja. Datamaterialet er interpolert(Senorge 2014).



Figur 24: Tverrsnittet der vanntrykksensoren er installert. Blå viser 3 cm vannstand. Rød viser 5 cm vannstand.

5.2 PIT-tags

5.2.1 Engan

Figur 25 viser hvor PIT-tagene ble plassert 4.september på nedre stokkdam Engan. Videre viser Figur 25 det samme området etter at videre arbeidet med kvist- og stokkdammene ble gjennomført. Sedimenter har blitt antropogent flyttet på og det ble tilført mye finsedimenter fra sideskråningene som resultat av arbeidet.

Forstyrelsene i nedbørfelt Engan gjaldt dessverre nesten hele området. Det videre arbeidet som ble gjennomført i området gjorde det vanskelig å få brukbart datamateriale fra PIT-tagene som var plassert ut. PIT-tagene som ble plassert for å registrere bunntransport i Engan ble bevisst lagt ut svært eksponert for å registrere om det var noen form for transport. Figur 26 viser hvordan de lå da de ble plassert 4.september, og hvordan de lå 16.oktober. Det er viktig å merke seg at steinen i midten har blitt antropogent flyttet på. Steinen til venstre har ligget på samme sted hele tiden. Steinen til høyre har vridd seg nedstrøms, men dette av svært liten grad. Disse to steinene er de eneste som antas å ikke være antropogent påvirket i Engan.



Figur 25: Bilder fra nedre stokkdam Engan. Steinene innenfor det røde er PIT-tag merkede. Pilen angir strømretningen. Bildet til venstre er tatt 4.september. Bildet til høyre er tatt 16.oktober.



Figur 26: Bildene er tatt oppstrøms øvre stokkdam Engan. Bildet til venstre er tatt 4.september. Bildet til høyre er tatt 16.oktober.

5.2.2 Storlykkja

De PIT-tag merkede steinene i Storlykkja har ikke blitt antropogent påvirket som de i Engan. Det ble i likhet med Engan-feltet her plassert steiner på steder ansett som sårbare for erosjon rundt kvist- og stokkdammen, samt for bunntransport. Samtlige av steinene har ligget på samme sted under hele perioden. Figur 27 og 28 viser hvor PIT-tags ble plassert rundt stokkdammen og kvistdammen i Storlykkja, disse har ikke beveget seg i perioden 4.september til 10.november. Det samme gjelder steinene i kanalen, der ingen bevegelse er registrert.



Figur 27: PIT-tag lokasjoner i kvistdam Storlykkja. Det røde markerer hvor PIT-tagene ble plassert på kvistdammen. Bildet er tatt 27.oktober 2014.



Figur 28: PIT-tag lokasjoner i stokkdam Storlykkja. Det røde markerer hvor PIT-tagene ble plassert på stokkdammen. Bildet er tatt 4.september 2014.

5.3 Sedimentavsetning i dammene

5.3.1 Høst 2014

Det ble 27.oktober tatt en sedimentprøve i stokkdamm Storlykkja for å se hvilke sedimenter dammen ble fylt opp av. Figur 29 viser et utvalg av sedimentene fra den nevnte stokkdammen. Ved tygging av sedimentene ble de klassifisert som sand, silt og muligens noe leire. Dette kan stemme da området består av breavsetninger. Det ble også forsøkt med en sedimentprøve i kvistdam Storlykkja, dette var vanskelig fordi det var vanskelig å penetrere dypt nok med sedimentprøverøret på grunn av mengden kvister i kvistdammen. Det var likevel mulig å få opp noe sediment. Figur 31 viser sedimentene etter at de har blitt tatt ut av sedimentprøvetakeren og det viste seg at det her var mer finsedimenter i form av leire og silt til stede, videre var materialet her mindre fast enn materialet i stokkdammen. Dette er materiale som kan ha kilde nedstrøms stokkdammen fordi bekken i løpet av feltperioden har erodert seg under et skredsår og fortsetter å erodere der som vist i Figur 11.



Figur 29: Sedimentprøve fra stokkdammen i Storlykkja. Bildet er ingen indikasjon på dybden til sedimentsammensetningen i dammen. Bildet er tatt 27.10.2014.



Figur 30: Sedimenter fra Storlykkja etter å ha blitt tatt ut av sedimentprøvetakeren. Bildet til venstre er fra stokkdam Storlykkja, bildet til høyre fra kvistdam Storlykkja. Bildene er tatt 27.10.2014.

Når det gjelder dybden på sedimentsammensetning, så ble det i kvistdam Storlykkja den 27.august og 4.september målt 10 cm, 30.september ble det målt til 5 cm, videre utover feltperioden økte det opp til 7 cm. I stokkdammen var dybden lik under hele feltperioden. Stokkdammen var fylt opp med løsmasser slik at det fluktet med toppen av den nederste synlige stokken. I kvistdammen er det derimot ingen synlig sammenheng mellom høyden på nederste stakk og dybde. Løsmassene her har samlet seg rundt kvistene og er mer spredt utover hele dammen. I stokkdammen er det meste av løsmassene avsatt i forkant av stakkene i stokkdammen. I kvistdammen starter avsetningen omtrent en meter i forkant av stakkene til kvistdammen (se Figur 31). Før feltområdet Engan ble forstyrret var situasjonen lik som i stokkdam Storlykkja. Figur 32 viser nedre stokkdam Engan 30.september. Dammen var da fylt opp med finsedimenter opp til toppen av den nederste stokken. Videre var sedimentene avsatt i forkant av stakkene.



Figur 31: De røde rammene viser hvor det meste av sedimentene er avsatt. Stottdam Storlykkja til venstre, kvistdam Storlykkja til høyre. Bildene er tatt 27.oktober 2014.



Figur 32: Den røde streken markerer toppen på den nederste stokken i stokkdam Engan. Den svarte rammen markerer lokasjonen på sedimentavsetningen. Bildet er tatt 30.09.2014.

5.3.2 Mars 2015

13. mars 2015 ble det gjennomført en siste tur i felt for å observere situasjonen i både Storlykkja og Engan. I Storlykkja var det ingen synlig endring og situasjonen i begge dammene var relativt lik situasjonen 10.november.

I både nedre og øvre stokkdam i Engan hadde det derimot skjedd ting, begge dammene var fylt med sedimenter over den nederste stokken. Figur 33 viser øvre stokkdam Engan. Det var her blitt fylt opp med finsedimenter opp til halvveis på den nest nederste stokken. Vannet har erodert seg i de lagrede sedimentene på venstre side(sett fra oppstrømside) og renner over den nederste stokken. Etter å ha gravd i og tygget sedimentene ble det antatt at dammen besto av finsedimenter i form av sand, silt og trolig noe leire. I glippen mellom stakkene var det mye kvist og små-vegetasjon som hadde tettet til.

Figur 34 viser nedre stokkdam Engan. Her var det fylt opp med sedimenter opp til nest øverste stakk. Vannet rant gjennom en glippe på venstre side(sett fra oppstrømside). Etter å ha gravd i og tygget sedimentene ble det antatt at dammen besto av finsedimenter i form av sand, silt og trolig noe leire. Figur 35 viser at det har blitt tettet med kvister og annen vegetasjon i glipene mellom stakkene. På begge dammene var det lite tegn til at det rant vann mellom glipene der det hadde blitt tettet til. Det var kun på siden der vannet hadde erodert seg ned i eksisterende materiale at det rant vann mellom glippene.



Figur 33: Bilde av øvre stokkdam Engan. Rødt markerer hvor vannet har erodert seg i det oppbygde materiale. Bildet er tatt 13.03.2015.



Figur 34: Nedre stokkdam Engan. Rød markering viser hvor vannstrømmen gikk. Bildet er tatt 13.03.2015



Figur 35: Bildet er tatt på nedstrøms av nedre. Tydelig vegetasjon/kvister mellom stokkene. På høyre side kan man se hvor vannstrømmen går. Bildet er tatt 13.03.2015.

5.4 Flomberegning

Flomberegning ved kvist- og stokkdammene for en flom med 200-års returperiode, basert på IVF-data fra Risvollan målestasjon:

Storlykkja avrenning under 200-års flom: $0,39 \times 152 \times 4,5 \times 1,5 = \underline{400 \text{ l/s}}$

Engan avrenning under 200-års flom: $0,49 \times 139 \times 6,5 \times 1,5 = \underline{664 \text{ l/s}}$

Avrenningsfaktoren (C) er tatt fra Vegdirektoratet (2014), basert på at Engan nedbørfelt domineres av dyrket mark og Storlykkja nedbørfelt er mer dominert av skog.

6 Diskusjon

6.1 Sedimentavsetning i dammene

Vil kvist- og stokkdammene fylles med sedimenter, og vil de lagres? Hva med kvistene, har de noen påvirkning?

Kvistdammen og stokkdammen i Storlykkja er ulik i byggemåte, men relativt like i gradient og sedimenttilførsel. Likevel har dammene to ulike resultat i forhold til sedimentavsetning i dammene. Sedimentavsetningen starter en meter i forkant av kvistdammen, i stokkdammen starter avsetningen nærmere konstruksjonen. I tillegg til dette virker sedimentene å være mer spredt utover i kvistdammen, kontra den mer konsentrerte ansamlingen av sedimenter i stokkdammen.

Situasjonen i Storlykkja kan gi en pekepinn på funksjonen til kvister i kvist- og stokkdammer. Det kan tyde på at kvistene spiller en rolle i sedimentavsetning fordi sedimentene ser ut til å avsettes ved kvistene. Paralleller kan trekkes til Wenzel et al. (2014) sin artikkel om LWD sin rolle i reduksjon av flomtopper, artikkelen brukte LWD i form av store trær som har veltet ut i kanalen som eksempel. Det ble vist til at LWD har en merkbar effekt som et ruhetslement i kanalen som er med på å bremse vannet. Man kan se for seg at kvist- og stokkdammer bestående av mange kvister som kvistdam Storlykkja vil ha en slik effekt frem til de er fylt med sedimenter. Om man ser på erfaringene fra Minnesund, så viser det at dammer med kvister har evnen til å avsette og lagre finsedimenter.

Dammer bygget uten kvist sin evne til å lagre sedimenter er mer usikkert. Sammensetningen av sedimentene i stokkdam Storlykkja var dypere enn i kvistdam Storlykkja, men toppen av sedimentavsetningen fluktet med toppen av den nederste stokken. Før sedimentavsetningene i Engan og Storlykkja ble observert i mars 2015, kunne det se ut som om stokkdammer hadde en maksimum lagringsevne for finsedimenter opp til toppen av den nederste stokken, og at finsedimenter ville transporteres videre gjennom glipen mellom nederste og nest nederste stokk. Det er vanskelig å si noe om dette i kvistdammen fordi det var vanskelig å se hvordan sedimentene var avsatt nær konstruksjonen på grunn av alle kvistene.

Resultatene fra Engan var lignende som i stokkdam Storlykkja høsten 2014, men fra denne perioden og frem til mars 2015 skilte de seg fra hverandre, med ingen endring i Storlykkja til større endringer i Engan, der det hadde blitt avsatt mye finsedimenter i dammene. Faktorer som kan ha ført til at stokkdammene fyltes opp til tross for at de er bygget uten kvister er løv, små

greiner og annen vegetasjon som vil bidra til å tette glipene mellom stökkene. Det var dette som viste seg å skje i Engan, og det viser at stokkdammer uten kvister har evnen til avsette finsedimenter.

Hvis paralleller dras fra kvist- og stokkdammer til erfaringene fra Vekve med step-pool-morfologi, så viser det at dammene trolig ikke vil klare å holde på finsedimenter ved en økning i vannføring. Det er viktig å tenke på at Vekve er et mye større nedbørfelt med langt større vannføring enn Storlykkja og Engan, men under en flom i disse feltene kan det antas at situasjonen vil være noe lik situasjonen i et step-pool-system som Vekve under normal vannføring. Det er ingen kvister til stede som holder på sedimentene og de transporteres enkelt ut av systemet. Det samme kan derfor skje om det bygges stokkdammer uten kvister, finsedimenter eroderes ut og dammen tømmes i det vannføringen øker. Resultatene fra nedbørshendelsen 26. -27. september viste at erosjon av finsedimenter i dammene skjer, og at det ikke skal mye økning i vannføring til for å sette sedimentene i transport. Endringen av dybden på sedimentsammensetningen i kvistdammen kan være en indikator på hvor lett finsedimenter vil eroderes. Uten å vite den faktiske vannføringen, kan man likevel anta at en økning på to cm i vannstand ikke kan karakteriseres som en flom. Spesielt med tanke på at en 200-års flom kan resultere i at 400 l/s passerer gjennom kanalen. Ut i fra dette kan det antas at finsedimenter vil eroderes ut ved en flomhendelse, spesielt i stokkdammene.

At finsedimenter i Storlykkja eroderes er ingen overraskelse med teori tatt i betraktning. Hvis man går ut ifra at sedimenter i bratte vassdrag avsettes i eddy-pools og eroderes ved hovedstrømmen, så vil finsedimenter i kvist- og stokkdammene i Engan og Storlykkja eroderes under en flom. Dette vil trolig skje fordi det kan antas at hovedstrømmen vil påvirke hele bredden på dammene. Det er der hovedstrømmen går det meste av finsedimentene ser ut til avsettes under normal vannføring, fordi det da ikke er nok energi til stede for å transportere finsedimenter videre.

Hvis det viser seg at stokkdammer evner å holde på finsedimenter under en flomhendelse, så kan spørsmålstegn stilles ved hva effekten er og hva ønskelig oppnådd effekt med stokkdammer er hvis man får likt resultat som i Engan. Dammene fylles opp på kort tid, den permeable effekten forsvinner og dammen blir stående igjen som et steg. Dette vil kunne føre til at dammene mister den flomdempende effekten, dette diskuteres videre i kapittel 5.4. Hvis det er ønskelig å beholde den flomdempende funksjonen og ikke lagre finsedimenter, kan en løsning være å ha store nok gliper mellom stökkene for å slippe gjennom småkvister og lignende for å forhindre det som skjedde i Engan. Man vet naturligvis ikke hvor store greiner og vegetasjon

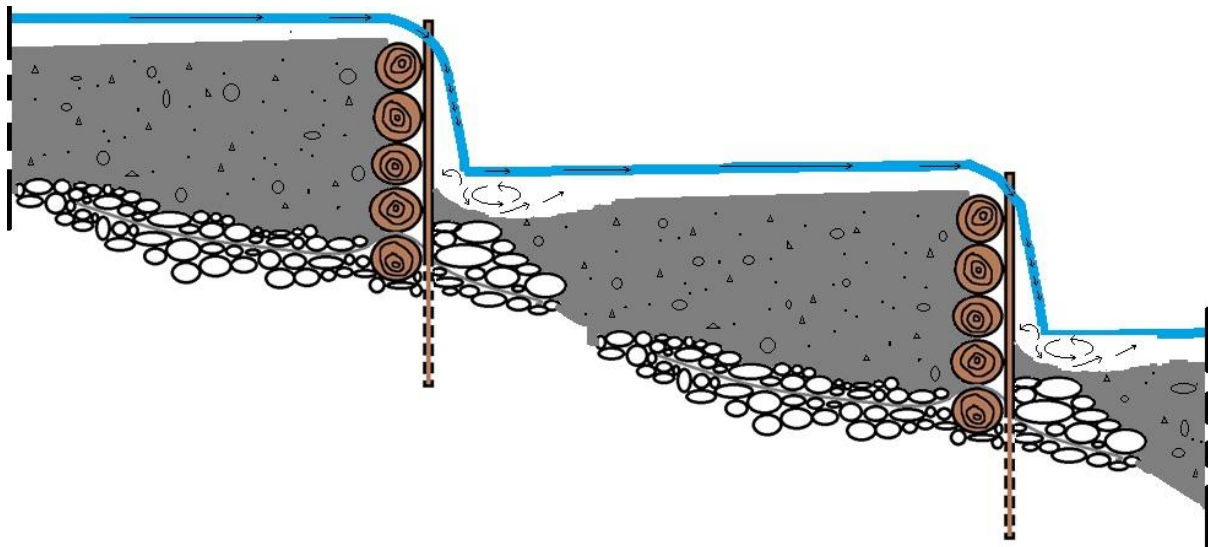
som potensielt kan tilføres og tette glipene, men med større glipe kan det antas at tiden det tar for at dammene fylles opp vil øke.

Hvilke scenario kan man da se for seg skje under en flom med 5-års returperiode eller mer i et nedbørfelt som Engan? Hvis man går ut i fra at alle de nåværende fem dammene i Engan blir fylt med finsedimenter, kan det antas at det på kort tid under en styrtflom vil eroderes og transporteres store mengder finsedimenter videre nedstrøms kanalen. Spørsmålet da er om finsedimenter vil transporteres gjennom stikkrenner og videre nedstrøms nedbørfeltet uten å forårsake noen form for skade. Eller vil det skape problemer og forårsake tetting av stikkrenner i en kombinasjon med vegetasjon og større sedimenter?

Stokkdammer sin evne til å holde på finsedimenter kan sies å være noe usikker per dags dato, men ses det bort fra finsedimenter så vil stokkdammer sannsynligvis ha evnen til å holde på større sedimenter. Med den feltsesongen som var, er det dessverre vanskelig å si noe om dette da det ikke ble registrert noe bunntransport ved hjelp av PIT-tags. Bunntransport kunne derfor ikke resultere i tetting/fylling av dammene under feltsesongen. Hvis teori tas i betraktning så antas det at store steiner og LWD i step-pool-system er årsaken til dannelsen av steg og avsetning av store sedimenter. Derfor kan det antas at stokkdammer evner å stoppe bunntransport og over tid fylles opp med bunntransporterte sedimenter. Disse sedimentene vil heller ikke bli erodert ut like enkelt som finsedimenter fordi de ikke kan transporteres gjennom glipene mellom stokkene.

6.2 Erosjon i steg

Dette kapitlet vil primært ta utgangspunkt i situasjoner der man har et etablert kvist- og stokkdam-system med fylte dammer, og under høy vannføring. Årsaken til dette er fordi det under slike situasjoner erosjon i steg mest sannsynlig oppstår. For å få et bilde på hva forfatteren legger i etablert kvist- og stokk-system vil Figur 36 være en pekepinn på et etablert stokkdam-system under normal vannføring.



Figur 36: Illustrasjon for hva som menes med etablert system under normal vannføring. Dammene er fylt med sedimenter. Pilene angir vannhastighet og turbulens (turbulensen er kun for å illustrere og derfor ikke eksakt bilde av virkeligheten).

En av funksjonene til kvist- og stokkdammer er at de skal redusere energien i vannet. Ved å se på flere eksempler fra forskning på reduksjon av energi på grunn av fall (Wohl & Thompson 2000, Zimmermann & Church 2001, Wilcox et al. 2011), så vil en kvist- og stokkdam ha evnen til å redusere energien i vannet.

Det som derimot kan forårsake et problem er når vannet treffer bakken og erosjon oppstår. Det ble gjort tiltak for å forhindre denne typen erosjon da dammene i Soknedal ble bygget, i form av forsterkning med steiner og fiberduk. Men det finnes andre muligheter som kan redusere erosjonsproblemer. Hvor erosjon oppstår og i hvor stor grad den oppstår vil være avhengig av faktorer som høyde på steg, bredde på hovedstrømmen og vinkelen på fallet. Samtlige av disse faktorene kan justeres i forhold til hvordan kvist- og stokkdammene bygges. Med andre ord kan det vurderes andre hjelpemidler for å redusere erosjon enn kun forsterkning i foten av konstruksjonen. Kapittel 6.4 bygger videre på dette og tar mer for seg størrelse på kvist- og stokkdammer.

Et tiltak for å styre vannstrømmen er å kutte toppstokkene mot midten (som vist på Figur 13), slik det ble gjort i Soknedal og som det står i retningslinjene i Braskerud & Myrabø (2014). Ser man på de faktorene som Pagliara & Kurdistani (2013) tok opp som påvirker erosjon (bredde på konsentrert strøm, bunnmateriale og hydrologi), ser man hvor viktig det er å gjennomføre de tiltakene som allerede er gjort for å forsterke kvist- og stokkdammene. Det vil være gunstig å styre hovedstrømmen for å forutsi hvor det meste av energien vil befinne seg. Å

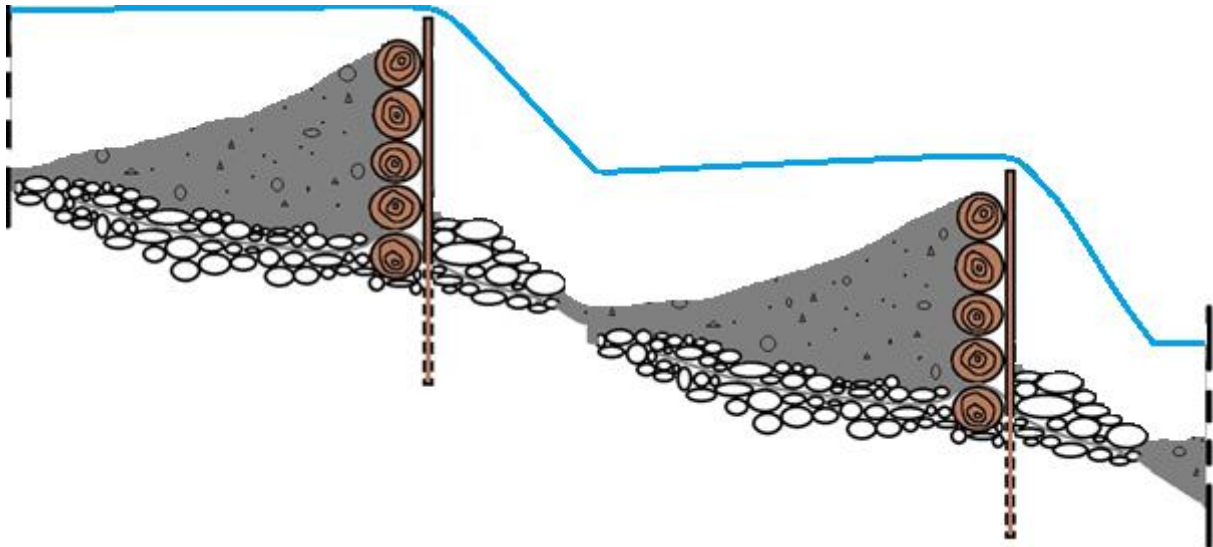
styre vannstrømmen over midten på dammen vil derfor være et godt tiltak fordi det gir bedre kontroll på hvor erosjon potensielt kan oppstå, samtidig som det kan forhindre erosjon i de laterale delene av dammene. Hvis et mål er å styre hovedstrømmen og få bedre kontroll på erosjon under flom, så kan det stilles spørsmål med løsningen som er brukt i Minnesund (se Figur 6). Det er kun saget ut et liten del av toppstokken for å styre vannet. Hvor godt dette vil styre vannstrømmen under en flom er derfor usikkert. Løsningene som er brukt i Soknedal ved å kutte toppstokken mot midten kan antas å være en bedre løsning som fortsatt vil ha en funksjon under flom.

Et alternativ for å spre hovedstrømmen og redusere energien som oppstår i et konsentrert fall kan være å lage flere nedfellinginger på toppstokken. Figur 37 illustrerer hvordan dette kan gjennomføres. En slik løsning vil forhåpentligvis redusere vannets evne til å erodere nedstrøms dammen, samtidig som den reduserer erosjon i de laterale delene av kanalen.



Figur 37: Illustrasjon på hvordan flere nedfellinginger kan se ut.

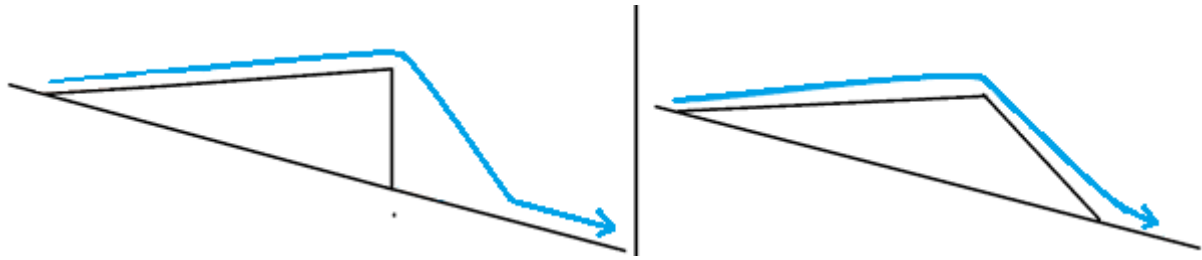
Det som i liten grad tas hensyn til ved erosjonssikring i stegene er hvordan vannet vil oppføre seg under en 5-årsflom, eller større. Vannet får økt hastighet og skytes lengre ut fra konstruksjonen og vil derfor kunne erodere nedstrøms erosjonssikringen. Figur 38 illustrerer en 5-årsflom i et etablert stokkdamsystem der dammene er fylt med finsedimenter, der det meste av erosjon forflyttes nedstrøms erosjonssikringen. Dette kan føre til at det over tid vil eroderes bakover videre oppstrøms mot erosjonssikringen og svekke den. Dette kan understreke hvor viktig det er å erosjonssikre langt nok nedstrøms dammen, ikke kun like ved foten som det ble gjort i Engan. Figur 38 illustrer også at finsedimenter som er lagret i dammene trolig eroderes ut under en flomhendelse.



Figur 38: Illustrasjon på hvordan situasjonen kan se ut i et etablert stokkdam-system under en 5-årsflom.

Det vertikale frie fallet ned i pool har som kjent påvirkning på hastigheten til vannet. En stokkdam vil danne et vertikalt fall, men en kvistdam vil ikke ha denne effekt på grunn av at den ikke er bygget vertikalt. Vannet vil derfor alltid være i kontakt med noe fast. Det står i Braskerud & Myrabø (2014) at kvistdammer bygges i «trappeform» fordi det vil redusere fallenergi og hindrer erosjon i foten av konstruksjonen. Men hvilken effekt vil trappeformen ha under en 200-årsflom med vannføring på 400 – 600 l/s? Hvis man tar for seg et kvist- og stokkdam-system kontra step-pool, og at stegene i et kvist- og stokkdam-system er «overdimensjonert» i forhold til naturlig steg: step-pools kan fortsatt ivareta sin ruhetefunksjon under en middelflom, men under en større flom vil stegene drukne og miste sin ruhetseffekt. I et kvist- og stokkdam-system kan derimot stegene fortsatt ha en funksjon under en stor flom fordi de er store i forhold til den potensielle vannføringen i nedbørfeltet, de er overdimensjonerte.

Under en flom er det derimot større sjanse for at trappeformen til kvistdammer drukner. Figur 39 illustrerer hvordan vannet kan oppføre seg under en 5-årsflom i et etablert kvist- og stokkdam-system. Stokkdammer bygget horisontalt vil da kunne bremse vannet mer enn en kvistdam. Dette kan være et tilfelle fordi vannet i et system med vertikale fall fortsatt vil bevege seg som nappe flow. I en kvistdam med et mer vinklet dropp vil strømmen være mer uniform, alltid være i kontakt med noe fast og det vil i mindre grad oppstå turbulens, det vil kunne gå fra nappe til skimming flow.



Figur 39: Illustrasjonen til venstre illustrerer vannstrømmen under en 5-årsflom i en fylt stokkdam med vertikalt fall. Illustrasjonen til høyre illustrerer vannstrømmen under en middels flom i en fylt kvistdam der fallet er vinklet og vannet alltid er i kontakt med underlaget.

6.3 Størrelse på dammene

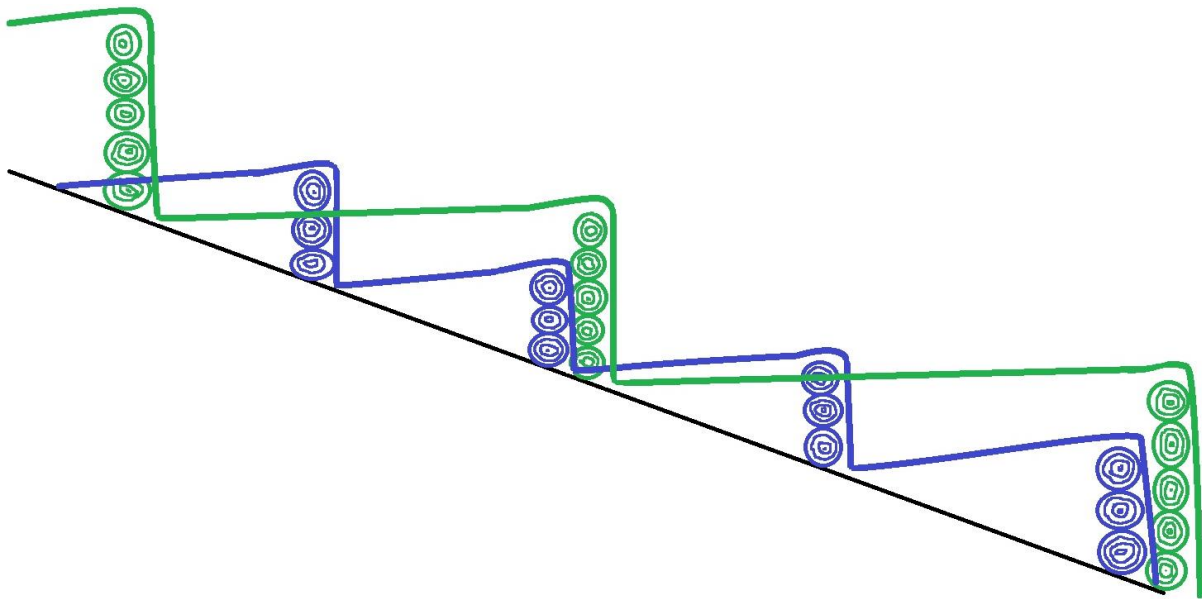
Etter hvert som kvist- og stokkdammene fylles opp med sedimenter så skal det bygges nye, dette vil føre til spørsmål om avstand mellom dammene. Før kvist- og stokkdammer anlegges kan det derfor være grunn til å tenke fremover i tid, hvor store skal de bygges, og hvor skal neste dam bygges etter hvert som de fylles?

Å se til step-pool-morfologi for å lære av naturens egne måte å oppnå et mest mulig stabilt, energireducerende-system på, kan være en mulighet. Å gjøre dette er et godt argument hvis man baserer på Abrahams et al. (1995) sin modell. Tanken er at det skal være mulig å basere seg på $(H/L)/S$ for å finne den optimale høyden og avstanden mellom stegene. Modellen har vist seg å ikke alltid passe til virkeligheten til et step-pool-system (Chartrand & Whiting 2000, Lenzi 2001), men dette er eksempler på systemer der step-pool-systemet ikke har fått organisert seg. Det burde derfor være mulig å bruke modellen, fordi den baserer seg på et etablert og stabilt step-pool-system. I et kvist- og stokkdam-system vil det ikke være nødvendig med flere episoder med små flomhendelser for å etablere riktig høyde på steg og avstand som i et step-pool-system. Dimensjonering av kvist- og stokkdammer kan baseres på forventet vannføring under en stor flom (50 – 200-år returperiode), og vil da være overdimensjonert ved normal vannføring og ha samme effekten som step-pools har under normal vannføring, slik det ble diskutert i kapittel 6.2.

Resultatene fra Lenzi et al. (2003a), Lin et al. (2008) og Comiti et al. (2005) viste alle til at ved høy gradient så bør det bygges tette steg for å redusere erosjon, sedimenttransport og oppbremsing. Dette er resultater som er like måten et step-pool-system organiserer seg på. Dette kan være et argument for å basere seg på at $(H/L)/S$ kan være en mulighet når man anlegger et

kvist- og stokkdamm-system. Det vil kreve arbeid over lang tid for å få til et slikt system, og det kan stilles spørsmål ved hvor realistisk det er.

Høyden på steget vil avgjøre størrelsen på dammene, den flomdempende effekten og hvor mye sedimenter de kan lagre. Spørsmålet er hvor store dammer det er hensiktsmessig å bygge. Figur 40 illustrerer hvordan ulik størrelse på stokkdammer kan se ut i et lengdeprofil. Større dammer vil resultere i høyere steg og lengre pools der vannet vil renne subkritisk, som igjen vil føre til mindre turbulens under en flom. Store dammer vil holde tilbake mer vann under en flom og derfor være bedre flomdempere enn mindre dammer. Problemet med høye steg vil være at erosjonsevnen nedstrøms stegene kan øke, slik man har sett eksempler på fra Slovakia. Men når kvist- og stokkdammer bygges har man selv muligheten til å kontrollere erosjonsevnen ved å forsterke foten av konstruksjonen slik det har blitt gjort i Soknedal.



Figur 40: Illustrasjonstegning av lengdeprofil for to ulike måter å bygge stokkdamm på: lave(blått) og høye(grønt) steg. Strekene illustrerer vannstrømmen under normal vannføring.

En annen faktor som må tas hensyn til er å ha forkunnskap om hvor høy vannføring som er sannsynlig i nedbørfeltet man velger å anlegge kvist- og stokkdammer i. Hvor høy vil en vannføring i Storlykkja eller Engan være ved en ti, 100- eller 200-årsflom? Selv om det har blitt regnet ut hvor mye vann som vil gå gjennom nedbørfeltene ved hjelp av IVF-data, så er dette svært usikre data(videre diskutert i kapittel 6.5.3).

At dammene i Engan nesten har blitt fylt opp med finsedimenter på et halvt år kan sette spørsmålstegn ved hvor god flomdempende effekt kvist- og stokkdammer faktisk har. Med fylte

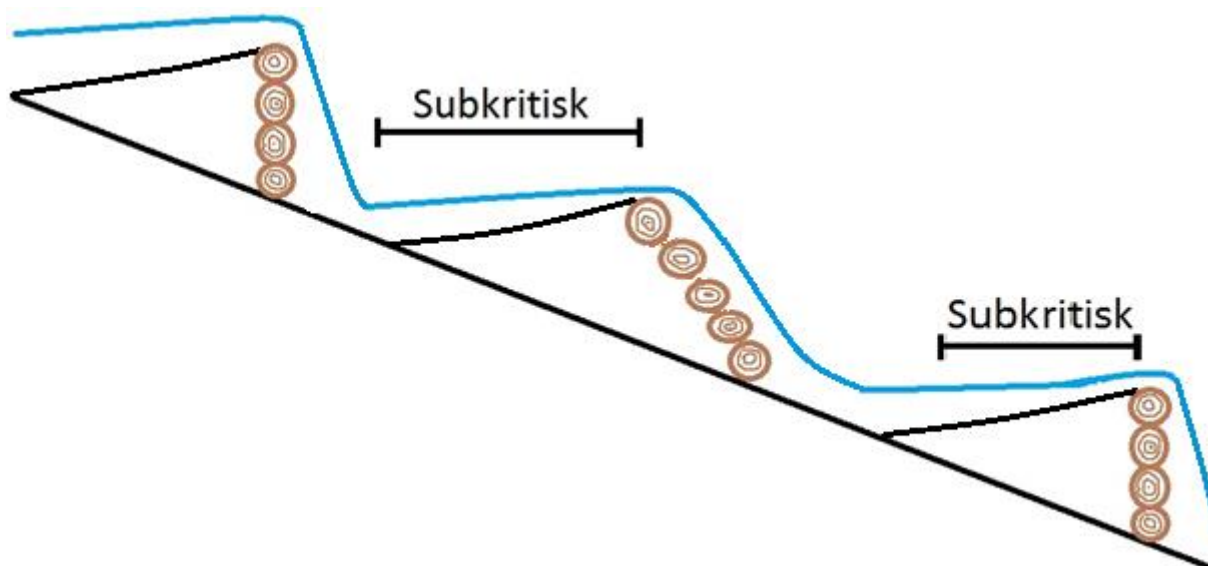
dammer forsvinner den flomdempende effekten, og i Engan har mye materiale blitt avsatt i kanalene allerede før det har vært flomhendelser. Dette kan resultere i at ved en flomhendelse i Engan så vil dammene allerede være fylt opp, og vannet vil ikke bli holdt tilbake, men om det eroderes raskt så vil den flomdempende funksjonen igjen være der.

6.4 Ulike dammer på ulike steder

I Engan har det primært blitt bygget stokkdammer uten kvister. Hvorfor ble det valgt å gjøre det slik, hva har tankene bak typen dam, høyde på konstruksjon og lokasjon vært? Var det for eksempel tatt hensyn til nedbørfeltet med tanke på drenering, vegetasjon, nedbørsmengde, jordsmonn og gradient da de ble bygget?

Vannføring vil være avgjørende for energien i vannet og derfor avgjøre hvordan kvist- og stokkdammer bør bygges. Tas klimafremskrivninger i betraktning så kan det antas at antall dager med styrtflom kommer til å øke, som kvist- og stokkdammer er bygget for å være et tiltak mot. I et nedbørfelt er vegetasjonsdekket en faktor som må tas hensyn til. Overflateavrenning og kartlegging av vegetasjon i nedbørfeltet burde være viktig når bygging av kvist- og stokkdammer planlegges. Dette fordi det er avgjørende for hvor raskt vann vil drenere til kanalen og hvilke sedimenter som vil tilføres til kanalen. For eksempel er tilførselen av finsedimenter større i Engan enn i Storlykkja, noe på grunn av større nedbørfelt og mer vann i kanalen, men også på grunn av overflateerosjon på jordet oppstrøms. En annen faktor man må ta hensyn til er topografien. Det er ikke nok å bare se på topografien til nedbørfeltet, man må ta for seg et større geografisk område for å se på sannsynligheten for at store nedbørshendelser skjer, samt klima i området.

Da flere dammer ble bygget i Engan 14.oktober ble det blant annet anlagt en kvistdam og stokkdam tett opp mot hverandre som kan ses på Figur 16. Tanken bak dammene var at stokkdammen vil bremse vannet før det når kvistdammen. Det er et forsøk med å kombinere stokkdammer og kvistdammer i systemet for å få en energireduserende effekt. Under økt vannføring kan det antas at en slik løsning vil føre til økt vannhastighet nedstrøms, i motsetning til en step-pool inspirert løsning bestående av vertikale fall. Figur 41 illustrerer dette ved at med et vinklet steg så kan det antas at lengden med subkritisk tilstand vil være kortere enn med et vertikalt fall, fordi den energireduserende effekten kan svekkes om det legges til grunn at det er de vertikale droppene i et step-pool-system som står for det meste av energiredusering.

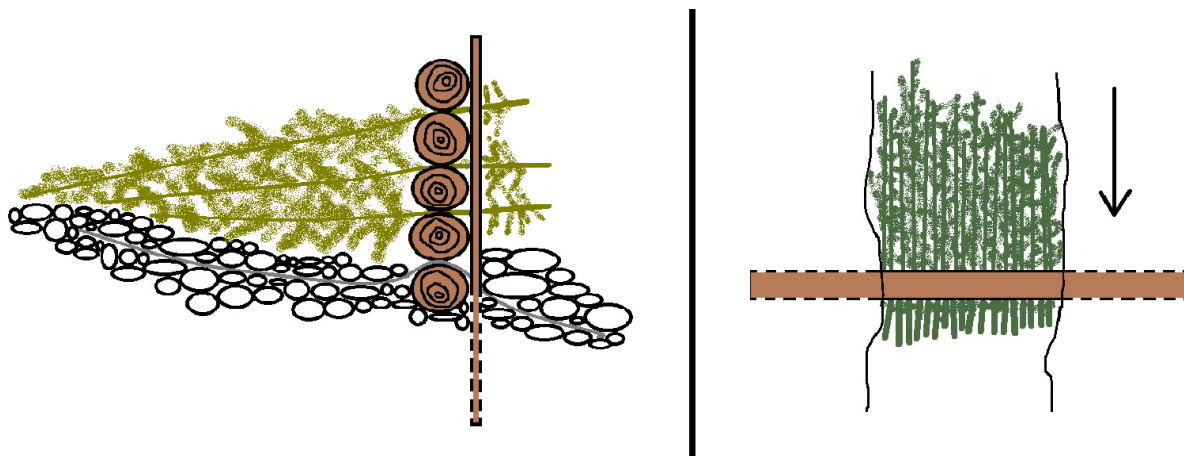


Figur 41: Illustrasjon av hvordan vannstrømmen under en 5-årsflom i et system med fylte kvist- og stokkdammer kan oppføre seg.

Hva som er ønskelig å oppnå med kvist- og stokkdammer i et gitt område burde være sentralt i planleggingsfasen. Engan kan igjen brukes som et eksempel. Deler av grunnen til at det her ble etablert dammer var fordi skråningene skulle stabiliseres. Hvis kanalen består av og tilføres mye finsedimenter, og det er ønskelig å fylle dammene med sedimenter og holde på de, så kan man spørre seg om funksjonaliteten til stokkdammene som er bygget uten kvister. Resultatene fra mars 2015 tilsier at de har en slik funksjonalitet, men hva som skjer under flom er det ingen erfaring med enda. Som et føre-var-prinsipp burde Engan vært et typisk sted der dammene bygges med store mengder kvist for å «sementere» finsedimentene i dammene for å bygge opp kanalen og stabilisere skråningene.

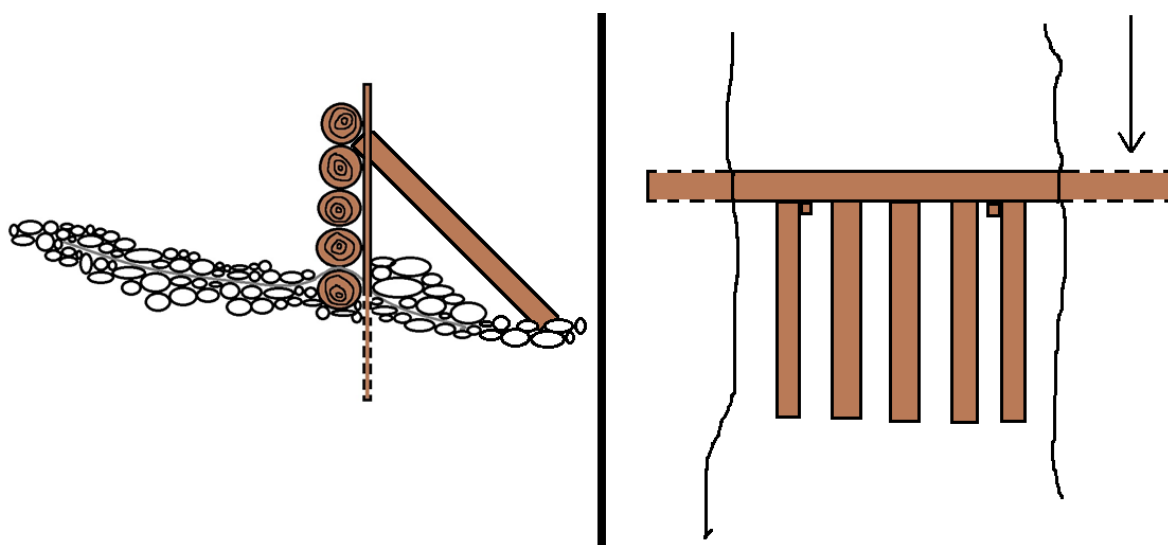
6.4.1 Alternative løsninger

Fordelen med stokkdammer kontra kvistdammer er at de er raskere å bygge og at de trolig ved høy vannføring (5årsflom eller mer) er det beste alternativet for energireduksjon. Fordelen med det vinklede trappeformede steget til kvistdammer er at de ved en middelflom bremser vannet og reduserer vannets erosjonsevnen nedstrøms. Basert på dette kan en alternativ løsning være å kombinere styrkene til både kvist- og stokkdammer. Dette i form av å bygge stokkdammer med kvister som stikker et stykke ut på nedstrømside av konstruksjonen, slik Figur 42 illustrerer. Med en slik løsning er tanken at stokkdammer også får den oppbremsende effekten som kvistdammer har, fordi kvistene vil bremse vannet i fallet og redusere erosjonsevnen.



Figur 42: Lengde(venstre)- og fugleprofil(høyre) av hvordan en stokkdam med tette kvister kan se ut. Pil på fugleperspektivet angir strømretningen.

En annen løsning som potensielt kan redusere energi mer ved en større flomhendelse er å bruke støttestokker på nedstrømside av stokkdammer. Figur 43 er en illustrasjon på hvordan det kan utføres. En slik løsning kan redusere fallenergien ved en flomhendelse. Ved å plassere stokkene et stykke ned på nedstrømside, reduseres også erosjonsprosessene som kan skje nedstrøms erosjonssikringen.



Figur 43: Lengde(venstre)- og fugleprofil(høyre) av hvordan en stokkdam med støttestokker kan se ut. Pil på fugleperspektivet angir strømretningen.

6.5 Metodene

6.5.1 Vanstrykksensor

Dessverre må man si at høsten 2014 ble tørrere enn det som var ønskelig. Datamateriale fra vanstrykksensoren bekrefter dette med stabil vannstand gjennom hele høsten med kun ett døgn med økt vannstand. Vanstrykkloggeren ble brukt som metode for å logge vannstand i Storlykkja, og til dette har den fungert. Loggeren har registrert variasjon i vannstand og det ser ut til å være en visuell samvariasjon med værdata fra nærliggende værstasjoner.

Metoden gir brukeren muligheten til å enkelt justere på parameterne og krever lite forkunnskaper. Det ville vært en fordel om loggeren kunne blitt koblet opp mot internett eller en SMS-tjeneste som varsler ifra når vannstanden overskrider en gitt høyde og med varsling om batterinivå. Mangel på tidligere erfaring vedrørende utstyrets batteribruk gjorde det vanskelig med optimalt oppsett av loggeren i felt, i tillegg var det lite informasjon om dette i manualen til loggeren.

Det ble erfart under feltarbeidet at trykksensoren etter hvert ble dekket av sedimenter og vegetasjon. For å unngå begravning av vanstrykksensoren hadde det vært en mulighet å plassere den inni en form for plastbeholder, for eksempel en plastflaske med hull i bunn og på sidene for å slippe inn vann. En slik løsning kan forhindre at vegetasjon og sedimenter dekker og begraver vanstrykksensoren.

Et stort problem med feltarbeidet i denne oppgaven er at det ikke ble samlet inn noe data på vannhastighet og at det dermed ikke kan sies noe om selve vannføringen, kun vannstand ved et gitt tidspunkt. Vannføringen var aldri høy nok til å få gjennomført hastighetsmålinger, som for eksempel med saltmåling.

6.5.2 PIT-tags

Den tørre høsten resulterte i lite erosjon og sedimenttransport i nedbørfeltet. Det var aldri høy nok vannføring til å sette i gang verken sedimenttransport eller erosjon i foten av stegene.

Selv om det ikke er resultater på bevegelse å vise til, så kan det likevel antas at metoden vil fungere. Sedimenter vil settes i bevegelse ved høy nok vannføring og bevegelsene vil bli registrert. Men ett spørsmål som kan stilles er om metoden er en tungvint løsning i et så lite nedbørfelt. En alternativ løsning hadde vært å malt eller spraylakkert sedimentene, det ville gjort det enklere å identifisere sedimentene med det blotte øyet og en mindre komplisert jobb å

gjennomføre i felt, men med et studie over lengre tid vil fargen antageligvis slites bort og PIT-tags kan være en bedre løsning. Med tanke på levealder så er festeordningen for PIT-tag i denne oppgaven trolig en dårlig løsning, vann og slag kan føre til at PIT-tag kapslene og fugemassen er svært utsatt der de er festet på overflaten av steinen. Levetiden øker nok betraktelig om tagene borres inn i steinene.

Metoden er blitt mye brukt i større vassdrag, i små nedbørfelt som Storlykkja og Engan kan man tenke seg at metoden er enda bedre. Fordelen med små nedbørfelt er at gjennfinningsraten vil være høy fordi det er begrenset hvor langt sedimentene kan bevege seg, samt at kvist- og stokkdammer skal kunne stoppe transporten.

En antatt feilkilde er et altfor lite utvalg i antall merkede steiner, samt et for dårlig utvalg av små steiner. Resultatet fra et altfor lite utvalg og for store steiner kombinert kan ha resultert i at mindre erosjonshendelser og sedimenttransport ikke har blitt registrert.

6.5.3 Flomberegning

Flomberegningene kan brukes til å få et bilde på hvor store vannmengder som vil passere gjennom kvist- og stokkdammene, men de skal i dette tilfellet brukes med stor varsomhet.

For det første ligger målestasjon Risvollan ca. 50km nord for nedbørfeltene. Det finnes ingen IVF-data fra målestasjonene som er lokalisert nærmere nedbørfeltene. For det andre vil vegetasjonsdekket ha stor påvirkning på avrenning, i tillegg til tele og mengden vann i bakken, det er derfor vanskelig å bruke riktig avrenningsfaktor.

Det er også knyttet stor usikkerhet til hvor vannet vil bevege seg i begge nedbørfeltene, spesielt i Storlykkja. Det er stor usikkerhet om området oppstrøms veien er en del av nedbørfeltet Storlykkja, hvis ikke vil det passere langt mindre vann gjennom nedbørfeltet enn det beregningene angir. Det kan antas at beregningene for Engan stemmer bedre med virkeligheten da det med større sikkerhet kan sies at vannet oppstrøms veien dreneres til kvist- og stokkdammene.

7 Konklusjon

Observasjoner gjort i Soknedal viser at kvist- og stokkdammer fylles opp med sand, silt og leire. Dette er observasjoner gjort i en periode uten flomhendelser. Basert på teori og observasjoner så kan det antas at dette materialet vil eroderes og transporteres videre ved en liten flomhendelse. Det er indikasjoner på at kvister kan føre til at finsedimenter i større grad vil holdes tilbake under en flom.

Når kvist- og stokkdammer anlegges er det viktig med god erosjonssikring nedstrøms steget. I Soknedal ble det erosjonssikret tett opptil konstruksjonen, det ble i liten grad tatt hensyn til at det under en stor flom kan erodere lengre nedstrøms på grunn av økning i vannhastighet. Ved å tilrettelegge for en bredere konsentrert strøm over steget, så kan energien i fallet reduseres. Med god erosjonssikring kan større dammer anlegges, disse vil bruke lengre tid på å fylles opp med sedimenter, lagre mer sedimenter og ha en større flomdempende effekt.

Etter hvert som kvist- og stokkdammer blir fylt med sedimenter vil de redusere energien i vannet som et resultat av fallet fra steget. Når dammene fylles og nye bygges, kan man ved å etterligne step-pool-morfologi oppnå maksimal oppbremsing av vannet. Kvist- og stokkdammer vil i stor grad være overdimensjonert for sitt nedbørfelt, derfor kan det være en mulighet å dimensjonere de for forventet vannføring ved en flom, og dermed ha den energireducerende effekten step-pool har under normal vannføring. Å få til et slik system vil kreve arbeid over lengre tid, og det kan stille spørsmål ved hvor realistisk det er å oppnå et fullstendig kvist- og stokkdam-system inspirert av step-pool.

Det er viktig med kunnskap om forventet vannføring i et nedbørfelt som er aktuelt for kvist- og stokkdam bygging. I tillegg vil man med god kartlegging av nedbørfeltets topografi, vegetasjon og urbanisering kunne bedre dimensjonere dammene, samt avgjøre hvilke typer dammer som skal bygges avhengig av hva det er tiltak mot.

Som et resultat av sedimentavsetning i dammene, forsvinner den flomdempende effekten som er ønskelig med stokkdammer, fordi fylte dammer ikke vil magasinere vann, i tillegg forsvinner den permeable effekten. Med tanke på at den permeable effekten ser ut til å forsvinne på kort tid, så er det grunn til å være kritisk til løsningen som energireducerende. Hvis en flom resulterer i at det eroderes i sedimentsavsetningen, gjenoprettes den flomdempende effekten, så lenge dammen ikke er fylt med bunntransportert materiale som krever mer energi for å settes i transport.

8 Forslag til videre forskning

I (Braskerud et al. (2014)) finnes det forslag til videre forskning på kvistdammer. Med bakgrunn i denne oppgaven vises det til flere forslag på videre forskning.

For å øke kunnskapen bør kartlegging av endringer i kvist- og stokkdammene i Soknedal gjennomføres for å øke kunnskapen om dammene, spesielt under flomhendelser. Vil sedimenter eroderes ut? Hvordan oppfører vannet seg under flommen, fungerer nedfelling(e) på konstruksjonene til det de er konstruert for? Stokkdammer sin funksjon som flomdempende er noe som burde undersøkes nærmere.

Det kan være mulig å eksperimentere med ulike typer dammer i forhold til byggemåte og dimensjon for å se hvilken effekt det har på hydrologi, erosjon og sedimenttransport. For eksempel kan man se på effekten med å bruke kvister kontra det å ikke bruke kvister. Vil kvister føre til mindre sedimenttransport selv under en flom?

Erosjon rundt konstruksjonen er et kjent problem, og det burde derfor være mulig å se på hvordan man bedre kan erosjonssikre dammene. Hva skjer etter hvert som dammene fylles opp, vil det da eroderes i sidene lengre opp på konstruksjonen der det ikke er erosjonssikret med stein og fiberduk?

Råte og fuktighet er et kjent problem når man bruker tremateriale. Her trengs det mer kartlegging for å se på langtidseffekten råte og fuktighet har på damkonstruksjoner, og hvilke tresorter som best egner seg. Ved utgivelse av en ny brosjyre om kvistdammer bør det være en oversikt over hvilke tresorter det er greit å bruke, og hva man bør styre unna.

9 Referanser

- Abrahams, A. D., G. Li & J. F. Atkinson (1995). Step-Pool Streams: Adjustment to Maximum Flow Resistance. *Water Resources Research* 31(10): 2593-2602.
- Allan, J. C., R. Hart & J. V. Tranquili (2006). The use of Passive Integrated Transponder (PIT) tags to trace cobble transport in a mixed sand-and-gravel beach on the high-energy Oregon coast, USA. *Marine Geology* 232(1-2): 63-86.
- Biomark (2014). RFID and PIT Technology Explained. Hentet 10/11/2014, fra <http://www.biomark.com/faqs/>.
- Bormann, E. N. & Y. P. Julien (1991). Scour Downstream of Grade-Control Structures. *Journal of Hydraulic Engineering* 117(5): 579-594.
- Braskerud, B. C., K. A. Hoeseth, T. Israelsen, T. Kval, S. Myrabø, S. H. Nordlien & J. Skauge (2014). "Kvistdammer" i Slovakia. 28/2014.
- Braskerud, B. C. & S. Myrabø (2014). Kvistdammer. N. v.-o. energidirektorat.
- Brooks, K. N., P. F. Folliott & J. A. Magner (2012). Soil Erosion Processes and Control. Hydrology and the Management of Watersheds, Blackwell Publishing Ltd.: 199-241.
- Chartrand, S. M. & P. J. Whiting (2000). Alluvial architecture in headwater streams with special emphasis on step-pool topography. *Earth Surface Processes and Landforms* 25(6): 583-600.
- Chin, A. (2003). The geomorphic significance of step-pools in mountain streams. *Geomorphology* 55(1-4): 125-137.
- Chin, A. & J. D. Phillips (2007). The self-organization of step-pools in mountain streams. *Geomorphology* 83(3-4): 346-358.
- Comiti, F., A. Andreoli & M. A. Lenzi (2005). Morphological effects of local scouring in step-pool streams. *Earth Surface Processes and Landforms* 30(12): 1567-1581.
- eKlima (2015). eKlima. Hentet 01/11/2015, fra <http://eklima.met.no/>.
- Engeset, R. (2013). Hvordan lages vær og snø data for seNorge.no og XGEO.no? Hentet 03/12/2014, fra http://www.nve.no/Global/senorge/weatherandsnowdata_no.pdf.
- GlobalWater (2009). GL500-7-2 Data Logger. Hentet 04/09/2014, fra <http://www.globalw.com/downloads/GL/GL500.pdf>.
- GlobalWater (2014a). GL500 multichannel data logger. Hentet 04/09/2014, fra <http://www.globalw.com/products/gl500.html>.
- GlobalWater (2014b). WL400 water level sensor. Hentet 04/09/2014, fra <http://www.globalw.com/products/levelsensor.html>.
- Gomi, T., R. Dan Moore & M. A. Hassan (2005). Suspended sediment dynamics in small forest streams of the Pacific Northwest. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 41(4): 877-898.
- Graf, W. L. (2013). James C. Knox (1977) Human impacts on Wisconsin stream channels. *Annals of the Association of American Geographers* 67: 224-244. *Progress in Physical Geography* 37(3): 422-431.
- Gule sider (2015). Gule Sider Kart. Hentet 04/05/2015, fra <http://kart.gulesider.no/>.
- Guy, H. P. (1964). An analysis of some storm-related variables affecting stream sediment transport. *Geological Survey Professional Paper*.
- Hanssen-Bauer, I., H. Drange, E. J. Førland, L. A. Roald, K. Y. Børsheim, H. Hisdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandven, A. Sorteberg, S. Sundby, K. Vasskog & B. Ådlandsvik (2009). Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilplassing. N. Klimasenter. Oslo.
- Harden, C. P. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology* 79(3-4): 249-263.

- Hassan, M. A., M. Church, T. E. Lisle, F. Brardinoni, L. Benda & G. E. Grant (2005). Sediment transport and channel morphology of small, forested streams. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 41(4): 853-876.
- James, L. A. & W. A. Marcus (2006). The human role in changing fluvial systems: Retrospect, inventory and prospect. *Geomorphology* 79(3-4): 152-171.
- Jernbaneverket (2012). Feil på Jernbaneverkets infrastruktur 13.04.-09.05. 2012.
- Kartverket (2015a). Kartverket. Hentet 04/05/2015, fra www.kartverket.no.
- Kartverket (2015b). Norgeskart. Hentet 04/05/2015, fra <http://www.norgeskart.no>.
- Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*, Arnold.
- Kondolf, G. M., H. Piégay & N. Landon (2002). Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments. *Geomorphology* 45(1-2): 35-51.
- Kravcik, M., J. Kohuitan, M. Gazovic, M. Kovac, M. Hrib, P. Suty & D. Kravcikova (2012). After us, the desert and the deluge? M. Kravcik. NGO People and Water.
- Lamarre, H., B. MacVicar & A. G. Roy (2005). Using passive integrated transponder (PIT) tags to investigate sediment transport in gravel-bed rivers. *Journal of Sedimentary Research* 75(4): 736-741.
- Lamarre, H. & A. G. Roy (2008). The role of morphology on the displacement of particles in a step-pool river system. *Geomorphology* 99(1-4): 270-279.
- Lawrence, D. & H. Hisdal (2011). Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. N. v.-o. energidirektorat. 5.
- Lee, A. J. & R. I. Ferguson (2002). Velocity and flow resistance in step-pool streams. *Geomorphology* 46(1-2): 59-71.
- Lenzi, M. A. (2001). Step-pool evolution in the Rio Cordon, northeastern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 26(9): 991-1008.
- Lenzi, M. A. & F. Comiti (2003). Local scouring and morphological adjustments in steep channels with check-dam sequences. *Geomorphology* 55(1-4): 97-109.
- Lenzi, M. A., A. Marion & F. Comiti (2003a). Interference processes on scouring at bed sills. *Earth Surface Processes and Landforms* 28(1): 99-110.
- Lenzi, M. A., A. Marion & F. Comiti (2003b). Local scouring at grade-control structures in alluvial mountain rivers. *Water Resources Research* 39(7): 1176.
- Lin, B.-S., C.-H. Yeh & H.-P. Lien (2008). The experimental study for the allocation of ground-sills downstream of check dams. *International Journal of Sediment Research* 23(1): 28-43.
- MacFarlane, W. A. & E. Wohl (2003). Influence of step composition on step geometry and flow resistance in step-pool streams of the Washington Cascades. *Water Resources Research* 39(2): 1037.
- Madej, M. A. (2001). Development of channel organization and roughness following sediment pulses in single-thread, gravel bed rivers. *Water Resources Research* 37(8): 2259-2272.
- Marchi, L., M. Borga, E. Preciso & E. Gaume (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology* 394(1-2): 118-133.
- Mason, P. (1989). Effects of Air Entrainment on Plunge Pool Scour. *Journal of Hydraulic Engineering* 115(3): 385-399.
- Mevik, C. (2013). Morfometrisk analyse av step-pools i Vekveselva, Trollheimen Geografisk Institutt. Trondheim, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Molnar, P., A. L. Densmore, B. W. McArdell, J. M. Turowski & P. Burlando (2010). Analysis of changes in the step-pool morphology and channel profile of a steep mountain stream following a large flood. *Geomorphology* 124(1-2): 85-94.

- NGU (2015). Kart min kommune. Hentet 04/05/2015, fra <http://geo.ngu.no/kart/minkommune/?kommunenr=1648>.
- NIFS (2014). Naturfare - Infrastruktur - Flom - Skred. Hentet 24/11/2014, fra <http://www.naturfare.no/>.
- Nikseresht, A. H., N. Talebbeydokhti & M. J. Rezaei (2013). Numerical simulation of two-phase flow on step-pool spillways. *Scientia Iranica* 20(2): 222-230.
- Noetzli, K. P., M. Frei & A. Boll (2002). Tragsicherheit von Holzkonstruktionen im Wildbachverbau Ein Fallbeispiel 60 jähriger Wildbachsperren. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153.
- O'Connor, J. E. & J. E. Costa (2004). Spatial distribution of the largest rainfall-runoff floods from basins between 2.6 and 26,000 km² in the United States and Puerto Rico. *Water Resources Research* 40(1): W01107.
- Olje- og energidepartementet (2012). Hvordan leve med farene - om flom og skred. Olje- og energidepartementet.
- Pagliara, S. & S. M. Kurdistani (2013). Scour downstream of cross-vane structures. *Journal of Hydro-environment Research* 7(4): 236-242.
- Rathburn, S. & E. Wohl (2003). Predicting fine sediment dynamics along a pool-riffle mountain channel. *Geomorphology* 55(1-4): 111-124.
- Reed, R. E., D. A. Dickey, J. M. Burkholder, C. A. Kinder & C. Brownie (2008). Water level variations in the Neuse and Pamlico Estuaries, North Carolina due to local and remote forcing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76(2): 431-446.
- Schwartz, J. S., K. J. Neff, F. E. Dworak & R. R. Woockman (2014). Restoring riffle-pool structure in an incised, straightened urban stream channel using an ecohydraulic modeling approach. *Ecological Engineering*(0).
- Senorge (2014). Senorge.no. Hentet 11/12/2014, fra <http://www.senorge.no/>.
- Sjøvold, F., M. Viklund, Å. Elgvasslien & E. Jjunju (2013). Skredfargekartlegging Dovrebaneln, Garli - Støren. COWI, Jernbaneverket.
- Skaugen, T. E. & E. J. Førland (2011). Future changes in extreme precipitation estimated in Norwegian catchments. *Met.no*.
- Vatne, G. (2013). Mot en farligere fremtid? Trondheim, Akademika forlag.
- Vatne, G. (2015). Personlig kommunikasjon 03/02/2015.
- Vegdirektoratet (2014). Håndbok N200 Vegbygging.
- Wahl, R., B. Samdal, R. Aabøe, S. Kosberg & A. Verhage (2012). Programplan 2012-2015 for etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)". N. v.-o. energidirektorat. Oslo.
- Wenzel, R., C. Reinhardt-Imjela, A. Schulte & J. Bölscher (2014). The potential of in-channel large woody debris in transforming discharge hydrographs in headwater areas (Ore Mountains, Southeastern Germany). *Ecological Engineering* 71(0): 1-9.
- Wilcox, A. C., E. E. Wohl, F. Comiti & L. Mao (2011). Hydraulics, morphology, and energy dissipation in an alpine step-pool channel. *Water Resources Research* 47(7): W07514.
- Woeikof, A. (1901). De l'influence de l'homme sur la terre. *Annales de Géographie*: 193-215.
- Wohl, E., S. Madsen & L. MacDonald (1997). Characteristics of log and clast bed-steps in step-pool streams of northwestern Montana, USA. *Geomorphology* 20(1-2): 1-10.
- Wohl, E. E. & D. M. Thompson (2000). Velocity characteristics along a small step-pool channel. *Earth Surface Processes and Landforms* 25(4): 353-367.
- Zimmermann, A. & M. Church (2001). Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step-pool channel. *Geomorphology* 40(3-4): 311-327.

