

Bekkeerosjon og sikringstiltak i områder med marin leire

En studie av vassdrag langs Dovre- og Nordlandsbanen



Marita Walheim Syversen

Masteroppgave geografi

Trondheim, mai 2016

Marita Walheim Syversen

Bekkeerosjon og sikringstiltak i områder med marin leire

En studie av vassdrag langs Dovre- og Nordlandsbanen

Masteroppgave i geografi

Trondheim, mai 2016

Veileder: Ivar Berthling

Norges teknisk- naturvitenskaplige universitet

Fakultet for samfunnsvitenskap og teknologiledelse

Geografisk institutt



Abstract

This paper emphasizes a discussion about stream erosion in smaller catchments that contains sensitive clay in mid Norway. The paper discusses different geomorphological factors with both positive and negative impact on ground stability, besides a discussion about safeguards and how to protect the catchment from local erosion and geomorphological processes. On assignment from the Norwegian National Rail Administration (Jernbaneverket), two catchments have been picked out and analysed with Lidar, and observed throughout fieldwork. The fieldwork was completed in September 2015.

The two catchments are located in mid- Norway, more specific Skatval in Stjørdal municipality and Klett in Trondheim municipality. In Skatval catchment, neither the risk or the vulnerability are very high because of the catchments position and because of a more established stream channel with less visible erosion. Although some erosion has been registered. In Klett catchment, both the risk and the vulnerability are higher than in Skatval, mainly because the stream channel in Klett are more unstable because the stream more easily find new and alternative ways outside the established stream channel. The effects in both catchments seem to have a strong correlation to LWD (large woody debris), although the effects and the suitable safeguards varies between the two catchments.

Forord

Problemstillinger knyttet til kvikkleire har prydet flere av mine oppgaver gjennom studietiden, deriblant bacheloroppgaven. Temaet rundt kvikkleire har siden andre året ved NTNU fascinert meg, og temaet for masteroppgaven ble lett å finne. Prosessen med å skrive masteroppgave har vært både interessant og lærerik, og jeg kan på mange måter si at jeg har vokst både faglig og personlig. Det å stå på egne bein kan være både deilig og utrolig skremmende på en og samme tid. Denne prosessen har virkelig lært meg at små skritt hver eneste dag fører til resultater til slutt. Til tross for at prosessen stort sett har blitt gjennomført på egne bein, er det likevel flere jeg ikke kunne vært foruten. Jeg ønsker å takke min veileder ved Geografisk institutt, Ivar Berthling for at han omtrent til en hver tid har kunnet svare på både store og små spørsmål, og for at han alltid har fremstått som rolig de gangene jeg har vært usikker. Du har i mange tilfeller holdt meg fokusert.

Jeg ønsker også å takke kontakt ved Jernbaneverket, Maria Hetland Olsen, og Bjørn Karlsnes ved Norges geoteknisk institutt (NGI) for at jeg har fått være med i felt for å se hvordan lignende gjennomføres i praksis, og for tips underveis. I tillegg ønsker jeg å takke Inger- Lise Solberg ved Norges geologiske undersøkelse (NGU) for hjelp med oppgaven og med empirien rundt et studium med mye variabel litteratur.

En takk bør også rettes til Jon Endre Kirkholt ved Statens kartverk i Steinkjer, og Bård Andresen ved Trondheim kommune for lidardata på de to feltområdene. I arbeidet med å fremstille kartene vil jeg takke Kjetil Haukvik for god hjelp, uten deg ville frustrasjonen definitivt vært stor. Takk også til Maia Solberg Økland og Kjetil Haukvik for hjelp under feltarbeidet, og for gode diskusjoner.

Jeg ønsker avslutningsvis å takke øvrig venner og familie for god støtte.

Marita Walheim Syversen

Trondheim, 6.mai 2016

Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING	1
1.2 OPPGAVENS RELEVANS	2
1.3 PROBLEMSTILLING	4
2. OMRÅDEBESKRIVELSE	5
2.1 KLIMA.....	5
2.2 GEOLOGI	6
2.3 FELTOMRÅDE 1: SKATVAL, STJØRDAL	7
2.3.1 Tidligere grunnundersøkelser på Skatval.....	7
2.4 FELTOMRÅDE 2: HEIMDAL, TRONDHEIM.....	8
2.4.1 Tidligere grunnundersøkelser på Klett	9
3. TEORI	11
3.1 SÅRBARHET OG RISIKO	11
3.2 LØSMASSER.....	12
3.2.1 Hva er leire?	13
3.2.2 Hva er kvikkleire?	15
3.2.3 Dannelsessteori.....	16
3.2.4 Erosjon- og skredprosesser i kvikkleire	18
3.2.5 Historiske kvikkleireskred i Trøndelag.....	21
3.3 BEKKEEROSJON	22
3.4 SIKRINGSTILTAK	27
4. FELTARBEID OG METODE	31
4.1 FELTOMRÅDER.....	31
4.2 FELTARBEID.....	31
4.3 METODE	32
4.3.1 Måling og observasjon.....	33
4.3.1.1 Målinger i Arc Gis 10.2	33
4.3.2 Lidar.....	34
4.3.3 Flyfoto	36
5. RESULTATER	37
5.1 FELTOMRÅDE 1. SKATVAL, STJØRDAL	37
5.1.1 Kanalens planform	38
5.1.2 Karakteristikken til ravinedalene	39
5.1.3 Step- pool	40
5.1.4 Forbygninger	41
5.1.5 Vegetasjon	41
5.1.6 Sedimenter og erosjon	43

5.1.7 Lidarbilder og flyfoto.....	45
5.2 FELTOMRÅDE 2. KLETT, HEIMDAL.....	50
5.2.1 Kanalens planform.....	51
5.2.2 Karakteristikken til ravedalene.....	52
5.2.3 Forbygning.....	53
5.2.4 Step- pool.....	53
5.2.5 Vegetasjon.....	54
5.2.6 Sedimenter og erosjon.....	55
5.2.7 Lidarbilder og flyfoto.....	57
5.3 FELTOMRÅDENE – SÅRBARHET OG RISIKO.....	62
6. DISKUSJON.....	65
6.1 DISKUSJON AV RESULTATER.....	65
6.1.1 Kanalens gradient.....	65
6.1.2 Kanalens planform.....	66
6.1.3 Karakteristikken til ravedalene.....	67
6.1.4 Step- pool.....	68
6.1.5 Forbygninger.....	69
6.1.6 Vegetasjon.....	70
6.1.7 Erosjon og sedimenter.....	72
6.2 SIKRINGSTILTAK.....	76
6.2.1 Skatval.....	76
6.2.2 Klett.....	78
7. KONKLUSJON.....	81
8. VIDERE ARBEID.....	83
9. LITTERATURLISTE.....	85

Figurliste

FIGUR 1: FELTOMRÅDE 2. BEKKEEROSJON. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	1
FIGUR 2: OVERSIKTSKART OVER FELTOMRÅDER OG OMKRINGLIGGENDE OMRÅDER. GOOGLE KART (2016).....	5
FIGUR 3: LØSMASSEKART OG OVERSIKT OVER FELTOMRÅDENE, NGU (2016)	6
FIGUR 4: KVIKKLEIRE FAREGRADSKART OVER SKATVAL, STJØRDAL. NGU (2016).....	8
FIGUR 5: KVIKKLEIRE FAREGRADSKART OVER KLETT, TRONDHEIM. NGU (2016)	9
FIGUR 6: OVERSIKTSKART OVER KLIMASÅRBARHET I NORGE. HTTP://WWW.FORSKNINGSRADET.NO/PROGNETT-NORKLIMA/NYHETER/SA_SARBAR_ER_DIN_KOMMUNE/1253982997548?LANG=NO (15.1.2016).....	11
FIGUR 7: STRUKTURFORSKJELLEN MELLOM SALTVANNSLEIRE OG FERSKVANNSLEIRE. JANBU, N. ET. AL. (1993)	14
FIGUR 8: UTVIKLING AV KVIKKLEIRESKRED. JANBU, N. ET AL (1993). LANGSOM PROSESS KNYTTET TIL ELVEEROSJON OG UTLØSNING AV INITIALRAS, MENS PROSESSEN KNYTTET TIL HOVEDRASET BESTÅENDE AV KVIKKLEIRE SKJER RASKT.	20
FIGUR 9: ULIKE BEKKE-/ELVEKANALFORMER. ROSGEN (1994).....	23
FIGUR 10: HJULSTRØMSKURVE. KNIGHTON, D. (1998).....	24
FIGUR 11: SIKRINGSTILTAK, BUNE. JENSEN, L. & TESAKER, E. (2009)	29
FIGUR 12: FLYFOTO AV FELTOMRÅDE 1, 2014. HENTET FRA NORGEIBILDER.NO (2015).....	37
FIGUR 13: LØSMASSEKART, SKATVAL. NGU (2015)	37
FIGUR 14: FELTOMRÅDE 1. BEKKELØP, MIDTRE DEL. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	38
FIGUR 15: FELTOMRÅDE 1. BEKKELØP, NEDRE DEL. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015).....	38
FIGUR 16: FELTOMRÅDE 1. BEKKELØP, ØVRE DEL. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	39
FIGUR 17: FELTOMRÅDE 1. BEKKELØP, ØVRE DEL 2. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015).....	40
FIGUR 18: FELTOMRÅDE 1. FORBYGNING. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015).....	41
FIGUR 19: FELTOMRÅDE 1. VEGETASJONSDEKKE 1. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	42
FIGUR 20: FELTOMRÅDE 1. VEGETASJONSDEKKE 2. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	42
FIGUR 21: FELTOMRÅDE 1. VEGETASJONSDEKKE 3. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	42
FIGUR 22: FELTOMRÅDE 1. EROSIJON 1. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	43
FIGUR 23: FELTOMRÅDE 1. EROSIJON 2. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	44
FIGUR 24: FELTOMRÅDE 1. EROSIJON 3. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	44
FIGUR 25: FELTOMRÅDE 1. EROSIJON 4. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	44
FIGUR 26: FELTOMRÅDE 1. LIDARSKANN 2009. HVIT RAMME VISER DE BEFARTE OMRÅDENE I VASSDRAGET. STATENS KARTVERK (2015)	45
FIGUR 27: FELTOMRÅDE 1. LIDARSKANN 2015. HVIT RAMME VISER DE BEFARTE OMRÅDENE I VASSDRAGET. STATENS KARTVERK (2015).....	46
FIGUR 28: FELTOMRÅDE 1. DIFFERANSEKART 2009-2015. STATENS KARTVERK. MARITA W. SYVERSEN (RED.) (2016)	47
FIGUR 29: FELTOMRÅDE 1. DIFFERANSEKART 2009-2015 (2). STATENS KARTVERK. MARITA W. SYVERSEN (RED.)(2016)	48
FIGUR 30: FELTOMRÅDE 1. FLYFOTO 2004. HENTET FRA NORGEIBILDER.NO (2015).....	49
FIGUR 31: FELTOMRÅDE 1. FLYFOTO 2014. HENTET FRA NORGEIBILDER.NO (2015).....	49
FIGUR 32: FLYFOTO AV FELTOMRÅDE 2, 2014. HENTET FRA NORGEIBILDER.NO (2015).....	50
FIGUR 33: LØSMASSEKART, KLETT. NGU (2015)	50
FIGUR 34: FELTOMRÅDE 2. BEKKELØP, MIDTRE DEL. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	51
FIGUR 35: FELTOMRÅDE 2. BEKKELØP, ØVRE DEL. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	52
FIGUR 36: BEKKELØP, NEDRE DEL. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	52

FIGUR 37: FELTOMRÅDE 2. FORBYGNING. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015).....	53
FIGUR 38: FELTOMRÅDE 2. VEGETASJON 1. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	54
FIGUR 39: FELTOMRÅDE 2. VEGETASJON 2. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	54
FIGUR 40: FELTOMRÅDE 2. EROSJON 1. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	55
FIGUR 41: FELTOMRÅDE 2. EROSJON 2. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	56
FIGUR 42: FELTOMRÅDE 2. EROSJON 3. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	56
FIGUR 43: FELTOMRÅDE 2. EROSJON 4. FOTO: MARITA W. SYVERSEN (2015)	56
FIGUR 44: FELTOMRÅDE 2. LIDARSKANN 2009. HVIT RAMME VISER DE BEFARTE OMRÅDENE I VASSDRAGET. TRONDHEIM KOMMUNE (2015).....	57
FIGUR 45: FELTOMRÅDE 2. LIDARSKANN 2014. HVIT RAMME VISER DE BEFARTE OMRÅDENE I VASSDRAGET. TRONDHEIM KOMMUNE (2015).....	58
FIGUR 46: FELTOMRÅDE 2. DIFFERANSEKART 2009-2014. TRONDHEIM KOMMUNE. MARITA W. SYVERSEN (RED.) (2016).....	59
FIGUR 47: FELTOMRÅDE 2. DIFFERANSEKART 2009- 2014 (2). TRONDHEIM KOMMUNE. MARITA W. SYVERSEN (RED.) (2016).....	60
FIGUR 48: FELTOMRÅDE 2. FLYFOTO 2014. HENTET FR NORGEIBILDER.NO (2015)	61
FIGUR 49: FELTOMRÅDE 2. FLYFOTO 2003. HENTET FRA NORGEIBILDER.NO (2015).....	61

Tabeller

TABELL 1: PUNKTTETTHET I LIDARDATA.....	35
TABELL 2: VISER MÅLINGER GJORT I ARCGIS 10.2.....	62

BEGREPSLISTE

ArcGis 10.2	Dataprogram for geografisk kartlegging og romlig analyse. Utgitt av Esri.
Geomorfologiske prosesser	Prosesser som danner landformer
Hydraulisk konduktivitet	En væskes strømmingsevne gjennom en porøs masse
JBV	Jernbaneverket
Kvikkleire	Marin leire med stor grad av utvaskede salter
LiDAR	Light detection and ranging
LWD	Large woody debris
Marin leire	Leire som er avsatt i havet
NGI	Norges geoteknisk institutt
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
Permeabilitet	Egenskaper hos en masse som forklarer i hvilken grad vann kan strømme gjennom.
Risiko	Sannsynligheten for at naturfarer truer, og at områdene rundt blir påvirket
Skadekonsekvens	De sosiale og økonomiske skadene et område får etter en hendelse. Styres ofte av avstand til mennesker og/eller bebyggelse.
Sosio-økonomisk sårbarhet	Sannsynligheten for at det sosiale og økonomiske samfunnet tar skade av en hendelse

1. Innledning

De senere årene har det blitt større fokus på prosesser som påvirker mindre nedbørsfelt. I et klima i stadig endring blir det desto mer viktig med kunnskap om prosesser, effekter og tiltak, særlig i disse områdene (Rød, 2013). Responstiden i små nedbørsfelt er som oftest kortere på grunn av den lave magasineringsgraden av innsjøer, myrer og lignende. I tillegg vil ofte høy gradient og mindre areal i små nedbørsfelt føre til at enkelthendelser får større og mer alvorlige effekter sammenlignet med nedbørsfelt med andre topografiske forutsetninger. På grunn av stadig nye utbyggelser av infrastruktur og annen bebyggelse, vil ekstreme hendelser i fremtiden kunne påvirke flere mennesker og føre til tap av større økonomiske verdier. Dette er kunnskap det er viktig å ha med seg inn i blant annet planlegging- og prosjekteringsarbeid i fremtiden.

Skred i marin leire kan få store konsekvenser, først og fremst fordi omfanget ofte er stort, men også fordi det er veldig vanskelig å forutse. Norges kanskje mest kjente kvikkleireskred fant sted på Rissa i Sør-Trøndelag i 1978. I etterkant av skredet ble det startet en faregradsvurdering over hele landet der hovedfokus var områder med marin leire. Som et resultat av den landsdekkende kartleggingen, kom det frem at 1500 soner over 500km² ble karakterisert som potensielt skredfarlige. I tillegg kom det frem at de fleste av disse områdene var tettbebygde (Gregersen, 2008).

Opp igjennom historien har det gått mange kvikkleireskred både på Østlandet, i Trøndelag og i Nord-Norge (Janbu et al. 1993). Før i tiden visste man lite om grunnforholdene, og man bygde ofte på utfordrerne steder. Til tross for at kunnskapen har økt, blir det fortsatt utløst kvikkleireskred på grunn av menneskelig aktiviteter. Det viktigste fagfolk kan gjøre er å opplyse og informere. Selv om menneskelig aktivitet som oftest er den utløsende årsaken i dag, kan kvikkleireskred også oppstått som følge av naturlig erosjon. Erosjon i elver eller bekker er som oftest en av hovedårsakene til kvikkleireskred som er forårsaket av naturlige prosesser.

Marin leire blir, som oppgaven tar for seg, kvikk gjennom gradvis utvasking. Siden mye av den marine leiren som ligger på landoverflaten i Norge i dag har blitt utvasket gjennom mange tusen år, er den stedvis svært utvasket. Ved å klassifisere områder med marine leire med ulike faregrader, kan vi skille mellom de områdene som er svært utvasket og de områdene hvor utvaskingen ikke har vært like stor. Ut fra dette kan man kartlegge hvor de

mest sensitive områdene befinner seg og i hvilke områder det skal svært lite til for at det potensielt sett kan forekomme utglidninger. Ved å skaffe informasjon om erosjonsgraden på et område, finner man blant annet ut hvor fort den geomorfologiske utviklingen foregår. Dette vil med andre ord si at en finner informasjon om hvor fort endringer oppstår eller hvor fort prosesser og former opphører lokalt i ulike vassdraget. Kunnskap knyttet til erosjonsgraden vil blant annet gjøre både planlegging og utbygging i fremtiden lettere og mer sikkert. Først og fremst er slik kunnskap viktig i forbindelse med infrastruktur der den sosio-økonomiske sårbarheten er høy. De senere årene har infrastruktur blitt rammet av både flom og skredhendelser i Norge. Med mer kunnskap om faregrad og erosjonsgrader i de ulike nedbørsfeltene, kan man minke eller forhåpentligvis stoppe effektene av slike hendelser i fremtiden.

1.2 Oppgavens relevans

Årlig skrives det mye om naturkatastrofer i norske medier. Naturkatastrofer knyttet til både antropogen- og naturlige påvirkninger koster staten flere millioner kroner i året, og det brukes mye ressurser på å sikre både veg og jernbane. Som nevnt ovenfor er det mange bebygde områder i Norge som ligger på store forekomster av marin leire, og derfor potensielt sett også kvikkleire. Det er mange eksempler på hendelser der marin leire har skapt problemer som følge av ødeleggelse på bebyggelse og infrastruktur.

Et eksempel er kollapsen av Skjeggestadbrua langs E18 i Vestfold 2. februar 2015. I tillegg til problemene med trafikkavvikling, ble det brukt 30. – 40. millioner kroner for å stabilisere og rette opp i skadene. I etterkant fant fagfolk ut at brua kollapset på grunn kvikkleireskred som hadde blitt utløst av anleggsarbeid (Grymer & Vatnøy, 2015). Som følge av kollapsen ble det lagt ned mye arbeid for å kartlegge faregraden rundt mange norske bruer som ligger på marin leire (Dagens næringsliv. 2015).

Et annet eksempel er fra 2014 på fylkesveg 17 mellom Steinkjer og Namsos. Her gikk prosjektet knyttet til en 13 km lang veistrekning, flere hundre millioner kroner over budsjettet på grunn av utfordrende marin leire. I følge statens vegvesen ville endringene på dette prosjektet ende med en prislapp på omtrent 735 millioner kroner (Nikolaisen, 2014). På samme veistrekning gikk det 13. mars 2009 et stort kvikkleireskred som i etterkant fikk navnet Kattmarkasraset. Skredet var målt til å være omtrent 300 meter langt og 100 meter

bredt. 10 personer ble hentet ut med helikopter, men ingen ble alvorlig skadet. Flere hus og lokalveier ble tatt av skredet (Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, 2009).

I Alta ble det utløst et kvikkleireskred september 2015 på grunn av arbeid med E6. Et bolighus ble tatt av skredet, men ingen omkom. Prosjektleder utalte i etterkant at han trodde det var lagt ned nok arbeid tilknyttet sikkerheten i forbindelse med grunnforholdene, noe som i ettertid viste seg å være feil (Fløreide, 2015).

Jernbanen har også opp igjennom historien blitt påvirket av kvikkleireskred. I 1953 ble blant annet Mosseveien og jernbanestrekket mellom Østfold og Oslo rammet av et kvikkleireskred som tok livet av til sammen fem mennesker (Ridola & Martinsen, 2013).

I de nyere eksemplene ovenfor har stabiliteten i grunnforholdene i forbindelse med utbygging som oftest kommet som en overraskelse. Til tross for mye arbeid i forkant av utbyggelsene, har det vist seg at kartleggingen av faregraden har vært for dårlig. Dette er hendelser vi kan vente oss flere av i fremtiden. Noen av eksemplene viser at det i Norge allerede eksisterer mange veg- og jernbanestrekninger som kan rammes av utglidninger forårsaket av kvikkleire. Disse eksemplene er med på å understreke viktigheten av grundigere undersøkelser og tilrettelegging av sikringstiltak både på nye, men også på gamle og etablerte prosjekter. Utbyggere etterspør bedre kart og grundigere undersøkelser av grunnen og områdene generelt for å unngå utglidninger, store budsjettendringer eller utsatte prosjekter fremover.

Jernbaneverket legger daglig til rette for å frakter mange mennesker og mye varer over store geografiske områder. Dette kan ofte være en stor utfordring i Norge. De senere årene har Jernbaneverket begynt å satse mer på kunnskap som skal hindre at jernbanetraseer i Norge blir påvirket av naturprosesser i fremtiden. Både mer forskning, nærkontakt med fagfolk og satsing på masterstudenter har blitt viktigere (Jernbaneverket, 2011). I perioden mellom 2012 og 2015 jobbet Jernbaneverket tett sammen med Norges vassdrag- og energi direktorat (NVE) og Statens vegvesen i deres felles prosjekt kalt «NIFS». Dette prosjektet satte naturfarer knyttet til infrastruktur på dagsordenen. Prosesser som flom og skred var hovedfokuset, og over 40 millioner kr ble satt av i budsjettet (Naturfare.no u.d; NVE, 2012). Jernbaneverket jobber i dag tett med fagfolk fra blant annet Norges geoteknisk institutt (NGI), med hovedformålet å kartlegge sårbare områder tilknyttet jernbanen. Som en forlengelse av det sistnevnte samarbeidet mellom Jernbaneverket og NGI, vil denne oppgaven fungere som en rådgivende rapport, og som en statusoppdatering fra de områdene som er valgt. I tillegg vil

fokuset i denne oppgaven skille seg fra tidligere undersøkelser på området da denne oppgaven går mer i detalj på erosjonsprosessene. Dette har vært ønsket både fra Jernbaneverket og NGI.

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med jernbaneverkets avdeling i Trondheim høsten 2015 og våren 2016.

1.3 Problemstilling

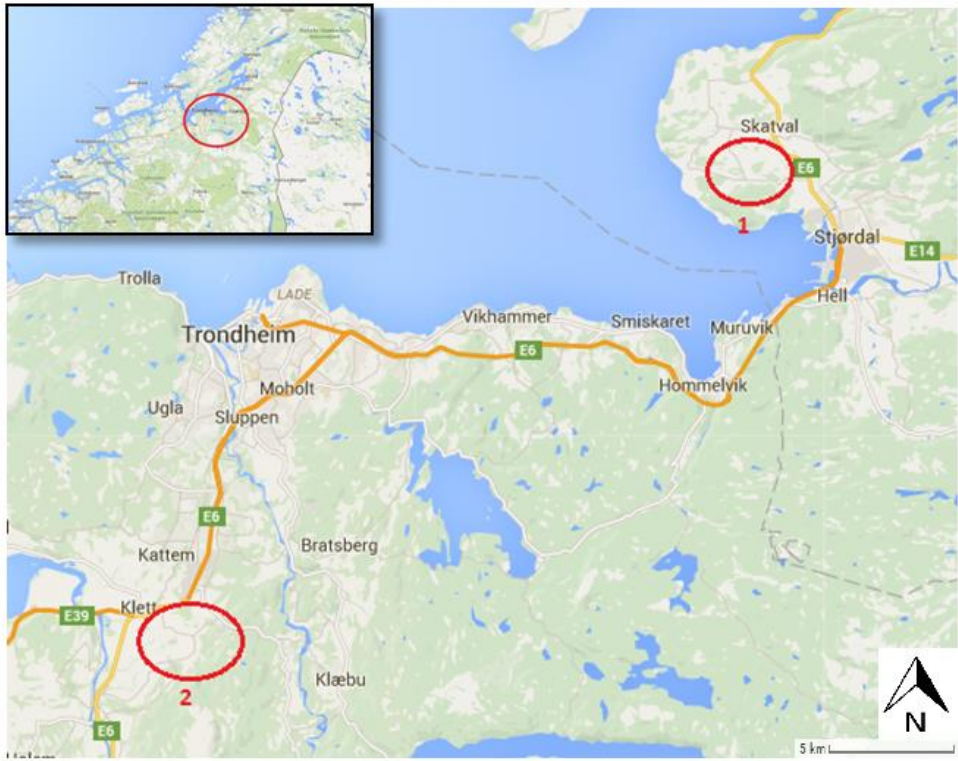
Temaet i oppgaven omhandler erosjonsprosesser i marin leire. Problemstillingen tar for seg to jernbanetraseer, én langs Dovrebanen i Sør- Trøndelag og én langs Nordlandsbanen i Nord-Trøndelag. Hovedfokuset ligger på bekkeerosjon langs vassdrag som er knyttet opp mot jernbanen. Det har blitt gjennomført feltobservasjoner i tillegg til analyse av utvikling over tid, ved å studere lidardata fra området. NGI har tidligere gjennomført flere vurderinger på områdene. Disse vurderingene er tatt med i oppgaven for å få mer kunnskap om blant annet grunnforhold. På oppfordring fra Jernbaneverket vil det i tillegg bli en diskusjon knyttet til sikringstiltak.

«En studie av to vassdrag: På hvilken måte, og i hvilken grad eksisterer erosjonsprosesser på områdene? Kan erosjonsprosessene påvirke kvikkleiresonene, og følgelig jernbanetraseer langs Dovre- og Nordlandsbanen?»

«Hva slags sikringstiltak kan gjennomføres i vassdragene?»

2. Områdebeskrivelse

Den største byen i trøndelagsfylkene er Trondheim, som også er Norges fjerde største by. Trondheim ligger mellom de to feltområdene som studeres i oppgaven (se figur 2) (Trondheim kommune, U.d).



Figur 2: Oversiktskart over feltområder og omkringliggende områder. Google kart (2016)

2.1 Klima

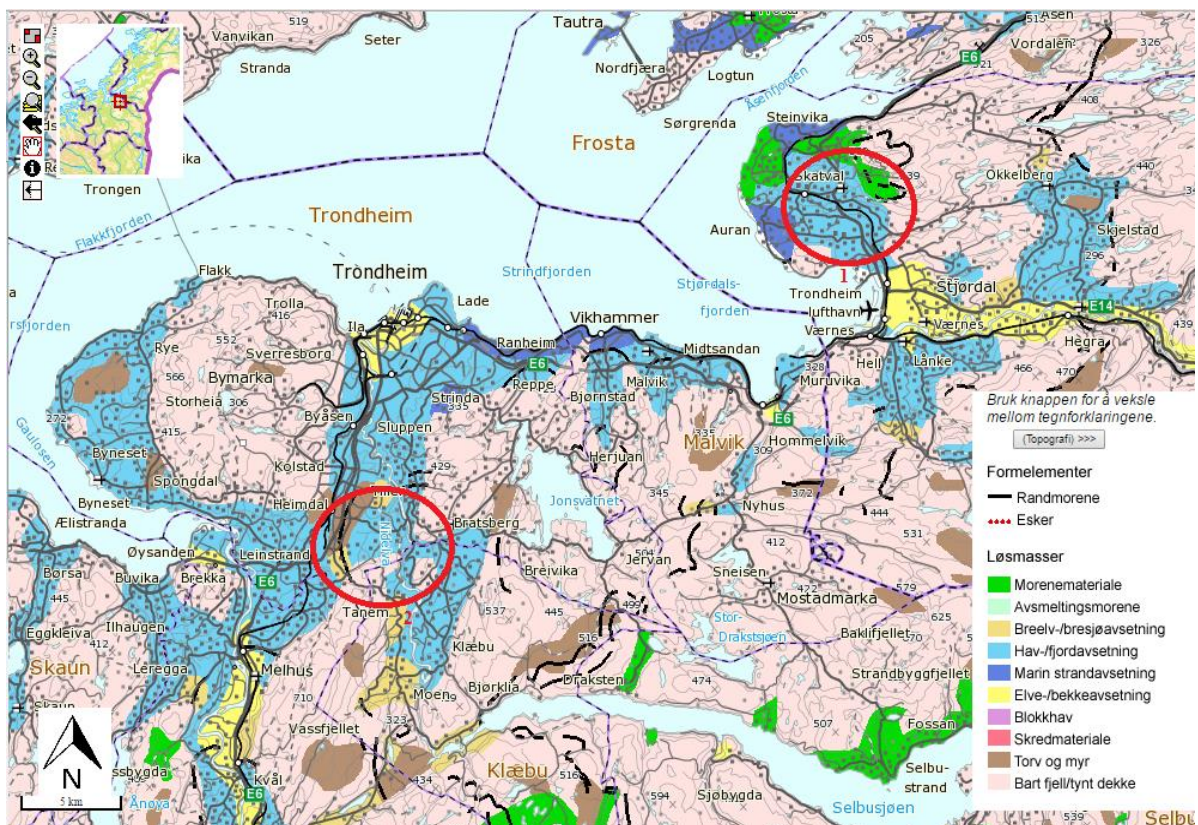
I Trøndelagsfylkene er klimaet relativt ustabil med mye mildt og fuktig vær. Dette skyldes først og fremst den geografiske beliggenheten. Trondheim kommune har en årlig middeltemperatur på 4 °C. Mens gjennomsnittlig årsnedbør ligger mellom 800 – 1000 mm per år (Meteorologisk institutt, u.d).

Trondheim kan sammen med store deler av resten av Norge, kategoriseres «fuktig kontinentalt klima (D)» i Köppens klima klassifiseringssystem. Et slikt klimasystem består av varme sommertemperaturer og kalde vintertemperaturer. Gjennomsnittstemperaturen i varme måneder er 10 °C, mens den gjennomsnittlige temperaturen i kalde måneder er -3 °C. (NOAA, u.d).

2.2 Geologi

Etter forrige istid for 10 000 år siden ble landet hevet da ismasser gradvis smeltet tilbake og trykket på landoverflaten minket. For 12 500 år siden var trøndelagskysten helt isfri, og store mengder løsmasser ble avsatt når isen trakk seg tilbake. Som et resultat av både landheving og avsetning fikk vi dannet den løsmassesammensetningen vi har i dag, og som kvikkleire et resultat av (Reite et al. 1999). I følge Bjerrum (1955) er terrenget rundt Trondheimsfjorden et av de områdene i Norge som har gjennomgått størst landhevning etter forrige istid, og som i tillegg befinner seg på noe av den mest utvaska marine leira i landet. Årsaken bak dette er en hydraulisk gradient av grunnvannet. Grunnvann med hydraulisk gradient vil føre til at løsmasser i området får en jevn utvasking over tid. Utvaskingen er ugunstig i forbindelse med marin leire, men teorien er med på å forklare hvorfor områdene med marin leire i Trøndelagsfylkene er så utvasket som de er.

Terrengoverflaten i Trøndelag består av mye morenemateriale og bart fjell ved siden av de marine avsetningene. Både løsmasser og bart fjell viser hvordan isavsmelting har vært avgjørende for sammensetningen av løsmasser vi bygger og bor på i dag. På figur 3 kan en se hvordan marine avsetninger og bart fjell flere steder grenser til hverandre. Disse grensene gjør det lett å danne seg et bilde av hvordan Trondheim og omkringliggende områder så ut rett etter forrige istid. På den tiden da marine avsetninger ikke hadde blitt avsatt på landoverflaten,



men kun var løsmasser som befant seg på fjordbunnen. På samme tidspunkt hadde isen skurt vekk sedimenter og etterlatt seg et tynt morenedekke på de områdene som den gang utgjorde landoverflaten (Reite et al. 1999).

2.3 Feltområde 1: Skatval, Stjørdal

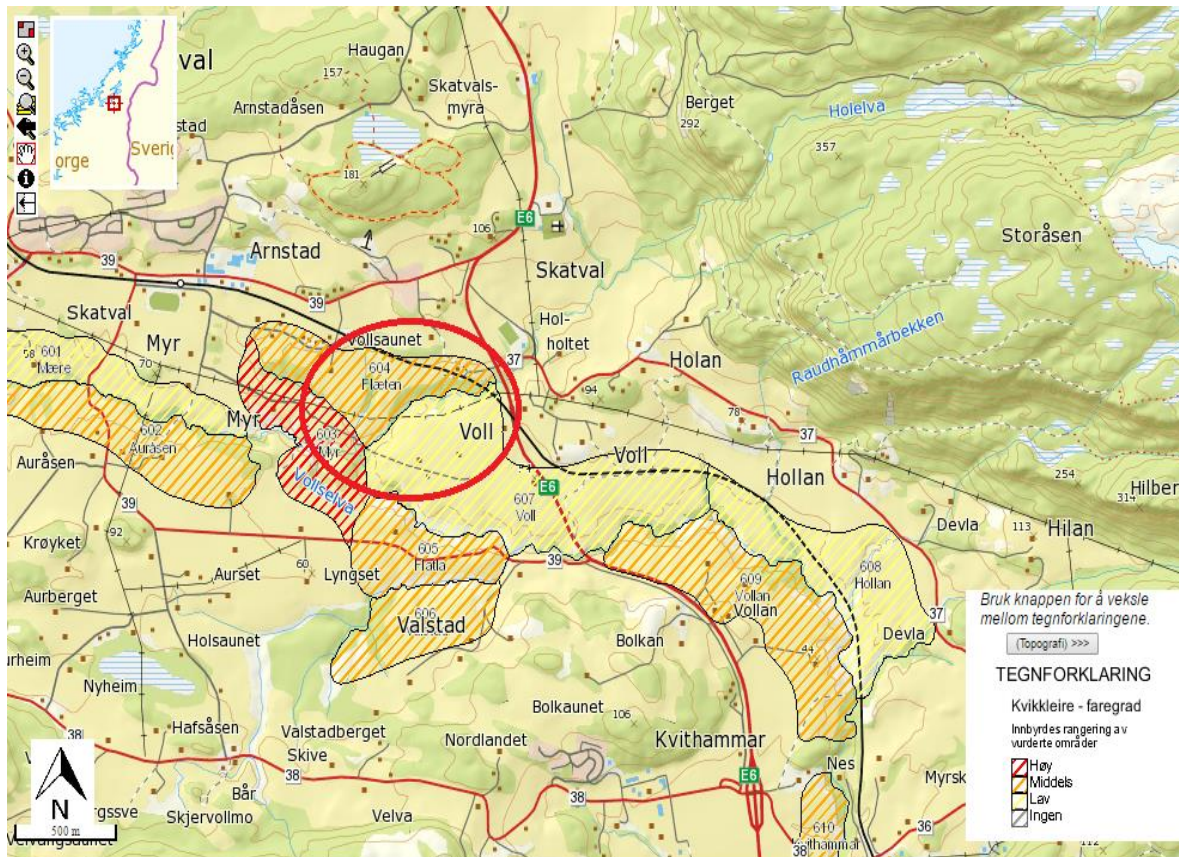
Dette feltområdet ligger i Stjørdal kommune i Nord- Trøndelag fylke. Kommunen har til sammen 2863 innbyggere, der 940 av disse er bosatt i Skatval sogn per 2014 (Askheim, 2015). Stjørdal er en kommune bestående av mye jord- og skogbruk. I Stjørdal, men også i Trøndelag generelt er det lett å dyrke korn, først og fremst på grunn av god kvalitet på jorda. Grunnen til at det befinner seg så god matjord her, er på grunn av de marine avsetningene som ble avsatt etter forrige istid, og som på grunn av landhevingen fortsatt avsettes i dag. I tillegg til god matjord, har Stjørdal også et relativt flatt relieff som er med på å gjøre jordbruksarbeidet lettere. De fleste områdene i Stjørdal befinner seg under marin grense på 200 m.o.h. Det vil si at muligheten for tilstedeværelse av kvikkleire er stor (se figur 4). Karlsen, (2014a) påpeker at selv om mange kvikkleireområder her er kartlagt, kan det potensielt sett være snakk om mange fler.

Terrenget på området kan kategoriseres som et ravinelandskap med stedvis bratt leirterreng. Feltområdet er godt vegetert, spesielt i de områdene som ligger nærmest jernbanen. Vegetasjonen er godt etablert, og består for det meste av større trær. Gjennom feltområdet på Skatval går Nordlandsbanen fra Trondheim til Bodø. Dette er en viktig trasé som på mange måter er med på å knytte Nord- og Sør-Norge sammen (Holøs, 2009). I tillegg til en sentral jernbanetrasé, befinner det seg også veinett og flere private boliger på området.

2.3.1 Tidligere grunnundersøkelser på Skatval

På området ligger jernbanen på en 2-3 meter høy fylling. Selve ravedalen har skråninger som er 6 meter høye, og er tidvis bratte. I følge Karlsnes (2014a) ble det gjennomført grunnundersøkelser på området i 1999. Boreprøvene konstaterer at det befant seg leire helt ned til det dypeste nivået på 22 meter. De øverste 5 – 6 meterne besto av fast leire, og kunne anses å være tidligere rasmasser. På 5,5 meters dybde befant det seg et lag med sand og grus. Dette laget er trolig avsatt av bekken på et tidligere terrengnivå. På større dybde var leira middels fast. Undersøkelsene viste også at det på 15 meters dybde trolig befant seg det som kan kategoriseres som sensitiv leire. Det ble ikke registrert fjell i undersøkelsen, men

grunnvannet ble målt til å ligge på 5,1 meters dybde. Dette tilsier at grunnvannet i ravinedalsidene ligger høyere enn selve bekken (Hoven, 1999).



Figur 4: Kvikkleire faregradskart over Skatval, Stjørdal. NGU (2016).

2.4 Feltområde 2: Heimdal, Trondheim

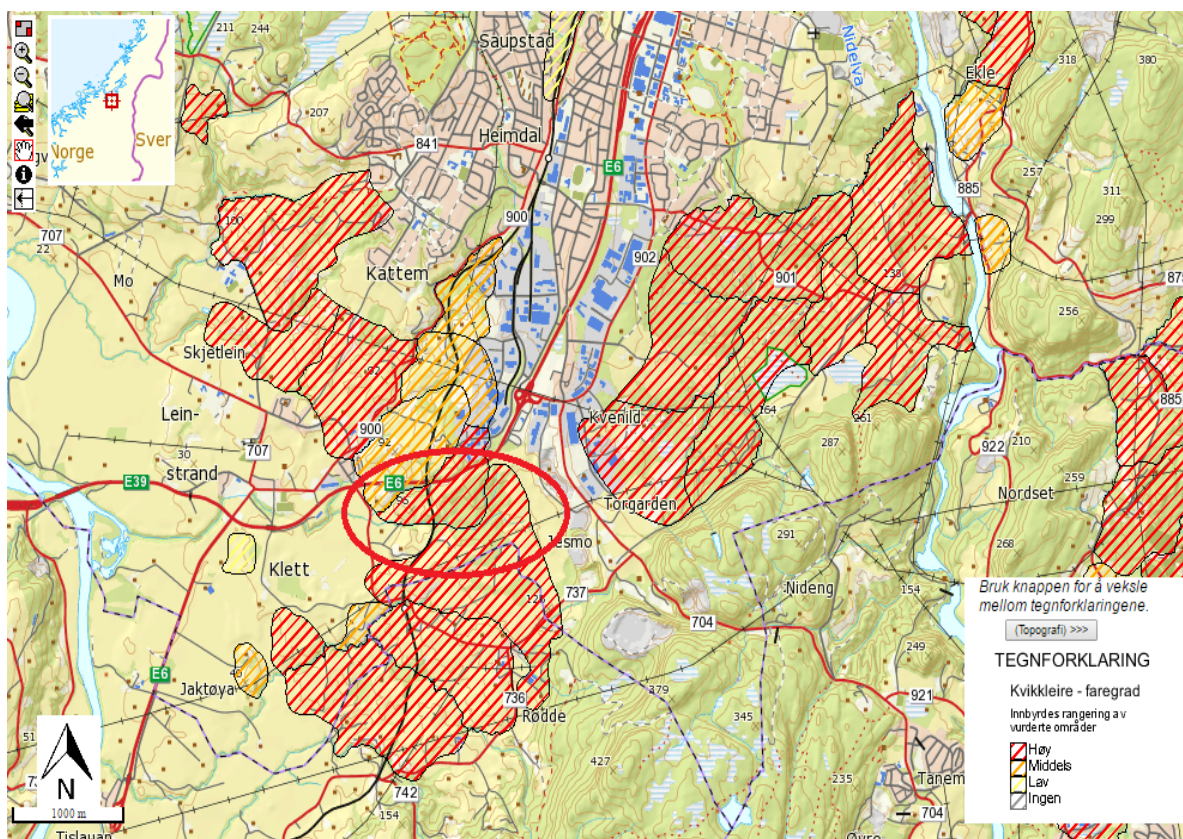
På grensen mellom Melhus- og Trondheim kommune ligger feltområde 2. Ved Klett på Heimdal, ikke langt unna Rødde Folkehøgskole ligger nedbørsfeltet i en skråning omkranset med jorder på begge sider. Heimdal er en bydel i Trondheim kommune med et innbyggertall på omtrent 70 000, hvis man også regner med nabobydelen Tiller (Rosvold, 2014). Området domineres på samme måte som i feltområde 1 av jordbruk og skogbruk, men dette området er i større grad knyttet til urbane områder. Gjennom feltområdet går både Dovrebanen og E6. I tillegg ligger et tettbebygd boligstrøk bare noen hundre meter nord for feltområdet.

Terrenget i området er nokså kupert, og har stedvis høy gradient til tross for at det er mye jordbruk i nærheten. Feltområdet ligger et godt stykke opp i dalsiden, og de dominerende jordbruksområdene begynner å gå over til skogbruksområder. Feltområdet ligger i en ravinedal med bratte leirskråninger. På området er det mye vegetasjon i form av både lettere trær og busker, i tillegg til mer etablerte større trær. I bunnen går en bekk som føres ned fra

høyereliggende områder og gjennom en kulvert i jernbanefyllingen som går i de nedre delene av det befarte feltområdet.

2.4.1 Tidligere grunnundersøkelser på Klett

Grunnundersøkelser er publisert i tidligere rapporter, både i 2008, 2010, 2013, 2014 og 2015 (Karlsnes, 2014b). Disse undersøkelsene viser først og fremst at området består av siltig marin leire med enkelte sandlag imellom (Lund, 2008; Haugen, 2010). Mer detaljerte grunnundersøkelser viser at det her befinner seg soner for potensielle kvikkleireskred (se figur 5). Kvikkleiresone 438 ligger under både Dovrebanen og E6, i tillegg berøres enkelte deler av det tettbebygde strøket i retning nord. Det er også innenfor kvikkleiresone 438 at bekken som skal undersøkes, befinner seg. Undersøkelser som Rambøll og Sintef har gjennomført viser at dybden ned til grunnfjell varierer mellom 11,3 meter til 21,7 meter. Ovenfor grunnfjellet ligger et fast lag med det som kan antas å være morenejord. Dette laget har en mektighet på mellom 2- 11 meter. Over morenejorda ligger et lag med middels fast til fast siltig leire med en mektighet på 6-10 meter. På toppen ligger tørrskorpe med en dybde på 3,5 til 5,0 meter. I tillegg til dette er grunnvannet målt til å være omtrent 2,4 meter under overflaten (Søjdís, 2013).



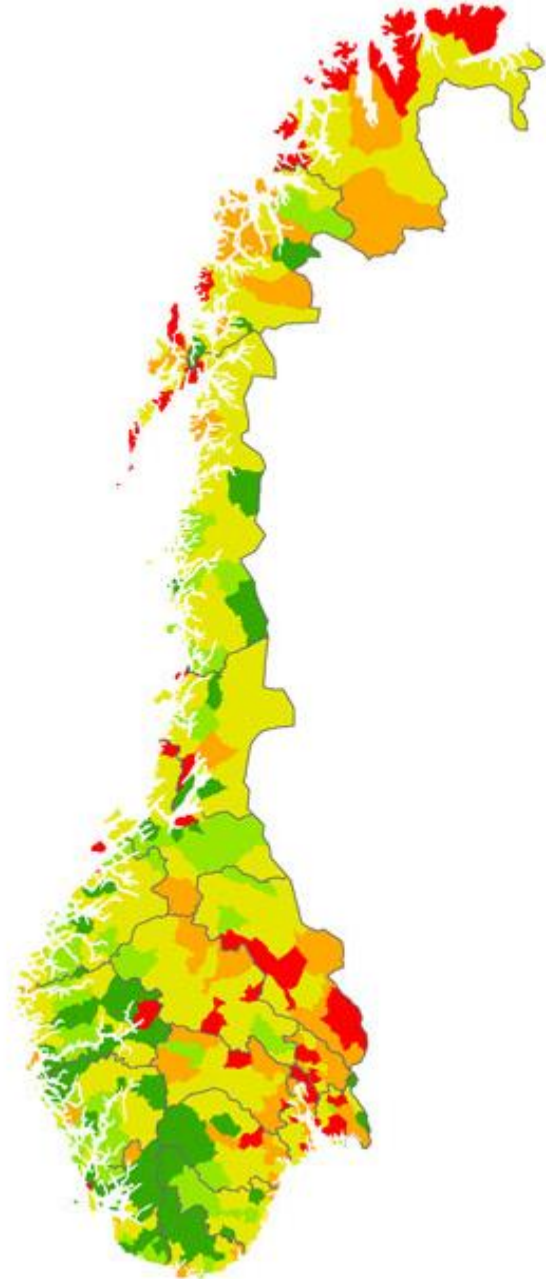
Figur 5: Kvikkleire faregradskart over Klett, Trondheim. NGU (2016).

3. Teori

3.1 Sårbarhet og risiko

I Rød et al. (2013) fokuseres det på infrastruktur og sårbarhet. Her kommer det frem at infrastrukturen i Norge står ovenfor større utfordringer enn veldig mange andre land. Dette skyldes første og fremst at 95 % av Norges landareal er ubebodd, mens de resterende 5 % er preget av veldig spredt bosetning. Kombinert med store arealer som skal dekkes, og et land bestående av mye flom og skred årlig sier det seg selv at det ikke er lett å få alt til å gå på skinner.

For å vite hvor godt rustet et lokalsamfunn er eller hvor gode forutsetninger et område har til å håndtere naturkatastrofer og andre ekstreme hendelser relatert til metrologiske og geomorfologiske prosesser, brukes begrepene sårbarhet, faregrad og risiko. Disse begrepene er med på å forklare hvilke skader og hvilke områder som potensielt sett vil kunne få større sosio-økonomiske konsekvenser enn andre (se figur 6).



Figur 6: Oversiktskart over klimasårbarhet i Norge.
http://www.forskningsradet.no/prognett-norklima/Nyheter/Sa_sarbar_er_din_kommune/1253982997548?lang=no (15.1.2016)

Gregersen (2008) definerer risiko slik: $\text{risiko} = \text{skadekonsekvens} \times \text{faregrad}$. Ut fra dette kommer det frem at en helhetlige risikovurderingen baserer seg på både skadekonsekvensen og faregraden på et område. Når det er snakk om en faregradvurdering av de geologiske forholdene, deles kvikkleire inn i tre klasser: lav, middels og høy faregrad (Gregersen, 2008). Skadekonsekvens deles også inn i tre deler: mindre alvorlig, alvorlig og meget alvorlig. Det som skiller alvorlighetsgraden av skadekonsekvensen er først og fremst avstand til boligenheter, næringsbygg, annen bebyggelse, vei, toglinje eller kraftnett.

Tidligere forskning viser hvordan kvikkleire ikke påvirkes noe spesielt av endring i klimatiske forhold, men at hovedårsaken til naturlige erosjon i kvikkleire, er forårsaket av bekker og elver som derimot vil bli påvirket av klimaendringene. På denne måten kan man si at kvikkleire som befinner seg på områder med bekkeløp, indirekte vil bli påvirket av klimaendringer i fremtiden (Rød et al. 2013).

Berthling (2010) påpeker at kvikkleireskred kan skape store konsekvenser dersom de først glir ut, men at områder med kvikkleire i Norge likevel er godt kartlagt og at nye utbyggelser i slike områder krever stabiliserende tiltak. God kunnskap og krav om stabiliserende tiltak gjør at faren for kvikkleireskred i fremtiden reduseres. Berthling (2010) viser også til viktigheten av å gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser i de lokale kommunene rundt om i Norge, først og fremst for å redusere tap av liv og verdi i fremtiden.

3.2 Løsmasser

Over 60 000 mennesker i Norge bor på marin leire. På grunn av stedvis dårlig kartlegging over grunnforholdene er trolig tallet høyere. I tillegg befinner omtrent 1/3 av norsk jordbruksareal seg på slike løsmasser. Grunnen til dette er fordi slike områder er svært næringsrike, og det er derfor lett å dyrke både korn og grønnsaker her. Mange steder på Østlandet, i Trøndelag og enkelte deler av Nord-Norge, domineres jordmassene av slike finkornede marine avsetninger. Faregraden på områder med marin leire varierer, men mange steder er områdene med høy faregrad gjerne tettbebygde med offentlige bygg, private boliger eller infrastruktur. Faren for at mennesker befinner seg i disse områdene over kortere eller lengre tid er stor, og dette er med på å øke både interesse og bekymring (Hannes & Nikolaisen, 2012; Brattli, 2014).

3.2.1 Hva er leire?

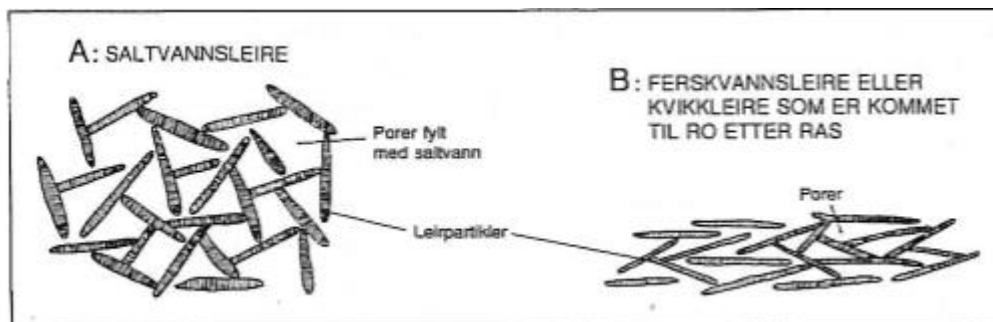
Både grus, sand, silt og leire kan sies å stamme ene og alene fra forvitret eller erodert stein og mineraler. De er hovedsakelig transportert av is, luft eller vann og blir avsatt på land, i innsjøer eller i havet. I Norge består ofte sand og silt av forvitret kvarts, mens leire består av mange ulike mineraler. Leire i seg selv består av veldig små partikler, og er den løsmassen med minst partikkelstørrelse, men fordi jordarten leire likevel ofte er en blanding av flere typer løsmasser, vil partikkelstørrelsen variere fra sted til sted avhengig av sammensetning. Alene vil størrelsen på leirpartiklene være mindre enn 0,002mm (NGF, 1982) og er sammen med silt klassifiseres som kohesjonsarter. Kohesjonsarter er løsmasser med kornstørrelse som er mindre enn 0,06 mm, og som på grunn av elektrostatiske krefter mellom partiklene, har en indre kohesiv kraft. Siden leire består av så små partikler, har de veldig stort overflateareal per volum masse. På grunn av formen på partiklene og på grunn av et stort overflateareal, har leire høy kjemisk reaktivitet, noe som vil si at den blant annet absorberer vann og separerer partiklene fra hverandre. Denne separeringen skyldes at porerommene i mellom partiklene fylles med vann som bidrar til å forflytte de fra hverandre. Vannet i porerommene virker mot gravitasjonskreftene gjennom det en kaller kapillarkrefter, dette kan beskrives som et indre sug der vannet blir transportert oppover. På grunn av små porerom i leirmasser vil permeabiliteten være lav til sammenligning med andre løsmasser. På denne måten oppstår det lettere overflateavrenning i leirterreng da infiltrasjonskapasiteten minker med lavere permeabilitet (Selby, 1993).

I følge NGF (1982) kan leire defineres som en jordart som inneholder 15 % leirpartikler eller mer. I Trøndelag domineres leirmassene av siltpartikler (50 – 80 %). Silt har en partikkelstørrelse på mellom 0,002 – 0,064 mm, og kan betegnes som den løsmassen med nest lavest partikkelstørrelse etter leire. Leira som befinner seg i Trøndelag har også en kjemisk sammensetning som er annerledes enn leira som for eksempel befinner seg i Østfold. I Trøndelag er leira dannet fra kildebergarten metamorfisk skifer. Det vil med andre ord si at det finnes mye av mineralene kloritt og illitt i trøndersk leire. I Østfold på sin side består leira av mineraler som er dannet fra kildebergarten gneis, og inneholder derfor større andel kvarts (Brattli, 2014).

Leirmineraler er formet som flak eller staver og har derfor en geometrisk form som gjør det lettere å stable og strukturere partiklene i en korthusstruktur. Dette gjelder derimot bare dersom det befinner seg saltvann i porerommene. Dette kan forklares med at partiklene i saltvannleire har ulike ladninger før den blir vasket ut av ferskvann. Kantene av partiklene har

en negativ ladning, mens flatene har en positiv ladning. Disse motsetningene er viktig for å få dannet korthusstruktur fordi de ulike ladningene tiltrekker hverandre. På denne måten vil partiklene settes sammen kant mot flate, og ikke flate mot flate som er mer vanlig i ferskvannsleire.

Korthusstrukturen i saltvannsleira dannes som et resultat av en kjemisk reaksjon mellom saltioner i vannet, og leirpartiklene. En slik struktur kalles et fnokk, og prosessen kalles fnokking. Hva slags mineraler leira består av og hvilken kornstørrelse den har er avgjørende for leiras egenskaper, det sier blant annet noe om konsistensen. Disse parameterne gir et innblikk i om leira er fast, halv fast, plastisk eller flytende (Brattli, 2014). Til tross for at mineralinnhold og kornstørrelse er viktig er det likevel hvor og hvordan leira er avsatt som er viktigst. Her kommer forskjellen mellom ferskvannsleire og saltvannsleire inn som en avgjørende faktor (se figur 7).



Figur 7: Strukturforskjellen mellom saltvannsleire og ferskvannsleire. Janbu, N. et. al. (1993)

I leirterreng er det også vanlig med 2-3 meter tykk tørrskorpe i de øverste lagene. Denne tørrskorpen blir dannet hovedsakelig på grunn av at leira blir utsatt for forvitring. I tillegg fører regnvann til at enkelte stoffer i jorda blir utfelt slik at de gjenværende partiklene sementeres og blir til en tørr og fast skorpe (Janbu, et. al. 1993).

Både Brattli (2014) og Selby (1993) påpeker viktigheten av en detaljert forståelse av forholdet mellom begrepene flytgrense og in-situ vanninnhold. Begge begrepene forklarer viskositeten til en leirmasse. Flytgrensen (W_L) er definert som vanninnholdet i leirmassen i det den går fra å være plastisk til å bli flytende, mens In-situ vanninnhold (W) forteller om det naturlige vanninnholdet i leirmassen. I Norge ligger flytgrensen på mellom 25- 50 %. Dersom in-situ vanninnhold (W) overstiger flytgrensen (W_L) vil leiren kunne klassifiseres som bløt leire. Dersom in-situ vanninnhold (W) er mindre enn flytgrensen (W_L), vil derimot leiren kunne klassifiseres som stabil. I en stabil leirmasse vil partiklene i større grad være i kontakt med

hverandre enn i en bløtere leirmasse. Forholdet mellom (W) og (W_L) er også med på å forklare krympe- svelle prosesser i løsmasser.

Et begrep som er mye bruk i forbindelse med stabilitet i løsmasser fra et geoteknisk perspektiv er, sensitivitet. NGF (1982) klassifiserer sensitivitet slik:

Sensitivitet (S_t): $S_t < 8$ – lite sensitiv

$8 < S_t < 30$ – middels sensitiv

$S_t > 30$ – meget sensitiv

Leirmasser med lav sensitivitet (ofte lavere vanninnhold), skaper i større grad forvarsler før utglidninger gjennom deformasjon og sprekke dannelse på terrengoverflaten. På områder med lite sensitiv leire er det derfor lettere å gjennomføre sikringstiltak før det oppstår utglidninger. Kvikkleire på sin side har et sensitivitetsnivå større enn 30 ($S_t > 30$), og kategoriseres derfor som meget sensitiv. I slike tilfeller vil brudd i større grad oppstå uten forvarsel.

3.2.3 Hva er kvikkleire?

Den geotekniske definisjonen på kvikkleire er at det er en type leire som i omrørt tilstand har skjærfasthet $c_u < 0,5$ kPa (NGF, 1982). Marin leire generelt, og kvikkleire spesielt skiller seg ut fra ferskvannleire fordi den først og fremst har en annen struktur og andre elektrokjemiske bindinger. Kvikkleire kan bare dannes ut fra marin leire, og her skilles det mellom to typer: glasimarin leire og postglasial marin leire. Til tross for at vi kan skille mellom de to marine leirtypene, har de samme opphav. Det som skiller de er hvor de er avsatt og ulike prosesser som har virket inn i ettertiden. Der isbreer gikk ut i havet skjedde det en isavsmelting som skapte glasimarin leire under forrige istid. Postglasial leire er derimot avsatt nærmere land, og er et resultat av at isen har trukket seg tilbake samtidig med at landet har hevet seg i postglasial tid. I postglasial leire kan vi i dag finne spor etter organisk materiale som gjør det lettere å tidsbestemme avsetningene ved hjelp av C^{14} -metoden (Brattli, 2014).

På grunn av høyt innhold av saltvann i porerommene i marin leire, vil korthusstrukturen i utgangspunktet være relativt stabil. I følge Janbu, et al. (1993) inneholder vanlig sjøvann

omtrent 3,5 % salt, som utgjør 35 gram salt per liter. Dersom den marine leiren greier å opprettholde dette nivået, er den like stabil som ferskvannleire. På lite utvasket marin leire er det ikke problemer å bygge både bygninger og infrastruktur, så lenge man tar noen forhåndsregler. Dersom saltnivået derimot endres gjennom langvarig utvasking, vil massen miste sine stabiliserende krefter, og korthusstrukturen blir i større grad mer ustabil på grunn av gradvis sviktende bindinger

Utvasking av saltet som befinner seg i den marine leira tar veldig lang tid. En av grunnene til at det tar så lang tid er fordi leiresom nevnt tidligere er en løsmasse med veldig lav hydraulisk konduktivitet. Det tar med andre ord lang tid for vann å finne veien gjennom en masse bestående av leire. Kvikkleire oppstår gjerne i lommer eller linser som befinner seg i skråninger som ender ned i elver, bekker eller sjøer. Her får man i større grad dannet en jevn og moderat strøm av ferskvann som transporteres ned fra høyere liggende områder. Leira i Trøndelagsfylkene består av mye silt og sand. Disse lagene bidrar til høyere hydraulisk konduktivitet, og kan lettere medføre større utvasking av salter. På den andre siden kan kvikkeleire som ligger uforstyrret, gå over til et stadige der den blir mindre kvikk over tid. Denne prosessen skyldes ionebyttingen som finner sted mellom leirpartiklene og porevannet. Kvikkleire kan på den ene siden bli mer stabil, og på den andre siden bli ustabil på sikt. Janbu, et al. (1993) konkluderer med at den kvikkeleira vi ser i dag bare er et stadium av en langvarig endringsprosess.

Når det gjelder utglidninger i kvikkeleire, skyldes dette svikt i korthusstrukturen. Når korthusstrukturen bryter sammen, vil partiklene stables om å lage en tettere struktur enn den hadde i utgangspunktet. På dette tidspunktet vil strukturen ligne mer på vanlig ferskvannleire enn på strukturen til marin leire. Isteden for at partiklene er bundet sammen ende mot ende, vil kvikkeleire etter kollaps i større grad ha en struktur der partiklene er bundet sammen flate mot flate. Under selve kollapsen vil kvikkeleiren opptre flytende fordi det blir frigitt store mengder vann fra porerommene når korthusstrukturen kollapse. Etter en kollaps kan ikke kvikkeleire bli kvikk igjen med mindre en ny istid tilfører leira saltvann (Janbu, et al. 1993).

3.2.4 Dannelsesteori

Den kvikkeleiren som befinner seg i Norge, ble dannet ved at gammel fjordbunn ble hevet over havnivået i postglasial tid. Marine sedimenter blir kontinuerlig hevet over havnivå i kraft av landhevingen som fortsatt finner sted i dag. Sedimentene som blir hevet opp, og som blir

eksponert ytre metrologiske prosesser blir tørrlagt over tid og vi får dannet en relativt stabil tørrskorpe over større dyp med marine avsetninger.

Marin grense er det vi kaller det høyeste nivået man kan finne marine avsetninger i dag. Denne grensen kan variere fra sted til sted, men når ikke særlig mye over 200 m.o.h. Over marin grense finner vi ikke marine avsetninger, og derfor heller ikke soner med kvikkleire. Janbu, et al (1993), skriver at det er sjeldent å finne marin leire over 170 m.o.h i Norge, dette fordi marin leire som oftest ikke ble avsatt helt i nærheten av havoverflaten der det var rom for turbulens i form av bølger og strømninger.

Landhevingen etter forrige istid har stedvis vært veldig stor, men fordi havet også har steget på grunn av ismeltingen i samme tidsrom, kan vi si at vi sitter igjen med en netto landheving på rundt 180 m. Dette er et tall som derimot varierer fra sted til sted. Når vi snakker om både havnivåendringene og landhevingen i forhold til hverandre, kaller vi det strandforskyvning. Dette for å skille mellom netto og brutto landheving. Fordi den marine leira inneholder mye organisk materiale er det lett å finne ut hvor lenge leirmassene har ligget på landoverflaten. Metoden som brukes til dette kalles C^{14} -metoden og ved hjelp av den kan man finne ut hvordan de gamle strandlinjenivåene har utviklet seg over tid. Ut fra dette kan man lettere regne seg frem til hvilke områder som ble tørrlagt først, og hvilke områder som ble tørrlagt seinere. Strandforskyvningen var størst rett etter forrige istid, altså for 10 000 år siden. I starten viser forskning at den gjennomsnittlige strandforskyvningen enkelte steder var opp mot 6 cm per år. Til sammenligning er dagens landheving i Trøndelagsområdene på 3-4 mm per år. I dag vet vi ved hjelp av C^{14} - metoden at kyststrøkene av Trøndelag var isfrie for 12 500 år siden. I tillegg har forskere regnet ut at isen i Trondheimsområdet hadde en maksimal istykkelse på 1000-1500 meter (Reite et al. 1999).

Det har opp igjennom historien vært mye spekulasjoner rundt kvikkleire og hvordan det dannes. I 1898 kom geologen Friis ut med teorien om at det fantes underjordiske reservoarer med flytende leire. Dersom disse reservoarene «punkterte» ville leiren renne ut, og overflaten ville synke inn. Like i forkant av dette kom Helland i 1894, ut med en teori der det for første gang ble snakket om ordet sensitivitet knyttet til marin leire. Han hadde erfart at kvikkleire ble gradvis mer tyntflytende ved omrøring. Gunnar Holmsen kom på 1930-tallet ut med en teori som forklarte at endringer i porevannssammensetningen gjorde marin leire kvikk, og at saltinnholdet var med på å stabilisere massene. Det var likevel ikke før i 1946 at de samme teoriene knyttet til kvikkleirens dannelselse og struktur som vi har i dag, virkelig kom på banen. Kvikkleiredannelsens far, Ivan Rosenqvist var først ute med å presenterte teorien om at

kvikkleire var blitt dannet på grunn av landhevingen etter forrige istid. Han mente at saltet i porerommene gradvis ble utvasket av ferskvann, og at dette resulterte i at massen over tid ble ustabil. Videre kom teorien til Søderblom ut på 1960- tallet. Denne teorien omhandlet det organiske materialets virkning på stabiliteten. Han mente at det ikke bare var utvasking av salter som kunne gjøre den marine leira ustabil, men pekte også på at det organiske materialet, som ulike typer forurensninger også kunne påvirke. Med forurensning mente han eksempelvis kloakkutslipp eller avrenning fra søppelfyllinger. I nyere tid har dette fått lite fokus, og har ikke blitt forsket så mye på (Brattli, 2014; Rosenqvist, 1966).

3.2.5 Erosjon- og skredprosesser i kvikkleire

I etterkant av landhevingen for 10.000 år siden, har elver og bekker gravd frem mye av det terrenget vi ser i dag. Dette skjer som følge av at elver og bekker til en hver tid prøver å justere seg i forhold til havnivået. Dette er som alle andre prosesser i naturen, en måte å opprettholde en balanse på. I leirterreng blir det gravd frem ravinedaler av større og mindre bekker og elver. Denne prosessen kalles erosjon. Alle ravinedalene danner til sammen et landskap vi kaller ravinelandskap. Her har den opprinnelige jevne fjordbunnen blitt omdannet til et landskap dominert av bekkedaler, groper, og terrasser (Janbu, et al. 1993).

Erosjon i kvikkleire vil i mange tilfeller føre til at massene når et kritisk punkt. En masse bestående av kvikkleire, kan fort gli ut uten å bli utsatt for særlig stort stress (Rankka et al. 2004). I tillegg er det vanskelig å stoppe en naturlig prosess som erosjonen. Erosjon trenger ikke bare skyldes naturlige prosesser. Menneskelige (antropogene) påvirkninger som for eksempel utbygging av sikringstiltak, kan også føre til sterkere erosjon lokalt i vassdrag.

Tørrskorpe som er vanlig i leirterreng er med på å «beskytte» underliggende masser og står lettere i mot erosjon. Dersom tørrskorpen er fjernet, enten ved naturlige eller antropogene påvirkninger, vil de underliggende massene som har lavere skjærstyrke bli eksponert for større eroderende krefter (Bjerrum, 1955). Når skjærkreftene overstiger skjærstyrken til en masse, får vi dannet en ustabil masse der det lettere kan oppstå skred. Dette er enkel fysikk, og kan forklares med matematiske formler. Vanligst å bruke i dette tilfellet er Coulombs ligning:

$$\tau = (C' + Cr) + (\sigma n - U) \tan \Phi'$$

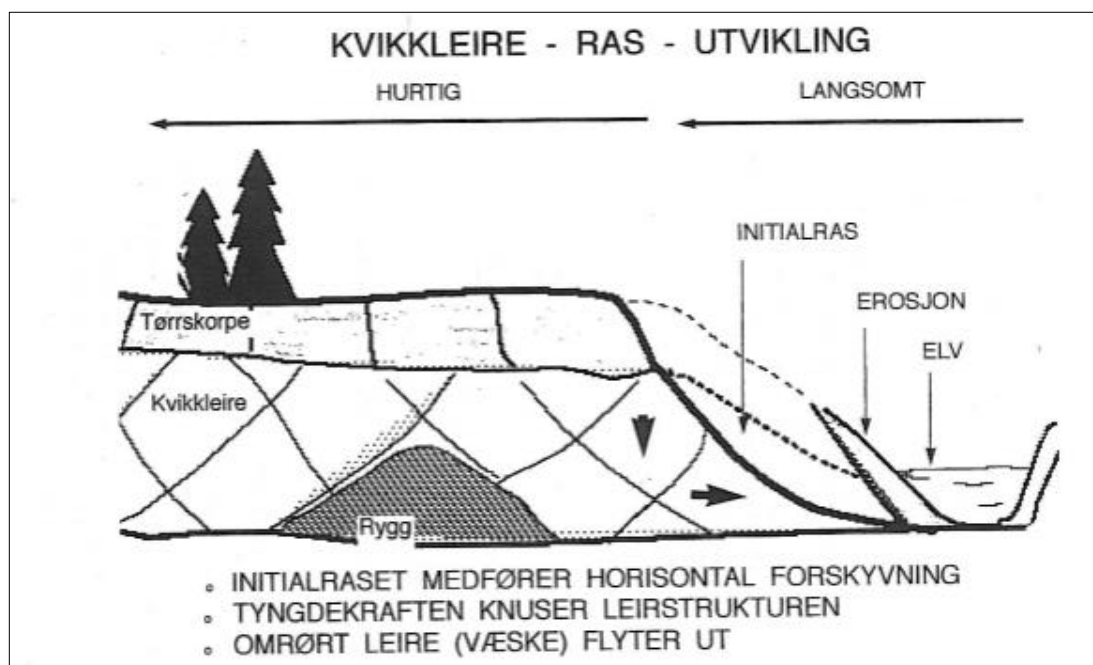
Her er τ = skjærstyrken, C' = kohesjon i jord, C_r = rot-kohesjon, σ_n = totalt normal stress, U = porevannstrykk og $\tan\Phi'$ = vinkel på den indre friksjonen (Steinacher et al. 2009).

Hvor sterke skjærkreftene og skjærstyrken er, varierer fra område til område og fra løsmasse til løsmasse. De løsmassene som er mest finkornede (silt og leire), har som oftest lavere friksjon mellom partiklene, men de har derimot sterkere kohesive krefter. I følge Rankka et al. (2004) kan det i områder som er dominert av silt og leire, ofte gå større skred enn i områder som for eksempel domineres av grus og sand. I kohesive masser vil utglidningene være grunnere enn utglidninger i ikke-kohesive masser. I tillegg vil utglidninger i ikke-kohesive masser i større grad begynne å rotere på grunn av hastighet og viskositet (Hung et al. 2001). Grunnen til at finkornede løsmasser har lavere friksjon og danner større skred, skyldes først og fremst det store vanninnholdet. I tillegg er løsmasser med større vanninnhold tyngre enn de som er tørrere. På den andre siden har slike løsmasser mer porerom, og dersom disse porerommene ikke er fylt opp med vann, vil den totale egenvekten av løsmassen være vesentlig lettere enn andre løsmasser med mindre porerom. Når det kommer til massebevegelser i leirterreng generelt, snakker Knighton (1998) om både 1. krypbevegelser, 2. fallbevegelser, 3. rotasjonsskred, 4. lateral spredning, 5. translasjonsskred og 6. flytbevegelser.

1. Kryp deler vi gjerne inn i to; partikkelkryp og kryp i dybden. Partikkelkryp foregår mellom partikler, mens kryp i dybden gjerne foregår mellom lag bestående av sedimenter av ulik struktur og kornstørrelse. Kryp er en saktegående prosess som ofte styres av tine-fryse prosesser eller fukt-tørke prosesser. 2. Fallbevegelser i leirterreng på sin side er ofte forårsaket av underkutting av elver og bekker, eller av sprekkdannelser på overflaten. Som regel skyldes det en kombinasjon av de nevnte faktorene. 3. Rotasjonsskred («Slumps») er ofte forårsaket av underkutting i skråninger som har et glideplan som følger en sirkelbue. Her beveger massene seg i en roterende bevegelse over glideplanet. 4. Lateral spredning er en prosess som oftest skjer i sensitive løsmasser, og som ofte er forårsaket av erosjon i elver eller bekker. Dette begrepet kan på mange måter beskrive prosessen bak kvikkleireskred. 5. Translasjonsskred på sin side er ofte den vanligste massebevegelsen i terreng bestående av løsmasser. Her oppstår det et glideplan mellom to løsmasselag bestående av ulik permabilitet og tetthet. Translasjonsskred er gjerne likt mange andre typer massebevegelser som allerede er nevnt, men den skiller seg ut på et område. Translasjonsskred utløses ofte under intense nedbørshendelser, i motsetning til de andre massebevegelsene som utløses en stund etter når vannet har perkolert til dypere grunn. 6. Flyteskred forekommer når finkornede løsmasser

som silt og leire opptrer flytende på grunn av høyt vanninnhold. Et annet begrep som kan brukes om dette er flomskred, jordskred eller leirskred (Hungri, Leroveil & Picarelli, 2013; NVE, 2014)

Solberg (2007) fokuserer i sin forskning på fire hovedfaktorer som fører til leirskred: elveerosjon, grunnvannserosjon, steinskred og menneskelig påvirkning. Når det gjelder elveerosjonen som en faktor, påpekes utviklingen av raviner som en effekt, og at utviklingen av raviner øker ved store nedbørsmengder eller rask snøsmelting. Når det gjelder grunnvannserosjon legges det vekt på utvasking av salter i den marine leira. Steinskred knyttes derimot opp til den seismiske aktiviteten, med andre ord at jordskjelv fører til steinskred og steinsprang, som deretter påvirker stabiliteten i leira som er avsatt under bratter fjellvegger der det løsner stein. Her finnes det flere eksempler fra blant annet Sør- Trøndelag. Til sist tar Solberg (2007) opp faktoren menneskelig påvirkning. Dette er en veldig viktig faktor, og har gjennom historien vært med på å utløse mange kvikkleireskred i Norge. I denne oppgaven er det først og fremst de to første faktorene som det fokuseres på.



Figur 8: Utvikling av kvikkleireskred. Janbu, N. et al (1993). Langsom prosess knyttet til elveerosjon og utløsning av initialras, mens prosessen knyttet til hovedras består av kvikkleire skjer raskt.

Et kvikkleireskred skiller seg gjerne ut fra andre type leirskred fordi kvikkleireskred sjeldent kommer med noen forvarsel før et eventuelt ras oppstår (Bjerrum, 1955). En annen grunn til at det lett kan oppstå store, uforutsigbare ras i områder med kvikkleire, er fordi slike masser ofte ligger nært et bruddpunkt, og at det derfor skal svært lite til for at massene kolliderer og

flyter ut over store arealer. Kvikkleireskred (se figur 8) kan komme opp i høy hastighet, og er derfor en prosess som skjer raskt når den først starter. Dersom et kvikkleireskred utløses i en skråning, vil massene få en enda høyere fart på vei ned enn det ville fått dersom det ble utløst i et flatere terreng. I følge Janbu et al (1993), hadde skredet Rissa i 1978 en hastighet på omtrent 30 km/t. Verdalsraset i 1893 hadde til sammenligning en hastighet opp mot 60- 70 km/t. Trolig skyldes dette at skredet løsnet høyt oppe i en skråning, og fikk høy hastighet på grunn av gradient.

I etterkant av et kvikkleireskred vil skredgropa der skredet har gått være pæreformet. Altså vil skredgropa være stor og oval, mens det punktet der skredet startet er smalere. I etterkant vil det også være igjen spisse rygger og skråstilte bruddflater i selve rasgropa (Rankka et al. 2004). Selv om kvikkeleireskred ofte er store og omfattende, er det ofte det bare er deler av kvikkeleiresonene som blir tømt under et ras. Det vil si at det i bakkant av høye raskanter vil ligge kvikkleire igjen. I leirterreng der det har gått kvikkleireskred vil det bli utviklet et småkupert landskap med en overflate som består av mange små hauger. Dette landskapet er en effekt av at overliggende masser kan består av andre typer løsmasser enn marin leire. Dette skyldes at tørrskorpen eller eventuelle sandlag som befinner seg over kvikkleira ikke har samme evnen til å flyte utover (Bjerrum, 1955; Rankka et al.2004).

3.2.6 Historiske kvikkleireskred i Trøndelag

I Trøndelag har det opp igjennom historien gått mange store kvikkeleireskred, og både de fysiske og de økonomiske skadene i etterkant har vært store. Siden mye av arealet i Trøndelag består av dyrket mark, har kvikkleireskred opp igjennom historien også ført til at de rammede bøndenes inntektsgrunnlag har vært ødelagt over lengre perioder. Næringsgrunnlaget gjør derfor den sosiale sårbarheten for kvikkleireskred og andre typer naturkatastrofer i Trøndelagsfylkene enda høyere enn den ville vært i mange andre rurale strøk i Norge.

Den 18. Juli 1625 gikk et kvikkleireskred i Duedalen på Bakklandet i Trondheim. I løpet av bare noen timer omkom 20 mennesker. Konsekvensene førte til at Nidelva ble demmet opp av skredmassene i flere dager, og det står skrevet i bøker fra den tiden at man kunne gå tørrskodd over Nidelva i dagene etter raset. Bare ni år etter skredet i Duedalen, gikk et nytt kvikkleireskred på Bakklandet. Trolig skyldtes dette at det ikke hadde blitt gjennomført terrengjusteringer i etterkant av skredet som gikk i 1625 (L`Herureux & Solberg, 2012).

I Verdal natt til 19. mai 1893 gikk det som vi i dag kjenner som Verdalsraset. 55 millioner m³ med flytende kvikkeleire raste utover, og oversvømte hele bygda. Omfanget var enormt, 105 gårdsbruk, tusenvis av dyr og 116 mennesker ble tatt av skredet. Dette kan, så langt tilbake det finnes dokumentasjon, kategoriseres som det kvikkleireskredet som har tatt flest liv i Norge. Trolig var årsaken til at skredet fikk så stort omfang fordi det var mange flommer om våren og mye nedbør på vinteren som resulterte i mettede jordmasser. I tillegg gikk skredet på natten, og det ble derfor vanskeligere å evakuere. Hembre (u.d) skriver at raset demmet opp elva med 8- 10 meter, og at skredet trolig nådde en hastighet på opp mot 60 km/t. De eneste stedene det var tegn på at det befant seg marin leire i området var ved elvesidene og i bekkedalene der vannet hadde erodert vekk de armerende lagene på oversiden (Hembre, u.d; Janbu, et al 1993).

I nyere tid har det også gått kvikkleireskred i Trøndelag. 29. april 1978 gikk det skredet som kanskje har fått mest oppmerksomhet i Norge. Kl 14.10 begynte Rissaraset å bevege på seg. Omtrent 5-6 millioner m³ rasmasse skled ut og dro med seg 15 gårder, to hus, en hytte og et forsamlingshus. Et menneske omkom i hendelsen, og 200 ble evakuert. Skredet skyldtes utgravinger som ble gjennomført på en gård i nærheten. Skadene kostet mellom 13-14 millioner kroner, mens kostnadene i forbindelse med gjenoppbygningen lå på omtrent 25 millioner kroner (NGU, 2015).

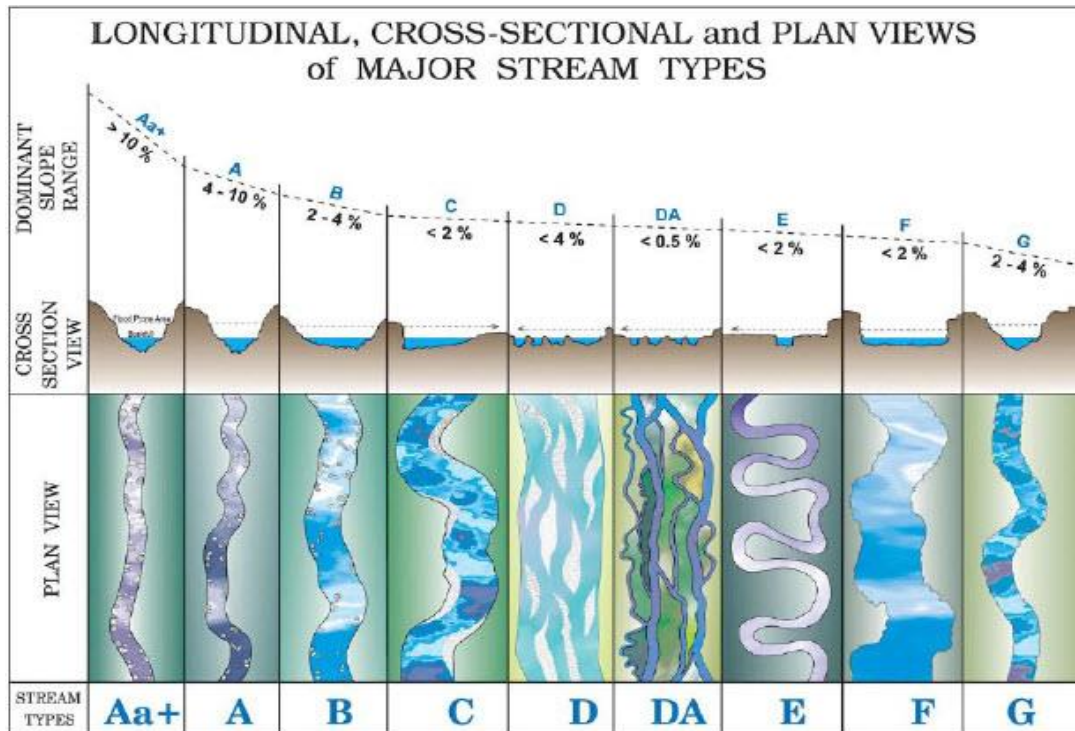
13. mars 2009 ble det utløst et kvikkleireskred i Kattmarka i Namsos. Skredet ble utløst på grunn av sprengning i forbindelse med veiarbeid som pågikk i nærheten. Skredet var 100 meter bredt og 300 meter langt, og tok med seg ti eiendommer på veien. Ingen omkom i ulykken, men flere millioner kroner ble reist i erstatning (Nilsen, 2010).

På Byneset i Trondheim gikk det et kvikkleireskred 1. januar 2012. Her ble 40 mennesker evakuert da et skred som var 150 meter bredt og 450 meter langt, løsnet og skled ut hele 870 meter fra startpunktet. I etterkant av skredet fant forskere ut at skredet trolig ble utløst på grunn av bekkeerosjon nedenfor skredet (Mathisen, 2012; Thakur, 2012).

3.3 Bekkeerosjon

Erosjon oppstår når det blir fjernet mer sedimenter enn det blir avsatt. I en bekk eller en elv vil dette skyldes økt vannstand, økt vannhastighet eller større tilgang på finere løsmasser uten kohesive krefter som er lettere å erodere på (se figur 10). Fergus, Sæterbø & Hoseth (2010) skiller mellom to ulike erosjonsprosesser i bekke- og elvesystemer: Løpserosjon og

massebevegelser. Løpserosjon er knyttet til erosjon i sidene eller bunnen, mens massebevegelser er knyttet til tyngdekraften og skråningene. For å bremse vannhastigheten, opprettes enten meandrerende svinger eller step-pool formasjon som en del av en naturlig prosess i elver og bekker (se figur 9).



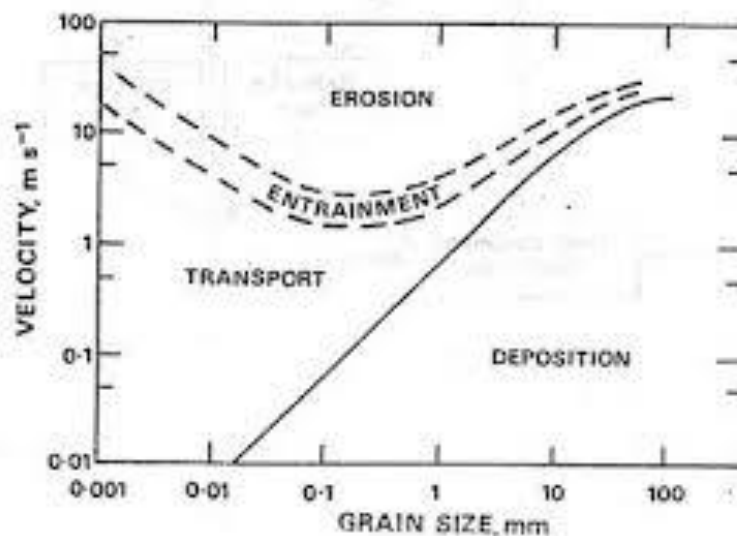
Figur 9: Ulike bekke-/elvekanalformer. Rosgen (1994).

Hvilken form som utvikles avhenger først og fremst av materialet som blir transportert i systemet, og gradienten. Et nedbørsfelt kan for eksempel i de øvre delene bestå av step-pool formasjoner der kornstørrelsen er større og gradienten er høyere, mens lenger ned kan bekken eller elva utvikle meandersvinger på grunn av lavere gradient og endring i materialsammensetning (Rosgen, 1994). En annen årsak til step-pool dannelse er styrt av vegetasjonen som befinner seg langs bekkesidene. Størst effekt har det når større trær LWD (Large woody debris) faller ut i bekkeløpet og fanger opp større fragmenter som transporteres nedover fra overliggende områder. I disse områdene er det lettere å få dannet steps og pools. Potensielt sett vil områder med mye vegetasjon langs sidene derfor ha større sannsynlighet for å få dannet step-pool formasjoner (Fetherston et al. 1995). I meandrerende bekke-/elveløp vil erosjonen alltid være størst i yttersving. Erosjonen skyldes at vannhastigheten i yttersving er større på grunn av større areal, i tillegg til lenger løpsdistanse. I innersving blir sedimenter derimot avsatt på grunn av manglende overskuddsenergi som er en effekt av at vannet har

kortere vei å transportere. Erosjon i yttersving fører i mange tilfeller til underkutting, og det er ofte i yttersving man finner ustabile partier i bekke-/elvesystemet.

Alle endringer som blir gjort, enten de er naturlige eller antropogene vil potensielt sett kunne føre til nye endringer i et bekke- /elvesystem. I smalere kanaler har sidene større påvirkning på grunn av korte avstander, og kan lettere føre til lokal erosjon og sekundære strømmer (Bogen & Bønsnes, 2004). Smale bekker har ofte mer turbulente strømmer og lokal erosjon på grunn av større tilknytning til skråningene enn det bredere bekker og elver har. Et eksempel på lokal erosjon kan være der vegetasjon eller større steiner har falt ut i bekkeløpet og styrer vannstrømmen til nye steder. I slike tilfeller vil vannstrømmen bli konsentrert, og erosjonen vil øke der vannstrømmen treffer (Bogen & Bønsnes, 2004; Fergus, Sæterbø & Hoseth, 2010).

En fordel med kohesive jordarter som silt og leire er at de ofte på grunn av elektrokjemiske krefter mellom partiklene, i mange tilfeller kan opptre som én masse i stedet for å stå i mot skjærstress som enkeltpartikler. På denne måten vil jordart som leire være vanskeligere å erodere i fordi det krever mer energi å frigjøre enkeltpartikler fra en sammenhengende masse sammenlignet med partikler som ikke har de samme sterke bindingene. Vanligvis vil egenskapene til enkeltpartikler være viktig i forhold til erosjon, men når det gjelder kohesive materialer gjelder ikke dette i like stor grad. I slike tilfeller er det viktigere å se på styrken til bindingene som befinner seg mellom de kohesive enkeltpartiklene (Knighton, 1998).



Figur 10: Hjulstrømskurve. Knighton, D. (1998)

Figur 10 viser et diagram som forklarer forholdet mellom erosjon, transportkapasitet og avsetning i et elve-/bekkesystem. Ut fra denne figuren kan vi se at erosjonen er størst når transportkapasiteten er høy. Når transportkapasiteten er lav, er avsetningen derimot større enn erosjonen. Dette skyldes at energien i elver med høy transportkapasitet bruker den energien den har til overs til å kunne erodere på underlaget. I motsetning vil den manglende energien i elver med lav transportkapasitet føre til at sedimenter avsettes. I hvilken grad en bekk eller en elv kan erodere styres også av kornstørrelse. For eksempel vil i teorien bekker bestående av sedimenter med stor kornstørrelse trenge mer overskuddsenergi for å erodere enn bekker bestående av sedimenter med mindre kornstørrelse. Dette gjelder likevel ikke for kohesive løsmasser (Rosgen, 1994).

Materialet som befinner seg i et bekke-/elvesystem vil i teorien bli gradvis finere desto lenger nedstrøm man kommer. I tillegg er det vanlig å se at finere, mer kohesive løsmasser dominerer blant de øverste lagene i bekkesidene, mens det finnes grovere, ikke-kohesive løsmasser under. Mange steder er det for eksempel vanlig å se at det ligger finkornet leire over mer grovkornet sand eller grus. I et slikt tilfelle vil den finkornede leiren i større grad fungere som et impermeabelt lag, sammenlignet med de andre jordlagene (Knighton, 1998). At leire fungerer som et impermeabelt lag vil kunne få konsekvenser for både permeabilitet, hydraulisk konduktivitet og stabilitet i grunnen. Med dette i bakhodet er det viktig å tenke over at det ikke er løsmassesammensetningen på overflaten som er av størst betydning, men at kunnskap knyttet til egenskaper i hele jordprofilen er viktigere (Øygarden, 2003). Til tross for at den hydrauliske konduktiviteten er større i ikke-kohesive løsmasser, kan vann ha en viktig rolle for stabiliteten også i kohesive løsmasser. Dette gjelder særlig i fryse og tine prosesser. I miljøer der vi har fryse og tine prosesser gjennom året, som for eksempel i Norge, vil det bli dannet nålis og islinser i finkornede, kohesive masser under fryseperioder. Under tinekonsolidering vil finkornede masser få en svært løs konsistens på grunn av høyt vanninnhold, og kan lettere eroderes eller bidra til små utglidninger. Disse fryse og tine prosessene fører også til gjentatt svelling og krymping av massene som er med på å bryte bindinger og gjøre massen ustabil (Yumoto et al.2006).

Knighton (1998) skriver at erosjonen i noen tilfeller vil være større under mindre flomhendelser på vinteren, sammenlignet med større flomhendelser som finner sted i tørrere jordlag på sommeren. Øygarden (2003) påpeker at store nedbørsmengder på vinteren vil føre til mye erosjon, mens små nedbørsmengder ikke vil ha særlig effekt. På denne måten er mengde nedbør om vinteren avgjørende for erosjonsgraden. Frossen jord vil føre til

impermeable lag i grunnen som i større grad vil føre til overflateavrenning. I tillegg vil frossen jord kunne føre til at det oppstår avrenning på oversiden av de impermeable lagene under bakken. Det sistnevnte fenomenet vil i større grad kunne føre til brudd i løsmasser da vi får dannet et glideplan (Translasjonskred som er beskrevet av Hungr, Leroveil & Piccarelli, 2013). Frossen jord vil med andre ord kunne føre til avrenning både over og under bakken.

En vanlig hydraulisk prosess er utvasking av underliggende, ikke-koheasive masser som ligger i kontakt med bekkeløpet og som ikke i like stor grad er beskyttet av vegetasjon fra oversiden. En slik underkutting vil føre til at ustabile koheasive masser lenger opp i jordprofilen i større grad styres av skråningsstabiliteten og egenskaper knyttet til vanninnhold.

Jevnlig forandring av fuktnivået i jordlagene fører til stadig svelling og kompresjon av løsmassene som befinner seg der. Denne stadige forandringen fører til ustabile masser på grunn av sprekkdannelse som fører til at både den hydrauliske konduktiviteten og utvaskingen øker (Knighton, 1998). Svelling og kompresjon vil også kunne føre til en utvikling av en forsenkning som stadig mister skjærstyrken over tid. Ved å observere utviklingen av forsenkninger i landskapet kan man forutse eventuelle utglidninger eller skred to til tre uker før det inntreffer (Larsen, 2002).

Larsen (2002) viser til resultater over en fireårs periode i sin forskning, og påpeker med det viktigheten av kunnskap knyttet til endringer i blant annet tørrskorpa. Gjennom hans studier kom det frem at kvikkleiren i seg selv ikke påvirkes noe særlig av klimaendringer og heller ikke sesongbaserte endringer i veldig stor grad, men at tørrskorpen på oversiden på sin side var svært sensitiv for disse endringene. Han fant ut at kvikkleire ikke påvirkes i veldig stor grad av gjennomstrømning av grunnvann, i hvertfall ikke bemerkelsesverdig i løpet av en fireårs periode. Siden tørrskorpa i større grad påvirkes av endringene knyttet til værforhold, vil den delen av jordlagene være mer sårbar ovenfor erosjon, særlig gjelder dette etter store nedbørshendelser eller under snøsmeltingen på våren. Et viktig tiltak mot dette kan være vegetasjon, som er med å stabilisere de øvre lagene av bekkesidene. Vegetasjon kan både være med på å armere jordlagene, men det kan også fjerne mye fukt og hindre større grad av utvasking (Bogen & Bønsnes, 2004).

Klimaendringer vil, som nevnt ovenfor til en viss grad kunne føre til lettere eroderbare bekk- og elvekanaler på grunn av høyere fuktnivå i jordlagene. Klimaendringer vil som en effekt av dette kunne føre til økt sedimenttransport i norske bekker og elver. Bogen (2009) forklarer at varme vintertemperaturer kombinert med vinterflommer, i større grad vil føre til økt erosjon

og økt sedimenttransport på grunn av endringer i fuktnivået. På grunn av menneskelige påvirkninger vil effektene av klimaendringer i mange tilfeller kunne bli forsterket. Her nevner Bogen (2009) flomsletter spesielt. Mye av de sedimentene som blir avsatt av et bekke- eller elvesystem, blir avsatt på flomslettene i områdene rundt. Flomslettene er med på å bremse hastigheten ved å øke arealet til systemet. Når det gjennomføres sikringstiltak i eller rundt bekken eller elva, vil dette hindre erosjonen lokalt, men vil føre til mer erosjon og mer sedimentavsetninger nedstrøms.

Dersom sikringstiltakene dekker alle områder der erosjonen er størst, vil avrenning fra overflaten være den viktigste sedimentkilden (Bogen & Bønsnes, 2004).

3.4 Sikringstiltak

For å unngå rasutvikling i områder med kvikkleire, gjennomføres det hvert år ulike sikringstiltak rundt om i Norge. Janbu et al. (1993) legger i den forbindelse vekt på at kartlegging og økt kunnskap er viktigst. Hvis skaden er i ferd med å skje eller allerede har skjedd bør det gjennomføres terrengendringer. Med terrengendringer menes avlastning og fjerning av overflødig jordmasser fra skråninger eller utjevning av bratte elve- og bekkesider. Videre finnes det tiltak som dreier seg om å bygge erosjonsbeskyttelse eller å bygge opp motfyllinger ved foten av skråningene. Dette gjøres først og fremst for å forhindre erosjon gjennom undergraving. I enkelte tilfeller bør mindre bekker legges i rør. Dette gjøres for å hindre erosjon når nedbørsmengden øker eller for å forhindre erosjon fra grunnvannsstrømmene.

Når man skal velge hva slags sikringstiltak som kan egne seg best på et område er det flere faktorer som må tas stilling til. Både verdien av det som skal sikres, kostnader, årsaken til erosjonen, arealet som er til rådighet, miljø og de fysiske forholdene i selve vassdraget. Når det gjelder de fysiske forholdene i vassdraget, fokuserer Fergus, Sæterbø & Hoseth (2010) på elvas eller bekkens størrelse, gradient, sedimenttype og vannhastighet. Videre deler han sikringstiltak inn i tre punkter:

1. I det første prinsippet skrives det om erosjonssikringer og fyllinger for å forhindre undergraving. Tiltaket går ut på å fylle opp og heve bekkeløpet med fyllmasse opp til 1-2 meter over flomsonene og støttfyllinger («motfyllinger» som Janbu, 1993 forklarer). Dette er et tiltak som kan brukes der det er vanskelig å steinsette elvebunnen. Når det gjelder steinsetting av elve- eller bekkesider, er det vanlig å grave ned omtrent 1-2 meter for å

forankre steinene, og for å forhindre underkutting. I enkelte tilfeller blir det også lagt ned filterlag. Filterlaget brukes først og fremst i tilfeller der løsmassene er finkornede, for eksempel i lag med sand eller leire. Ved valg av stein til steinsettingen, fungerer bruddstein eller utsprengt stein best. Dette fordi slike steiner er kantede, tunge og slitesterke. Slike steiner bør plasseres med sideveis kontakt mot hverandre for å best stå i mot erosjon i bekke- og elvesystemer. Dersom steinen derimot blir lagt med sidene mot strømrretningen er det større fare for at de blir revet løs. Det går også an å bruke annet materialet enn stein, både betong og treverk har også blitt brukt i slike tilfeller, men på grunn av at steiner i større grad både er mer solide og mer miljøvennlig, brukes det mer av dette i dag. I forbindelse med utbygging av veg og jernbane er det vanlig å sikre fyllinger og skråninger med en tørrmur. Tørrmurer kan enten bestå av stein eller betong, og blir mye brukt opp mot kulverter som går under fyllingene som veger eller jernbaner ligger på.

2. I prinsipp nummer to nevnes terrengjusteringer og hvilke fordeler og ulemper tyngden av jordmasser kan ha på skråningene. Med terrengjustering påpeker Fergus, Sæterbø & Hoseth (2010) avlastning av skråningstopper, eller utjevning av bratte skråninger der faren for utglidninger er stor.

3. I prinsipp tre skrives det om løsninger som skal stabilisere massene innenfra. Her nevnes kalksementpeler (K/C peler), saltdiffusjon og elektro-osmose. Disse tiltakene tilfører leirmassene en blanding av kalk og sement, eller den tilføres salt. Til tross for at disse tiltakene er mye brukt i forbindelse med utbygging, er det i mange tilfeller risikabelt å installere. Det er risikabelt først og fremst fordi det er med på å øke porevannstrykket under arbeidet, som fører til minsket skjærstyrken på grunn av minkende friksjon mellom partiklene i leirmassen. Punkt 3. kommer ikke til å bli gjennomgått noe mer ut over dette. For mer informasjon anbefales; (Fergus, Sæterbø & Hoseth, 2010; Helle, 2012; Helle et al. u.d).

Videre finnes det flere alternativer til erosjonssikringer. Blant annet er vegetasjon en viktig faktor til stabilisering i skråninger eller i overgangen mellom bekk/elv og land. Vegetasjon er i følge blant annet Steinacher et al. (2009), Molina et al. (2012) med på å forhindre erosjon ved å fange opp sedimenter og armere jordlagene med rotsystemer. På denne måten tilføres det ekstra kohesive krefter i jorda, som i tillegg bidrar til å ta opp vann gjennom evapotranspirasjon, og som er med på å minke overflateavrenningen. Cerda (1998) påpeker at vegetasjon i større grad hindrer sprekkdannelse i de øverste lagene i leirterreng, og at jord med lavt innhold av organisk materiale har høyere avrenning og sediment tap. Vegetasjon er i tillegg med på å forhindre dråpeerosjon som finner sted på overflaten. Ut over dette påpeker

Zaimes et al. (2005) at desto eldre og mer etablert vegetasjonsdekket blir, desto mer øker stabiliteten i banker og bekkesider. Steinacher et al. (2009) forklarer at de første 20 årene etter en avskoging der all skog er fjernet, er de mest kritiske. Dersom litt skog er igjen, vil det ta kortere tid for skogen å vokse opp igjen, og situasjonen er derfor ikke like kritisk som ved total avskoging. Vegetasjon kan på en annen side ha en destabiliserende effekt på skråninger hvis den totale vekten blir for høy. Særlig gjelder dette for store, gamle trær med godt etablerte rotsystemer, men forskning viser at den destabiliserende effekten spiller en liten rolle sammenlignet med de stabiliserende faktorene (Steinacher et al. 2009).

Et annet alternativ for å forhindre lokalerosjon er terskler og buner. Dette er konstruksjoner som kan produseres i enten stein, treverk eller betong. Buner er en konstruksjon som ofte er lengre enn den er bred (se figur 11). De blir ankret fast i bunnen, og er med på å styre vannstrømmen for å unngå erosjon på sårbare områder. Terskler på den annen siden, bygges langs bunnen, på tvers av strømretningen med en svak nedstrøms helning, og skal være med på å bremse vannføringen. I tillegg til å ha en bremsende effekt, vil terskler også fungere som sedimentfangere, fordi sedimenter som blir transportert i bekken eller elva, lettere blir avsatt på tersklene (Jensen & Tesaker, 2009; Fergus, Sæterbø & Hoseth, 2010).



Figur 11: Sikringstiltak, bune. Jensen, L. & Tesaker, E. (2009)

For å forhindre at utglidninger av løsmasser treffer ugunstige områder, blir det i noen tilfeller bygd ledevoller eller flomvoller. Dette blir blant annet mye brukt for å sikre veg og jernbane fra å bli utsatt for eventuelle utglidninger eller flomhendelser. I tillegg skal flomsoller og ledevoller bevare skråningsstabiliteten i området, forhindre erosjon av sensitive masser som ligger i bakenforliggende områder. Det er typisk å bygge ledevoller i bratte nedbørsfelt der

sjansen for utglidninger er større, og flomvoller der flomhendelser kan lage stor skade, som for eksempel i en bebygd dalbunn (Fergus, Sæterbø & Hoseth, 2010).

4. Feltarbeid og metode

I oppgaven er det brukt både observasjon og lidar som metode. Ved å bruke lidardata får en mer kunnskap om endringer over tid, samtidig gjør lidardata det lettere å gjennomføre mer nøyaktige målinger. Uten lidardataene måtte målinger blitt gjennomført manuelt, og hadde trolig ikke blitt like gode. Ved observasjon får man mer kunnskap om dagens forhold, og hvilke prosesser og former som er viktigst i dag. Gjennom bruk av bilder får man også en mulighet til å kunne forklare informasjonen man får fra lidardataene på en bedre måte. Begge metodene i oppgaven er brukt for å komplementere hverandre, og for å skaffe best mulig oversikt over både dagens situasjon, erosjonsgrad og fremtidens utvikling.

4.1 Feltområder

Begge feltområdene har tidligere blitt undersøkt av forskjellige firmaer på oppdrag fra Jernbaneverket. Blant annet Rambøll, NGI og Sintef har undersøkt grunnen på Klett. Jeg ble selv med NGI og Jernbaneverket for å observere på befaringen av feltområde 2 (Klett, Heimdal), våren 2015. Feltområdene ble anbefalt av Bjørn Karlsnes (NGI) for å ha et godt sammenligningsgrunnlag til oppgaven, og for å bidra til mer detaljert informasjon om erosjonsprosessene på områdene da dette ikke er gjort tidligere. Avgjørelsen om sammenligningsgrunnlaget ble basert på at områdene terrengmessig har ulikt utgangspunkt, både med tanke på gradient, sediment sammensetning og vegetasjonsdekket. Men at områdene ligger innenfor kvikkleiresoner og at innehar jernbanetrase som krysser vassdraget. Medregnet både likheter og ulikheter kan det bli interessant å se på eventuelle forskjeller i prosesser og effekter på de to stedene.

4.2 Feltarbeid

Feltarbeidet ble gjennomført over to dager i september 2015. Maia Økland og Kjetil Haukvik, som begge studerer og har studert geografi, ble med for å hjelpe til med innsamling av data og for å skape diskusjon knyttet til områdene. Under feltarbeidet tok vi i bruk målestokk, fotoapparat og notatblokker. For å klassifisere løsmassene som befant seg langs bekkesidene og i skråningene ble det også gjennomført en enkel rulleprøve på stedet. Rulleprøven innebar å rulle en håndfull sedimenter til en pølse for å se på vanninnhold, struktur og styrke. I tillegg gjennomførte vi en test av kornfordeling ved å smake på en prøve. Dette for å skille mellom sandig- og siltig leire (Løes, u.d).

Mandag 21. september dro vi til Klett på Heimdal (feltområde 2). Dagen gikk med på å dokumentere erosjon langs vassdraget som ligger mellom kvikkleiresone 438 og 439. Områdene her består av marin leire med høy faregrad. Selve vassdraget ligger i en godt vegetert ravedal innenfor Trondheims kommunegrenser. Under befaringen ble østsiden av jernbanen undersøkt i større grad enn vestsiden, først og fremst på grunn av at områdene i vest ikke ligger innenfor kvikkleiresonene. I tillegg var det høyere gradient i øst, og ved første øyekast mer erosjonsformer. Området i vest så etter forholdene ut til å være mer stabile.

Onsdag 23. september dro vi til Skatval i Stjørdal (feltområde 1). Denne dagen ble også brukt til å dokumentere eventuell erosjon som måtte befinne seg langs vassdraget. Vassdraget ligger mellom kvikkleiresone 604 og 607. Sone 607 er klassifisert som lav faregrad, mens sone 604 har middels faregrad. Vassdraget fortsetter nedover mot sone 603 som er klassifisert som høy faregrad, men dette området ble utelukket på befaringen på grunn av for stor avstand fra jernbanen. Området som lå nord for jernbanen ble ikke like godt observert som området området i sør. Forklaringen er den samme som på Klett, at gradienten var høyere i sør, at området i nord gikk utenfor kvikkleiresonene og at bekken på nordsiden så ut til å være mer stabilt enn på området i sør.

Noen steder langs vassdraget var det steinsatte sider, disse befant seg hovedsakelig i yttersving. De steinsatte sidene var tydelig bevis på antropogene tiltak, men det har vært vanskelig å finne dokumenter på når eller hvem som har gjennomført dette.

4.3 Metode

Metodene som ble brukt i felt er observasjon og noen manuelle målinger. Ved å velge observasjon får en mulighet til å selv være delaktig i prosessen. I tillegg kommer man tettere på egen forskning, og det blir lettere å skjønne sammenhenger dersom man selv er delaktig i innhenting av resultater. Ut over observasjon er det blitt hentet inn lidardata for å skape en mer detaljert oversikt over de to feltområdene. Lidar ble også brukt for å lettere sette seg inn i utviklingen av erosjonsprosessene på feltområdene over tid. I tillegg har det blitt hentet inn flyfoto fra områdene for å kunne se utvikling i vegetasjonsdekket. Ved bruk av flyfoto kan man lettere se om det er blitt gjennomført avskoging eller om det har grodd igjen de seneste årene. Eventuelle endring i vegetasjonsdekket kan ha stor betydning for det geomorfologiske regimet på stedet, blant annet i forhold til beskyttelse fra erosjon.

Metodene som er valgt i denne oppgaven vil på ulike måter belyse og skape en mer helhetlig forståelse av prosesser og effekter på områdene. Utover de metodene som er valgt, er det også tatt i bruk tidligere grunnundersøkelser på de to feltområdene. Disse undersøkelsene viser blant annet lagdeling, mektighet, sensitivitet og grunnvannsnivå. Undersøkelser som dette er med på å danne et bilde av jordprofilen, og ikke bare de øverste meterne som kommer frem på løsmassekart i følge Øygarden (2003).

4.3.1 Måling og observasjon

Under observasjonen ble det i tillegg til erosjonsformer, registrert utglidninger og sig i skråningene. Det ble også gjennomført en vurdering av vegetasjonsdekket. I dette tilfellet ble det vurdert om vegetasjonsdekket var helt, eller om det var skadet. Dersom det var skadet prøvde vi å skape en diskusjon rundt årsak til skadene, og eventuelle fremtidige effekter og påvirkning på underliggende masser. Observasjonene som har blitt gjort har blitt dokumentert gjennom bilder, og målinger har blitt gjennomført med målestokk. Prosesser og former ble notert og markert med plassering opp mot bildene på kameraet. *Eks: bilde 001 – underkutting og sig, lav vannføring, mangler vegetasjon i skråning.*

Målingene ble gjennomført i de områdene hvor det tydelig manglet vegetasjon eller der tørrskorpa på annen måte var blitt blottlagt. Områdene kunne variere veldig, men befant seg som regel langs bekkesidene. Det ble hovedsakelig målt lengde (høyde) på erosjonssårene fra bekkens vannoverflate og opp. Årsaken til at bredden ikke ble målt like hyppig var på grunn av at høyden på erosjonssårene varierte mer enn bredden. I tillegg var det vanskelig å måle bredde da erosjonssårene som oftest hang sammen og var langsgående gjennom store deler av vassdraget. Det ble heller ikke gjort målinger på mengde (volum), først og fremst på grunn av manglende ressurser, men også på grunn av vanskeligheter i forbindelse med tett vegetasjon. Måling av volum er noe som eventuelt kan gjøres ved videre forskning dersom det er ønskelig med mer informasjon om kvikkleiresonene på de to feltområdene.

4.3.1.1 Målinger i Arc Gis 10.2

Målinger av sinusitet, bredde, dybde, helning og avstand i vassdraget ble gjennomført i Arc Gis 10.2 (se tabell 2). Sinusiteten i et vassdrag forteller hvor mye en bekk eller en elv meandrerer eller bukter seg i terrenget. Dette er blitt regnet ut ved å finne den totale lengden på bekken, målt med alle svinger, for deretter å dele på den totale lengden av vassdraget, målt

i luftlinje. Sinusiteten kan deles inn i tre grupper: lav = $<1,3$ middels = $1,3-1,5$, høy = $>1,5$ (Myhre, 2005).

Når det gjelder bredden på bekken, ble dette målt ved flere tilfeldige punkter i vassdraget. Punktene ble plassert både i de nedre, de øvre og de midtre delene av bekken. Det er viktig å tenke over at bredden på bekken varierer i selve vassdraget, men også i løpet av sesongene. Dybden av ravinedalene ble målt ved å trekke fra verdien vi målte langs bekken med den høyeste toppen langs sidene. Ut fra dette fikk vi dybden på ravinedalen og kunnskap om høyden på skråningene i området. Helningen på området vil si hvor mange grader bekken faller. Den ble derimot målt ved å måle høyden på de øvre delene av vassdraget og trekke fra de nedre delene. Disse verdiene ble målt i meter over havet. Den siste faktoren som ble målt var avstanden mellom bekk og banke. Dette ble målt på samme måte som bredde. Avstanden mellom bekk og banke vil på mange måter kunne regnes som flomslettene i systemet. Denne avstanden kan ha mye å si for både skråningsprosesser, sedimenttransport og transportkapasitet.

4.3.2 Lidar

Lidar (Light Detection And Ranging) gjør målinger basert på laserskanninger. Elektromagnetisk stråling sendes mot objekter for å måle avstand, og for å dokumentere objekter i tre dimensjoner. Dette kan i sammenheng med GPS brukes for å plassere objekter i geografiske posisjoner, og er mye brukt blant geografer og geologer. Målingene blir ofte svært detaljerte, og er godt egnet for analyse av blant annet endringer over tid eller endringer på liten skala. Lidar brukes mye i forbindelse med kartlegging eller undersøkelser der det er vanskelig å gjennomføre manuelt arbeid på grunn av utfordrende terreng. Det er viktig å ha i bakhodet at lidardata ikke nødvendigvis alltid representerer de faktiske omstendighetene. Under selve laserskanningen kan det skje mange feil som blir registrert. Selve laserskanningene kan bli påvirket av været den dagen, vegetasjon eller feil i vinkel. En vanlig ting som kan skape problemer er refleksjon. For eksempel kan et signal reflekteres flere ganger, og på denne måten gi feil resultat (Wandinger, 2005). Lidardata samles inn gjennom enten landbaserte eller luftbårne lasere. De dataene som er brukt i denne oppgaven er samlet inn gjennom luftbåren lidar, og er blitt samlet inn ved å skanne områdene fra fly.

Lidar er blitt brukt som en av metodene i denne oppgaven for på best mulig måte sikre resultater som potensielt sett kan viser endring over tid. Lidardataene har blitt behandlet i

ArcMap 10.2. Det ble brukt lidarbilder fra to ulike år: feltområde 1: Skatval, ble det brukt lidardata fra 2009 og 2015, på feltområde 2: Klett, ble det brukt lidardata fra 2009 og 2014. Ut over dette har det blitt laget kart som viser terrengendringer mellom de to årstallene målt i meter, og kart som viser eldre skredsår i terrenget. Lidardataene ble hentet fra Kartverket og Trondheim kommune, og arbeidet som er lagt ned i ArcMap har blitt gjennomført i samarbeid med Kjetil Haukvik. Da lidardataene ble mottatt var det første som ble gjort å fjerne vegetasjonsdekket. Dette for å bedre kunne studere de endringene som har funnet sted i bekkeløpet og langs bekkesidene. Den utviklingen som har funnet sted i vegetasjonsdekket blir studert nærmere på flyfoto.

Tabell 1: Punkttetthet i lidardata

Sted	Opprinnelsesår	Punkttetthet (punkter/m)
Skatval	2009	2,89
Skatval	2015	9,76
Klett	2009	4,65
Klett	2014	17,5

Lidarbildene som er blitt anvendt i oppgaven har varierende kvalitet (se tabell 1). Dataene som ble målt i 2009 har en lavere oppløsning enn de som ble målt i 2014 og 2015, og analyseringen kan derfor by på utfordringer. Kvalitet og oppløsning henger nøye sammen med punkttettheten. Punkttetthet er hvor mange laserpunkter som er blitt skannet pr kvadratmeter, og dette vil kunne forklare oss hvor detaljert et datasett er. De største utfordringene blir å kunne skille mellom feil i datasettet og faktiske terrengendringer. Feil kan for eksempel være forårsaket av mye vegetasjon i områdene som er med på å hindrer den elektromagnetiske strålingen å treffe de objektene en ønsker å måle. For å kunne sammenligne høyde på differansekartene målte vi endringer på jernbanen eller omkringliggende veger og brukte dette som referansepunkt da disse i utgangspunktet skal være konstante. Dette ble gjort for å avklare om det fantes forskjeller i høyden på selve datasettene. På både Skatval og Klett var forskjellene < 5 cm, og kan derfor sies å være lav på begge steder.

Lidardataene er fremstilt på en måte som gjør det lettere å se endringene mellom 2009- og 2014/2015. Til tross for at vegetasjonen er fjernet og at fremstillingen er gjort så oversiktlig

som mulig, er ulikhet i oppløsning og høyde med på å gjøre dataene i noen tilfeller ubrukelige. Årsaken til at verdiene på figur 25 og 43 er delt inn i klasser med ulike intervall er fordi det er brukt en matematisk modell som kalles «natural jenks». Denne modellen ble brukt for å danne de beste klassegrensene, slik at man får størst mulig likhet innad i klassene og størst mulig differanse mellom klassene. I tillegg kommer veldig høye verdier/lave verdier i en klasse noe som gjør at også disse blir fremhevet.

Til tross for enkelte feil i datasettene og mye tid på bearbeiding og analyse, er lidardata en metode å anbefale. Først og fremst på grunn av et mye mer detaljert oversiktsbilde fra feltområdene. Det man derimot ikke får understreket nok, er viktigheten av forhåndskunnskaper og forståelsen av eventuelle feil som befinner seg i datamaterialet. Det anbefales å reise ut til områdene og gjennomføre en manuell befaring ved siden av lidardataene. Dette for å kunne tolke resultatene på en mest mulig riktig måte.

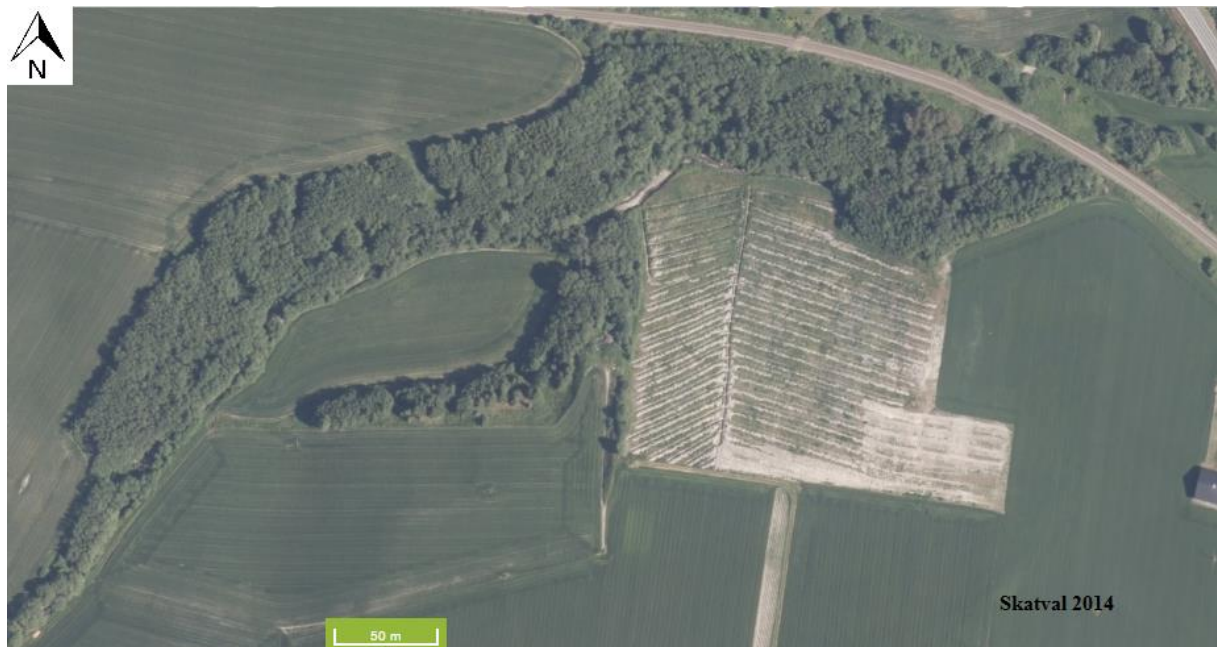
4.3.3 Flyfoto

Flyfotoene som ble brukt ble lastet ned fra norgebilder.no. De ble hentet fra ulike kartlag, og fra omtrent samme år for de to feltområdene. Dette ble gjort for å se om det er noen endringer når det kommer til vegetasjon. Dersom det har vært avskoging eller eventuelt gjengroing på områdene, vil dette potensielt sett kunne ha mye å si for skråningsstabilitet og sedimenttransporten i vassdraget både i dag og i fremtiden. Kunnskap knyttet til utvikling av vegetasjonsdekket er med på å forklare om områdene har vært aktive eller passive de siste 10 årene. Likevel vil ikke flyfotoene bli tatt særlig mer hensyn til, annet enn for å skaffe seg en oversikt over områdene.

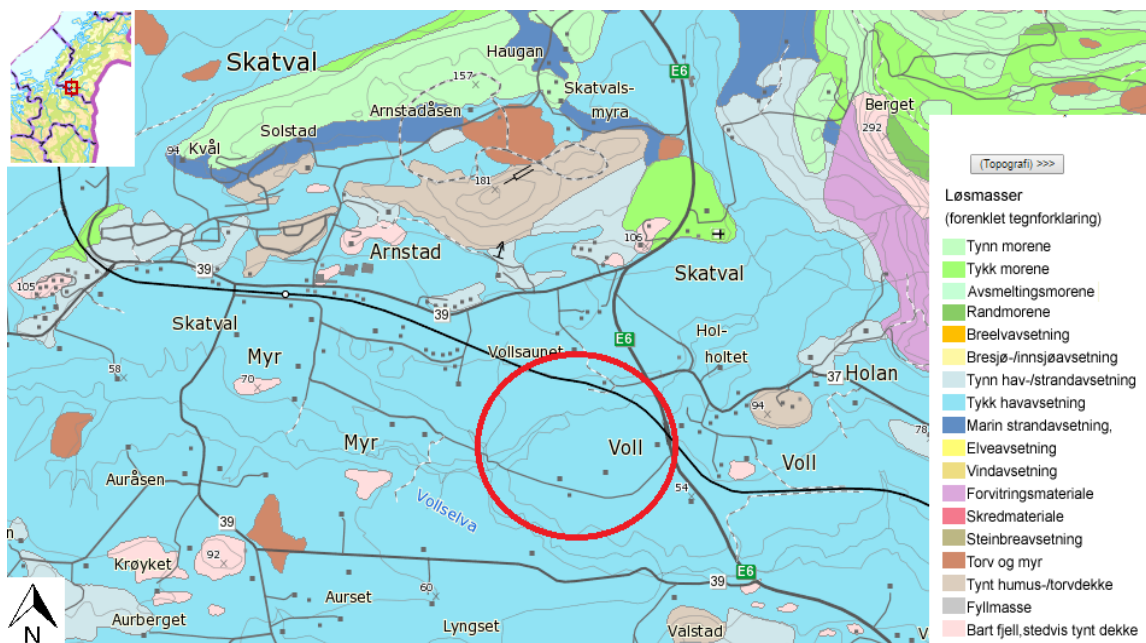
5. Resultater

5.1 Feltområde 1. Skatval, Stjørdal

Nedenfor er et flyfoto (se figur 12) og et løsmassekart (se figur 13) som viser feltområdet på Skatval i Stjørdal. Her kan man se hvordan jord- og skogbruk dominerer i terrenget. Langs selve bekkeløpet er det mye godt etablert vegetasjon, særlig i de områdene som ligger nærmest jernbanen. I tillegg kan en ut fra løsmassekartet se at det er marine avsetninger her kalt «tykke havavsetninger» (farget med blått), som dominerer.



Figur 12: Flyfoto av feltområde 1, 2014. Hentet fra Norgebilder.no (2015)

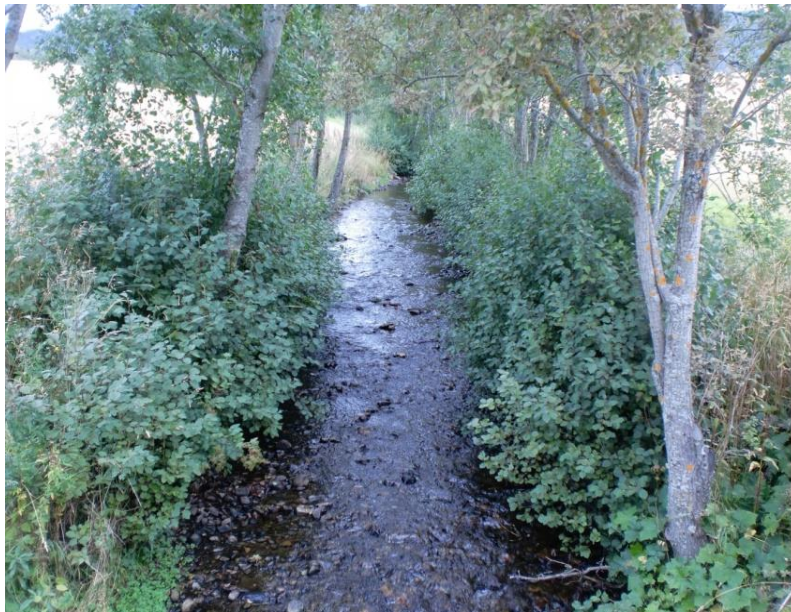


Figur 13: Løsmassekart, Skatval. NGU (2015)

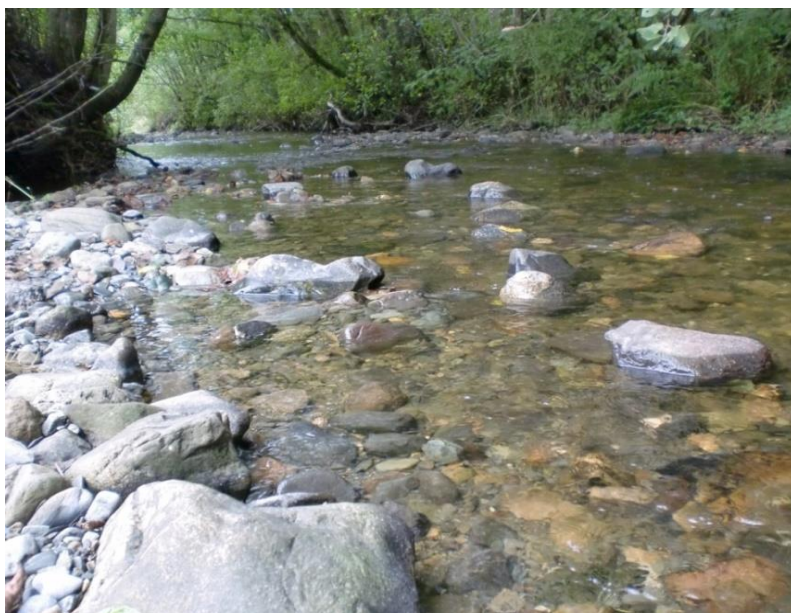
5.1.1 Kanalens planform

Bekken har en helling på $0,9^\circ$ og faller 12 høydemeter fra øverste til nederste punkt i feltområdet. Bekken har en gjennomsnittlig bredde på 4 meter, men dette varierer veldig. Nederst i feltområdet (se figur 14), har bekken en bredde på omtrent 2 meter, mens i de midtre og de øvre delene er bekken nærmere 4 meter (se figur 15 og 16). Enkelte områder hadde bekken tidligere gravd seg ut en større kanalbredde, men på grunn av lav vannføring under befaring var mye av kanalen tørrlagt.

På lidardataene ble bredden målt fra bekkeside til bekkeside, mens flomsletter ble målt mellom etablert bekkeløp og skråningene. Bekken har et relativt rett og grunt løp, og har en sinusitet på 1,12. Dybden på bekken ble ikke målt, men vil ut fra observasjon ligge et sted mellom 5 cm til oppunder 1 meter. Størst dybde var i yttersving, der erosjonen var størst.



Figur 14: Feltområde 1.
Bekkeløp, nedre del. Foto:
Marita W. Syversen (2015)



Figur 15: Feltområde 1.
Bekkeløp, midtre del. Foto:
Marita W. Syversen (2015)

5.1.2 Karakteristikken til ravinedalene

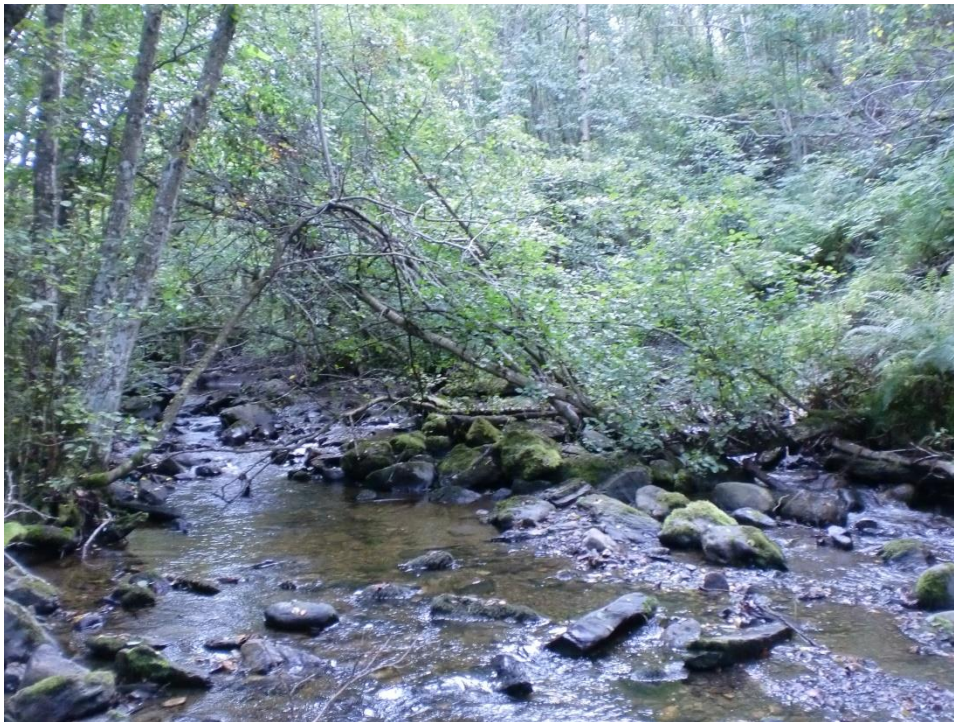
Bekken går gjennom en ravinedal der den høyeste skråningen er målt til å være 16 meter. Skråningen ligger øverst i feltområdet, og er nært knyttet til jernbanen. Desto lenger opp i vassdraget, desto brattere ble sidene i ravinedalen. Med brattere ravinedaler, fulgte også mer veltede trær og opphopning av større vegetasjon (LWD) i bekkeløpet. I de nedre delene av feltområdet gikk bekken ut i et flatere terreng der bekkesidene var betydelig lavere. På det minste var det ikke snakk om mer enn 20 cm. Opp igjennom hele vassdraget besto ravinedalen av en mer kupert side mot vest, og en flatere og jevnere side mot øst. Oppstrøms kom det til stadighet mer og mer bevis på bevegelse i form av sig, veltede trær og gamle utglidninger. For eksempel denne utglidningen (se figur 16) var omtrent 1,5 meter bred og var 2,8 meter langt. Ovenfor utglidningen kunne man se antydning til sig i jordmassene på grunn av manglende støtte fra underliggende masser. Disse utglidningene var ikke nye, ettersom noe vegetasjon har vokst opp igjen, og ettersom trær med bøyd stamme hadde greid å vokse seg i vertikal retning i etterkant av deformasjonen. Det fantes ingen nyere utglidninger å se.



Figur 16: Feltområde 1. Bekkeløp, øvre del. Foto: Marita W. Syversen (2015)

5.1.3 Step- pool

Bekken går i flatt terreng, og faller heller ikke som nevnt tidligere mange høydemeter. I tillegg til dette består område av leire, og det er derfor vanskelig å få dannet karakteristisk step- pool formasjon. Store deler av bunnen på bekkeløpet besto av et mangfold av ulike kornstørrelser som så ut til å være av naturlig opphav. Nederst i feltområdet var det betydelig mindre kornstørrelse langs bunnen. I de øvre delene av feltområdet dannet bekken små step- pool formasjoner. Området her besto av større kornstørrelse langs bunnen, og brattere ravinesider (se figur 17). På dette området består sedimenttilførselen av materiale fra omkringliggende skråninger. Sedimentene her er mer kantede, er større og ligger ganske tilfeldig plassert i bekkeløpet. Her ligger det også mye vegetasjon ute i bekken (LWD). Både LWD og større steiner kan i stor grad være med på å danne små tverrgående steps i bekkeløpet som senere har utviklet seg til nedstrøms pools gjennom erosjon.



Figur 17: Feltområde 1. Bekkeløp, øvre del 2. Foto: Marita W. Syversen (2015)

5.1.4 Forbygninger

Noen steder langs vassdraget var det steinsatte sider. Disse steinene utgjorde enten en mur bestående av flere kantede steiner eller av en større stein liggende alene. I feltområdet var det snakk om 4-5 slike mindre forbygninger langs bekkeløpet, og et par lenger opp i skråningene. Steinene som var plassert oppe i skråningene var trolig lagt der for å forhindre erosjon opp mot de omkringliggende jordene i området. Øverst i feltområdet ligger kulverten som fører gjennom jernbanefyllingen. På de siste 50 meterne inn mot kulverten var sidene sikret med en tørrmur bestående av større steiner. Selve kulverten var dimensjonert for å lede store mengder vann, men tørrmuren var gammel og stedvis falleferdig (se figur 18).



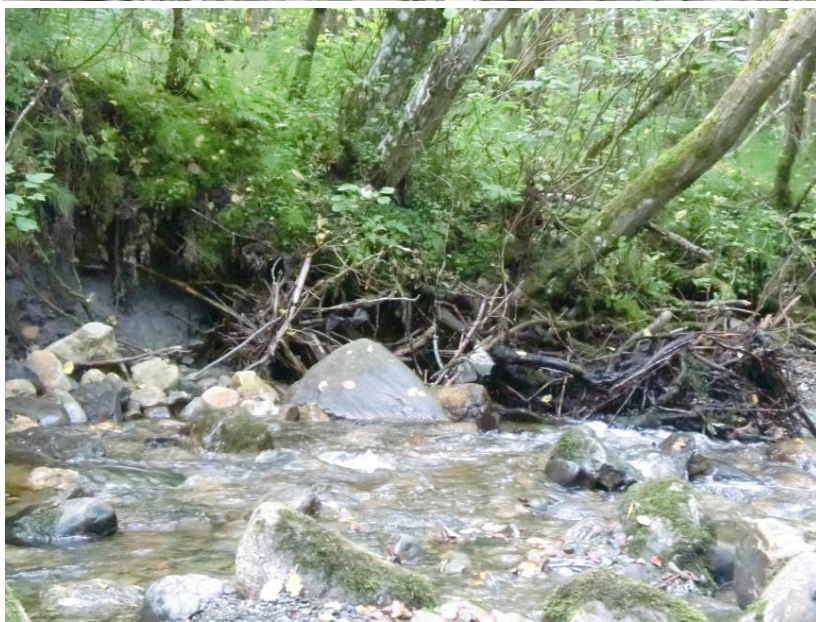
Figur 18: Feltområde 1. Forbygning. Foto: Marita W. Syversen (2015)

5.1.5 Vegetasjon

Vegetasjonen består av tynne løvtrær og mye tette busker. Bekken delte to oppløyde jorder med lav og middels faregrad fra hverandre. I tillegg kunne en se stadig mer vegetasjon som hadde veltet ut i bekkeløpet, eller vegetasjon med veldig bøye stammer desto lenger opp i vassdraget en kom. Enkelte steder var det snakk om undergraving der blant annet røttene fra vegetasjonen hang fritt uten støtte fra underliggende masser (se figur 21). På (figur 19 og 20) kan man se hvordan store trær og deler av et større vegetasjonsdekke gir etter på grunn av manglende underliggende masser i yttersving.



**Figur 19: Feltområde 1.
Vegetasjonsdekke 1. Foto:
Marita W. Syversen (2015)**



**Figur 20: Feltområde 1.
Vegetasjonsdekke 2. Foto:
Marita W. Syversen (2015)**



**Figur 21: Feltområde 1.
Vegetasjonsdekke 3. Foto:
Marita W. Syversen (2015)**

5.1.6 Sedimenter og erosjon

I de nedre delene av feltområdet lå det forholdsvis homogent materiale, men det ble større forskjeller i kornstørrelsen desto lenger oppstrøms en kom. Mange steder var det finkornet sand mellom større steiner som lå spredt langs bunnen i de øvre delene av feltområdet. I de øvre delene begynte også erosjonen i bekkesidene å komme tydeligere frem. I områder der erosjonen var størst kunne man enkelte steder se hard tørrskorpe og siltig leire som var blottlagt langs bekkesidene. At det er siltig leire som befinner seg her, kom frem gjennom prøver som ble tatt i felt og av informasjon som er hentet fra tidligere grunnundersøkelser.

Undergravingene var > 100 cm høye flere steder (se figur 22). De fleste stedene var det ikke blottlagt leire ved undergravingene på grunn av høy tetthet av rotsystemer, dette gjaldt særlig i de nedre delene der bekkesidene ikke var så høye (se figur 24). Likevel var det flere steder blottlagt grå/blå leire som fremsto som veldig robust og hard (se figur 23), dette er trolig tørrskorpen. På området der vegetasjonen har gitt etter, kan man tydelig se at armeringen av grovere sedimenter er fjernet. Her ligger det bare finkornet sand igjen. Som oftest ligger disse områdene i yttersving av bekkeløpet (se figur 25).



Figur 22: Feltområde 1. Erosjon 1. Foto: Marita W. Syversen (2015)



**Figur 23: Feltområde 1.
Erosjon 2. Foto: Marita
W. Syversen (2015)**



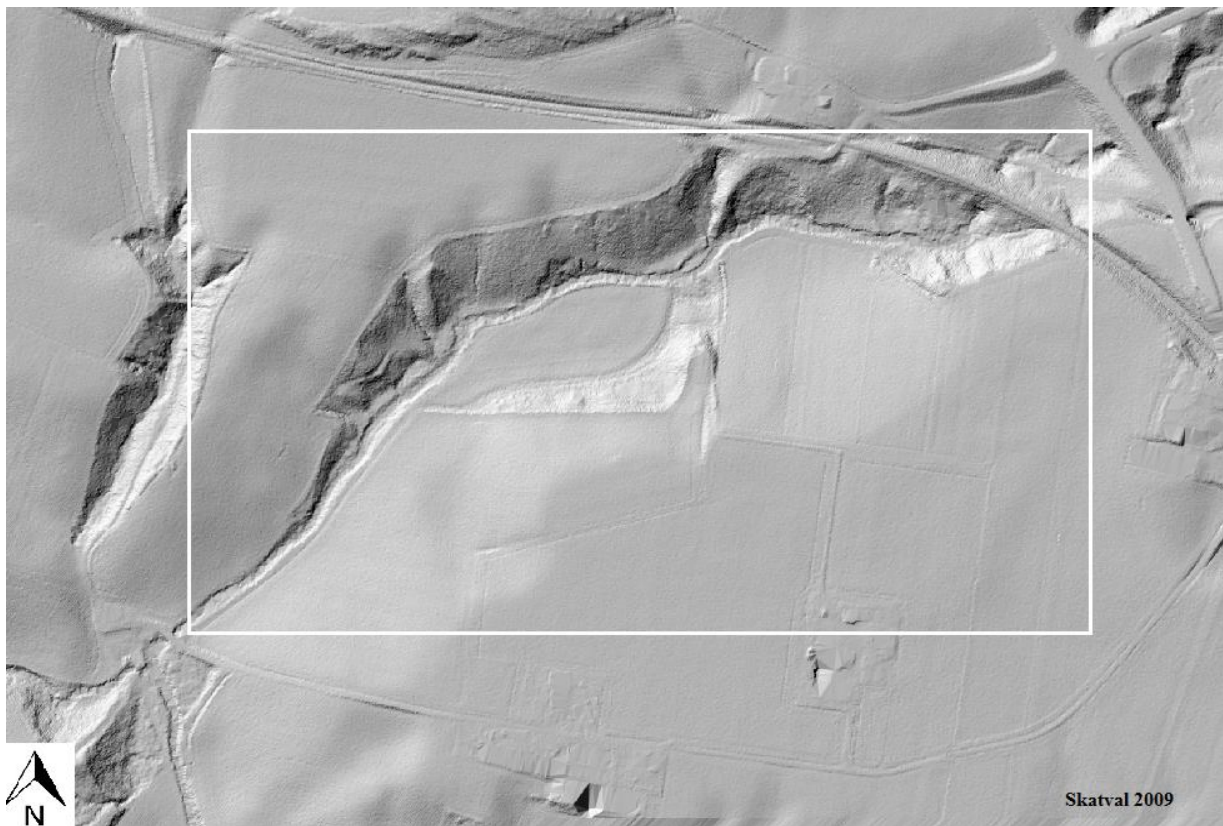
**Figur 24: Feltområde 1.
Erosjon 3. Foto: Marita
W. Syversen (2015)**



**Figur 25: Feltområde 1.
Erosjon 4. Foto: Marita
W. Syversen (2015)**

5.1.7 Lidarbilder og flyfoto

På lidarbildene kan man se at bekkesiden som ligger mot vest er høyere enn bekkesiden mot øst. Den siden som ligger mot øst blir høyere først høyt oppe i feltområdet der den er nært knyttet til jernbanen. Det er på dette området at ravinedalen er på sitt bredeste. Flere steder i feltområdet er det gamle vegeterte utglidninger i bekkesidene, først og fremst i den vestlige bekkesiden som ligger tilknyttet jernbanen. Utglidningene kommer til syne gjennom skålformede avrundede skredsår i terrenget (se figur 29). I de nederste delene av feltområdet er det ingen tydelige skredsår å se, men desto lenger oppstrøms en kommer oppdager en flere, og større skredsår. Dette korrelerer med økt gradient i skråningene. Overgangen fra vassdraget og opp på omkringliggende jorder, markeres med en skarp kant. Både den skarpe kanten, og de skålformede skredsårene er typisk for leirterreng.

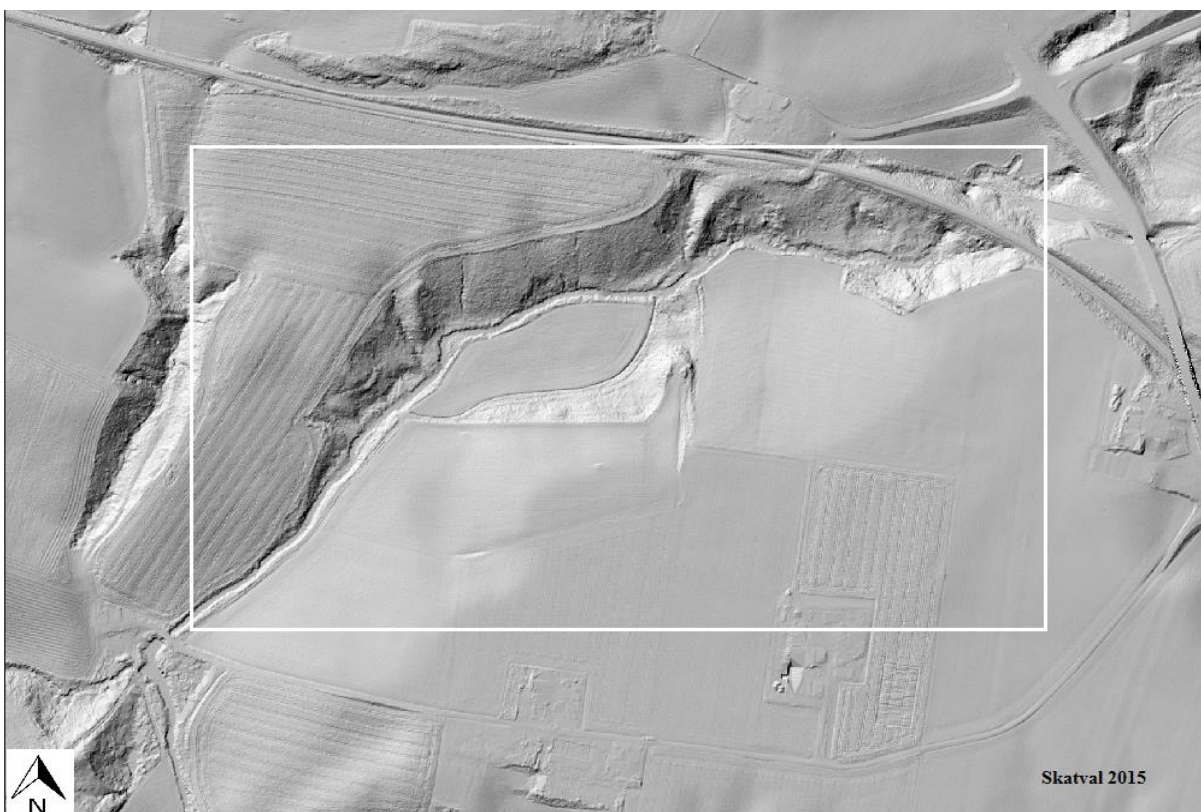


Figur 26: Feltområde 1. Lidarskann 2009. Hvit ramme viser de befarte områdene i vassdraget. Statens Kartverk (2015)

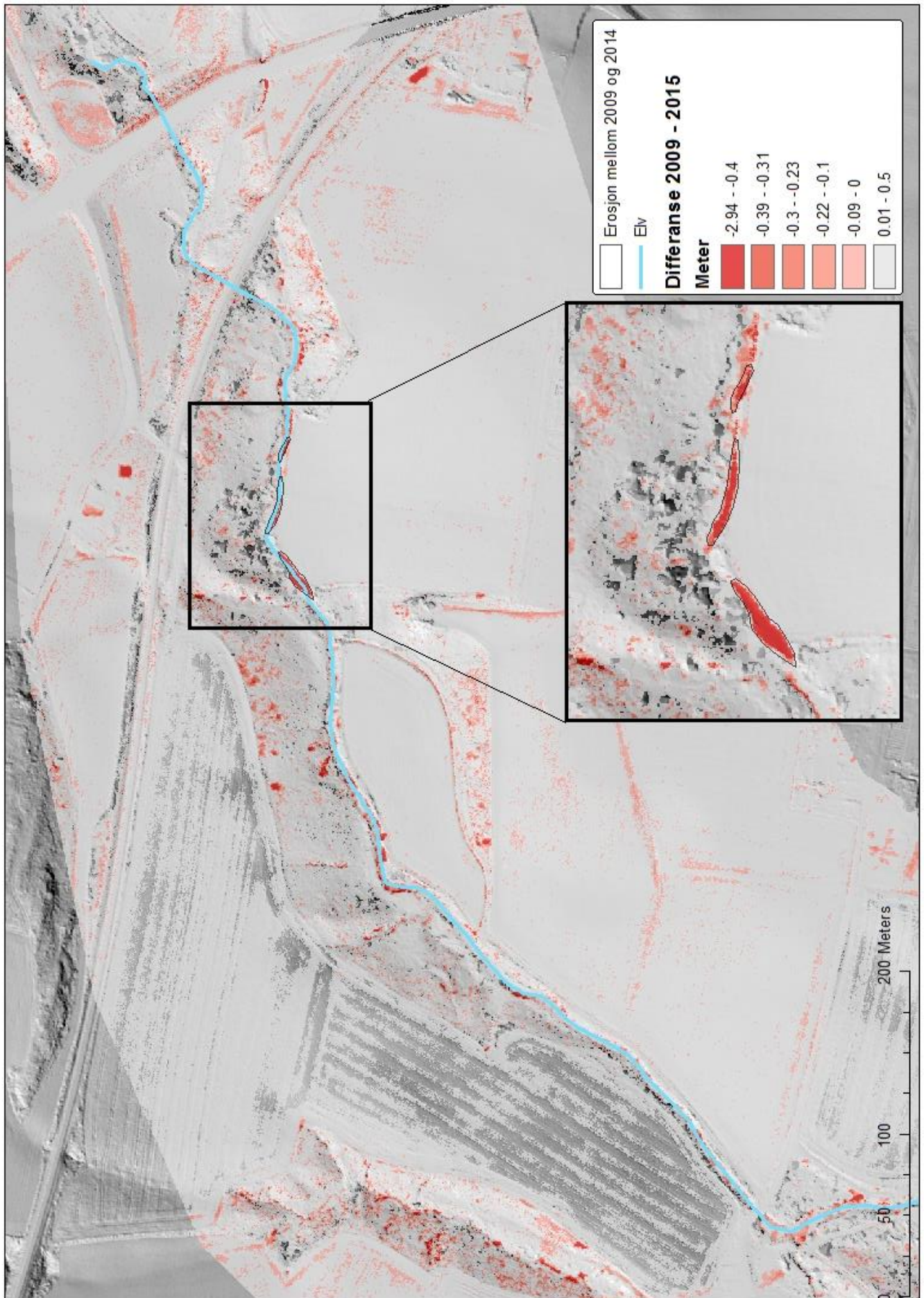
På 2009 skanningen (se figur 26) ser det ut til at noe av det materialet som befant seg langs bunnen av skredsåret øverst i feltområdet (ved jernbanen) er blitt transportert vekk i 2015 skanningen (se figur 27). Det er denne endringen som viser størst forskjell på differansekartet (se figur 28). Til tross for noen forskjeller mellom 2009 og 2015, og noen tydelige skredsår av

eldre opprinnelse (se figur 29), er det i utgangspunktet ikke enorme endringer eller mange erosjonsformer som kommer frem på lidarbildene.

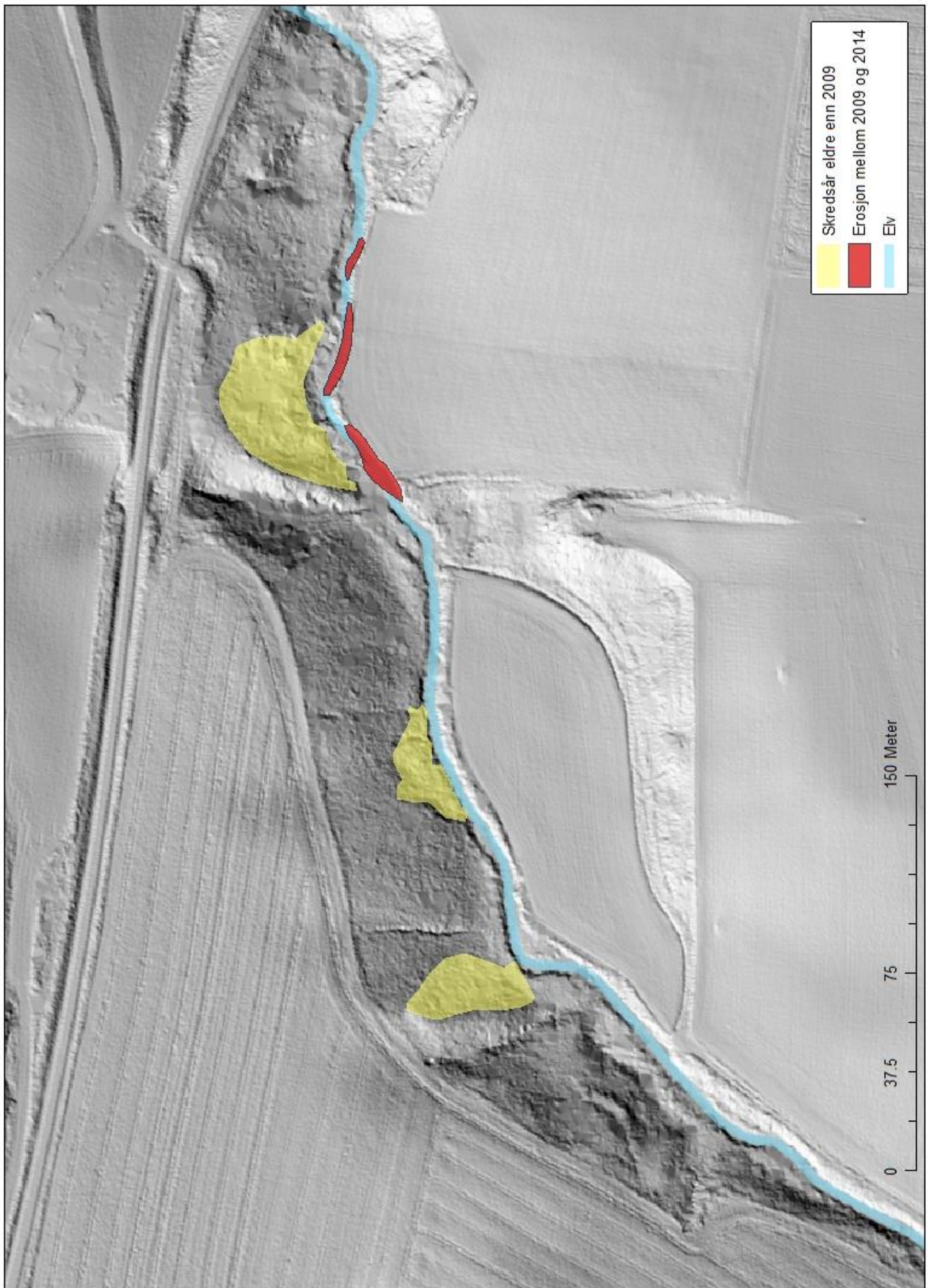
På kartet som viser høydedifferansen (se figur 28) mellom lidarskanningene fra 2009 og 2015, viser den mørkeste fargen (rød) størst negativ endring over seks år. Enkelte steder har nedsenkningen vært på opp mot to meter. På dette kartet er de fleste positive verdiene knyttet til omkringliggende områder. Disse verdiene er fjernet da kartet ble uoversiktlig og dette resultatet gjenspeiler områdene rundt mer enn endringer i bekkeløpet. Trolig skyldes mange av de positive verdiene endringer på jordene rundt.. En mulig forklaring på dette er at jordene har vært sådd da den ene skanningen ble gjennomført i 2009 og pløyd på det andre da skanningene ble gjennomført i 2015. På grunn av dette har det oppstått feil da laseren har truffet vegetasjon i stedet for bakken. Når det gjelder de negative endringene (erosjon) på skanningene, er disse størst i selve bekkeløpet. De erosjonsformene som kommer frem, ligger i de områdene der bekken meandrerer mest (omtrent 100 meter fra jernbanen). Disse erosjonsformene ligger i innersving, og skyldes trolig transport av rasmateriale fra skråningen over. Innersving på dette området innebærer ikke skråningen som er direkte knyttet opp mot jernbanen, og kan derfor ikke sies å være en direkte risiko for jernbanen. Det er også registrert endringer lenger opp i skråningene, men de er minimale. På kartet som viser gamle utglidninger og erosjonssår (se figur 26), er det blitt registrert tre større, skålformede utglidninger av eldre opprinnelse. Det er vanskelig å si hvor gamle disse er, men de samme formene var registrert på lidarbildene både i 2015 og i 2009.



Figur 27: Feltområde 1. Lidarskann 2015. Hvit ramme viser de befarte områdene i vassdraget. Statens kartverk (2015)



Figur 28: Feltområde 1. Differansekart 2009-2015. Statens kartverk. Marita W. Syversen (red.) (2016)



Figur 29: Feltområde 1. Differansekart 2009-2015 (2). Statens kartverk. Marita W. Syversen (red.)(2016)

På flyfotoene fra Skatval 2004 og 2014 (se figur 30 og 31) kan en se gjengroing flere steder i feltområdet, men det er definitivt størst endring langs jernbanen. Mye vegetasjon har kommet tett på jernbanen i løpet av 10 år.



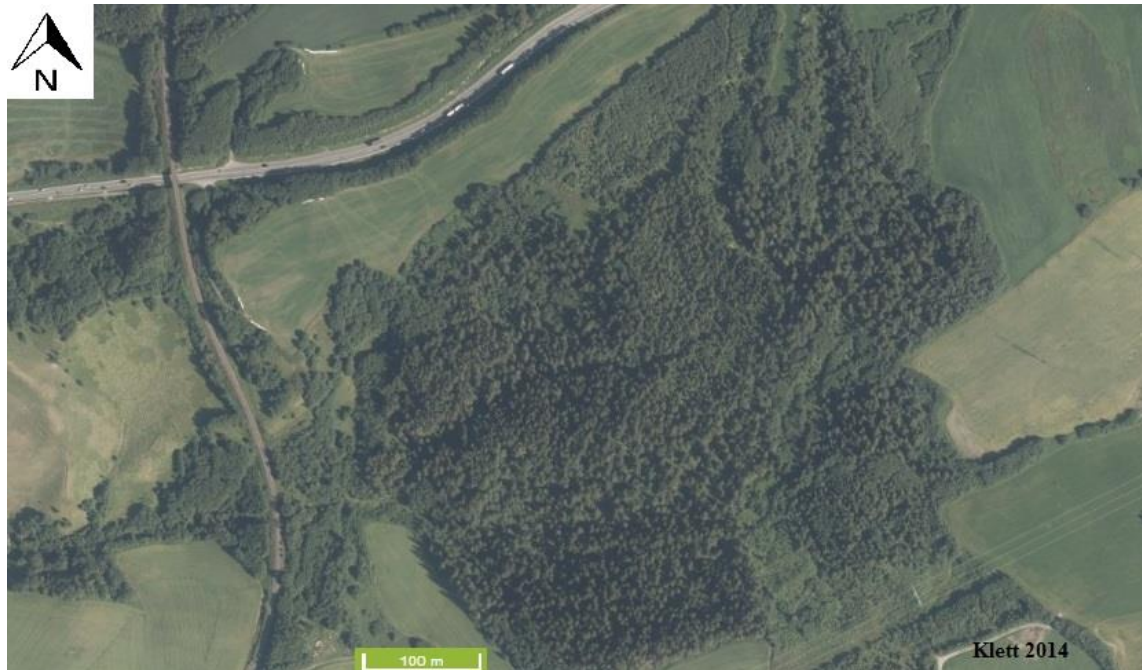
Figur 30: Feltområde 1. Flyfoto 2004. Hentet fra Norgebilder.no (2015)



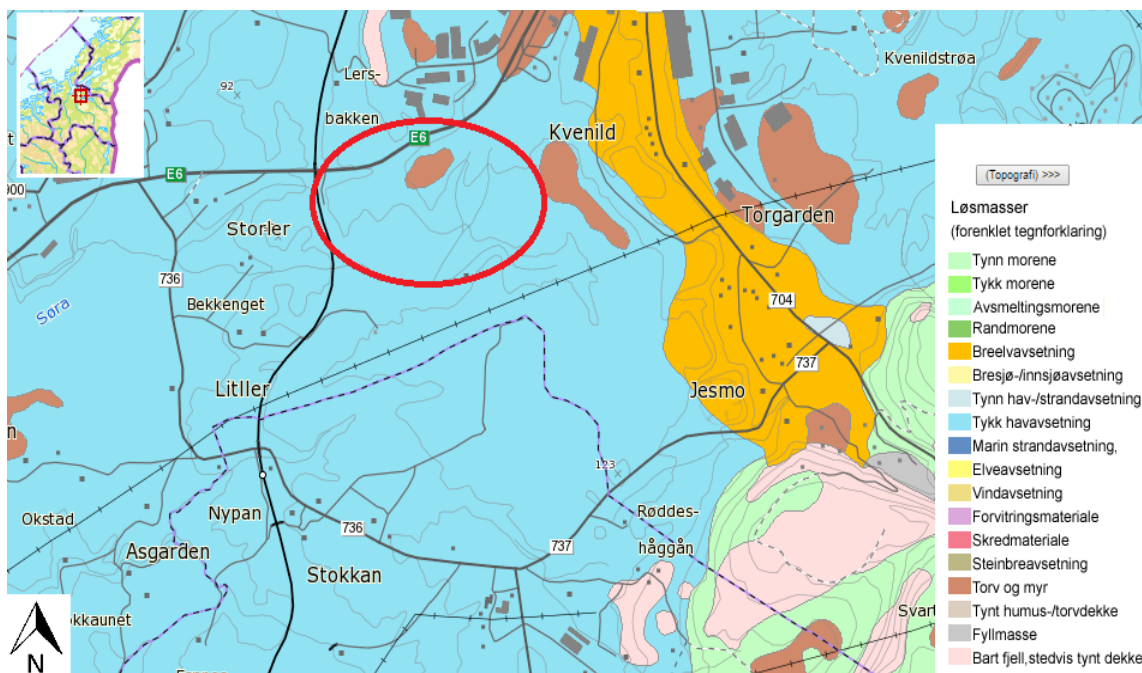
Figur 31: Feltområde 1. Flyfoto 2014. Hentet fra Norgebilder.no (2015)

5.2 Feltområde 2. Klett, Heimdal.

I forkant av befaringen kom det mye nedbør. Det kom også noe nedbør under befaringen. Området bar preg av fuktig jord og vegetasjon. Bekken hadde vokst siden befaringen på våren, og det var lett å trække «hull», eller skade vegetasjonen i området på grunn av nedbørsmengdene som hadde kommet de siste dagene. Løsmassekartet (se figur 33), viser at vassdraget går gjennom marine avsetninger her kalt «tykk havavsetning» (farget med blått). Videre viser også flyfoto fra området at bekkeløpet går gjennom godt vegeterte områder (se figur 32).



Figur 32: Flyfoto av feltområde 2, 2014. Hentet fra Norgebilder.no (2015)



Figur 33: Løsmassekart, Klett. NGU (2015)

5.2.1 Kanalens planform

Bekkeløpet hadde en bredde på 1-2 meter, og meandrer litt (se figur 34). Til tross for at bekken meandrer, var ikke sinusiteten høyere enn 1,31. Bekken gikk gjennom et område med mye vegetasjon, og buktet seg derfor mer enn den trolig ville gjort dersom det ikke var vegetasjon på området. Årsaken til dette er at det er mye vegetasjon i selve bekkeløpet, og bekken delte seg derfor flere ganger opp igjennom vassdraget. Flere steder hadde øyer bestående av transportert vegetasjon forankret seg fast, og ført til at nytt materiale festet seg lettere. Bekken falt ikke mange høydemetrene, det øverste punktet ble målt til å være 95 m.o.h, mens det nederste ble målt til å være 66 moh. Disse verdiene utgjør en helling på 1,66°. Øverst i den befarte delen av feltområdet delte bekken seg i to.



Figur 34: Feltområde 2. Bekkeløp, midtre del. Foto: Marita W. Syversen (2015)

5.2.2 Karakteristikken til ravedalene



Figur 35: Feltområde 2. Bekkeløp, øvre del. Foto: Marita W. Syversen (2015)



Figur 36: Bekkeløp, nedre del. Foto: Marita W. Syversen (2015)

Selve ravedalen var på sitt dypeste ved jernbanen og hadde en dybde på 29 meter. I tillegg til dette er avstanden mellom bekk og banke målt til å ligge mellom 0 og 7 meter. Disse verdiene tilsier at ravedalen består av høye skråninger og en smal bunn (se figur 36). Ravinesidene, og tidvis også sidebankene hadde høy gradient. Flere steder var sidene tilnærmet vertikale, 30-40 cm høye og uten vegetasjon. Her eroderte bekken direkte på finkornet leire. Oppstrøms åpnet området og dalsidene seg opp, og selv om bekken ikke hadde gått gjennom høy gradient frem til dette punktet, ble likevel gradienten enda lavere. I de øvre delene av feltområdet befant det seg et hogstfelt på begge sider av bekken (se figur 35), på siste stopp delte bekken seg i to.

5.2.3 Forbygning

I den nederst delen av feltområdet var det bygd en relativt stor kulvert gjennom jernbanefyllingen. I tillegg var det bygd ut en tørrmur av store steinblokker fra kulverten og omtrent 50 meter oppstrøms i vassdraget. Tørrmuren endte ved en forbygning av jern som var satt opp for å stoppe større vegetasjon fra å bli transporter inn i kulverten (se figur 37). Utover kulvert, tørrmur og en vegetasjonsstopper i jern, var det ingen andre antropogene forbygninger i feltområdet



Figur 37: Feltområde 2. Forbygning. Foto: Marita W. Syversen (2015)

5.2.4 Step- pool

På feltområdet var det i de øverste delene dannet små step-pool lignende formasjoner i bekkeløpet. De befant seg i nærheten av hogstfeltet, og var få i antall. De var veldig smale, men fylte ut bredden på bekkeløpet. I de fleste tilfeller der det var step-pool formasjoner var det mye sedimenter i form av større steiner og vegetasjon som hadde kjørt seg fast i hverandre og i bunnen. Der vegetasjonen hadde falt ned i bekkeløpet, hadde bekken funnet nye veier under hindringene (se figur 39).

5.2.5 Vegetasjon

På området er det mye vegetasjon. Her finnes både godt og mindre etablert vegetasjon. Vassdraget var en gjengrodd ravinedal der trærne hadde bøyd røtter, og der mye vegetasjon hadde falt over bekkeløp. Mange av de velte trærne i bekkeløpet hadde ligget en stund, lenge nok til å samle opp sedimenter eller annen vegetasjon som hadde falt i bekken oppstrøms. Flere steder demmet slike elementer (LWD) opp bekkeløpet, og tvang det til å finne nye veier (se figur 38). Mange steder gikk bekken i meandrerende svinger eller dannet små trinn i bekkeløpet (se figur 39) som et resultat av mye materiale i bekkeløpet. Stedvis var det veldig vanskelig å komme frem langs sidene på grunn av mye tett vegetasjon.



Figur 38: Feltområde 2.
Vegetasjon 1. Foto: Marita W.
Syversen (2015)



Figur 39: Feltområde 2.
Vegetasjon 2. Foto: Marita W.
Syversen (2015)

5.2.6 Sedimenter og erosjon

I området var det mange sidebekker som rant ut i hovedløpet, men ingen av disse viste særlig høy sedimenttransport. I hovedløpet var derimot vannet veldig misfarget. Helt øverst i feltområdet delte bekken seg i to. Den bekken som lå lengst nord i området hadde betydelig mindre sedimenttransport enn den bekken som lå lenger sør (se figur 40).



Figur 40: Feltområde 2. Erosjon 1. Foto: Marita W. Syversen (2015)

Det var tydelig at bekken har hatt større vannføring enn den hadde under feltarbeidet. Dette var lett å se på grunn av de små flomslettene som bekken hadde laget på hver side. I tillegg lå det mye sedimenter i form av finkornet leire på toppen av vegetasjonen som befant seg nærmest bekkeløpet. Enkelte steder var deler av flomslettene sunket ned på et lavere nivå enn områdene rundt. På feltområdet var det flest erosjonssår i yttersving av bekkeløpet (se figur 41, 42 og 43). Her besto erosjonssårene av lett eroderbar leire. Det var ingen markant tørrskorpe å se. I tillegg til erosjonssår, var det også flere steder utglidninger i bekkesidene. Trolig henger disse utglidningene sammen med sterk erosjon i yttersving.



**Figur 41: Feltområde 2.
Erosjon 2. Foto: Marita W.
Syversen (2015)**



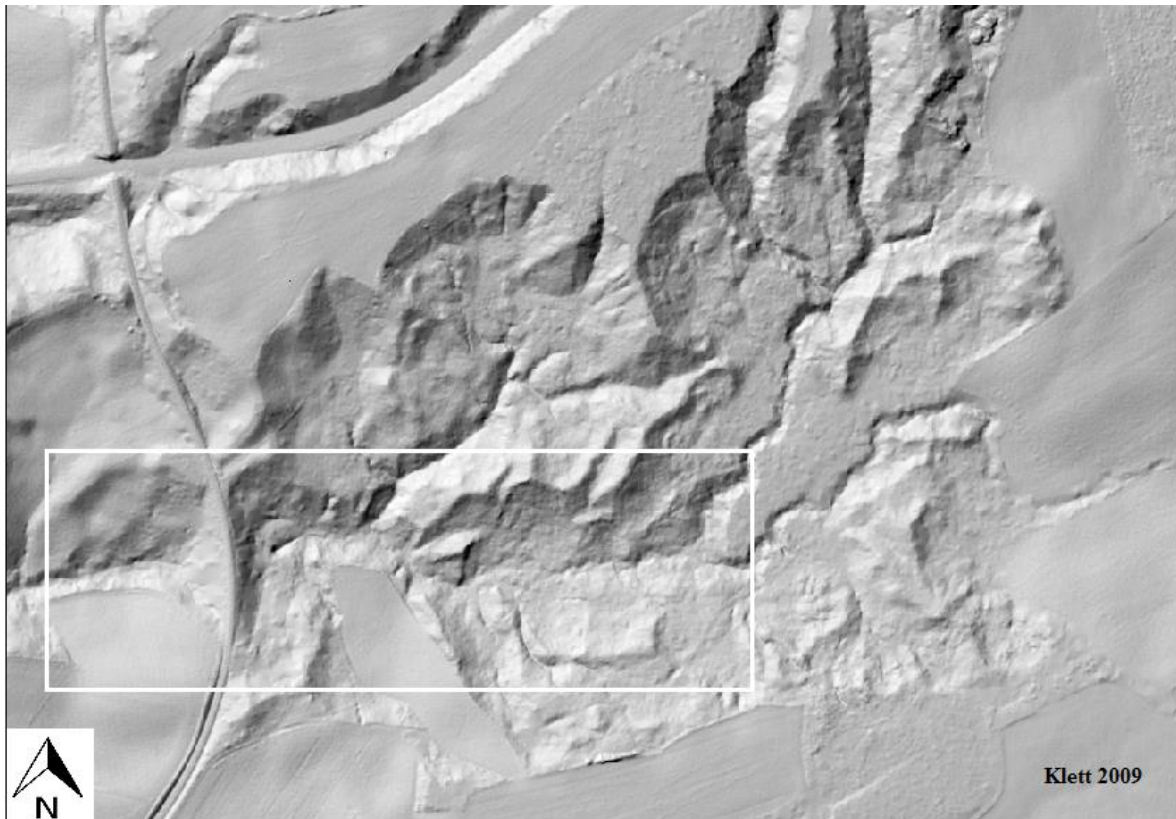
**Figur 42: Feltområde 2.
Erosjon 3. Foto: Marita W.
Syversen (2015)**



**Figur 43: Feltområde 2.
Erosjon 4. Foto: Marita
W. Syversen (2015)**

5.2.7 Lidarbilder og flyfoto

Lidarskanningene fra Klett i 2009 og 2014 viser et feltområde med bratte skråninger på begge sider av bekkeløpet. Her har bekken over tid gravd seg stedvis dypt ned. Langs hele vassdraget er det skarpe kanter og det som kan se ut som gamle skålformede skredsrår. Det er også bratte og skarpe nedskjæringer i terrenget, disse nedskjæringene går tett opp mot E6 som ligger høyt opp i feltområdet. Nedskjæringene langs jernbanen er derimot mer avrundede.



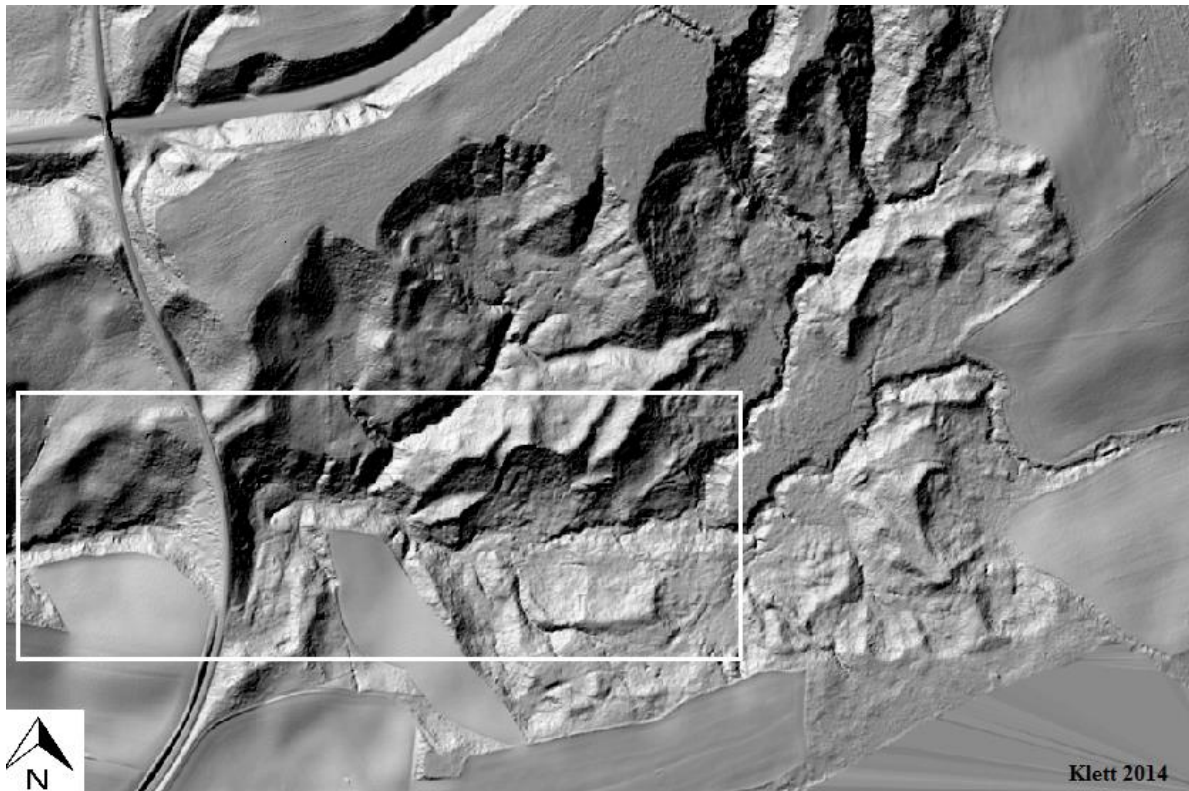
Figur 44: Feltområde 2. Lidarskann 2009. Hvit ramme viser de befarte områdene i vassdraget. Trondheim kommune (2015)

I datasettet fra 2009 (se figur 44) er oppløsningen betydelig dårligere enn i datasettet fra 2014 (se figur 45). Til tross for dårligere oppløsning kan man fortsatt se skålformede utglidninger og stedvis dype nedskjæringer.

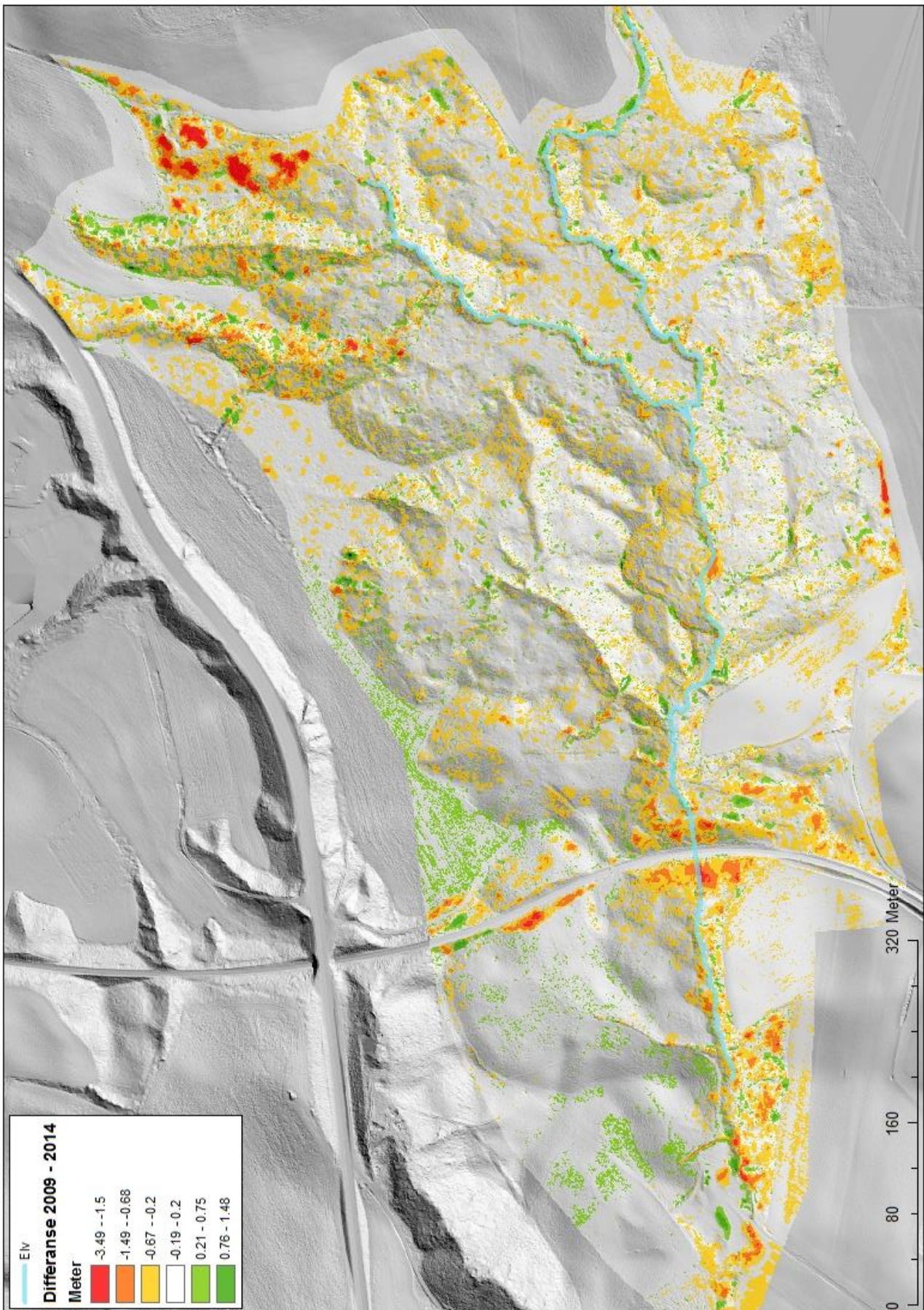
På kartet som viser differansen mellom lidarskanningene i 2009 og 2014 (se figur 46) viser rød og grønn farge de største endringene over fem år. Laveste verdi her er 3,5 meter nedsenkning. På dette kartet har jeg valgt å ha med flere av de positive verdiene fordi kartet ikke blir mer oversiktlig dersom en fjerner de (slik det ble på figur 28 over Skatval), og fordi alle verdiene på Klett må med for å vise hvor kaotisk det er. Dette er trolig noe som skyldes

en datafeil i forbindelse med store mengder vegetasjon i feltområdet. Disse datafeilene gjør at lidarskanningene fra Klett blir vanskeligere å tolke. I et forsøk på å gjøre disse dataene så forståelig som mulig er verdiene mellom $-0,19 - 0,2$ gjort mindre synlig. Dette ble gjort på grunn av at det innenfor denne kategorien var flest dataverdier, og fordi disse verdiene viser liten endring. Disse verdiene er med på å skape mer kaos enn forståelse i kartet.

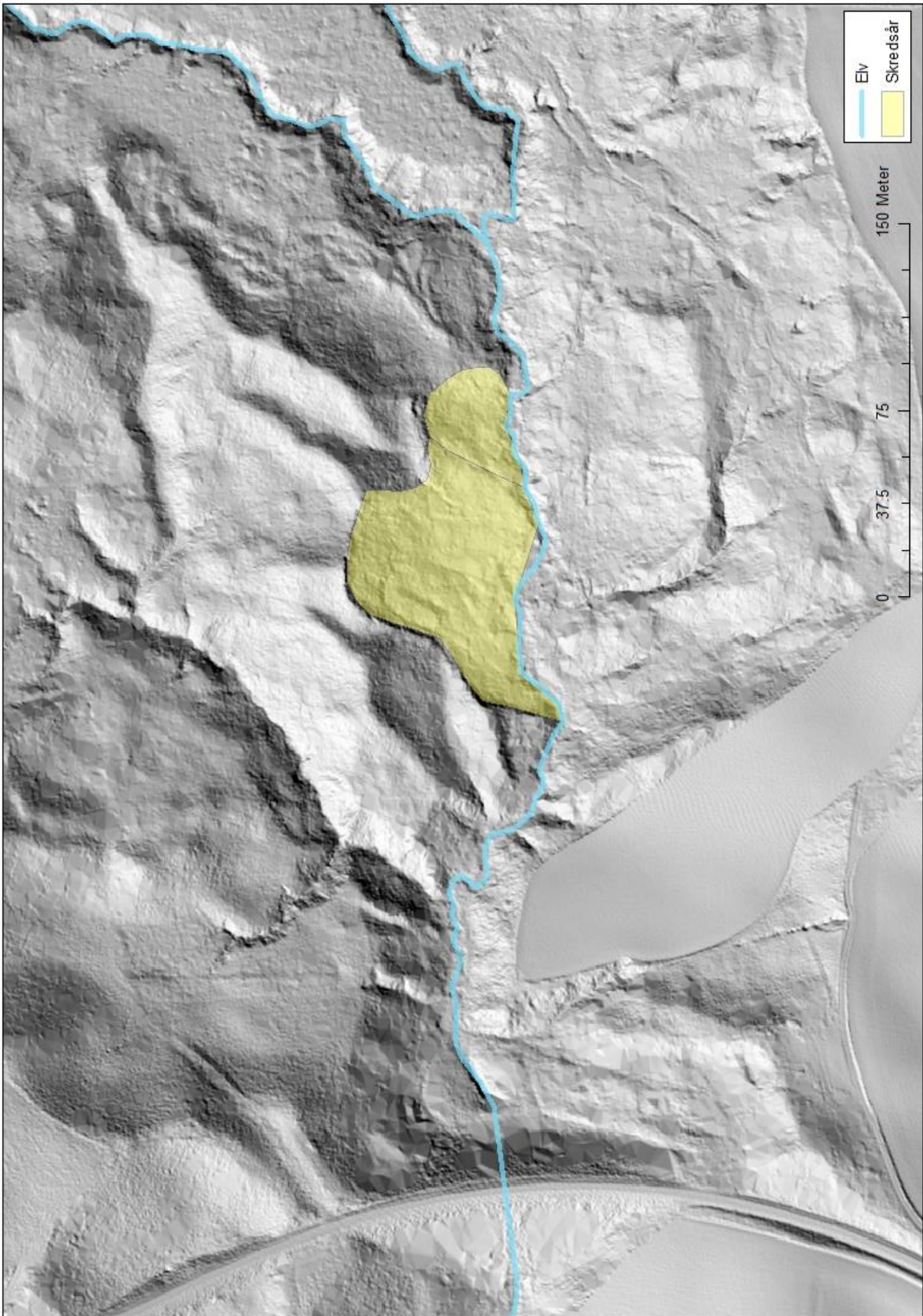
Både de positive og de negative verdiene kan i utgangspunktet være feil. På kartet er den klassen som viser minst endring definitivt den største, men denne er gitt en nøytral farge for å fremheve de områdene der endringene er større. Til tross for vanskeligheter med å tolke, kan man til en viss grad se en trend med endringer langs selve bekkeløpet, men denne trenden er langt vanskeligere å se enn i eksempelet med Skatval. Øverst i vassdraget (ikke befart) kan man se noen dype sår i terrenget, om dette skyldes faktisk skråningsaktivitet eller om dette skyldes datafeil er vanskelig å si. Man kan til en viss grad se enkelte skredssår i feltområdet, men disse er vanskelig å oppdage på grunn av eventuelle feil (se figur 47). Det er også registrert mange endringer langs jernbanen og i skråningene ned mot bekken, men hva dette skyldes er også vanskelig å konkludere med på grunn av datafeilene.



Figur 45: Feltområde 2. Lidarskann 2014. Hvit ramme viser de befarte områdene i vassdraget. Trondheim kommune (2015)



Figur 46: Feltområde 2. Differansekart 2009-2014. Trondheim kommune. Marita W. Syversen (red.) (2016)

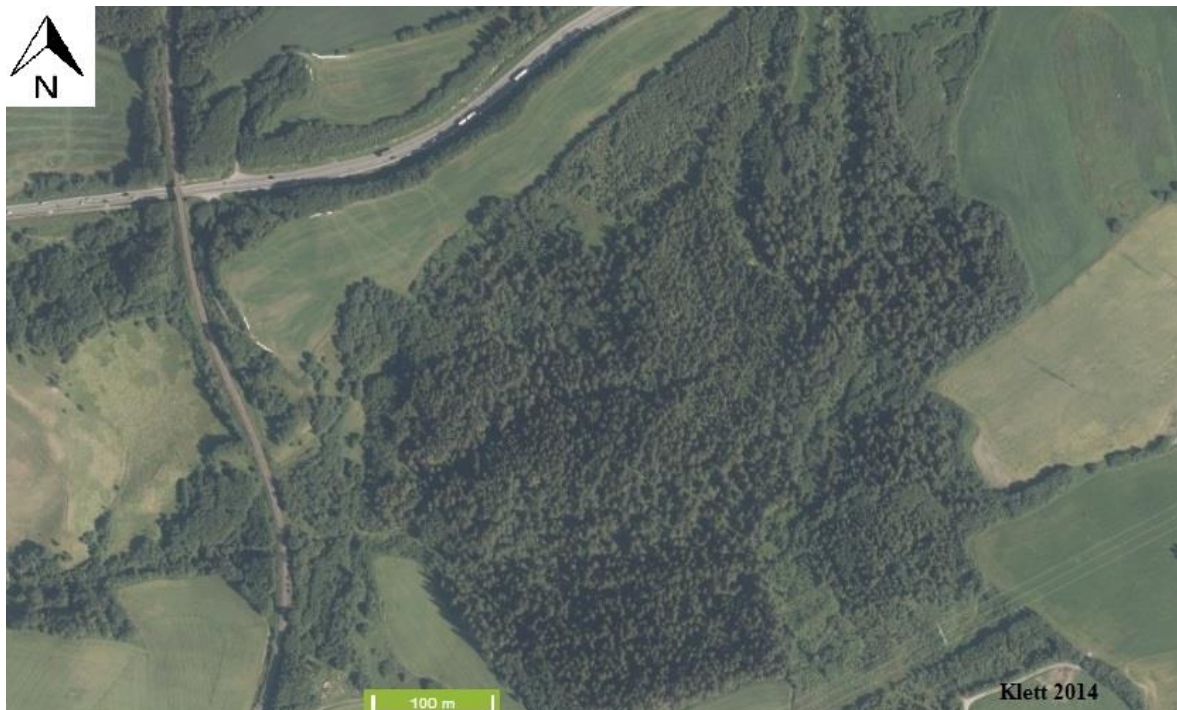


Figur 47: Feltområde 2. Differansekart 2009- 2014 (2). Trondheim kommune. Marita W. Syversen (red.) (2016)

På flyfotoene fra 2003 (se figur 48) og 2014 (se figur 49) ser man en tydelig gjengroing over 11 år. Vegetasjonen har blitt tettere der det allerede fantes vegetasjon i 2003, i tillegg har nye områder blitt vegetert. Særlig stor forandring er det i nærheten av jernbanen, og på jernbanefyllingene som ligger over kulverten.



Figur 48: Feltområde 2. Flyfoto 2003. Hentet fra Norgebilder.no (2015)



Figur 49: Feltområde 2. Flyfoto 2014. Hentet fr Norgebilder.no (2015)

Tabell 2: Viser målinger gjort i ArcGis 10.2.

	Feltområde 1. Skatval	Feltområde 2. Klett
Sinusitet	1,12	1,31
Bredde på bekkeløpet	Ca. 4 m	1-2 m
Dybde på ravinedal	0-16 m	29 m
Helling på bekkeløpet	0,9 °	1,66°
Avstand fra bekk til banke	0-20 m	0-7m

5.3 Feltområdene – sårbarhet og risiko

Begreper som sårbarhet og risiko forteller noe om hvordan samfunn blir påvirket dersom skred eller flom skulle inntreffe. Kunnskap om dette er viktig å tenke over når faren for skred diskuteres. Et slikt perspektiv er med å gjøre forskningen mer samfunnsnyttig, og kan få stor betydning i en oppgave som denne. Først og fremst er dette viktig fordi risiko rundt jernbanen ikke kan diskuteres uten å belyse påvirkningen et eventuelt skred ville hatt på samfunnet rundt. Der jernbanen går, er mennesker innblandet, og potensielle liv kan gå tapt.

Feltområde 1 på Skatval i Stjørdal, ligger ikke i direkte kontakt med tettbebygde strøk, men det finnes både veg og jernbane der det i perioder kan befinne seg mennesker. Ut fra beliggenhet og nærhet kan man si at skadekonsekvensen på Skatval kan kategoriseres til mindre alvorlig/ alvorlig. Faregraden på området kan sies å være middels høy ettersom det finnes både erosjonsprosesser og inngrep i områder med kvikkleire og høye skråninger. Middels er også fra tidligere undersøkelser faregraden på kvikkleiresonen 604 på området (Karlsnes, 2014a). Totalt sett vil risikoen ut fra Gregersen (2008) kunne sies å være middels, når risiko= skadekonsekvens x faregrad.

Feltområde 2 på Klett i Trondheim ligger i motsetning til feltområde 1 i nærere kontakt til tettbebygde strøk. I tillegg er de tettbebygde strøkene på området større både i areal og folkemengde. I nærheten av feltområdet finnes både veg og jernbane og skadekonsekvensen her kan potensielt sett være stor. Skadekonsekvensen kan kategoriseres som meget alvorlig. Når det gjelder faregrad kan man konkludere med at det finnes større grad av erosjonsprosesser, kvikkleire og høye leirskråninger. På Klett kategoriseres feltområdet med

høy faregrad. På Klett er faregraden på kvikkleiresone 438 og 439 også fra tidligere grunnundersøkelser klassifisert til å være høy (Karlsnes, 2014b). Ettersom skadekonsekvensen er meget alvorlig, og faregraden er høy, kan man konkludere med at risikoen på Klett er høy.

6. Diskusjon

Begge feltområdene i denne oppgaven ligger i godt vegeterte ravinedaler med bekkeløp i bunnen. Begge bekkene går gjennom leirterreng, og gjennom registrerte kvikkleiresoner. Bekkene går gjennom områder med dyrket mark, og er knyttet opp mot jernbanetraseer. Ut over dette slutter de terrengmessige fellestrekkene. Det er blitt registrert erosjon på begge feltområdene, men med ulik grad og ulik virkning. Hvor sårbare områdene er for erosjonen, vil først og fremst bli diskutert i lys av geomorfologiske prosesser, men også fra et sosio-økonomiske perspektiv.

I dette kapitlet vil det bli diskutert om jernbanetraseene som går gjennom de to feltområdene, på en eller annen måte kan påvirkes av kvikkleiren som befinner seg der. Ved å studere dagens erosjonsprosesser og erosjonsformer, og ved å bruke informasjon om blant annet erosjonsgrad over tid kan vi finne ut på hvilken måte det kan skje. I tillegg vil tidligere grunnundersøkelser gi informasjon om jordprofilene. Ut over dette blir det tatt opp hvilke sikringstiltak som er best å anvende på områder med slike forutsetninger som feltområdene i oppgaven. Hvilke tiltak sikrer jernbanen best nå og i fremtiden?

6.1 Diskusjon av resultater

Resultatene i oppgaven tar for seg ulike aspekter ved vassdragene og vil i dette avsnittet bli diskutert mot hverandre basert på informasjon som er hentet gjennom observasjoner i felt og lidardata. Ulike aspekter som planform, ravinedalene, forbygninger, step-pool formasjoner, vegetasjon og erosjon vil på hver sin måte ha innvirkning på bekkeløpet og erosjonsgraden på området.

6.1.1 Kanalens gradient

På Skatval (feltområde 1) falt bekken få høydemeter og hadde en lav gjennomsnittlig helning ($0,9^\circ$). På Klett (feltområde 2) hadde bekken til sammenligning en større gjennomsnittlig helning ($1,66^\circ$). I et feltområde med høyere gradient, vil det ut fra Rosgen (1994), lettere kunne dannes step-pool formasjoner. I områder med lavere gradient, der bekken ikke faller like mange høydemetre, vil bekken derimot lettere kunne danne meandrerende former i sidene (Fergus, Sæterbø & Hoseth, 2010; Rosgen, 1994). Dette er en veldig teoretisk tilnærming, og er kun brukt for å forklare generelle regler. Begge bekkene går gjennom relativt flatt

leirterreng og kan kategoriseres som kanalform (G) på Rosgens figur over kanalformer (se figur 9). De erosjonsformene som er funnet på feltområdene er relativt like, men likevel av ulik grad og mengde. Om ulikhetene i helningsgrad på feltområdene (Skatval: $0,9^\circ$, Klett: $1,66^\circ$) er årsaken til ulikheter i erosjonsformenes grad og mengde er vanskelig å si, men at ulike effekter er forårsaket av terrengmessige forskjeller er ikke usannsynlig. Ut fra Rosgen (1994) teori bør feltområdet på Klett ha mer erosjon fordi bekken har høyere gradient, høyere transportkapasitet og derfor mer energi å erodere med.

6.1.2 Kanalens planform

På de to feltområdene var kanalenes planform noe ulike. Siden dybde ikke er blitt målt i denne oppgaven er det vanskelig å ta vurdering om bekkeløpene skiller seg ut i forhold til dybde. Basert på observasjoner i felt så det likevel ut til at bekkeløpet på Skatval var bredere og grunnere enn bekkeløpet på Klett. Sinusiteten på Skatval ble regnet frem til å ligge på 1,12, og kan derfor sies å være ganske lavt (Myhre, 2005). På Klett er sinusiteten regnet ut til å være 1,31, noe som også er relativt lav, men som tilsier at bekken meandrerer noe mer enn bekkeløp på Skatval. På begge feltområdene er det observert erosjon i bekkesidene, og hovedsakelig i yttersving. At bekkeløpene meandrerer kan være med på å forklare disse erosjonsformene i yttersving. Forskjellene i både sinusitet (Skatval: 1,12; Klett: 1,31) og erosjonsgrad langs bekkesidene på de to feltområdene er begge lave og har trolig en sammenheng. Denne sammenhengen er i samsvar med Rosgen (1994) og hans teori om at grad av erosjon og erosjonsformer henger sammen og er styrt av overskuddsenergi. Til tross for likhetstrekk både i sinusitet og erosjonsformer langs sidene, vil ulikheter i dybde og bredde kunne være årsak til andre større forskjeller.

I følge Rosgen (1994) vil bekker som er bredere ofte være grunnere og ha mer erosjon i sidene, mens bekker som er smalere vil ofte være dypere, og ha mer erosjon langs bunnen. Bekkeløpet på Skatval er bredere og ser ut til å være grunnere, men dybden varierer trolig mye med vannføringen. I tillegg varierer bredden mye opp igjennom hele feltområdet. I de nedre delene av feltområdet ble bekken målt til å være rundt 2 meter, mens lenger opp i feltområdet ligger den på rundt 4- 5 meter. På grunn av liten vannføring under feltarbeidet og trolig også på lidarskanningene, viser resultatene en langt smalere bekk enn den potensielt sett kan være. Trolig kan bekken bli opp mot 20 meter bred. På Klett har bekkeløpet kun en bredde på 1 til 2 meter. Dette er en bredde som holder seg relativt stabil gjennom hele feltområdet. Likevel kan man enkelte steder se at bekken har vært større ved å se på de

mindre flomslettene som er blitt opprettet langs sidene. På det meste kan bekken på Klett trolig bli opp mot 7 meter bred. Flere steder deler bekken seg i to løp, og danner banker midt i bekkeløpet. Til tross for at bekken stedvis har muligheter for å bli bredere, kan man ut fra vegetasjonen langs sidene av bekken anta at bekkeløpet stort sett ligger på 1 til 2 meter. Bogen & Bønsnes (2004) påpeker at smale bekker har sterkere kobling til sidene og at det lettere oppstår lokal erosjon og turbulens i smalere bekker. Dette stemmer godt overens med feltområdet på Klett da bekken har lett for å ta nye veier, og som følge av det, har mer turbulente strømmer.

På grunn av mye vegetasjon på flomslettene, og på grunn av det som ser ut til å være et dypere bekkeløp, kan man si at bekken på Klett over lenger tid har hatt en mer jevn bredde i motsetning til bekken på Skatval der flomslettene viser mer aktivitet. Disse forskjellene kan indikere at bekken på Klett graver mer i dybden, mens bekken på Skatval lettere graver i sidene når vannføringen blir større. Forskjellene i erosjon i bredde og dybde kan videre ha sammenheng med at bekkeløpet på Klett er omtrent dobbelt så bratt som feltområdet på Skatval, noe som stemmer med teorien til Rosgen (1994).

6.1.3 Karakteristikken til ravinedalene

På begge feltområdene er det stedvis høye skråninger bestående av leire. Disse skråningene er godt vegetert, men noen steder har underkutting og utglidninger fjernet vegetasjonen og etterlatt erosjonssår i terrenget. Enkelte steder er det også observert sig (eller kryp) i dalsidene. Disse formene kan i følge Yumoto et al.(2006) skyldes fryse-tine og/eller fukt-tørke prosesser på området.

På Skatval er den høyeste skråningen målt til å være 16 meter, mens på Klett er den målt til å være 29 meter. Her er det store forskjeller på de to feltområdene. På Skatval er ravinedalen relativt grunn frem mot de siste hundre meterne mot jernbanen, her øker skråningshøyden gradvis fra nederst til øverst. Feltområdet på Klett har høyest relieff i nærheten av jernbanen, og går gradvis over til å bli slakere lenger oppstrøms. I de øverste delene av feltområdet på Klett befant det seg et større hogstfelt av nyere opprinnelse.

At dybden på ravinedalen var på det dypeste i nærheten av jernbanen kan i flere tilfeller være ugunstig. Flere steder er det registrert utglidninger, sig, gamle skredsår og tap av vegetasjon i skråningene, dette skyldes trolig i følge Hungr et al. (2001) den økende gradienten i skråningene, men økt gradient trenger ikke være eneste forklaringen. I disse områdene er det

tydelig bevis på aktivitet til tross for at mange av skredsårene ikke ser ut til å ha vært aktive på en stund. Mye av vegetasjonen har bøyd trestammer i bunnen, noe som blant annet er med på å indikere aktivitet i skråningene. Mange steder var vegetasjonen tilnærmet borte langs skråningssidene, og høye erosjonssår bestående av leire lå eksponert for ytre prosesser. En blanding av erosjonsprosesser i bunnen, og skråningsbevegelser i sidene er en gjenganger på begge feltområdene.

Avstanden mellom bekk og skråning varierer mye på de to feltområdene. På Skatval er den målt til å være mellom 0- 20 meter, mens på Klett er den målt til å være mellom 0 og 7 meter. Forskjellene i avstanden mellom bekk og skråning (flomslettene) kan ha mye å si. Avstanden er i mange tilfeller avgjørende for sedimenttransport, erosjon og skredaktiviteten på området. Trolig er konnektiviteten mellom skråning og kanal på Klett en av grunnene til at sedimenttransporten her ser ut til å være høyere enn i bekken på Skatval der avstanden mellom bekk og skråning var større. Dette stemmer i så fall godt med teorien til Bogen & Bønsnes (2004), om at smalere bekker og elver har høyere konnektivitet mellom bekk og skråning. Om høyere sedimenttransport på Klett skyldes mer overskuddsenergi på grunn av høyere gradient, eller om det skyldes mer nærhet til skråning og bekkesider er derimot vanskelig å si, og vannføring bør måles for å kunne regne ut stream power ved videre arbeid.

Flomslettene har også i følge Bogen (2009) mye å si i forbindelse med bremsing av vannstrømmen, og derfor også erosjonsgraden. At Skatval har større flomsletter enn Klett, og at bekken på Klett ikke har tilgang på den samme bremsende faktoren eller områder å avsette sedimenter på, kan være en årsak til at det gjennom observasjon ser ut til at Klett har høyere sedimenttransport.

En annen forklaring på at bekken på Klett har høyere sedimenttransport kan skyldes været. Under befaringen på Klett regnet det noe, i tillegg til at det hadde regnet mye i dagene før. På Skatval var det derimot opphold, og verken sedimenttransporten eller vannføringen generelt så ut til å være nevneverdig høy. Flere befaringer kan gjøres for å observere sedimenttransport og vannføring i tørrere perioder.

6.1.4 Step- pool

Ingen av feltområdene hadde tydelige eller karakteristiske step-pool formasjoner, men både på Klett og Skatval kunne man stedvis i de øvre delene av feltområdene se antydning til dannelsen av små steps. I underkant av disse steppene ble det naturlig nok dannet en liten pool

på grunn av at hindringer fører til et lite fall der vannstrømmen får en økt eroderende kraft nedstrøms for fallet. Bekken kan ved høyere vannføring, lettere kunne grave frem erosjonsgrøper i bunnen når lokal erosjon har oppstått. Når det armerende laget av grovere sedimenter eller tørrskorpe er fjernet i underkant av steppene, kan vannstrømmen i verste tilfellet erodere rett på kvikkleirelommer.

Step-pool formasjonene på områdene var langsgående og dekket hele bredden på bekken, men høyden på steppene var lav (< 30 cm). På begge feltområder har disse steppene blitt observert i områder der det har veltet mye vegetasjon ut i bekkeløpet og kan derfor ha sammenheng med teorien til Fetherston et al. (1995) om at LWD er en viktig faktor for å danne step-pool formasjoner. Siden steppene oppsto øverst i begge feltområdene skulle man tro at gradient og skråningshøyde ikke var avgjørende årsak, ettersom de øvre delene på Klett og Skatval er relativt forskjellig. Det som derimot er fellesnevneren er større steiner og vegetasjon i bekkeløpet, som i følge Bogen & Bønsnes (2004) lettere fører til lokal erosjon og turbulente strømmer og som også er observert i de øvre delene av feltområdene. På feltområdene kan det virke som at large woody debris (LWD) har hatt mye å si. LWD gjelder som regel for all dannelse av step-pool i følge Fetherston et al. (1995). På de feltområdene som er blitt studert i denne oppgaven består skråningene for det meste av silt og leire, så større steiner må ha blitt fraktet fra høyereliggende områder.

6.1.5 Forbygninger

På begge feltområdene var det en kulvert som gikk gjennom jernbanefyllingen. I tillegg var det på begge steder en tørrmur knyttet til kulverten. Av andre forbygninger i vassdragene var det på Klett satt opp et stativ av jern som er bygd for å stoppe vegetasjon fra å bli fraktet gjennom kulverten. Denne var plassert i enden av tørrmuren, og hadde samlet opp en del kvister og mindre stokker på befaringen. Oppstrøms for denne forbygningen var det tydelig at bekken hadde dannet små flomsletter på hver side av bekken. Dette er med på å bevise at forbygningen bremser vannhastigheten og fører til tidvis forstørret bekkeløp lokalt, og som videre fører til høyere vannhastighet nedstrøms. Den bremsende effekten er trolig hovedsakelig forårsaket av de sedimentene og vegetasjonen (LWD) som ligger rundt jernforbygningen. Sedimentene er med på å tette igjen åpningene på forbygningen, og danner både en horisontal, og på sikt en vertikal hindring som stopper vannet i å transporteres igjennom. På denne måten kan forhindringen og sedimentene som er fanget opp her føre til bakevje og lokal erosjon i bunnen av bekkeløpet på grunn av økt lokal gradient på stedet. Den

vannstrømmen som passerer forbygningen har lettere for å bli mer konsentrert og ha høyere vannføring enn resten av bekken, men på grunn av både tørrmur og kulvert unngår vi direkte erosjon inn mot jernbanefyllingen.

Når det gjelder andre forbygninger utover kulvert og tørrmur på Skatval, er det enkelte steder registrert antropogene utbyggelser av stein i skråningene. Disse befinner seg både høyt opp i skråningen, opp mot jordene i nærområdet, men også i de nederste delene av skråningene i yttersving ned mot bekkeløpet. Steinene er trolig plassert der for å forhindre erosjon opp mot jordene, og for å forhindre erosjon i yttersving av bekkeløpet. Slike sikringstiltak blir kalt motfylling (Janbu, 1993) eller støttefylling (Fergus, Sæterbø & Hoseth, 2010). De steinene som var plassert oppe i skråningen kan også være gamle rester av et gjerde eller lignende. Det som er viktig å tenke over med steiner som plasseres for å beskytte mot erosjon langs bekkeløpet, er i følge Bogen & Bønsnes (2004) underkutting og lokal erosjon som lettere oppstår i bakkant av disse. Der vannstrømmen møter steiner vil den bøyes av og erodere som regel enten under eller bak. Uten videre plastring vil erosjonen flyttes. Steiner i bekkesidene er også med på å snevre bekkeløpet mer sammen. Bekken mister kontakt med flomslettene, og vannstrømmen kan til en viss grad bli mer konsentrert og få høyere hastighet (Bogen, 2009). Dette så ikke ut til å være et problem i forbindelse med de steinsatte sidene på Skatval, men det kan by på utfordringer andre steder i vassdraget eller under andre forhold, når vannføringen øker.

6.1.6 Vegetasjon

På begge feltområdene finnes det en godt etablert vegetasjonssone langs vassdraget. Disse sonene er med på å markere et tydelig skille mellom jorder og bekkeløp. Vegetasjon er med på å forhindre sedimenter fra omkringliggende områder i å transporteres ut i vassdraget. I tillegg vil vegetasjon være viktige under flomhendelser både på grunn av større opptak av vann, men også på grunn av armering av jordlag i sidene (Steinacher et al. 2009; Molina et al. 2012). Flere steder både på Klett og Skatval hadde underliggende sedimenter blitt vasket bort, mens vegetasjonsdekket på oversiden hadde kollapset og lagt seg enten i bekkeløpet eller langs bekkesiden. Vegetasjonen har ved hjelp av rotsystemene hindre videre transport, men ved større vannføring kan dette likevel transporteres nedstrøms. Vegetasjonen på de to feltområdene er med på å forhindre avrenning fra jordene og ned i vassdraget, men også i større grad forhindre at bekken finner veien ut på de omkringliggende jordene når større nedbørshendelser inntreffer. Bogen & Bønsnes (2004) påpeker at vegetasjon i større grad

hindrer utvasking av sedimenter, men det vil ikke alene føre til at utvaskingen opphører totalt. Uten vegetasjon ville likevel feltområdene i denne oppgaven trolig hatt en helt annen grad av erosjon enn de har i dag.

Vegetasjonen på Skatval består av tynne løvtrær og mindre busker. Vegetasjonsdekket er tett, men har flere steder mistet støtte fra underliggende masser. Her hadde mye vegetasjon falt ut i bekkeløpet. Dette gjaldt for Klett også. På Klett består vegetasjonen av større trær, hovedsakelig furu og gran. De større trærne befant seg lenger opp i skråningene, mens i de nedre delene mot bekkeløpet besto vegetasjonsdekket av tynnere trær og busker. På Klett bidrar furu og gran med store, kraftige rotsystemer som i følge Zaines et al. (2005) er med på å armere jordlagene godt. Det er også viktig å tenke over at større trær bidrar til mere vekt. Et jevnt og helt vegetasjonsdekket som på Klett hindrer godt mot erosjon i sidene. Likevel kan mye skadet vegetasjon bidra til å skape erosjon i selve bekkeløpet når vegetasjon har falt uti (LWD) (Fetherston et al. 1995). Dette problemet fantes på begge feltområdene, og flere steder hadde vannstrømmen funnet nye veier rundt eller under vegetasjonshindringen. Når bekken finner nye alternative ruter i ravedalen, kan det føre til mer erosjon på nye og mer uønskede steder.

Til tross for at large woody debris (LWD) fantes flere steder både på Skatval og Klett, er det Klett som ser ut til å ha størst effekt av det. Her var det langt mer vegetasjon i bekkeløpet, og siden bekken er smalere enn på Skatval, vil vegetasjon i bekkeløpet her i større grad kunne føre til gjentetting som gjør at bekken tar nye veier. På Skatval er bekken bredere, og vegetasjon i bekkeløpet vil kunne føre til lokal erosjon og gjentetting, men det kreves mer vegetasjon for å tette igjen bekkeløpet på Skatval totalt. Vegetasjon er også med på å forhindre nedbør fra å erodere direkte på jordlagene, og både på Skatval og på Klett er vassdraget relativt godt beskyttet for dette. Store, og godt etablerte trær er med på å forhindre dråpeerosjon. Tynne løvtrær med store blader er også en fordel for å hindre slik erosjon (Cerde, 1998).

På flyfotoene over Skatval (se figur 30 og 31) og Klett (se figur 48 og 49), kan man se vegetasjonsutviklingen over henholdsvis 10 og 11 år. Disse resultatene viste en gjengroing på begge feltområdene. Særlig var gjengroinga stor i nærheten av jernbanen. Gjengroinga er blant annet med på å forklare aktivitetsnivået i skråningene på områdene. Dersom det hadde vært mye utglidninger ville ikke vegetasjon kunne etablert seg. Ut fra flyfoto ser det ut som det har vært lite aktivitet i skråningssidene de siste 10- 11 årene på både begge feltområdene. Det flyfotoene derimot ikke kan vise er aktiviteten helt i nærheten av bekkeløpet eller i selve

bekkeløpet. Flyfotoene viser for det meste bare større vegetasjon i skråningene som dekker over for vegetasjonsdekket langs bakken.

Flyfotoene viser også at hogstfeltet på Klett er yngre enn 2014. Hogstområdet på Klett var ganske stort i areal, og kan påvirke stabiliteten på flere måter. Først og fremst kan store skogbruksmaskiner virke negativt for stabiliteten på de allerede høye og ustabile leirskråningene på området. I tillegg kan stor avskoging føre til mindre armering i jordprofilen (Steinacher et al. 2009). På den positive siden vil avskoging kunne føre til avlastning av vekt på skåningstoppene. Det som muligens er den største utfordringen på dette området er det antropogene arbeidet som legges ned for å gjennomføre avskoging. Her er det viktig å se på utviklingen videre. Forskning viser at effektene av avskoging er mest kritisk de første 20 årene når jordsmonnet i større grad er blottlagt, og det lettere oppstår skred og utglidninger i skråningene (Steinacher et al. 2009).

6.1.7 Erosjon og sedimenter

Hovedfokuset i denne oppgaven ligger på erosjonsprosesser og erosjonsformer. I forbindelse med dette er kunnskap om sedimenter og sedimentasjon på feltområdene viktig, og tidligere aspekter som er diskutert ovenfor kan bidra med viktig informasjon om sedimentkilder på områdene. På begge feltområdene er det registrert både utglidninger og erosjon langs bekkesidene. På Skatval besto sediment sammensetningen for det meste av homogent, mer finkornet materiale i de nedre delene av feltområde, mens i de øvre delene ble sammensetningen gradvis mer heterogen og mer grovkornet. Dette henger sammen med teorien til Rosgen (1994) om en gradvis utvikling av kornstørrelse elve- og bekkesystemer. Nederst i feltområdet var det for det meste tettpakket grus, mens lenger oppstrøms var det en sammensetning av større steiner, grus og sand. På Klett var til sammenligning sediment sammensetningen relativt homogen gjennom hele det befarte området. På dette feltområdet besto sedimentene for det meste av leire og silt gjennom hele vassdraget, bortsett fra noen større steiner i de øvre delene. Forskjellene i sediment sammensetning på de to områdene kan ha stor betydning for skjærstyrke og erosjonsgrad. Som nevnt i teoridelen, har elver og bekker med grus og stein langs bunnen høyere skjærstyrke og en sterkere armering enn bekker bestående av finere løsmasser (Janbu et al. 1993). Til tross for dette, kan silt og leire på grunn av kohesive krefter opptre som relativt robuste i motsetning til for eksempel sand som har større kornstørrelse, men som mangler de bindende kohesive kreftene i mellom partiklene. Leire består i følge Bjerrum (1955) som oftest av en hard og robust tørrskorpe på oversiden.

Denne tørrskorpen er med på å beskytte mindre robuste underliggende løsmasser, og er observert både på Skatval og på Klett. Ut over dette er det vanskelig å si noe om hvilke feltområder som har høyest skjærstyrke basert på sediment sammensetning og kornstørrelse. Flere grunnundersøkelser bør studeres nærmere for å finne informasjon om dette.

Gjennom observasjon så det ut til at feltområdet på Klett hadde noe høyere sedimenttransport enn feltområdet på Skatval. Informasjon om sedimenttransport gir en pekepinn på aktivitets- og erosjonsgrad på området, og en høy sedimenttransport indikerer mye erosjon i bunn eller side, utglidninger, høy overflateavrenning eller en kombinasjon av alle faktorer. På grunn av manglende informasjon om erosjonen i bunnen, er det vanskelig å si om erosjonen i sidene er hovedårsaken til den høye sedimenttransporten eller om dette skyldes andre faktorer. Det som også kan være en viktig faktor til høy sedimenttransport på Klett er overflateavrenning. Feltområdet ligger omkranset av jorder på flere kanter og har mange sidebekker som er med på å transportere både vann og sedimenter ned til hovedbekken. Under store nedbørshendelser kan overflateavrenning med mye innhold av finkornede sedimenter være en viktig sedimentkilde, og mange sidebekker på et område er en viktig faktor og ta med. En fordel som Klett har i forbindelse med overflateavrenning er et stort og godt etablert vegetasjonsdekke som i følge Steinacher et al (2009) og Molina et al. (2012), er med på å forhindre sedimenter fra overliggende områder i å fraktes ned til bekken. Til tross for et godt etablert vegetasjonsdekke er det likevel observert høy sedimenttransport på Klett.

Oppover hele vassdraget på Klett ble det stedvis observert blottlagte områder med leire i sidene. Her var vegetasjonen fjernet, og bekken kunne erodere direkte på finkornet leire. Flere steder var det også registrert utglidninger. Disse utglidningene skyldes hovedsakelig underkutting, og har derfor nær sammenheng med bekken. Både erosjonssårene og de påfølgende utglidningene er en veldig viktig sedimentkilde på området. Her transporteres sedimenter direkte ut i bekkeløpet, og blir ikke lenger fanget opp av vegetasjonen i sidene. Hogstområdet i de øvre delene av feltområdet er også en viktig faktor når vi snakker om sedimentkilder (Steinacher et al. 2009). Overflateavrenning fra hogstfeltet drar med seg mye løst materiale som befinner seg på bakken eller sedimenter fra sår og rotvelter som har oppstått som følge av arbeidet. Dette kommer tydelig frem i selve bekkeløpet også. I bekkeløpet befinner det seg mye sedimenter, både løsmasser og vegetasjon. LWD samles opp, og tvinger flere steder bekken til å danne nye veier. I tillegg vil vannhastigheten senkes og vi får dannet lokal akkumulasjon (Fetherston et al. 1995; Knighton, 1998). På grunn av lokal akkumulasjon er bekkeløpet potensielt sett til en hver tid ganske ustabil. Om disse

endringene skyldes hogstfeltet og/eller vegetasjonen på området generelt er vanskelig å si, men hogstfeltet er uten tvil en viktig kilde.

I de øverste delene av feltområde på Klett delte bekken seg i to. Her hadde det nordgående bekkeløpet ut fra observasjoner betydelig mindre sedimenttransport enn det sørgående bekkeløpet. Det ble ikke befart videre oppstrøms fra dette skillet på grunn av avstanden fra jernbanen, men ut fra terrenget og omgivelsene rundt så det ut til at det nordre bekkeløpet gikk gjennom mer vegeterte områder enn det bekkeløpet som gikk lenger sør. Det bekkeløpet som gikk i sør, gikk gjennom flatere terreng med nærmere kontakt til jorder. Denne nærheten til jordene kan være årsak til høyere sedimenttransport på grunn av mindre vegetasjon som hindrer sedimenter i å fraktes ut i bekkeløpet. Det sørgående bekkeløpet i de øvre delene av feltområdet er trolig en av hovedårsakene til at bekkeløpet nedstrøms for skillet også ser ut til å ha høy sedimenttransport. Derfor ser det ut til at skredsår, eventuell erosjon langs bunnen, og avrenning fra hogstfeltet ikke alene er hovedforklaringen på sedimenttransporten i bekkeløpet, men at det skyldes en kombinasjon av flere faktorer.

Feltområdet på Skatval hadde få erosjonsformer i de nedre delene, men med økt gradient på skråningene rundt, økte også antall utglidninger og bevis på erosjon. På Skatval var det på grunn av lavere sedimenttransport, lettere å få øye på erosjon langs bunnen. Likevel ble det observert lite erosjon langs bekkebunnen. I de områdene langs bekkebunnen der erosjonen så ut til å være størst, var det armerende laget med grus fjernet. Her var det blottlagt finkornet sand. Denne typen erosjon fantes hovedsakelig i yttersving. Det var i yttersving vi fant flest utglidninger og erosjon i bekkesidene, likevel er endringene som er størst på Skatval registrert i innersving og går mot teorien til Knighton (1998). Årsaken til endringene i innersving kan være forklart gjennom vegetasjon (LWD) som har veltet ut i bekkeløpet og blitt registrert på skanningen i 2009, og som er blitt transportert videre før skanningen i 2015. En annen forklaring kan være at rasmateriale fra skredsåret på oversiden som også har blitt transportert videre med årene. Det skal heller ikke utelukkes at det kan være datafeil. Til tross for enkelte erosjonsformer i innersving, er den synlige erosjonen i bunnen og i sidene i yttersving et tegn på at det er her det er mest aktivitet. Prosessene knyttet til utglidninger og erosjon henger også sammen. Erosjonen langs bunnen i yttersving har muligens startet det hele. Som en effekt av erosjon her, vil skråningen på oversiden mangle viktig og avgjørende støtte. Som et resultat kan vi få dannet utglidninger, erosjonssår og sig på oversiden (Hungry et al. 2001). Alle erosjonsformene er viktige sedimentkilder, og trolig på grunn av færre erosjonssår og lenger avstand mellom bekk og skråning på Skatval enn på Klett, var det også mindre synlig

sedimenttransport her. En forklaring til den lave sedimenttransporten kan være sammensetning av løsmasser i bunnen, men også mindre påvirkning fra overflateavrenning. Vassdraget på Skatval kan påvirkes mindre av overflateavrenning da det eksempelvis mangler de samme sidebekkene som finnes på Klett.

Erosjonen i bekkesidene hadde blottlagt hard og robust tørrskorpe som så ut til å kunne beskytte underliggende masser godt, dette kan blant annet forklares gjennom Coulombs ligning. Coulombs ligning er relevant i sammenheng med bekkeerosjon fordi forholdet mellom skjærstress og skjærstyrke er avgjørende for hva slags prosesser som virker inn (Steinacher et al. 2009). I tillegg til blottlagt tørrskorpe, hang det flere steder et nettverk av røtter foran de blottlagte områdene, disse røttene vil også under høyere vannføring være med på å beskytte. Det er tydelig at vegetasjonen på Skatval og på Klett står sterkt i mot erosjonskreftene, men at det over tid gir etter og faller ut i bekkeløpet. I de områdene der vegetasjonen har falt ut i bekkeløpet, mangler det underliggende masser. Store flater med vegetasjonsdekke henger enten løst i luften eller har falt ned, avhengig av areal og mengde rotsystemer. Når vegetasjonen blir værende igjen uten å rives fra hverandre og transporteres vekk, er det trolig et tegn på et godt etablert nettverk med rotsystemer i grunnen.

På Skatval ser det ut til at bekkesidene flere steder hadde tegn på undergraving, og bekkeløpet har tydelig vært større enn under befaringen. Under store nedbørshendelser vil feltområdet på Skatval være relativt godt dimensjonert for store vannmengder, både med tanke på bredde av vassdrag og kulverten. Bekkeløpet er godt etablert, og bortsett fra eventuell overflateavrenning på jordene under de mest ekstreme nedbørshendelsene, er det få veier vannet kan ta. Ut over dette er vassdraget relativt stabilt. Siden løsmasse sammensetningen på Skatval også er grovere enn på Klett, vil systemet potensielt sett i følge Fergus, Sæterbø & Hoseth (2010) lettere kunne stå i mot erosjon dersom vi ser bort fra større kohesive krefter i løsmassene på Klett. Til tross for dette er det registrert erosjon på Skatval, og grunnundersøkelser viser at det befinner seg marin leire her, så potensialet for eventuelle kvikkleireskred er til stede. De gamle utglidningene på området ser ut til å være et resultat av underkutting i bunn, og sigende bevegelser over. Disse utglidningene er skålformede og har retning mot jernbanen. Utglidningene er eldre enn 2009, og det har flere steder vokst opp litt vegetasjon på disse områdene. Den erosjonen som er registrert som nyere, og som trolig har oppstått mellom 2009 og 2015, er registrert i motsatt skråning for jernbanen. De befinner seg i skråningene ned mot bekkeløpet i innersving. Her ser det i følge lidardataene (se figur 29) ut

til at bekkeløpet har utvidet seg noen meter i både bredde og dybde. Om disse endringene skyldes vegetasjon eller sedimenter er vanskelig å si.

6.2 Sikringstiltak

For å finne det beste alternativet innenfor sikringstiltak må vi i følge Fergus et al (2010) se på faktorer knyttet til verdien av det som skal sikres, kostnader, årsaken til erosjonsproblemene, fysiske forhold i vassdraget (elvas størrelse, helning, vannhastighet og sedimenttype), miljø, og areal.

I følge Fergus et al. (2010) deles sikringstiltak inn i to deler:

1. Terrengjusteringer og fyllinger (heving av bekkeløp, motfyllinger eller avlaste skråningstoppene)
2. Erosjonssikringer (Steinsetting- betydningen av tørrmur, vegetasjon, terskler, buner, ledevoller og flomvoller)

6.2.1 Skatval

Ut fra den informasjonen som har kommet frem vil det på Skatval være unødvendig med en terrengjustering i form av avlastning av skråningstopper. En terrengjustering vil koste mye penger og mye ressurser, og først og fremst er dette unødvendig da skråningshøyden på sitt høyeste bare er 16 meter. I tillegg er skråningen vegetert med mye godt etablert vegetasjon. Til tross for noen utglidninger og noen eldre skredsår, er det lite aktivitet i skråningene på Skatval. Den aktiviteten som er registrert i skråningene ser ut til å ha en eldre opprinnelse og man kan konkludere med at skråningene ikke utgjør en umiddelbar trussel med tanke på utglidninger og sig. Til tross for denne anbefalingen, bør nærmere beregninger av stabilitet knyttet til lagdeling og egenskaper hos sedimenter gjennomføres før tiltak om avlastning av skråningstopper forkastes.

Den aktiviteten som er registrert i nyere tid er lokalisert i de nedre delene av skråningene, i overgangen til bekkeløpet. Ut fra informasjon om erosjonsprosessene og erosjonsformene på området vil derimot en terrengjustering i form av heving av bekkeløpet eller motfyllinger langs bekkesidene være et bedre alternativ på Skatval. Heving av bekkeløpet på Skatval vil løse problemene knyttet til erosjonen langs bekkesidene, og vil i tillegg hindre erosjon langs

bunnen. Likevel er heving av bekkeløpet på Skatval ikke den beste løsningen, da dette vil koste mye penger uten de største effektene. Bekkeløpet ser ut til å eroderer lite i bunnen til tross for at noe erosjon er registrert. Erosjonsgraden er såpass lav at heving av hele bekkeløpet er unødvendig. Det som derimot kan fungere godt på Skatval er motfyllinger og steinsetting av bekkesider. Motfyllinger kan brukes lokalt, utgjør mindre areal og er relativt miljøvennlig. Det viktigste med motfyllinger på Skatval vil være det lokale sikringstiltaket. Ettersom det hovedsakelig er registrert erosjon langs bekkesidene, og at utglidninger og sig i skråningene trolig er et resultat av underkutting, vil motfyllinger være et godt tiltak på dette området. Motfyllinger vil hindre underkutting i sidene og erosjon i yttersving. Ved å bruke motfyllinger av stein eller grus, vil mye av erosjonen her kunne opphøre. Ut over dette vil utbyggingen av motfyllingene være greit å utføre da feltområdet er relativt lett fremkommelig, og ligger tett inntil både lokalveier og skogsbilveier.

Tørrmuren som er bygd i tilknytning til kulverten er på Skatval et godt sikringstiltak. Uten denne tørrmuren ville det trolig vært mye mer erosjon opp mot fyllingen som jernbanen er bygd på. Det anbefales likevel å fikse tørrmuren da denne er gammel og stedvis falleferdig. Noen steder har enkelte steiner ramlet ut av muren, og vil under høyere vannføring ikke lenger hindre vannstrømmen fra å erodere.

I Fergus et al. (2010), var det videre snakk om ledevoller og flomvoller som mulige sikringstiltak. Dette er ikke sikringstiltak som er godt egnet for feltområdet på Skatval. Først og fremst er feltområdet og bekkeløpet i seg selv alt for lite for flomvoller, og har for lav gradient til å bygge ut ledevoller. De terrengmessige forutsetningene i feltområdet gjør at sikringstiltak som flomvoller og ledevoller ikke har samme hensikt som ønsket. Til tross for at feltområdet opplever perioder med økt vannføring, og i enkelte tilfeller kan bre seg ut over omkringliggende jorder, er flomvoller hovedsakelig bygd ut i større nedbørsfelt der flom kan lage større skade på områdene rundt. I feltområdet på Skatval er bekkeløpet godt dimensjonert til å tåle større vannmengder, og siden den sosio-økonomiske sårbarheten ikke er målt til å være veldig høy, trengs ikke sikringstiltak som flomvoller på Skatval. Ledevoller er heller ikke nødvendig på Skatval da nedbørsfeltet verken er stort eller nevneverdig bratt. I tillegg er utglidningene for få og den sosio-økonomiske sårbarheten for lav til å kunne bygge ut så omfattende sikringstiltak.

Hvis vi tar for oss mindre sikringstiltak som vegetasjon, terskler eller buner, er trolig dette mer aktuelt for Skatval. Siden området allerede er godt vegetert trengs det ikke økt vegetering her. Det som derimot kan være lurt er å gå gjennom vassdraget og rydde opp i den

vegetasjonen som allerede eksisterer. Det kan for eksempel være hensiktsmessig å fjerne vegetasjon som har falt ned i bekkeløpet. Dette for å minke erosjon som finner sted langs bunnen og som er dannet av large woody debris (LWD). Det kan også være hensiktsmessig å fjerne vegetasjon som har ført til rotvelt langs skråningene, og tette igjen sårene som har oppstått. Dette for å forhindre bekken og overflateavrenning i å erodere rett på underliggende områder som er blitt blottlagt. Når det gjelder eventuell utbygging av terskler og buner, kan dette være et område hvor dette fungerer godt. Terskler vil i følge Jensen & Tesaker (2009) være med på å bremse vannstrømmen og forhindre økt meandering. Samtidig vil buner forhindre vannstrømmen i å treffe yttersvingene. Dette er sikringstiltak som beskytter områdene som er mest utsatt på Skatval, og som i tillegg er relativt enkle å bygge ut. Dersom terskler og buner er sikringstiltak som ønskes å brukes mer ved flere vassdrag langs jernbanen i fremtiden, er Skatval trolig et godt testområde. Dette skyldes først og fremst et relativt godt etablert bekkeløp uten veldig ustabile partier, i tillegg til at det ligger lett tilgjengelig for eventuell anleggstrafikk. Som nevnt tidligere har området relativt lav risiko og sårbarhet, og egner seg derfor også som et eventuelt testområde for terskler og buner. Dersom området skal brukes som testområde er det likevel viktig å vurdere effektene av at feltområdet befinner seg i områder med kvikkleire og at utbygging derfor må skje skånsomt.

6.2.2 Klett

Klett har et ganske annerledes utgangspunkt, og sikringstiltakene vil på mange måter variere til sammenligning fra feltområdet på Skatval.

På Klett vil terrengjusteringer i form av avlastning på skråningstopper kunne være et aktuelt sikringstiltak. Først og fremst vil dette være gunstig da skråningshøyden enkelte steder er veldig høy. På det høyeste ble skråningen målt til å være 29 meter. Den skråningen som ble målt til 29 meter er den fyllingen jernbanen ligger på, og en avlastning av skråningstoppen her er ikke aktuelt. Til tross for dette er skråningshøyden flere steder i feltområdet også relativt høye og bratte, og kan med fordel jevnes ut. Når det er snakk om utjevning menes avlastning av skråningstopper og endring i skråninger med høy gradient. Særlig vil en justering være på sin plass i de nedre delene som er knyttet opp mot kulverten og jernbanefyllingen. Det er i disse områdene at skråningshøyden er både høyest og brattest. Det er viktig å huske at feltområdet ligger i et område som er kategorisert til å ha høy faregrad, og anleggsarbeid må derfor skje så skånsomt som mulig.

Når det er snakk om heving av bekkeløpet, kan dette være en av de mest egnede sikringstiltakene på feltområdet. Ved å heve bekkeløpet får vi i følge Fergus, Sæterbø & Hoseth (2010), et bredere bekkeløp der avstanden mellom bekk og banke blir større. På denne måten opphører i større grad den stedvis sterke koblingen vi har i dag. I tillegg vil vi få bygd ut motfyllinger langs sidene og hindre erosjon langs bunnen. Et problem med heving av bekkeløpet er at det både er tidkrevende og koster mye penger. Ut over dette kreves det mye anleggsarbeid i et allerede sårbart område.

Siste aspektet ved terrengjusteringer er motfyllinger. Dette er et sikringstiltak som fungerer godt mot lokal erosjon, og som derfor trolig vil fungere godt på Klett der den lokale erosjonen er stor. Ved å steinsette eller fylle på grus langs deler av bekkeløpet vil man unngå erosjon på allerede sårbare områder. Bortsett fra noe kronglete fremkomst i selve vassdraget, ligger feltområdet i nærhet til både lokale veier og skogsbilveier som tidligere er brukt til anleggsarbeid.

Tørrmuren og kulverten som befinner seg på feltområdet er i god stand, og trenger ikke ved første øyekast store reparasjoner. Samme som i eksempelet på Skatval er tørrmuren også her med på å beskytte skråningen som jernbanen ligger på fra erosjon. I tillegg er kulverten godt dimensjonert for store vannmengder. I forbygningen av jern anbefales det å fjerne vegetasjon regelmessig for å forhindre erosjonen lokalt.

Sikringstiltak som flomvoller og ledevoller vil få samme problem som i eksempelet med Skatval. Flomvoller brukes i større nedbørsfelt der vannføringen er betydelig større enn på Klett. Når det gjelder ledevoller er det også her for lav gradient til å oppnå de store effektene. På Klett er gradienten i skråningene høy, men selve bekken faller ikke mange høydemetrene. Ledevollene vil ikke kunne styre rasemateriale godt nok vekk dersom et skred skulle forekomme, mye fordi skråningene ikke er lange nok og fordi utglidningene vil være små. Ledevoller fungerer bedre på større jord- og fjellskred.

Vegetasjon, terskler og buner er alle sikringstiltak som i større grad gir effekter lokalt. Etersom feltområdet på Klett består av mye vegetasjon, vil økt vegetering trolig ikke være løsningen. Særlig i de nedre delene av området er det godt vegetert. Oppstrøms i feltområdet var store arealer med skog hogget ned, og det kan være gunstig å plante mindre vegetasjon ned mot bekkeløpet på disse områdene. Når det gjelder vegetasjonen på Klett, er det beste rådet å rydde opp både i og rundt selve bekkeløpet. På Klett var mye vegetasjon veltet og knekt i skråningene, og mye hadde ramlet ut i bekkeløpet. Dette er ugunstig med tanke på

erosjon, og bør derfor fjernes. Når det gjelder terskler og buner er trolig bekkeløpet på Klett for smalt til å få de største effektene. Ettersom bekken bare er 2 meter på det bredeste, og ettersom bekkeløpet ikke har så store flomsletter tilgjengelig vil trolig sikringstiltak som terskler og buner bli for store i dette tilfellet (Jensen & Tesaker 2009; Fergus, Sæterbø & Hoseth 2010).

7. Konklusjon

Gjennom observasjoner i felt og analyse av lidardata har to feltområder i henholdsvis Skatval i Nord-Trøndelag og på Klett i Sør-Trøndelag blitt undersøkt i forhold til bekkeerosjon i marine leire. Oppgaven ble skrevet for og med Jernbaneverket, og skal fungere som en statusrapport på de to feltområdene. Det største fokuset ligger på synbare erosjonsprosesser i dag, og utviklingen innen erosjon gjennom de siste 5-6 årene. I tillegg er diskusjonen om sikringstiltak også en viktig del av problemstillingen.

Ut fra de resultatene som er brukt kommer det frem at de to feltområdene er i en ganske ulik situasjon til tross for flere like erosjonsformer. Skatval virker ut fra både observasjon i felt, og gjennom lidardata over flere år, som et mer stabilt område enn feltområdet på Klett. På Klett får vi på grunn av brattere terreng, høyere skråninger og i mye større grad nærhet til skråningene, en større risiko sammenlignet med Skatval. På Klett mangler det et godt etablert bekkeløp på grunn av mye vegetasjon i bekkeløpet som fører til at bekken stadig tar nye veier. Dette er svært ugunstig i områder som er kategorisert med høy faregrad innen kvikkleire og i et område der den sosio-økonomiske sårbarheten kan sies å være alvorlig. På Skatval er bekkeløpet i større grad dimensjonert til å transportere større vannmengder, og vil trolig ikke ha store problemer om vannføringen økte. Til tross for ulikheter, er det likevel registrert erosjon på begge feltområdene, og sikringstiltak i mindre eller større grad anbefales.

Ettersom sårbarhet og risiko er kategorisert til å være ulik på de to feltområdene, sier det seg selv at det er en ulik situasjon når det også kommer til sikringstiltak. På Skatval er det i oppgaven anbefalt bygge ut motfyllinger langs bekkesidene ettersom det er her det meste av erosjonen befinner seg. Med motfyllinger menes i dette tilfellet hovedsakelig utbygging av grus eller stein. Ut over dette er det anbefalt å rydde opp i vegetasjonen på området da det flere steder var registrert utglidninger av vegetasjonsdekket ut i bekkeløpet. Dette kan også i mange tilfeller være ugunstig i forhold til erosjon. Det er videre foreslått å bruke feltområdet på Skatval som testområde for utbygging av buner og terskler dersom dette er av interesse. På Klett ble det også anbefalt å bygge ut motfyllinger der det var tydelig bevis på erosjon langs bekkesidene. Her kan materiale som grus være særlig gunstig på grunn av et smalere bekkeløp enn på Skatval. Grus vil i mindre grad påvirke bredden av bekken. Samme som på Skatval ble det også på Klett anbefalt å rydde opp i vegetasjonen. Her befant det seg mye vegetasjon i bekkeløpet som med fordel kan fjernes. Ut over dette kan det også med fordel gjennomføres terrengjusteringer på Klett. På grunn av høye leirskråninger med stedvis høy gradient anbefales å avlaste skråningstoppene, og eventuelt rette ut de bratte sidene. I tillegg kan det

være lurt å eventuelt heve selve bekkeløpet for å forhindre erosjon langs bunnen. Dette bør selvfølgelig ses nærmere på, da dette involverer mye penger og store omgjørrelser på området. Slikt arbeid i områder med kvikkleire kan i mange tilfeller være vanskelig å gjennomføre, og bør derfor drøftes videre. I tillegg bør erosjon i bunnen studeres nærmere før heving av bekkeløpet gjennomføres som sikringstiltak, da denne oppgaven ikke har tatt for seg slike faktorer videre utover observasjonen.

Feltområdene er i ulike situasjoner i forhold til den sosio-økonomiske sårbarheten. Den sosio-økonomiske sårbarheten på Klett er høyere enn på Skatval, og et skred på Klett vil i større grad påvirke samfunnet og lokalbefolkningen. Ut over dette er de to feltområdene også i en ganske ulik situasjon når det kommer til stabilitet. Ulikhet i risiko og sikringstiltak er ofte styrt av terrengmessige ulikheter. På grunn av tidvis store forskjeller i prosesser og effekter er det viktig å ikke generalisere, men heller se på faktorer på hvert område. Jobben med å gjennomføre befaringer langs jernbanestrekninger kan være avgjørende i mange tilfeller, og bør ikke avsluttes.

8. Videre arbeid

I løpet av ni måneder har det blitt gjennomført en dypere studie av to feltområder knyttet til jernbanen. Oppgaven er blitt gjennomført på en best mulig måte ut fra de ressursene og de forutsetningene som lå til grunn. Med en begrensning både på økonomi, tid og tilgang av fagpersoner, har oppgaven tatt form. Til tross for en gjennomført oppgave hvor flere aspekter er diskutert, er det likevel andre vinklinger eller mer detaljer man kan ta høyde for dersom en ønsker videre forskning på områdene. Først og fremst vil jeg påpeke at det kan være lurt å gjennomføre volumberegninger. Til dette kan det brukes 2D resistivitetsmålere som blant annet måler resistivitet, som med andre ord vil si motstand. Ved hjelp av en slik metode kan man få informasjon om både resistivitet og sensitivitet hos de ulike jordlagene, samt informasjon om volum og plassering av de ulike lagene. En slik metode er fint å supplementere med ved siden av manuelle grunnundersøkelser for å få en bedre forståelse av lokale variasjoner på stedet (Solberg et al. 2012).

Et annet forslag til videre forskning er å måle vanninnhold gjennom flytgrense og in-situ nivå. Dette bør gjøres for å finne ut hvor viskøse leirmassene på feltområdet er (Brattli, 2014; Selby, 1993). Ved å finne videre informasjon om vanninnhold, kvikkleiremektighet og skjærstyrke kan man også i større grad forutse hva slags prosesser og effekter som vil virke inn på stedet i fremtiden. Blant annet kan man finne ut hva slags form eventuelle skred vil kunne ha, og hvor lang utløpsdistansen kan bli. Ut over dette kan man også ved hjelp av mer detaljert informasjon om vanninnhold finne ut hvor langt unna leirmassen på stedet er et bruddpunkt.

I etterpåklokskapens ånd ville jeg målt dybde på bekken for å finne ut om det finnes eventuell erosjon langs bunnen ut over step-pool formasjonene. Man kan måle dybde generelt eller man kunne systematisk gått gjennom hele bekkeløpet og målt eventuelle erosjonshull. Dette ble ikke gjort da problemstillingen i oppgaven hovedsakelig tar for seg synbar erosjon i vassdraget, og fordi jeg på oppfordring av Jernbaneverket tok med diskusjonen rundt sikringstiltak. På Skatval var det relativt lett å oppdage erosjonsformer langs bunnen av bekkeløpet, men det var omtrent umulig på Klett.

I en annen oppgave kunne det vært interessant å sett på sesongvariasjoner på de to feltområdene. For å gjennomføre dette bør man ha et større tidsrom tilgjengelig, helst bør man observere i felt gjennom flere år for å kunne sammenligne blant annet vannføring i bekken og vanninnhold i jordlagene. Videre kan det også være fordelaktig å regne ut «stream power»,

eller med andre ord den eroderende kraften som bekken har. Dette ble ikke gjennomført i oppgaven da data om vannføring manglet, og var vanskelig å få tak i. Ved videre forskning der hovedfokuset eventuelt ligger på erosjon langs bunnen, kunne det også vært interessant å lagd tverrprofiler som viser helning og utforming av bekkebunnen.

I oppgaven ser jeg i ettertid at det hadde vært hensiktsmessig å befart mer i de områdene som befant seg på andre siden av jernbanetraseen på feltområdene. Det ble gjennomført en kort befaring, men observasjonene ble ikke dokumentert. Dette skjedde først og fremst fordi disse områdene befant seg utenfor den kvikkleiresonen som var i hovedfokus og fordi terrenget på andre siden av jernbanen hadde betraktelig lavere gradient enn den siden som ble befart på begge feltområder. Ut fra dette ble det tatt et valg om å ha hovedfokus på de områdene det potensielt sett kan være mere aktive prosesser. I ettertid ser jeg at det er vel så viktig å befare i disse områdene, da utglidninger kan starte utenfor kvikkleiresonene (Janbu et al. 1993). Dersom noen ved en senere anledning ønsker å gjennomføre samme type prosjekt, anbefales å skape en diskusjon også på omkringliggende områder, selv om observasjonene mot formodning ikke viser erosjon eller befinner seg i områder der erosjonsgraden er lav.

9. Litteraturliste

- Askheim, S. (2015). *Skatval*. Hentet fra <https://snl.no/Skatval> (20.11.2015)
- Berthling, I. (2010). Kap. 5. s. 69-91 i Rød, J.K. Berthling, I.T. Lujala, P. Opach, T & Vatne, G. 2013: *Mot en farligere fremtid? Om klimaendringer, sårbarhet og tilpasning i Norge*. Akademika, Trondheim.
- Bjerrum, L. (1955). *Stability of Natural Slopes in Quick Clay*. Geotechnique. Volume 5 Issue 1, March 1955, pp. 101-119.
- Brattli, B. (2014). *Ingeniørgeologi løsmasser*. Kompendium 1. utgave. Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, Trondheim.
- Bogen, J., & Bønsnes, T. (2004). *The impact of erosion protection work on sediment transport in the River Gråelva, Norway*. Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo.
- Bogen, J. (2009). *The impact of environmental changes on the sediment loads of Norwegian rivers*. Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo.
- Cerda, A. (1998). *The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain*. Canadian Journal of Soil Science. Department of Geografia, University Valencia, Spain
- Dagens næringsliv. (2015). *Flere norske buer kan kollapse ved jordras*. Hentet fra <http://www.dn.no/nyheter/politikkSamfunn/2015/02/04/0512/flere-norske-bruer-kan-kollapse-ved-jordras> (29.9.2015)
- Fetherston, K. et al. (1995). *Large woody debris, physical process, and riparian forest development in montane river networks of the Pacific Northwest*. Geomorphology, Seattle, USA.
- Fergus, T., Sæterbø, E., & Hoseth, K.A. (2010). *Vassdragshåndboka*. Tapir akademiske forlag. Trondheim.
- Fløreide, A. (2015). NRK Finnmark. *-Vi får kanskje aldri flytte hjem igjen*. Hentet fra http://www.nrk.no/finnmark/_-vi-far-kanskje-aldri-flytte-hjem-igjen-1.12576897 (29.9.2015)

- Fylkesmannen i Nord-Trøndelag. (2009). *Evalueringsrapport. Raset i Kattmarka, Namsos 13.03.09*. Hentet fra https://www.fylkesmannen.no/PageFiles/5917/Rapport_Namsosrasen_QFX38.pdf (1.4.2016)
- Gregersen, O. (2008). *Program for økt sikkerhet mot leirskred. Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire*. NGI Rapport 20001008-2, rev. 3. 08.10.2008.
- Grymer, T., & Vatnøy, A. (2015). *Anleggsarbeid forårsaket brukollaps*. Hentet fra <http://www.nrk.no/norge/anleggsarbeid-forarsaket-brukollaps-1.12406293> (29.9.2015)
- Hammes, L., & Nikolaisen, P. I., (2012). *Kvikkleire i Norge. –Over 10 000 eneboliger på farlig grunn*. Hentet fra <http://www.tu.no/bygg/2012/10/22/over-10.000-eneboliger-pa-farlig-grunn> (29.9 2015)
- Haugen, E. D. (2010). *Kvikkleirekartlegging og stabilitetsvurdering i Røddeområdet*. NGI 20091127-00-73-R.
- Helle, T. E. (2012). *Naturfareprosjektet Delprosjekt 6. kvikkleire. Saltdiffusjon som grunnforsterkning i kvikkleire*. NIFS, 33/2013.
- Helle, T. E., Gjengedal, L., Emdal, A., Aagaard, P., & Høydal, Ø. (u.d). *Potassium chloride as ground improvement in quick clay areas – A preliminary study*.
- Hembre, O.S. (u.d). *Geofunn: Verdalsraset*. Hentet fra <http://www.geo365.no/geotags/geofunn-verdalsraset/> (20.10.2015)
- Holøs, B. (2009). *Nordlandsbanen*. Hentet fra <https://snl.no/Nordlandsbanen> (20.11.2015)
- Hoven, L.P. (1999). *JBV Region Nord- Nordlandsbanen*. Tiltaksprosjekt underbygging 1999, strekning Sjølyst- Steinkjer. Kummeneje, UB. 101729-000.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J. & Hutchinson, J.N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol 3, pp. 221-238.
- Hungr, O., Leroveil, S. & Picarelli, L.(2013). *The varnes classification of landslide types, an update*. Springer- Verlag. Berlin Heidelberg.
- Janbu, N., Nestvold, J., Røe, Ø., & Sveian, H. (1993). *Geologi- geoteknikk. Leirras- årsaksforhold og rasutvikling*. Særtrykk fra Verdalsboka Ras i Verdal, bind B.

- Jensen, L., & Tesaker, E. (2009). *Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein*. Veileder nr. 4. NVE, Oslo.
- Jernbaneverket. (2011). *Jernbaneverket går saman med Vegvesenet og NVE om forskning og utvikling*. Hentet fra <http://www.jernbaneverket.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2011/Jernbaneverket-gar-sammen-med-Vegvesenet-og-NVE-om-forskning-og-utvikling/> (16.9. 2015)
- Karlsnes, B. (2014a). *Skredfarekartlegging Dovre- og Nordlandsbanen. Risikokartlegging for strekningen Stjørdal- Steinkjer*. NGI rapport: 20140280-01-R.
- Karlsnes, B. (2014b). *Skredfarekartlegging Dovre- og Nordlandsbanen. Risikokartlegging for strekningen Støren- Heimdal*. NGI rapport: 20140280-02-R.
- Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms & Processes. A new perspective*. Hodder Education, London.
- Larsen, J. O. (2002). *Some aspects of physical weather related slope processes*. Doktor ingeniøravhandling, Institutt for geoteknikk NTNU, Trondheim.
- L'Heureux, J.S., & Solberg, I.L. (2012). *Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge*. NGU rapport 2014.040
- Lund, A.K. (2008). *E6 Jaktøyen- Tonstad. Områdestabilitet i kvikkleiresoner*. Områdestabilitet- vurdering. NGI rapport: 20071661-2.
- Løes, A-K., (u.d). *Fysiske analyser*. Hentet fra <http://www.agropub.no/id/8184> (4.5.2016).
- Mathisen, I.H. (2012). *Trolig en bekk som er årsak til raset*. Dagbladet. Hentet fra <http://www.dagbladet.no/2012/01/01/nyheter/innenriks/skred/kvikkleire/byneset/19628268/> (16.9. 2015)
- Meteorologisk institutt. (u.d). *Klimastatistikk fra Trøndelag*. Hentet fra <http://www.yr.no/sted/Norge/Tr%C3%B8ndelag/klima.html> (20.4.2016)
- Molina, A., Vanacker, V., Balthazar, D., Mora and Govers. G. (2012). *Complex land cover change, water and sediment yield in a degraded Andean environment*. Journal of Hydrology 472: 25-35.
- Myhre, M. (2005). *Elvelandskap og inngrep. Klassifisering av elvelandskap og analyse over inngrep i Gaula*. Masteroppgave. UiO, institutt for geofag.

- Naturfare. (u.d). *Om prosjektet*. <http://www.naturfare.no/> (16.9. 2015)
- NGF.(1982). *Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk. Identifisering og klassifisering av jord*. Melding nr. 2. (red. 2011).
- NGU. (2015). *Rissaraset- 25 år etter*. Hentet fra <http://www.ngu.no/nyheter/rissaraset-25-%C3%A5r-etter> (20.10.2015)
- NOAA. (u.d). *Climate*. Hentet fra <http://www.srh.noaa.gov/jetstream/global/climate.html#map> (20.4.2015)
- Nikolaisen, P.I. (2014). *Kvikkleire kan gjøre 13 kilometer vei flere hundre millioner dyrere*. Hentet fra <http://www.tu.no/samferdsel/2014/03/27/kvikkleire-kan-gjore-denne-veien-flere-hundre-millioner-dyrere> (29.9.2015)
- Nilsen, T. (2010). *Et år siden skredet i Namsos*. Hentet fra <http://www.nrk.no/trondelag/ett-ar-siden-raset-i-namsos-1.7030089> (18.1.2016)
- NVE. (2012). *Naturfare- infrastruktur, flaum og skred (NIFS)*. Hentet fra <http://www.nve.no/no/Flom-og-skred/Skred/FoU---skred/Naturfare---infrastruktur-flaum-og-skred-NIFS/> (25.9.2015)
- NVE.(2014). *Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper*. Veileder nr. 7. 1501-0678.
- Rankka, K., Andersson-Sköld, Y., Hulten, C., Larsson, R., Leroux, V. & Dahlin, T. (2004). *Quick clay in Sweden*. Statens geotekniska institut, Linköping, Sverige. Rapport No 65.
- Reite, A. J., Sveian, H., & Erichsen, E. (1999). *Trondheim fra istid til nåtid – landskapshistorie og løsmasser*. NGU Gråsteinen 5.
- Ridola, H. N., & Martinsen, M. (2013). *Jernbanelinjene hang I løse lufta*. Hentet fra <http://www.nrk.no/ostlandssendingen/60-ar-siden-bekkelagsraset-1.11279109> (29.9.2015)
- Rosenqvist, I.T.(1966). *Norwegian research into the properties of quick clay- A review*. Oslo university, Norway. Elsevier.
- Rosgen, L.D. (1994). *A classification of natural rivers*. Catena 22, 169-199.

- Rosvold, K. A. (2014). *Heimdal- bydel i Trondheim*. Hentet fra https://snl.no/Heimdal%2Fbydel_i_Trondheim (21.11.2015)
- Rød, J.K., Berthling, I.T., Lujala, P., Vatne, G., Lein, H. (2010). *Hvor sårbare er vi i Trøndelag for flom og skredhendelser?* Forskning Trøndelag 2010.
- Selby, M. J. (1993). *Hillslope Materials and Processes*. Second edition. Oxford University Press, Oxford.
- Solberg, I-L. (2007). *Geological, geomorphological and geophysical investigation of areas prone to clay slides: examples from Buvika, Mid Norway*. Doktorgradsavhandling, NTNU. Trondheim.
- Solberg, I-L. et al. (2012). *Combined geophysical and geotechnical approach to ground investigations and hazard zonation of a quick clay area, mid Norway*. Springer, 71:119-133.
- Steinacher, R., G. Medicus. G., Fellin. W., & Zangerl. C. (2009). *THE INFLUENCE OF DEFORESTATION ON SLOPE (IN-) STABILITY*. Austrian Journal of Earth Sciences 102(2): 90-99.
- Søjdís, T. H. (2013). *E6 Klett- Sentervegen sør*. Grunnundersøkelser Lersbakken gård- Datarapport. NGI rapport: 20110677-03-R.
- Thakur, V. (2012). *Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Datarapport for kvikkleireskred ved Esp i Byneset i januar 2012*. NIFS, 34/2012
- Trondheim kommune. (u.d). *Klima*. Hentet fra <http://www.trondheim.no/content/92936333/Klima> (13.1.2016)
- Wandinger, U. (2005). *Introduction to Lidar*. In C. Weitkamp (Ed.), *LIDAR Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere (Vol.1)*. New York: Springer Science+Business Media Inc.
- Yumoto, M. et al. (2006). *Riverbank freeze-thaw erosion along a small mountain stream, Nikko volcanic area, central Japan*. Permafrost and Periglacial Processes 17.4: 325-339.
- Zaimes, G. N., et al. (2004). *Stream bank erosion adjacent to riparian forest buffers, row-crop fields, and continuously-grazed pastures along Bear Creek in central Iowa*. Journal of Soil and Water Conservation Volume 59, Nr 1.

Øygarden, L. (2003). *Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway*. *Catena*, 50, 217-241.