

Skadeskredet 13. og 14. mars 2012 i
Soknedal, Midtre Gauldal kommune

Mari Åmellem Brøto

Geologi

Innlevert: mai 2014

Hovedveileder: Terje Harald Bargel, IGB

Medveileder: Kristin Skei, Jernbaneverket

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk

Sammendrag

Den 13. mars 2012 ble et jordskred utløst i Soknedal, Midtre Gauldal kommune i Sør-Trøndelag fylke, med en påfølgende utglidning av jernbanefylling 14. mars. Skredhendelsene medførte store materielle skader og konsekvenser for Jernbaneverket. Målet med masteroppgaven har vært å undersøke skredfaren i Soknedal og årsakene til skredhendelsene, samt å belyse sikringstiltakene i dalsiden.

Gjennom feltbefaring og litteraturstudier har årsaken til skredfaren i Soknedal og skredsikringen i området blitt vurdert. Nedbørsdata og kartverk er benyttet for å studere årsakene til skadeskredene i mars 2012.

Resultatene viser at dalsiden i Soknedal er svært utsatt for jordskred. Dalsiden er ikke ferdig utviklet sett i et geologisk perspektiv. Når eventuelle nye skred oppstår, er vanskelig å forutsi. Likevel tyder det på at skredhendelsene i hovedsak oppstår i vårmånedene og er i stor grad knyttet til klimatiske faktorer, som nedbør og snøsmelting.

Mars 2012 var spesielt nedbørsrik sammenlignet med tidligere år. En sammenheng mellom nedbør, snøsmelting og økt poretrykk antas å være årsaken til jordskredet 13. mars. Oppdemming av vann og tett stikkrenne på grunn av skredmasser resulterte i utglidning av jernbanefyllingen 14. mars. Skredsikringen i Soknedal er tydelig preget av manglende vedlikehold, og vil være en medvirkende faktor for at utglidninger oppstår i dalsiden i fremtiden.

Forsidefoto: Skadeskredet i Soknedal 13. og 14. mars 2012 (FOTO: Ole Jørgen Kjellmark/Adressa.no).

Abstract

On March 13th 2012, was a debris flow triggered in Soknedal, Midtre Gauldal municipality in Sør-Trøndelag, with a following slide in railway embankments on the 14th. The landslide events caused major material damages and consequences to Jernbaneverket (the Norwegian National Rail Administration). The aim of this thesis has been to examine the landslide risk in Soknedal and the causes of these events, as well as the landslide protection in the valley.

The causes of the landslide risk in Soknedal and the landslide protection in the area has been evaluated through field observation and literature studies. It has been used rainfall measurements and maps to study the causes of the debris flow and the slide in railway embankments in March 2012.

The results shows that the slopes in Soknedal is highly susceptible for landslides. In a geological perspective, the valley is yet not fully developed. When the next landslide will occur is hard to predict. Nevertheless, landslide events appears mainly to occur in the spring, and relates to climatic factors, such as precipitation and snowmelt.

March 2012 was particularly rainy compared to previous years. The causes of the debris flow on the 13th appears to be a relationship between rainfall, snowmelt and increased pore pressures. The containment of water and clogged culvert, due to avalanche masses, resulted in the slide in railway embankments on the 14th. Landslide protection in Soknedal clearly appears to lack maintenance. This will be a contributing factor to the occurrence of debris flows in the area in the future.

Frontpage photo: Landslide events in Soknedal March 13th and 14th 2012 (Photo: Ole Jørgen Kjellmark/Adressa.no).

Forord

Masteroppgaven ble utført høsten 2013 – våren 2014 ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, i samarbeid med Norges vassdrags- og energidirektorat, NVE, og Jernbaneverket, JBV.

Først og fremst vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder ved NTNU/NVE, Terje H. Bargel. Takk for alle gode råd og tips underveis, og ikke minst takk for all den kunnskapen du har delt med meg. En stor takk skal også rettes til min biveileder Kristin Skei ved Jernbaneverket, som har bidratt med mye interessant og nyttig litteratur, samt gode råd.

Tusen takk til alle dere korrekturlesere, dere har gjort en stor jobb jeg virkelig setter pris på.

Til slutt vil jeg takke mine flotte medstudenter gjennom de siste 5 årene. Takk for mye latter, glede og gode minner. Jeg hadde ikke klart dette uten dere! Tusen takk til familien som alltid har vært en stor støtte for meg.

Tusen takk!

Trondheim 14. mai 2014

Mari Åmellem Brøto

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Innholdsfortegnelse	vii
1. Introduksjon	1
2. Geologien i Sør-Trøndelag	3
2.1 Berggrunnen i Sør-Trøndelag	3
2.2 Kwartærgeologi	5
2.3 Løsmasser	7
2.3.1 Dannelse av løsmasser	7
2.3.2 Løsmassenes egenskaper	9
2.4 Morenemateriale	11
2.4.1 Bunnmorene	12
2.4.2 Ablasjonsmorene	12
2.4.3 Randmorener	12
3. Massebevegelse	14
3.1 Skred i fast fjell	15
3.2 Snø- og sørpeskred	16
3.3 Løsmasseskred	17
3.3.1 Jordskred	17
3.3.2 Flomskred	18
3.4 Utløsningsmekanismer	20
3.4.1 Skråningsstabilitet	20
3.4.2 Utløsende årsaker	24
4. Nedbørsutløste jordskred	25
4.1 Hydrogeologiske egenskaper	25
4.2 Poretrykk	25
4.3 Metning av sedimenter	28
4.4 Erosjon	28
4.4.1 Elve- og bekkeerosjon	28
4.4.2 Overflateavrenning	28
4.4.3 Grunnvannserosjon	29
5. Klimaendringer og skred	30

5.1	Temperaturendringer	30
5.2	Nedbørsendringer	31
5.3	Endringer i skredhyppighet	34
6.	Metode	36
6.1	Feltbefaring	36
6.2.	Nedbørsdata	36
6.3	Kart og litteratur	36
7.	Områdebeskrivelse	38
7.1	Berggrunnen i Soknedal	38
7.2	Løsmasser	40
7.3	Klimatiske forhold.....	41
7.4	Vegetasjon.....	44
8.	Skredhistorikk i Soknedal	45
8.1	Generelt om skredene i Soknedal	47
8.2	Skred i fyllinger og skjæringer	48
8.2.1	Skred i fylling	48
8.2.2	Skred i skjæring	49
8.3	Registrerte skredhendelser fra 1953 til 2013.....	49
9.	Skredsikring langs Dovrebanen	52
9.1	Drenering.....	52
9.1.1	Terrenggrøfter	52
9.1.2	Vertikalgrøft	54
9.1.3	Åpen og lukket linjegrøft	55
9.1.4	Stikkrenner og kulverter	56
9.2	Kvistdammer	57
9.3	Dreneringsanlegget i Soknedal.....	60
9.3.1	Videre arbeid med dreneringssystemet i Soknedal	63
10.	Skadeskredet 13. og 14. Mars 2012	64
10.1	Hendelsesforløpet	64
10.2	Opprydningsarbeidet.....	67
10.3	Årsaker.....	70
10.3.1	Nedbør i Soknedal	70
10.3.2	Vannmetning og teledyp	71
10.3.3	Tilstand til jernbanefylling	74
10.4	Tiltak og skredsikring	76
10.5	Konsekvenser av skadeskredet i Soknedal	78

11. Resultater	79
11.1 Feltbefaring	79
11.2 Nedbørsdata	80
11.3 Kart	83
11.3.1 Skyggerelieff	83
11.3.2 Bratthetskart	84
12. Diskusjon	86
12.1 Skredfare i Soknedal	86
12.1.1 Løsmassene	87
12.2 Årsaker til skadeskredet 13. og 14. mars 2012	88
12.3 Skredsikring	89
13. Konklusjon	91
Figurliste	92
Tabelliste	94
Referanser	95
Vedlegg A – Strekningskart Dovrebanen	I
Vedlegg B – Registrerte skredhendelser 1953 – 2013	III
Vedlegg C – Stikkrenner	VII
Vedlegg D – Skyggerelieffkart	IX
Vedlegg E – Bratthetskart	XI
Vedlegg F – Skredsannsynlighet	XIII

1. Introduksjon

Av naturkatastrofer i Norge utgjør skred den største risikoen for store og ødeleggende hendelser. Den største naturkatastrofen i Norge som vi kjenner til, Gauldalsraset, var et resultat av et skred med etterfølgende flomkatastrofe i 1345. Katastrofen resulterte i tap av 500 menneskeliv. I løpet av de siste 150 årene har omtrent 2000 mennesker mistet livet i skredulykker (Carstens, 2010).

Klimaet er i endring, noe som medfører høyere temperaturer og mer nedbør. Det forventes i tillegg en økning i ekstremnedbøren (Jaedicke et al., 2008; Førland et al., 2007b). Med endrende klimatiske forhold, kan det også antas en endring i skredhyppigheten i fremtiden. Blant annet forventes en økning i jordskredhyppigheten fra Trøndelag og nordover (Kronholm & Stalsberg, 2009). En mer omfattende bruk av utmarksområder til skogsbilveier, skogdrift og boligutbygging som kan føre til endringer i de naturlige dreisløpene i terrenget, vil også være faktorer som bidrar til økning i skredhyppighet og omfang (Norem & Sandersen, 2012).

Statistisk sett vil det i Norge utløses 2-3 store fjellskred, 2-3 store leirskred og 3-4 store snøskred i løpet av de neste 100 år, hvor opptil 200 menneskeliv kan gå tap i hver enkelt hendelse (Carstens, 2010).

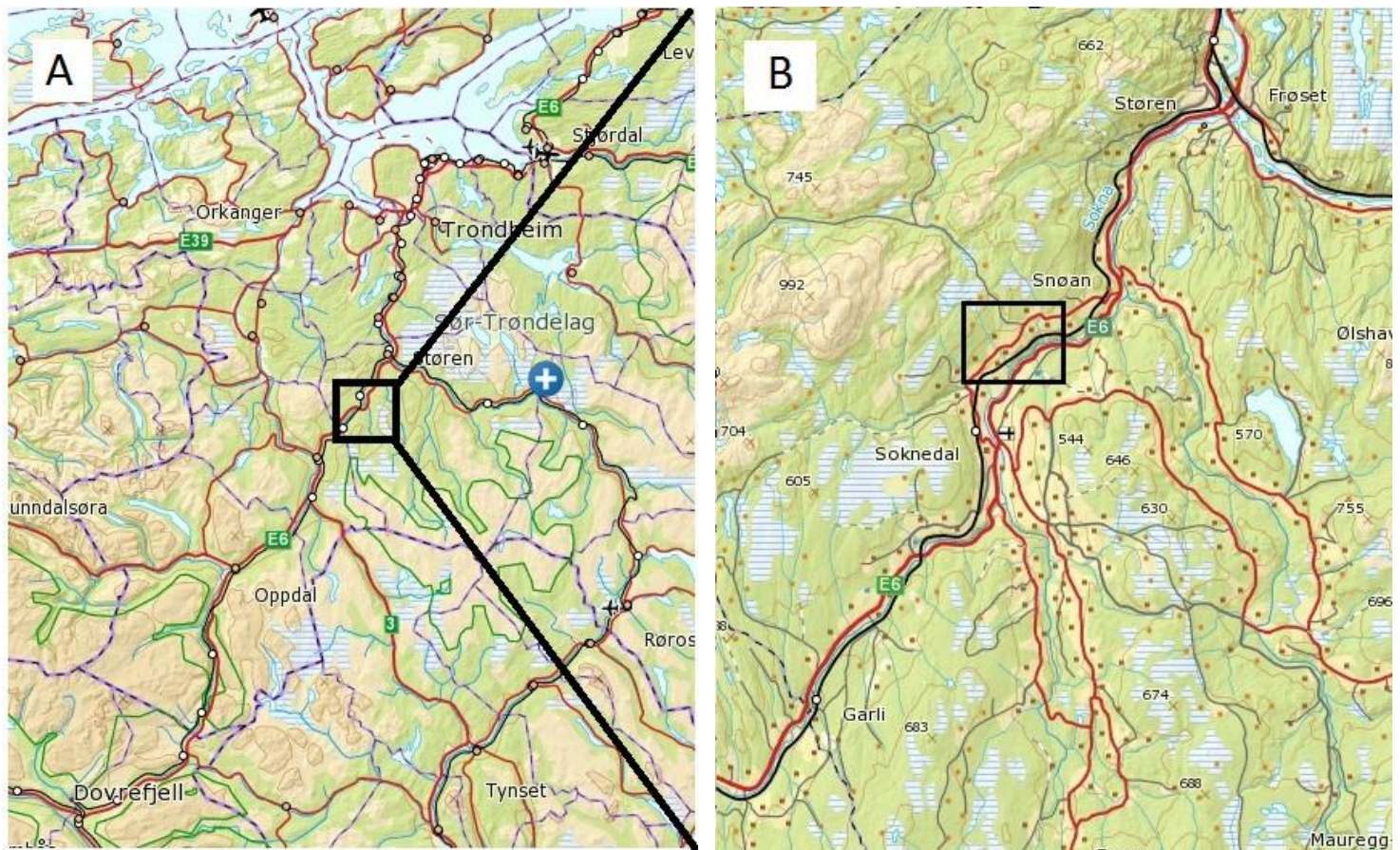
Skred utgjør en stor risiko for infrastrukturen. I Norge er 27 % av veistrekningene og 31 % av jernbanenettet utsatt for skredtypene steinsprang og snøskred (NGI, 2013c). Jernbanenettet i Norge har også flere utfordringer med løsmasser, blant annet bratte jordskjæringer og fyllinger, trange skjæringer og fjellprofil, og bruk av stedlige masser som ofte er finkornet. I tillegg er jernbanen gammel og ikke motstandsdyktig nok mot det klimaet som forventes med mer ekstremnedbør. Skred som berører jernbanen vil kunne få store konsekvenser. Trange traseer og mange kurvaturer fører til kort siktelengde, i tillegg til at tog har lang bremselengde, vil selv små skader og utrasinger kunne føre til avsporinger (Skei, 2014). Det finnes ingen omkjøringsmuligheter, noe som vil føre til stengte jernbaner og innstilte tog.

Dovrebanen, hovedbanen mellom Oslo og Trondheim, går gjennom dalføret Soknedal i Midtre Gauldal kommune. Strekningen har helt siden åpningen i 1921 vært utsatt for skred. Flere av disse skredhendelsene har vært et resultat av ekstremnedbør, og det er en klar sammenheng mellom nedbør og skredhendelsene i Soknedal (Skei, 2014). Mellom Garli og

Støren (Km 482 – 500) er det registrert hele 41 skredhendelser i tidsperioden 1953 – 2013, hvor 50 % har berørt jernbanen. Senest i mars 2012, hvor et jordskred 13. mars traff både jernbanen og E6, og utrasing av fylling 14. mars hvor jernbanefyllingen ble fjernet over en 30 meter lang strekning. Etter jordskredet ble Dovrebanen stengt mellom Berkåk og Støren i 8 uker. Dette førte til ca. 600 forsinkelsestimer, ca. 500 innstilte tog og ca. 250 ekstra godstog over Rørosbanen (Jernbaneverket, 2012).

Masteroppgaven skal beskrive skredhendelsene i Soknedal, årsakene til skredene skal belyses, samt reparasjonsarbeid og sikringstiltakene skal omtales. Gjentakintervall og terskelverdier for utløsning av skred vil ikke bli vurdert.

Oppgaven omtaler først teori knyttet til geologi, jordskred og klima. Videre vil oppgaven gå inn mot studieområdet, hvor området, skredstatistikk og skredsikring beskrives. Til slutt vil skadeskredet i Soknedalen omtales, og etterfølges av resultat, diskusjon og konklusjon.



Figur 1.1: Soknedal ligger i Midtre Gauldal kommune i Sør-Trøndelag fylke (A). Kartutsnittet (B) viser lokaliteten til skredhendelsene 13. og 14. mars 2012 (Norgeskart.no).

2. Geologien i Sør-Trøndelag

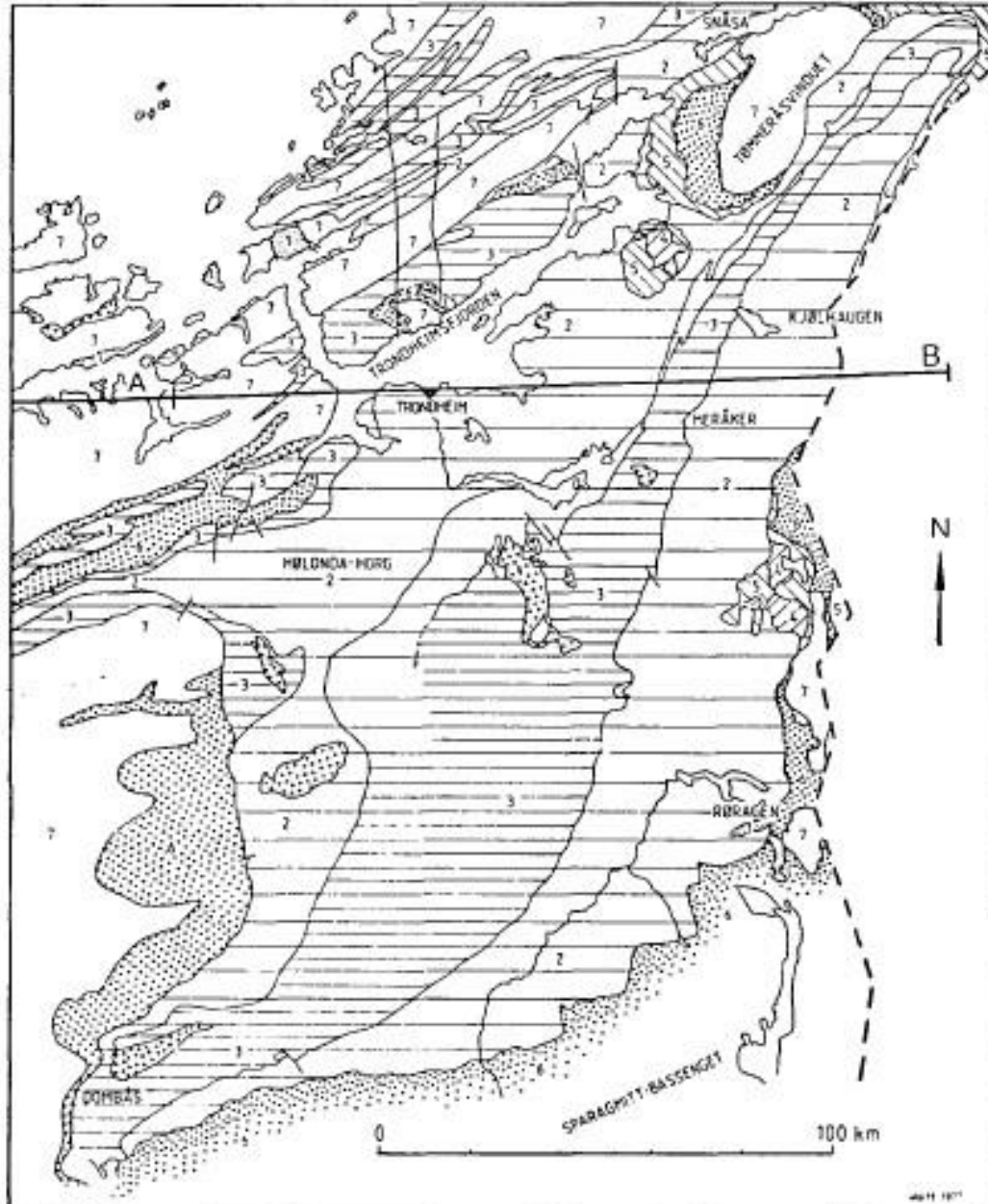
2.1 Berggrunnen i Sør-Trøndelag

Berggrunnen i Sør-Trøndelag tilhører Trondheimsdekkekomplekset som ble dannet under den kaledonske fjellkjedefoldningen for 500 – 405 millioner år siden. Trondheimsdekket strekker seg fra Dovrefjell i sør til Snåsa i nord (Sæter, 1996, s. 13).

Trondheimsdekkekomplekset er en overskjøvet lagpakke bestående av flere tektoniske enheter av antatt senprekambrisk til silurisk alder, ca. 850 – 416 mill. år (Skilbrei og Sindre, 1991).

Bergartene i dekket ligger i en depresjon som går i en nordøst-sørvestlig retning langs Trøndelag. I midten ligger kambriske omdannede sedimenter, grønnstein og gneisbergarter tilhørende Guladekket. Tilgrensende Guladekket ligger Størendekket (figur 2.1).

Størendekket er tolket til å være løsrevet havbunnskorpe, hvor Støregruppen utgjør vulkanske bergarter, grønnstein og grønnskifer med ordovicisk eller silurisk alder, mens resten av dekket er preget av gabbro og gangkomplekser. Ofiolitt-fragmenter som også er funnet i Størendekket tyder på en skyvesone mot det underliggende Guladekket (Fosen et al., 2007).



Figur 2.1: Skisse over dekkebygningen i Trondheimsfeltet. 2) markerer Størendekket og 3) markerer Guladekket (Skilbrei og Sindre, 1991).

Over Støregruppen finner man avsetninger tilknyttet Undre Hovin-gruppen som ble avsatt etter deformasjonen av ofiolitten. Bergarter knyttet til Undre Hovin gruppen inkluderer grunnmarine sandsteiner og andesitter, kalkstein, gangkomplekser og gabbro. Øvre Hovin gruppen består av konglomerater og gråvakker (Fosen et al., 2007).

2.2 Kvartærgeologi

Kvartærtiden utgjør den yngste geologiske tidsperioden, og omfatter de siste 2 millioner år av Jordens historie. Dens tidsavgrensning er diffus, tidligere var grensen satt til ca. 1,8 millioner år siden da kaldtvannsskjell innvandret til Middelhavet for første gang. Nå regnes derimot begynnelsen av kvartær, ifølge ICS (International Commission on Stratigraph), for 2,6 millioner år siden basert på starten av de store istidene på den nordlige halvkule (Vorren og Mangerud, 2007). Kvartærtiden er den perioden som har hatt størst betydning for dannelsen av landformene og løsmassene i Norge. Av alle istidene i Kvartær, regnes Weichsel for å ha størst betydning, selv om flere av de rundt 40 istidene var større. Weichsel, tidsperioden fra ca. 115 000 – 10 000 år siden, var en periode preget av et variabelt klima og flere interstadialer og stadialer, hvor isdekket trakk seg tilbake og gjorde fremstøt. Siste istids maksimum (LGM1) regnes for å ha vært for om lag 22 000 år siden. Isdekket antas å være smeltet bort for om lag 8500 år siden (Vorren og Mangerud, 2007).

Det varierende klimaet under Weichsel førte til flere brefremstøt og tilbaketrekninger i Sør-Trøndelag som dannet flere israndtrinn. Blant annet førte en klimaforverring i Yngre Dryas til dannelsen av (israndtrinnet) Tautratrinnet. Senere i Yngre Dryas gjorde isdekket nok en gang et fremrykk og dannet (israndtrinnet) Hoklingentrinnet (Reite et al., 1999). Figur 2.2 viser de ulike israndtrinnene som ble dannet under isavsmetingsmeltings-perioden i Sør-Trøndelag.



Figur 2.2: Israndtrinn i Sør-Trøndelag (Bargel et al., 2007).

Under nedisingen beveget ismassen seg mot nordvest. Relieff på jordoverflaten styrer isens bevegelse til ulik grad. I områder med høyt relieff har jordoverflatens morfologi påvirket isbevegelsen, dette forårsaket sterkere erosjon i daler og fjorder, enn fjellpartier hvor isen i enkelte perioder har vært frosset til underlaget. I Trøndelag beveget isen seg uavhengig av dalførene frem til siste del av avsmeltningen da isen var tynn og fulgte utelukkende dalførene i området (Bargel et al., 2007).

I løpet av kvartær ble mesteparten av løsmassene dannet og avsatt. Isen river løs og transporterer materiale som avsettes der strømningshastigheten senkes, eller hvor

isbrebevegelsen stopper opp. Dette resulterte i store mengder morenemateriale over store deler av landet, spesielt i indre strøk og dalførene.

2.3 Løsmasser

Løsmassene som dekker landet i dag, er dannet og avsatt under siste istid. Hvordan disse ble dannet og hvilke egenskaper de har, er av stor betydning for hvordan de kan brukes i dag, og ikke minst hvilken påvirkning de har på skredfaren i landet.

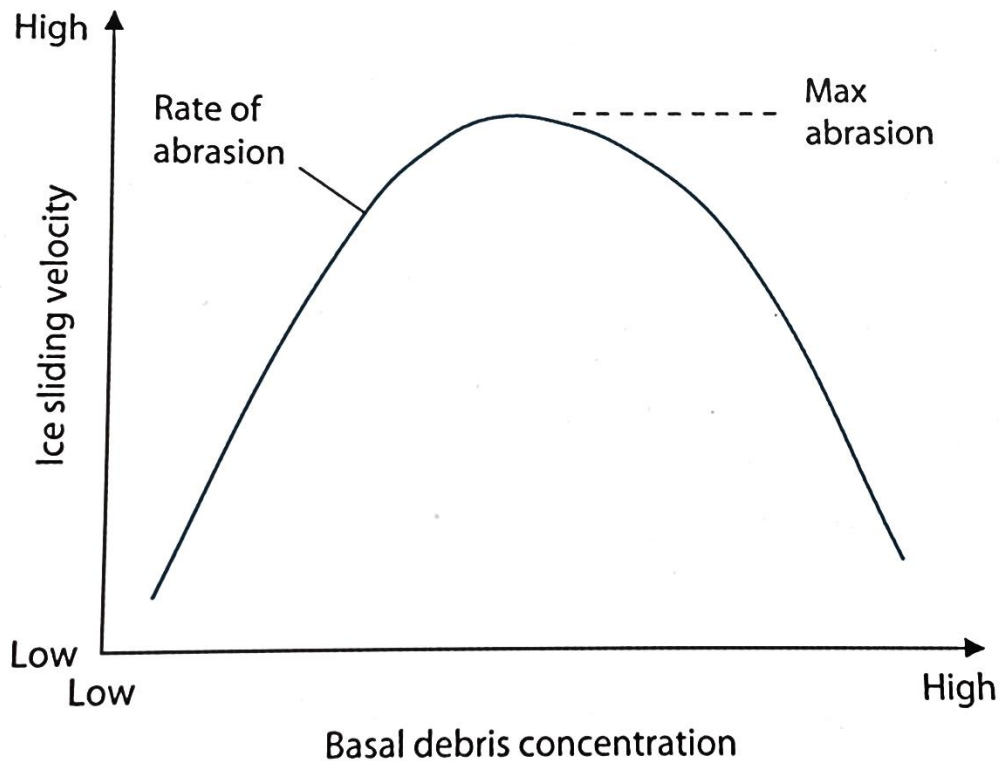
2.3.1 Dannelse av løsmasser

Løsmasser dannes ved en nedknusing av berggrunnen, gjennom en kombinasjon av agensene glasial abrasjon og glasial plukking.

Glasial abrasjon vil si at breen sliper underlaget ved hjelp av underliggende løsmateriale. Underlaget vil dermed gradvis slites og bergartene blir nedknust. Effekten av glasial abrasjon varierer med trykket breen utøver mot underlaget, brehastigheten og konsentrasjonen av bergartsfragmenter (Bennet og Glasser, 2009).

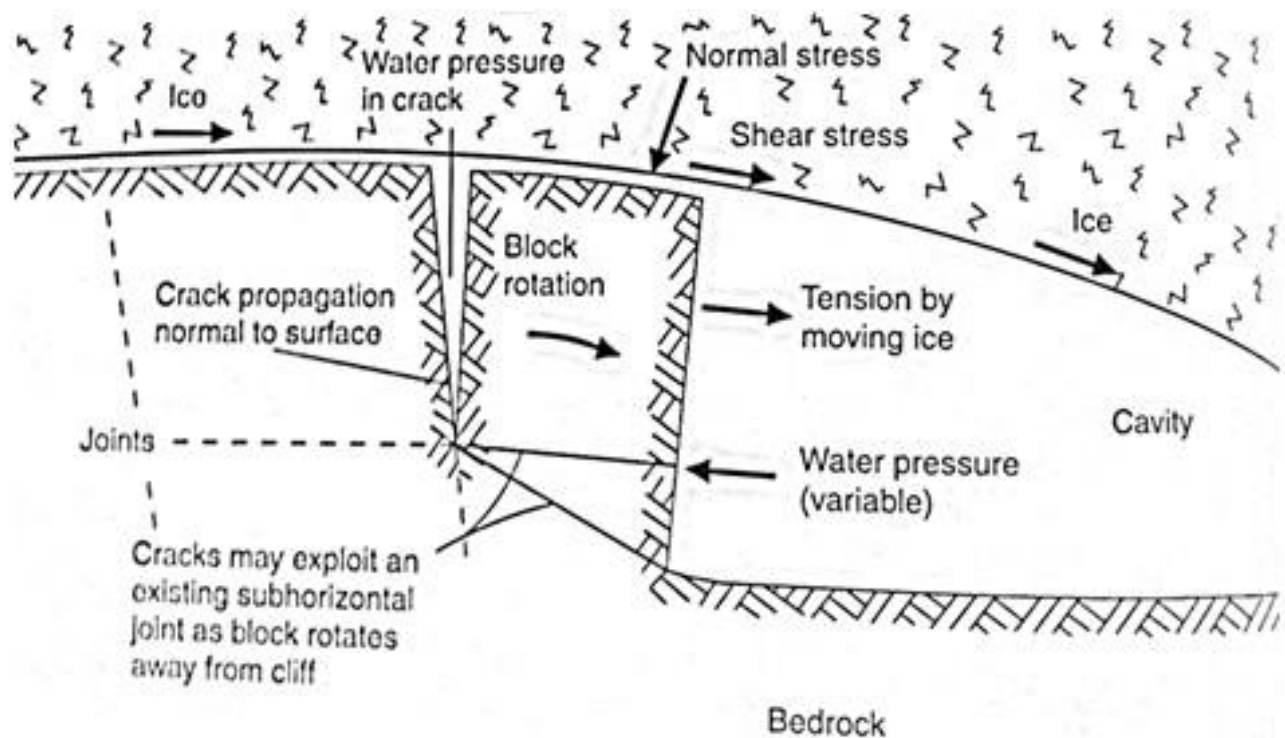
- *Trykk:* Jo mer trykk breen utøver mot underlaget, jo mer slitasje vil forekomme. Trykket breen utøver har en sammenheng med istykkelsen. Under den siste istiden kan istykkelsen ha vært opptil 2-3 km tykk, da spesielt i dalførene. Det er derfor rimelig å anta at trykket mot underlaget har vært høyt og resultert i stor slitasje på underlaget.
- *Brehastighet:* Brehastigheten påvirker glasial abrasjon ved at jo høyere brehastighet, jo høyere hastighet har materialet som dras mellom breen og underlaget, og følgelig mer abrasjon oppstår.
- *Bergartsfragmenter:* Når det gjelder konsentrasjonen av bergartsfragmenter i breen, vil det være nærliggende å anta at til mer bergartsfragmenter, desto mer abrasjon oppstår. Imidlertid vises det at abrasjon øker med økende bergartsfragmenter til et visst nivå, hvor abrasjonen stagnerer og deretter avtar (figur 2.3). Dette er på grunn av at bergartsfragmentene vil skape en friksjon mellom breen og underlaget, slik at brehastigheten reduseres. I tillegg til mengde bergartsfragment, er også type bergartsfragmenter en viktig faktor. Fragmenter fra harde litologier vil slipe underlaget bedre enn fragmenter fra mykere litologier. Den mest effektive kombinasjonen vil derfor være bergartsfragmenter fra harde litologier som slipes over et underlag med myke bergarter. Det er også viktig med en kontinuerlig tilførsel

av fragmenter, enten ved nedknusning av underlaget eller ved basal smelting (Bennet og Glasser, 2009).



Figur 2.3: Figuren viser forholdet mellom brehastigheten og konsentrasjon av bergartsfragmenter (Bennet og Glasser, 2009).

Glacial plukking refererer til prosessen hvor breen fjerner større blokker og fragmenter fra underlaget ved fryse-tine prosesser som frostsprengning, hvor stein og blokker blir løsrevet og deretter fraktet med breen (figur 2.4). Under istiden var frostforvitring en viktig prosess for dannelse av løsmasser. Smeltevannet kunne trenge inn i bergsprekker, fryse og utvide seg slik at deler av berget sprenges ut (Bennet og Glasser, 2009).



Figur 2.4: Fremstilling av prosesser som er involvert i glacial plukking. Varierende vanntrykk er viktig i utvikling av berggrunns sprekker hvor blokker kan sprenges ut (Bennet og Glasser, 2009).

Etter istiden er det flere forvittringsprosesser som har sin betydning for dannelse av løsmasser. Frostsprengning, som var en viktig prosess under istiden, er like aktuell og vanlig i dag. En annen vanlig og viktig forvittringsprosess i dag, er rotsprengning. Røttene kan trenge inn i bergsprekker, og på samme måte som med vann, utvide sprekker og sprengte blokker ut (Bjordal, 2011). Både frostforvitring og rotsprengning gir normalt større materiale enn materiale dannet ved kjemisk forvitring, hvor mineralene i bergartene omdannes ved kjemiske reaksjoner.

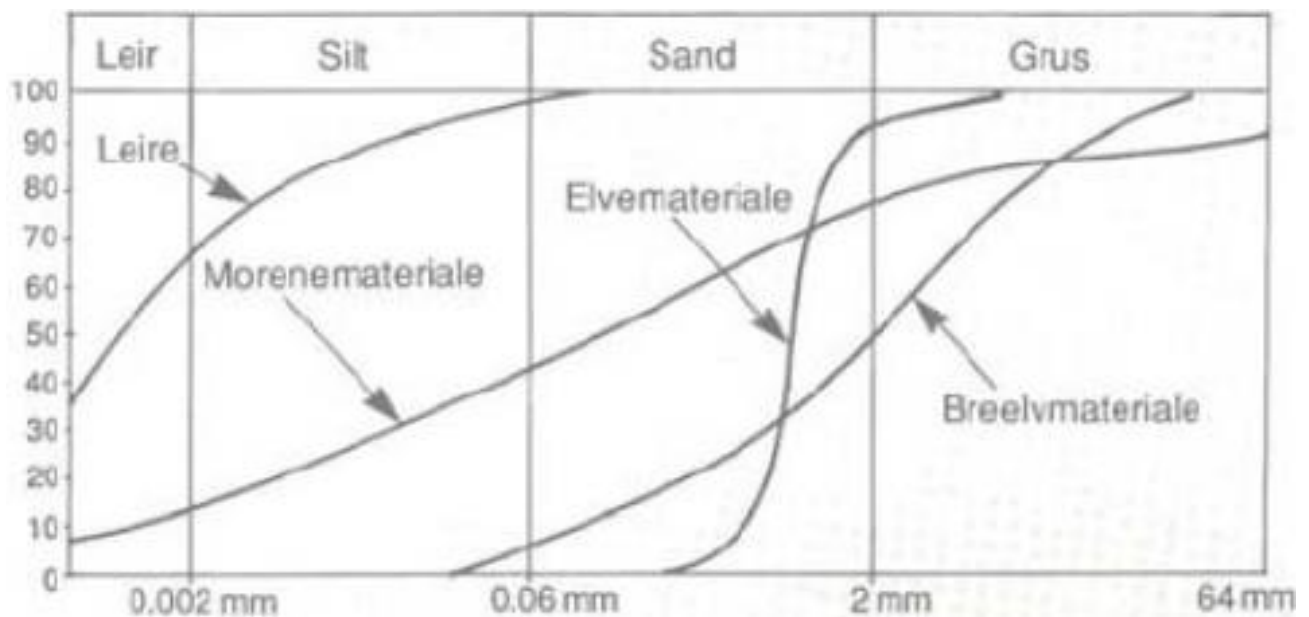
2.3.2 Løsmassenes egenskaper

Løsmassenes dannelses måte bestemmer hvilke egenskaper de har. Opphavsbergart, transport måte og avsetningsmiljø er viktige faktorer, og samspillet mellom disse avgjør egenskapene. Utgangspunktet for løsmassene påvirkes av transport måten og opphavsbergarten, mens avsetningsmiljøet vil påvirke løsmassenes sluttresultat.

Opphavsbergartens mineralogi og kornstørrelse vil bestemme de fysiske og tekniske egenskaper ved løsmasser. Berggrunn bestående av harde, grovkornete bergarter, som gabbro eller granitt, vil gi løsmasser med høyt innhold av sand- og grus fraksjon, lite

finstoffinnhold, men med stor styrke. En mykere og finkornet bergart, som fyllitt eller skifer, vil gi løsmasser med høyt finstoffinnhold, men med dårligere styrkeegenskaper.

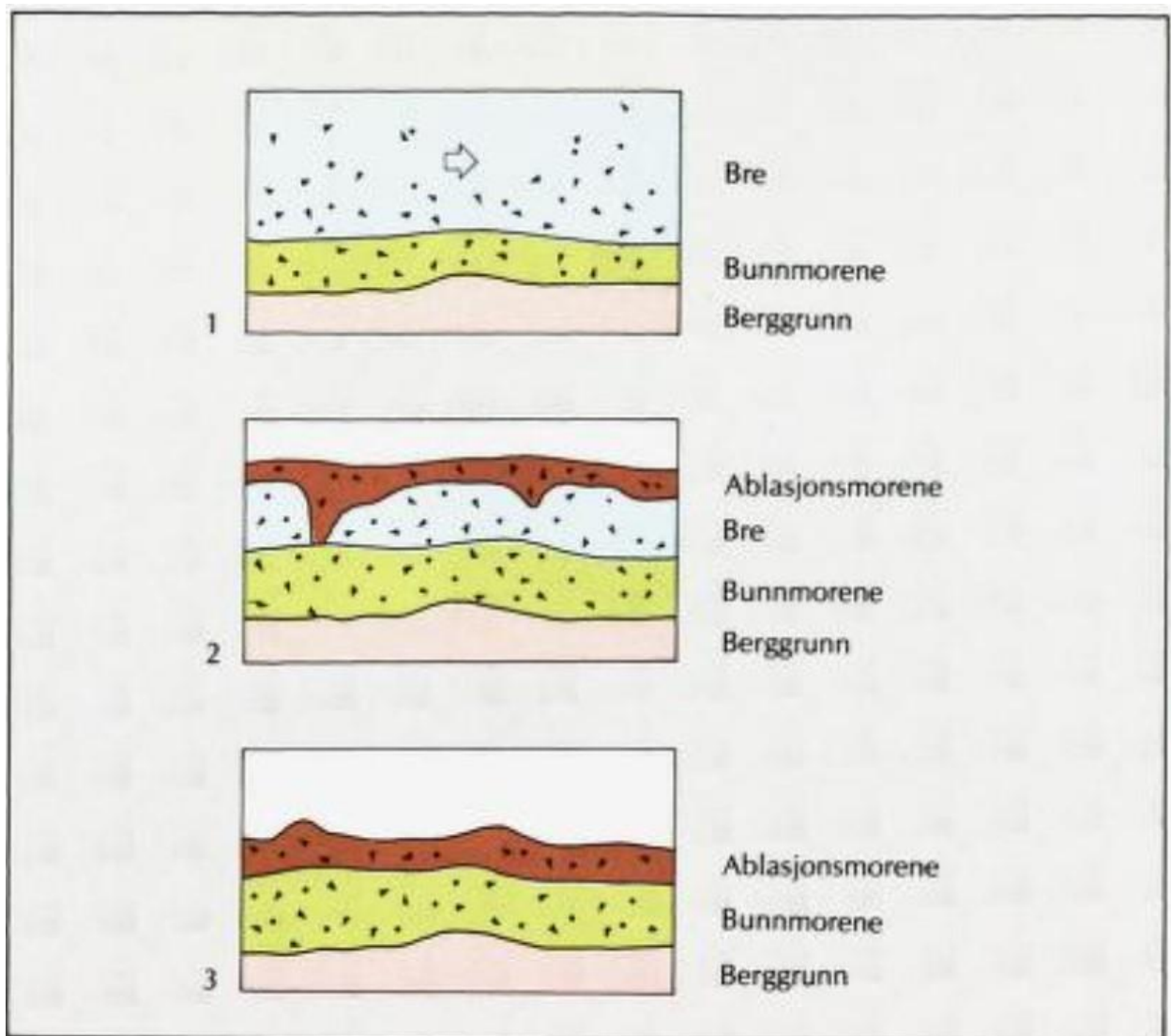
Transportmåte og transportlengde har betydning for løsmassenes kornform, korngradering og sortering. Dette vil også til en viss grad avhenge av opphavsbergarten, men transporten vil være den største faktoren. Materialet kan bli transportert med vann, is, vind, tyngdekraft og mennesker. Materialet transportert av is og tyngdekraft vil være lite sortert og velgradert. Is og tyngdekraft knuser materialet, og vil føre til kantede korn. Vann vil sortere materialet godt, det vil si at det er lite gradert. Materialet vil få en rundet kornform ettersom de ruller og slipes mot hverandre, og underlaget under transporten. Det samme gjelder for vindtransportert materiale. Disse er imidlertid ofte bedre sortert enn vantransportert materiale (Rørvik, 1982).



Figur 2.5: Korngraderingskurve over materialer transportert på ulike måter. Bratt kurve indikerer god sortering, mens slak kurve indikerer god graderting av materialet (Neeb, 1992).

2.4 Morenemateriale

Morenemateriale er materiale direkte avsatt av isbre, dannet ved en nedknusning av bergarter. Hovedsakelig vil morenemateriale bestå av fragmenter fra lokale bergarter, men på grunn av transport vil materialet ha en variasjon avhengig av hvor den ble avsatt. Morenemateriale kjennetegnes som et velgradert materiale med kantete og kantrundete korn. Morenetyper skilles fra hverandre ved ulike avsetningsmåter og i hvilken del av breen materialet ble fraktet. Materialet transportert i bunnen av breen avsettes som bunnmorene, mens materialet transportert inne i breen eller på overflaten, avsettes som ablasjonsmorene (figur 2.6). Materialet kan også avsettes langs kanten på breen, og betegnes som randmorene, endemorene og sidemorene (Thoresen, 2000).



Figur 2.6: Skisse over dannelse av bunnmorene og ablasjonsmorene (utsmeltingsmorene) (Thoresen, 2000).

2.4.1 Bunnmorene

Bunnmorener finnes ofte i dalbunnen og i forsenkninger i terrenget. Bunnmorener inneholder materiale som er transportert av breens såle. Materialet er blitt knust mellom sålen og berggrunnen, slik at morenen kan inneholde en god del finstoff. I tillegg vil bunnmorener ofte være overkonsolidert på grunn av det store trykket isen utøver mot materialet (Thoresen, 2000). Dette fører til at bunnmorener er lite gjennomtrengelig for vann.

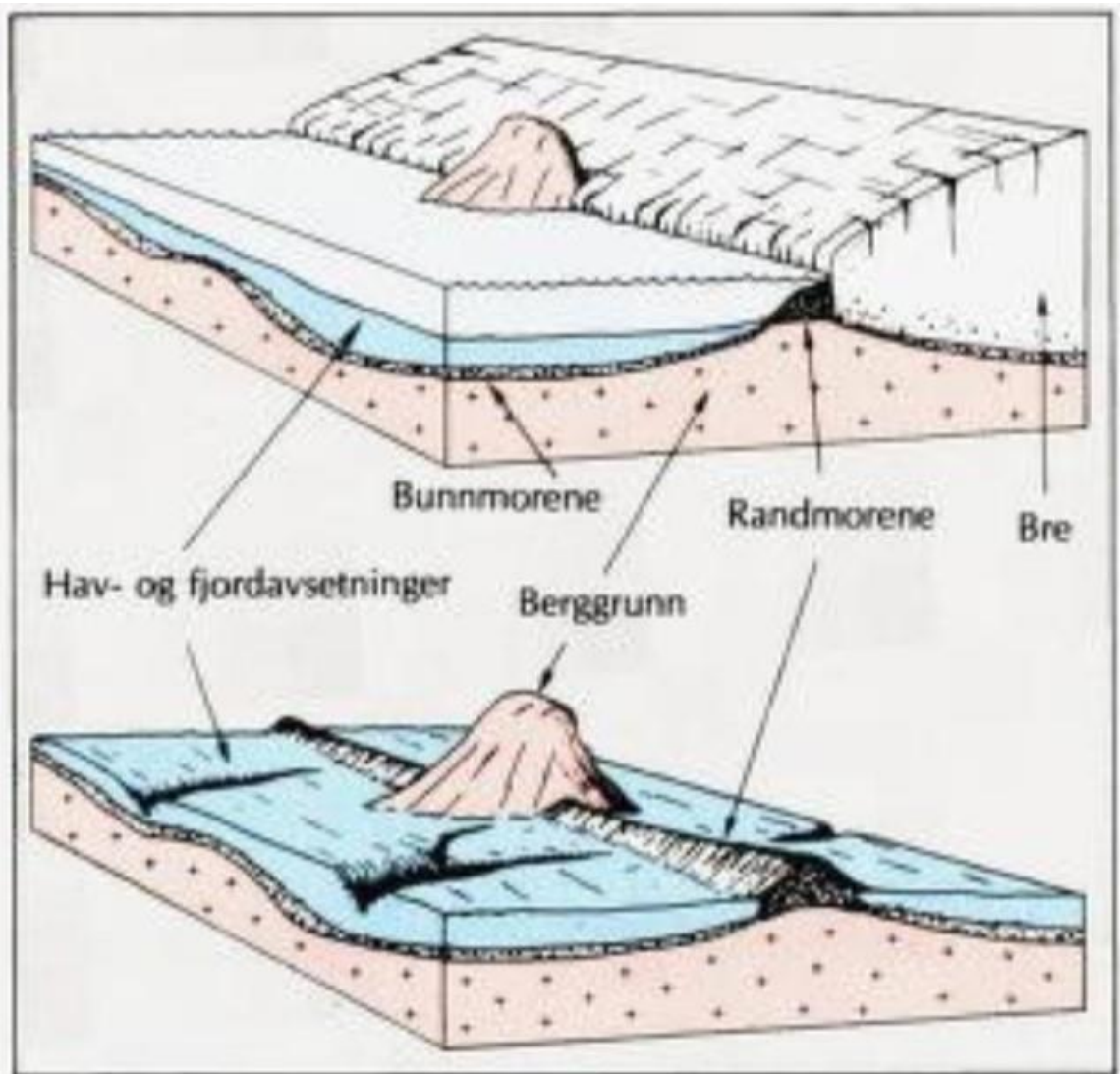
2.4.2 Ablasjonsmorene

Ablasjonsmorener eller utsmeltingsmorener er vanlig å finne liggende over bunnmorene. Ablasjonsmorener består av materiale som ble transportert inne i breen eller på isens overflate, og avsatt når isen smeltet. På grunn av transportmåten, er ikke materialet like nedknust som materialet i en bunnmorene, og finstoffinnholdet er derfor lavere.

Ablasjonsmorene ble avsatt når isen smeltet, slik at vanninnholdet var høyt og finstoffet ble vasket ut. Dette bidrar også til det lave finstoffinnholdet i ablasjonsmorener. Materialet som ligger inne i, eller oppå breen er ofte transportert over en lengre avstand enn materialet liggende under isen, noe som fører til at mineralsammensetningen kan variere i større grad (Thoresen, 2000).

2.4.3 Randmorener

Materialer som avsettes på sidene av breen kalles randmorener. Ulike randmorener skilles fra hverandre etter hvor de er avsatt i forhold til isbreen. En endemorene er avsatt når materialer ble skjøvet foran isbreen under et fremrykk og avsatt når isen stagnerte eller trakk seg tilbake. Sidemorener ligger som rygger i dalsider og er avsatt på sidene av en bre. Materiale avsatt mellom to breer betegnes som midtmorene (Thoresen, 2000).

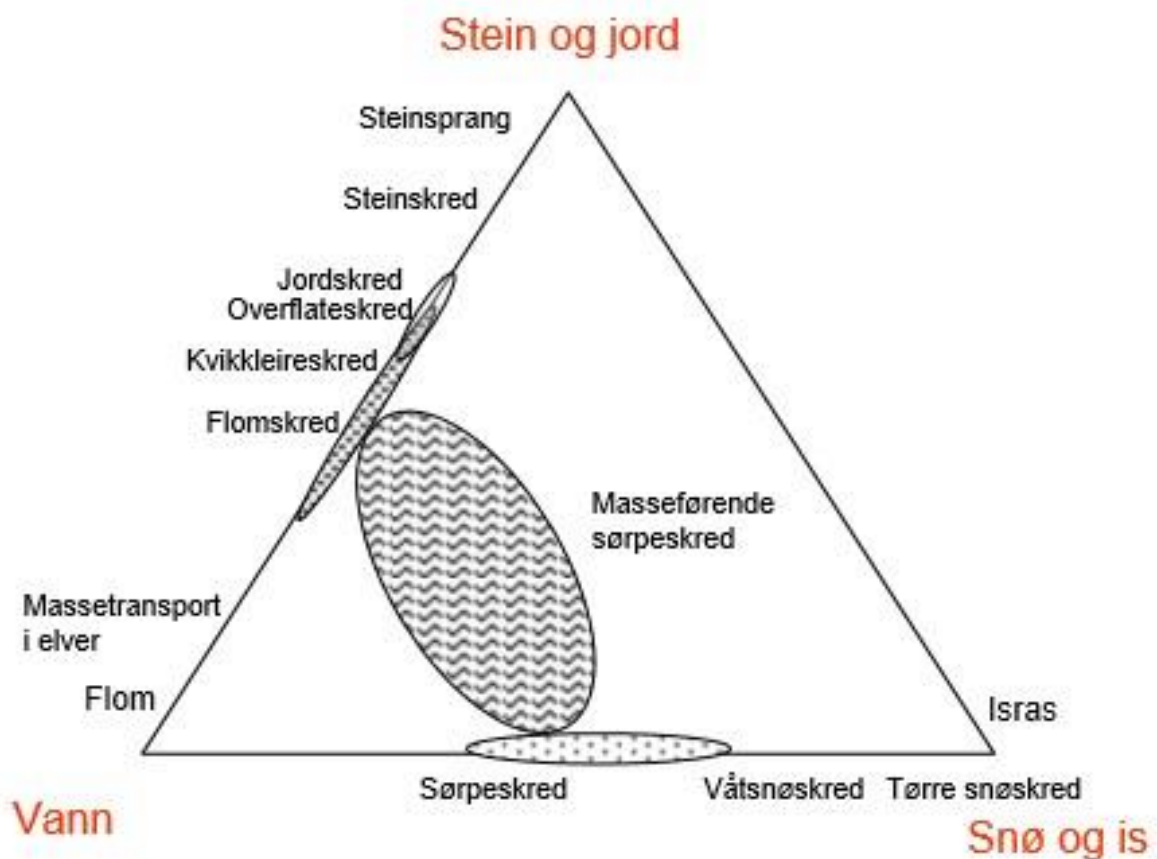


Figur 2.7: Skisse over dannelse av randmorener (endomorene) (Thoresen, 2000).

3. Massebevegelse

«Et skred er et naturfenomen der tyngdekraften bidrar til at materialer som stein, løsmasser eller snø beveger seg nedover en skråning i terrenget. Bevegelsen kan skje gjennom fall, gliding eller en rask strøm av masse, og selve skredet kan inneholde vann i ulike mengder» (NVE, 2011b, s.22).

Ulike skredtyper kan klassifiseres ut fra forholdet mellom vann, snø og is, og stein og jord. De fleste skredtyper inneholder en andel vann, med unntak av steinsprang og isras, som er rene partikkelbevegelser. Vann vil påvirke skredenes utløsningsmekanisme, bevegelse og utløpsdistanse, hvorav samspillet mellom granulær dynamikk og hydrodynamiske faktorer avgjør hvordan skredene beveger seg. Dette ligger til grunn for klassifikasjonen i figur 3.1. (Norem og Sandersen, 2012).



Figur 3.1: Trekantdiagram som viser klassifiseringen av skredtyper ut fra forholdet mellom vann, snø og is, og stein og jord (Norem og Sandersen, 2012).

Den norske klassifiseringen av ulike skredtyper er en forenkling av klassifiseringer som brukes i internasjonal litteratur. Ulike klassifiseringssystem kan bruke parametere som materialtype og materialsammensetning, vann og sediment forhold, volum, bevegelsehastighet og type, landformer og avsetningsforhold for å skille mellom skredtypene (NVE, 2011a). Varnes' klassifikasjonssystem, som tar utgangspunkt i materialtype og bevegelsestype, er mye brukt (Varnes, (1978). I Norge er det lagt vekt på å ta i bruk en mer overordnet og forenklet terminologi, og hvor skredtypene er klassifisert etter materialtype, figur 3.2. (NVE, 2011b).

Fast fjell	Løsmasser		Snø
	Grove ←	→ Fine	
Steinsprang	Jordskred		Snøskred
Steinskred			
Fjellskred	Flomskred	Kvikkleire-skred	Sørpeskred

Figur 3.2: Klassifiseringen av ulike skredtyper i Norge basert på materialtype (NVE, 2011b).

3.1 Skred i fast fjell

Steinsprang, steinskred og fjellskred betegnes som skred i fast fjell. De skilles etter volumet på skredmassene; et skred med volum på mindre enn 100 kubikkmeter betegnes som steinsprang, et skred med volum på 100 til 10 000 kubikkmeter som et steinskred, mens skred på over 10 000 kubikkmeter betegnes som et fjellskred. De viktigste utløsningsmekanismene for alle skredtypene er fryse-/tine prosesser som frost og rotsprengning, og poretrykksoppbygging etter mye nedbør. Store fjellskred kan også utløses av kryp-bevegelser og også som en følge av et jordskjelv (NGI, 2013a). Alle de tre skredtypene består av samme materiale. Karakteristika for skred i fast fjell er fremstilt av Norges Geotekniske Institutt, NGI i figur 3.3.

	Steinsprang	Steinskred	Fjellskred
Hvor forekommer skredtypen	Fra alle typer fjellskråninger over 30 grader der det sitter løse stein	I større fjellsider, fra 50 meters høyde og oppover, hvor det finnes svake partier.	Store fjellsider som har svakhetssoner i den geologiske strukturen.
Hypighet	Hele tiden	Flere ganger i året	1-2 ganger per 100 år
Utløsningsfaktorer	Frost- og rot-sprenging, poretrykk	Frost- og rotsprenging, poretrykk	Poretrykk, kryp-bevegelser, jordskjelv



Steinsprang



Steinskred



Fjellskred

Figur 3.3: Karakteristika for skred i fast fjell (NGI, 2013a).

3.2 Snø- og sørpeskred

Et snøskred betegnes som tørre eller våte avhengig av snødekkets temperatur. I tillegg benyttes betegnelsen sørpeskred om hurtigflytende blanding av vann og snø. Snøskred utløses av temperaturforandringer, nedbør og andre klimatiske faktorer, som vind og solinnstråling (NGI, 2013b). Hvordan snøskred forekommer og de ulike typenes utløsningsmekanisme er oppsummert i figur 3.4.

	Tørre snøskred	Våte snøskred	Sørpeskred
Hvor forekommer skredtypen	I fjellet eller områder med lave temperaturer under null grader over lange perioder	Ofte begynner våte snøskred som tørre snøskred lengre oppe i fjellsiden, og snøen blir fuktig på vei ned	I alle områder der snøen kan samle på store mengder vann: bekkefar, myrområder, mindre innsjøer osv.
Hypighet	Meget ofte hele vinteren	Ofte ved mildt værromslag	Ofte ved mildværsinnslag og regn på snødekket
Utløsningsfaktorer	Store nedbør-mengder, sterk vind	Raske temperaturstigninger, regn på snø	Meget rask snøsmelting, regn på snø



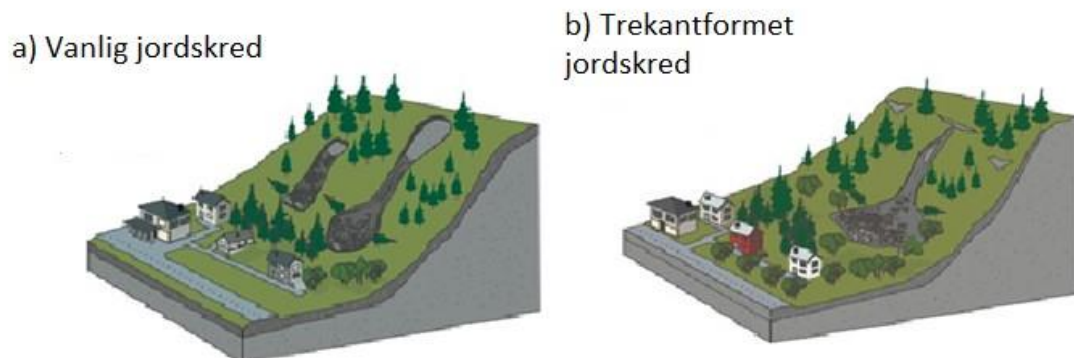
Figur 3.4: Karakteristika for snøskredtyper i Norge (NGI, 2013b).

3.3 Løsmasseskred

Skred i løsmasser betegnes med den overordnede tittelen *løsmasseskred*, og omfatter jordskred, flomskred og kvikkleireskred. Løsmasser er et begrep som brukes for alle typer masser som ligger over fast fjell, det vil si stein, grus, sand, silt og leire, samt jord og antropogene masser (NVE, 2011a).

3.3.1 Jordskred

Et jordskred er definert som masser av stein, grus, sand, jord og leire med et varierende vanninnhold som er i bevegelse (NGU, 2008). Materialet kan også inneholde større fraksjoner som blokk, og organisk materiale. Jordskred utløses i fjell- og dalsider, naturlige og antropogene skråninger med gradienter på normalt 25 – 30 °, avhengig av forholdene i skråningen og massene. Slike forhold kan være manglende vegetasjon, antropogene inngrep i skråningen (som for eksempel skogsbilveier) eller områder hvor det er et tynt løsmassedekke over glatte fjelloverflater. Jordskred kan da utløses ved gradienter ned mot 20 °. Skredene oppstår ofte i moreneavsetninger, men også i tidligere skredmateriale og forvittringsmateriale (NVE, 2013).



Figur 3.5: Skisse over a) vanlig jordskred og b) trekantformet jordskred (NVE, 2013).

Jordskred starter som en utgliding av masser i et punkt eller langs en bruddkant, og som deretter strømmer nedover en skråning som en massestrøm. De kan være langstrakte soner i bratt terreng, eller grunne utglidninger i mindre bratt terreng. De langstrakte jordskredene løsner ofte i et punkt og følger gjerne en definert kanal i dalsiden, hvor skredene tar med seg mer masser nedover slik at skredløpet blir bredere. Langs kanten av skredkanalen dannes det ofte leveer (rygger av skredmasser), og skredmaterialet avsettes som loper eller tunger i dalbunnen. Langstrakte jordskred har større utløpsdistanse enn grunne skred, dette på grunn av en større gradient. Disse skredene oppstår ofte i eksisterende kanaler hvor friksjonen er lavere. Noen av jordskredene har en uregelmessig form, mens andre har en trekantet form. Dette er spesielt gjeldene for jordskred som er utløst av steinsprang. Grunne utglidninger er mindre enn 3 meter dype og forekommer ofte på dyrket mark og i områder uten vegetasjon (NVE, 2011a).

3.3.2 Flomskred

«Flomskred er hurtige, flomlignende skred som opptrer langs elve- og bekkeløp, også der det vanligvis ikke er permanent vannføring» (NVE, 2013, s.4). Flomskred og jordskred er to skredtyper med mange fellestrekk, men skilles likevel fra hverandre med ulike løsneforhold og mekanismer, bevegelse og avsetningsformer (NVE, 2011a). Flomskred forekommer i skråninger med gradienter på 25 – 45 °, og kan starte som et jordskred, eller som følge av en erosjon av løsmasser (NVE, 2013). Som trekantdiagrammet (figur 3.1) illustrerer, har flomskred en høy andel vann hvor partikkelinnholdet varierer mellom 40 – 70 %. Dette fører

til at flomskred har stor mobilitet, i tillegg til at massene har liten fasthet slik at flomskred kan få en lang utløpsdistanse (Norem og Sandersen, 2012). Skredmassene avsettes med leveer på siden av skredløpet og som vifte, hvorav det grovere materiale avsettes ved viftens rot, og det finere materialet blir fraktet lengre ut (NVE, 2011a).



Figur 3.6: Flomskredvifte i Balestrand (NVE, 2013).

Flomskred betegnes ofte som en overgangsform mellom en massestrømsprosess og en fluvial prosess, hvor henholdsvis gravitasjon og vannmassene er drivkraften (NVE, 2013).

3.4 Utløsningsmekanismer

Skred oppstår når de drivende krefter overgår de motvirkende krefter. Den primære drivende faktor er gravitasjon. Motvirkende faktorer er friksjonen i skråningen og overliggende masser, samt styrken og kohesjonen i selve materialet (Hyndman og Hyndman, 2011).

Prinsipielt kan man si at fire betingelser må være tilstede for at et jordskred skal oppstå: (NVE, 2011a)

- Liten stabilitet i løsmassene
- Det må være bratt nok
- Det må være løsmasser tilstede
- Det må være en utløsende faktor

3.4.1 Skråningsstabilitet

Skråningens stabilitet påvirkes av flere faktorer, og avhenger av forholdet mellom de drivende og de motvirkende krefter. Figur 3.7 er en forenklet illustrasjon av hvilke krefter som virker på en skråning. De drivende krefter er forholdet mellom gradienten på skråningen og vekten av materialet, og vil øke i takt med økende gradient og vekt. Vekten av materialet er også en komponent for de motvirkende krefter som består av friksjonen og kohesjonen i materialet. Friksjonsmotstanden avhenger av skråningsgradienten og vekten av materialet. Dersom kraften F overskrider friksjonsmotstanden f , vil skråningen gli ut (Hyndman og Hyndman, 2011).



Figur 3.7: Figurene viser de ulike kreftene som virker en skråning på henholdsvis 30° og 60°, hvor α = skråningsgradient, L = lasten på skråningen, N = normalkraften, f = friksjon og F = krefter parallelt på skråningen (Hyndman og Hyndman, 2011).

Stabiliteten til en skråning avhenger av flere faktorer, som orientering og gradient, materialet i skråningen, vann og vegetasjon. I tillegg vil antropogene inngrep i en skråning kunne påvirke stabiliteten (Bargel, 2012).

Orientering og gradient

Figur 3.7 viste at en større gradient vil gi større drivende krefter. Skråningens gradient eller helning er en viktig faktor for om det vil kunne oppstå en massebevegelse eller ikke. Skråningen må være bratt nok, men allikevel ikke for bratt. Normalt utløses jordskred i skråninger med en gradient på over 30°, men dersom forholdene ligger til rette, vil det også kunne utløses ved lavere gradienter. Dette gjelder skråninger med lite vegetasjonsdekke eller et tynt løsmassedekke over glatt berg, da friksjonen vil være lavere. Av den grunn kan jordskred oppstå i skråninger med gradienter ned mot 25°. Dersom vanninnholdet er svært høyt vil jordskred kunne oppstå ved enda lavere gradienter. Jordskred utløses normalt ikke i skråninger med gradienter over 45°, dette på grunn av mangel på materiale. Løsmasser ligger sjeldent i bratte skråninger (NVE, 2011a).

Skråningens orientering vil hovedsakelig påvirke massens fuktighet og vanninnhold. Orienteringen vil avgjøre hvor mye solinnstråling skråningen mottar. Solinnstrålingen bidrar til at våt mark og snø tørker raskere. Sørvendt orienterte skråninger vil motta mer solinnstråling, og vil derfor føre til at skråningen opplever mer intens snøsmelting og derav har et større vanninnhold i materialet. Dette er spesielt av betydning for jordskred som oppstår på sen-våren.

I tillegg til solinnstråling vil orienteringen også avgjøre hvor mye vind og nedbør en skråning vil motta (Moser og Hohensinn, 1982).

Skråningens materiale

Jordskred oppstår oftest i morenemateriale. Under siste istid ble det avsatt mye morenemateriale da isen transporterte og avsatte i dalførene. Av den grunn oppstår ofte jordskred i dalsidene. Kornfordelingen og kornformen spiller en stor rolle for stabiliteten i en skråning. Figur 3.8 viser sammenhengen mellom kornformen og den maksimale friksjonsvinkel hvor skråningen er stabil.

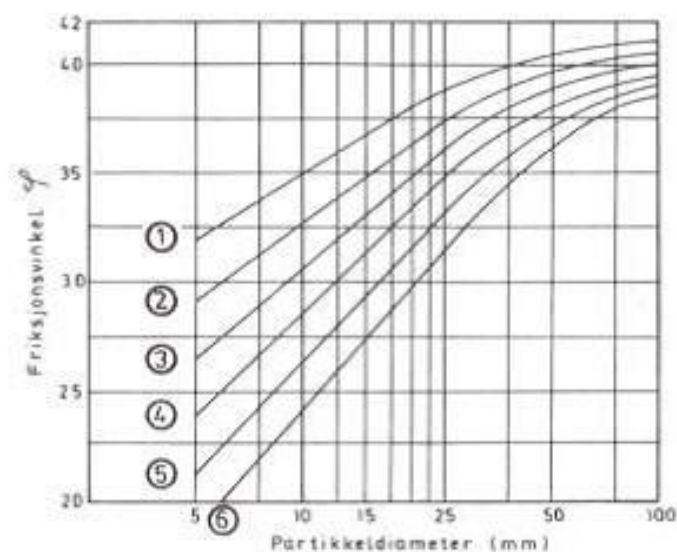


Fig. 118. Maksimal skråningsvinkel (friksjonsvinkel) for friksjonsmaterialer som funksjon av korndiameter og kornform.

1 = Meget kantet.

2 = Moderat kantet.

3 = Svakt kantet.

4 = Svakt rundet.

5 = Moderat rundet.

6 = Godt rundet.

Figur 3.8: Figuren viser friksjonsvinkelen som en funksjon av korndiameter og kornform (Selmer-Olsen, 1977).

Fra figuren kan det ses at friksjonsvinkelen øker med økende partikkeldiameter, det vil si at jo større kornene er, desto brattere kan skråningen være stabil. Kantete korn vil danne brattere skråninger enn godt rundete korn.

Hvor godt materialet lar seg gjennomtrengte av vann, avhenger av kornformen og kornstørrelsen. Vann er den vanligste utløsende årsak til jordskred, og hvordan vann trenger gjennom et materiale er derfor av stor betydning for skråningens stabilitet. Kornstørrelsen og kornformen, samt sorteringen, vil påvirke materialets permeabilitet, porøsitet og kohesjon.

Et godt sortert materiale vil ha en lavere porøsitet og permeabilitet på grunn av at mindre korn kan fylle inn porene. På samme måte vil også kornformen påvirke porøsiteten. Korn med irregulær form vil danne en mer åpen struktur, og dermed øke porøsiteten (Brattli, 2009). Materiale med høyt finstoffinnhold vil ha lavere permeabilitet og porøsitet, men vil ha høyere kohesjon. I et slikt materiale kan det ofte være fare for en oppbygging av høyt poretrykk som reduserer skråningsstabiliteten, og kan føre til skred.

Vann

Vann er den utløsende faktoren som fører til flest jordskred. Friksjonskreftene som virker på skråningen er avhengig av kornstørrelsen, kornformen og vanninnholdet. Ved et økende vanninnhold vil friksjonskraften reduseres, og skråningens stabilitet svekkes (NVE, 2011a). Vannets påvirkning på skråningens stabilitet vil forklares mer detaljert i kapittel 4

Nedbørsutløste jordskred.

Vegetasjon

Vegetasjon er en viktig stabiliserende faktor. Rotsystemet til trær og mindre vekster gir en armeringseffekt til jorda. Hydrologisk sett vil vegetasjonen virke både stabiliserende og destabiliserende på en skråning. Røttene tar opp vann og reduserer dermed vanninnholdet og følgelig også poretrykket, noe som vil ha en stabiliserende effekt. Røtter har derimot også en tendens til å øke ujevnheter i overflaten og danner jord-makroporer slik at infiltrasjonskapasiteten øker. Dette vil ha en destabiliserende effekt på skråningen og føre til større vannmengder i jorda. Mekanisk sett bidrar vegetasjon til stabilitet ved at røttene forsterker jorda på grunn av røttenes strekkfasthet og friksjonsegenskaper (Reubens et al., 2007).

Ulike typer røtter gir ulike effekter. De viktigste faktorene som påvirker stabiliteten er antall, størrelse, strekkfasthet og bøyestivhet av røttene. Strekkstyrke øker med avtagende rottdiameter, slik at fine røtter som vokser parallelt med jordoverflaten gir en større strekkstyrke enn grove og dype røtter som vokser vertikalt. Det vil si at et stort antall fine røtter fester jord mer effektivt enn færre grove og dype røtter. Derimot vil grove og dype røtter gir større skjærstyrke ved at de fester dypere liggende jordlag, i tillegg til at de kan stå imot både strekk og bøyning, hvor grunne og fine røtter vil bøye av og brette (Reubens et al., 2007). Imidlertid vil større trær kunne virke destabiliserende på en skråning ved sterk vind. Vinden kan føre til rotvelt som vil gi terrengsår som igjen vil kunne øke erosjonen. Rotvelt vil

også kunne løsrive steiner (steinsprang) som kan dra med seg jordmasser ned skråningen (Ranka (2002) hentet fra NGI (2013c) s. 32).

Vegetasjon vil kunne bidra positivt til skråningsstabilitet. En kombinasjon av flere ulike rotsystemer vil være mest fordelaktig, fordi de grunne og fine røttene vil fungere som styrkende i de øvre jordlag, mens de grovere og dypere røttene vil forankre de dypere jordlag.

3.4.2 Utløsende årsaker

I tillegg til de nevnte faktorene, må det være en utløsende årsak for at et skred skal kunne oppstå. Ulike utløsningsmekanismer er:

- Nedbør
- Menneskelig påvirkning i form av endringer i den naturlige skråningen.
- Ustabilitet i massene
- Endring i vannivå i elver, innsjøer, eller dammer.
- Jordskjelv
- Vulkanutbrudd

Jordskred utløses oftest som et resultat av vann, enten i form av nedbør eller i kombinasjon med snøsmelting. Menneskelige påvirkninger som fyllinger, skogsbilveier og utgravinger er også en viktig skredutløsende årsak (NVE, 2011a).

4. Nedbørsutløste jordskred

Vann i form av nedbør og/eller i kombinasjon med snøsmelting, utgjør den vanligste utløsende årsak til jordskred. Nedbørsutløste jordskred utgjør en betydelig fare i store deler av verden på grunn av at de vanligvis oppstår uventet, er preget av raske bevegelser og kan gå utover lange avstander (Wang og Sassa, 2003). Ved å tilføre vann til en skråning øker sannsynligheten for utløsning av jordskred ved at vannet øker belastningen på skråningen og reduserer dens stabilitet. I tillegg vil kraftig nedbør føre til metning av jorda og økt poretrykk (Hyndman og Hyndman, 2011). Nedbør kan også føre til økt elveerosjon, noe som kan forårsake undergraving ved skråningens fot og øke sannsynligheten for jordskred (NVE, 2011a).

4.1 Hydrogeologiske egenskaper

Jordartens hydrogeologiske egenskaper spiller en stor rolle for hvordan nedbør kan føre til ustabilitet i en skråning.

Vannets infiltrasjon avhenger av porevolum og porestørrelse, og påvirker hvor mye og hvor raskt vann kan infiltrere ned i grunnen. Infiltrasjonen varierer også med vanninnholdet i jorda. Når jorda er tørr, er infiltrasjonen rask, fordi jorda suger til seg vann som et trekkpapir. Etter hvert som jorda blir fuktet, blir dette suget svakere. Porene fylles gradvis opp og til slutt blir infiltrasjonen bestemt av hvor mye vann som kan strømme gjennom jorda, altså jordens permeabilitet og hydraulisk konduktivitet (Skøien, 2003).

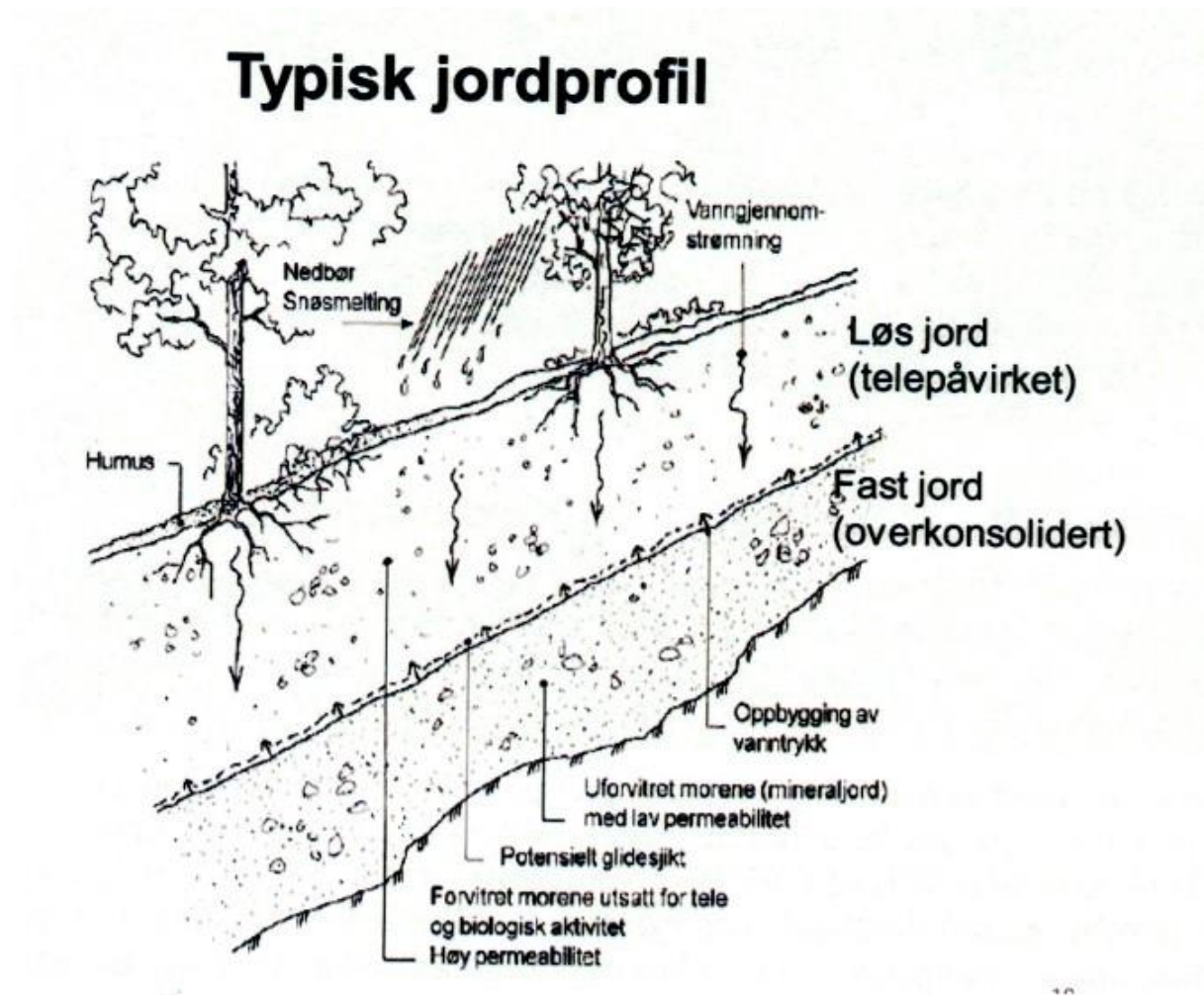
4.2 Poretrykk

De fleste vannrelaterte jordskred utløses på grunn av økt poretrykk og sigevannskrefter. Økt poretrykk reduserer den effektive spenningen i jorda og reduserer dermed jordens skjærfasthet som til slutt kan føre til utløsning av jordskred (Wang og Sassa, 2003).

Poretrykksoppbygging forekommer ved stor snøsmelting, ekstreme nedbørsmengder over kortere perioder, eller når akkumulert nedbør over en lengre periode gjør at jordas vanninnhold nærmer seg metning (Colleuille og Engen, 2009).

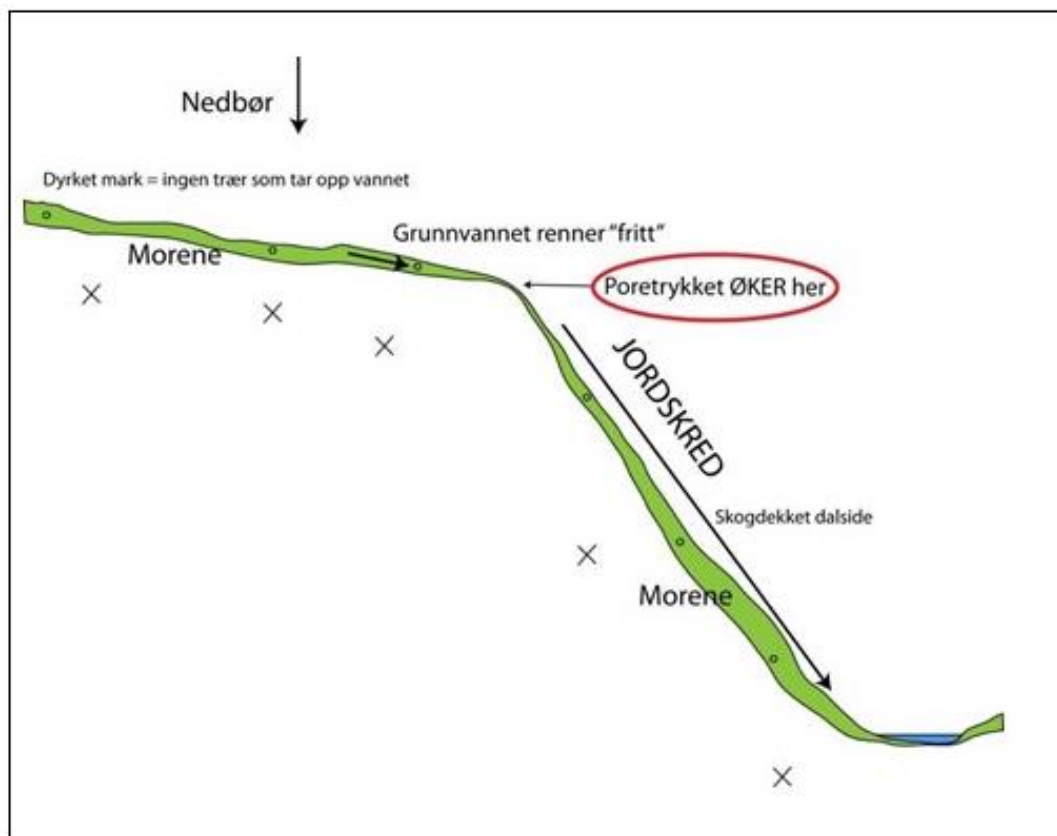
Et typisk norsk jordprofil består av morene med et løst, telepåvirket topplag over fast, overkonsolidert jord (figur 4.1). Topplaget, «det aktive laget», utgjør de øverste 1-2 m hvor forvittringsprosesser har ført til at jorden har blitt løsere og mer permeabel (NVE, 2011a). Telen tiner ovenfra, slik at en kan finne telelag lengre ned i jorda som vil virke som en

impermeabel barriere for videre vertikal vanntransport i jorda (Colleuille & Engen, 2009). Ved stor infiltrasjon av nedbør vil vannet perkolere ned gjennom det permeable øvre topplaget, og stanses ved det overkonsoliderte laget. Dette fører til at det bygges opp positive porevannstrykk i grenseflaten mellom disse lagene, som vil virke som et glideplan for skred (NVE, 2011a).



Figur 4.1: Figuren viser et typisk jordprofil med morenemateriale. Profilet består av et øvre, telepåvirket, lag med et underliggende overkonsolidert lag som kan utgjøre et mulig glideplan for skred (Norem og Sandersen, 2012).

I en moreneskråning hvor vegetasjonen er fjernet til fordel for dyrket mark, vil det ofte oppstå en situasjon med poretrykksoppbygging ved skråningens «knekkpunkt» (figur 4.2).



Figur 4.2: Figuren viser hvordan poretrykket øker ved et «knekkpunkt» i en moreneskråning (Bargel, 2014).

I et «knekkpunkt» er moreneavsetningene mindre, og vannet får liten plass til å strømme fritt. Poretrykket vil bygges opp ved dette punktet, og til slutt resultere i utglidning. Ofte oppstår jordskred i moreneskråninger ved slike knekkpunkt.

Ved lengre nedbørsperioder vil det akkumuleres mye nedbør som fører til at jorda nærmer seg metning. Vannmettet jord som infiltreres av enda mer nedbør kan føre til dannelse av midlertidig hengende grunnvann. Etableringen av midlertidig hengende grunnvannsspeil resulterer i høyt lokalt poretrykk som reduserer jordstyrken og kan utløse jordskred (Wieczorek og Glade, 2005).

Kraftig snøsmelting er også en viktig utløsende faktor for vannrelaterte jordskred. Mange jordskred i Norge oppstår om våren i forbindelse med snøsmelting. Kraftig snøsmelting gir en mer kontinuerlig tilførsel over en lengre periode, enn ved infiltrasjon av nedbør. På samme måte som ved infiltrasjon av nedbør, vil også infiltrasjon av smeltevann føre til oppbygging av høyt poretrykk (Wieczorek og Glade, 2005).

4.3 Metning av sedimenter

Infiltrasjon av nedbør fører til en metning av sedimentene, som fører til en økt vektbelastning på skråningen. Skråningens stabilitet avhenger av forholdet mellom de drivende og de motstående kreftene som virker på skråningen (Hyndman og Hyndman, 2011). Kohesjonen og adhesjonen i jorda virker som en motstående kraft. Vann vil redusere kohesjonen ved at det trenger inn mellom kornene, mens et økende vanninnhold vil øke adhesjonen. Adhesjonen vil imidlertid kun øke til et visst nivå, hvor også denne vil avta. Friksjon mellom jordpartikler avhenger av trykket som virker på kornene. Trykket fra krefter som virker på vannmettet jord, vil delvis tas opp av kornene og delvis av vannet som får et økt trykk. Trykkøkningen vil føre til at skjærfastheten reduseres og dermed også skråningens stabilitet blir redusert (Skøien, 2003).

4.4 Erosjon

4.4.1 Elve- og bekkeerosjon

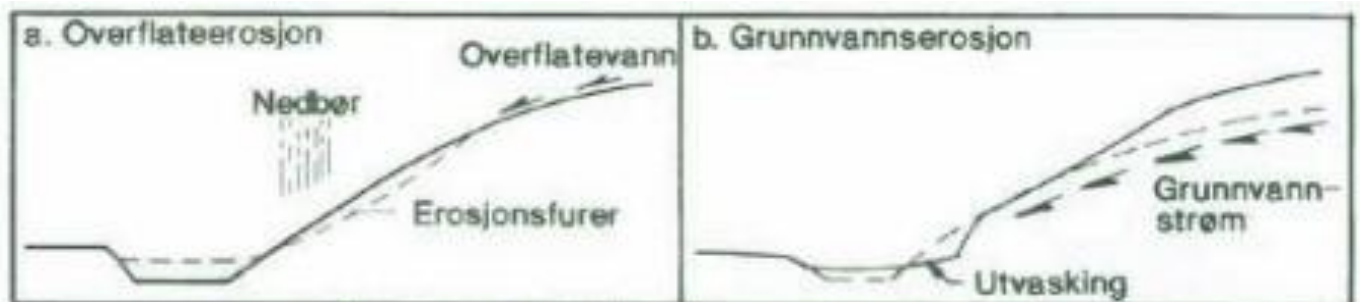
Jordskred utløses ofte i sammenheng med kraftig elve- og bekkeerosjon (NVE, 2011a). Ved mye nedbør vil vannstanden i elver og bekker øke, og dermed øke erosjonsevnen. Undergraving av skråningen av elver og bekker fører til en underkutting av skråningen og en ubalanse i helningsgraden. Ved en underkutting av skråningen vil helningsvinkelen øke, og kan overstige friksjonsvinkelen og dermed øke sannsynligheten for skred (Hyndman og Hyndman, 2011).

4.4.2 Overflateavrenning

Dersom nedbørsmengden pr. tidsenhet overskrider infiltrasjonskapasiteten til jordarten, vil ytterligere vann ikke kunne infiltrere ned i jorda, og vil renne av som overflateavrenning. Ofte har skråninger bestående av løst pakket jord, grov kornstørrelse, lav jordfuktighet og et porøst topplag, større infiltrasjonskapasitet, og krever dermed mer nedbør for å føre til overflateavrenning (Brattli, 2009). Overflateavrenning kan også oppstå i tørr jord dersom jordarten har liten infiltrasjonskapasitet og det er kraftig nedbør (Skøien, 2008).

Vanligvis opereres det med tre ulike former for erosjon som følge av overflateerosjon; flateerosjon, rilleerosjon og ravineerosjon (Nordal, 2011). Flateerosjon er karakterisert ved at et jevnt lag med jord eroderes fra jordoverflaten ved overflateavrenning. Dette er en prosess hvor massetransporten er relativ liten, men kan anses som et første trinn for utvikling av andre former for overflateerosjon. En mer konsentrert overflatestrømning vil

føre til rilleerosjon hvor erosjonen foregår i små, veldefinerte vannløp (Van Beek et al., 2008; Nordal, 2011). Ravineerosjon, den mest omfattende form for overflateerosjon, oppstår når rennende vann eroderer i jord og danner kanaler dypere enn omkring 30 cm. I jordarter hvor jordstrukturen kollapser ved våt jord, starter ravineerosjonen ofte som tunnelerosjon under jordoverflaten, hvor tunneltaket bryter sammen og tunnelen utvikler seg til en ravine (NSW Department of Primary Industries, n.d).



Figur 4.3: Skisse over overflateerosjon og grunnvannserosjon (Statens vegvesen, 2012).

4.4.3 Grunnvannserosjon

Grunnvannserosjon er karakterisert ved en rask utstrømning av grunnvann som kan føre til erosjon. En slik utstrømning oppstår når grunnvannsspeilet blir hevet over normalen og det kommer frem i skråningen. Skråningen vil bli ustabil noe som kan føre til utglidning eller dannelse av erosjonsraviner. Grunnvannet kan også vaske ut partikler hvor det kommer ut i skråningen, og danner med det en brattere skråning (Skøien, 2008).

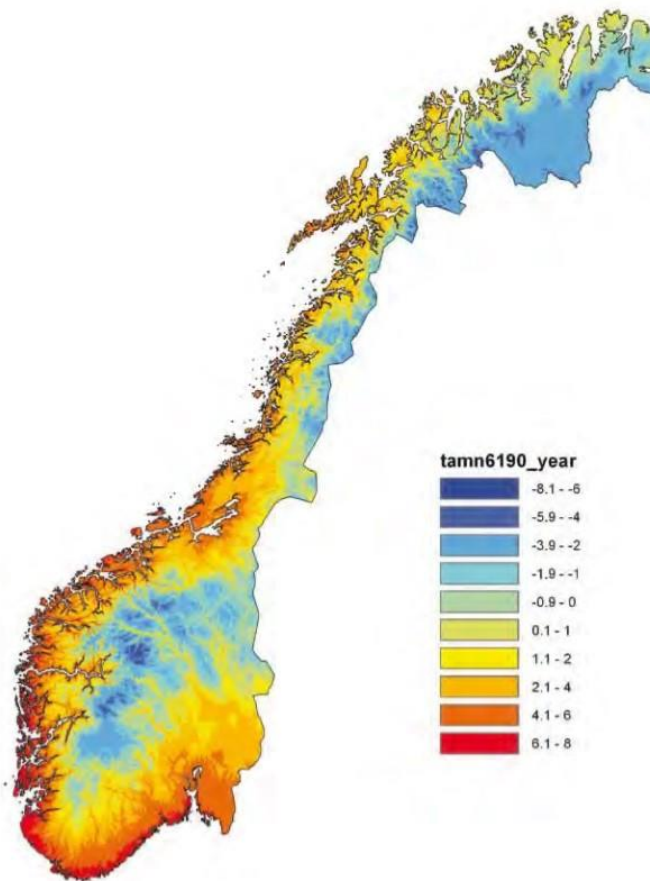
Rør- og tunnelerosjon (piping- and tunnel-erosion) er to former for grunnvannserosjon som oppstår når sivevannskreftene overstiger de kohesive kreftene i jordmassen. Erosjonen er vanligst hvor undergrunnen tillater en fri vanngjennomtrengning og bevegelse gjennom mer enn overflatelaget. Rørosjon dannes ved at vannet som infiltrerer et porøst medium, produserer nok dragkraft til å transportere materiale i utløpet gjennom *liquefaction* eller *Coulomb brudd*. Dette fører til dannelse av undergrunnskanaler, også kjent som rør. Tunnelerosjon dannes ved en progressiv utvidelse av eksisterende kanal eller *makropore*, som oppstår hovedsakelig på grunn av skjærspenning som utøves av rennende vann (Van Beek et al., 2008).

5. Klimaendringer og skred

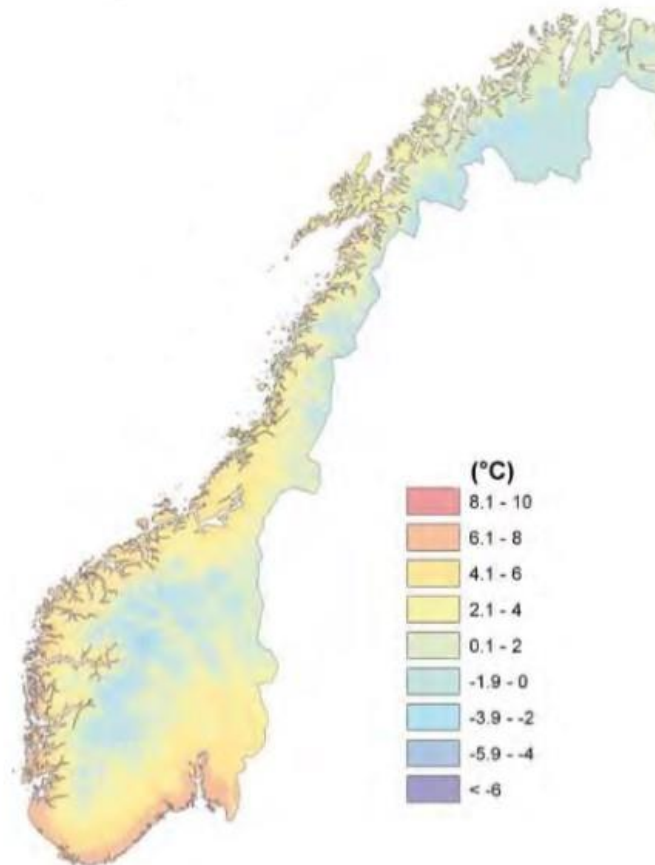
Globale scenarier viser en generell oppvarming i Europa, hvor det antas størst oppvarming i Nord-Europa, inkludert Skandinavia (Sygna et al., 2004). I Norge kan det dermed forventes høyere temperaturer og mer nedbør i fremtiden. Disse klimaendringene kan settes i sammenheng med en endring i jordskredhyppigheten, da løsmasseskred i all hovedsak er relatert til meteorologiske forhold (Jaedicke et al., 2008).

5.1 Temperaturendringer

For normalperioden 1961-1990 var årsmiddeltemperaturen i Norge +1 °C. Som figur 5.1 illustrerer, er årsmiddeltemperaturen høyest i kystområder og lavest i innlandet (Hanssen-Bauer et al., 2009). I Norge har den årlige middeltemperaturen økt mellom 0,4 – 1,2°C gjennom det siste århundret. Temperaturen er forventet å øke ytterligere med 0,24 °C/tiår, hvorav den største økningen vil finne sted om vinteren. Temperaturøkningen vil være større i nordlige områder, hvor økningen forventes å være 0,3 °C/tiår, sett i forhold til sørvestlige deler av Norge hvor økningen antas å være 0,2 °C/tiår (Sygna et al., 2004). Figur 5.2 illustrerer årsmiddeltemperaturen for perioden 1978 – 2008. Som det fremgår av figuren, er det tydelig at det har foregått en temperaturøkning i hele Norge, hvor den største økningen har funnet sted på Østlandet (Hanssen-Bauer et al., 2009)



Figur 5.1: Årsmiddeltemperaturer i Norge for normalperioden 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al., 2009).

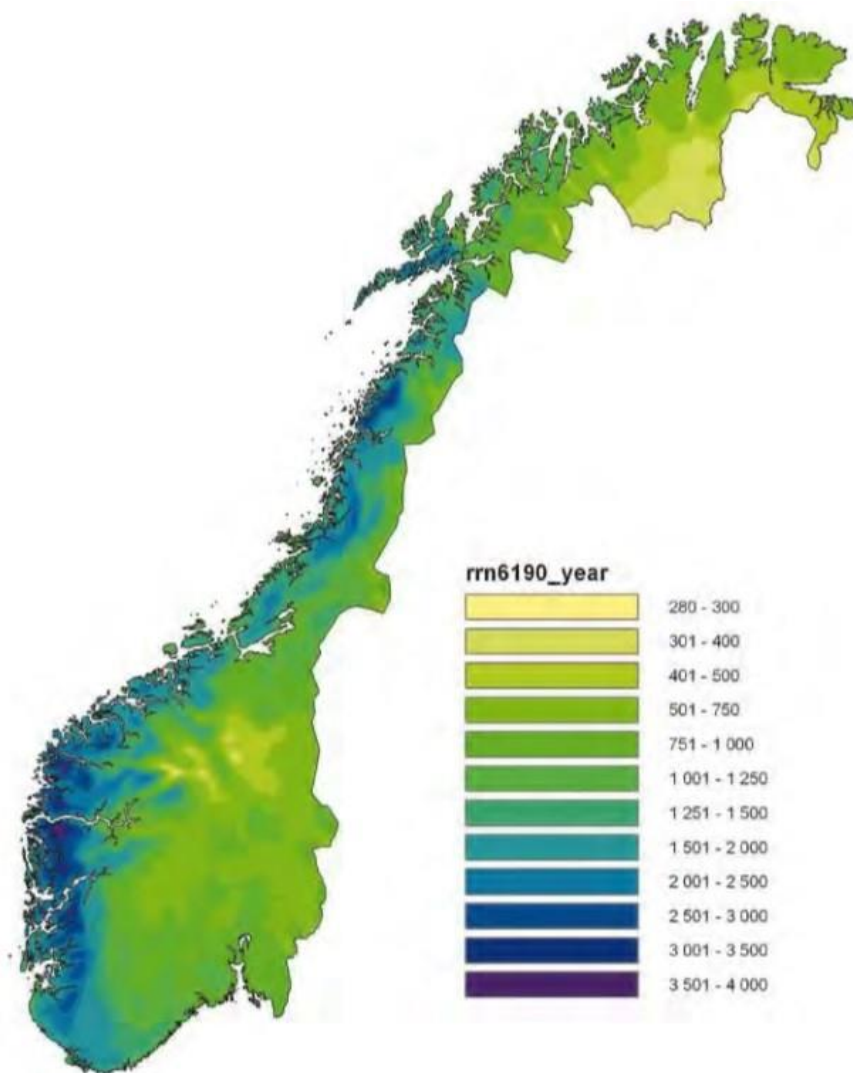


Figur 5.2: Årsmiddeltemperaturer i Norge for perioden 1978-2008 (Hanssen-Bauer et al., 2009)

5.2 Nedbørsendringer

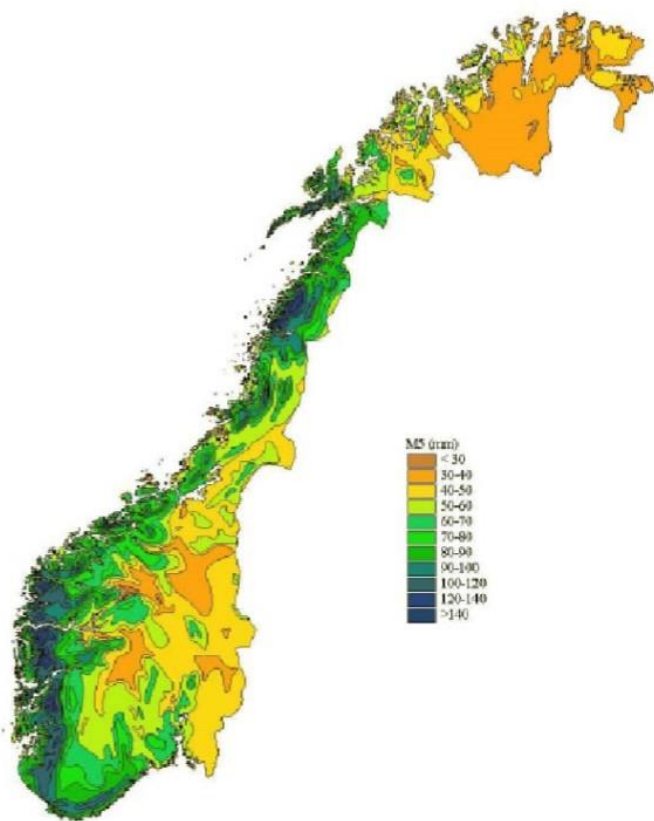
En økning i temperaturene etterfølges ofte av en økning i nedbør. I følge IPCC-TAR¹ har den årlige nedbøren økt med 0,5 – 1,0 % per tiår det siste århundret, på de nordlige breddegrader. I Norge er det observert en økning i nedbør mellom 0,3 – 2,1 % per tiår i tidsperioden 1895- 2004 (Førland et al., 2007a)

¹ International Government Panel on Climate Change – Third Assessment Report.

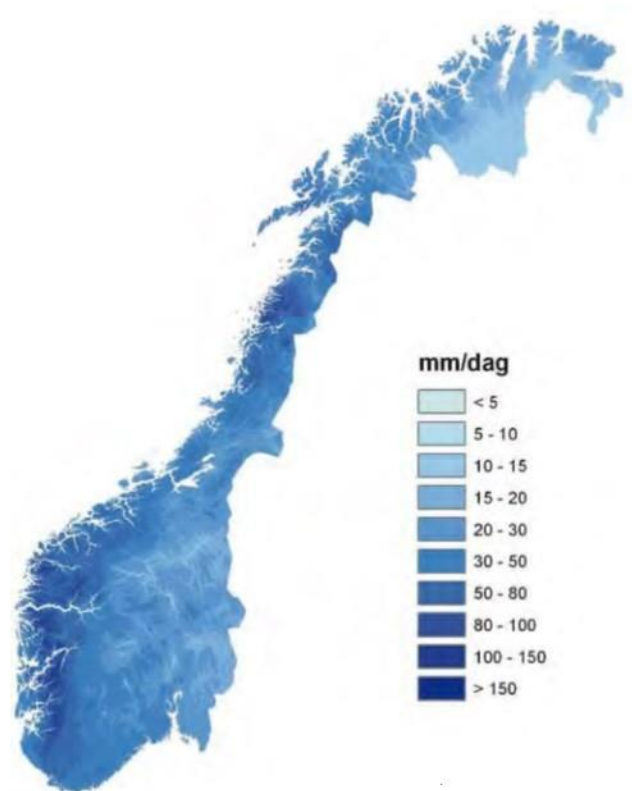


Figur 5.3: Årsmiddelnedbør for normalperioden 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al., 2009).

Det forventes at nedbøren i Norge skal øke med 35 – 55 mm i løpet av de neste 50 år, hvor størst økning forventes langs kysten, fra Sør –Vestlandet og nordover. Sørvestlige deler av Norge forventes å motta 25 % mer nedbør i løpet av høsten (Sygna et al., 2004).



Figur 5.4: Estimert ett-døgns nedbørsverdier over Norge for normalperioden 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al., 2009).



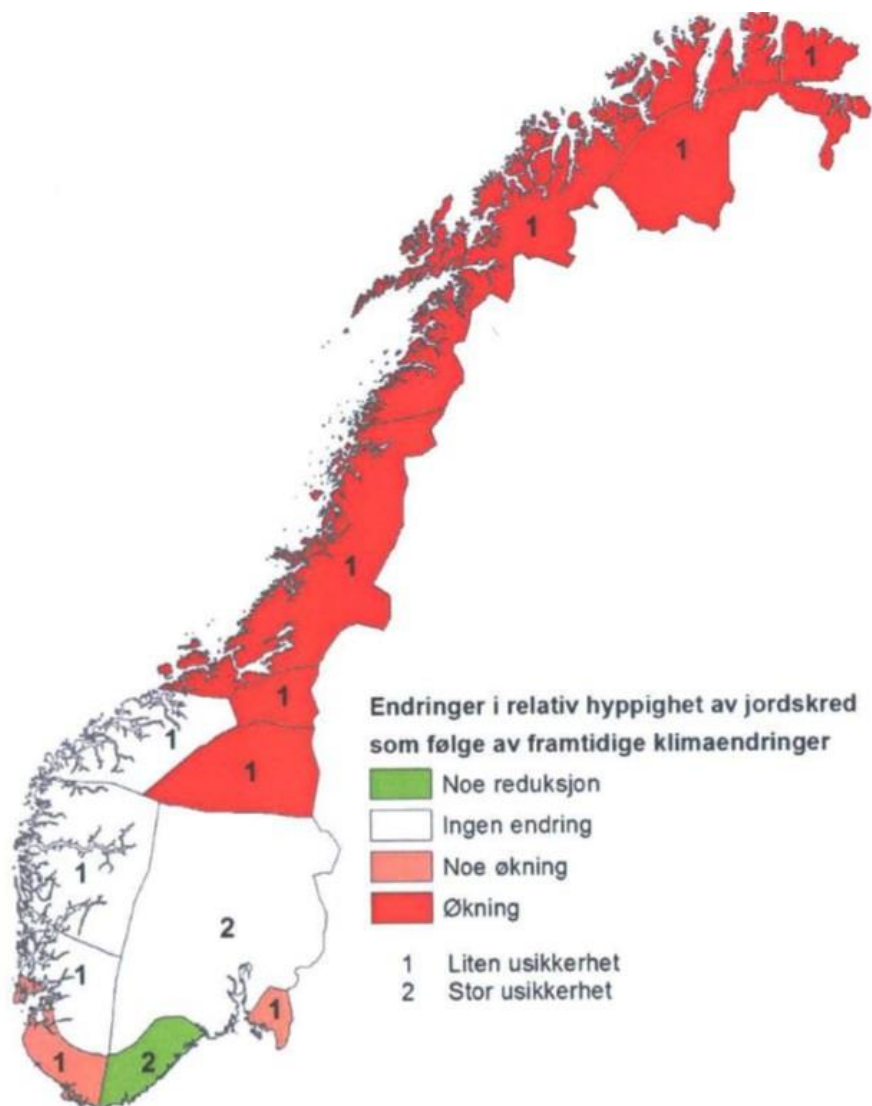
Figur 5.5: Ett-døgns nedbørsverdier som ble overskredet i 1 % av tilfellene i normalperioden 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al., 2009).

Nedbørsscenariet indikerer at den nedbøren som anses å være ekstrem i dag, blir mer vanlig i fremtiden. Det forventes en svak økning i 1-dags ekstrem nedbør i Norge de neste 25 årene, med en større økning i perioden 2025-2050. Størst økning vil oppleves på Vestlandet, i Sør-Trøndelag og Nord-Norge. Det antas også at den månedlige nedbøren får mer ekstreme verdier (Førland et al., 2007b).

Figur 5.4 viser estimerte ett-døgns nedbørsverdier med returperiode på 5 år. De store lokale variasjonene i vær-situasjonen i Norge gjør at nedbørsverdier dimensjoneres forskjellig over landet, basert på normalperioden. Indre dalstrøk på Østlandet er ett-døgns nedbørsverdier mindre enn 40 mm, mens på Vestlandet og i Nordland er påregnelig verdi over 130 mm (Førland et al., 2007b). Figur 5.5 viser ett-døgns nedbørsverdier som ble overskredet med 1 % av tilfellene i normalperioden 1961-1990. Det ble i midlertid funnet at nivået var 5 % høyere enn normalperioden på Sør-Vestlandet, i perioden 1975-2004 (Hanssen-Bauer et al., 2009).

5.3 Endringer i skredhyppighet

Skredhyppigheten antas å øke med et endrende klima med høyere temperaturer og større nedbørsmengder. Det antas at frekvensen av jordskred øker fra Trøndelag og nordover, mens det er liten endring i Sør-Norge (Kronholm og Stalsberg, 2009). En analyse av 1136 registrerte jordskred, basert på Nasjonal skredatabase, viser hvordan økt nedbør påvirker ulike regioner i Norge. Det fremkommer av analysen at nedbørsmengden på skreddagen er den viktigste faktoren på vestkysten av Norge, mens det i sørlige deler av Norge er det mengde nedbør i løpet av de siste 10 til 30 døgn som utgjør den viktigste faktoren. Den totale nedbørsmengden de siste 3 til 10 døgn er viktigst for innlandsområdene (Førland et al., 2007b). En tommelfingerregel indikerer at dersom mer enn 8 % av årsnedbøren kommer i løpet av ett døgn, er det fare for jordskred (Kronholm og Stalsberg, 2009).



Figur 5.6: Endringer i skredhyppighet som følge av klimaendringer (NVE, 2011a).

Som illustrert i figur 5.6 forventes det en økning i jordskredfare fra Dovre og nordover, samt en liten økning på Sør-Vestlandet og i områder øst for Oslofjorden. Dette er områder hvor det forventes størst økning i ett-døgns nedbørsverdier (figur 5.4), og hvor korttids- og intens nedbør er den viktigste utløsningsmekanismen for jordskred (Førland et al., 2007b; Sygna et al., 2004).

En annen faktor er endringer i vegetasjonen som følge av klimaendringene. Med et varmere og våtere klima vil tregrensen stige høyere og føre til mer og tettere vegetasjon lengre opp mot fjellene. Dette vil kunne redusere skredfaren ved at vegetasjonen virker stabiliserende for skrånninger (Kronholm og Stalsberg, 2009). Vegetasjonens påvirkning er beskrevet i kapittel 3.4.1 *skråningsstabilitet*.

6. Metode

6.1 Feltbefaring

En befaring av skredlokaliteten i Soknedal ble utført 16. juli 2013 i samarbeid med Jernbaneverket. Under befaringen ble det foretatt materialprøver² tatt på ulike steder i skredområdet. Prøvelokalitetene ble også markert på kart ved bruk av GPS.

Formålet med befaringen var å se nærmere på utløsningsområdet og skredbanen for å få innsikt i hvordan skredet oppsto, og samtidig se hvordan den nye fyllingen er bygget opp og hvilke tiltak som ble utført etter skredhendelsene 13. og 14. mars 2012.

6.2. Nedbørsdata

Nedbørsdata som er benyttet i oppgaven er hentet fra eKlima.no og SeNorge.no.

eKlima.no er Meteorologisk institutts klimadatabase som inneholder værdata fra alle målestasjoner som er i drift i dag samt tidligere målestasjoner tilknyttet Meteorologisk institutt. eKlima.no er benyttet for å hente ut nedbørsdata i Soknedal for de siste 6 årene.

For normalverdier for siste normalperiode (1961-1990) er data fra Støren målestasjon benyttet, dette på grunn av at målestasjonen i Soknedal ikke var i drift før 2007. Disse data er også hentet fra eKlima.no.

SeNorge.no, et samarbeid mellom NVE, Meteorologisk Institutt og Kartverket, leverer døgncart basert på observerte og interpolerte temperaturer og nedbør. Døgncart fra 1957 frem til i dag er tilgjengelig. SeNorge.no er benyttet for å hente ut kart og data over nedbørsmengde i Soknedal mars 2012, samt teledyp, jordens vannlagerkapasitet og jordens vannmetning.

6.3 Kart og litteratur

Kart ble benyttet for å se nærmere på terrenget med hensyn til bratthet og eventuelle raviner i området. Kartene er laget av Statens Kartverk ved laserskanning, og er fremstilt av Rengifo Ortega ved NVE.

Laserskanning ved bruk av avstandsmåling fra fly er i dag en vanlig måte å bruke for å samle inn høydedata. Resultatet av en laserskanning er klassifisert punktsky på et standardformat (LAS) (kartverket.no, 2012). Ulike punkt som terreng, bruer og støypunkt blir levert i egne klasser, mens øvrige punkt som vegetasjon og bygninger blir levert som uklassifisert. Fra de

² Materialprøvene ble ikke analysert.

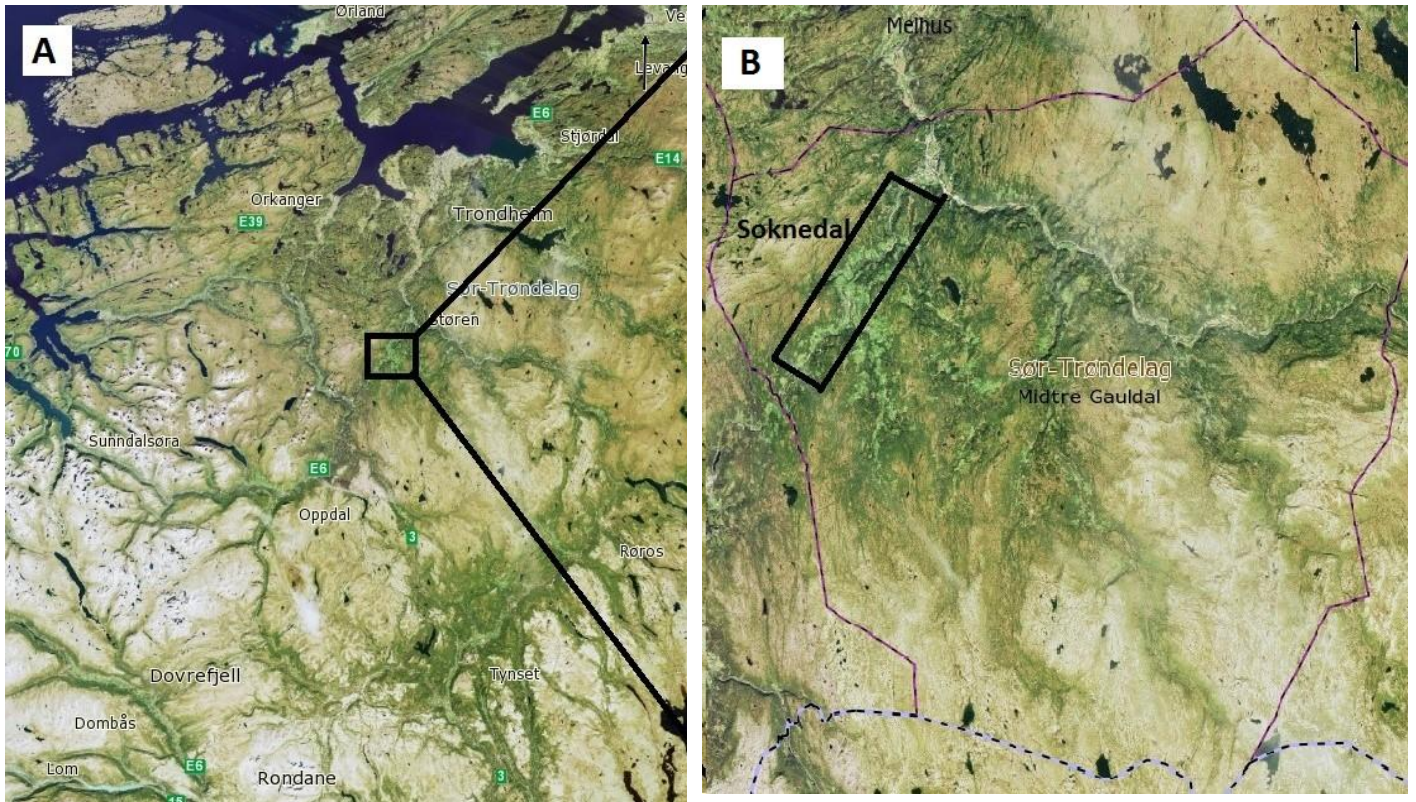
klassifiserte punktskyene kan det etableres både digitale terrengmodeller (DTM) og digitale overflatemodeller (DOM) (Kartverket, 2014).

Kartene som er benyttet i denne oppgaven er digitale terrengmodeller (DTM) basert på lidardata fra Statens Kartverk. Oppløsningen på DTM er en gjennomsnittlig punkttetthet på 2 punkt per kvadratmeter, som er den vanligste punkttettheten som brukes i Norge på lasdata (Kartverket, 2014).

Jernbaneverket har gitt tilgang til litteratur som omfatter jernbanen og skred, data og bilder fra skredhendelsene i Soknedal.

7. Områdebeskrivelse

Soknedal ligger i Midtre Gauldal kommune i Sør-Trøndelag fylke. Soknedalen er et dalføre som går i en Sør-Nord retning mot Støren. Gjennom dalføret renner elva Sokna som springer ut fra Stavilla og Igla, og er en av flere sideelver til Gaula (Hjort, 2013).

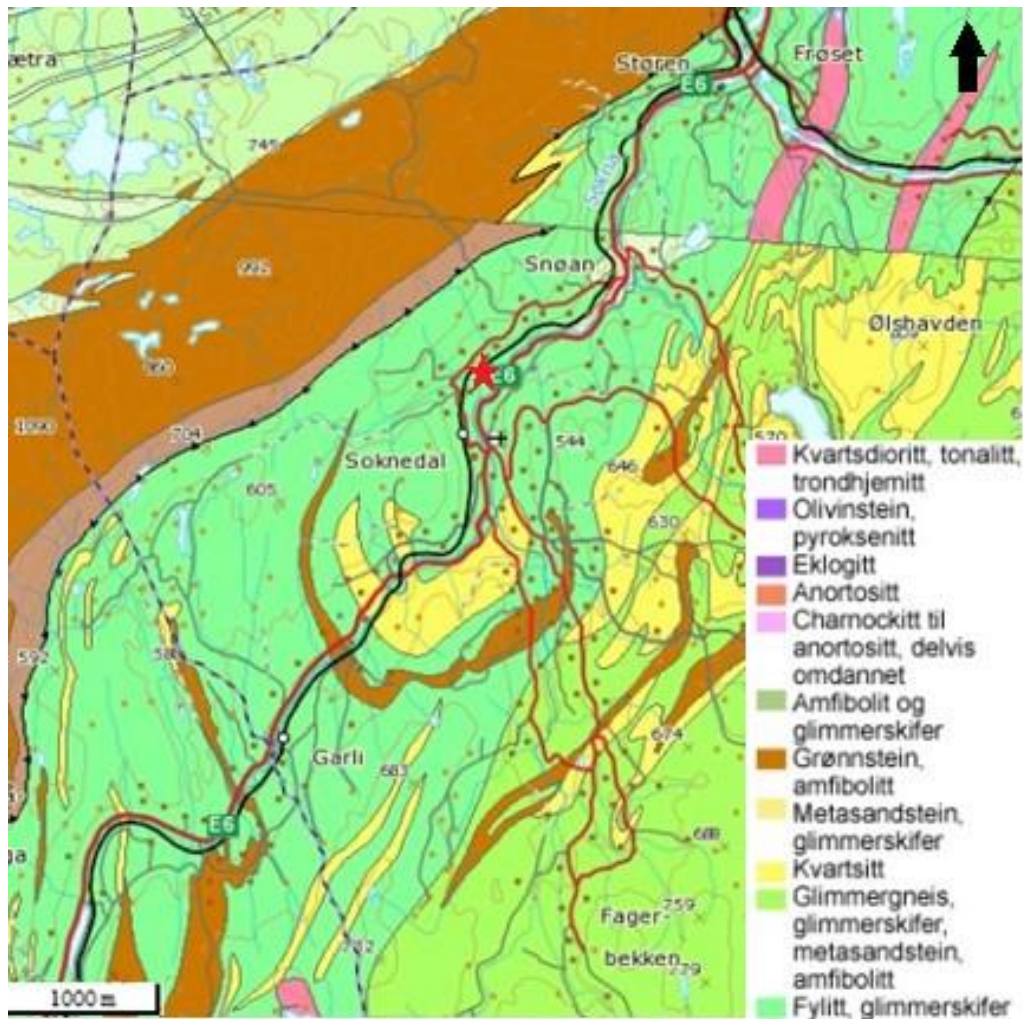


Figur 7.1: Midtre Gauldal kommune ligger i Sør-Trøndelag fylke (A), Soknedal er et dalføre som går i sørvest-nordøstlig retning i Midtre Gauldal kommune (statkart.no, 2014).

Gjennom Soknedal går også Europavei 6 og Dovrebanen følger dalsiden.

7.1 Berggrunnen i Soknedal

Berggrunnen i Soknedal tilhører Størendekket, et av de tidlig skjøvet tektoniske enhetene til Trondheimsfeltet som ble skjøvet i en øst-sørøstlig retning under den kaledonske fjellkjedefoldningen. Bergartene i området er metamorfe sedimentære bergarter av ordovicisk eller silurisk alder (Fosen et al., 2007). Berggrunnskartet (figur 7.2) fra Norges geologiske undersøkelse (NGU) og tilhørende legende, viser at berggrunnen i Soknedal domineres av fyllitt og glimmerskifer, med innslag av kvartsitt og grønnstein.



Figur 7.2: Berggrunnskart med legende over Soknedal, hvor rød stjerne markerer lokaliteten for skredhendelsen 13. og 14. mars 2012 (NGU, 2013a).

Fyllitt og glimmerskifer er begge metamorfe bergarter vanligvis dannet under regionalmetamorfose, som ved fjellkjedefoldning. Fyllitt er svakt metamorf leirskifer som hovedsakelig er bygd opp av muskovittmineraler, men som også kan inneholde biotitt med kloritt og kvarts. Glimmerskifer er dannet ved relativ høy metamorfosegrad, og er en sterkere metamorf leirskifer enn fyllitt, hvor glimmermineralene er mer velutviklet. Bergarten er bygget opp av muskovittmineraler eller biotittmineraler, kvarts og kan også inneholde granat (Jensen, 2006). Begge bergartene er svake, og skifrige bergarter som kan føre til oppsprukket berg. De er også relativt lett forvitrete bergarter. Mineralogien vil være en viktig faktor i hvor lett forvitret bergartene er, i tillegg til bergartenes struktur. Lyse mineraler er i hovedsak mer motstandsdyktige mot forvitring, enn mørke mineraler (Brattli,

2000, s. 8; Prestvik, 2001, s. 114). Muskovitt vil være noe mer motstandsdyktig enn biotitt, dermed vil glimmerskifer med biotitt være mer lett forvitret enn fyllitt.

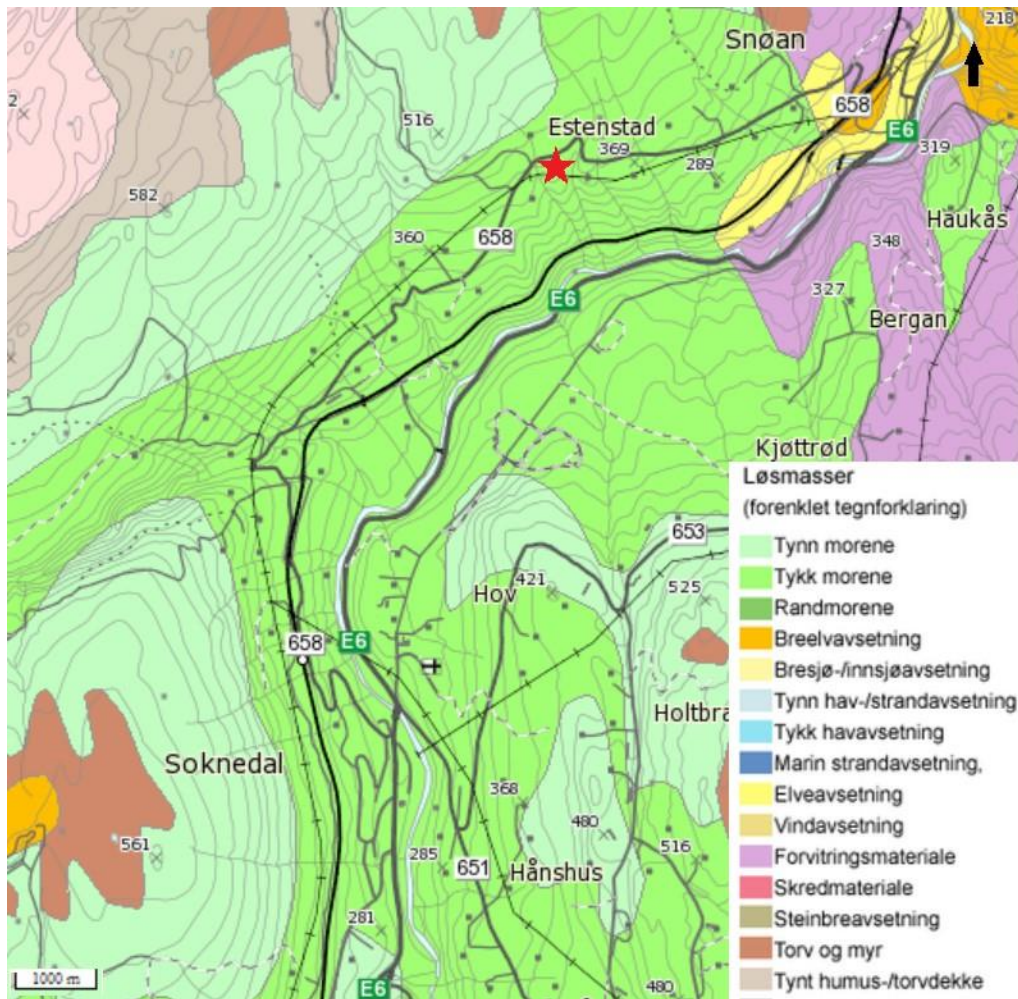
Jernbanen følger Soknedalens vestsida, hvor løsmassedekket er tykt og det i liten grad er synlig fast fjell. Tabellen (tabell 7.1) viser bergartsfordelingen på jernbanestrekningen fra Garli til Støren.

Tabell 7.1: Bergartsfordelingen langs strekningen Garli-Støren (etter Sweco, 2011).

Km	Bergart
482.3 – 482.5	Fyllitt og glimmerskifer
483.0 – 492.5	
493.0 – 501.0	
482.5 – 483.0	Båndet kvartsitt
492.5 – 493.0	Gråvakke og konglomerat

7.2 Løsmasser

Løsmassene man finner i Soknedalen i dag, er dannet i kvartærtiden og er et resultat av isen som dekket store deler av Skandinavia og Europa under den siste istid. Soknedalen er dominert av et tykt dekke av morene, trolig avsatt som bunnmorene (Sweco, 2013). Isen fulgte ikke dalførets retning før i slutten av avsmeltingsperioden, men beveget seg vestover. Vestsida av Soknedal ble isens støtsida som har resultert i at det er avsatt et tykt dekke av overkonsolidert morene i dalens vestsida, mens østsida hovedsakelig er preget av fast fjell (Sweco, 2013). Det kvartærgeologiske kartet fra NGU (figur 7.3) viser fordelingen av løsmassene i Soknedal.

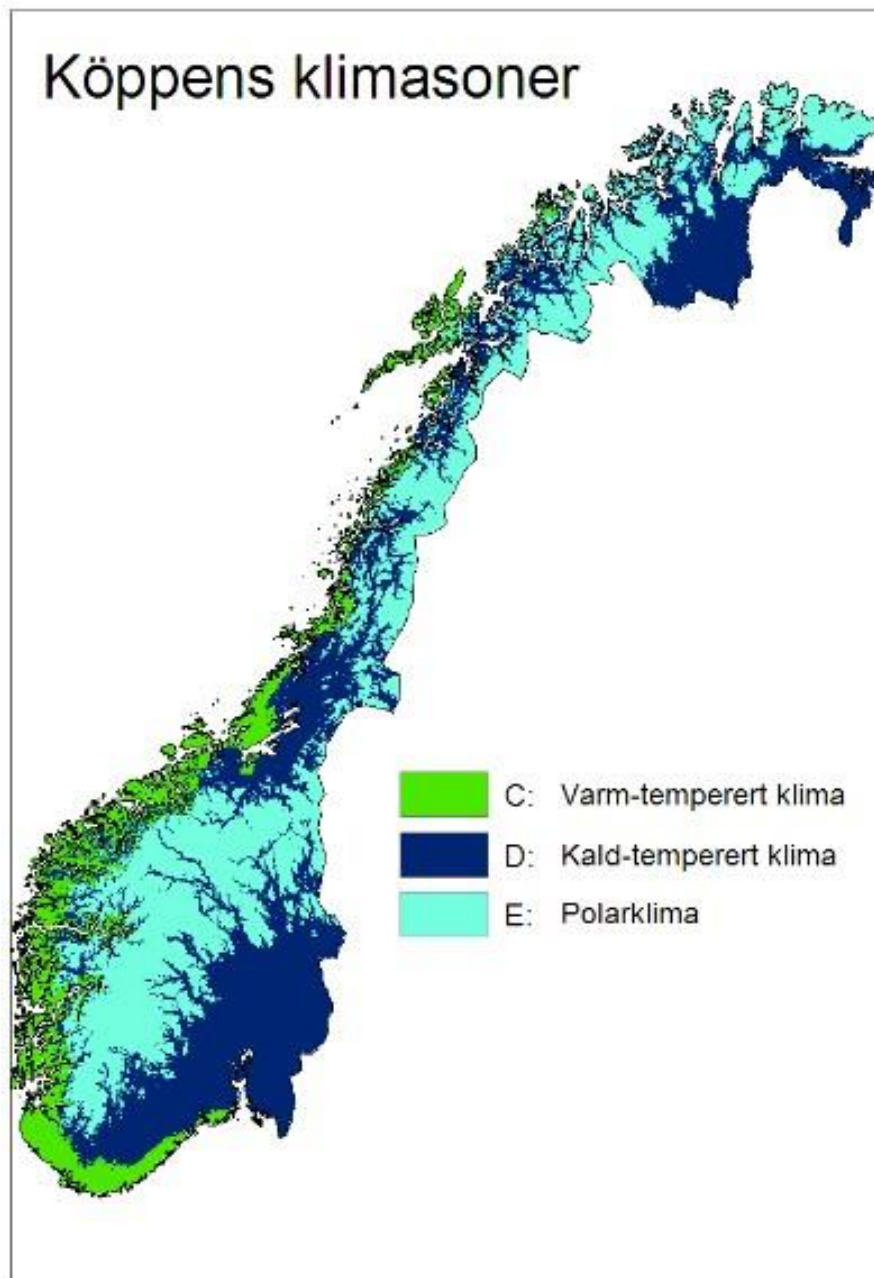


Figur 7.3: Kvartærgeologisk kart med legende over Soknedal, rød stjerne markerer lokaliteten for skredhendelsene 13. og 14. mars 2012 (NGU, 2013b).

Morenematerialet i Soknedal er meget finkornet, og betraktes som morenesilt eller moreneleire. Kildebergartene, fyllitt og glimmerskifer, er svake bergarter og lite motstandsdyktige, noe som førte til dannelse av mye finstoff under isens erodering (Jernbaneverket, 2000).

7.3 Klimatiske forhold

Norge er delt inn i ulike klimasoner etter Köppens klimaklassifisering, hvor store deler av innlandet faller inn under sonen med kaldt-temperert klima. Kyststrøkene har varmt-temperert klima, mens indre deler av Finnmark og fjellområdene har polarklima. Soknedalen har ifølge denne inndelingen et kaldt temperert klima, hvor temperaturen i årets kaldeste måned er under $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, og den varmeste over $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (figur 7.4) (Meteorologisk institutt, 2009).



Figur 7.4: Kart over de ulike klimasoner i Norge etter Köppens klimaklassifisering (meteorologisk institutt, 2009).

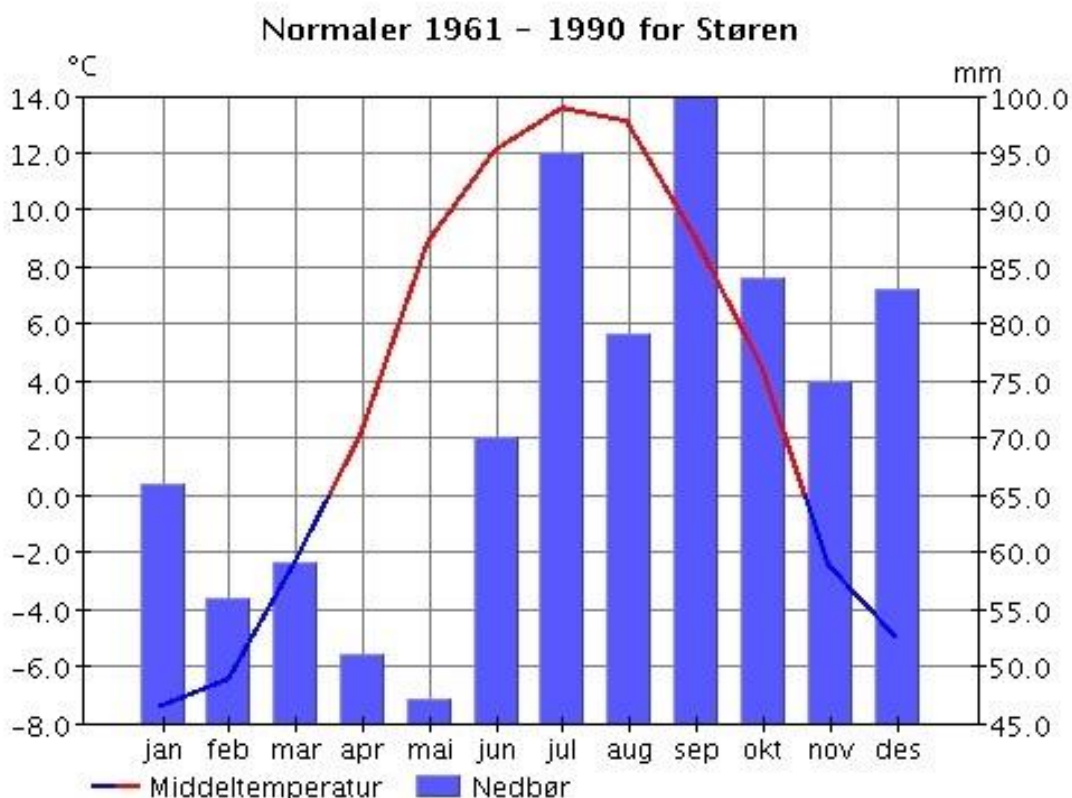
Soknedalen ligger et stykke inn i landet og har et innlandsklima med preg av kystklima. Klimaet påvirkes også av topografien i området. Soknedalen er et bratt og smalt dalføre som påvirker lavtrykkene som kommer inn i dalen (Sweco, 2013). Typisk for innlandsklima er konvektiv nedbør i de varmere månedene, hvor bakken blir oppvarmet, og luften stiger og kondenserer vanndampen til nedbør (Karlsen og Solerød, 2006, s. 98).

For å kunne utarbeide en beskrivelse av klimaet i Soknedalen, med fokus på nedbør og temperatur, er det nyttig å vurdere temperatur- og nedbørnormaler. Disse er et

gjennomsnitt av nedbør og temperaturer for den siste normalperioden 1961 -1990 som fortsatt er i bruk i dag. Figur 7.5 viser temperatur- og nedbørnormaler for målestasjonen på Støren i normalperioden. Soknedal har egen målestasjon, men denne ble ikke tatt i bruk før i 2007 (eKlima.no, 2013). Derfor vil data fra nærmeste målestasjon benyttes for å se på tidligere klima.

Månedene mai til september forventes å ha de høyeste temperaturene, med juli som absolutt varmest. Gjennomsnittstemperaturen i juli ligger opp mot 14 °C. Laveste temperaturer forventes i månedene desember til februar, hvor januar er den kaldeste måned, med en gjennomsnittlig temperatur på rundt – 8 °C.

Når det gjelder nedbørsmålingene, fremgår det av figuren at mest nedbør faller i månedene juli til september. September har en gjennomsnittlig nedbørsmengde på 100 mm. Mai måned er til motsetning den tørreste, med en gjennomsnittlig nedbør på 47 mm.



Figur 7.5: Normalverdier for nedbør og temperaturer i perioden 1961-1990 for Støren (eKlima.no, 2013).

7.4 Vegetasjon

Vegetasjonen i Soknedalen domineres av bjørk og or, i tillegg finnes det flere forskjellige bregner, gress og andre småvekster (Jernbaneverket, 2000). Det er store lokale variasjoner i vegetasjonen i Soknedal som kan tyde på lokale variasjoner også i jordsmonnet. Tabellen (tabell 7.2) viser en oversikt over hvilken type vegetasjon som dominerer langs ulike deler av jernbanestrekningen.

Tabell 7.2: Vegetasjonsfordelingen langs jernbanen i Soknedal (etter Jernbaneverket, 2000).

Km	Vegetasjon
481 – 484	Bjørk
489 – 491	Or
494 – 496	Bjørk

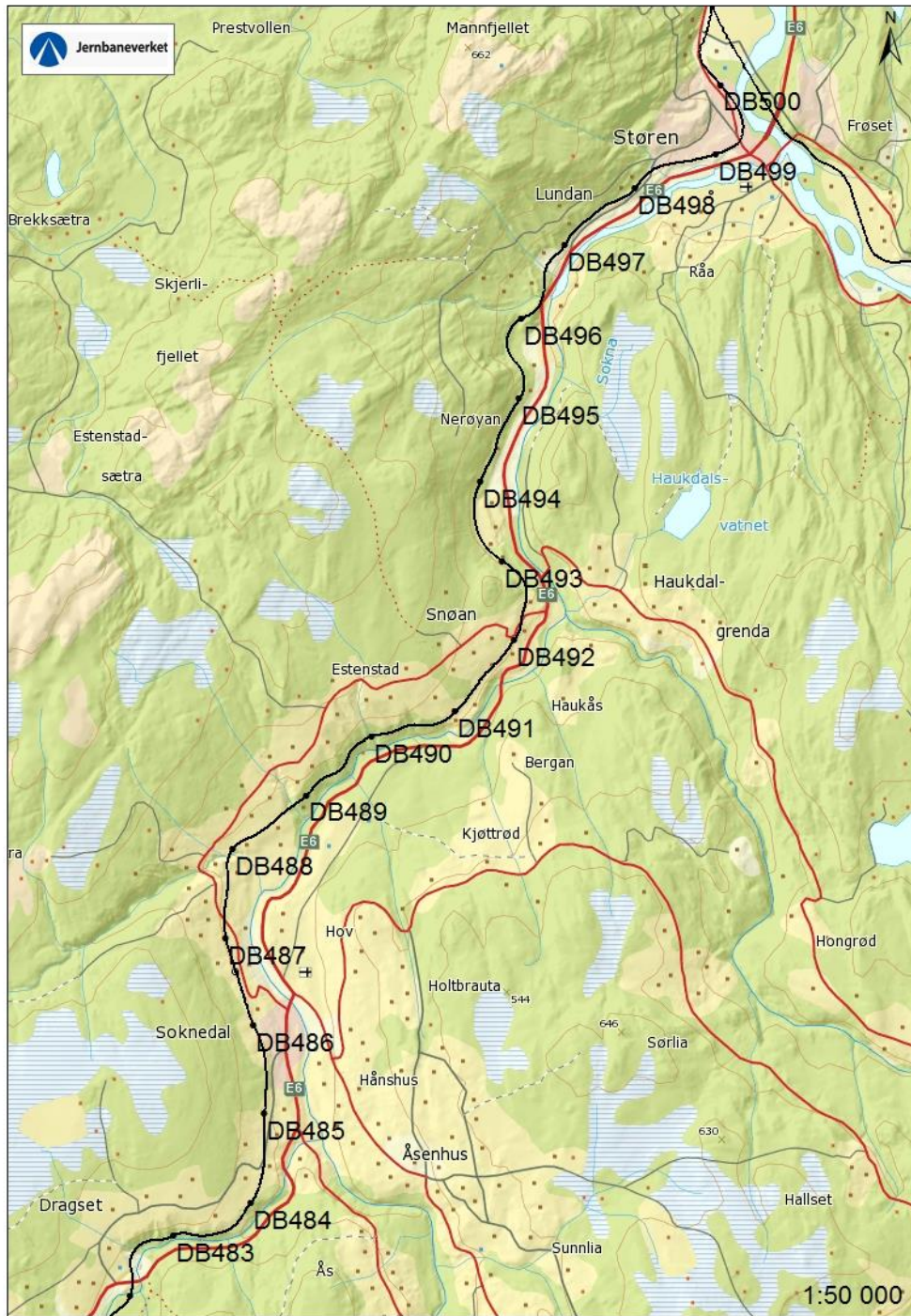
Or er en tresort som råtner lett og kan velte. Bjørk råtner ikke like lett som or, men kan imidlertid vokse seg stor og velte som følge av for eksempel vind. Dette vil føre til en utfordring for skråningsstabiliteten i området, siden trær som velter kan tette grøfter og stikkrenner. Når røtter dras opp av bakken vil dette føre til at vannet lettere kan trenge ned i grunnen og erodere i løse masser. Småvekstene i Soknedal gir ingen armerende effekt på jorda, men vil kunne beskytte mot en del av nedbøren som kommer. Imidlertid vil også slike tette småvekster føre til mindre sollys til bakken, slik at det blir vanskeligere vekstforhold for andre planter, noe som gjør jorden mer sårbar for erosjon (Jernbaneverket, 2000).

I tillegg til vegetasjonen i Soknedal, er det også en god del dyrket mark, spesielt i øvre del av dalsiden (Sweco, 2013).

8. Skredhistorikk i Soknedal

Helt siden Dovrebanen åpnet i 1921 har jernbanen vært utsatt for flere skredhendelser. I anleggstiden ble det rapportert om flere utglidninger og ustabilitet langs jernbanelinjen. De stedlige morenemassene i området har ført til flere utglidninger og under byggingen av jernbanen ble disse massene erstattet med myrjord. Myrjord fungerer som en svamp og tar opp mye vann fra nedbør og snøsmelting. Dette førte dermed til en ytterligere oppbløtning av massene og deretter også flere utglidninger. Myrjord ble imidlertid erstattet med sand og grus på grunn av de gjentatte utglidningene. Under anleggstiden ble dynamitt benyttet for å løsne masser. Dette førte til gropdannelser hvor vannet hadde lett for å trenge inn i jorden og føre til utglidninger. I 1926 ble det foretatt grunnundersøkelser av jernbanelinjen i Soknedal hvor man konkluderte med at grunnforholdene bestående av fin leirholdig sand, tilsynelatende var stabile og meget fast. Det ble derimot konkludert med at de topografiske forholdene med høye fyllinger og store skjæringer var årsak til ustabiliteten i området (Rosenlund, 1927).

Dovrebanen mellom Berkåk og Støren, følger dalsiden i Soknedal. Strekningskartet viser km anvisningene til jernbanen gjennom dalføret.



Figur 8.1: Strekningskart gjennom Soknedal. Kartet er også gitt som vedlegg A (fremstilt av Jernbanelinjen).

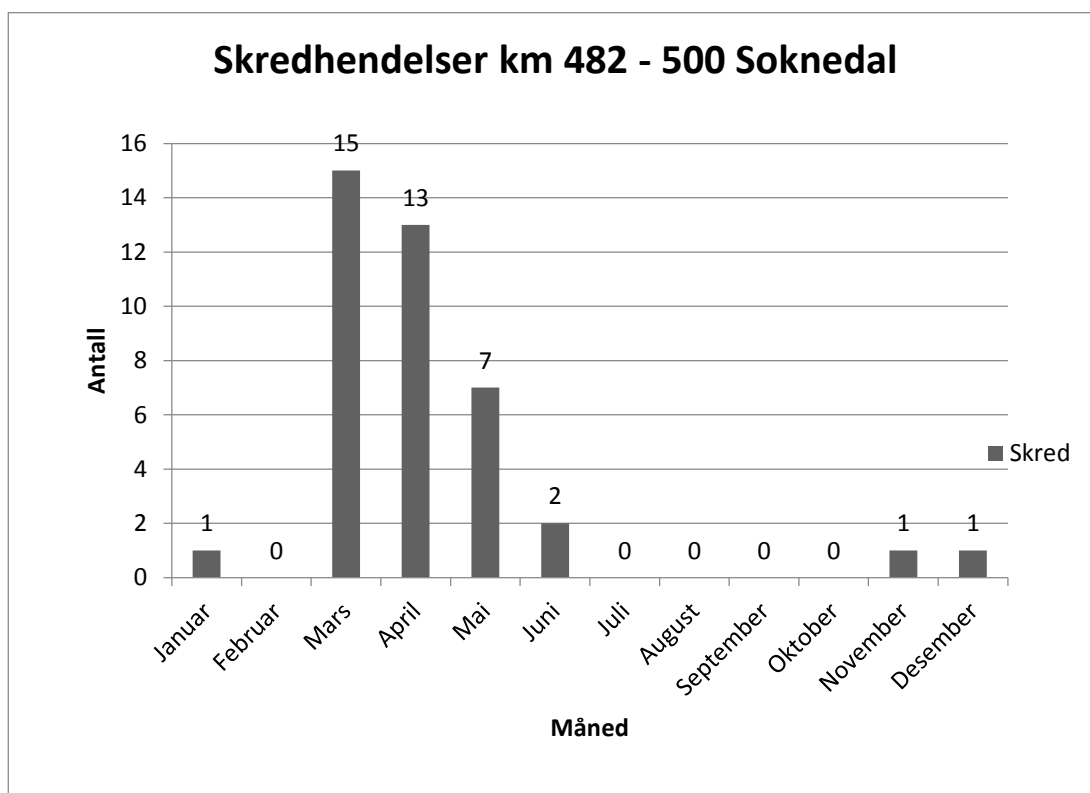
Jernbanen gjennom Soknedal preges av til dels svært bratte skråninger. Helningen varierer mellom 20 °- 45 ° til 30 °- 45° i bekkedaler ned mot sporet (Sweco, 2013).

Moreneskråningene i Soknedalens vestsida har helningsvinkler på opptil 40 ° hvor jernbanen

skjærer i gjennom. Skjæringene og fyllingene som ble anlagt under byggingen av banen har helningsvinkler på opp til 34 °. Antageligvis ble disse bygget så bratt som praktisk mulig på grunn av tids- og arbeidskrevende masseforflytninger (Jernbaneverket, 2001). Elveerosjon er også en årsak til de bratte skråningene i Soknedal. Elva Igla/Sokna har erodert seg ned i grunnen, slik at skråningene ofte er mer enn 100 m høye (Sweco, 2013).

8.1 Generelt om skredene i Soknedal

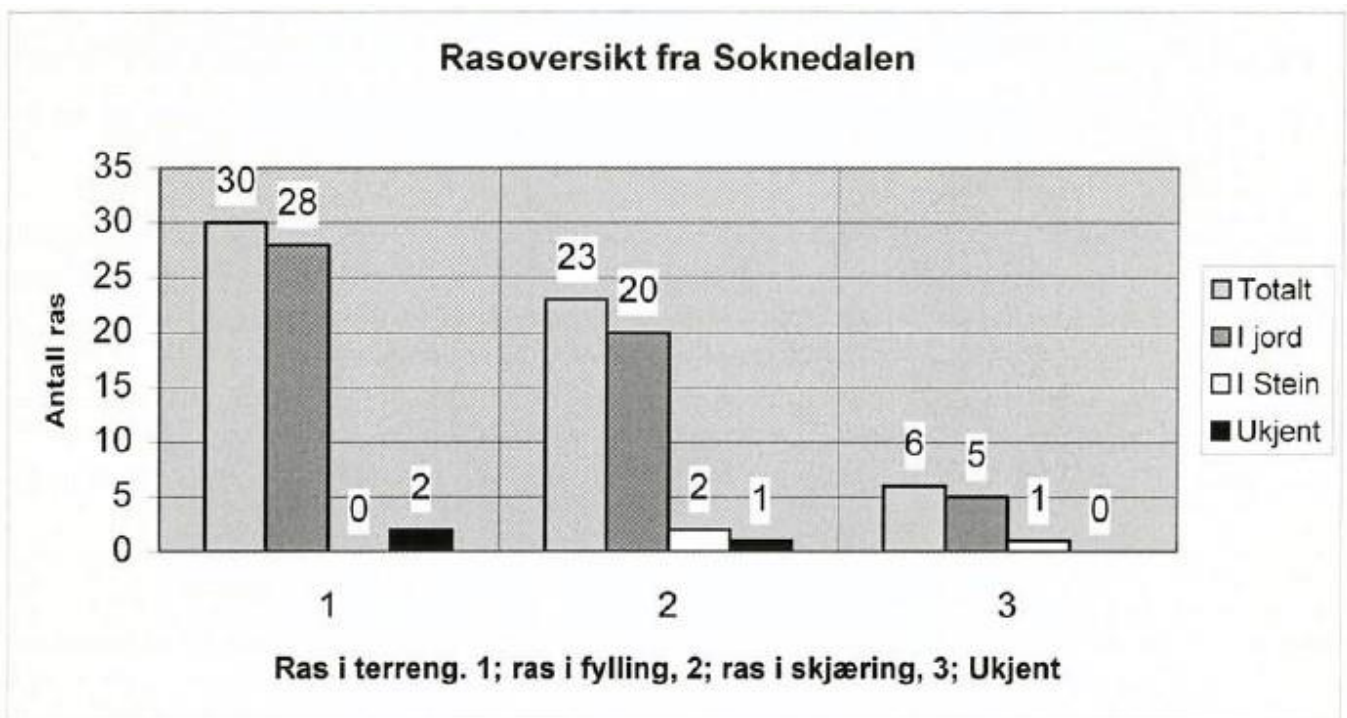
De fleste skredene i Soknedal oppstår om våren, som viser at skredene i stor grad er knyttet til nedbør og sterk snøsmelting, med tilhørende oppbløtning av jorda. Ofte oppstår disse i sammenheng med liten eller ingen tele i bakken. I april 1965 oppsto det sprekkedannelse og glidninger på hele 13 steder i Soknedalen, og i mai 1976 ble 2 mindre skred utløst og raste ned på linja. Felles for disse årene var snørike vintre og mye regn om høsten, i tillegg til lite tele i bakken (Jernbaneverket, 2001). Lite eller ingen tele fører til at jordmasser blir lettere oppbløtt under snøsmelting og nedbør, og er av den grunn mer utsatt for skredaktivitet (Jernbaneverket, 2000). Figuren (figur 8.2) viser skredhendelser frem til 2013 fordelt på måned. Det fremkommer meget tydelig at de fleste skredene oppstår i vårmånedene.



Figur 8.2: Fordeling av skredhendelser i Soknedal fordelt på måned. Basert på data fra jernbaneverket, vedlegg B..

Jordmassene i Soknedalens dalsider er overkonsoliderte, slik at det kun er den øverste meteren som er vannførende og utsatt for utglidninger. Topplaget er vannførende på grunn av blant annet rotsystemer og tele, som gjør den er mer porøs. Dette fører til at utglidningene som oppstår blir grunne og av relativt lite volum (Jernbaneverket, 2000). Skredene er dermed begrenset til topplaget ned til 1 meter dybde, og kan betraktes som overflateskred (Sweco, 2013).

8.2 Skred i fyllinger og skjæringer



Figur 8.3: Rasoversikt, fordelt på fyllinger og skjæringer (Jernbaneverket, 2000).

Figuren (figur 8.3) viser en oversikt over hvor skredene oppstår. De registrerte skredene har enten påvirket banelegemet, eller blitt observert fra banelegemet på strekningen Bjørset til Støren. Skredoversikten inkluderer ikke skjæringskred som ikke kan observeres fra banelegemet.

8.2.1 Skred i fylling

Av de registrerte skredhendelsene, oppsto 51 % i fyllinger. Skred i fyllinger er den type skred som kan få størst konsekvens for tog og jernbanen. Disse oppstår som kjent i forbindelse med nedbør og sterk snøsmelting i vårmånedene. I en ensidig fylling, det vil si skjæring eller skråning på den ene siden og fylling på den andre siden, vil fyllingen få tilført vann fra

skjæringen over, med mindre det er linjegrøfter som er i funksjon. Vannet fra skjæringen vil trenge inn i banelegemet og føre til en trykkoppbygging dersom det er tettere lag på utsiden. Når trykket blir stort nok vil massene gli ut.

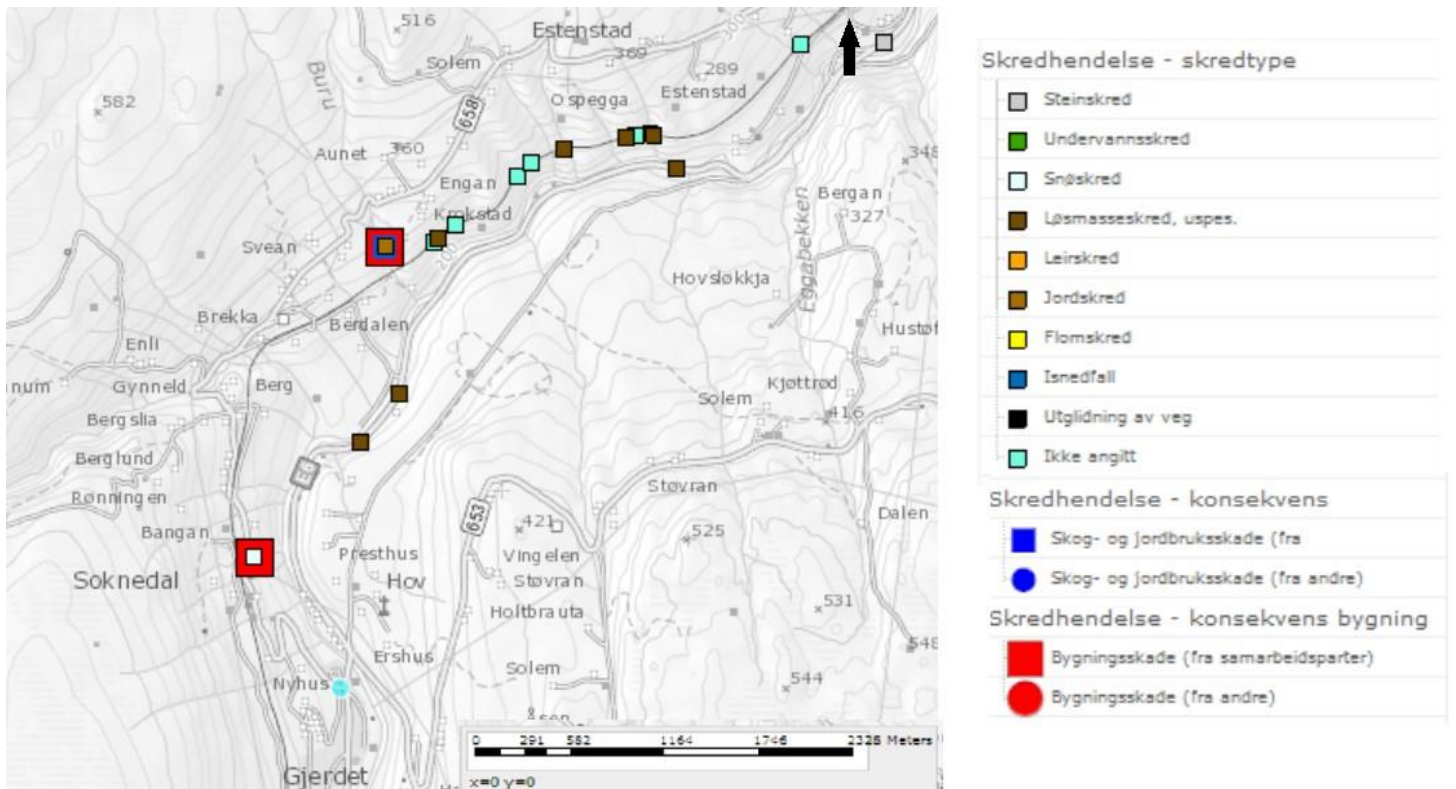
Skred i en tosidig fylling kan føre til at hele eller deler av nedsiden glir ut. Skred i en tosidig fylling, hvor banen ligger på en topp som faller til begge sider, kan forekomme ved at vann renner langs underbygningen helt til det møter tettere masser. Da vil vannet bygge opp et trykk som til slutt fører til utrasing av massene. Skred i slike fyllinger kan også oppstå ved at vannet renner oppå tettere masser til de møter mer porøse. Vannet vil perkolere i disse porøse massene og bygger opp et trykk når de igjen møter tettere masser. Skred i en tosidig fylling som fører til utrasing av hele fyllingen, oppstår vanligvis når det demmes opp vann på innsiden av fyllingen, på grunn av tette stikkrenner (Jernbaneverket 2000).

8.2.2 Skred i skjæring

Skred i skjæringer utgjør 39 % av de registrerte skredhendelsene i Soknedal. Skred i skjæringer vil si skred som går på oversiden av jernbanen og som raser ned mot banelegemet. Det skilles ikke her mellom skred i skjæringer og skråninger ettersom det er vanskelig å skille disse typene i Soknedal. Selv om skred i skjæringer kan gå over jernbanen, utgjør ikke disse spesielt stor fare for tog og jernbanen sammenlignet med skred i fyllinger. Tog kan i de fleste tilfeller passere skredmassene uten større skader. Det gjennomføres også saktekjøring på strekningen i den tiden hvor skredaktiviteten er størst, for å forhindre at eventuelle skred skal utgjøre stor skade. Skred i skjæringer kan imidlertid tette igjen stikkrenner noe som fører til en oppdemming av vann på innsiden av fyllinger og som kan resultere i skred (Jernbaneverket, 2000). Dette skjedde sist i 2012 hvor en slik oppdemming førte til at fyllingen skled ut.

8.3 Registrerte skredhendelser fra 1953 til 2013

Kartutsnittet fra skrednett.no (figur 8.4) viser skredhendelser i Soknedal, hvor nesten alle skredhendelsene kan se ut til å ha tilknytning til jernbanen. Jernbaneverket har en oversikt over registrerte skredhendelser fra km 482.480 til 499.200 som tilsvarer strekningen i Soknedal fra 1953 frem til 2013. 40 skredhendelser er registrert.



Figur 8.4: Kartutsnitt over skredhendelser i Soknedal med legende. Skredhendelser er markert med firkanter med ulike farger etter type skred (skrednett.no, 2014).

Tabell 8.1: Tabell over registrerte skredhendelser mellom km 482 – km 500. Tabellen er gitt i vedlegg B.

Km	Tidspunkt	Volum av rasmasser	Lengde av berørt linje	Beskrivelse av rassted
482.480	25.03.1953	>500 m ³		Fylling
482.560	23.04.2000	5-25 m ³	10-30m	Halvskjæring
482.600	12.05.1997	25-100 m ³	10-30m	Halvskjæring
482.650	21.04.2000	5-25 m ³	Ukjent	Halvskjæring
482.700	01.04.1990	25-100 m ³		Fylling
482.850	08.05.1995	25-100 m ³	10-30m	Fylling
482.880	24.03.1953	100-500 m ³		
482.880	08.05.1995		10-30m	Fylling
483.030	24.03.1953	100-500 m ³		
483.200	24.03.1953	100-500 m ³		
483.450	13.03.2012	25-100 m ³	<10m	Halvskjæring
483.600	21.04.2000	25-100 m ³	10-30m	Fylling
489.100	24.03.1953	100-500 m ³		
489.130	12.04.1989	25-100 m ³		Halvskjæring
489.250	24.03.1953	100-500 m ³		
489.700	21.04.2000	25-100 m ³	10-30m	Fylling
489.700	24.03.1953	25-100 m ³		

489.800	24.03.1953	100-500 m ³		
490.000	06.04.1965	>500 m ³	30-100m	Fylling
490.230	13.03.2012	>500 m ³	30-100m	Fylling
490.350	11.04.1976	100-500 m ³	Ukjent	Skjæring
490.350	04.04.1987	5-25 m ³	<10m	Halvskjæring
490.400	14.01.1992	100-500 m ³		Fylling
490.400	24.03.1953	100-500 m ³		
490.400	14.12.1987	25-100 m ³	<10m	
490.401	17.03.1990	25-100 m ³	<10m	Halvskjæring
490.480	19.04.1965			Fylling
490.500	21.04.2000	25-100 m ³	10-30m	Fylling
491.500	24.03.1953	100-500 m ³		
492.150	24.03.1953	25-100 m ³		
493.500	19.06.2010	25-100 m ³	>100m	Halvskjæring
494.070	27.04.2012	25-100 m ³	<10m	Halvskjæring
494.600	17.04.1965			
494.700	10.05.1976			Fylling
495.600	02.11.1983			Fylling
495.700	13.05.1981			Linje i terrengnivå
495.840	08.05.1988			Fylling
496.106	18.06.1986			Tunnel
497.080	24.05.1976			Halvskjæring
499.200	26.03.1953	100-500 m ³		

Statistikken over skredhendelser fra 1953 og frem til 2013, viser at størrelsen på skredene varierer fra 5- 500 m³. De fleste skredhendelsene, 34 %, er i størrelsesorden 25-100 m³, mens 27 % er i størrelsesorden 100-500 m³. 7 % av de i alt 41 skredhendelsene de siste 60 årene har vært større enn 500 m³.

Nær 50 % av skredhendelsene har berørt jernbanelinjen, og i 37,5 % av tilfellene har det oppstått en utrasing av banelegemet, eller skader på underbyggingen (Sweco, 2013).

9. Skredsikring langs Dovrebanen

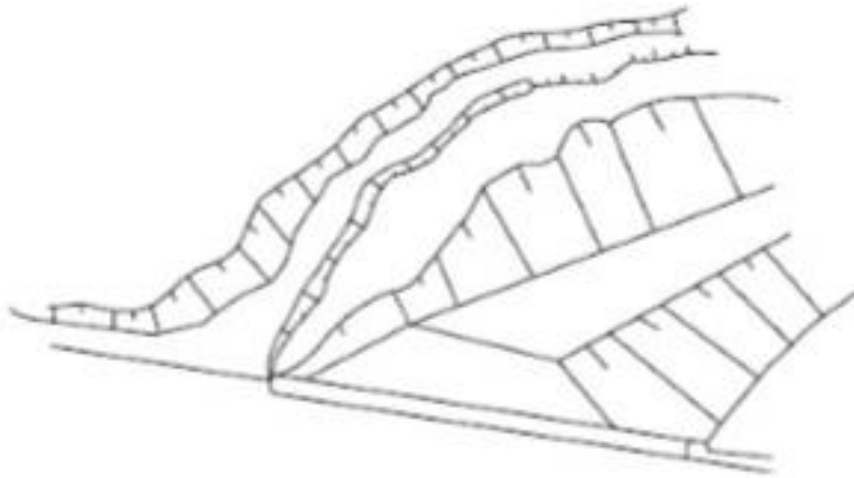
9.1 Drenering

Dreneringsanleggets hensikt er å holde banelegemet drenert ved å samle opp, og lede bort overflatevann og grunnvann. Dreneringsanlegget skal også sikre underbyggingen mot erosjon, oppbløtning, nedsatt bæreevne og stabilitet. Et dreneringsanlegg inkluderer blant annet terrenggrøfter (overvannsgrøfter), vertikalgrøfter, linjegrøfter og stikkrenner. (Jernbaneverket, 2014).

9.1.1 Terrenggrøfter

Dalsidene i Soknedal er lange og bratte, og store deler av området er dyret mark. Dette fører til at mye vann kan tas opp av jorden og transporteres nedover. Terrenggrøfter er av den grunn lagt i skråningene og skjæringene over jernbanesporet i store deler av Soknedalen (Jernbaneverket, 2000). Terrenggrøfter er spesielt aktuelle hvor erosjon i skjæringsskråningene er et problem. Erosjon i skjæringsskråningen kan føre masser ned i linjegrøften og i tillegg medføre redusert overflatestabilitet. En terrenggrøft kan etableres innenfor toppen av skjæringsskråningen, med en minste avstand fra kanten på 1 meter (Jernbaneverket, 2014) og dermed hindre at vannet renner ukontrollert ned i skjæringsskråningen (Jernbaneverket, 2004).

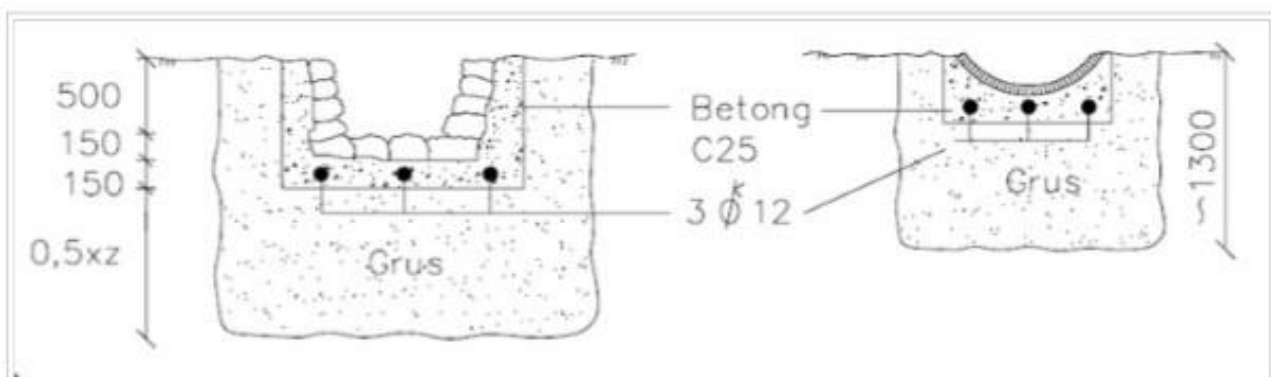
Vannet fra terrenggrøft kan føres kontrollert ned til en linjegrøft eller stikkrenne ved å etablere en nedføringsrenne (vertikalgrøft). Dette må gjøres dersom en grøft eller bekkefar munner ut i skjæringsskråningen (Jernbaneverket, 2004; Jernbaneverket, 2014).



Figur 9.1: Plassering av terrenggrøft (Jernbaneverket, 2014).

Nedføringsrenne

Nedføringsrenner anlegges for å kontrollert kunne lede vann fra terrenggrøfter og bekkeløp ned til linjegrøfter eller stikkrenner. Fundamenteringen av nedføringsrennen kan utføres tilnærmet eller helt frostfritt og erosjonssikker. Dette kan gjøres ved at grøften kles i halvør i betong eller stein som er innstøpt i armert betong (figur 9.2). Rennen kan også steinsettes (Jernbaneverket, 2004). Dette er mest aktuelt for større vannmengder. I bratte skråninger må vannhastigheten kontrolleres og reduseres langs rennen. Dette kan gjøres ved å bryte løpet med mellomliggende kummer, eller ved å bygge rennen som et trappeløp, spesielt ved stort fall og/eller ved stor vannføring (Jernbaneverket, 2014).



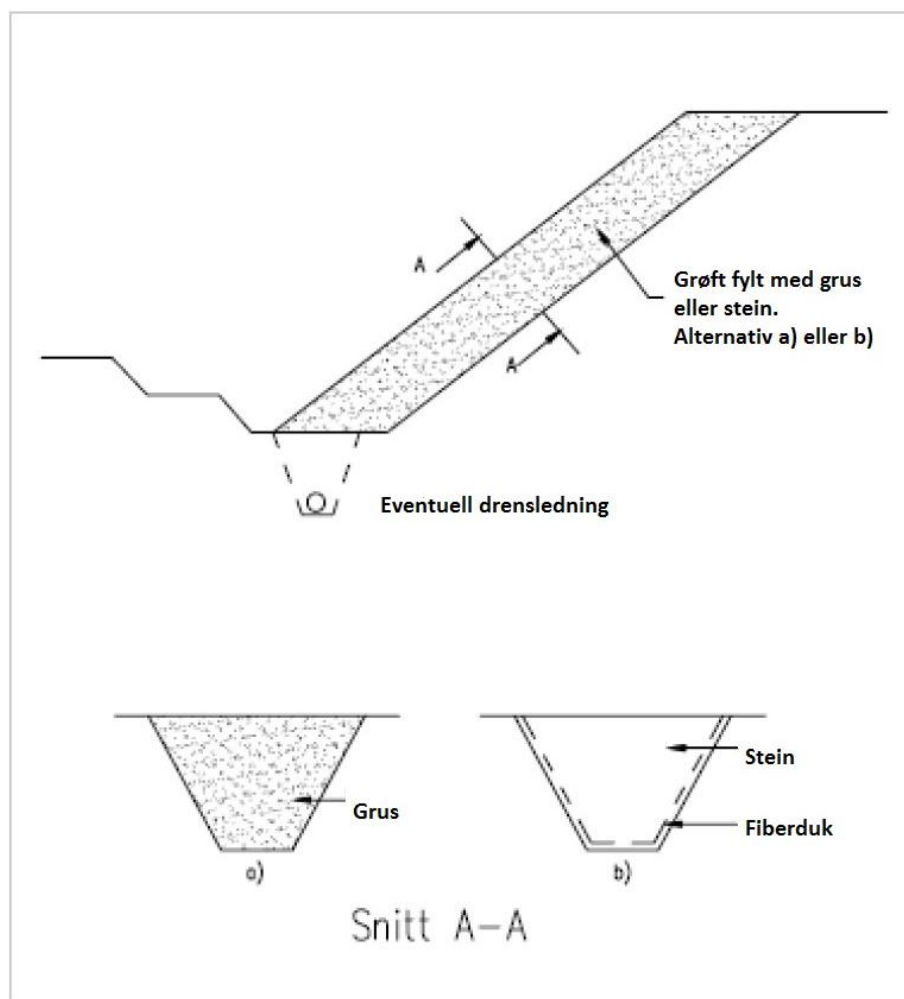
Figur 9.2: Figuren viser en frostfritt fundamentert nedføringsrenne (Jernbaneverket, 2014).

9.1.2 Vertikalgrøft

I de fleste tilfeller er ikke vertikalgrøfter nødvendige, ofte er den drenerende effekten av linjegrøft og langsgående drensledning og terrenggrøft tilstrekkelig. Hensikten med en vertikalgrøft er å fjerne vannet som tilføres skjæringen nedenfor terrenggrøftene.

Vertikalgrøfter har også en positiv effekt for å hindre grunnvannserosjon og overflateglidninger. Dette gjelder spesielt i vannholdige skjæringsmasser, hvor det er fordelaktig at skråningen sikres med egne drenggrøfter (Jernbaneverket, 2004).

Vertikalgrøfter legges vertikalt fra linjegrøften og oppover, eller plasseres skråliggende i fiskebeinsmønster opp fra linjegrøften. Grøftene fylles med drenerende masser og sikres med fiberduk for å hindre finstoffmaterialer å komme i grøften. For å øke levetiden og kapasiteten til grøften, legges et drengsrør nederst i vertikalgrøften som kobles til linjegrøften (Jernbaneverket, 2001).



Figur 9.3: Vertikalgrøft plassert skrått opp fra linjegrøften (Jernbaneverket, 2014).



Figur 9.4: Vertikalgrøft i Soknedal (Sweco, 2013).

9.1.3 Åpen og lukket linjegrøft

Åpen linjegrøft

Åpen linjegrøft er en senkning i terrenget langs jernbanesporet med den hensikt å lede bort overflatevann og trekke vann ut av overbygningen. Dette vil være med å forhindre at vann kommer inn i ballast og forsterkningslag. En åpen linjegrøft skal ha samme helling som banelegemet, hvor grøftefallet på ethvert punkt skal være minimum 5 ‰. Dersom banelegemets fall går i motsatt retning av hensiktsmessig fall på linjegrøften, kan overflatevannet føres ned i kummer og ledes bort ved lukkede ledninger. Åpne linjegrøfter bør ligge så grunt som mulig, for å sørge for at banelegemet blir hindret fra å bli utsatt for frost på siden. Grøftene bør også ha en tett bunn (Jernbaneverket, 2014).

Lukket linjegrøft

Spesielle forhold kan føre til at linjegrøften må lukkes, blant annet hvor grøftetraséen brytes av faste konstruksjoner, eller i forbindelse med stasjonsanlegg. Dersom linjegrøften må lukkes over lengre avstander, utføres det ved å lage en lukket grøft med drensledning, eller en kombinert drens- og overvannsgrøft. Linjegrøften kles med fiberduk i bunn og på sidene

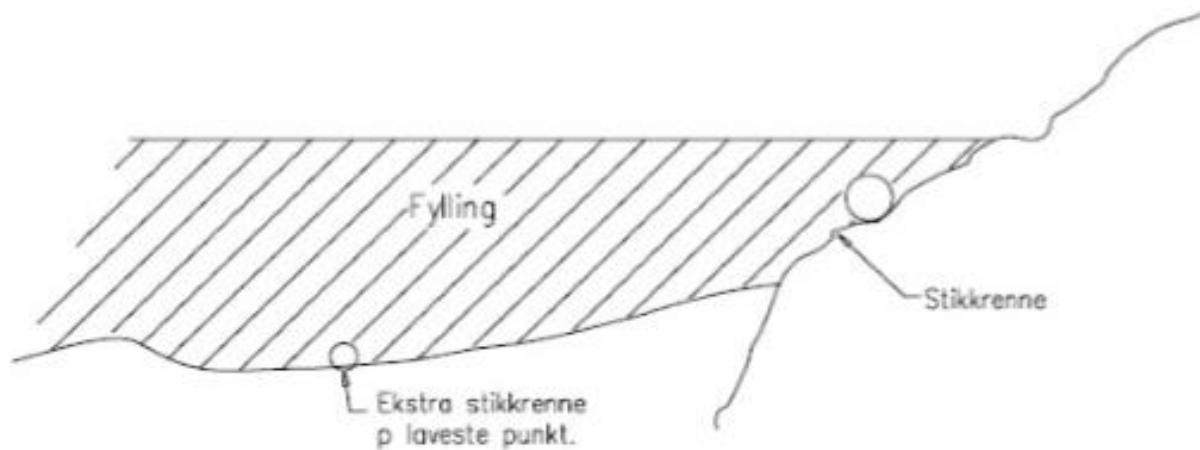
for å hindre at jordmaterialer trenger inn. Hele grøften fylles deretter med permeable masser slik at overvann kan infiltrere ned (Jernbaneverket, 2014).

På lik linje med åpne linjegrøfter har lukkede linjegrøfter den hensikt å lede vannet langs banelegemet og ned til stikkrenner. Lukkede linjegrøfter legges omtrent 1 meter under bakken, og ligger dermed mer beskyttet enn åpne. I områder hvor man har ensidige fyllinger er lukkede linjegrøfter spesielt egnet. Det antas at lukkede linjegrøfter ikke berøres av tele, og de kan dermed drenere vann hele året, spesielt under teleløsninger, og vil med det bidra til å forhindre en oppbygging av vanntrykk i banelegemet (Jernbaneverket, 2000).

9.1.4 Stikkrenner og kulverter

Stikkrennens funksjon er å være et ordnet gjennomløp for vann gjennom jernbanefyllingen. Betegnelsen kulvert benyttes for større gjennomløp. Stikkrenner legges normalt i bunnen av dalsenkningen i en grøft. Avhengig av grunnens bæreevne, legges stikkrennen direkte i grøftebunnen med et tynt avrettingslag, eller på fyllmasser. I tillegg må grøften være så bred at det minimum er 0,75 m fritt mellomrom mellom stikkrennen og grøften. Stikkrennen må også frostsikres på steder hvor man kan forvente at stikkrennen kan bli utsatt for tele (Jernbaneverket, 2014).

Formålet med stikkrenner er å lede vannet kontrollert gjennom fyllingen for å forhindre undervasking av denne. Det er dermed viktig at innløpet til stikkrennen er utformet slik at den kan oppfylle sin funksjon. Det anlegges derfor fallkum eller fundament- og vingemurer for å hindre at vann kan strømme gjennom fyllingen utenom stikkrennen. Dette er en kum på overvannsledning med fritt vannfall inn til kummen (Norsk vann.no, 2014). Rist anlegges dersom det er fare for at stikkrennen kan tettes. Dersom stikkrennen legges i den ene siden i dalsenkningen, er det viktig at innløpet er utformet slik at man er sikret at vann fra tilgrensende linje, eller overgrøfter og bekkeløp, virkelig blir ført inn i stikkrennen. Det må i tillegg anlegges en ekstra stikkrenne i bunnen av dalsenkningen, for å fange opp smeltevann og flomvann som kan føre til erosjon under fyllingen (figur 9.5) (Jernbaneverket, 2014).



Figur 9.5: Figuren viser plassering av en ekstra stikkrenne. Denne plasseres i fyllingens laveste punkt (Jernbaneverket, 2014).

Stikkrenner skal ha et fall på minimum 4 ‰ for at den skal være selvrensende for sand og grus. I utløp med stor vannhastighet bør ikke fallet overstige 10 ‰. Dersom fallet er større enn anbefalt maksimal verdi, må utløpet sikres mot erosjon. Spesielt gjelder dette dersom grunnen er erosjonsfarlig. Utløpet kan da sikres med fallkum og frontmurer (Jernbaneverket, 2014).

9.2 Kvistdammer

Kvistdammer er lave, terskelignende dammer som benyttes for å stabilisere skråninger og bekkedaler i mindre nedbørsfelt. Kvistdammer kan være aktuelt å legge i flomveier for å redusere avrenning under flom. Kvistdammer kan i tillegg legges oppstrøms for stikkrenner og kulverter, for å hindre overbelastning og at disse tettes av jord, stein eller annet som kan føre til tetting (Braskerud og Myrabø, 2013).



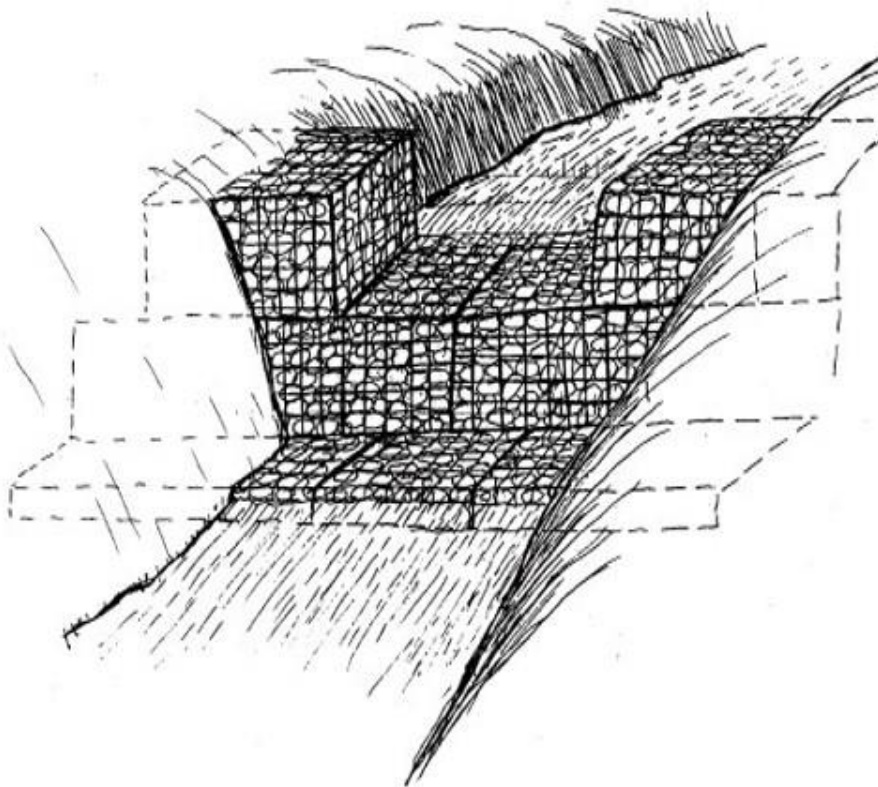
Figur 9.6: Kvistdam (Braskerud og Myrabø, 2013).

Kvistdammer legges etter hverandre i bekkedaler med en avstand på 20 - 200 m, avhengig av terrengets helning og vannvolum. Vannet som strømmer ned i kvistdammen vil få en redusert vannhastighet og fallenergi. Vannet vil midlertidig bygges opp bak terskelen, hvor erosjonsmateriale, hogstavfall og jord vil holdes tilbake. Etter hvert vil kvistdammen fylles opp av sediment, og dens flomdempende kapasitet vil reduseres. På det oppsamlede sedimentet kan en bygge en ny kvistdam oppstrøms den gamle, i stedet for å rense kvistdammen for sediment. Fordelen med dette er at dalbunnen vil heves over tid slik at området blir mer stabilt. Kvistdammer kan også bidra til bedre og lettere revegetering i erosjonsutsatte skråninger (Braskerud og Myrabø, 2013).

Det er imidlertid også enkelte utfordringer med kvistdammer. Ved høyere vannføring vil det være usikkert om vannet vil kunne presses under bunnstokken i dammen. I et slikt tilfelle kan det være mulig å legge en fiberduk under bunnstokken, som vannet kan renne over. Fiberduken vil da kunne forhindre erosjon i bunnen av dammen. Vann kan også grave i kantene på dammen og løse ut stokkene. Stokkene i sidene må derfor være godt festet i

kantene og ekstra kvister kan plasseres enda tettere sammen mellom jord og stakkene for å redusere vannstrømmen og unngå erosjon i sidene (Braskerud og Myrabø, 2013).

En annen terskellignende dam med samme funksjon som kvistdam, er gabiondam. Gabioner er rektangulære bokser av ulike størrelser og som vanligvis er laget av galvanisert ståltråd vevd inn i et nett. Boksene er bundet sammen og fylt med enten stein eller jordmateriale, og plasseres som byggeklosser. Det er viktig at «byggeklossene» står så tett som mulig for å hindre store mellomrom hvor vannet kan strømme igjennom, bruk av mindre steiner er derfor fordelaktig. En fordel med gabiondammer er at de er fleksible og kan installeres der overflaten er ujevn. På samme måte som kvistdam, er det mulig å legge nye «byggeklosser» over etter at dammen er fylt med sediment (Desta og Adugna, 2012).



Figur 9.7: Figuren viser hvordan en gabiondam er bygget opp (Desta og Adugna, 2012).

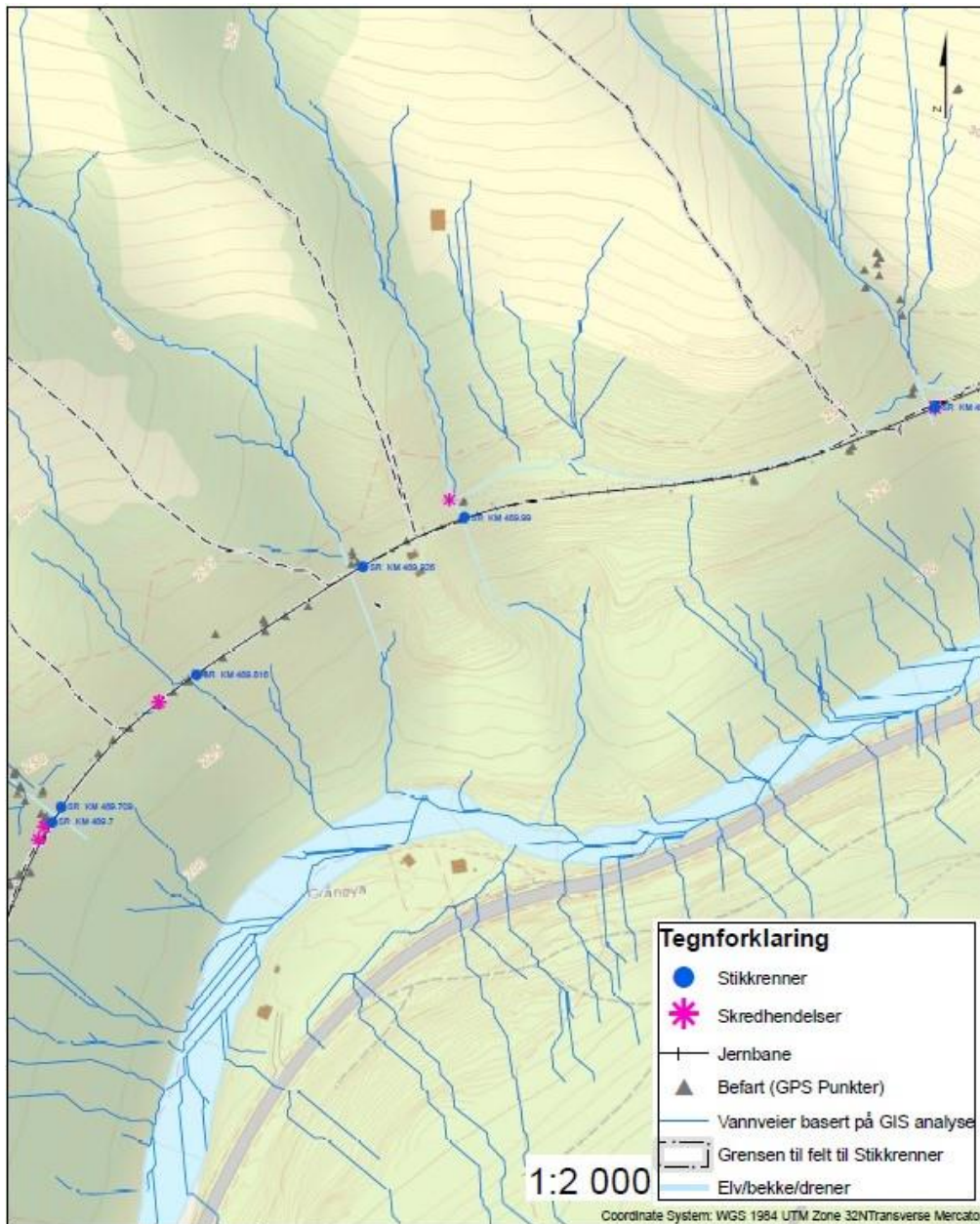
I Norge er kvistdammer et relativt nytt tiltak. Det er gjennom NIFS- prosjektet installert flere kvistdammer, gabiondammer, kistedammer og sedimentasjonsdammer i tilknytning til 3 stikkrenner ved Minnesund stasjon. Prosjektet Naturfare – Infrastruktur – Flom og Skred (NIFS) er et satsningsområde mellom Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat

og Statens vegvesen, hvor formålet er å samarbeide med felles utfordringer innen flom og skred (naturfare.no, 2014). Gjennom dette prosjektet vil blant annet funksjonen av kvistdammer vurderes i forhold til deres virkning på å tilbakeholde vann og løst materiale, samt hvordan slike dammer kan påvirke stabiliteten i skråninger og bekkedaler på en positiv måte (Braskerud og Myrabø, 2013).

9.3 Dreneringsanlegget i Soknedal

Skredstatistikken viser at Dovrebanen har vært utsatt for mange skredhendelser, spesielt på strekningen langs Soknedal. Også under byggingen var jernbanen i Soknedal utsatt for utglidninger og skred i fyllinger og skjæringer i området. Det ble derfor anlagt et omfattende dreneringsanlegg før banen ble åpnet i 1921. Dreneringsanlegget besto av 15 000 meter med lukkede grøfter mellom km 482.11 – 484.11 og km 488.11 – 490.61, noe som tilsvarer 333 meter grøft per 100 meter bane. Stabilitetsproblemene vedvarte i årene etter åpningen, og det ble derfor grøftet ytterligere i området (Jernbaneverket, 2000).

Figur 9.8 viser stikkrenner i området mellom km 489,7 og km 490,2.



Figur 9.8: Kartutsnittet viser stikkrenner i området mellom km 489.7 og km 490.2. Hele kartutsnittet er gitt i vedlegg C (Sweco, 2013).

Sommeren 2000 ble det gjennomført undersøkelser ved feltarbeid, for å finne mulige tiltak for å redusere sannsynligheten for skred i Soknedal. Blant annet ble det utført en gjennomgang av tilstanden til dreneringsanlegget i Soknedal. Den gang ble det understreket at vedlikeholdet av dreneringsanlegget var delvis mangelfullt. Store deler av terrenggrøftene var gjengrodd av vegetasjon og var alt for grunne for området. I tillegg var flere av kummene som er koblet til linjegrøftene fylt med slam (Jernbaneverket, 2000). På bakgrunn av disse undersøkelsene ble det i hovedplan for rassikring på Dovrebanen i 2001, lagt frem en

anbefaling om å sikre tre kortere strekninger mellom km 482 og 500. Strekningene A km 482.1 – 483.6, B km 489.1 – 490.7 og C km 494.5 – 496.0 utgjør 25 % av strekningen mellom Garli og Støren. Innenfor disse tre strekningene har hele 75 % av de tidligere registrerte skredhendelser mellom km 482 og km 500 oppstått. Anbefalingene innebar å sette i stand det gamle dreneringssystemet med enkelte utvidelser, samt å slake ut enkelte fyllinger (Jernbaneverket, 2001).

Det ble på nytt i 2012 utført befaringer av rådgiverselskapet Sweco for Jernbaneverket, for å identifisere fareområder, spesielt med hensyn på dreneringssystemet. Det ble, i likhet med i 2000 og i 2001, understreket manglende vedlikehold av dreneringssystemet i Soknedal. I linjegrøftene ble det enkelte steder registrert vannstand, noe som kan tyde på at dreneringen ikke fungerer som den skal og at grunnvannsnivået i grøfta er høyt. På grunn av det manglende vedlikeholdet, hadde det lukkede drens-systemet redusert kapasitet. Kummene og drensledningene var tette av sedimenter.



Figur 9.9: Gjengrodd terrenggrøft (Sweco, 2013).

Terrenggrøftene var mange steder gjengrodd av vegetasjon (figur 9.9). De var også blitt grunn av sig. Vertikalgrøftene ble imidlertid vurdert til å være fungerende (Sweco, 2013).

9.3.1 Videre arbeid med dreneringssystemet i Soknedal

Ut fra befaringen og gjennomgangen av skredsikringen i Soknedal utført høsten 2012, er det mye som tyder på at vedlikehold av dreneringssystemet må opprettholdes og utføres jevnlig. I tillegg bør det utføres vegetasjonsrydding i grøfter og sideterreng, for å hindre at vegetasjonen tetter igjen stikkrenner og grøfter. Ved jevnlig kontroll vil også skredfarlige områder oppdages, og utarbeiding av skredsikring kan utføres. Sweco anbefaler at stikkrenner måles inn og registreres med GPS-koordinater for at disse skal bli enklere å finne frem til og inspisere. Fordi skredhendelsene i Soknedalen i stor grad er poretrykksrelaterte, anbefales også poretryksmålere i bratte skråninger (Sweco, 2013).

10. Skadeskredet 13. og 14. Mars 2012

Vinteren og våren 2012 var i Trøndelag preget av milde temperaturer, kraftig nedbør og sterk snøsmelting. Dette resulterte i flere skredhendelser i mars og april. I alt ble det registrert hele 144 skredhendelser i Trøndelagsfylkene og Nordmøre i løpet av 28 døgn (Bargel og Kvalvik, 2013).

De første skredhendelsene oppsto i perioden 12. – 17. mars, etterfulgt av en roligere periode med avtagende nedbør. Fra 21. mars økte nedbøren igjen og en ny periode med kraftig nedbør og skredhendelser oppsto. Perioden varte frem til 8. april, hvorav siste skredhendelse ble rapportert 7. april.

I den første perioden (12.- 17. mars) oppsto skredene i all hovedsak på Nordmøre, Sør-Trøndelag og i sørligere deler av Nord-Trøndelag. Skredhendelsene var dominert av grunne, poretrykksrelaterte jordskred. I den andre perioden (21. mars – 8. april) var nedbøren kraftigere, slik at også erosjonsutløste og vannrike jordskred ble utløst i tillegg til de dominerende poretrykksrelaterte, grunne jordskredene. I denne perioden inntraff skredene over et større område, fra Nordmøre til Nord-Trøndelag (Bargel og Kvalvik, 2013).

De fleste skredhendelsene gjorde liten eller ingen skade på bebyggelse eller infrastruktur. Skredhendelsene i Soknedal 13. og 14. mars gjorde imidlertid stor skade på infrastrukturen.

10.1 Hendelsesforløpet

Forut for skredet var det meldt mye nedbør og beredskapsnivået ble hevet til «grønn beredskap»³ av Jernbaneverket. Dette innebærer økt årvåkenhet, kontroll av dreneringsanlegg og ekstra visitasjon av banestrekningen. Kontroll av området ble utført 12. mars, hvor det ble rapportert at vannet gikk i åpent drens-system og situasjonen var under kontroll (Jernbaneverket, 2012).

Jernbaneverket fikk melding om brutt kjørestrom kl. 03.42 den 13. mars; det var utløst et jordskred 150-200 m ovenfor jernbanen (Jernbaneverket, 2012). Skredet ble antatt å ha en bredde på 80 meter, lengde på 100 meter og med en dybde på gjennomsnittlig 1 meter (Røsand, 2012a). Skredet gikk over sporet, videre nedover fyllingen og over elva Sokna, og over E6. Jordskredet førte til en oppdemming av skredmasser og vann innenfor jernbanefyllingen (Jernbaneverket, 2012). Dette medførte at vannet drenerte ut gjennom

³ Beredskapsnivåene til Jernbaneverket er nå endret, grønn beredskap var et nivå i tidligere beredskapsplan.

ballastpukken og resulterte i en mindre utglidning av jernbanefyllingen på utsiden av sporet (Røsand, 2012a). Under befaring av skredområdet ble det gjort forsøk på å grave opp en stikkrenne som lå under skredmassene. Det ble imidlertid konkludert med at vannet strømmet godt gjennom denne, og det var under kontroll (Skei, 2014).



Figur 10.1: Jordskredet 13. mars 2012, utløst på et jorde 150-200 m ovenfor jernbanesporet (Jernbaneverket, 2012).

Den 14. mars kl. 06.21 ble det fra vaktmannskapet i Jernbaneverket og Statens Vegvesen, meldt om ett nytt skred i Soknedal på samme sted som døgnet før. Denne gangen hadde jernbanefyllingen rast ut over en strekning på ca. 35 mete, og også E6 ble på nytt truffet av skredmasser (Jernbaneverket, 2012). Stikkrenna som tilsynelatende var intakt under befaringen 13. mars, var tett fra skredmasser døgnet før. Dette førte til en oppbygging av et stort vanntrykk bak fyllingen, som til slutt skled ut.



Figur 10.2: Skredet 14. mars 2012, hvor jernbanefyllingen skled ut på en 35 m lang strekning (Jernbaneverket, 2012).

Skredet var totalt 135 m langt og 15 000 m³ skredmasser (Skei, 2014).



Figur 10.3: Flyfoto over skadeskredet i Soknedal (Foto: Ole Jørgen Kjellmark/Adressa.no).

10.2 Opprydningsarbeidet

Opprydningsarbeidet startet 18. mars med tilrigging av maskiner og utstyr. Det ble vurdert flere alternative løsninger for adkomst til skredområdet, blant annet ved å transportere masser via jernbanen og arbeide fra toppen av skråningen og nedover, samt lage ny vei opp skråningen til jernbanesporet lenger oppstrøms. På grunn av ustabilitet i skredmassene ville det å arbeide ovenfra og ned langs skråningen innebære en større risiko for både mannskap og maskiner, og det ble derfor valgt å etablere adkomst fra E6, over elva og inn til skredområdet for å starte arbeidet nedenfra og oppover (figur 10.4) (Røsand, 2012b).



Figur 10.4: Gjenoppbygging av fylling. Anleggsveien ble etablert nedenfra og oppover mot jernbanesporet (Jernbaneverket, 2012).

For å være i stand til å åpne E6 måtte skredgropen sikres, blant annet ved at utsatte masser ble sprengt bort ved bruk av dynamitt. Adkomsten ble etablert ved å legge et rør i elven og fylle opp med sprengstein, for så å lage en anleggsvei oppover skråningen. Mye nedbør, stor vannføring og flom i elven førte til at røret hadde for liten kapasitet og forsvant ned elven (Skei, 2014). Fyllingen i elven ble gravd opp, og et nytt rør ble lagt (Jernbaneverket, 2012). Denne brua ble imidlertid ikke stående lenge, da NVE varslet om en ispropp lenger oppstrøms elva. Bru, mannskap og maskiner ble fjernet før isproppen kom ned (Skei, 2014). En tredje og siste bru sto på plass 30. mars (Jernbaneverket, 2012).

Under opprydningsarbeidet ble det registrert flere sprekker og utglidninger. Tidlig i april ble det observert en 20-30 cm bred sprekke i skredgropen og en nedsynkning på 50 cm i eksisterende jernbanefylling (figur 10.5). På bakgrunn av dette ble det foretatt driftsstans ut uke 14 i påvente av bedre forhold og stabilitet i området. På bakgrunn av tilstandene tidligere i opprydningsarbeidet, ble det besluttet å etablere en bredere fyllingsfot, bredere anleggsveier, samt å ta ut ytterligere stedlige morenemasser (Jernbaneverket, 2012).



Figur 10.5: Den røde ringen markerer hvor det ble observert vann som strømmet ut fra skråningen som resulterte i utglidninger (Nålsund, 2012a).

Totalt ble om lag 20 000 m³ skredmasser kjørt ut, og ca. 90 000 m³ med steinmasser kjørt inn for å gjenoppbygge fyllingen.

Før metoder og detaljkartlegging ble foretatt, forespeilet Jernbaneverket at opprydningsarbeidet vil ta 2-3 uker etter skredhendelsene. Utfordringer under opprydningsarbeidet førte til at åpningen av banen tok lengre tid enn først antatt.

Beliggenhet, vær-situasjon, skredfare og grunnforholdene i området førte til flere driftsstans under arbeidet. Sikkerheten til mannskap og maskiner måtte komme i første rekke. Etter 8 uker ble banen åpnet 9. mai med første passerende tog kl. 17.10 (Jernbaneverket, 2012).

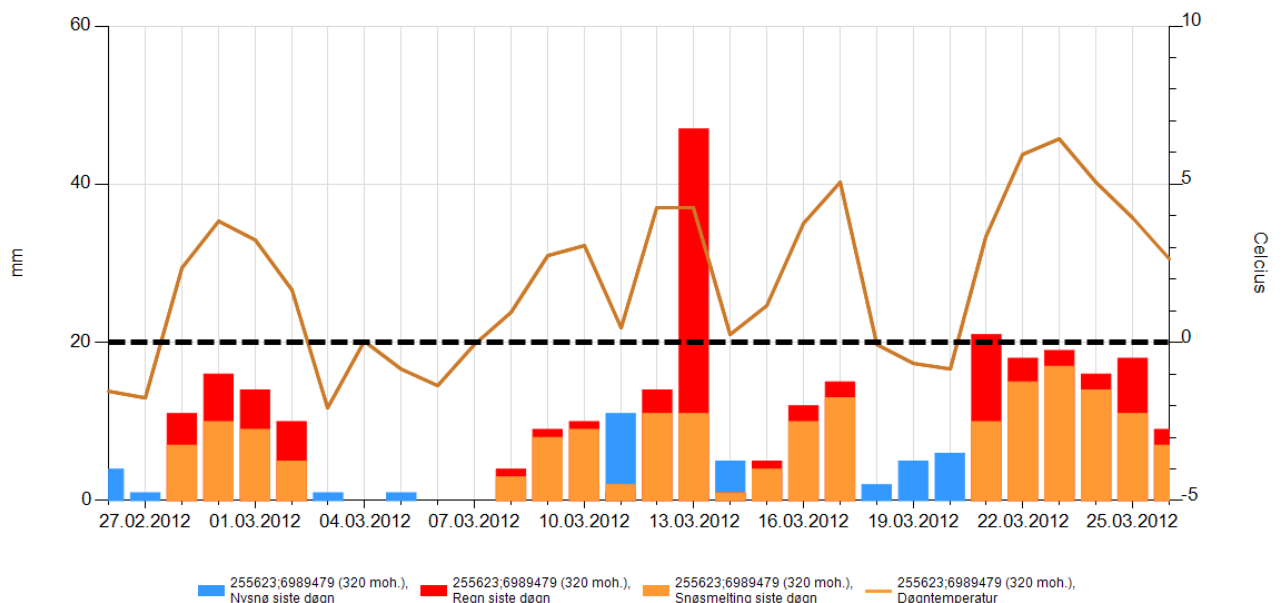
10.3 Årsaker

Jordskredet 13. mars og fyllingsskredet 14. mars ble utløst som en følge av flere faktorer.

Mulige årsaker til skredhendelsene er nedbør, vannmengde i jorden og tilstanden til fyllingen.

10.3.1 Nedbør i Soknedal

Nedbøren i mars 2012 var over 200 % av normalen for Trøndelag. Dette er den nest våteste perioden registrert i Trøndelag siden 1900 (Meteorologisk institutt, 2012). Langs kysten av Norge og i kystnære områder er nedbørsmengden på skreddagen den viktigste faktoren for utløsning av jordskred. For innlandsområder er nedbøren de siste 3 til 10 døgn en viktig faktor (Førland et al., 2007b).



Figur 10.6: Nedbørsmengde i Soknedal mars 2012 (seNorge.no, 2014).

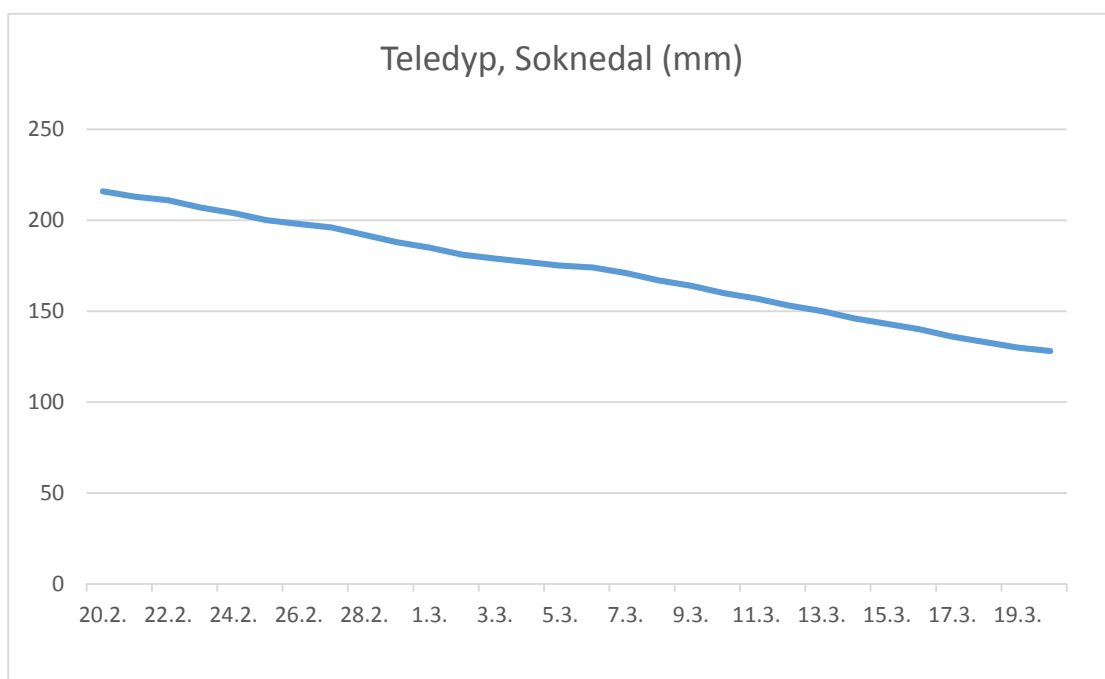
Figuren (figur 10.6) viser nedbørsmengden for Soknedal i perioden 27.02 til 25.03. Nedbøren kom periodevis, med en klar nedbørstopp 13. mars, hvor det ble registrert totalt 31,3 mm nedbør. Nedbørsnormal for Soknedal for siste normalperiode er ikke tilgjengelig, men for nærmeste målestasjon, Støren, er normalverdien for nedbør i mars måned 55- 60 mm (figur 7.5). Det vil si at nedbøren 13. mars utgjør omtrent 50 % av normalverdien for nedbør hele mars måned, og ca. 4 % av årsnedbøren.

Nedbøren er en viktig utløsende årsak. I tillegg til nedbørmengde, vil også vannmetningen i jorden og teledypet være en viktig medvirkende faktor.

10.3.2 Vannmetning og teledyp

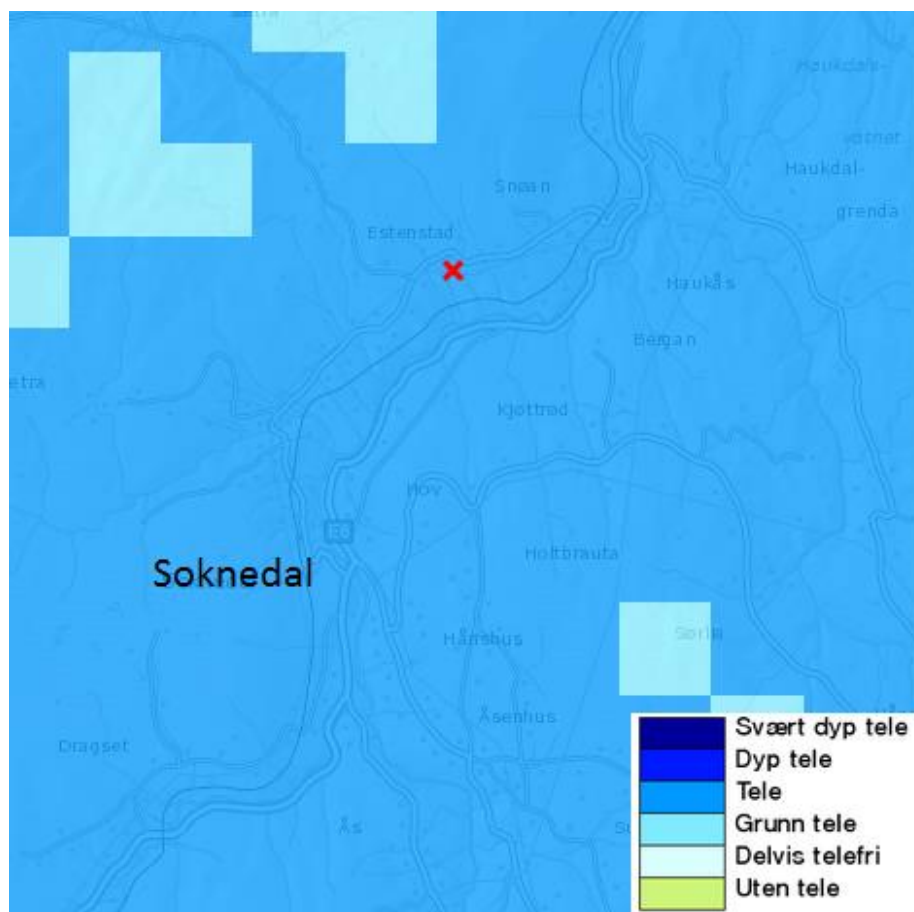
Jordas tilstand vil være avgjørende for utløsning av et jordskred. Vannmetningen og vannlagerkapasiteten til jorda vil påvirke poretrykksoppbyggingen. Når jorda nærmer seg metning, vil det føre til økt poretrykksoppbygging (Colleuille og Engen, 2009).

En mild vinter i 2012 førte til at store deler av telen var tint i lavlandet, noe som resulterte i større vannmengde i jorda. Grafen (figur 10.7) viser teledypet i Soknedal fra februar til mars.



Figur 10.7: Grafen illustrerer teledypet fra februar til mars 2012 i Soknedal, grafen er basert på data fra seNorge.no.

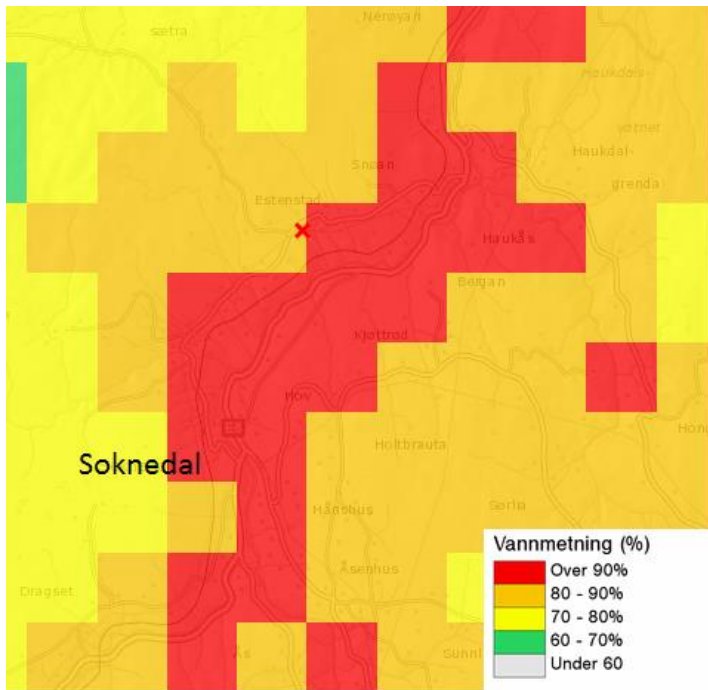
Kartet (figur 10.8) viser teledypet i området på skreddagen den 13. mars 2012.



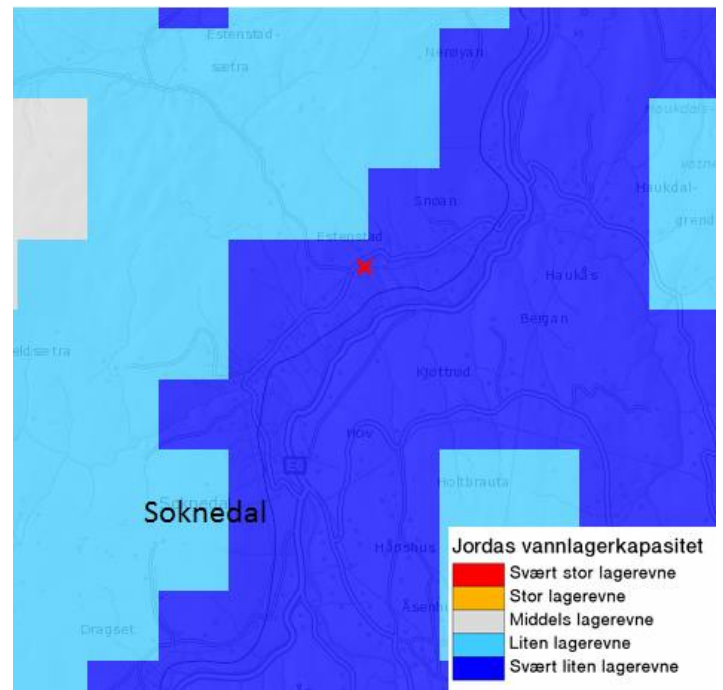
Figur 10.8: Kartet viser teledypet i Soknedal 13. mars 2012. Rødt kryss markerer hvor skredet oppsto (seNorge.no, 2014).

Kartet (figur 10.8) viser at hele området hadde tele under skredhendelsene. Imidlertid var teledypet i Soknedal 13. mars kun 150 mm. Det vil si at en del av telen allerede var tint, noe som fører til større vannmetning i jorda. Et lag med tele, vil i tillegg fungere som en barriere for infiltrasjon av vann, slik at det vil bygges opp et større poretrykk mot grenseflaten, hvor telen vil fungere som et glideplan for de overliggende masser (NVE, 2011a).

Vannmetningen i jorda og jordas vannlagerkapasitet påvirker hvor mye ytterligere vann jorda kan infiltrere, og vil også påvirke metning av sedimentene og vekten av disse på skråningen (Hyndman og Hyndman, 2011)

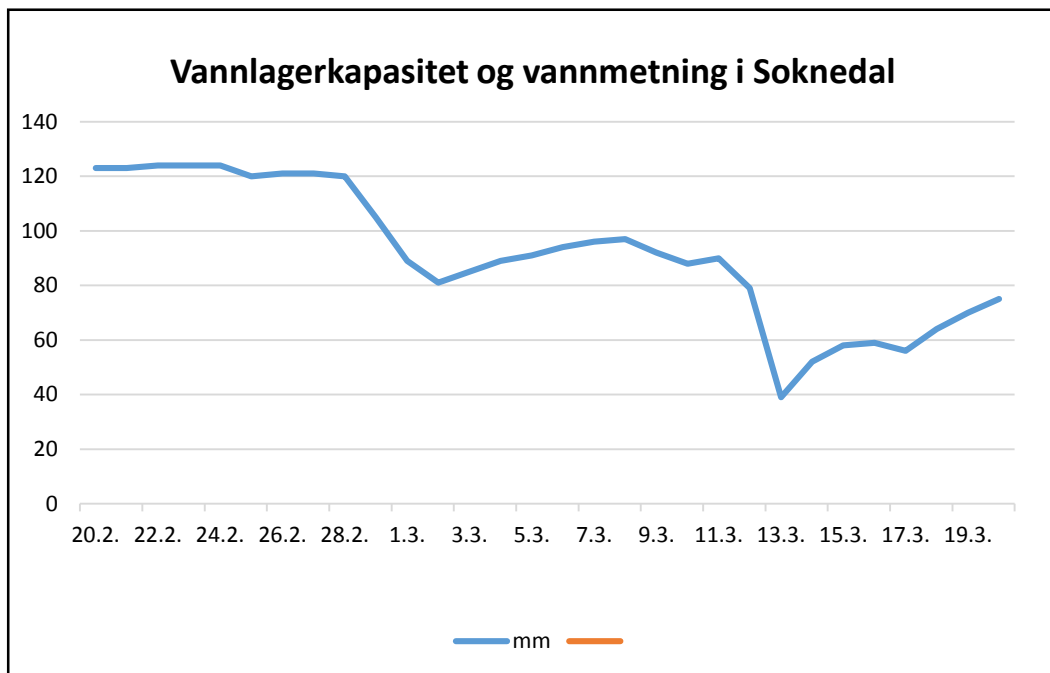


Figur 10.9: Vannmetningen i jord gitt i prosent i Soknedal 13. mars 2012 (seNorge.no, 2014).



Figur 10.10: Jordas vannlagerkapasitet i Soknedal 13. mars 2012 (seNorge.no, 2014).

Kartet (figur 10.9) viser vannmetningen i jorda for hele området den 13. mars. Det fremkommer tydelig at det er høyest vannmetning nede i dalføret, med lavere vannmetning opp i dalsidene. Skredlokaliteten ligger innenfor området som er markert med rødt på kartet, det vil si 90 % vannmetning. Til høyere vannmetningen i jorda er, desto mindre blir jordas vannlagerkapasitet. Kartet (figur 10.10) med oversikt over vannlagerkapasiteten i området viser at store deler av Soknedalen ligger innenfor områder med svært liten lagringsevne.



Figur 10.11: Graf over vannkapasiteten og vannmetningen i perioden februar-mars. Grafen er basert på data fra SeNorge.no.

Grafen illustrerer jordas vannlagerkapasitet og vannmetningen i Soknedal fra slutten av februar til mars 2012. Det er tydelig at vannlagerkapasiteten ble kraftig redusert 13. mars, hvor kapasiteten er kun 22 mm. Dette er også tidspunktet for høyeste vannmetning som har en verdi på 92 %.

10.3.3 Tilstand til jernbanefylling

I tillegg til helningen på fyllingene, som til dels er svært bratte i Soknedal (ca. 34 °), er det flere faktorer som kan påvirke stabiliteten til fyllingen, samt hvor skredutsatt disse er. Jernbanefyllingene i Soknedal er preget av stedlige, lokale masser som er benyttet under forsterkningslaget. De stedlige massene består av overkonsolidert morene som er lite gjennomtrengelig for vann. Enkelte steder er disse byttet ut med sprengstein eller torv for å forhindre telehiv. Dette er masser som er mer gjennomtrengelige for vann. Etter ballastrensing i området, har finstoffrik overskuddsmasse blitt lagt på utsiden av fyllingen. Dette fører til at vann kan sperres inne under svillene. Vannet kan dermed enkelt renne langs og forbli i sporet og infiltrere ytre, løsere deler av fyllingsoverflaten. Dette vil være med på å redusere stabiliteten i området (Jernbaneverket, 2001).

Fyllinger med stor høydeforskjell mellom skinne og innløp til stikkrenne, får ofte dannet et stort rom på innsiden. I slike fyllinger vil det dermed kunne bygges opp et stort vanntrykk, som kan resultere i at vann trenge gjennom fyllingen (Nålsund, 2012b).

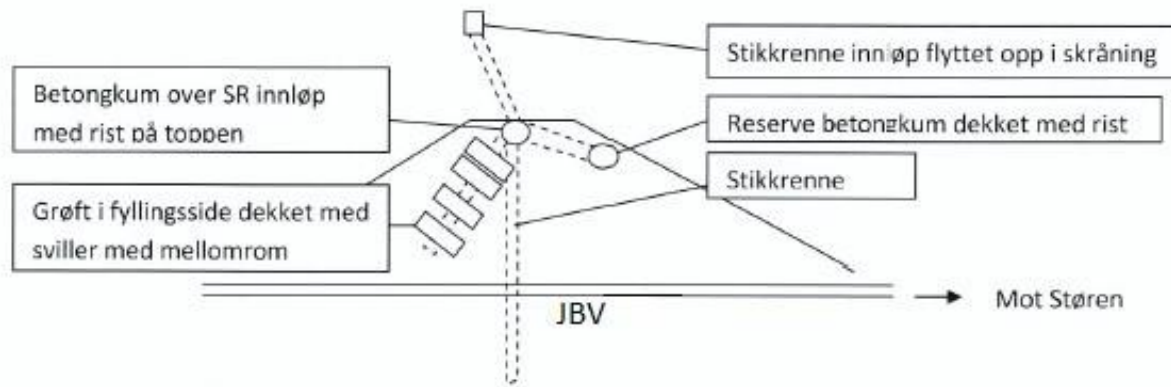
Etter jordskredet 13. mars, ble store mengder vann demmet opp i front av jernbanefyllingen (figur 10.12) (Jernbaneverket, 2012). Stikkrennen var trolig tett, og høydeforskjellen mellom skinne og stikkrenne kan også være årsaken til at fyllingen skled ut 14. mars.



Figur 10.12: Bildet viser oppdemming av vann bak jernbanefyllingen etter skredet 13. mars (Jernbaneverket, 2012).

10.4 Tiltak og skredsikring

Etter skredhendelsene i mars 2012 ble det utført flere tiltak for å øke stabiliteten, og sikre området bedre mot skred. Figur 10.13. er en skisse over dreneringstiltakene utført i Soknedal.



Figur 10.13: Skisse over dreneringstiltaket i Soknedal (Nålsund, 2012b).

Bekken som går fra jordet ovenfor sporet og ned mot linja, ble lagt i rør med nytt innløp (figur 10.14 og figur 10.15) (Skei, 2014). Nytt bekkeløp i steinfyllingen ble etablert nedstrøms stikkrenne for å hindre vann i å renne ned i fyllingen. Bekkeløpet ble i tillegg tett med fiberduk fylt med betongmørtel (Røsand, 2012b).



Figur 10.14: Bekken lagt i rør med nytt innløp (Sjøvold og Viklund, 2012).



Figur 10.15: Nærbilde av det nye innløpet (Sjøvold og Viklund, 2012).

Det ble valgt å legge en ny reserve- stikkrenne med overløp og større dimensjoner enn den eksisterende. Ny stikkrenne ble lagt i betongrør med diameter 1200 mm gjennom jernbanefyllingen. Ny kum med rist ble etablert oppstrøms stikkrenne, hvor den nye stikkrennen ovenfor sporet ble koblet til (figur 10.16) (Røsand, 2012b). Ny, lukket drenering i linjegrøft ble også etablert på nord- og sør-siden av sporet (Jernbaneverket, 2012).



Figur 10.16: Bilde over fyllingen og hvor ny kum (sandfang) er plassert (Sjøvold og Viklund, 2012).

10.5 Konsekvenser av skadeskredet i Soknedal

Jordskredet og det påfølgende fyllingsskredet i Soknedal førte kun til materielle skader og ingen personskader. Likevel resulterte disse hendelsene i flere utfordringer og store konsekvenser for jernbanen. Jernbanen ble stengt mellom Støren og Berkåk i 8 uker (Jernbaneverket, 2012). Siden jernbanen ikke har omkjøringsmuligheter, ble Rørosbanen benyttet for en del av tungtransporten. Rørosbanen har mindre kapasitet enn Dovrebanen, blant annet på grunn av at Rørosbanen ikke er elektrisk og det derfor kjøres diesel tog på denne strekningen (Skei, 2014). For jernbanens del førte skredhendelsene til ca. 600 forsinkelsestimer, ca. 500 innstilte tog og ca. 250 ekstra godstog over Rørosbanen (Jernbaneverket, 2012).

Skredhendelsene i Soknedalen kostet Jernbaneverket 43 millioner kroner (Jernbaneverket, 2013).

11. Resultater

11.1 Feltbefaring

Under feltbefaringen ble det lagt vekt på å få et overblikk over situasjonen i Soknedal, med fokus på jordskredhendelsen og fyllingsskredet som ble utløst i mars 2012.

Jordskredet 13.mars og det påfølgende fyllingsskredet 14. mars gikk i et område i Soknedalens vestside. Helningen ved utløsningsområdet ble målt til 21 – 22 °, noe som er mindre enn normal utløsningsgradient for jordskred. Soknedalen er preget av til dels mye vegetasjon i form av bjørk og or, samt mindre buskvekster. I området hvor skredet oppsto er vegetasjonen fjernet, og det er nå dyrket mark i skråningen. I likhet med de andre skredhendelsene i Soknedal, var også dette et grunt jordskred. Skredgropen er om lag 1,5 meter dyp.

Materialet i området består av morene. Morenematerialet er finkornet og godt kompaktert. Finstoffet er også iblandet noe stein. I øverste del av jordprofilet er materialet noe grovere (sandig) og løst pakket



Figur 11.1: Befaring av skredlokaliteten 16. juli 2014. Bildet viser skredløpet sett fra jernbanefyllingen (Foto: Terje H. Bargel).



Figur 11.2: Skredløpet sett fra skredgropen (Foto: Terje H. Bargel).

Det ble også observert områder blottlagt med sandig, løst pakket jord ved innløpet til stikkrennen, noe som kan ha bidratt til tetting av stikkrenne (figur 11.4). Skeive trær og mindre buskvekster ble også observert, noe som kan skyldes solifluksjon, og kan tyde på at jorden her er ustabil.



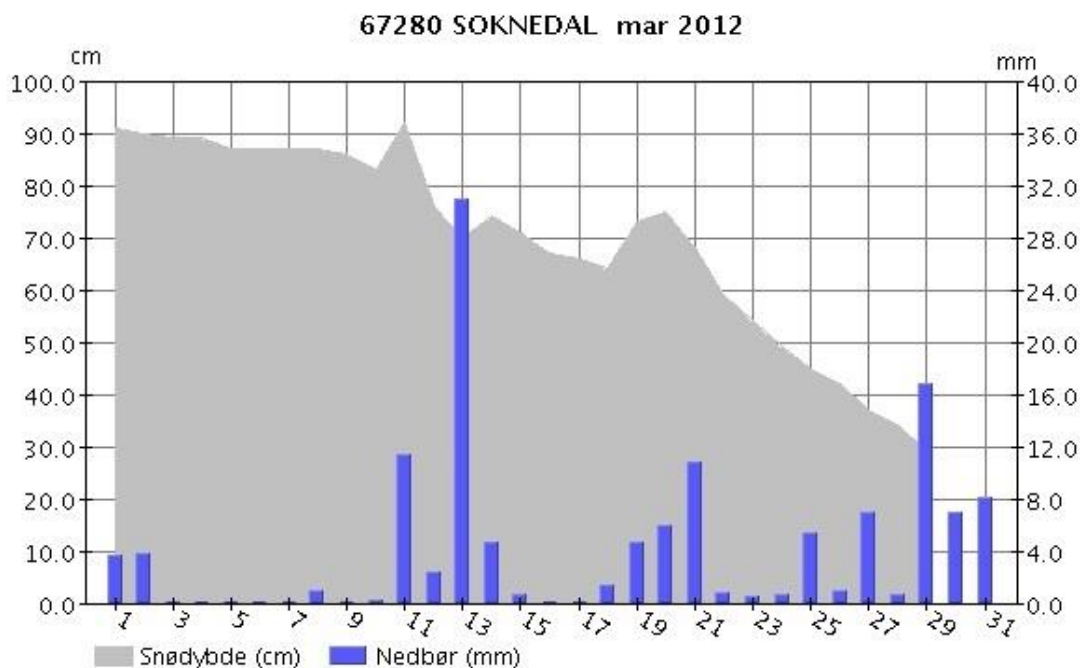
Figur 11.3: Moreneleire i skråningen ved utløsningsområdet (Foto: Terje H. Bargel)



Figur 11.4: Området blottlagt med løst pakket jord ved innløp til stikkrenne (Foto: Terje H. Bargel).

11.2 Nedbørsdata

Jordskredet 13. mars ble utløst i en periode med kraftig nedbør i Trøndelag. Høyeste nedbørsmengde i mars ble målt den 13. mars, hvor det falt totalt 31 mm nedbør. Dette utgjør 24 % av marsnedbøren og omkring 4 % av årsnedbøren i Soknedal (figur 11.6). Nedbøren i mars er fremstilt i figur 11.5.



Figur 11.5: Nedbørsmengde i mm og snødybde gitt i cm for mars 2012 i Soknedal (eKlima.no, 2014).

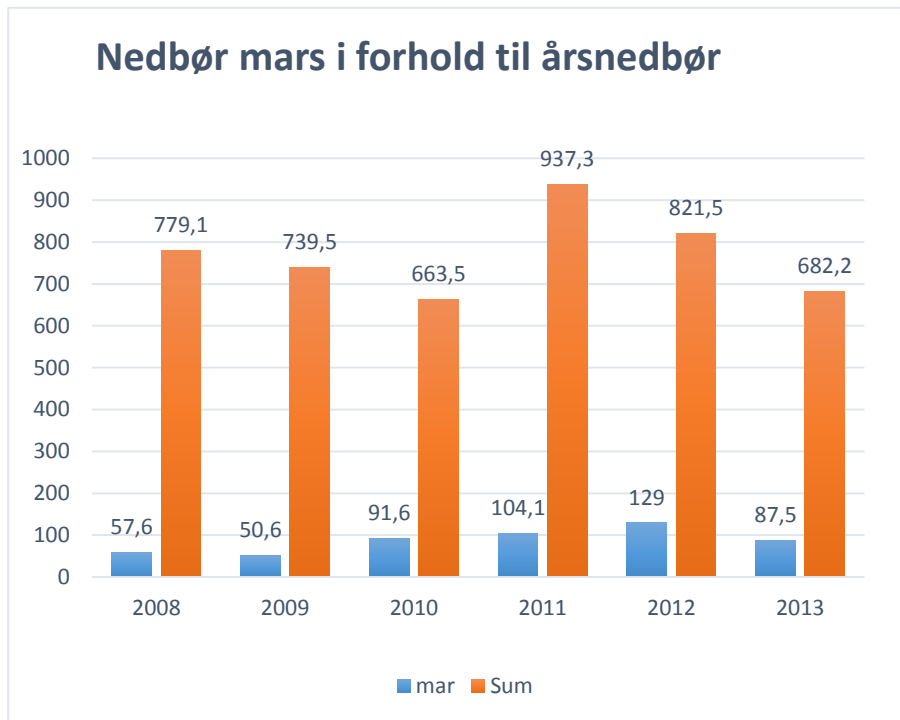
For å evaluere nedbøren i 2012, kan det være hensiktsmessig å se en sammenligning mellom nedbøren i Soknedal de siste 6 år. Tabellen (tabell 11.1) viser månedsnedbør for perioden 2008-2013.

Tabell 11.1: Nedbørsverdier pr. måned i mm for 2008 – 2013 i Soknedal (eKlima.no, 2013).

67280 SOKNEDAL, Nedbør (RR)													
År	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	Sum
2008	63,9	122,5	57,6	13,2	26,0	71,7	48,0	131,2	43,0	52,7	116,7	32,6	779,1
2009	80,5	60,8	50,6	16,4	48,8	96,9	102,5	59,7	121,1	50,4	14,0	37,8	739,5
2010	39,7	30,0	91,6	34,8	38,3	124,6	67,7	52,9	60,7	50,4	14,3	58,5	663,5
2011	104,0	24,1	104,1	57,1	34,4	104,4	114,4	82,5	82,1	77,6	60,0	92,6	937,3
2012	63,8	113,7	129,0	34,8	46,7	99,7	80,7	56,0	58,3	92,8	20,8	25,2	821,5
2013	38,2	50,1	87,5	22,1	36,6	110,0	64,2	58,4	34,8	42,1	97,9	40,3	682,2

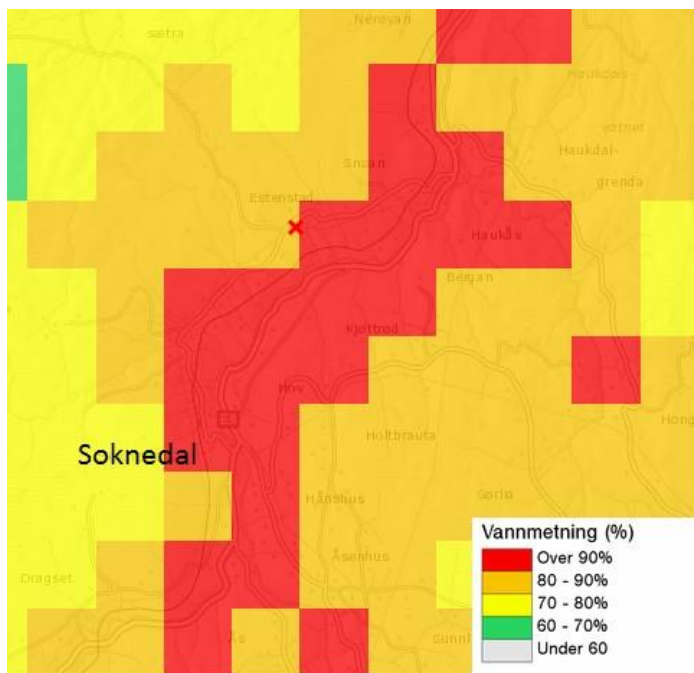
Tabellen viser at mesteparten av nedbøren faller i månedene juni og juli, hvor nedbøren i gjennomsnitt utgjør 27 % av årsnedbøren. I 2012 var månedene februar og mars de mest nedbørsrike, hvor nedbøren utgjorde hele 29,5 % av årsnedbøren. Dette er en høyere andel

enn tidligere år. Til sammenligning, hadde de samme månedene i 2011 en nedbørsmengde som utgjorde kun 13,7 % av årsnedbøren. Grafen illustrerer nedbøren i mars i forhold til årsnedbøren for de siste 6 år (fig. 11.6).

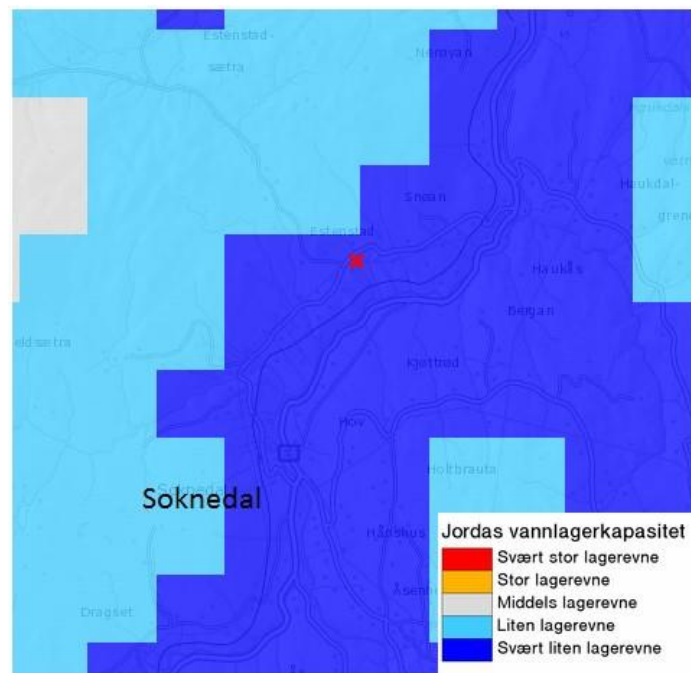


Figur 11.6: Graf over nedbørsmengde i mars måned, målt i mm i forhold til årsnedbøren for de siste 6 årene i Soknedal. Grafen er basert på data fra eKlima.no.

Figur 11.5 viser også snødybden for mars måned. Fra den 11. mars og frem til 13. mars ble snødybden redusert med om lag 20 cm, dette i samme periode som nedbøren var størst. Snøsmeltingen og nedbøren vil øke vannmetningen i jorden og redusere dens vannlagerkapasitet, som vil bidra til en økt ustabilitet i skråningen (figur 11.7 og figur 11.8).



Figur 11.7: Vannmetning i jorden gitt i % for Soknedal 13. mars 2012 (seNorge.no, 2014).



Figur 11.8: Jordens vannlagerkapasitet for Soknedal 13. mars 2012 (seNorge.no, 2014).

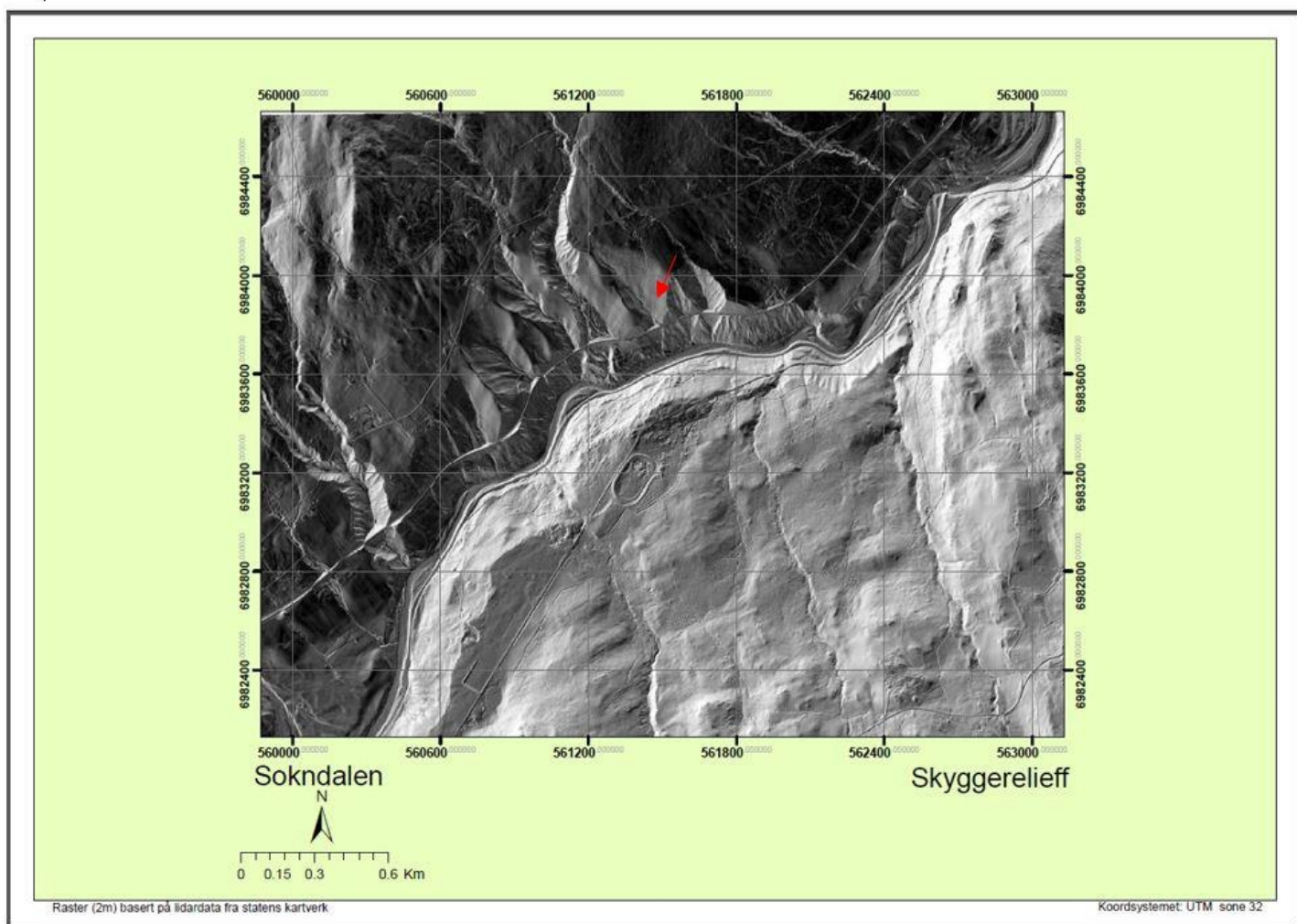
Vannmetningen var over 90 % i store deler av Soknedal, samtidig som jordens vannlagerkapasitet var svært liten.

11.3 Kart

11.3.1 Skyggerelieff

Området i Soknedalen er delvis dekt av mye vegetasjon, noe som gjør det vanskelig å se eventuelle raviner og rygger i området. Et skyggerelieff kart viser området uten vegetasjon og med skygger på rygger og forsenkninger i området vil det være enklere å se hvordan terrenget er.

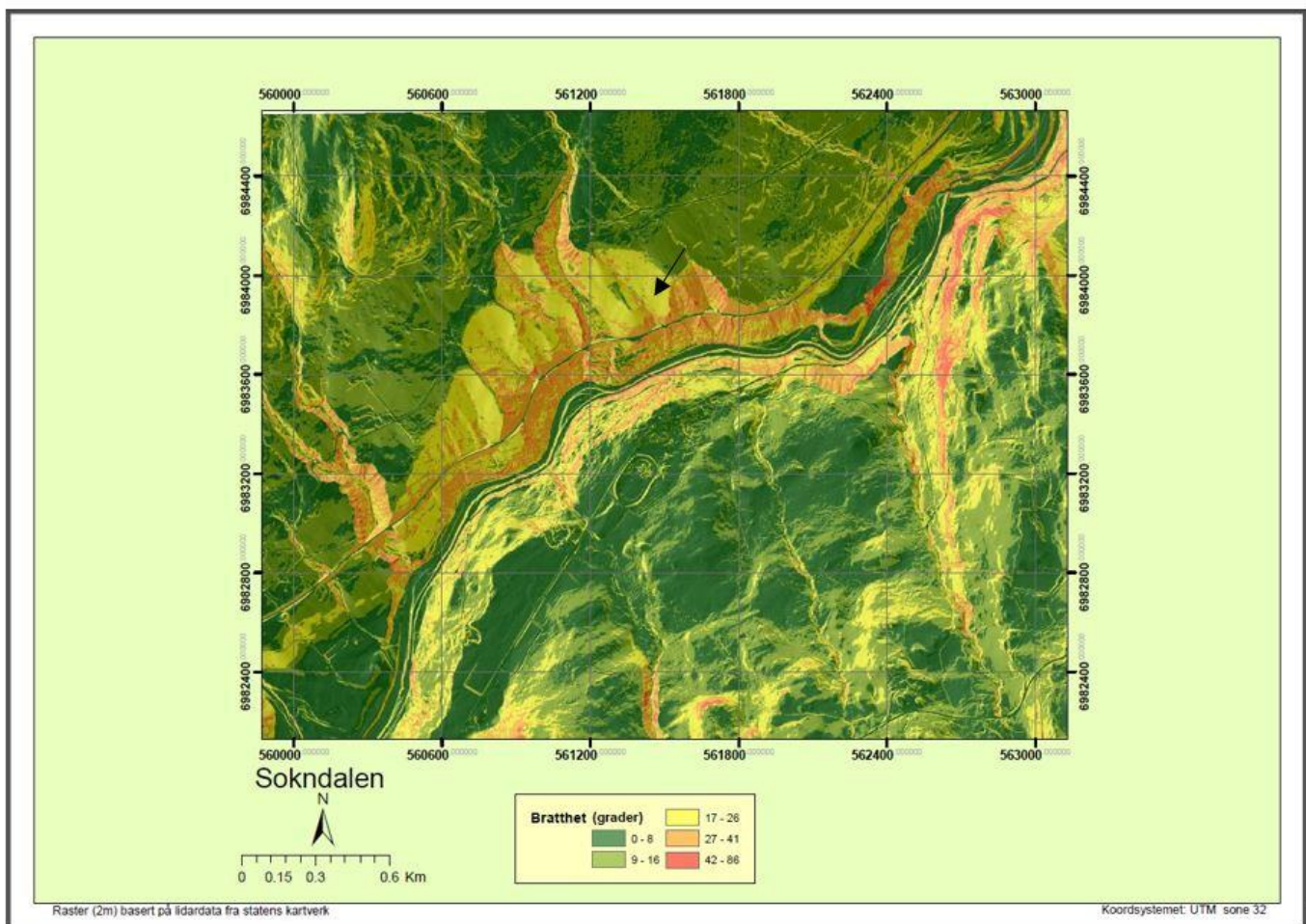
Som det fremgår av kartet (figur 11.9) er det tydelige raviner i et område på omkring 1,5 km, som følger dalsiden og ned mot jernbanelinjen. Ravinene ser ut til å være dype, som tyder på mye løsmasseavsetninger og tidligere skredaktivitet i dalsiden. Jordskredet 13. mars 2012 ble utløst i dette området



Figur 11.9: Skyggerelieff kart over et område i Soknedalen. Pilen markerer hvor jordskredet 13. mars 2012 ble utløst. Se vedlegg D for større kart.

11.3.2 Bratthetskart

Under feltbefaringen ble skråningen hvor jordskredet ble utløst, målt til 21 – 22 °. Kartet (figur 11.10) viser hvor bratt området rundt denne skråningen er. Området har hovedsakelig gradienter mellom 17 °– 26 °, mens enkelte områder er brattere, med gradienter på 27 °– 41 °. Jordskred utløses normalt ved skråningsgradienter mellom 25 °– 30 °, avhengig av terrenget (NVE, 2013). Pilen på kartet markerer skråningen hvor jordskredet ble utløst 13. mars 2012.



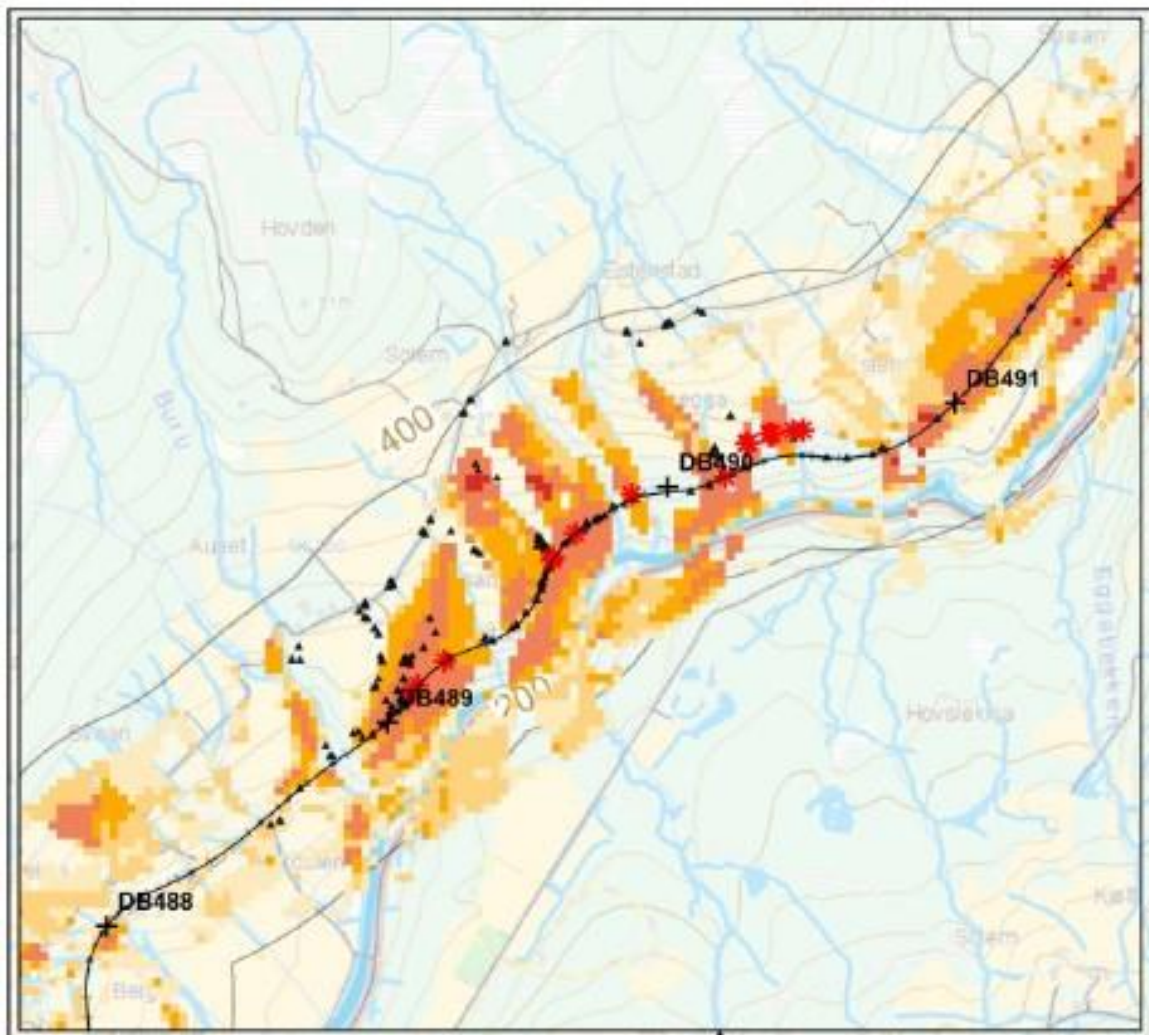
Figur 11.10: Bratthetskart over et område i Soknedalen, ulike gradienter er markert med ulike farger. Pilen markerer hvor jordskredet 13. mars 2012 ble utløst. Se vedlegg E for større kart.

12. Diskusjon

12.1 Skredfaren i Soknedal

Dovrebanens strekning gjennom Soknedal har vært preget av skredhendelser helt siden dens åpning i 1921. I løpet av de siste 60 årene er det registrert 50 skred som har berørt jernbanelinjen i større eller mindre grad. Det kan antas at enkelte skredhendelser ikke er registrert på grunn av manglende rapportering eller at skredene ikke har berørt linjen (Jernbaneverket, 2001). Totalt antall skred kan derfor være høyere.

En GIS-analyse over skredfaren i Soknedal ble utført av Sweco i 2013. Analysen er basert på fysiske prosesser og parametere som vegetasjon, helning, nedbør, jordtype og geologi (Sweco, 2013). Figur 12.1 er et kartutsnitt som viser sannsynligheten for skred langs stekningen mellom km 488 til km 491. Hele kartutsnittet er gitt i vedlegg F.



Figur 12.1: Kartutsnitt fra GIS-analyse over skredsannsynlighet i Soknedal (Sweco, 2013).

Sannsynligheten for skred i dette området er 0,7 – 0,9, hvor 100 % sannsynlighet har verdien 1. Kartutsnittet viser god sammenheng med skyggerelieffkartet vist i figur 11.9. Flere raviner i området og store morenemektigheter viser at området rundt km 490,23 har vært preget av skred tidligere, og vil også være utsatt for skredhendelser i fremtiden.

Skråningene i Soknedal er til dels svært bratte, enkelte steder er skråningsgradienten opp mot 40 °, som skyldes det harde og overkonsoliderte morenematerialet i området. De menneskeskapte fyllingene er bygget med gradienter opp mot 34 °, dette på grunn av krevende masseforflytning under bygging av banen på 1920-tallet. Skråningsgradienten er en viktig faktor for skredfare, jordskred utløses normalt i skråninger med gradienter på 25 ° - 30 °. Skråningsgradientene i Soknedal ligger på 17 ° - 26 ° og 27 ° - 41 °. Det vil si at hele området har skråninger med gradienter hvor jordskred kan utløses.

12.1.1 Løsmassene

Under feltbefaringen ble det observert at Soknedalens vestsida består av finstoffrik og overkonsolidert morene. Morene er trolig avsatt som bunnmorene i støtsida i dalføret, som førte til store avsetninger på vestsida, mens østsida av dalen har derimot lite avsetninger av morene. De store avsetningen i vestsida er enkelte steder har opptil 30 meter mektighet, noe som også vises i skyggerelieffkartet (figur 11.9). De underliggende bergartene i området er glimmerskifer og fyllitt, som er begge svake og lite motstandsdyktige bergarter. Disse vil under isens erodering produsere mye finstoff. Morenematerialet i Soknedalen inneholder store mengder løsmasser i fraksjonen silt og leir (Jernbaneverket, 2000).

Materialet i Soknedal er en viktig faktor for skredfare. Et konsolidert finstoffrikt materiale vil skape en situasjon hvor det er kun de øverste meterne som vil være vannførende. Dette laget er blitt påvirket av tele og røtter som fører til at laget blir mer porøst og kan holde mye vann. Under dette laget vil løsmassene forbli konsoliderte og lite permeable. Dette laget vil virke som et glideplan for det mer porøse materialet beliggende over. Ved store vannmengder vil det øverste laget bli vannmettet og en utglidning vil kunne oppstå (figur 4.1). I en slik situasjon vil jordskredene som utløses være grunne, 0,5 – 1 m dype. Jordskredene som er utløst i Soknedal er i all hovedsak grunne.

12.2 Årsaker til skadeskredet 13. og 14. mars 2012

Jordskredet 13. mars 2012 ble utløst i et område omkring 100 meter ovenfor jernbanesporet ved km 490.23. Jordskredet var 80 meter bredt og 100 meter langt. Skredet var grunt, med skredgrop på 1,5 m dyp. Skredgropen ligger midt i en skråning med dyrket mark, bildene (figur 12.2 og figur 12.3) viser hvordan skredgropen ser ut i dag.



Figur 12.2: Oversiktsbilde av skadeskredet. Bildet er tatt i 2014 (Foto: Terje H. Bargel).



Figur 12.3: Nærbilde av skredgropen viser tydelige spor etter jordskredet i 2012. Bildet er tatt i 2014 (Foto: Terje H. Bargel).

Jordskredet ble utløst natt til 13. mars, Jernbaneverket fikk melding om brutt kjørestrom kl. 03.42. Timesnedbør for 13. mars ved Soknedal målestasjon er ikke tilgjengelig, men det er lite trolig at den store nedbørsmengden på 31 mm påvirket utløsningen i noen stor grad. I følge CICERO rapport 2007:03, er nedbørsmengden de siste tre til ti døgn den viktigste utløsende faktor i dette området (Førland et al., 2007b). Imidlertid viser figur 11.5 at det kun falt 22,4 mm nedbør frem til den 13. mars. Dette er ikke betegnet som store nedbørsmengder og tyder på at nedbøren alene ikke er årsak til jordskredet.

Som vist i figur 11.7 og 11.8, var vannmetningen over 90 %, noe som skyldes den kraftige snøsmeltingen, nedbøren og at telen var allerede begynt å tine. I Soknedal er skråningene bestående av morenemateriale, hvor det øvre laget er mer porøst, og underliggende lag bestående av svært konsolidert morene som er lite permeabelt. I et slik materiale vil snøsmeltingen, nedbør og lite tele føre til at det øvre laget blir vannmettet og poretrykket øker. Når vannmetningen er nådd vil poretrykket til slutt bli for stort, og en utglidning vil oppstå. Sammenhengen mellom disse faktorene var trolig årsaken til jordskredet 13. mars.

Et døgn etter jordskredet, oppsto et fyllingsskred i samme skråning. Nedbørsmengden mellom de to skredhendelsene var stor, totalt 31 mm nedbør på ett døgn (figur 11.5). Likevel vil ikke denne nedbørsmengden alene kunne være en utløsende årsak til skredet.

Jordskredet døgnet før førte til en oppdemming av store mengder vann foran jernbanefyllingen, det antas også at jordmassene hadde tettet stikkrennen som går gjennom fyllingen. Det ble bygget opp et stort vanntrykk foran jernbanefyllingen, og trolig førte dette til at nedbøren som falt og vannmengdene som var demmet opp til slutt fant vei gjennom fyllingen og resulterte i at denne skled ut.

12.3 Skredsikring

Ulike sikringstiltak er foreslått for å redusere skredutsatte områder langs jernbanen i Soknedal. Blant annet er tunnel gjennom enkelte områder vurdert, samt omlegging av jernbanen (Jernbaneverket, 2001). Disse tiltakene er svært kostbare, og vil også innebære store inngrep i et ustabil terreng.

Den største utfordringen med hensyn til jordskred i Soknedal, er å få vannet under kontroll. Hovedplan for rassikring fra 2001 konkluderte med at dersom nedbøren ble større enn i dag, ville det være vanskelig å opprettholde et akseptabelt sikkerhetsnivå i dagens jernbanetrasé. Det viktigste sikringstiltaket vil være et velfungerende dreneringsanlegg (Jernbaneverket, 2001). I Soknedal er det utført et omfattende dreneringsarbeid, og området bør av den grunn være godt sikret mot skred. Til tross for dette, er området fortsatt svært skredutsatt. Dette er på grunn av at dreneringsanlegget ble etablert på 1920-tallet og er på enkelte steder fortsatt operativt i dag (Jernbaneverket, 2000). Hovedplan for rassikring fra 1996 og 2001, samt skredfarekartlegging av området i 2013, understreker også at dreneringsanlegget ikke er tilstrekkelig vedlikeholdt.

For å redusere skredfaren i området, er det viktig at grøfter og stikkrenner blir jevnlig inspisert og vedlikeholdt, slik at man får kontroll på vannet. Skredfarekartleggingen fra 2013 understreker at det er et manglende system på stikkrenner og grøfter i området (Sweco, 2013). Å GPS-markere disse vil være fordelaktig for å lettere finne frem til dem under inspeksjon, og for å ha kontroll over vedlikeholdet.

Dersom vannet ikke blir ledet kontrollert bort ved grøfter og stikkrenner, vil det føre til vannmetning av jorda. I Soknedal er skråningene bratte, noe som fører til at jorden ikke tåler

store poretrykk før en eventuell utglidning skjer. Poretrykksmålere vil være et godt tiltak i bratte skråninger, for å få kontroll på eventuelle endringer i poretrykket (Sweco, 2013). På sikt vil en helningsreduksjon av de bratteste skråningene være et tiltak for å forbedre stabiliteten i området (Jernbaneverket, 2001).

13. Konklusjon

Gjennom studie av dalsiden i Soknedal, er det vist at området har vært preget av flere skredhendelser, og fortsatt er et skredutsatt område. Skredstatistikken, de tydelige ravinene, morenematerialet og skråningsgradientene underbygger dette. Dette ble sist bekreftet ved jordskredet i 2012.

Studien har vist at sammenhengen mellom vannmettet jord, terrengforhold og manglende vedlikehold av dreneringsanlegget var avgjørende for utløsning av skredene i mars 2012.

Skredene ble utløst under en periode med kraftig nedbør og sterk snøsmelting, noe som førte til vannmettet jord og økt poretrykk i moreneskråningen. Dette resulterte i jordskredet 13. mars. Jordmassene fra skredet tettet stikkrennen og førte til oppdemming av vannmasser foran jernbanefyllingen, og var årsak til utglidning av fyllingen 14. mars.

Skredene som utløses i Soknedal er i all hovedsak vannrelaterte. Anbefalinger for å redusere skredfaren går først og fremst ut på å få kontroll på vannet. Dreneringsanlegget må vedlikeholdes bedre enn tidligere. Det vil medføre jevnlig kontroll av blant annet stikkrenner og grøfter, og vurdere utbytting av eventuelle underdimensjonerte stikkrenner. Poretrykksmålere vil være et aktuelt tiltak, for å kontrollere endringer i poretrykket, spesielt i vårmånedene. En helningsreduksjon i området vil også bidra til å forbedre stabiliteten i Soknedal.

Figurliste

Figur 1.1: Soknedal ligger i Midtre Gauldal kommune i Sør-Trøndelag fylke (A). Kartutsnittet (B) viser lokaliteten til skredhendelsene 13. og 14. mars 2012 (Norgeskart.no).	2
Figur 2.1: Skisse over dekkebygningen i Trondheimsfeltet. 2) markerer Størendekket og 3) markerer Guladekket (Skilbrei og Sindre, 1991).	4
Figur 2.2: Israndtrinn i Sør-Trøndelag (Bargel et al., 2007).	6
Figur 2.3: Figuren viser forholdet mellom brehastigheten og konsentrasjon av bergartsfragmenter (Bennet og Glasser, 2009).	8
Figur 2.4: Fremstilling av prosesser som er involvert i glasiplukking. Varierende vanntrykk er viktig i utvikling av berggrunns spekker hvor blokker kan sprenge ut (Bennet og Glasser, 2009).	9
Figur 2.5: Korngraderingskurve over materialer transportert på ulike måter. Bratt kurve indikerer god sortering, mens slak kurve indikerer god gradering av materialet (Neeb, 1992).	10
Figur 2.6: Skisse over dannelse av bunnmorene og ablasjonsmorene (utsmeltingsmorene) (Thoresen, 2000). .	11
Figur 2.7: Skisse over dannelse av randmorener (endemorene) (Thoresen, 2000).	13
Figur 3.1: Trekantdiagram som viser klassifiseringen av skredtyper ut fra forholdet mellom vann, snø og is, og stein og jord (Norem og Sandersen, 2012).	14
Figur 3.2: Klassifiseringen av ulike skredtyper i Norge basert på materialtype (NVE, 2011b).	15
Figur 3.3: Karakteristika for skred i fast fjell (NGI, 2013a).	16
Figur 3.4: Karakteristika for snøskredtyper i Norge (NGI, 2013b).	17
Figur 3.5: Skisse over a) vanlig jordskred og b) trekantformet jordskred (NVE, 2013).	18
Figur 3.6: Flomskredvifte i Balestrand (NVE, 2013).	19
Figur 3.7: Figurene viser de ulike kreftene som virker en skråning på henholdsvis 30° og 60°, hvor α = skråningsgradient, L = lasten på skråningen, N = normalkraften, f = friksjon og F = krefter parallelt på skråningen (Hyndman og Hyndman, 2011).	21
Figur 3.8: Figuren viser friksjonsvinkelen som en funksjon av korndiameter og kornform (Selmer-Olsen, 1977).	22
Figur 4.1: Figuren viser et typisk jordprofil med morenemateriale. Profilet består av et øvre, telepåvirket, lag med et underliggende overkonsolidert lag som kan utgjøre et mulig glideplan for skred (Norem og Sandersen, 2012).	26
Figur 4.2: Figuren viser hvordan poretykket øker ved et «knekkpunkt» i en moreneskråning (Bargel, 2014).	27
Figur 4.3: Skisse over overflateerosjon og grunnvannserosjon (Statens vegvesen, 2012).	29
Figur 5.1: Årsmiddeltemperaturer i Norge for normalperioden 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al., 2009).	31
Figur 5.2: Årsmiddeltemperaturer i Norge for perioden 1978-2008 (Hanssen-Bauer et al., 2009)	31
Figur 5.3: Årsmiddelnedbør for normalperioden 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al., 2009).	32
Figur 5.4: Estimert ett-døgns nedbørsverdier over Norge for normalperioden 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al., 2009).	33
Figur 5.5: Ett-døgns nedbørsverdier som ble overskredet i 1 % av tilfellene i normalperioden 1961-1990 (Hanssen-Bauer et al., 2009).	33
Figur 5.6: Endringer i skredhyppighet som følge av klimaendringer (NVE, 2011a).	35
Figur 7.1: Midtre Gauldal kommune ligger i Sør-Trøndelag fylke (A), Soknedal er et dalføre som går i sørvest-nordøstlig retning i Midtre Gauldal kommune (statkart.no, 2014).	38
Figur 7.2: Berggrunnskart med legende over Soknedal, hvor rød stjerne markerer lokaliteten for skredhendelsen 13. og 14. mars 2012 (NGU, 2013a).	39
Figur 7.3: Kvartærgeologisk kart med legende over Soknedal, rød stjerne markerer lokaliteten for skredhendelsene 13. og 14. mars 2012 (NGU, 2013b).	41
Figur 7.4: Kart over de ulike klimasoner i Norge etter Köppens klimaklassifisering (meteorologisk institutt, 2009).	42
Figur 7.5: Normalverdier for nedbør og temperaturer i perioden 1961-1990 for Støren (eKlima.no, 2013).	43
Figur 8.1: Strekningskart gjennom Soknedal. Kartet er også gitt som vedlegg A (fremstilt av Jernbaneverket). .	46
Figur 8.2: Fordeling av skredhendelser i Soknedal fordelt på måned. Basert på data fra jernbaneverket, vedlegg B.	47
Figur 8.3: Rasoversikt, fordelt på fyllinger og skjæringer (Jernbaneverket, 2000).	48

Figur 8.4: Kartutsnitt over skredhendelser i Soknedal med legende. Skredhendelser er markert med firkanter med ulik farge etter type skred (skrednett.no, 2014).	50
Figur 9.1: Plassering av terrenggrøft (Jernbaneverket, 2014).	53
Figur 9.2: Figuren viser en frostfritt fundamentert nedføringsrenne (Jernbaneverket, 2014).	53
Figur 9.3: Vertikalgrøft plassert skrått opp fra linjegrøften (Jernbaneverket, 2014).	54
Figur 9.4: Vertikalgrøft i Soknedal (Sweco, 2013).	55
Figur 9.5: Figuren viser plassering av en ekstra stikkrenne. Denne plasseres i fyllingens laveste punkt (Jernbaneverket, 2014).	57
Figur 9.6: Kvistdam (Braskerud og Myrabø, 2013).	58
Figur 9.7: Figuren viser hvordan en gabiondam er bygget opp (Desta og Adugna, 2012).	59
Figur 9.8: Kartutsnittet viser stikkrenner i området mellom km 489.7 og km 490.2. Hele kartutsnittet er gitt i vedlegg C (Sweco, 2013).	61
Figur 9.9: Gjengrodd terrenggrøft (Sweco, 2013).	62
Figur 10.1: Jordskredet 13. mars 2012, utløst på et jorde 150-200 m ovenfor jernbanespolet (Jernbaneverket, 2012).	65
Figur 10.2: Skredet 14. mars 2012, hvor jernbanefyllingen skled ut på en 35 m lang strekning (Jernbaneverket, 2012).	66
Figur 10.3: Flyfoto over skadeskredet i Soknedal (Foto: Ole Jørgen Kjellmark/Adressa.no).	67
Figur 10.4: Gjenoppbygging av fylling. Anleggsveien ble etablert nedenfra og oppover mot jernbanespolet (Jernbaneverket, 2012).	68
Figur 10.5: Den røde ringen markerer hvor det ble observert vann som strømmet ut fra skråningen som resulterte i utglidninger (Nålsund, 2012a).	69
Figur 10.6: Nedbørmengde i Soknedal mars 2012 (seNorge.no, 2014).	70
Figur 10.7: Grafen illustrerer teledypet fra februar til mars 2012 i Soknedal, grafen er basert på data fra seNorge.no.	71
Figur 10.8: Kartet viser teledypet i Soknedal 13. mars 2012. Rødt kryss markerer hvor skredet oppsto (seNorge.no, 2014).	72
Figur 10.9: Vannmetningen i jord gitt i prosent i Soknedal 13. mars 2012 (seNorge.no, 2014).	73
Figur 10.10: Jordas vannlagerkapasitet i Soknedal 13. mars 2012 (seNorge.no, 2014).	73
Figur 10.11: Graf over vannkapasiteten og vannmetningen i perioden februar-mars. Grafen er basert på data fra SeNorge.no.	74
Figur 10.12: Bildet viser oppdemming av vann bak jernbanefyllingen etter skredet 13. mars (Jernbaneverket, 2012).	75
Figur 10.13: Skisse over dreneringstiltaket i Soknedal (Nålsund, 2012b).	76
Figur 10.14: Bekken lagt i rør med nytt innløp (Sjøvold og Viklund, 2012).	77
Figur 10.15: Nærbilde av det nye innløpet (Sjøvold og Viklund, 2012).	77
Figur 10.16: Bilde over fyllingen og hvor ny kum (sandfang) er plassert (Sjøvold og Viklund, 2012).	77
Figur 11.1: Befaring av skredlokaliteten 16. juli 2014. Bildet viser skredløpet sett fra jernbanefyllingen (Foto: Terje H. Bargel).	79
Figur 11.2: Skredløpet sett fra skredgropen (Foto: Terje H. Bargel).	79
Figur 11.3: Moreneleire i skråningen ved utløsningsområdet (Foto: Terje H. Bargel).	80
Figur 11.4: Området blottlagt med løst pakket jord ved innløp til stikkrenne (Foto: Terje H. Bargel).	80
Figur 11.5: Nedbørmengde i mm og snødybde gitt i cm for mars 2012 i Soknedal (eKlima.no, 2014).	81
Figur 11.6: Graf over nedbørmengde i mars måned, målt i mm i forhold til årsnedbøren for de siste 6 årene i Soknedal. Grafen er basert på data fra eKlima.no.	82
Figur 11.7: Vannmetning i jorden gitt i % for Soknedal 13. mars 2012 (seNorge.no, 2014).	83
Figur 11.8: Jordens vannlagerkapasitet for Soknedal 13. mars 2012 (seNorge.no, 2014).	83
Figur 11.9: Skyggerelieff kart over et område i Soknedalen. Pilen markerer hvor jordskredet 13. mars 2012 ble utløst. Se vedlegg D for større kart.	84
Figur 11.10: Bratthetskart over et område i Soknedalen, ulike gradienter er markert med ulik farge. Pilen markerer hvor jordskredet 13. mars 2012 ble utløst. Se vedlegg E for større kart.	85
Figur 12.1: Kartutsnitt fra GIS-analyse over skredsannsynlighet i Soknedal (Sweco, 2013).	86
Figur 12.2: Oversiktsbilde av skadeskredet. Bildet er tatt i 2014 (Foto: Terje H. Bargel).	88

Figur 12.3: Nærbilde av skredgropen viser tydelige spor etter jordskredet i 2012. Bildet er tatt i 2014 (Foto: Terje H. Bargel)..... 88

Tabelliste

Tabell 7.1: Bergartsfordelingen langs strekningen Garli-Støren (etter Sweco, 2011).....	40
Tabell 7.2: Vegetasjonsfordelingen langs jernbanen i Soknedal (etter Jernbaneverket, 2000).....	44
Tabell 8.1: Tabell over registrerte skredhendelser mellom km 482 – km 500. Tabellen er gitt i vedlegg B.	50
Tabell 11.1: Nedbørsverdier pr. måned i mm for 2008 – 2013 i Soknedal (eKlima.no, 2014).	81

Referanser

- Bargel, T.H., Olsen, L. og Sveian, H. 2007. 'Siste istid og isavsmeltingen i Midt-Norge', I T.H. Bargel, R. Lagerbäck og K. Nenonen (red.) *Beskrivelse til kvartærgeologiske kart over Midt-Norden*. NGU rapport nr. 2007.024. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, 137 s. 121 – 124.
- Bargel, T.H. 2012. *Skråningsprosesser del 1*. Tgb4185 Ingeniørgeologi Grunnkurs, NTNU.
- Bargel, T.H. og Kvalvik, Y.S. 2013. *Skredhendelser i Trøndelag og på Nord-Møre mars-april 2012 – NVEs håndtering av hendelsene og geografisk fordeling av skredene*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat, 26 s.
- Bennet, M.R. og Glasser, N.F. 2009. *Glacial geology – ice sheets and landforms*. 2. utg. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 400 s. 109 – 131.
- Bjordal, H. 2011. *Sikring av vegger mot steinskred*. Vegdirektoratet rapport nr. 32. Statens vegvesen, 75 s.
- Braskerud, B.C. og Myrabø, S. 2013. *Kvistdammer: Flomdemping, sedimentsamling og stabilisering i små nedbørsfelt*. Faktaark versjon 1.0 April 2013. NIFS, 4 s.
- Brattli, B. 2000. *Kjemisk forvitring*. 2.utg. Trondheim: NTNU, 49 s. 8.
- Brattli, B. 2009. *Fysisk og kjemisk hydrogeologi*. 3. utg. Trondheim: NTNU, 201 s.
- Carstens, H. (2010). *Rasen(d)e fjellvegger*. Tilgjengelig fra: <http://www.geoportalen.no/skredulykker/rasendefjellvegger/>. (Hentet 19.04.2014).
- Colleuille, H. og Engen, I.K. 2009. *Utredning om overvåking og varsling av løsmasse- og snøskredfare på regionalt nivå*. Dokument nr. 16. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat, 72. s. 53 – 70.
- Desta, L. og Adugna, B. 2012. *A Field Guide on Gully Prevention and Control*. Eastern Nile Subsidiary Action Program (ENSAP), 80 s. 38 – 41.

- eKlima.no. 2013. eKlima – *Gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner*. Tilgjengelig fra: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL. (Benyttet desember - mars).
- Fosen, H., Pedersen, R-B., Bergh, S. og Andresen, A. 2007. 'En fjellkjede blir til', i I.B. Randberg, I.Bryhni. og A. Nøttvedt (red.) *Landet blir til – Norges geologi*. 1. utg. Trondheim: Norsk Geologisk Forening, 608 s. 178 – 229.
- Førland, E.J., Alfnes, E., Amundsen, H., Asvall, R.P., Benestad, R., Debernard, J., Engen-Skaugen, T., Hanssen-Bauer, I., Harstveit, K., Haugen, J.E., Hovelsrud, G.K., Isaksen, K., Jaedicke, C., Kronholm, K., Kvambekk, Å.S., LaCasce, J., Roald, L.A., Sletten, K. og Stalsberg, K. 2007a. *Climate change and natural disasters in Norway – An assessment of possible future changes*. Met.no report nr. 06/2007. Meteorologisk institutt, 120 s. 13 – 21.
- Førland, E.J., Amundsen, H. og Hovelsrud, G.K. 2007b. *Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer – Utredning på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning*. CICERO report 2007:03. Oslo: CICERO Senter for klimaforskning, 71 s. 13 – 17, 33 – 46.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Roald, L., Hisdal, H., Lawrence, D., Drange, H., Nesje, A., Vasskog, K., Sandven, S., Ådlandsvik, B., og Sundby, S. 2009. *Klima i Norge 2100 – Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing*. Norsk klimasenter, 135 s.
- Hjort, B. 2013. *Sokna II-IV*. Tilgjengelig fra: <http://elveguide.netrunner.nu/guider/soer-troendelag/sokna>. (Hentet 12.12.2013).
- Hyndman, D. og Hyndman, D. 2011. *Natural hazards and disasters*. 3.utg. Canada: Brooks/Cole, 571 s. 198 – 234.
- Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L.H., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A. og Mestl, H. 2008. 'Spatial and temporal variations of Norwegian geohazard in a changing climate, the GeoExtreme Project, *Natural hazards and earth system sciences*, 8(4), s. 893 – 904.
- Jensen, E. S. 2006. *Bergarter og mineraler*. 1.utg. Damm Egmont, 221 s. 185 – 186.

- Jernbaneverket. 2000. *Sammenhengen mellom dreneringsforhold og ras i morene – Feltundersøkelser Soknedal km 482 – 496*. Jernbaneverket, Region Nord, 31 s. + 13.
- Jernbaneverket. 2001. *Hovedplan rassikring Soknedal – Dovrebanen, strekning Bjørset bru – Støren (km 482 – 500)*. Jernbaneverket, Region Nord, 26 s. + 5.
- Jernbaneverket. 2004. *Underbygning: Regler for vedlikehold. Løsninger for utbedring av dreneringsanlegg. Drenering*. Jernbaneverket hovedkontoret, 41 s.
- Jernbaneverket. 2012. *Rapport: Feil på Jernbaneverkets infrastruktur 13.04 – 09.05.2012, Ras Soknedal, km 490.23*. Dovre-/Trønderbanen, Jernbaneverket Bane Nord, 19 s.
- Jernbaneverket. 2013. *Årsrapport 2012*. Oslo: Jernbaneverket, 75 s. 31.
- Jernbaneverket. 2014. *Underbygning/Prosjektering og bygging/drenering*. Teknisk regelverk utgitt 25. januar 2014. Jernbaneverket, 11 s.
- Karlsen, O. og Solerød, H. 2006. *Terra Nova – Geografi for den videregående skolen*. 1.utg. Oslo: H. Aschehoug & Co, 240 s. 98.
- Kartverket. 2014. *Forprosjekt «Nasjonal, detaljert høydemodell» sluttrapport*. Statens kartverk, 28 s. 5 - 6.
- Kartverket.no 2012. *Laserskanning*. Tilgjengelig fra: <http://www.kartverket.no/Kart/Laserskanning/>. (Hentet 29.04.2014).
- Kronholm, K. og Stalsberg, K. 2009. 'Klimaendringer gir endringer i skredhyppigheten', *KLIMA – Norsk magasin for klimaforskning*, 3. s. 34 – 36.
- Meteorologisk institutt. 2009. *Köppens klimasoner*. Tilgjengelig fra: <https://metlex.met.no/wiki/Fil:Klimasoner.png>. (Hentet 13.12.2013).
- Meteorologisk institutt. 2012. *Været i Norge – Klimatologisk månedsoversikt mars 2012*. Klima nr. 03/2012. Oslo: Meteorologisk institutt, 28 s.
- Moser, M. og Hohensinn, F. 1982. 'Geotechnical aspects of soil slips in alpine regions', *Engineering Geology*, 19(3), s.185 – 211.
- Naturfare.no. 2014. *Om prosjektet*. Tilgjengelig fra: <http://www.naturfare.no/>. (Hentet 24.04.2014).

- Neeb, P-R. 1992. *Byggeråstoffer. Kartlegging, undersøkelse og bruk*. Norges Geologiske Undersøkelse. Trondheim: Tapir forlag, 374 s.
- NGI. 2013a. *Tre typer steinskred*. Tilgjengelig fra: <http://www.ngi.no/no/Utvalgte-tema/Skred-og-skredfare/Skredkategorier/Tre-typer-steinskred/>. (Hentet 02.12.2013).
- NGI. 2013b. *Tre typer snøskred*. Tilgjengelig fra: <http://www.ngi.no/no/Utvalgte-tema/Skred-og-skredfare/Skredkategorier/Tre-typer-snoskred/>. (Hentet 02.12.2013).
- NGI. 2013c. *Impacts of extreme weather events on infrastructure in Norway (InfraRisk) – Sluttrapport til NFR – prosjekt 200689*. Utarbeidet av: Frauenfelder, R., Solheim, A., Isaksen, K., Romstad, B., Dyrddal, A.V., Gangstø, R., Harbitz, A., Harbitz, C.B., Haugen, J.E., Hygen, H.O., Haakenstad, H., Jaedick, C., Jonsson, A., Klæboe, R., Ludvigsen, J., Meyer, N.M., Rauken, R., Sverdrup- Thygeson, K., Aaheim, A. NGI rapport nr. 20091808-01-R. 94 s. + Appendiks.
- NGU. 2008. *Dette er jordskred*. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/no/hm/Geofarer/Skred/Jordskred/Dette-er-jordskred/>. (Hentet 02.12.2013).
- NGU. 2013a. *Berggrunnskart*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>. (Hentet 12.12.2013).
- NGU. 2013b. *Kvartærgeologisk kart*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>. (Hentet 12.12.2013).
- Nordal, O. 2011. *Miljøeffekt av endret klima – oversikt over mulige problemstillinger. Vegdirektoratet rapport nr. 30*. Oslo: Statens Vegvesen, 22 s.
- Norem, H. og Sandersen, F. 2012. *Flom- og sørpeskred – høringsutgave av veileder*. Statens vegvesens rapporter nr. 73. Vegdirektoratet, 102 s.
- Norgeskart.no. 2014. *Norgeskart*. Tilgjengelig fra: <http://www.norgeskart.no/#5/378604/7226208>. (Hentet 13.03.2014).
- Norskvann.no. 2014. *VA ordbok*. Tilgjengelig fra: <https://kurs.norskvann.no/mod/glossary/view.php>. (Hentet 19.04.2014).

NSW Department of Primary Industries. n.d. Tilgjengelig fra:

http://www.dpi.nsw.gov.au/data/assets/pdf_file/0008/255158/fact-sheet-5-gully-erosion.pdf. (Hentet 12.12.13).

NVE. 2011a. *Plan for skredfarekartlegging – Delrapport jordskred og flomskred*. Rapport nr. 16/2011. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat, 62 s.

NVE. 2011b. *Plan for skredfarekartlegging – Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi*. Rapport nr. 14/2011. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat, 92 s.

NVE. 2013. *Jordskred og flomskred- Forebygging av skredfare i Norge*. Faktaark 2013-01. Norges Vassdrags- og energidirektorat, 4 s.

Nålsund, R. 2012a. *Befaring jordras Soknedal km 490.23 onsdag 21. mars*. Jernbaneverket, 2 s.

Nålsund, R. 2012b. *Møte på Støren Stasjon om moreneras i Soknedal*. Jernbaneverket, 3 s.

Prestvik, T. 2001. *Petrologi og geokjemi*. Trondheim: Vett & Viten, 280 s. 114.

Ranka, K. 2002. Slå rot- och väx upp eller Vegetasjon som forsterkningsmetode. Karlstad: Räddningsverket, i NGI 2013c, *Skog og skred – Forslag til kriterier for vernskog mot skred – Del 1*. NGI rapport. Oslo: Norges Geotekniske Institutt, 48 s. 32.

Reite, A.J., Sveian, H. og Erichsen, E. 1999. *Trondheim fra istid til nåtid – landskapshistorie og løsmasser*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, 39 s. 10 – 17.

Reubens, B., Poesen, J., Danjon, F., Geudens, G. og Muys, B. 2007. 'The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review', *Trees*, 21, s 385 – 402.

Rosenlund, A.K. 1927. *Rapport: Angående grunnundersøkelser i Soknedalen, langs Dovrebanen*. Oslo, 13 s.

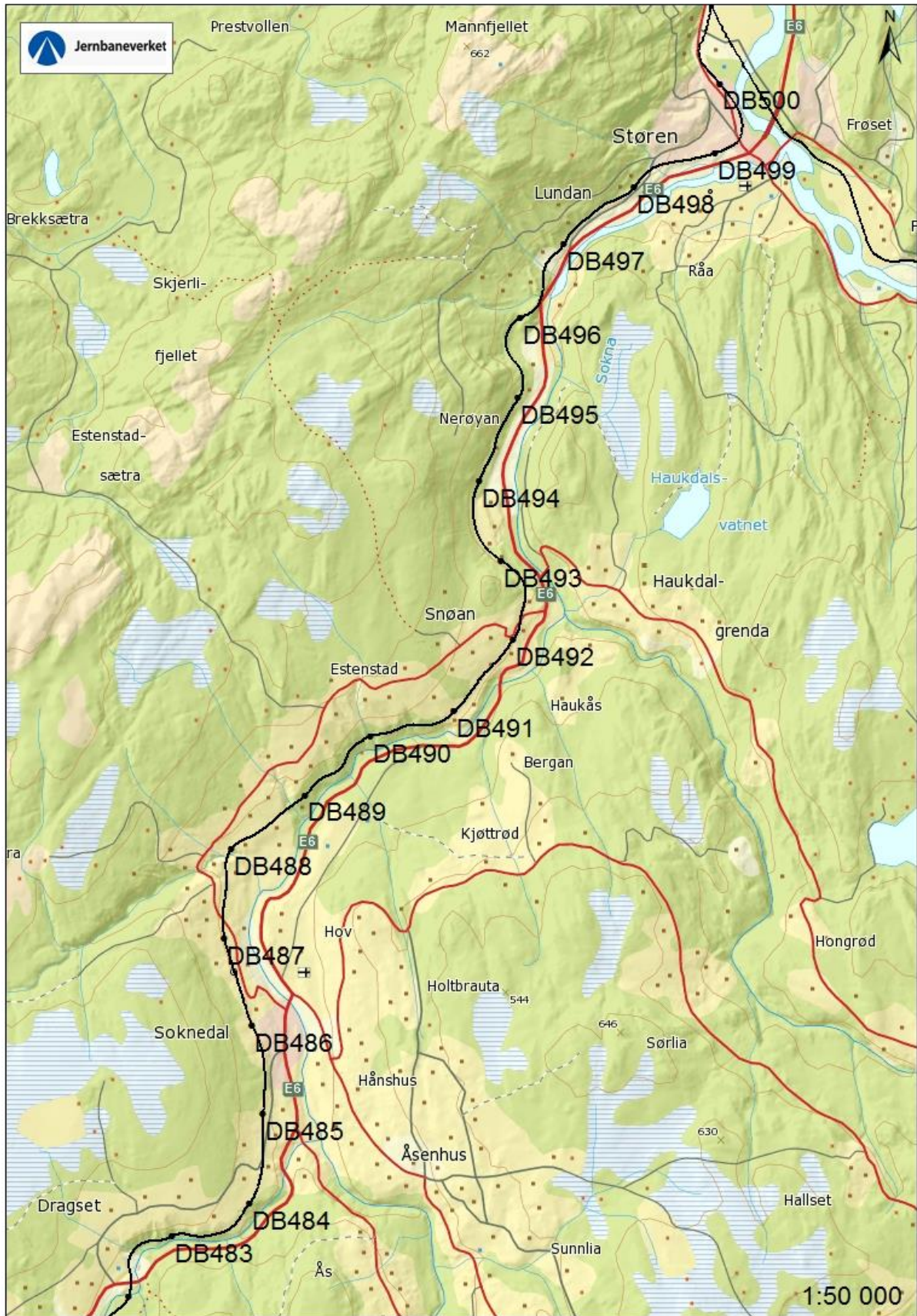
Rørvik, T. 1982. *Geoteknikk 1 – Jordartene fysiske egenskaper*. 1.utg. Ålesund: Universitetsforlaget, 107 s. 10 – 13.

- Røsand, R.H. 2012a. *Ras Dovrebanen, km 490.23 i Soknedal*. Notat nr. G-not-001. Rambøll, 2 s.
- Røsand, R.H. 2012b. *Ras Dovrebanen, km 490.23 i Soknedal*. Notat nr. G-not-002. Rambøll, 2 s.
- Selmer-Olsen, R. 1977. *Ingeniørgeologi Del II – De løse jordlag*. Trondheim: Tapir forlag, 289s.
- SeNorge.no. 2014. *Nedbørsdata*. Tilgjengelig fra: <http://www.senorge.no/>. (Hentet 12.03.2014).
- Sjøvold, F. og Viklund, M. 2012. *Skredfarekartlegging Dovrebanen – detaljkartlegging*. Notat nr. 580835-3. Sweco, 9 s.
- Skei, K. 2014. *Infrastruktur i løsmasser – Jernbaneverkets utfordringer*. Jernbaneverket
- Skilbrei, J.R. og Sindre, A. 1991. *Tolkning av gravimetri langs ILP-profilet, Hemne – Storlien*. NGU rapport nr. 91.271. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse. 27 s.
- Skrednett.no. 2014. *Skredatlas*. Tilgjengelig fra: <http://skredatlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=Skredatlas&MapType=Skredhendelser%09&Extent>. (Hentet 05.02.2014).
- Skøien, S. 2003. *Jordlære*. 1.utg. Oslo: GAN Forlag AS, 195 s. 155 – 172.
- Skøien, S. 2008. *Jordlære – Oversikt over erosjonsprosesser og mottiltak*. Landbrukskontoret i Follo, 53 s.
- Statens Vegvesen. 2012. *Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger – veiledning*. Statens vegvesen håndbokserie, 274. Oslo: Vegdirektoratet, 349 s. 290 – 291.
- Statkart.no. 2014. *Norgeskart*. Tilgjengelig fra: <http://kart.statkart.no/adaptive2/default.aspx?gui=1&lang=2>. (Hentet 20.04.2014).
- Sweco. 2011. *Skredfarekartlegging Dovrebanen: Garli (km. 482,3) – Støren (Km. 501), Heimdal (Km. 541,5) – Marienborg (Km. 550,5)*. Rapport nr. 01. Sweco, 23 s. 2.
- Sweco. 2013. *Skredfarekartlegging Dovrebanen, Garli – Støren*. Rapport nr. 01. Sweco, 29 s.

- Sygna, L., Eriksen, S., O'Brien, K. og Næss, L.O. 2004. *Climate change in Norway: Analysis of economic and social impacts and adaptations*. CICERO Report 2004:12. Oslo: CICERO, 40 s.
- Sæter, J.A. 1996. *Naturen i Trøndelag*. 1.utg. Sjetnemarka: Sæter Forlag AS. 188 s. 13.
- Thoresen, M.K. 2000. *Kvartærgeologisk kart over Norge. Tema: jordarter*. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse, 64 s. 33 – 40.
- Van Beek, R., Cammeraat, V., Andreau, V., Mickovski, S.B. og Dorren, L. 2008. 'Hillslope processe: Mass wasting, slope stability and erosion', i J.E. Norris., A. Stokes., S.B. Mickovski., E. Cammeraat., R. van Beek., B.C. Nicoll. Og A. Achim (edt.) *Slope stability and erosion control: Ecotechnological solutions*. 1.utg. Nederland: Springer, s. 17 – 64.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and proceses. I R.L. Schuster og R.J. Krizek (edt.), *Landslides, analysis and control – special report 176*. Transportation research board. Washington DC: National Academy of Sciences, 234 s. 11 – 33.
- Vorren, T.O. og Mangerud, J. 2007. 'Istider kommer og går', i I.B. Randberg, I. Bryhni. Og A. Nøttvedt (red.) *Landet blir til – Norges geologi*. 1.utg. Trondheim: Norsk Geologisk Forening, 608 s. 478 – 531
- Wang, G. og Sassa, K. 2003. 'Pore-pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: effects of grain size and fine-particle content, *Engineering Geology*, 69(1-2), s. 109 – 125.
- Wieczorek, G.F. og Glade, T. 2005. 'Climatic factors influencing occurrence of debris flows', i M. Jakob og O. Hungr (edt.) *Debris-flows hazards and related phenomena*. 1.utg. Tyskland: Praxis Publishing Ltd, 739 s. 325 – 352.

Vedlegg A – Strekningskart Dovrebanen

Strekningskart over Dovrebanen gjennom Soknedal, gitt av Jernbaneverket.



Vedlegg B – Registrerte skredhendelser 1953 – 2013

Modifisert etter data fra Jernbaneverket

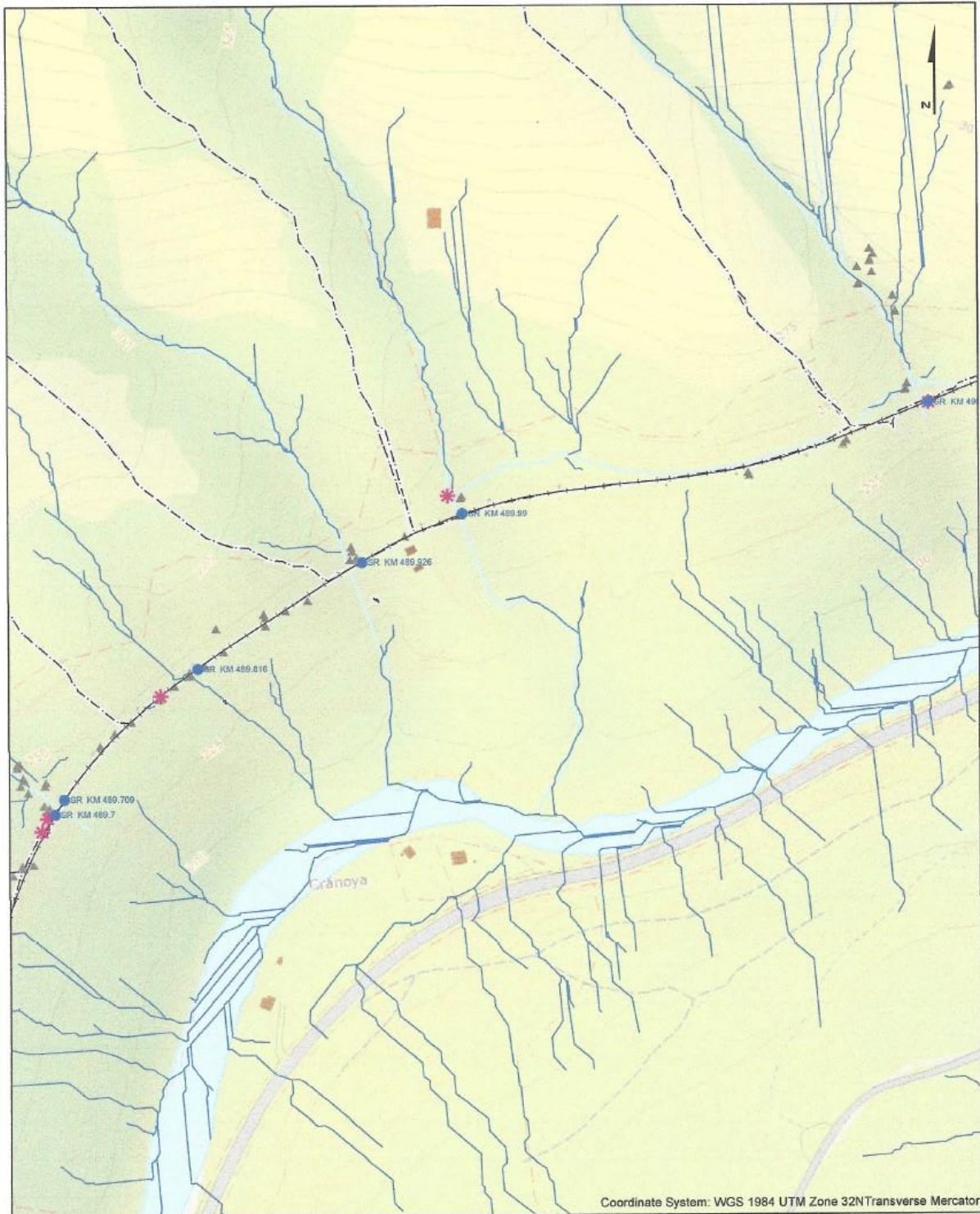
ID	Banestrekning	Lokasjon	Lokasjonsbeskrivelse	Km	Tidspunkt	Rapportert av	Rapportert dato	Driftsstans J/N	Driftsstans fra dato/tid	Driftsstans til dato/tid	Ras/utglidning	Type ras/skred
30020168	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	482,48	25.03.1953 00:00	SNB	25.03.1953 00:00	N			Utglidning	Jord
30020169	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	482,56	23.04.2000 12:00	SNB	23.04.2000 12:00	N			Nedrasning	Jord
30020170	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	482,6	12.05.1997 00:00	SNB	12.05.1997 00:00	N			Utglidning	Jord
30020171	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	482,625	21.04.2000 10:00	SNB	21.04.2000 10:00	N			Utglidning	Jord
30020172	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	482,7	01.04.1990 00:00	SNB	01.04.1990 00:00	N			Utglidning	Jord
30020173	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	482,85	08.05.1995 11:00	SNB	08.05.1995 11:00	N			Utglidning	Stein
30020174	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	482,88	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Nedrasning	
30020175	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	482,88	08.05.1995 11:00	SNB	08.05.1995 11:00	N			Utglidning	Jord
30020176	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	483,03	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Nedrasning	
30020177	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	483,2	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Nedrasning	
38513798	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	483,45	13.03.2012 06:00	ENJA	27.03.2012 16:34	N			Nedrasning	Stein/Jord
30020178	1111	1111-00005	Garli - Soknedal	483,6	21.04.2000 10:00	SNB	21.04.2000 10:00	N			Utglidning	Jord
30020179	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	489,1	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Utglidning	
30020180	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	489,13	12.04.1989 00:00	SNB	12.04.1989 00:00	J	12.04.1989 00:00:00	12.04.1989 04:45:00	Nedrasning	Jord
30020181	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	489,25	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Utglidning	
30020183	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	489,7	21.04.2000 10:00	SNB	21.04.2000 10:00	N			Utglidning	Jord
30020182	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	489,7	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Nedrasning	
30020184	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	489,8	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Nedrasning	
30020185	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490	06.04.1965 00:00	SNB	06.04.1965 00:00	N			Utglidning	Jord
38513811	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,23	13.03.2012 04:00	ENJA	29.03.2012 15:40	J	13.03.2012 03:43:00	09.05.2012 17:00:00	Nedrasning	Stein/Jord
30020186	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,35	11.04.1976 00:00	SNB	11.04.1976 00:00	J	11.04.1976 00:00:00	11.04.1976 20:00:00	Nedrasning	Jord
30020187	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,35	04.04.1987 00:00	SNB	04.04.1987 00:00	N			Nedrasning	Jord
30020190	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,4	14.01.1992 00:00	SNB	14.01.1992 00:00	J	14.01.1992 00:00:00	14.01.1992 17:00:00	Nedrasning	Jord
30020188	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,4	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Nedrasning	
30020189	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,4	14.12.1987 00:00	SNB	14.12.1987 00:00	N			Nedrasning	
30020191	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,401	17.03.1990 00:00	SNB	17.03.1990 00:00	N			Nedrasning	Jord
30020192	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,48	19.04.1965 00:00	SNB	19.04.1965 00:00	N			Utglidning	Jord
30020193	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	490,5	21.04.2000 10:00	SNB	21.04.2000 10:00	N			Utglidning	Jord
30020194	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	491,5	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Utglidning	
30020195	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	492,15	24.03.1953 00:00	SNB	24.03.1953 00:00	N			Nedrasning	
38513608	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	493,5	19.06.2010 03:10	ENJA	06.07.2010 12:20	N	19.06.2010 03:15:00	20.06.2010 14:00:00	Utglidning	Stein/Jord
38513812	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	494,07	27.03.2012 09:00	ENJA	30.03.2012 11:19	N			Nedrasning	Jord
30020196	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	494,6	17.04.1965 00:00	SNB	17.04.1965 00:00	N			Utglidning	
30020197	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	494,7	10.05.1976 00:00	SNB	10.05.1976 00:00	N			Utglidning	Jord
30020198	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	495,6	02.11.1983 00:00	SNB	02.11.1983 00:00	J	02.11.1983 00:00:00	06.11.1983 00:00:00	Utglidning	Jord
30020199	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	495,7	13.05.1981 00:00	SNB	13.05.1981 00:00	N			Nedrasning	Stein/Jord
30020200	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	495,84	08.05.1988 00:00	SNB	08.05.1988 00:00	J	08.05.1988 00:00:00	09.05.1988 03:00:00	Utglidning	Jord
30020201	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	496,106	18.06.1986 00:00	SNB	18.06.1986 00:00	J	18.06.1986 00:00:00	18.06.1986 07:45:00	Nedrasning	Stein
30020202	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	497,08	24.05.1976 00:00	SNB	24.05.1976 00:00	N			Nedrasning	Jord
30020203	1111	1111-00006	Soknedal - Støren	499,2	26.03.1953 00:00	SNB	26.03.1953 00:00	N			Utglidning	

ID	Volum av rasmasser	Lengde av berørt linje	Avst spor - løseområde	Skader på rull materiell	Side	Personsskade	Oppdaget ved	Vær	Temperatur
30020168	>500m ³							Ukjent	
30020169	5-25m ³	10-30m	15-50m	Ingen skade	Venstre	Ingen skade	Varslet av visitør	Opphold	10° - 15°
30020170	25-100m ³	10-30m	<5m		Høyre		Varslet av visitør	Ukjent	
30020171	5-25m ³	Ukjent	5-15m	Ingen skade	Høyre	Ingen skade	Varslet av visitør	Opphold	10° - 15°
30020172	25-100m ³							Ukjent	
30020173	25-100m ³	10-30m	<5m		Høyre		Varslet av visitør	Ukjent	
30020174	100-500m ³							Ukjent	
30020175		10-30m	<5m		Høyre		Varslet av visitør	Ukjent	
30020176	100-500m ³							Ukjent	
30020177	100-500m ³							Ukjent	
38513798	25-100m ³	<10m	>50m	Ingen	Venstre	Ingen	Varslet av visitør	Regn m/vind	5° - 10°
30020178	25-100m ³	10-30m	<5m	Ingen skade	Høyre	Ingen skade	Varslet av visitør	Opphold	10° - 15°
30020179	100-500m ³							Ukjent	
30020180	25-100m ³						Varslet av visitør	Ukjent	
30020181	100-500m ³							Ukjent	
30020183	25-100m ³	10-30m	<5m	Ingen skade	Høyre	Ingen skade	Varslet av visitør	Opphold	10° - 15°
30020182	25-100m ³							Ukjent	
30020184	100-500m ³							Ukjent	
30020185	>500m ³	30-100m						Ukjent	
38513811	>500m ³	30-100m	>50m	Ingen	Senter	Ingen	Banestrømsutfall	Regn	5° - 10°
30020186	100-500m ³	Ukjent	Ukjent	Lok + personvogn	Venstre	Reisende og togpersonale	Påkjørt/varslet av tog	Opphold	Ukjent
30020187	5-25m ³	<10m	5-15m				Påkjørt/varslet av tog	Ukjent	
30020190	100-500m ³		15-50m				Påkjørt/varslet av tog	Ukjent	
30020188	100-500m ³							Ukjent	
30020189	25-100m ³	<10m						Ukjent	
30020191	25-100m ³	<10m	15-50m				Påkjørt/varslet av tog	Ukjent	
30020192								Ukjent	
30020193	25-100m ³	10-30m	<5m	Ingen skade	Høyre	Ingen skade	Varslet av visitør	Opphold	10° - 15°
30020194	100-500m ³							Ukjent	
30020195	25-100m ³							Ukjent	
38513608	25-100m ³	>100m	>50m	Lokomotiv	Venstre	Ingen	Påkjørt/varslet av tog	Regn	5° - 10°
38513812	25-100m ³	<10m	15-50m	Ingen	Venstre	Ingen		Regn	5° - 10°
30020196								Ukjent	
30020197								Ukjent	
30020198								Ukjent	
30020199								Ukjent	
30020200								Ukjent	
30020201								Ukjent	
30020202								Ukjent	
30020203	100-500m ³							Ukjent	

ID	Beskrivelse av rassted	Baneskader	Ras beskrivelse	Merknad
30020168	Fylling			Utrasing av banelegemet ved Bjørset. 2000 m3.
30020169	Halvskjæring	Ingen skade		
30020170	Halvskjæring			
30020171	Halvskjæring	Ingen skade		Linjen ble ikke berørt
30020172	Fylling			
30020173	Fylling	Underbygning		
30020174				
30020175	Fylling			Se "GK 482,88 Db" Rapport fra Kummeneje A/S av 12.05.95
30020176				200 m3
30020177				300 m3
38513798	Halvskjæring			
30020178	Fylling	Ingen skade		
30020179				100 m3
30020180	Halvskjæring			
30020181				200 m3
30020183	Fylling	Ingen skade		
30020182				50 m3
30020184				100 m3
30020185	Fylling			Utrasing av fylling i ca. 60-70m lengde 489,96-490,027, opptil 2m nesten loddrett raskant 0,4 m fra svilleende. Ingen synking i selve sporet. 2000-3000 m3
38513811	Fylling	Underbygning		
30020186	Skjæring	Ingen skade		se sak 942/76-4
30020187	Halvskjæring			
30020190	Fylling			Pluss 4 grader og regn. Sak 92/00266
30020188				200 m3
30020189				Snø og jordras fra skråning og ned i skinnegangen. ca. 9m lengde. Skader på kabler/ledn.
30020191	Halvskjæring			
30020192	Fylling			
30020193	Fylling	Ingen skade		
30020194				Utrasing av banelegemet v/Snøan (6 ras) 350 m3
30020195				Ras ned på linja (4 ras) 60 m3
38513608	Halvskjæring	Sviller	Stein/ jordras	Det var meldt store nedbørsmengder i området. Visitert ca. halv time før godstoget med robel.
38513812	Halvskjæring	Underbygning		
30020196				Liten utrasing i fylling i ca. 10m lengde nær sporet.
30020197	Fylling			
30020198	Fylling			
30020199	Linje i terrengnivå			
30020200	Fylling			
30020201	Tunnel			
30020202	Halvskjæring			
30020203				Utrasing av banelegemet. ca. 500 m3

Vedlegg C – Stikkrenner

Kart over stikkrenner mellom km 489.7 – 490.2 hentet fra Sweco 2013



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 32N Transverse Mercator

1:2 000

Side: 12



Tegnforklaring

- Stikkrenner
- ★ Skredhendelser
- Jernbane
- ▲ Befart (GPS Punkter)
- Vannveier basert på GIS analyse
- Gransen til felt til Stikkrenner
- Elv/bekkeledninger

Dovrebanen

Oppdragsgiver:
Jernbaneverket

Prosjektnummer:
580835

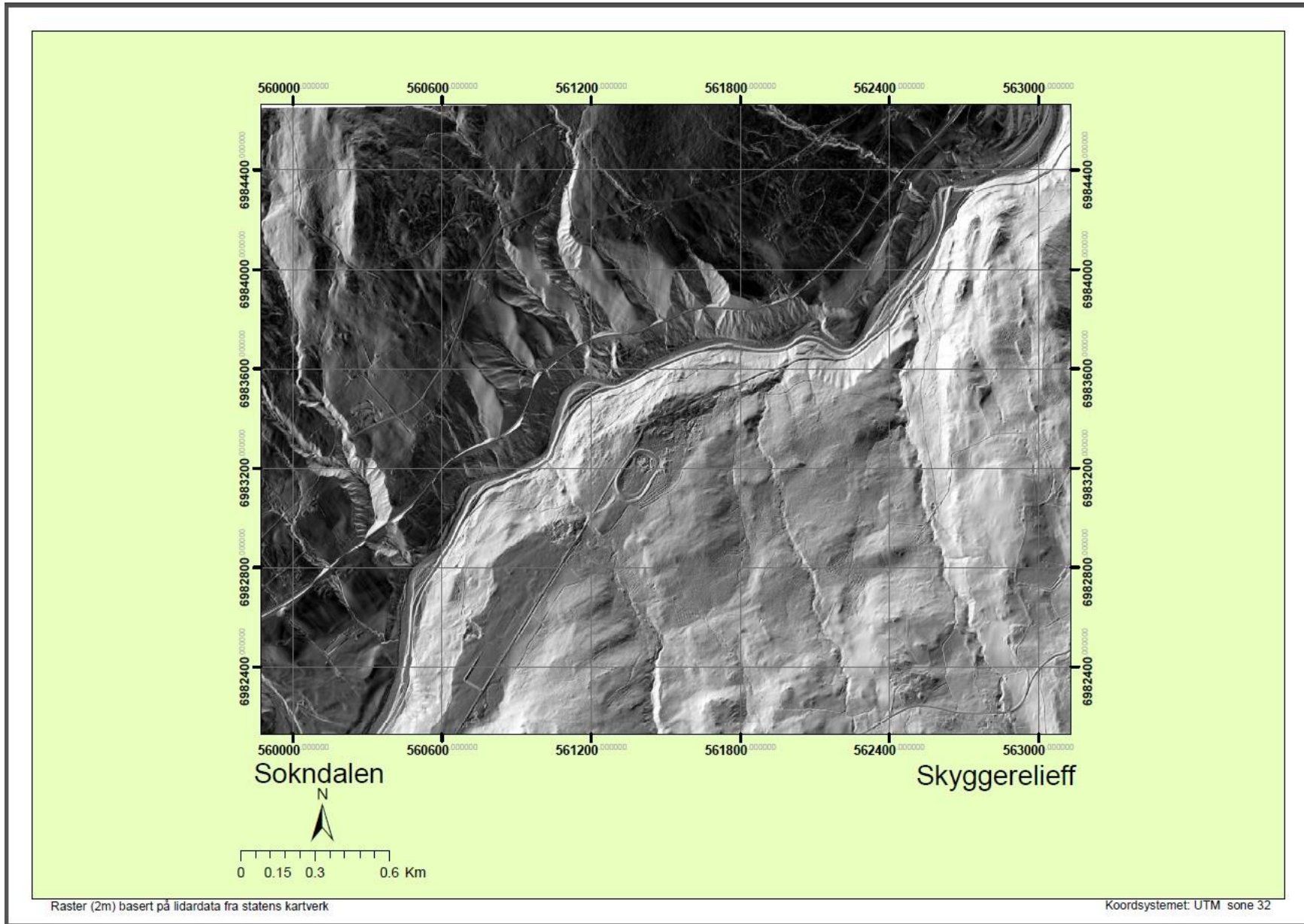
Utarbeidet av: J.UUNJU

Kartgrunnlag:
NSO Kartdata



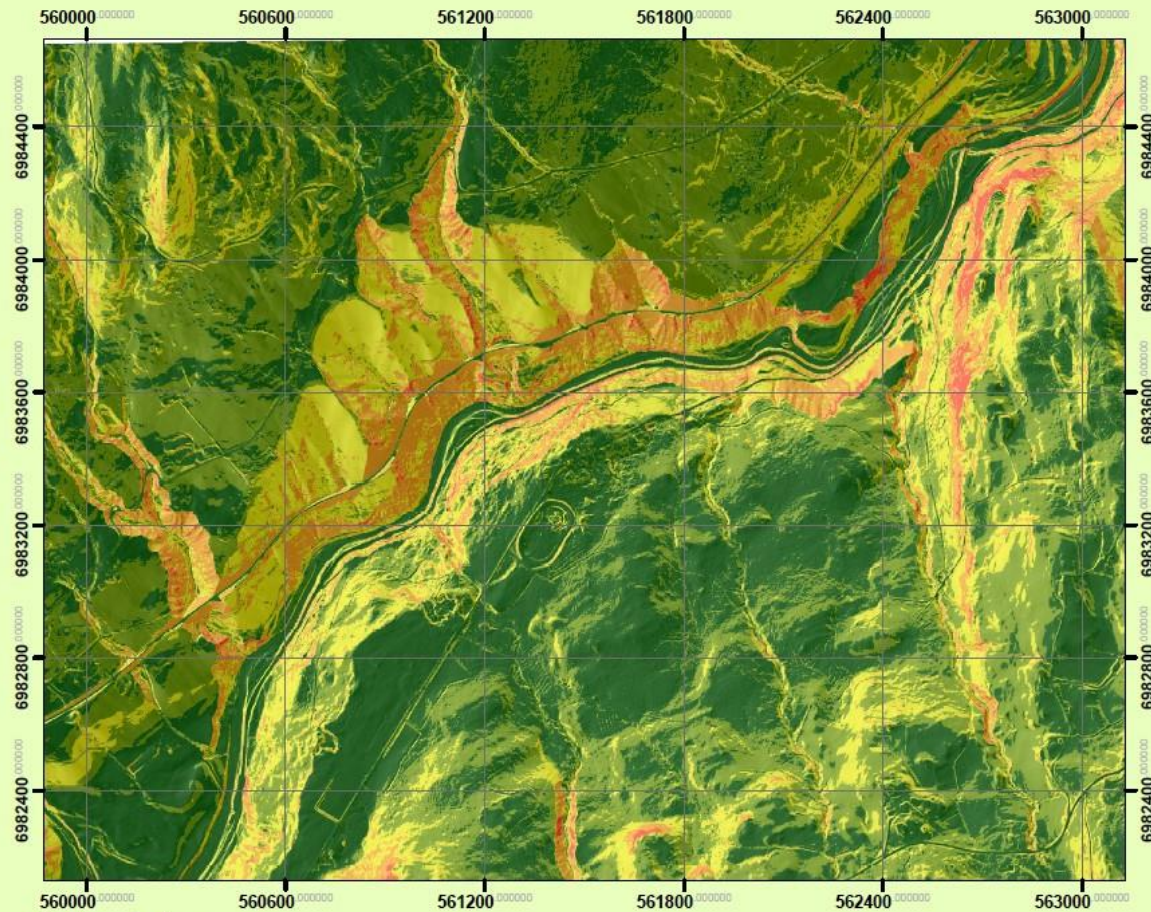

Vedlegg D – Skyggerelieffkart

Kart fra Statens Kartverk, fremstilt av Rengifo Ortega ved NVE

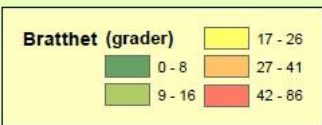
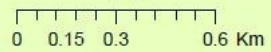


Vedlegg E – Bratthetskart

Kart fra Statens Kartverk, fremstilt av Rengifo Ortega ved NVE



Sokndalen



Raster (2m) basert på lidardata fra statens kartverk

Koordsystemet: UTM sone 32

Vedlegg F – Skredsannsynlighet

Skredfarekart for strekningen mellom km 488 – km 496 hentet fra Sweco 2013

