

Vurdering av skredfare langs fv. 660 i Eresfjorden

Kari Linn Søreide

Geologi

Innlevert: desember 2013

Hovedveileder: Anders Schomacker, IGB

Medveileder: Halgeir Dahle, Statens vegvesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk

Sammendrag

Mange norske veier er utsatt for skred, og Statens vegvesen jobber kontinuerlig med å utforme effektive sikringstiltak. Denne oppgaven er utformet i samarbeid med Statens vegvesen, Region Midt, og er en del av skredfarekartlegging ved regionen. Det er gjort en evaluering av skredfaren langs fv.660 i Eresfjorden, Møre og Romsdal. Effekten av sikringstiltak langs veistrekningen er vurdert.

Det er registrert flere tidligere skredhendelser langs veistrekningen. Det er registrert snøskred, sørpeskred, steinsprang og steinskred, derfor er videre analyse og vurdering av skredfare gjort for disse typer skred.

RocFall analyser er benyttet for modellering av sannsynlig utløpslengde for steinsprang. Det er dannet 8 profiler som representerer ulike områder i fjellskråningen ved veistrekningen. Resultatene i RocFall er sammen med registrerte skredhendelser og en generell vurdering av området benyttet for å gi en vurdering av skredfaren for steinsprang og steinskred. Ved profil 5, 6 og 7 er risikoen for skred vurdert som lav. Profil 1, 2, 3 og 8 er vurdert som noe skredfarlige. Profil 4 er vurdert som skredfarlig. Ved profilene som er vurdert som noe skredfarlige er det gitt forslag til sikringstiltak basert på RocFall simuleringer.

Det er gjort beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred og flom- og sørpeskred ved hjelp av metodene $\alpha - \beta$ modellen og energilinje modellen. Beliggenheten til skredhendelsene viser at skredene har fulgt større elveløp som krysser veistrekningen. 7 elveløp krysser veistrekningen, det er dannet profiler langs disse. Det er utført sikringstiltak ved tre av elveløpene. Beregninger av utløpslengde og utregning av hastighetshøyde er sammen med registrerte skredhendelser benyttet for å gi en vurdering av effekten til sikringstiltakene. Samtlige sikringstiltak vurderes som effektive. De fleste elveløpene viser til lav skredfare, med unntak av Kårteigen, hvor skredfaren er vurdert som noe høyere.

Risikoakseptkriterier er benyttet for å gi en samlet vurdering av skred på vei. Veistrekningen er delt opp i 4 enhetsstrekninger som viser til forskjellig risiko for skred.

Abstract

Several Norwegian roads are exposed to rock falls and snow avalanches. The Norwegian Public Roads Department are continuously developing new protective measures. This thesis is carried out in collaboration with the Norwegian Public Roads Department, Central region. The main focus has been on the evaluation of avalanches hazards along a part of the road in Eresfjorden, located in the county of Møre and Romsdal. In addition the effect of the protective measures along the road section has been assessed.

Several earlier avalanches have been registered along the road section; snow- and rock avalanches and rock falls. These types of avalanches have been further evaluated in this thesis.

The simulation software RocFall has been used to assist estimating the length of the runout zones for rock falls. The 8 profiles represent different areas along a steep slope located next to the road. The results of a RocFall analyses, in combination with the registered avalanches and a general assessment of the area, has been used to evaluate the risk of rock falls and rock avalanches. The profiles 5, 6 and 7 indicates a low risk of avalanches. The profiles 1, 2, 3 and 8 has been evaluated to include some risk of avalanches. Profile 4 is evaluated to include a higher risk of avalanches. RocFall has been used for determination of remedial measures.

The methods $\alpha - \beta$ model and energy line model has been utilized to assess of the length of the run out zone for snow avalanches. The location of registered avalanches indicates that avalanches follow rivers with outlets along the road. Profiles have been made for the 7 rivers that have outlets towards the road. Protective measures are installed in three of the rivers. The effect of these measures has been assessed based on of the length of the run out zone and energy height. The protective measures are regarded to be effective. Most of the river indicates a low risk of avalanche, with the exception of Kårteigen, which is evaluated to have some risk of avalanche.

The risk accept criterions have been used to evaluate the total risk of avalanches at the road. The road is parted into four sections of 1 km each, these includes a varying grade of risk of avalanches.

Forord

Denne masteroppgaven er utført ved Institutt for geologi og bergteknikk ved NTNU i Trondheim, våren og høsten 2013. Oppgaven er gjennomført i samarbeid med Statens vegvesen, Region Midt, med ingeniørgeolog Halgeir Dahle som kontaktperson.

Takk til veilederen min ved instituttet, Anders Schomacker, for hjelp i ArcGIS og gode innspill og kommentarer. Jeg vil også takke for all hjelpen jeg har fått fra Statens vegvesen, region Midt. En spesiell takk til Halgeir Dahle for oppfølging og råd. Takk til Harald Wahlstrøm fra Kolo veidekke og Torkild Åndal fra Statens Vegvesen, Region Midt, for god veiledning i felt. Takk til Marie Drågen for god hjelp i felt og for støtte gjennom hele perioden. Takk til Roger Amundsen for hjelp ved skriving i Latex, og til Frode Søreide for korrekturlesing.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for oppgaven	1
1.2	Generelt om oppgaven	1
1.3	Metoder	5
1.3.1	Feltarbeid	5
1.3.2	Geografiske informasjonssystem (GIS)	5
1.3.3	Dips	6
1.3.4	RocFall	6
1.3.5	α - β modell og energilinje modell	6
1.3.6	Risikoakseptkriterier	6
2	Skred i fast fjell	9
2.1	Klassifisering	9
2.1.1	Steinsprang	9
2.1.2	Steinskred	10
2.1.3	Ustabile fjellparti	10
2.1.4	Fjellskred	10
2.2	Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng	11
2.3	Sekundærvirkninger	13
2.4	Utløsende mekanismer	13
2.4.1	Geologiske faktorer	13
2.4.2	Topografiske faktorer	17
2.4.3	Klimafaktorer	17
2.5	Beregning av utløpsdistanse	19
2.5.1	Empiriske modeller	19
2.5.2	Prosess-baserte modeller	20
2.5.3	RocFall	22
2.6	Observasjonsmetoder og sikringstiltak	24

2.6.1	Observasjonsmetoder	24
2.6.2	Sikringstiltak	24
3	Snøskred	29
3.1	Klassifisering	29
3.1.1	Løssnøskred	30
3.1.2	Flakskred	31
3.2	Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng	33
3.2.1	Vegetasjon	33
3.2.2	Erosjon og avsetning	33
3.3	Skredbanen og utløsende mekanismer	34
3.3.1	Utløsningsområdet	35
3.3.2	Skredløpet	38
3.3.3	Utløpsområdet	39
3.4	Beregning av utløpslengde	40
3.4.1	Alfa-beta modellen	40
3.4.2	Energilinje modellen	42
3.5	Sikringstiltak	43
4	Løsmasseskred	51
4.1	Klassifisering	51
4.1.1	Jordskred	52
4.1.2	Kvikkleireskred	53
4.1.3	Flomskred	53
4.1.4	Sørpeskred	55
4.2	Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng	56
4.3	Utløsende mekanismer	57
4.4	Beregning av utløpslengden	58
4.4.1	Alfa-beta modellen	58
4.4.2	Energilinje modellen	59
4.5	Sikringstiltak	60
5	Forundersøkelser	63
5.1	Klimaet i Norge	63
5.1.1	Luftstrømninger	63
5.1.2	Havsirkulasjon	65
5.1.3	Maritimt klima	65
5.1.4	Kontinentalt klima	66

5.2	Klimaet i Eresfjorden	67
5.2.1	Gjennomsnittstemperaturer	67
5.2.2	Normalverdier nedbør	68
5.2.3	Gjennomsnittsverdier snødybde	69
5.2.4	Vindretning	70
5.2.5	Ekstremvær - Dagmar	72
5.3	Geologien ved Eresfjorden	73
5.3.1	Berggrunnen	73
5.3.2	Løsmasser	75
5.4	Aktsomhetskart	77
5.5	Skredhendelser	81
5.5.1	Registrering av skredhendelser	81
5.5.2	Skredhendelser langs fv. 660, Eresfjorden	81
6	Modellering av sannsynlig utløpslengde steinsprang	89
6.1	Valg av profiler	89
6.2	Valg av parametere	91
6.3	Resultat profiler	95
6.3.1	Profil 1	95
6.3.2	Profil 2	101
6.3.3	Profil 3	106
6.3.4	Profil 4	110
6.3.5	Profil 5	116
6.3.6	Profil 6	120
6.3.7	Profil 7	123
6.3.8	Profil 8	125
7	Beregning av sannsynlig utløpslengde for snøskred og sørpeskred	131
7.1	Valg av profiler	131
7.2	Valg av verdier og fremgangsmetode	133
7.3	Resultat profiler	134
7.3.1	Driva	134
7.3.2	Strandelva	138
7.3.3	Djupfonna	142
7.3.4	Langfonna	149
7.3.5	Ikke navngitt elv	154
7.3.6	Kårteigen	158

7.3.7	Steinfonkjeften	162
8	Risikoakseptkriterier for skredhendelser på vei	165
8.1	Enhetsstrekning 1	166
8.2	Enhetsstrekning 2	167
8.3	Enhetsstrekning 3	168
8.4	Enhetsstrekning 4	169
9	Diskusjon	173
9.1	RocFall simuleringer	173
9.2	α - β modellen og energilinje modellen	176
9.3	Skredfare	178
9.3.1	Steinsprang og steinskred	178
9.3.2	Snøskred, flomskred og sørpeskred	180
9.4	Sikringstiltak	181
9.5	Risikoakseptanalyse	181
10	Konklusjon	183
A	Vedlegg	189

Figurer

1.1	Topografisk kart over Eresfjorden. Området som er vurdert for skredfare er vist med svart firkant (Kart fra ArcGIS, modifisert).	2
1.2	Topografisk kart over det området i Eresfjorden som er vurdert for skredfare. Mindre bilder viser beliggenhet til utførte sikringstiltak (Kart fra ArcGIS, modifisert).	3
1.3	Panoramabilder over det vurderte området i Eresfjorden, A; om sommeren (Foto: Kari Linn Søreide) og B; om vinteren (helikopterfoto, Torkild Åndal).	4
1.4	Risikoakseptmatrise for skred på vei med tre akseptklasser (Norem et al., 2012)	7
2.1	Steinsprang utløst i Mundheim, Hordaland i mars 2004 (Devoli et al., 2011).	10
2.2	Hølen- fjellskredet i Balsfjord, Troms. Distinktive arr fra fjellskredet og ur ennå godt synlig i terrenget (Devoli et al., 2011).	11
2.3	Steinskred utløst i Jimdalen nær Tafjord, Møre og Romsdal, med arr og avsetninger i ur synlig i terrenget (Devoli et al., 2011).	12
2.4	Sprekkdannelse som gir lange og bratte skrenter ved Oppstadhornet, Møre og Romsdal (Devoli et al., 2011)	12
2.5	Illustrasjon av 3 vanlige utrasningsyper med samhørende stereografisk plotting (Natterøy, 2012).	15
2.6	Ulike forvitringstyper som kan forekomme i fast fjell	18
2.7	Eksfoliasjontegn i dalsiden ved Kjøsnesfjorden i Jølster (Carstens, 2011)	19
2.8	Eksfoliasjon av grunnfjellet ved Nord-Trøndelag (Duklet, 2013)	19
2.9	Fahrbohung prinsippet (F) og minimum shadow angle (M)(Dorren, 2003)	20

2.10	Det øvre bildet viser den faktiske utløpsbanen til en blokk. Det nedre bildet viser modellering av en blokk ved kontakt- og fall faser i en 2D skråning (Dorren, 2003).	21
2.11	Bevegelse av en blokk nedover en skråning basert på generaliserte terrengvinkler (Dorren, 2003).	22
2.12	Fjerning av løs blokk ved skalering (Foto: K. Moen, Multiconsult AS).	25
2.13	Wirenett av typen Geobrugg Spider”(Foto: K. Moen, Multiconsult AS).	26
2.14	Steinsprangnett som viser utrase steinmasser (Foto: K. Moen, Multiconsult AS).	26
2.15	Fanggjerde ved fv.92 Tafjorden i Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide).	27
2.16	Blokk fanget opp av fanggjerde ved fv.92 Tafjorden i Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide).	27
2.17	Fangvoll ved rv.70 Sønndaløra i Møre og Romsdal (Foto: Marie Drågen).	28
3.1	Klassifisering av snøskred på bakgrunn av ulike faktorer og mekanismer (Norem, 2011).	30
3.2	Viser den karakteristiske pæreformen til et løssnøskred (Håland, 2011).	31
3.3	Viser det karakteristiske flakbruddet til et flaksnøskred (Håland, 2011).	32
3.4	Skader på trær etter snøskred (Lied and Kristensen, 2003)	33
3.5	Inndeling av skredbanen i utløsningsområde, skredløp og utløpsområde (Håland, 2011).	35
3.6	Sammenheng mellom terrenghelning i utløsningsområdet og ulike skredtyper, størrelse og frekvens. Profil av tidligere Holmenkollbakken er gitt som sammen likningsgrunnlag (Norem, 2011).	36
3.7	Dannelse av begerkrystaller som gir et løst bundet snølag (Norem, 2011).	37
3.8	Snøskred bestående av to hovedkomponenter, der tunge snømasser holder kontakt med bakken og en sky av suspenderte partikler over dette laget (Norem, 2011)	39
3.9	Utløpsvinkelen α som funksjon av den gjennomsnittlige helningsvinkelen til skråningen β (Norem, 2011).	41

3.10	Prinsippskisse som viser forholdet mellom returperiode og utløpsdistanse (Norem, 2011).	41
3.11	Energilinje modellen kan brukes til å beregne hastigheten i utløpsområdet (Norem, 2011).	42
3.12	Energilinje modellen kan brukes til å beregne hastigheten i utløpsområdet (Norem, 2011).	43
3.13	Prinsippskisse som viser tap av energi ved fangvoll (Lied and Kristensen, 2003).	44
3.14	Fangvoll og utsprengt magasin ved fv.47 ved Steinnestranda i Møre og Romsdal (Foto: Marie Drågen).	45
3.15	Snøskred stoppet av fangvoll ved fv.47 ved Steinnestranda i Møre og Romsdal (hentet fra maps.google.com).	45
3.16	Ledevoll ved E39 Hvardalstranda i Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide)	46
3.17	Bremsekjegler ved E39 Hvardalstranda i Møre og Romsdal (Foto: Marie Drågen)	47
3.18	Bremsekjegler ved rv.60 Stranda, Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide)	48
3.19	Skredoverbygg ved fv.41 Løgjølet i Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide)	49
3.20	Snøskred som har gått over skredoverbygg ved fv.41 Løgjølet i Møre og Romsdal (hentet fra maps.google.com)	49
4.1	Klassifiseringstrekant for skred ut ifra innhold av vann, stein og jord, snø og is (Norem and Sandersen, 2011)	52
4.2	Stort trekantformet jordskred i Virumdalen, Sunndal (Bargel et al., 2011)	53
4.3	Flomskredvifte i Eikesdalen fra 2003 (Bargel et al., 2011)	54
4.4	Stort sørpeskred i Langfjorden, Alta (Lied and Kristensen, 2013)	55
4.5	Forskjellige avsettingsformer av jordskredmateriale (Bargel, 2013)	56
4.6	Forskjellige avsettingsformer av flomskredskredmateriale (Bargel, 2013).	57
4.7	Naturlige demninger som kan dannes i et drensløp (Norem and Sandersen, 2011).	58
4.8	Utløpsvinkelen γ som funksjon av den gjennomsnittlige helningsvinkelen til skråningen β (Norem and Sandersen, 2011).	59

4.9	Energilinje modellen kan brukes til å beregne hastigheten i utløpsområdet (Norem and Sandersen, 2011).	59
4.10	Kontrolldam i Sveits (Norem and Sandersen, 2011).	60
4.11	Ledevoller langs siden av et skredløp som sikrer bebyggelse fra at skredet flyter over sidene (Norem and Sandersen, 2011).	61
4.12	Bro og ledevoller som fører inn mot brua knyttet til elveløp i Ponte Rossa, Biasca, Sveits (Norem and Sandersen, 2011).	62
5.1	Den generelle, globale luftsirkulasjonen (Eidsmo, 2013)	64
5.2	Et frontsystem som beveger seg inn mot Sør- Norge (Lied and Kristensen, 2003)	64
5.3	Overflatestrømmene i havet.(Eidsmo, 2013)	65
5.4	Orografisk nedbør (Klemsdal, 2005).	66
5.5	Middeltemperaturer (°C) for hver måned i Eidsvåg, fra perioden 1961-1990 (eklima.met.no)	68
5.6	Månedsnormaler for nedbør (mm) i Eresfjorden, fra perioden 1961-1990 (eklima.met.no)	69
5.7	Snødybde [cm] pr. måned i Eresfjorden. Snødybden viser den øvre grensen for gjennomsnittverdier for hele området den 25. hver måned (senorge.no)	70
5.8	Kart over Eresfjord området hvor de største pilene viser hoved vindretning fra sør-vestlig retning. Mindre piler viser hvordan vindretning kan tenkes å skru innover Langfjorden for så å gå parallelt langs Eresfjorden (Modifisert kart fra norgeskart.no).	71
5.9	Utvasking av veien ved fv.660 langs Eresfjorden etter Dagmar uværet (Loe Welde and Brunvoll, 2012)	72
5.10	Berggrunnskart over Eresfjordområdet i målestokk 1:250000, (Tveten et al., 1998)	73
5.11	Løsmassekart over Eresfjordområdet i målestokk 1:50000, gitt ved (Follestad, 1994)	76
5.12	Aksomhetskart for steinsprang- og skred (fra NGU.no, revidert i ArcGis).	78
5.13	Aksomhetskart for snøskred (fra NGU.no, revidert i ArcGis).	79
5.14	Aksomhetskart for steinsprang- og skred og snøskred (fra NGU.no, revidert i ArcGIS).	80
5.15	Registrerte skredhendelser fra skrednett.no og nvdb, revidert i ArcGIS.	82

5.16	Antall skredhendelser som har blitt registrert langs fv.660 i Eresfjorden i perioden 1994 - 2012.	84
5.17	Antall og type skredhendelser som har blitt registrert langs fv.660 i Eresfjorden i perioden 1994 - 2012.	85
5.18	Antall skredhendelser som har blitt registrert langs fv.660 i Eresfjorden hver måned i perioden 1994 - 2012	85
5.19	Skredhendelse i Eresfjorden 18.10.2007 (Tjelle, 2007a).	86
5.20	Skredhendelse i Eresfjorden 18.10.2007 (Tjelle, 2007c).	87
6.1	Beliggenheten til profiler 1 - 6 vist i panoramabilde over Eresfjorden. Profil 8 er indikert med pil og profil 7 er ikke vist fordi det ligger utenfor bildet.	90
6.2	Beliggenheten til profil 1 - 8 vist i ArcGis.	91
6.3	Profil 1 med utløsningspunkter 1A, 1B og 1C. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 39-49m.	96
6.4	Simulering av 1000 blokker (røde linjer) langs profil 1 der punkt 1, 2 og 3 viser de valgte områdene for sikringstiltak.	98
6.5	Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 8m og fanggjerd på 3m med kapasitet på 5000kJ. Viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.	99
6.6	Eksfoliasjonsoppsprekking ved fjellveggen hvor profil 1 er satt (Foto: Kari Linn Søreide)	101
6.7	Bildet viser fjellveggen hvor profil 1 er satt ved (Foto: Kari Linn Søreide).	101
6.8	Profil 2 med utløsningspunkter 2A, 2B og 2C. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 48-58m.	102
6.9	Simulering av 1000 blokker (røde linjer) langs profil 2 der punkt 1 og 2 viser de valgte områdene for sikringstiltak.	104
6.10	Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 15m.	105
6.11	Profil 3 med utløsningspunkter 3A og 3B. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 39-49m.	106
6.12	Simulering av 1000 blokker langs profil 3 der punkt 1 viser det valgte området for sikringstiltak.	108
6.13	Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 15m. Viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.	109
6.14	Bildet viser elven Driva og området rundt. Profil 3 er satt til høyre for Driva (Foto: Kari Linn Søreide).	110

6.15	Profil 4 med utløsningspunkter 4A og 4B. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 79-89m.	111
6.16	Simulering av 1000 blokker langs profil 4 der punkt 1 viser det valgte området for sikringstiltak.	112
6.17	Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 5 m. Viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.	113
6.18	Profil 4 er satt til høyre for elven Driva. Punkt 1 viser utløsningsområde til et skred gått i 2007 og punkt 2 viser skredmasser avsatt i øvre del av uren er indikert med piler (Foto: Kari Linn Søreide).	115
6.19	Profil 5 med utløsningspunkter 5A og 5B. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 49-59m.	116
6.20	Simulering av 1000 blokker langs profil 5 der punkt 1 viser det valgte området for sikringstiltak.	118
6.21	Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 5m. Viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.	118
6.22	Fjellklippene til venstre for Strandelva. Profil 5 er satt til høyre del av klippen (Foto: Kari Linn Søreide).	120
6.23	Nærbilde av klippeområde ved profil 5 (Foto: Kari Linn Søreide).	120
6.24	Profil 6 med utløsningspunkter 6A, 6B og 6C. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 49-59m.	121
6.25	Viser øvre del av området hvor profil 6 er satt. Pil viser baksprekk til mulig utløsningsområde til tidligere utløst steinskred (Foto: Kari Linn Søreide)	122
6.26	Kart av området rundt profil 7 (Topografisk kart fra ArcGis, modifisert)	123
6.27	Flyfoto av området rundt profil 7. Skråningen er dekket av skog utenom et lite område (punkt 1) som kan fungere som mulig utløsningsområde (Flyfoto fra ArcGis, modifisert)	123
6.28	Profil 7 med utløsningspunkt 7A. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 89-99m. Med simulering av 1000blokker fra utløpspunkt.	124
6.29	Stenfonnkjeften sett fra veien, fjellblotningene vises øverst i skaret (Foto: Kari Linn Søreide).	125
6.30	Fjellblotningene sett fra toppen av Stenfonnkjeften (Foto: Kari Linn Søreide).	126

6.31	Nærbilde av fjellblotningen. Rød pil viser blokk hvor det er fare for utglidning. Det vises små løse blokker langs hele blotningen (Foto: Kari Linn Søreides).	126
6.32	Dipsanalyse av fall/fallretning målinger ved fjellblotning i øverste del av Steinfonnkjeften.	127
6.33	Profil 8 er lagt ved Steinfonnkjeften. Pil viser hvor det er gjort fall- og fallretningsmålinger ved fjellblotning (Topografisk kart fra ArcGis, modifisert).	128
6.34	Profil 8 med utløsningspunkt 8A. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 49-59m.	129
7.1	Oversikt over elver som har utløp ved fv.660 langs Eresfjorden (modifisert kart fra norgeskart.no).	132
7.2	Magasin ved utløpet til Driva, sett fra siden.	135
7.3	Utløp av Driva i betongrenne under vei.	135
7.4	Magasin ved utløp til Driva, sett ovenfra (Foto: Marie Drågen og Kari Linn Søreide).	135
7.5	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elven Driva.	136
7.6	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elven Driva.	137
7.7	Viser elva Driva. Omtrentlig beliggenhet av løsnepunkt for snøskred og sørpeskred ved utløpsberegninger (Foto: Kari Linn Søreide).	138
7.8	Utrasing av løsmasser langs siden av Strandelva.	139
7.9	Utløpet til Strandelva sett fra siden.	139
7.10	Utløpet til Strandelva sett fra veien (Foto: Marie Drågen og Kari Linn Søreide).	139
7.11	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elven Strandelva.	140
7.12	Viser Strandelva. Piler viser hvor snø kan samles for så å falle ned og muligens demme opp elva (Foto: Kari Linn Søreide).	141
7.13	Voll og magasin ved utløpet til Djupfonna, sett fra siden (Foto: Marie Drågen).	143
7.14	Bakre vegg til magasin ved utløp til Djupfonna (Foto: Kari Linn Søreide).	143
7.15	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i ett elveløp ved Djupfonna.	144

7.16	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i ett elveløp ved Djupfonna.	145
7.17	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elveløp 2 ved Djupfonna.	146
7.18	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elveløp 2 ved Djupfonna.	147
7.19	Viser djupfonna. Piler viser treffpunkt hvor snø eller løsmasser kan samles og demme opp elva (Flyfoto fra ArcGis, modifisert).	148
7.20	Voll og magasin ved utløp til Langfonna, sett fra siden (Foto: Marie Drågen)	150
7.21	Voll og magasin ved utløp til Langfonna, sett fra vei (Foto: Marie Drågen)	150
7.22	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elveløpet ved Langfonna.	151
7.23	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elveløpet ved Langfonna.	152
7.24	Flyfoto av Langfonna (2) og ikke navngitt elv (1). Magasin og fangvoll er vist ved punkt 3. Det sirklede området viser hvor elva bryter i baneretningen og nye elvebaner går mot venstre inn mot Kårteigen og mot høyre (Flyfoto fra ArcGIS, modifisert)	153
7.25	Voll og magasin ved utløp til elv uten navn, lokalisert mellom Langfonna og Kårteigen (Foto: Marie Drågen).	155
7.26	Magasin til elv mellom Langfonna og Kårteigen, sett forfra (Foto: Kari Linn Søreide).	155
7.27	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elveløp mellom langfonna og Kårteigen.	156
7.28	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elveløp mellom langfonna og Kårteigen.	157
7.29	Renne under vei ved utløp til Kårteigen, sett fra siden.	158
7.30	Renne under vei ved utløp til Kårteigen, sett ovenfra	158
7.31	Utløp til Kårteigen, sett fra vei.	158
7.32	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elveløpet ved Kårteigen.	159
7.33	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elveløpet ved Kårteigen.	160

7.34	Elveløpet til Kårteigen og området rundt. Punkt 1 viser det øverste stedet der løsmasser vises i elveløpet, punkt 2 viser hvor elvebredden øker betraktelig (Flyfot fra ArcGIS, modifisert).	161
7.35	Viser profilet ved Steinfonnkjeften og området rundt (kartutsnitt fra ArcGis)	162
7.36	Viser flyfoto av profilet ved Steinfonnkjeften og området rundt. Mulig snøskredløp er indikert ved rød pil (flyfoto utsnitt fra ArcGis) .	162
7.37	Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred ved Steinfonnkjeften.	163
8.1	Viser kart over Eresfjordområdet. Veistrekningen er delt opp i 4 enhetstrekninger, hvor skredløpene er tallfestet ut ifra beliggenhet i enhetstrekningene (topografisk kart fra ArcMap, modifisert). . . .	166
8.2	Viser kart over Eresfjordområdet. Veistrekningen er delt opp i 4 enhetstrekninger, hvor skredløpene er tallfestet ut ifra beliggenhet i enhetstrekningene (topografisk kart fra ArcMap, modifisert). . . .	171
A.1	Punkt 1A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	189
A.2	Punkt 1A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	190
A.3	Punkt 1A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	190
A.4	Punkt 1B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 og 49m.	191
A.5	Punkt 1B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 og 49m.	191
A.6	Punkt 1B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	192
A.7	Punkt 1C. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 og 49m.	192
A.8	Punkt 1C. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 og 49m.	193
A.9	Punkt 1C. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	193
A.10	Punkt 2A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 og 58m.	194

A.11 Punkt 2A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.	194
A.12 Punkt 2A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.	195
A.13 Punkt 2B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 og 58m.	195
A.14 Punkt 2B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.	196
A.15 Punkt 2B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.	196
A.16 Punkt 2C. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 og 58m.	197
A.17 Punkt 2C. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.	197
A.18 Punkt 2C. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.	198
A.19 Punkt 3A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	198
A.20 Punkt 3A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	199
A.21 Punkt 3A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	199
A.22 Punkt 3B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	200
A.23 Punkt 3B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	200
A.24 Punkt 3B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.	201
A.25 Punkt 4A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.	201
A.26 Punkt 4A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89mm.	202
A.27 Punkt 4A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.	202
A.28 Punkt 4B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.	203

A.29	Punkt 4B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.	203
A.30	Punkt 4B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.	204
A.31	Punkt 5A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	204
A.32	Punkt 5A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	205
A.33	Punkt 5A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	205
A.34	Punkt 5B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 og 59m.	206
A.35	Punkt 5B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	206
A.36	Punkt 5B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	207
A.37	Punkt 6A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	207
A.38	Punkt 6A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	208
A.39	Punkt 6A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	208
A.40	Punkt 6B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m	209
A.41	Punkt 6B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	209
A.42	Punkt 6B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	210
A.43	Punkt 6C. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	210
A.44	Punkt 6C. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	211
A.45	Punkt 6C. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	211
A.46	Punkt 7A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 89-99m.	212

A.47 Punkt 7A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 89-99m.	212
A.48 Punkt 7A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 89-99m.	213
A.49 Punkt 8A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	213
A.50 Punkt 8A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	214
A.51 Punkt 8A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.	214
A.52 Skredhendelser representert som punkt på kartet, hentet fra skrednett.no	215
A.53 Skredhendelser representert som punkt på kartet, hentet fra nvdb .	216
A.54 Registrerte skredhendelser langs Eresfjorden, tabell er laget utifra informasjon hentet i skrednett.no. Punkter som er også registrert i nvdb er ikke inkludert i denne tabellen.	217
A.55 Registrerte skredhendelser langs Eresfjorden, tabell er laget utifra informasjon hentet i nvdb. Punkter som er også registrert på skrednett.no er vist med blå skrift. Det punktet som er skrevet i rødt er feilplassert og ikke inkludert i videre beregninger.	218
A.56 Antall registrerte skredhendelser pr. år fra 1994 - 2012, basert på informasjon fra skrednett.no og nvdb.no.	219
A.57 Antall registrerte skredhendelser pr. måned fra 1994 - 2012, basert på informasjon fra skrednett.no og nvdb.no.	219

Tabeller

5.1	Middeltemperaturer ($^{\circ}\text{C}$) for hver måned i Eidsvåg, fra perioden 1961-1990 (se figur 5.5)	67
5.2	Månedsnormaler for nedbør (mm) i Eresfjorden, fra perioden 1961-1990 (eklima.met.no) (se Figur 5.6)	68
5.3	Snødybde [cm] pr. måned i Eresfjorden. Snødybden viser den øvre grensen for gjennomsnittverdier for hele området den 25. hver måned (senorge.no) (se Figur 5.7)	69
5.4	Registrerte skredhendelser i Eresfjorden på 1880-tallet	83
6.1	Materialparametere brukt i RocFall analyser	92
6.2	Parametere brukt i Project setting i RocFall	93
6.3	Parametere brukt for å definere seeder (utløst blokk)	94
6.4	Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 1A, 1B og 1C (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).	96
6.5	Sentrale verdier knyttet til fanggjerdene ved $x=255.3\text{m}$ og $x=118\text{m}$ med en høyde på 9m og kapasitet på 5000kJ.	99
6.6	Sentrale verdier knyttet til fangvoll ved $x=55\text{m}$ med en høyde på 8 m med og uten fanggjerd på 3 m med kapasitet på 5000kJ.	100
6.7	Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 2A, 2B og 2C (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).	102
6.8	Sentrale verdier knyttet til fanggjerdet ved $x=242.48\text{ m}$ med en høyde på 9 m og kapasitet på 5000 kJ.	104
6.9	Sentrale verdier knyttet til fangvollen ved $x=100\text{m}$ med en høyde på 15m.	105

6.10	Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 3A og 3B (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).	107
6.11	Sentrale verdier knyttet til punkt 1 ved $x=69.84\text{m}$. Fanggjærde med en høyde på 9m og kapasitet på 5000kJ og fangvoll med en høyde på 3m.	109
6.12	Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 4A og 4B (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).	111
6.13	Sentrale verdier knyttet til sikring ved punkt 1, $x=69.8\text{ m}$. Fanggjærdet har en høyde på 9 m og kapasitet på 5000 kJ, fangvollen en høyde på 5 m.	114
6.14	Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 5A og 5B (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).	117
6.15	Sentrale verdier knyttet til punkt 1, $x=87,76\text{m}$. Fanggjærde med en høyde på 9m og kapasitet på 5000kJ, fangvoll med en høyde på 5m.	119
6.16	Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 6A, 6B og 6C (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).	121
6.17	Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 7A (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).	124
6.18	Målinger av fall og fallretning av sprekker i fjellblotning i øverste del av Steinfonnkjeften. Inndeling av sprekkesett er gjort i Dips.	127
6.19	Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 8A (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).	129
7.1	Dimensjoner til magasinet satt ved utløpet til Driva. Høyde er gitt i meter under vei slik at høyde og lengde gir dimensjonene til renne under vei.	134
7.2	Dimensjoner til vollen satt ved utløpet til Djupfonna.	142
7.3	Dimensjoner til magasinet satt ved utløpet til Djupfonna.	142
7.4	Dimensjoner til fangvoll satt ved utløpet til Langfonna.	149
7.5	Dimensjoner til magasin satt ved utløpet til Langfonna.	149
7.6	Dimensjoner til voll plassert ved elv mellom langfonna og Kårteigen	154

7.7 Dimensjoner til magasin plassert ved elv mellom langfonna og Kårteigen 154

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Ulike typer skred utgjør en stor trussel for det norske veinettet og bebyggede områder. Skredhendelser sammenfaller i stor grad med områder i Norge hvor det er store relieffkontraster. Møre og Romsdal er blant fylkene hvor det forekommer mange skred. Fjorder og daler i fylket viser store relieffkontraster som har blitt dannet av isbreutgravinger gjennom flere istidssykluser.

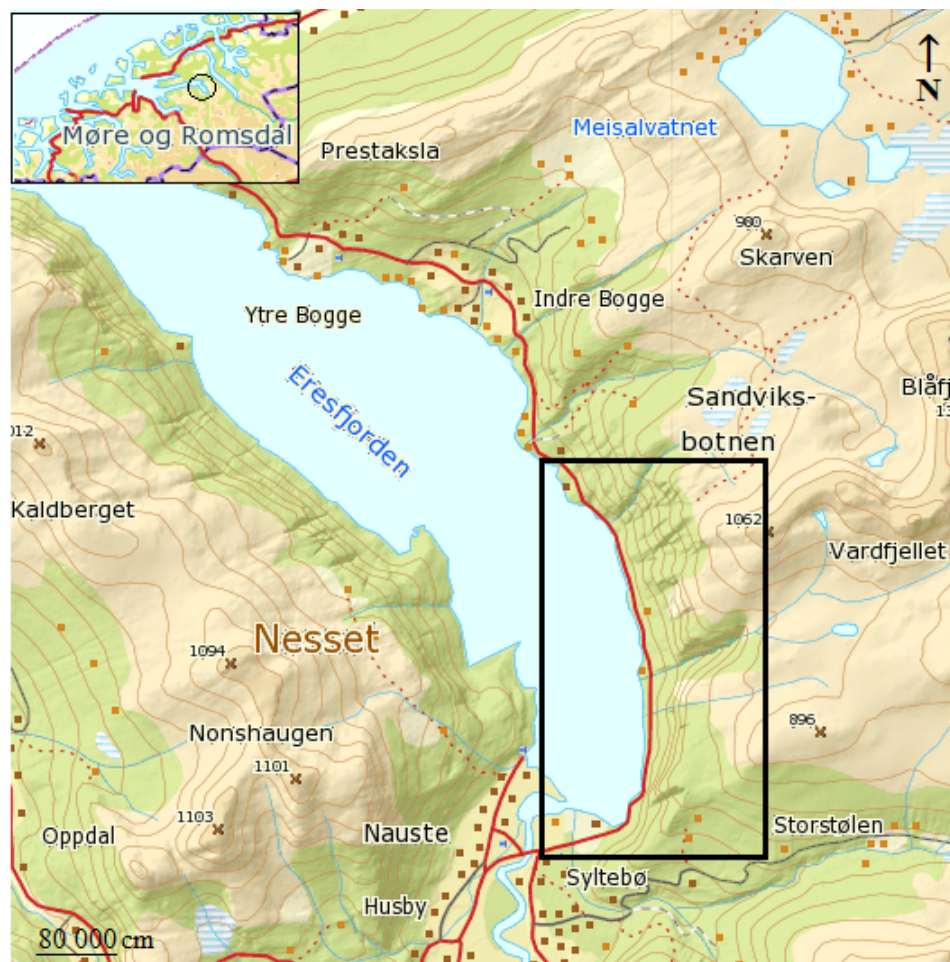
Skredhendelser på vei fører ofte til redusert fremkommelighet for trafikanter og skade på vei, og kan i verste fall føre til dødsfall. Ofte er det nødvendig med sikringstiltak for å sikre veien mot fremtidige skred. Det kan være vanskelig å bestemme nødvendig dimensjonering av sikringstiltak. Snøskred, flomskred og sørpeskred er til dels lettere å forutse fordi de ofte følger en bestemt utløpsbane. Steinsprang og steinskred kan være vanskeligere forutse fordi de utløses ved ulike brudd- og utløsningsmekanismer, og varierer med tanke på dimensjoner, utløpslengde og i frekvens. Beregningsmetoder for sannsynlig utløpslengde kan være et nyttig verktøy ved vurdering av skredfare på vei.

1.2 Generelt om oppgaven

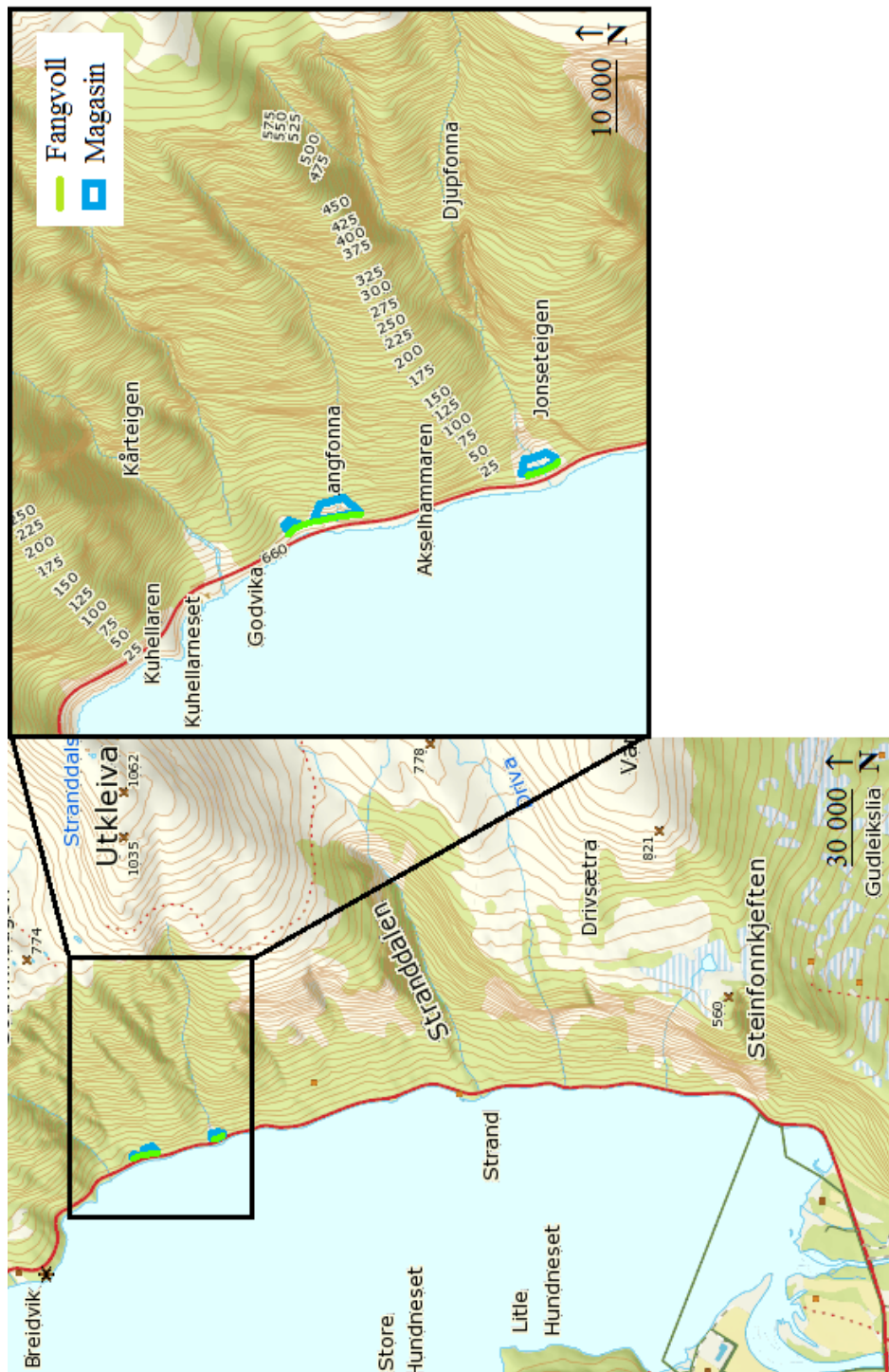
Opgaven er gitt av Statens vegvesen, Region midt representert ved Halgeir Dahle. Et veistykke langs fv. 660 i Eresfjorden har blitt evaluert for skredfare. Det er utført flere sikringstiltak langs veistrekningen, knyttet opp mot snøskred langs veistrekningen, effekten av disse sikringstiltakene er vurdert. I tillegg er det gjort en vurdering av mulig restrisiko for skred langs veistrekningen. Området som er

vurdert i oppgaven er vist i Figur 1.1, området er valgt fordi det er registrert flest skredhendelser langs denne veistrekningen. Dette kommer av at det er en relativt bratt fjellklippe som ligger rett bakenfor veien, se Figur 1.3, og fordi flere av elvene ved dett området har fungert som skredløp for tidligere registrerte snøskred og sørpeskred. Figur 1.2 viser kart over området som er vurdert i oppgaven og hvor de største sikringstiltakene befinner seg langs veistrekningen.

I denne oppgaven er det fokusert på skredfare fra naturlige skråninger. Det er flere fjellskjæringer langs veistrekningen, disse er ikke nærmere analysert og vurdert for skredfare.



Figur 1.1: Topografisk kart over Eresfjorden. Området som er vurdert for skredfare er vist med svart firkant (Kart fra ArcGIS, modifisert).



Figur 1.2: Topografisk kart over det området i Eresfjorden som er vurdert for skredfare. Mindre bilder viser beliggenhet til utførte sikringstiltak (Kart fra ArcGIS, modifisert).



Figur 1.3: Panoramabilder over det vurderte området i Eresfjorden, A; om sommeren (Foto: Kari Linn Søreide) og B; om vinteren (helikopterfoto, Torkild Åndal).

1.3 Metoder

1.3.1 Feltarbeid

Det er gjort feltundersøkelser i Eresfjorden i periodene 21-23. mai og 2.september. Store deler av feltarbeidet ble gjort ved vurdering av mulig skredfare langs veistrekningen ved inspeksjon av fjellskråningen fra et oversiktspunkt lokalisert på den andre siden av dalen innerst i Eresfjorden. Dette var nødvendig da det generelt sett var en bratt fjellskråning langs veistrekningen som det var vanskelig å komme nært opp til. Det ble gjort fall- og fallretningsmålinger ved en fjellblotning i øvre del av Steinfonnkjeften. 21.mai ble feltobservasjoner gjort i samarbeid med og ved intervju av Halgeir Dahle og Torkild Åndal fra Statens vegvesen region Midt og Harald Wahlstrøm fra Kolo Veidekke. Det ble spesielt lagt vekt på skredfarlige områder og sikringstiltak langs veien. 23.mai ble feltobservasjoner gjort i samarbeid med Anders Schomacker, veileder ved instituttet. Her ble det sett nærmere på skredfaren i området og det ble gjort en inspeksjon av et løsmassetverrsnitt blottet av Dagmar stormen.

1.3.2 Geografiske informasjonssystem (GIS)

Det er i hovedsak GIS-en ArcGIS 10.1 som er benyttet i denne masteroppgaven. En del av oppgaven gikk ut på å sette seg inn i ArcGIS. Det ble stort sett gjort ved prøving og feiling. GIS er benyttet kontinuerlig gjennom hele masteroppgaven som et analyseringsverktøy. Det har blant annet blitt benyttet til:

- Bilder fra registrerte skredhendelser fra nvdb og skrednett er satt inn og georeferert til topografisk kart i ArcMap. Shapefiler for de forskjellige skredtypene er laget i ArcCatalog. Skredpunktene har så blitt tegnet inn i ArcMap for å samle de registrerte skredhendelsene i et kart.
- Topografisk kart og digital høydemodell (DEM) er blitt lastet ned fra Kartverket sine nettsider og benyttet i ArcMap. Flyfoto er hentet fra GISonline funksjonen i ArcMap.
- Analyst3D er benyttet i ArcMap for å eksportere profiler fra DEM-en til Roc-Fall for videre analyse, og til profiler brukt ved α - β modellen og energilinje modellen.
- Aktsomhetskart for steinsprang- og skred og for snøskred er lastet ned fra NGU sine nettsider og hentet inn i ArcMap for modifisering.

- Quantum GIS er benyttet for å trekke ut forskjellige faresoner i aktsomhetskartet for snøskred og steinsprang som er lastet ned fra NGU sine nettsider.
- Løsmassekart og berggrunnskart fra NGU har blitt satt inn som bilder og georeferert til kart i ArcMap for analyse.

1.3.3 Dips

Dips er utviklet ved RocScience inc, programmet er et nyttig verktøy for å oppdage og analysere potensielle ustabiliteter som kileutglidning, plan utglidning og toppling. I denne oppgaven ble programmet benyttet til en grafisk fremstilling av fall og fallretnings målinger ved en fjellblotning i Steinfonnkjeften. I Dips var det mulig å lokalisere flere sprekkese. Orienteringen til sprekkeseene viser hvilke utglidningstyper som kan forekomme.

1.3.4 RocFall

RocFall er et statistisk prosessbasert program fra RocScience inc som er benyttet for å finne sannsynlig utløpslengde ved steinsprang. Programmet gir informasjon om blant annet den sannsynlige kinetiske energien og spretthøyden til en blokk nedover skredbanen. Grafer fra simuleringene er eksportert til Excel for videre analysering. Det er også lagt inn barrierer og voller i RocFall for analyse av effekten til mulige sikringstiltak. Se Kapittel 2.5.3 for nærmere beskrivelse av RocFall programmet.




1.3.5 α - β modell og energilinje modell

α - β modellen og energilinje modellen er benyttet for å finne sannsynlig utløpslengde for snøskred og flom- og sørpeskred. De empiriske modellene er basert på registrerte skred og er utarbeidet av NGI. Selv om metodene er relativt enkle viser de en overraskende god tilnærming til reelle den skredsituasjonen (Norem, 2011). Se Kapittel 3.4 for nærmere beskrivelse av metodene.

1.3.6 Risikoakseptkriterier

Risikoakseptkriterier er utformet av Statens vegvesen og gir retningslinjer for passende sikringsnivå mot skred ved nye veiprosjekter. Akseptkriteriene baseres på en sannsynlighet - konsekvens analyse som samlet gir en risiko for skred på vei.

Risikoen kan benyttes for en vurdering av hvilke skredløp som bør sikres og hvilke sikringstiltak som bør benyttes. Risikoakseptmatrisen er vist i Figur 1.4. X-aksen viser konsekvens og Y-aksen viser sannsynlighet for skred. Ut ifra disse parametrene vil et veiprojekt havne i ulike risikoklasser ut ifra hvor stor risiko det er for skred (Norem et al., 2012).

Årlig nominell skredsannsynlighet pr. enhetsstrekning	I $\leq 1/2$						
	II $\leq 1/5$						
	III $\leq 1/10$						
	IV $\leq 1/20$						
	V $\leq 1/50$						
	VI $\leq 1/100$						
	Trafikkmengde (ÅDT)	A < 200	B 200 - <500	C 500 - <1500	D 1500- <4000	E 4000- <8000	F ≥ 8000
		 Akseptabel strekningsrisiko	 Tolererbar strekningsrisiko. Aksept avhenger av skredintensitet og kost-nytte-analyse. Akseptnivå besluttes på regionledernivå.				 Uakseptabel strekningsrisiko

Figur 1.4: Risikoakseptmatrise for skred på vei med tre akseptklasser (Norem et al., 2012)

Enhetsstrekning

En risikoanalyse blir utført for hver enhetsstrekning ved en veistrekning. En enhetsstrekning er definert som 1 km. Dette danner lengden som en den samlede sannsynligheten for skred på vei skal vurderes for.

Sannsynlighet

Da det som oftest ikke er mulig å beregne eksakte verdier for sannsynligheten for skred på vei benyttes begrepet 'årlig nominell sannsynlighet'. Dette begrepet viser til at faglig skjønn må benyttes i tillegg til teoretiske beregningsmetoder.

Skredhendelser benyttes for vurdering av skredfrekvens. Her inkluderes faren for steinsprang, snø-, flom-, is- og jordskred. Kvikkleireskred og skred fra veiskjæringer inkluderes ikke. Kun skred som har potensiale for å stenge hele veien eller medføre alvorlige ulykker skal inkluderes. Steinsprang- og skred og isskred vil inkluderes uansett volum. For snø-, flom- og jordskred må volumet være på minst 10 m³ for å tas med i vurderinger av skredfrekvens.

Skredhendelser opptrer ofte i kjente skredløp. Den årlige nominelle sannsynligheten skal beregnes for hvert av skredløpene i en enhetsstrekning. Den samlede nominelle sannsynligheten for en enhetsstrekning er gitt ved addering av den årlige nominelle sannsynligheten for alle skredløpene (Norem et al., 2012).

Konsekvens

Konsekvensen ved skred på vei er relatert til trafikkmengden på en gitt enhetsstrekning. Trafikkmengden er gitt ved årsgjennsnittet (ÅDT), som er summen av antall kjøretøy som passerer ett punkt på en veistrekning i året dividert på årets dager. Ved nye veiprojekter skal ÅDT fremskrives 20 år.

Kost - nytte analyse

Hvis en veistrekning faller innenfor uakseptabel risiko er det nødvendig med planlegging av sikringstiltak som reduserer risikoen til akseptabel.

Risikomatriksen viser ikke et skarp skille mellom akseptabel risiko og uakseptabel risiko. Gule felt i matrisen viser til tolererbar risiko. Hvis veistrekninger faller innenfor denne klassen er det nødvendig å gjøre en kost - nytte analyse for vurdering om det praktisk rimelig med sikringstiltak ved området. En kost - nytte analyse er nødvendig fordi ÅDT ikke fullt ut viser viktigheten av veien. Faktorer som bør ses på ved en slik analyse er for eksempel sikringskostnader, skadepotensial, samfunnsøkonomiske kostnader ved stengt veg og omkjøringsmuligheter. Valg av akseptnivå for hver enkelt veistrekning gjøres på regionledernivå (Norem et al., 2012).

Kapittel 2

Skred i fast fjell

2.1 Klassifisering

Ulike typer skred opptrer i fast fjell i Norge. De skilles i hovedsak ved størrelsen og volumet på skredet, men har også andre karakteristiske faktorer. De ulike skredtypene omtales som steinsprang, steinskred, fjellskred og ustabil fjell.

2.1.1 Steinsprang

Steinsprang skjer når et enkelt bergartsfragment løsner fra en fjellside og beveger seg nedover fjellskråningen, se Figur 2.1. Volumet er på noen få til hundrevis av kubikkmeter. Steinsprang inntreffer ofte i bratte fjellsider der den løsnede steinblokken beveger seg nedover skråningen ved å falle, rulle og sprette. Deformasjonen som skjer før kollaps er ofte lite synlig og skjer i kort tid før blokken løsner. Dette gjør det vanskelig å forutse nøyaktig tidspunkt og sted for hvor et steinsprang kan forekomme. Bergartsfragmentet blir vanligvis ikke splittet opp langs skredbanen og kan nå hastigheter som er svært høye. Dermed kan effekten på kjøretøy, veinett og bygninger være ødeleggende og effekten på mennesker fatal (Devoli et al., 2011).



Figur 2.1: Steinsprang utløst i Mundheim, Hordaland i mars 2004 (Devoli et al., 2011).

2.1.2 Steinskred

Ved steinskred er volumet større, det ligger på mellom hundre og hundretusenvis av kubikkmeter. Skredet består av flere blokker og den ustabile fjellmassen blir som regel fragmentert ved bevegelsen nedover fjellsiden. Også ved steinskred vil det som oftest være mindre deformasjon før kollaps, noe som gjør det vanskelig å forutsi når og hvor et steinskred kan forekomme. Hastigheten på skredet er svært høy til ekstremt høy. Et steinskred kan være en stor fare for veier og jernbanelinjer fordi det kan treffe kjøretøy og/eller sperre passasjen. Det kan også forekomme i urbane miljø og gjøres skader på infrastruktur og bygninger (Devoli et al., 2011).

2.1.3 Ustabile fjellparti

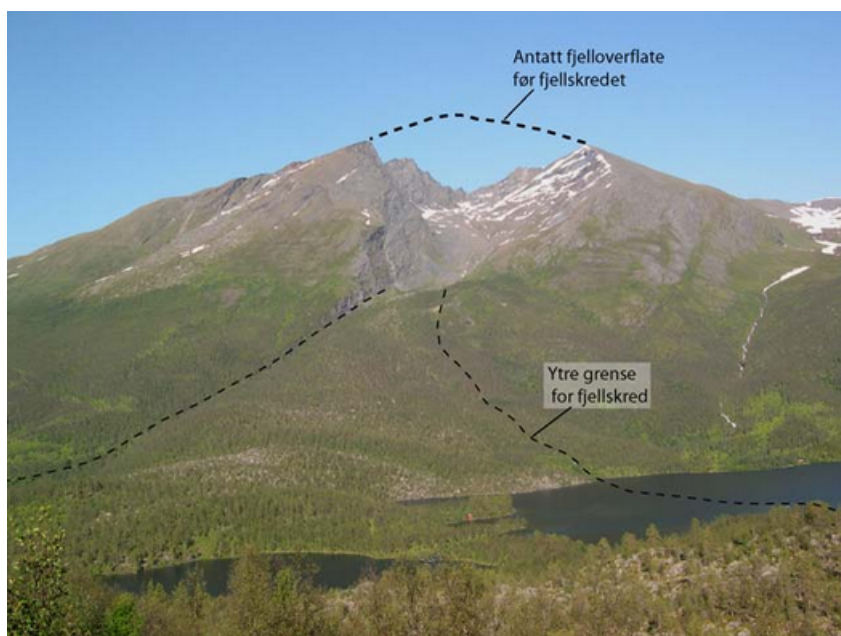
Et ustabil fjellparti er et samlebegrep for deformasjoner i en bergmasse. Det omfatter store volumer, og beveger seg på ulike måter; som for eksempel ved å gli, velte og strømme. Hastigheten er lav, på mm/år til m/å. Bergmassen fragmenteres og ofte vil det være synlige sprekkdannelser i fjellpartiet. Deformasjonen og deformasjonshastigheten vil veksle over det ustabile området (Devoli et al., 2011).

2.1.4 Fjellskred

Begrepet fjellskred brukes for skred med store volumer, fra tusenvis til millioner av kubikkmeter, se Figur 2.2. Hvis et ustabil fjellparti øker i deformasjonshastigheten

kan det være et tegn på at det vil utvikle seg til å bli et fjellskred. Massen i et fjellskred beveger seg nedover ved å velte og falle i en flomliknende bevegelse. På grunn av den mobile bevegelsen vil hastigheten ofte bli veldig høy, og skredet vil ofte bygge seg opp nedstrøms, og ta med seg løsmasser og løse blokker som ligger i skredbanen.

Et fjellskred er større og mer mobilt og vil dermed få lengre utløpsbane enn steinskred, det vil kunne bevege seg nedover i mange hundre meter til flere kilometer. På grunn av høy mobilitet med tanke på både hastighet og utløpslengde vil et fjellskred ofte føre til katastrofale skader over et større område (Devoli et al., 2011).



Figur 2.2: Hølen- fjellskredet i Balsfjord, Troms. Distinktive arr fra fjellskredet og ur ennå godt synlig i terrenget (Devoli et al., 2011).

2.2 Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng

Blokkene og materialet fra et steinskred og steinsprang samler seg opp og former en ur ved bunnen av skråningen. En ur kan være en god indikator på hvor det har gått skred tidligere og at det er fare for fremtidige skred. Ellers vil steinskred og steinsprang vanligvis inntreffe i bratte fjellklipper, gjerne med overheng eller oppsprukket berg. Etter et skred har gått vil det dannes et arr etter de utløste

blokkene hvor berget er 'ferskt' og ikke like forvitret som omkringliggende berg. Et nytt arr vises ved et generelt lysere patina. Et skred kan også kjennes igjen på spor i utløpsbanen som for eksempel avsetninger eller avtrykk i vegetasjonen i form av bøyde trær og oppstykket jord. Arrene og sporene er ofte synlige i topografien mange tiår opptil hundrevis av år etter at skredet har gått.

Et ustabil fjellparti viser morfologiske tegn som åpne sprekker, lange, bratte skrenter og grabenstrukturer. Slike områder finnes ofte i knekkpunkter i topografien, som på toppen av en innskåret isbredal. Ofte vil deformasjonen følge og styres av strukturen i berget, som skifrihet og lagdeling. Slike tegn i morfologien er det viktig å lokalisere og holde under oppsyn fordi det kan utvikles til et fjellskred med katastrofale følger.

Fjellskred kan skilles fra steinskred ved størrelsen på det påvirkede området. Arrene og sporene etter et fjellskred kan lokaliseres tusenvis av år etterpå, på grunn av de store topografiske endringene i omgivelsene.



Figur 2.3: Steinskred utløst i Jimdalen nær Tafjord, Møre og Romsdal, med arr og avsetninger i ur synlig i terrenget (Devoli et al., 2011).



Figur 2.4: Sprekkdannelse som gir lange og bratte skrenter ved Oppstadhornet, Møre og Romsdal (Devoli et al., 2011)

2.3 Sekundærvirkninger

Hvis et skred av en viss størrelse treffer en vannoverflate dannes det en flodbølge. Hvis et skred med en masse på omtrent 30 000 m² (tilsvarende et stort steinskred eller et lite fjellskred) treffer en vannoverflate vil det oppstå en flodbølge med oppskyllingshøyde på omtrent 100 m (Devoli et al., 2011). Flodbølgen kan spre seg med stor hastighet og energi, og treffe områder som ligger langt unna selve skredområdet. Dette utgjør en stor reell fare i Norge, hvor skred ofte dannes i de bratte fjellssidene i fjordene. Hvis skredet treffer vannoverflaten og det dannes en flodbølge kan den skylle over og ødelegge flere omkringliggende tettsteder og byer.

2.4 Utløsende mekanismer

Det er ofte flere faktorer og et komplekst samspill mellom disse som fører til at en blokk eller et skred utløses. De vanligste mekanismene i Norge er som regel en kombinasjon av topografiske, geologiske og klimafaktorer. I områder hvor det ofte opptrer jordskjelv er dette en viktig utløsende mekanisme, men siden jordskjelv opptrer sjeldent i Norge og som regel med lav styrke, er dette ikke beskrevet nærmere i denne oppgaven.

2.4.1 Geologiske faktorer

Bergartens litologi

Den litologiske oppbygging bestemmer i stor grad bergartens fysiske og kjemiske oppførsel. De geomekaniske egenskapene bestemmer blant annet hvor lett bergarten vil sprekke opp, forvitres og eroderes. Stabiliteten påvirkes av berges styrke, bruddmønster og mineralorientering. Bergartsgrenser kan også være en påvirkende faktor, for eksempel kan en laggrense i sedimentære bergarter være av svakere bindinger og fungere som et utglidningsplan (Bjordal, 2011).

Bergmassens struktur

En bergmasse vil alltid inneholde en varierende grad av oppsprekking. Fysisk og kjemisk forvitring påvirker eksisterende sprekkeannelser og kan lede til utløsning av bergmasse (Dorren, 2003). Orienteringen til sprekker og sprekkesett i bergmassen vil være bestemmende på hvilken type utglidning som forekommer, se Figur

2.5. Stereografisk projeksjon kan bli benyttet for å gi et inntrykk av mulige utglidningstyper som kan være kinematisk mulig ved et område.

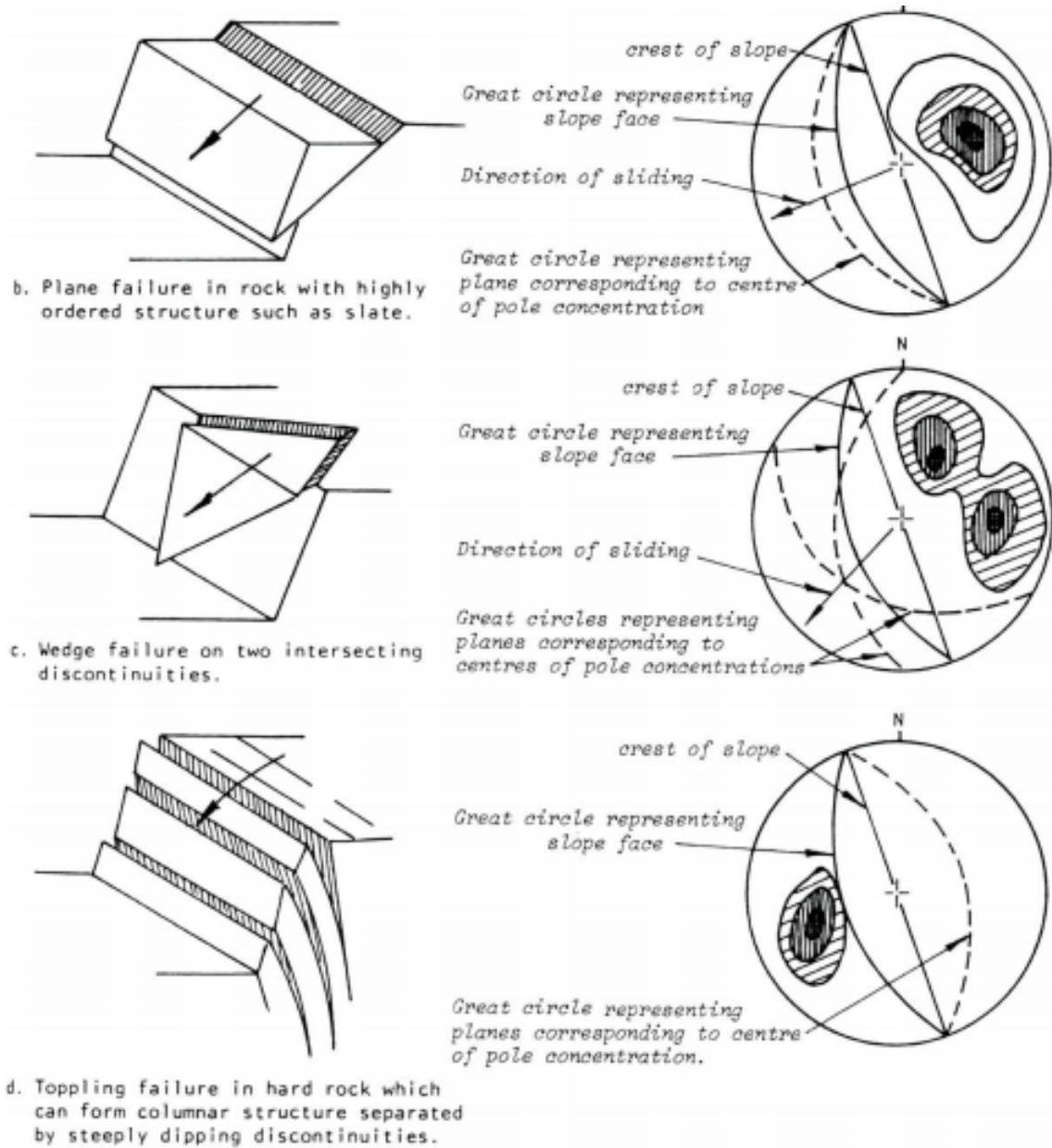
Definisjon på brukte parametre:

- ψ_f = fallet til skråningen
- α_f = fallretningen til skråningen
- ψ_p = fallet til utglidningsplanet
- α_p = fallretningen til utglidningsplanet
- ψ_i = fallet til linjen som fungerer som utglidningsplan
- α_i = fallretningen til linjen som fungerer som utglidningsplan
- ϕ = friksjonsvinkel

Plan utglidning

Plan utglidning vises i Figur 2.5. Plan utglidning opptrer relativt sjeldent fordi det er flere geometriske faktorer som må være til stede for at denne type utglidning kan forekomme. For at plan utglidning skal være kinematisk mulig må følgende faktorer være tilstede (Wyllie and Mah, 2001):

- Planet som fungerer som utglidningsplan må ha en fallretning som er nesten parallelt med fallretningen til skråningen ($\alpha_p \pm 20^\circ \alpha_f$)
- Fallet til utglidningsplanet må gå i dagen til skråningen ($\psi_p < \psi_f$)
- Fallet til planet må være større enn friksjonsvinkelen ($\psi_p > \phi$)
- Den øvre grensen til utglidningsplanet må enten krysse øverste del av skråningen eller en tensjonssprekk
- Det må eksistere sprekker på begge sider av planet som fungerer som laterale grenser



Figur 2.5: Illustrasjon av 3 vanlige utrasningsyper med samhørende stereografisk plotting (Natterøy, 2012).

Kileutglidning

Kileutglidning kan forekomme når to plan (sprekker) krysser hverandre, se Figur 2.5. Planene er orientert på skrått i forhold til skråningsretningen og utglidningen skjer ved den linjen der planene skjærer hverandre. Denne type utglidning kan opptre ved større spekter av geologiske og geometriske tilstander/vilkår og er dermed et mer vanlig fenomen i naturlige skråninger (Wyllie and Mah, 2001).

For at kileutglidning skal være kinematisk mulig må følgende faktorer være tilstede (St George and Orense, 2012):

- To plan må krysses
- Fallet til linjen der de to planene krysses må gå i dagen til skråningen ($\psi_i < \psi_f$)
- Fallet til krysningslinjen må være større enn friksjonsvinkelen ($\psi_p > \phi$)
- Fallretningen til krysningslinjen må være omtrent parallelt til fallretningen til skråningen ($\alpha_i \pm 20^\circ \alpha_f$)

Toppling

Toppling, som kan bli beskrevet som kantring av blokker, kan forekomme på forskjellige måter. Blokk-toppling opptre som oftest i en sterk, hard bergart der det er et definert sprekkesett med en fallretning som står i høy vinkel på fallretningen til skråningen og et sett med ortogonale sprekker som definerer høyden på blokkene.

For at blokk-toppling skal være kinematisk mulig må følgende faktorer være tilstede (St George and Orense, 2012) :

- Blokken vil gli hvis fallet til planet blokken står på er lik eller større enn friksjonsvinkelen ($\psi_p > \phi_p$)
- Blokken vil topple hvis høyde/bredde- ratioet til blokken er over en viss størrelse ($y/\Delta x < \cot\psi_p$)

Fleksurell toppling opptre i områder der det finnes sprekkedannelser som danner kontinuerlige kolonner og som er avgrenset av et veldefinert sprekkesett med høy fallvinkel. Kolonnene blir tvunget til å bøye seg fremover til de etterhvert bryter av og faller ut.

For at fleksurell toppling skal være kinematisk mulig må følgende faktorer være tilstede (Wyllie and Mah, 2001):

- Planet som danner blokkene må ha omtrent samme fallretning som skråningen ($\psi_d \pm 20^\circ \psi_f$)
- Det vil oppstå glidning mellom lagene hvis: $90 - \psi_p < \psi_f - \phi_p$

Hvis det er flere blokker som befinner seg i samme område er det nødvendig å inkludere dette i en analyse fordi blokkene vil påvirke hverandre hvis de begynner å topple eller å gli (St George and Orense, 2012). Det er en mer kompleks analyse som det ikke blir gått nærmere inn på i denne oppgaven.

2.4.2 Topografiske faktorer

Skråningens helning har stor påvirkning på om skred vil forekomme. En generell regel er at jo brattere en skråning er jo større skredfare vil det være. Høyden på skråningen vil også påvirke på hvor stor skredfare det er. Hvis en blokk befinner seg høyt oppe på en klippe vil blokken være gjenstand for større gravitasjonseffekt og dermed ha større potensiell energi. Dette vil også påvirke hastigheten og utløpslengden til blokken (St George and Orense, 2012).

2.4.3 Klimafaktorer

Vanntrykk i sprekker

Stort vanninnhold i berget er ofte en påvirkende faktor for utløsning av skred. De fleste bergarter i Norge er lite permeable slik at vannet føres gjennom sprekker i berget (Wyllie and Mah, 2001). Hvis sprekkeene er orientert slik at vannet ikke får utløp ut av skråningen vil det bygges opp et vanntrykk. Vanntrykket presser sprekkeene fra hverandre slik at den normale spenningen blir redusert. Dette vil igjen redusere skjærspenningene (St George and Orense, 2012):

$$\tau = (\sigma_n - \mu w) \tan \phi \quad (2.1)$$

Intens nedbør, lengre perioder med jevnt høy nedbør og snøsmelting fører ofte til større skredfare. I Norge er det i et normalt år høyest nedbør om høsten. Hvis perioder med mye nedbør sammenfaller med snøsmelting på våren kan dette også føre til større skredfare.

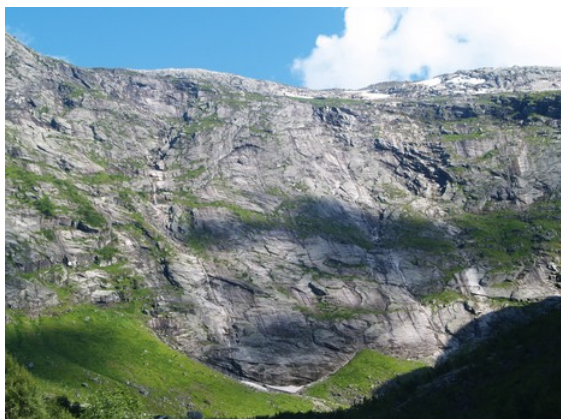
Forvittringsprosesser

Vann kan påvirke til flere typer mekanisk og kjemisk forvitring av berg, se Figur 2.6. I Norge er frostsprengning en spesielt viktig faktor. Når temperaturen svinger rundt null grader vil gjentatte frost- og smelteperioder føre til at sprekkeåpningene åpnes mer og mer og etterhvert jekkes ut av berget (Bjordal, 2011).

Mekaniske forvitring	Mekaniske /kjemisk forvitring	Kjemisk forvitring
Vekst av krystaller	Hydratisering	Oppløsning
Frostsprengning/frostforvitring	(Kjemisk /mekanisk)	Kalksteinsforvitring
a. Tining og frysing; iskrystallvekst		Hydrolyse
b. Saltsprengning		Feltspatforvitring
Salter krystalliseres ut ved		Kaolinforvitring
evaporasjon (fordamping)		(Siallitforvitring)
Termisk eksfoliasjon		Silikatforvitring
a. Solsprengning		(Alittforvitring)
På grunn av ekspansjon og kontraksjon		Oksydasjon
Hypogen eksfoliasjon		
a. Trykkavlastning		
fører til benkning		
Organisk aktivitet		
a. Rotsprengning		

Figur 2.6: Ulike forvitringstyper som kan forekomme i fast fjell

Hypogen eksfoliasjon er også et fenomen som fremtrer i norske daler og fjorder. Det stammer fra siste istid når isbreene eroderte ut uformede daler og påførte trykk på dalsidene. Etter isbreene trakk seg tilbake opplevde disse områdene landheving og utvidelse av berget på grunn av trykkavlastning. Trykkavlastningen har flere steder gitt oppsprekking av fjellet parallelt med dalsiden, se Figur 2.7 og 2.8. Denne type oppsprekking er svært ugunstig med tanke på skredfare fordi det fører til avskalling av berget som kan føre til utglidninger (Carstens, 2011).



Figur 2.7: Eksfoliasjontegn i dalsiden ved Kjosnesfjorden i Jølster (Carstens, 2011)



Figur 2.8: Eksfoliasjon av grunnfjellet ved Nord-Trøndelag (Duklet, 2013)

2.5 Beregning av utløpsdistanse

Beregning av utløpsdistanse er et nyttig verktøy for å danne seg et inntrykk om eventuelle skred eller løsnede blokker kan treffe vei eller bebygget område i utløpsbanen. Ved steinskred og spesielt fjellskred består skredet av flere blokker som vil kollidere og påvirke hverandres skredbane. Dette komplekse samspillet mellom blokker i skredmassen gjør at det er vanskelig å utføre nøyaktige beregninger for utløpsdistansen. Derfor er slike beregninger benyttet for steinsprang hvor det bare er snakk om en blokks bevegelse nedover skredbanen. I denne oppgaven er det delt inn følgende 2 hovedgrupper for beregning/modellering av utløpsdistansen til steinblokker; empiriske (statistiske) og prosessbaserte (Dorren, 2003). Beskrivelse av den prosessbaserte beregningsmodellen RocFall er utdypet fordi denne metoden er benyttet i videre arbeid i oppgaven.

2.5.1 Empiriske modeller

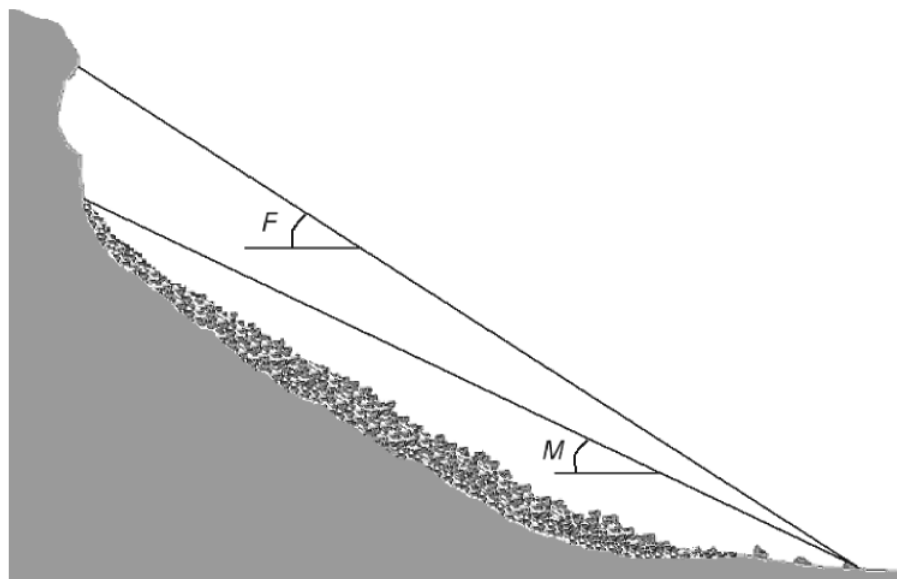
Empiriske modeller er basert på forholdet mellom topografiske faktorer og utløpssonen for ett eller flere steinsprang episoder. To av de mest brukte modellene er Fahrboschung prinsippet og minimum shadow angle.

Fahrboschung prinsippet er basert på vinkelen mellom en horisontal linje fra toppen av skråningen til området der steinspranget stopper, se Figur 2.9 (Dorren, 2003). Ved å sammenlikne flere steinsprangepisoder er det funnet at Fahrboschung-vinkelen ligger på omtrent 30° . Vinkelen er avhengig av skråningshøyden, har for

eksempel skråningen en høyde på 100 - 350m er det anbefalt en Fahrboschung vinkel på over 31° (Nilsen, 2008).

Minimum shadow angle viser til vinkelen til en linje fra toppen av uren til hvor blokken stopper, se figur 2.9. Minimum shadow angle er avhengig av urens høyde og lengde, men ligger mellom 22° og 30° . Gjennomsnittsverdien 27.5° blir ofte benyttet (Dorren, 2003).

Det må nevnes at de empiriske metodene er svært konservative, og bør kun brukes som en første tilnærming på utløpslengden til en blokk.

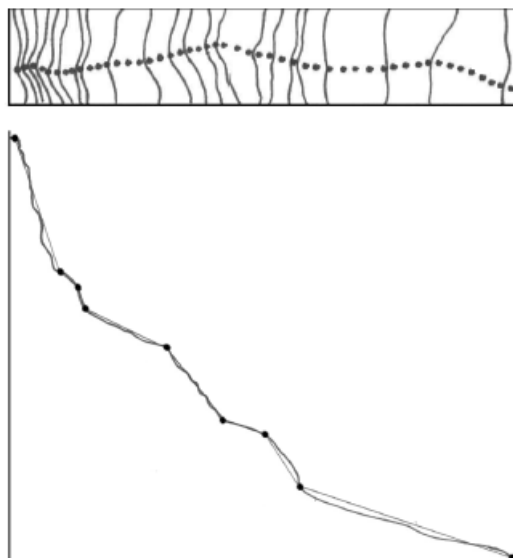


Figur 2.9: Fahrboschung prinsippet (F) og minimum shadow angle (M) (Dorren, 2003)

2.5.2 Prosess-baserte modeller

Prosess-baserte modeller, også kalt simuleringsmodeller, forklarer eller simulerer forskjellige typer bevegelse av bergartsfragmenter nedover en skråning. Det finnes en rekke prosess-baserte modeller som er relativt like. De mest sentrale likhetene er følgende (Dorren, 2003) (se Figur 2.10):

- Modellene er todimensjonale, det simuleres kun i vertikal retning
- Bevegelsen av en blokk er simulert som en rekke sekvenser av fall-faser og kontakt-faser
- Fall-fasen til blokken er definert ved flere segmenter av rette linjer med en vinkel som tilsvarer den gjennomsnittlige skråningsvinkelen på det området



Figur 2.10: Det øvre bildet viser den faktiske utløpsbanen til en blokk. Det nedre bildet viser modellering av en blokk ved kontakt- og fall faser i en 2D skråning (Dorren, 2003).

Hovedforskjellen til de fleste prosess-baserte modellene er basert på hvordan blokken og dens bevegelse er definert, og hvordan farten til blokken kalkuleres. Det er ofte ganske komplekse kalkulasjoner, men hovedtrekkene er beskrevet under (Dorren, 2003):

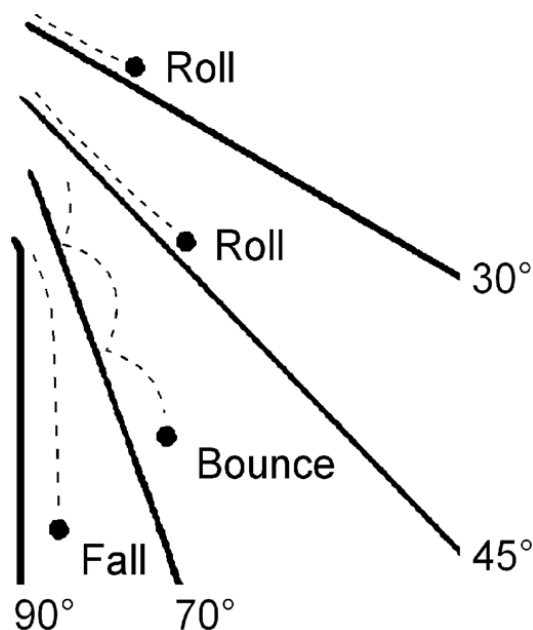
- Definisjon av fallende blokk ut ifra enten:
 1. Massen konsentrert i ett punkt
 2. Elliptisk masse
- Beskrivelse av bevegelse som enten:
 1. Spretting, gliding og rulling
 2. Sekvenser av kontakt og spretting
- Kalkulering av fart:
 1. Rulling, glidning: friksjonskraft
 2. Spretting: energitap etter sprett/ effektivitetskoeffisient/ Tangential og normal restitusjonskoeffisient

2.5.3 RocFall

RocFall er utviklet av RocScience inc i Canada og er en probabilistisk prosess-basert simuleringsmodell som ofte benyttes for beregning av et steinsprangs mest sannsynlige bane, energi og utløpsdistanse (Bjordal, 2011). Programmet kan også benyttes for å finne de best egnede områdene for sikringstiltak (RocScience, 2013).

En steinblokks mest sannsynlige bevegelse kan i stor grad bli antatt ut ifra hellingsgraden til skråningen, se Figur 2.11. Derfor er det viktig at skråningsgeometrien er så realistisk og naturtro som mulig. Skråningsgeometrien kan dannes på bakgrunn av feltnmålinger gjort ved skråningen eller ved å importere en høyoppløselig DEM, Lidar eller rasterbasert kart til RocFall.

Blokken blir simulert som en masse samlet i et uendelig lite punkt (Bjordal, 2011). Det kan derfor ikke inkluderes blokker med forskjellige former. Dette fører til at RocFall ofte vil gi konservative utregninger med tanke på utløpsdistanse. Blokkens form kan inkluderes ved å regulere den normale restitusjonskoeffisienten. Dette er en relativt komplisert prosess som kun bør utføres hvis en har god kunnskap om den presise restitusjonskoeffisienten på området (RocScience, 2013).



Figur 2.11: Bevegelse av en blokk nedover en skråning basert på generaliserte terrengvinkler (Dorren, 2003).

Følgende parameterverdier er sentrale i en Rocfall analyse:

- Restitusjonskoeffisienter

- Ruhet i underlaget
- Friksjonsvinkel
- Rotasjonsenergi

Restitusjonskoeffisienter

Restitusjonskoeffisientene er en av de viktigste parameterne i en RocFall analyse, de angir hvor mye av hastigheten (energien) til en blokk som dempes i et treff med underlaget. Restitusjonskoeffisientene er delt opp i den normale restitusjonskoeffisienten og den tangentielle restitusjonskoeffisienten.

Den normale restitusjonskoeffisienten virker normalt på bakken og viser til elastiteten til materialet som dekker skråningen. Den tangentielle restitusjonskoeffisienten virker parallelt på bakken og viser til ruheten til bakken og vegetasjonen på området. Hvis det er områder langs skråningen som er dekket med trær må dette inkluderes i den tangentielle restitusjonskoeffisienten (Bjordal, 2011).

Ruhet i underlaget

Ruheten til underlaget er et mål for variasjoner i geometrien som forekommer innenfor de gitte skråningssegmentene. I RocFall uttrykkes ruheten som en normalfordistribusjon med standardavvik i helningen. De mest brukte verdiene er på 0, 2, 3 eller 5 (RocScience, 2013).

Friksjonsvinkel

Friksjonsvinkelen er den kritiske vinkelen som skråningssegmentene må være brattere enn for å fortsette i sin bevegelse. Friksjonsvinkelen avhenger både av formen på og bevegelsen til blokken, og blir justert i RocFall ut ifra om blokken ruller eller glir (Bjordal, 2011).

For både statisk og dynamisk friksjonsvinkel benyttes det samme verdi. Friksjonsvinkelen har en standard verdi på 30° , men kan bli egendefinert eller kalkulert ut ifra den tangentielle restitusjonsvinkelen.

Rotasjonsenergi

Bevegelsen til en blokk nedover en skråning deles inn i to bevegelsesmåter; translasjon av massen og rotasjon av massen rundt senter av blokken. Rotasjonsenergien vil som regel være en god del mindre enn translasjonsenergien.

I RocFall kan en velge å ikke inkludere rotasjonsenergien. Men det anbefales å inkludere den for å oppnå en mer realistisk simulering (Bjordal, 2011).

2.6 Observasjonsmetoder og sikringstiltak

Observasjonsmetoder og sikringsmetoder blir i stor grad benyttet ut fra skredets type, størrelse og form. Ved utglidning av fjellskred og store steinskred vil de store volumene være vanskelig å fange opp og stoppe med sikringstiltak. I disse tilfellene er det mer gunstig å benytte observeringsmetoder som kan vise bevegelse i fjellet. Som regel vil deformasjonsbevegelsen øke rett før et skred blir utløst og ved observering av dette kan nødvendige evakueringstiltak bli foretatt i tide. Ved mindre steinskred og fjellskred kan utløsningen skje plutselig og uten forvarsel, da kan rett dimensjonerte sikringstiltak være gunstig for å fange opp skredmassene før de treffer infrastruktur eller bebyggelse.

2.6.1 Observasjonsmetoder

Ulike typer observasjonsmetoder kan bli benyttet ut ifra blant annet hvilken type deformasjon det er i området, hvor nøyaktige og sensitive målinger en trenger for deformasjonen og hvor lang levetid observasjonsinstrumentet trenger. Det finnes mange forskjellige observasjonsmetoder, nedenfor er det nevnt noen av dem.

For måling av bevegelse ved overflaten kan en bruke metoder som tiltmeter som måler rotasjonskomponenten til avbøyningen, eller overflate ekstensometer som måler lineære bevegelser nedover skråningen eller langs sprekker. GPS og Lidar kan bli benyttet for observering av bevegelse over store områder hvis det ikke er nødvendig med høy nøyaktighet ved målingene.

Bevegelse kan ofte forkomme under overflaten, observasjonsmetoder som inklinometer og borehulls ekstensometer kan da bli benyttet. Et inklinometer måler den laterale bevegelsen og et borehulls ekstensometer måler bevegelsen som forekommer perpendikulært med borehullet (St George and Orense, 2012).

2.6.2 Sikringstiltak

Flere ulike sikringstiltak kan benyttes ut ifra hva som er mest gunstig ved skredfareområdet. Sikringstiltak bestemmes blant annet ved feltinspeksjon, fra informasjon om tidligere skredhendelser og ved beregningsmetoder. Nedenfor er det gått nærmere inn på flere sikringstiltak som blir benyttet i Norge.

Skalering, trimming og spyling

Hvis utløpsområdet er kjent og løse blokker synlige i terrenget kan skredfaren aktivt fjernes ved å fjerne blokkene, se Figur 2.12. Blokker kan sprenges ut eller fjernes ved håndholdte redskaper. Hvis blokkene er lokalisert ved en bratt fjellklippe vil det være nødvendig å rappellere ned til de løse blokkene. Løse blokker kan også spyles fra helikopter. Det er viktig å ha kunnskap om oppsprekkingsmønsteret ved området ved benyttelse av disse metodene. Er oppsprekkingsmønsteret gjenomgående vil fjerning av løse blokker kun synliggjøre nye løse blokker bakenfor og skredfaren vil ikke elimineres (Wyllie and Mah, 2001).



Figur 2.12: Fjerning av løs blokk ved skalering (Foto: K. Moen, Multiconsult AS).

Nett

Sikring med nett kan benyttes blant annet ved fjellskjæringer og ved områder med oppsprukket berg i naturlige skråninger.

Flerverksnett er et finmasket nett som fungerer best ved småfallent berg for å stoppe småstein. Steinsprangnett er egnet for sikring mot mindre steinsprang og is i fjellskjæringer og skråninger, se Figur 2.14. Nettet festes inntil fjelloverflaten ved hjelp av festebolter. I enkelte tilfeller kan nettet være åpent nederst for å lede utruste blokker ned langs skjæringen. Wirenett/stålringnett kan ta imot større

belastninger og benyttes for sikring av større løse blokker, se Figur 2.13 (Bjordal, 2011).



Figur 2.13: Wirenett av typen Geobrugg Spider” (Foto: K. Moen, Multiconsult AS).



Figur 2.14: Steinsprangnett som viser ut-raste steinmasser (Foto: K. Moen, Multiconsult AS).

Fanggjerde

Fanggjerder er passive sikringstiltak der en tillater at blokker løsner men fanggjerdet skal fange blokkene opp før de treffer vei eller bygninger, se Figur 2.15 og 2.16. Fanggjerdet er egnet for høye og bratte skråninger hvor potensielle løsneområder er ved et relativt stort område. I dag blir det produsert fanggjerder med en høyde opp mot 9 m og dokumenterte energikapasiteter på opp til 5000 kJ.

Nettene brukt i et fanggjerde er elastiske og gir en dynamisk demping av den kinetiske energien til blokkene som treffer. Når en blokk har truffet et fanggjerde vil den effektive høyden til fanggjerdet reduseres, slik at det er viktig med videre inspeksjon og fjerning av blokker som har truffet fanggjerdet. Å reetablere et fanggjerde er relativt kostbart (Bjordal, 2011).



Figur 2.15: Fanggjerd ved fv.92 Tafjorden i Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide).

Figur 2.16: Blokk fanget opp av fanggjerd ved fv.92 Tafjorden i Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide).

Fangvoll

Fangvoller kan bli benyttet i områder hvor potensielle løsneområder ligger over et stort område. Vollsiden som vender mot fjellsiden bør ha brattest mulig helning fordi den da kan ta opp mer av den kinetiske energien til blokkene og hindrer at blokkene kun ruller over vollen. En helning på opp imot 90° er anbefalt. Foten på vollkronen bør være minst 3 m bred for å unngå at den ødelegges av store blokker. Voller kan bygges av utsprengte bergmasser, armert jord eller gabioner. Leir- og siltholdige masser bør brukes med varsomhet (Bjordal, 2011).

Vollhøyde bør dimensjoneres ut ifra simuleringsmodeller. Generelt sett er nye voller bygget med en høyde på omtrent 3 m - 5 m. Det er også observert voller med en høyde på opp til 25m hvor det er fare for større skred. Slike høyder er mer relevant for snø- og sørpeskred.



Figur 2.17: Fangvoll ved rv.70 Sønndaløra i Møre og Romsdal (Foto: Marie Drågen).

Tunnel

Hvis det er stor skredfare over en lengre veistrekning kan det være aktuelt å bygge veien som en tunnel gjennom området. Å bygge tunnel gir høye kostnader så dette alternativet anbefales kun for områder hvor andre skredsikringstiltak ikke kan eliminere skredfaren. En påvirkende faktor vil være hvor trafikkert veien er. Hvis en skredfarlig vei har høy årsdøgntrafikk vil det bli mer nødvendig å legge veien inn i en tunnel (Wyllie and Mah, 2001).

Utbygging av vei

Dette alternativet gjelder også for lengre veistrekninger med stor skredfare. Å bygge ut veien er relativt kostbart. Hensyn må tas for blant annet topografiske forhold ved området og utløpslengden til skredene for en analyse på om det er mulig å bygge ut veien ved området.

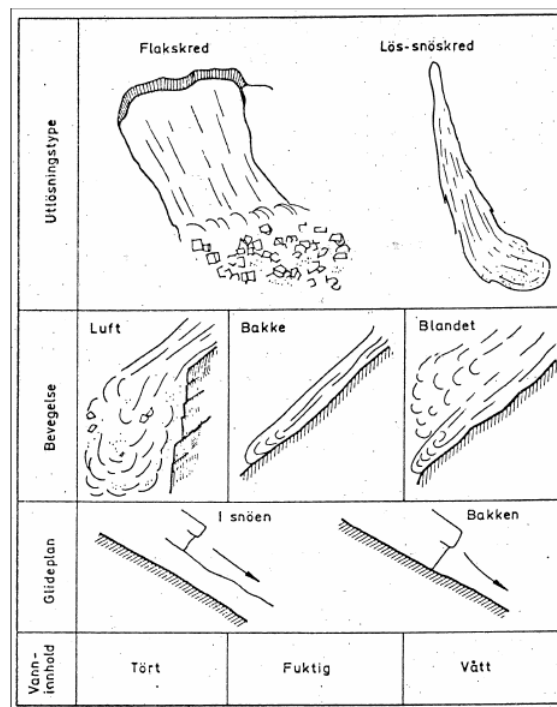
Kapittel 3

Snøskred

3.1 Klassifisering

Snøskred er en fellesbetegnelse på snø satt i bevegelse (Norem, 2011). Snøskred opptrer på forskjellig måter og inndeles i flere grupper. Snøskred deles i to hovedgrupper; løssnøskred og flakskred. Grupperingen gjøres på grunnlag av skredenes bruddform. Videre kan det deles inn i undergrupper basert på glideplanetets plassering, bevegelsesmåte, grad av fuktighet og utløsningsfaktor, samt om skredet er naturlig eller kunstig utløst, se Figur 3.1.

Sørpeskred er en spesiell type snøskred som er vanskelig å plassere i denne grupperingen. Denne type skred inneholder store mengder vann og oppfører seg dermed mer som flomskred enn snøskred. Erfaring har vist at sikringsmetoder som er utformet for flomskred i stor grad også er effektive for snøskred (Norem, 2011). På bakgrunn av dette er sørpeskred beskrevet under kapittelet flomskred og sørpeskred, se Kapittel 4.1.4. Løssnøskred og flakskred er videre utdypet under.



Figur 3.1: Klassifisering av snøskred på bakgrunn av ulike faktorer og mekanismer (Norem, 2011).

3.1.1 Løssnøskred

Løssnøskred oppstår i snø med liten fasthet på grunn av svake bindinger mellom krystallene (Schanche, 2011). Slike skred oppstår når snøen har redusert kohesjon, vanligvis i nyfallen snø der bindingene mellom snølagene fortsatt er svake, eller i våt snø der kohesjonen er blitt redusert på grunn av oppvarming eller regnvær (Norem, 2011). Løssnøskred oppstår ofte med en lokal utglidning fra et punkt. Etterhvert som snøen beveger seg nedover vil nye snøkorn bli revet med og skredet vokser i størrelse. Skredet vil få en karakteristisk pæreform der bredden øker nedover skredbanen.

Et løssnøskred har som regel lite volum og stopper relativt raskt opp når terrenget blir slakere slik at utløpsdistansen blir beskjeden. Derfor fører denne type skred som oftest kun til mindre skader, selv om det kan forekomme løssnøskred som går over og blokkerer veier og infrastruktur. Frekvensen på løssnøskred kan også være høy i perioder, noe som kan utgjøre en fare for driftspersonell og trafikanter langs veien.



Figur 3.2: Viser den karakteristiske pæreformen til et løssnøskred (Håland, 2011).

3.1.2 Flakskred

Flakskred oppstår ved at en større del av snødekket løsner som et flak langs et glideplan. Glideplanet kan oppstå langs et svakt sjikt i snødekket eller langs en grenseflate mellom to snølag med forskjellig fasthet der det underliggende laget har liten ruhet (Schanche, 2011). Det er uvanlig at et snødekke består av en ensartet masse, som regel vil snødekket inneholde flere lag av forskjellig kvalitet. Kvaliteten på et snølag blir i hovedsak påvirket av temperatur og solinnstråling, både ved snøfall og i etterkant. Et lag kan bli porøst ved kalde perioder med tørr luft. Et slikt lag vil anses som et svakt lag med dårlig bæreevne. Hvis et nytt lag dannes oppå dette laget kan det ta lang tid før det dannes bindinger mellom lagene. Hvis det forekommer belastninger oppå snødekket i form av nedbør, steinsprang, kollapsede snøskavler eller liknende kan dette føre til at det svake laget går i brudd. Det svake laget vil da opptre som et glideplan som det sterkere laget vil gli på (Aas, 2012).



Figur 3.3: Viser det karakteristiske flakbruddet til et flaksnøskred (Håland, 2011).

I enkelte tilfeller kan bakken under snøen fungere som et glideplan. Dette kan skje sent på vinteren når snødekket er i smeltefasen slik at smelte vann reduserer bindingene mellom bakken og snøen. Underlaget på området må ha liten friksjon som for eksempel en grasbakke eller et svaberg (Norem, 2011). Skredet løsner langs en markert bruddkant i den øvre del av bruddet.

Bruddkantens høyde varierer som regel mellom 0,5 – 2 m men har blitt registrert på opptil 10 m. Bredden på bruddkanten varierer fra titalls meter til hundretalls meter, men kan i skjeldne tilfeller bli opptil 1-2 km (Norem, 2011). Volumet på flakskred er derfor svært varierende men som regel er de av større dimensjoner og med lengre utløpsdistanser enn løssnøskred. Dermed er denne skredtypen dimensjonerende for beregning av utløpsdistanse og belastninger på eventuelle sikringstiltak.

Skredfrekvensen vil variere med de klimatiske forholdene gjennom vinteren, men som regel opptrer flakskred noe sjeldnere enn løssnøskred.

3.2 Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng

Snøskred setter ofte merker i terrenget som kan gi indikasjoner på hvor nye snøskred kan forekomme. Skredbaner er lettest å gjenkjenne om sommeren ved å studere terrenget for erosjonsskader, skader på vegetasjon og tilstedeværelse av materiale som er transportert av skred.

3.2.1 Vegetasjon

Skred vil som regel gi skader på vegetasjonen i skredbanen. Det tydeligste tegnet er hvis det finnes et område hvor det er lite eller ingen vegetasjon. Et skred av en viss størrelse vil røske opp vegetasjonen i utløpsbanen, særlig ved skråninger med en relativt høy skråningsvinkel og med et glatt bergunderlag.

Mer vanlig er det et skred vil gi skader på vegetasjonen, se Figur 3.4. Det er vanlig at gress og mindre busker står igjen mens trær i utløpsbanen bøyes eller knekker ut ifra hvor sprøtt treslaget er (Aas, 2012). Det kan også oppstå lange skjærbrudd i stammens lengderetning. På nedpressede trær vil det kunne dannes nye toppskudd og ved å telle årringene på toppskuddene kan en anslå når skredet skjedde (Norem, 2011).



(a)

(b)

Figur 3.4: Skader på trær etter snøskred (Lied and Kristensen, 2003)

3.2.2 Erosjon og avsetning

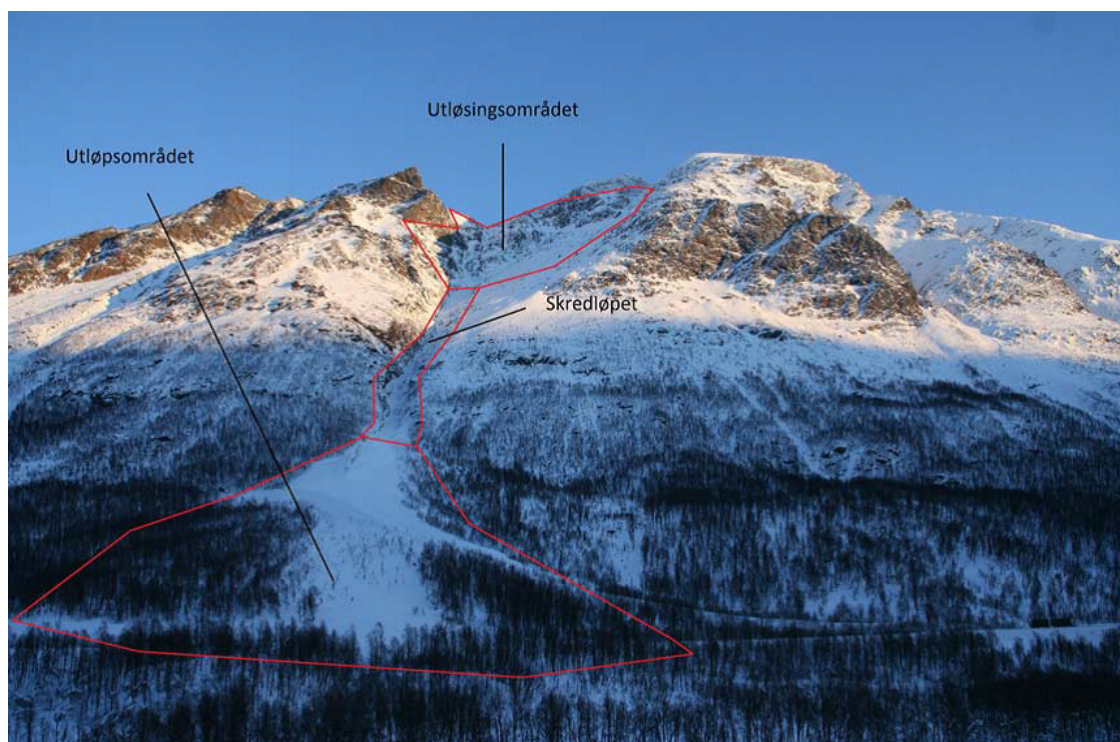
I siste istid ble det avsatt morenemasser ved flere av fjellsidene i Norge. Morenemasser er ofte løst oppbygget og et skred kan i skredløpet røske opp og transportere

noe av morenemassene. Det er tunge skred med stort vanninnhold som har størst evne til å grave seg ned og erodere løsmassene. Skred som går i et område der snødekket er tynt vil også i større grad erodere med seg morenemassene (Norem, 2011).

Et skred som har erodert igjennom morenemassene vil da være gjenkjennelig ved utgravde raviner i terrenget. Noe av massene vil bli avsatt langs kanten på skredløpet og resten vil bli avsatt i utløpsområdet. En del av massene vil bli liggende oppå det avsatte snøskredmateriale. Når snøen smelter vil løsmassene bli avsatt på bakken, dermed vil steiner som er avsatt på unaturlige områder kunne være et tegn på at det har gått et skred på området. Det kan imidlertid være vanskelig å avgjøre om steiner på bakken er avsatt ved et snøskred eller på andre måter. Hvis steinene ligger oppå vegetasjon som er skadet eller i nærheten av bøyde trær kan dette være en indikasjon på at det har forekommet et snøskred (Norem, 2011).

3.3 Skredbanen og utløsende mekanismer

Skred kan forekomme der terrenget og klimatiske forhold er lagt til rette men det kan variere en viss grad både med tanke på skåningshelning og dimensjoner. En skredbane er et samlebegrep som beskriver et område der det kan gå skred. Skredbanen blir videre inndelt i 3 soner; utløsningsområde, skredløp og utløpsområde, se Figur (Norem, 2011).



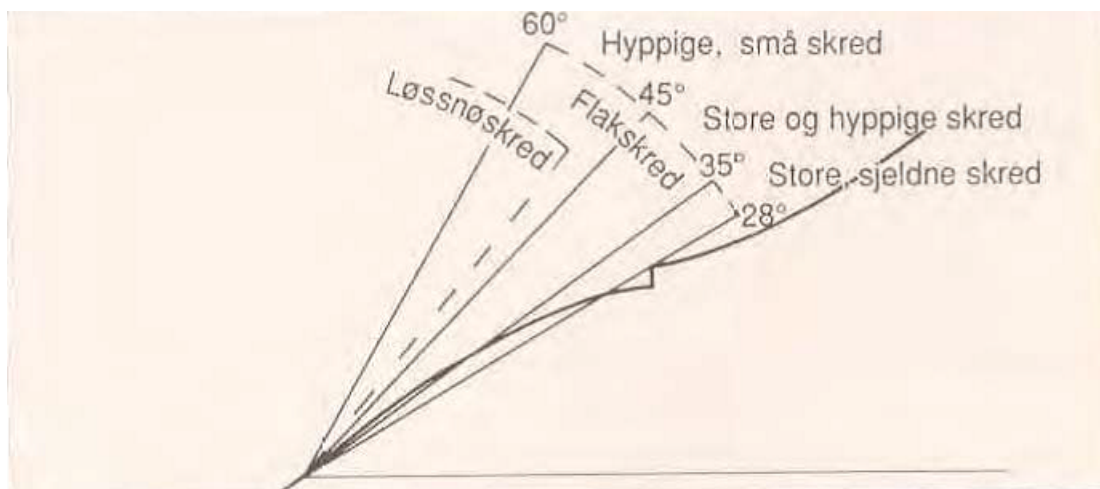
Figur 3.5: Inndeling av skredbanen i utløsningsområde, skredløp og utløpsområde (Håland, 2011).

3.3.1 Utløsningsområdet

Utløsningsområdet er det området hvor skredet løsner. Det er flere faktorer som påvirker hvor skredfarlig et område er. De viktigste er hvilken helning det er på skråningen, i hvilken retning skråningen ligger i forhold til vindretningen, terrengets retning i forhold til solinnstrålingen og overflateforhold. Det er også visse terrengformer som er ekstra utsatt for snøskred.

Skråningshelning

Terrenghelning har stor påvirkning på hvor det kan gå skred. Flakskred og løssnøskred utløses ved forskjellige skråningsvinkler, se Figur 3.6. Det er både en øvre og en nedre grense for terrenghelningen. Statistisk sett utløses flesteparten av større snøskred ved en helning mellom 30° og 45° (Lied and Kristensen, 2003). Det er i et slikt terreng det går flest skred av større skala, derfor er denne terrenghelningen ansett for å være den farligste vurdert ut ifra drift av veiene.



Figur 3.6: Sammenheng mellom terrenghelning i utløsningsområdet og ulike skredtyper, størrelse og frekvens. Profil av tidligere Holmenkollbakken er gitt som sammen likningsgrunnlag (Norem, 2011).

Det finnes også eksempler på skred som har gått i et terreng med helning ned imot 28° . I slike slake utløsningsområder må det være et svakt glidelag til stede langt nede i snødekket for at skjærspenningene i snødekket skal overstige skjærfastheten. Det er sjeldent at slike kombinasjoner forekommer men er forholdene til rette vil det kunne forekomme store skred i et slikt område.

Skred kan også forekomme i terrenghelninger opp imot 60° . I et slikt terreng vil skjærspenningene overstige skjærfastheten selv ved små snømengder. Det vil kunne oppstå skred uten at spesielt store glidelag er blitt utviklet og det kan oppstå mange og små skred i terrenget i perioder med snøfall. I bratt terreng er det som oftest mindre løssnøskred som forekommer (Norem, 2011).

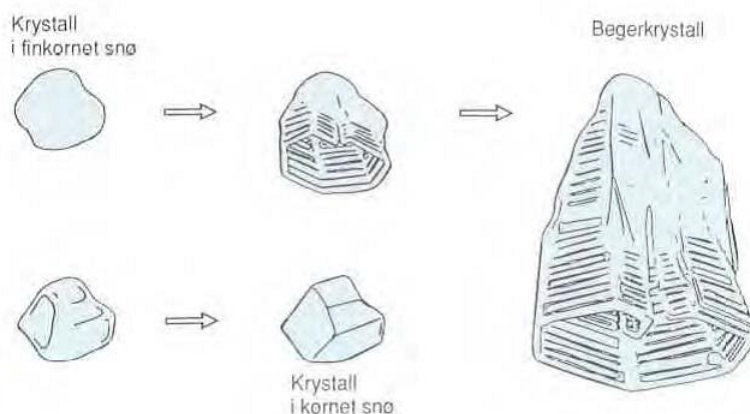
Vind, nedbør og solinnstråling

Vær og vind vil ofte være en påvirkende faktor på sannsynligheten for snøskred. Terrengets beliggenhet i forhold til nedbørbærende vind påvirker hvor store snømengder som blir samlet opp ved området. Områder som ligger i le for vind- og nedbørsretning vil være spesielt utsatt for skred fordi større mengder snø akkumuleres ved disse områdene.

Det er enkelte terrengformer hvor det vil samles mer snø, som forsenkninger og daldrag. Her vil vinden være roligere og gjerne samle snø fra flere vindretninger. Terrengformer som lettere samler opp snø og dermed kan gi utløsning av snøskred er (Lied and Kristensen, 2003):

- Større botner
- Svaberg
- Åpne skåler og forsenkninger
- Elvegjel
- Markerte skal

Terrengets vinkel i forhold til solinnstrålingen er av mindre betydning enn vindretningen og helningen men kan til dels påvirke skredfaren i et område. Svake glidelag har lettere for å utvikle seg og beholde sin løse struktur i skyggesider. Dette er fordi en gjennomgående lavere temperatur gjør det mer gunstig for dannelse av hule, kantete krystaller, kalt begerkrystaller, se Figur 3.7. Begerkrystallene har liten kontaktflate og danner et løst bundet snølag. Fjellsider som ligger i skyggesiden er derfor mer utsatt for utvikling av skred midtvinters.



Figur 3.7: Dannelse av begerkrystaller som gir et løst bundet snølag (Norem, 2011).

Solinnstråling kan også gi større skredfare om våren. Fjellsider med høy solinnstråling kan påvirke til våtsnøskred, som har lange utløpsbaner og kan gi betraktelige skader på vei og bygninger (Norem, 2011).

Vegetasjon og overflateforhold

Vegetasjon og overflateruhet påvirker hvor stor skredfare det er i et område. Tre-
stammer kan være sterke nok til å motstå sigetrykket og da motvirke skredfaren

til en viss grad. Avstanden mellom trærne må være mindre enn 5 m for å eliminere skredfaren.

Ruhet og ujevnheter i terrenget minsker skredfaren og det forekommer sjelden skred før snøen har dekket alle ujevnheter i utløpsområdet. Skred skjer hyppigere i områder med få og små ujevnheter i overflaten, hvor det trengs mindre snømengder for å dekke over ujevnheterne (Norem, 2011).

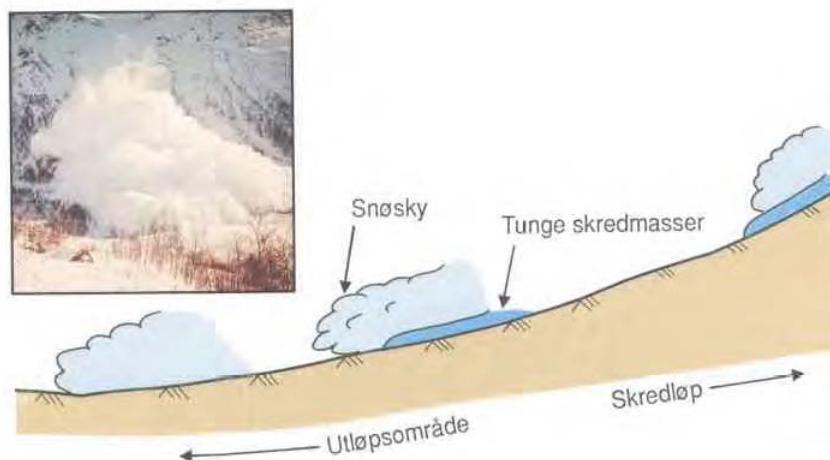
3.3.2 Skredløpet

Skredløpet er den midtre delen av skredet der hastigheten enten øker eller er tilnærmet konstant og lite skredmateriale blir avsatt (Lied and Kristensen, 2003). Vanligvis vil helningen i skredløpets bane ligge på 20°- 25° men skråningsvinkelen kan variere utenfor dette i enkelte tilfeller (Norem, 2011).

Skredløpet kan deles inn i to hovedgrupper; kanaliserte og åpne skredløp. Åpne skred forekommer i områder der terrenget er jevnt uten noen førende forsenkninger eller daler. I slike tilfeller vil skredene få en tilnærmet lik bredde gjennom skredløpet som i utløpsområdet (Norem, 2011).

Hvis det finnes forsenkninger i terrenget har skredløpet en tendens til å følge dette. Terrengformer som raviner, bekkedaler og bekkeløp vil ofte fungere som skredløp. Når skredet blir kanalisert vil den originale bredden ofte bli redusert og isteden følge bredden på terrengformen. Dersom skredets opprinnelige bredde er mye større enn kanalen vil skredet kunne bevege seg utover kanalen. I enkelte tilfeller vil deler av skredet kunne ta helt nye løp og danne skredarmer (Aas, 2012).

Hvor stor tetthet og dermed hvor tunge snømassene er har også en del å si på hvor skredbanen vil gå nedover terrenget. Som regel vil et snøskred bestå av to hovedkomponenter; tunge skredmasser langs bakken og en lettere snøsky som beveger seg i hvirvel over bakken, se Figur 3.8 (Norem, 2011).



Figur 3.8: Snøskred bestående av to hovedkomponenter, der tunge snømasser holder kontakt med bakken og en sky av suspenderte partikler over dette laget (Norem, 2011)

I tunge skredmasser er partiklene i nær kontakt med hverandre og danner en masse med relativt høy tetthet, spesielt for snø med høyt vanninnhold. Denne delen av skredet har god kontakt med bakken og følge topografien i landskap i større grad. De tunge skredmassene vil som regel være bestemmende for fronthastigheten i skredet. Tørre snøskred kan bevege seg med en fart på opptil 60-70 m/s mens våte snøskred som regel har en mindre hastighet på opptil 40 m/s avhengig av hvor stort skredet er. Generelt sett vil også hastigheten øke med størrelsen på skredet.

Den andre hovedkomponenten til et snøskred er en snøskye med suspenderte partikler som hvirvler over de tunge skredmassene. Partiklene holdes oppe på grunn av turbulens og er i lite kontakt med hverandre. Snøskyen kan bli opp til flere titalls meter og er høyest ved tørre snøskred. Denne delen av skredet vil ikke følge terrenget i like stor grad som de tunge skredmassene (Norem, 2011).

3.3.3 Utløpsområdet

Når helningen til skråningen avtar vil skredets hastighet reduseres. I utløpsområdet vil skredet begynne å miste fart og bremse opp. De fremste snømassene vil bremses opp først og presse de bakre massene ut til siden. De fleste skred vil derfor vise en tydelig tendens til utvide seg i bredden i enden av skredløpet (Aas, 2012).

De fleste skred bremses opp der fjellsiden når en helning på 15° – 25° , dette er avhengig av skredtype og hastighet. For enkelte store tørrsnøskred vil skredet ikke bli bremses opp før det når en helning på 10° , slike skred kan få spesielt lange

utløpslengder (Lied and Kristensen, 2003).

3.4 Beregning av utløpslengde

Beregning av sannsynlig utløpslengde er viktig ved planlegging av sikring for veier og annen infrastruktur. Skredet utløpslengde er beregnet ut ifra den ytterste skredavsetning til den tunge delen av skredet. Snøskredet vil ha et lengre utløp men gir betraktelig mindre fare for trafikanter og er derfor utelatt fra beregningen.

Beregningsmodeller for utløpslengden kan deles inn i to hovedgrupper; topografiske modeller og dynamiske modeller. Ved de topografiske modellene er kun topografiske faktorer som inngår i beregningene. Dynamiske modeller beregner utløpsdistansen ved hjelp av fastsatte verdier eller kriterier valgt ut ifra topografiske eller klimatiske forhold (Norem, 2011).

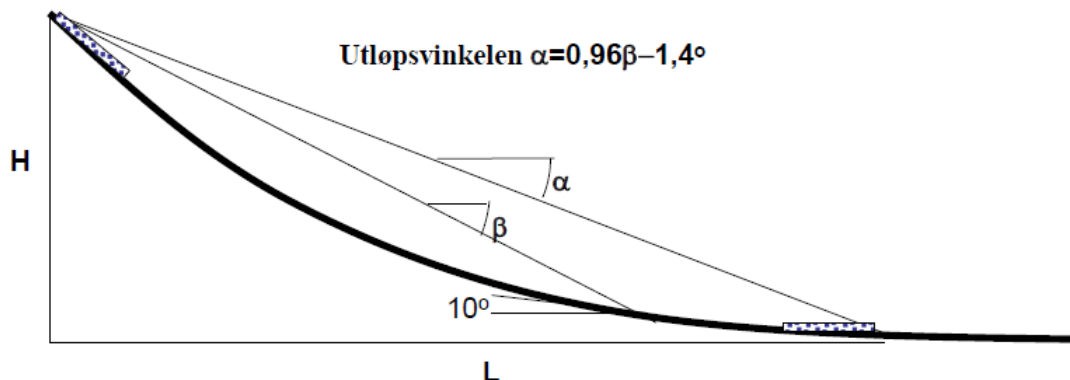
To beregningsmetoder er utdypet videre. Felles for begge beregningsmetodene er at de er utarbeidet empirisk og er relativt enkle beregningsmetoder. Selv om de ikke inkluderer og legger til grunn nøyaktige verdier for parametere som beskriver skredets natur og størrelse er de funnet å gi beregninger som i stor grad samsvarer med kjente utløpslengder. Det anbefales å benytte seg av begge modellene for en mer grundig kontroll av utløpslengden.

3.4.1 Alfa-beta modellen

α - β modellen er en topografisk modell som baseres på statistisk behandling av 206 kjente skred der den maksimale utløpslengden for en returperiode på 100-300 år er kartlagt og analysert. Analyser viste at det var en klar sammenheng mellom utløpsvinkelen α og den gjennomsnittlige helning til skråningen β . Den gjennomsnittlige helningen er satt fra den øvre delen til skråningen til det punktet skråningen har 10° helning, se Figur 3.9. Forholdet mellom de to vinklene er gitt ved (Norem, 2011):

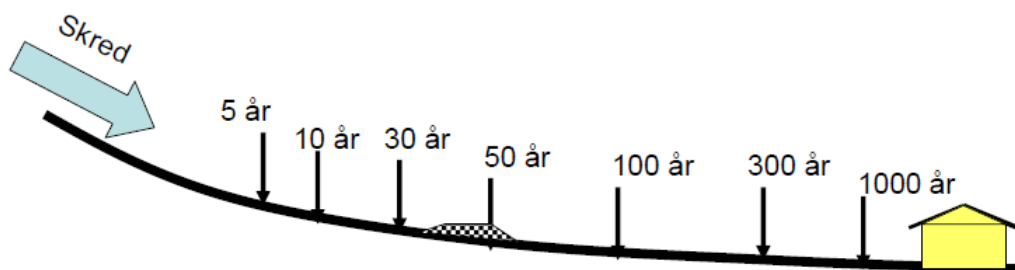
$$\alpha = 0.96\beta - 1.4^\circ \quad (3.1)$$

Likningen har et standardavvik på 2.3° og en korrelasjonskoeffisient på 0.92.



Figur 3.9: Utløpsvinkelen α som funksjon av den gjennomsnittlige helningsvinkelen til skråningen β (Norem, 2011).

Returperioden som ligger til grunn ved denne modellen er på 100-300 år. 100 års returperiode er fastsatt som dimensjonerende returperiode for hus med liten menneskelig aktivitet. Det finnes ingen tilsvarende forskrifter for sikring av veger i Norge men det anbefales å planlegge ut ifra en sikkerhet basert på 20-50 års returperiode, se Figur 3.10. Det anbefales å trekke fra et halvt standardavvik for likning 3.1 for beregning av utløpslengden til et skred med returperiode på 20 - 50 år. (Norem, 2011).



Figur 3.10: Prinsippkisse som viser forholdet mellom returperiode og utløpsdistanse (Norem, 2011).

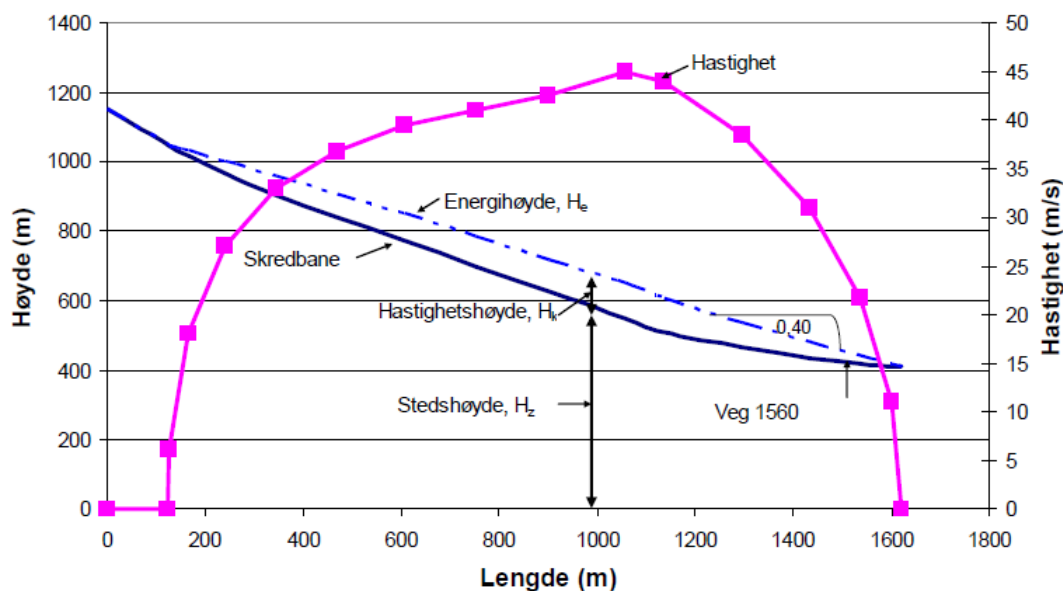
Siden snøskred viser en klar sammenheng mellom returperiode og utløpslengde vil det være nødvendig å justere likning 3.1 ved sikring av veier. Det anbefales å trekke fra et kvart til et halvt standardavvik ut ifra hvor viktig og hvor høy ÅDT (årsdøgntrafikk) vegen har eller planlegges ut ifra.

Generelle tendenser er funnet ved bruk av α - β modellen (Norem, 2011):

- Skred som går i Nord - Norge eller i høyfjellet i Norge viser generelt sett lengre utløp.
- Skred som utløses nær havnivå og i kystområdene har også gjennomgående lengre utløp.
- Utløsningsområder med små helninger vil generelt sett gi lengre utløp.

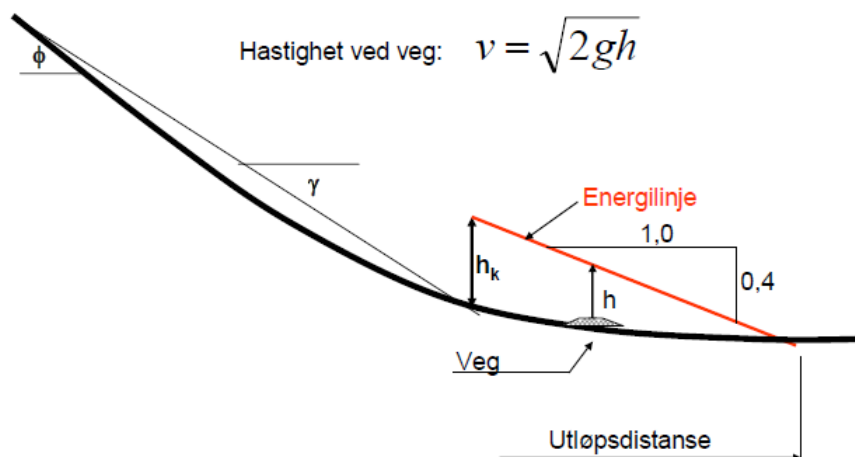
3.4.2 Energilinje modellen

I løpet av skredets bevegelse nedover skredbanen skjer det en utveksling av energi. Den potensielle energien i utløsningsområdet blir overført til bevegelsesenergi og varme (energitap) nedover skredbanen. Figur 3.11 viser beregnet hastighet og energihøyde for skredområdet Nakkefonn i Møre og Romdal. Energihøyden øker nedover skredbanen helt til et knekkpunkt i profilet som viser en betraktelig lavere helning. Her synker energihøyden og indikerer at skredet har nådd utløpsområdet. Beregninger gjort på skredhendelser viser at energilinja i utløpsområdet har en tilnærmet konstant helning på 0.4:1 (21.8°). Spredningen rundt denne verdien er liten, men med en minimumsverdi på 0.3:1 for spesielt store snøskred (Norem, 2011).



Figur 3.11: Energilinje modellen kan brukes til å beregne hastigheten i utløpsområdet (Norem, 2011).

Helningen på energilinja i utløpsområdet kan bli benyttet for utregning av hastigheten i dette området eller utløpslengden, se Figur 3.12. Denne metoden gir i gjennomsnitt samme utløpslengde som $\alpha - \beta$ modellen, men det anbefales å benytte seg av begge disse to metodene for en mer sikker analyse (Norem, 2011).



Figur 3.12: Energilinje modellen kan brukes til å beregne hastigheten i utløpsområdet (Norem, 2011).

3.5 Sikringstiltak

Det finnes flere sikringstiltak som er utformet for å enten stanse eller forandre banen til snøskred. Noen av de vanligste sikringstiltakene benyttet mot snøskred i Norge er beskrevet nedenfor.

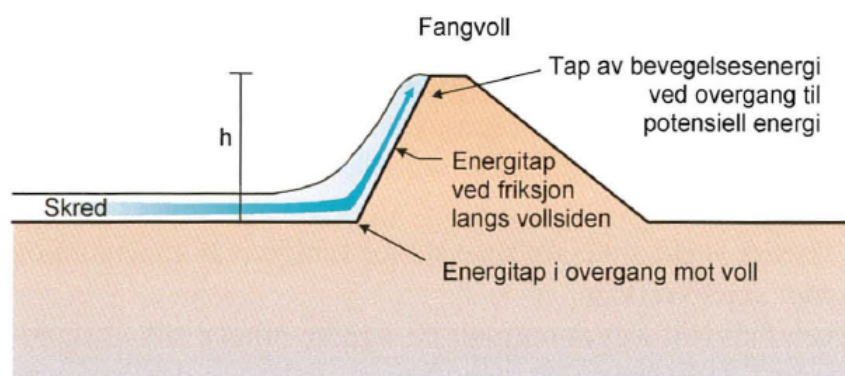
Fangvoll

Fangvoller bygges normalt på skredretningen ved kjente utløpsområder og bygges som oftes tett inntil veien. Faktorer som har størst betydning for vollens effektivitet er blant annet vollens høyde, helningen på skredsiden, skredets hastighet, flythøyde og volum (Norem, 2011).

Ved dimensjonering av fangvoller er nødvendig vollhøyde den viktigste faktoren. Hvis vollen skal stoppe skredet helt må den kunne stoppe hastighetsenergien h_v til skredet (se Figur 3.12). Det må også tas hensyn til snødybden på bakken h_b og skredets flythøyde h_f . Flythøyden til skredet er definert som høyden til skredstrømmen i bevegelse og avhenger blant annet av skredtype, størrelsen på

skredet og terrengformer. I gjel kan flythøyden bli over 10 m mens i åpent terreng er den som regel under 5 m (Lied and Kristensen, 2003). Nødvendig vollhøyde kan defineres som:

$$h_{\text{nødvendig}} = h_v + h_b + h_f \quad (3.2)$$



Figur 3.13: Prinsippkisse som viser tap av energi ved fangvoll (Lied and Kristensen, 2003).

Det er viktig å ta hensyn til skredets volum ved dimensjonering av fangvoller. Det er nødvendig med god lagringsplass bakenfor vollen slik at ikke skredvolumet bygger seg opp bakenfor og går over vollen. Ofte er det vanskelig å anslå det eksakte skredvolumet. Selv om del finnes en god del erfaring av fangvollens og magasinets effekt på et skred er det relativt få og ufullstendige beregningsmetoder for dimensjonering av sikringstiltakene. Per idag må det vises skjønn ved beregning og dimensjonering av disse sikringstiltakene (Lied and Kristensen, 2003).



Figur 3.14: Fangvoll og utsprengt magasin ved fv.47 ved Steinnestranda i Møre og Romsdal (Foto: Marie Drågen).



Figur 3.15: Snøskred stoppet av fangvoll ved fv.47 ved Steinnestranda i Møre og Romsdal (hentet fra maps.google.com).

Ledevoll

Ledevoller benyttes til å lede skredmassene til et område hvor det ikke vil gjøre skade. Det er ofte en retningsendring i ledevollen fra å stå på skrått på utløpsområdet i den øverste delen, til å stå normalt på utløpsområdet i enden. Slik fungerer den nederste delen av ledevollen som en fangvoll. Vinkelen til vollen mot skredløpet og vinkelen på retningsendringen er avgjørende for hvor effektiv ledevollen vil være. Modellforsøk viser at ledevoller med en vinkel på 15% i forhold til skredløpet vil være mest effektivt. Det var større tendens for at skredet fløt over buede ledevoller i forhold til rette voller. Avsetningene hadde lengst utløpslengder og størst avsetninger ved store avbøyningsvinkler og relativt slake vallsider. Høyden til ledevollen dimensjoneres ut ifra blant annet hastigheten til skredet, skredets bredde og flythøyde og vinkelen mellom skredet og vollen (Norem, 2011).



Figur 3.16: Ledevoll ved E39 Hvardalstranda i Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide)

Bremsekjegler

Bremsekjegler blir brukt for å bremse skredmassene og redusere utløpslengden. Som regel blir bremsekjegler satt et godt stykke fra veien hvor skredet har høy hastighet. Kjeglenes effektivitet avhenger av hvordan hver kjeGLE er utformet, her er helning mot skredet og høyden spesielt viktig. Effektiviteten avhenger også av

hvordan kjeglene er plassert i terrenget, og hvordan de er plassert i forhold til hverandre. Blant annet er det vanlig å sette bremsekjegler i flere rekker nedover i terrenget eller i plogform. Bremsekjegler blir ofte benyttet i sammenheng med fangvoll som sikringstiltak mot veg (Norem, 2011). Bilder av ulike bremsekjegler er vist i Figur 3.17 og 3.18.



Figur 3.17: Bremsekjegler ved E39 Hvardalstranda i Møre og Romsdal (Foto: Marie Drågen)



Figur 3.18: *Bremsekjegler ved rv.60 Stranda, Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide)*

Skredoverbygg

Skredoverbygg benyttes for å lede skredløpet over veien. Dette sikringstiltaket gir best sikring mot snøskred, men er kostbart å bygge og benyttes kun der andre sikringstiltak ikke gir tilfredsstillende sikkerhet. Skredoverbygg dimensjoneres ut fra blandt annet beregning av hastighet, utløpsdistanse og skredtrykk ved mulige snøskred. Bilder av skredoverbygg vises i Figur 3.19 og 3.20 (Norem, 2011).



Figur 3.19: Skredoverbygg ved fv.41 Løggjølet i Møre og Romsdal (Foto: Kari Linn Søreide)



Figur 3.20: Snøskred som har gått over skredoverbygg ved fv.41 Løggjølet i Møre og Romsdal (hentet fra maps.google.com)

Kapittel 4

Løsmasseskred

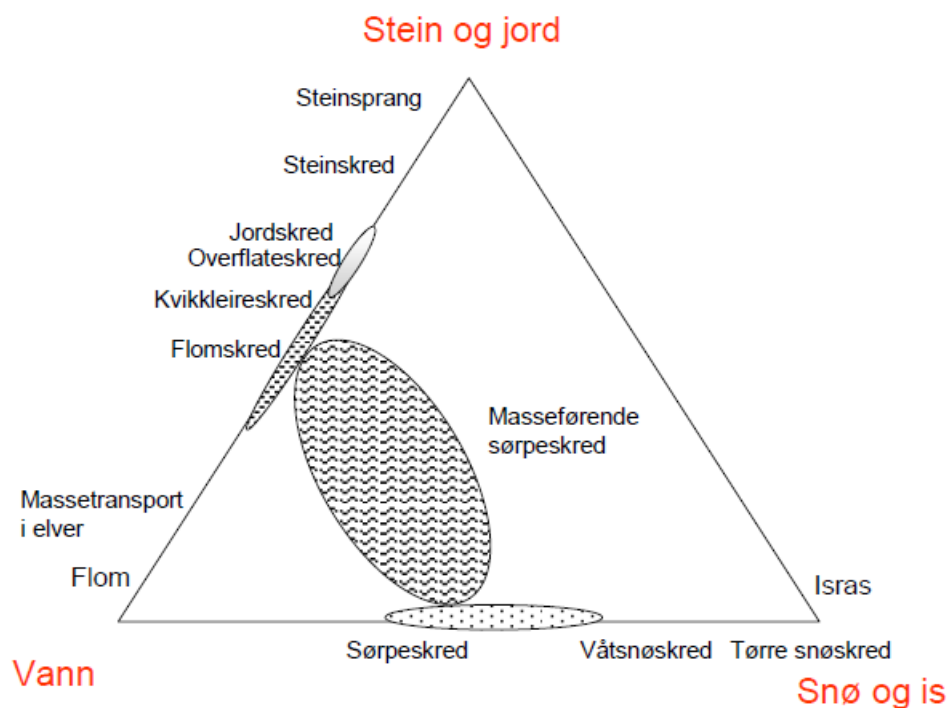
4.1 Klassifisering

Løsmasseskred er fellesbetegnelsen på alle typer utglidninger og massetransport som forekommer i løsmasser. Begrepet løsmasser inkluderer alle typer masser som ligger oppå fast fjell; stein, grus, sand, silt, leire og jordsmonn med innhold av organisk materiale (Bargel et al., 2011).

Løsmasseskred omfatter skred med forskjellige egenskaper og atferd, derfor er det naturlig å dele skredene i forskjellige grupper. Løsmasseskred kan inndeles på grunnlag av flere faktorer, her er det lagt mest vekt på (Norem and Sandersen, 2011):

- Materialer som er involvert i skredet; vann, ulike typer løsmasser
- Materialsammensetningen; partikkelstørrelsen og sorteringsgrad
- Volumetrisk massetetthet; volum av partikler/totalt volum
- Utløsningsmekanismer

De fleste naturlige skred inneholder en viss andel av vann. Innholdet av vann påvirker i stor grad både utløpsmekanismer, bevegelsestype og utløpsdistanser og er dermed en viktig faktor for å klassifisere og beskrive et skred, se Figur 4.1 (Norem and Sandersen, 2011).



Figur 4.1: Klassifiseringstrekant for skred ut ifra innhold av vann, stein og jord, snø og is (Norem and Sandersen, 2011)

Løsmasseskred blir gruppert på forskjellige måter i litteraturen, her er det valgt å inkludere jordskred, kvikkleireskred, flomskred og sørpeskred. Sørpeskred er per definisjon en type snøskred, men som nevnt i Kapittel 3.1 har denne type skred store likheter med flomskred med tanke på bevegelse og utløpslengde. Derfor er sørpeskred inkludert i dette kapittelet.

4.1.1 Jordskred

Et jordskred blir definert som rask utglidning og massetransport av vannmettede løsmasser. Ifølge Figur 4.1 er det omtrent 30-50% vanninnhold i et jordskred. Utglidningen starter i et punkt eller i en bruddsone og beveger seg som en rask massestrøm som gradvis vokser i omfang og blir bredere nedstrøms (Bargel, 2013).

Jordskred utløses i bratte skråninger med en skråningsvinkel på vanligvis 30° , det har også forekommet jordskred med en skråningsvinkel på ned i mot 20° der grunnen har hatt lav friksjon (Bargel, 2013). Utglidninger skjer som regel i morenemasser, men kan også forekomme i skredmateriale, marin leire og andre typer

løsmasser.

Skredet vil som regel fjerne all vegetasjon og løsmasser i utløpsbanen og etterlate seg bart fjell. Det vil derfor ikke gå ett nytt jordskred på samme område (før nye løsmasser har blitt avsatt), men skredbanen kan fungere som en kanal for fremtidige flomskred.



Figur 4.2: Stort trekantformet jordskred i Virumdalen, Sunndal (Bargel et al., 2011)

4.1.2 Kvikkleireskred

Kvikkleireskred kan forekomme i leire som er avsatt i havet. På grunn av landheving i Norge etter siste istid har marin leire havnet over havnivå i enkelte områder. Denne type leire inneholder salt fra sjøvannet som binder leirpartiklene sammen. Vannstrømning gjennom leirelaget vil over tid vaske ut saltstrukturene. Ved overbelastning kan strukturen kollapse og føre til et kvikkleireskred der leirpartiklene flyter i frigjort vann. Kvikkleireskred opptrer plutselig og kan oppnå lang utløpsdistanse over slakt terreng (Sandven et al., 2012).

4.1.3 Flomskred

Flomskred er hurtige, flomliknende skred som består av en blanding av løsmasser og vann. Det som i hovedsak skiller flomskred fra løsmasseskred er at flomskred

opptrer i kanaler i bratt terreng, på mellom 25°- 45° (Bargel, 2013). Flomskred følger bratte elve- og bekkeløp, raviner eller skar der det vanligvis ikke er permanent vannføring (Bargel et al., 2011).

De fleste flomskredene starter enten som løsmasseskred eller ved erosjon av løsmasser i et elveløp. Flomskredet vil ikke øke i tykkelse på grunn av de avgrensede sidene på elveløpet, men skredet kan være sterkt eroderende av løsmasser i skredbanen og øke betraktelig i volum nedstrøms (Norem and Sandersen, 2011).

Et flomskred kan inneholde mellom 40-70% vann, se Figur 4.1. Vanninnholdet er avgjørende for hvor stor mobilitet skredet vil ha. Ved større mengder vann vil massene ha mindre fasthet, der det er til dels fri distanse mellom partiklene og porene er fylt med vann. Skredmaterialet vil oppføre seg som en seig masse som kan oppnå større utløpslengder (Norem and Sandersen, 2011).

Flomskred utgjør fare for drift av vegnettet ved at massene kan avsettes på veien. I tillegg kan flomskred være sterkt eroderende. Skredet kan erodere og transportere større blokker, trær og annen vegetasjon langs skredløpet. Den eroderende kraften kan også føre til omfattende skader på veinettet der hele eller deler av veien kan bli erodert vekk og drens-systemet blir tettet av skredmasser (Norem and Sandersen, 2011).



Figur 4.3: Flomskredvifte i Eikesdalen fra 2003 (Bargel et al., 2011)

4.1.4 Sørpeskred

Sørpeskred er en type snøskred med høyt vanninnhold, se Figur 4.1. Sørpeskred opptrer svært likt flomskred. Porene i snømassene er mettede, og med liten sammenheng mellom partiklene opptrer skredet mobilt og kan oppnå svært lange utløpslengder. Hastigheten til sørpeskred er ofte større enn for flomskred siden snøpartiklene er lettere enn vann og kan danne et vannsjikt nær bakken som resten av skredmaterialet flyter på. Vannsjiktet har mindre viskositet enn resten av massen og kan føre skredmaterialet til lengre utløpsdistanser (Norem and Sandersen, 2011).

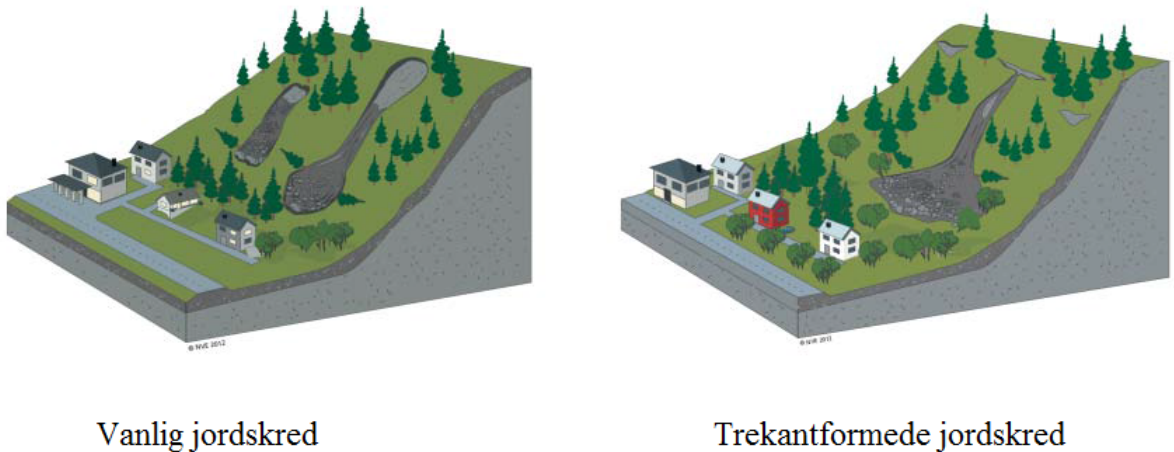
Snøskred utløses som regel i bekker og elveløp eller andre forsenkninger der vann samles opp. Terrenghelningen kan være svært slak, fra 30° til tilnærmet horisontalt terreng. Sørpeskred kan også være svært eroderende. Etterhvert som skredet beveger seg nedover skredbanen kan det erodere og bringe med seg store mengder løsmasser og vegetasjon. Dette medfører at sørpeskred og flomskred i enkelte tilfeller kan være vanskelige å skille (Lied and Kristensen, 2013).



Figur 4.4: *Stort sørpeskred i Langfjorden, Alta (Lied and Kristensen, 2013)*

4.2 Karakteristiske trekk ved skredfarlig terreng

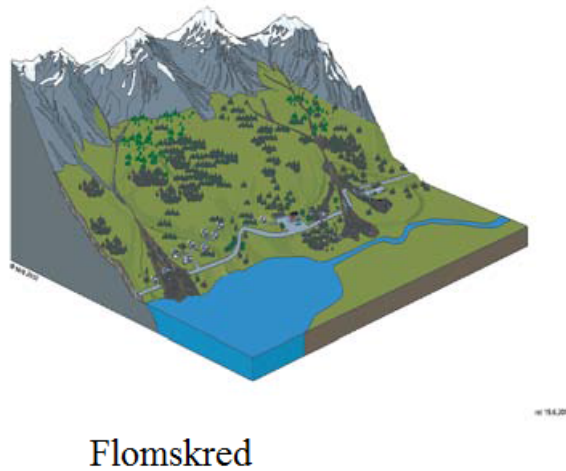
Jordskred vil som regel danne en tungeformet rygg nederst i skredløpet som består av det tyngste skredmaterialet. Skredene kan også få en mer trekantliknende form, spesielt hvis det er utløst av steinsprang, eller en mer uregelmessig form, se Figur 4.5.



Figur 4.5: *Forskjellige avsetningsformer av jordskredmateriale (Bargel, 2013)*

Flomskred følger forsenkninger og elveløp i terrenget og formen er derfor avhengig av hvordan løpet er utformet, se Figur 4.6. Skredmasser avsettes som langsgående rygger (leveer) langs elveløpet. Som regel vil flomskredet danne en flomvifte i utløpsområdet der de groveste massene avsettes ved roten og finere materiale avsettes utover i vifta (Bargel et al., 2011).

Sørpeskred vil også i stor grad følge forsenkninger i topografien og få en liknende form som flomskred.



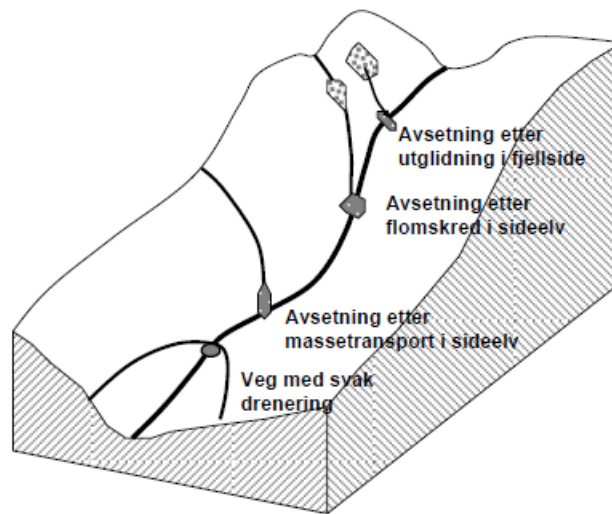
Figur 4.6: *Forskjellige avsetningsformer av flomskredskredmateriale (Bargel, 2013).*

4.3 Utløsende mekanismer

Felles for jordskred, flomskred og sørpeskred er at de som regel blir utløst i perioder med intens eller langvarig stor nedbør og/eller i perioder med høy snøsmelting (Bargel et al., 2011). Skredene blir enten initiert av at skjærspenningene fra rennende vann overstiger drensløpets skjærfasthet, eller ved at vann infiltreres inn i jordmassene, noe som øker poretrykket og reduserer fastheten i sedimentene (Norem and Sandersen, 2011).

For at jordskred skal utløses må det være liten stabilitet i løsmassene. Stabiliteten blir påvirket av friksjons- og kohesjonskreftene til løsmassene og tyngdekraften. Forhold som påvirker stabiliteten i løsmassene er blant annet topografiske forhold (hvor bratt skråningen er), vegetasjon og løsmassetype- og tykkelse (Bargel et al., 2011).

Flomskred og sørpeskred kan forekomme i naturlige eller kunstige demninger som har bygget seg opp i et drensløp, se Figur 4.7. Demninger kan dannes blant annet ved avsetning av materialer fra sideelver, utglidninger av masser fra fjellsider eller i områder i drensløpet med svak drenering. Slike demninger er spesielt sårbare i perioder med intens nedbør som kan føre til dambrudd og påfølgende skred av demningsmaterialet og vann i elva.



Figur 4.7: Naturlige demninger som kan dannes i et drensløp (Norem and Sandersen, 2011).

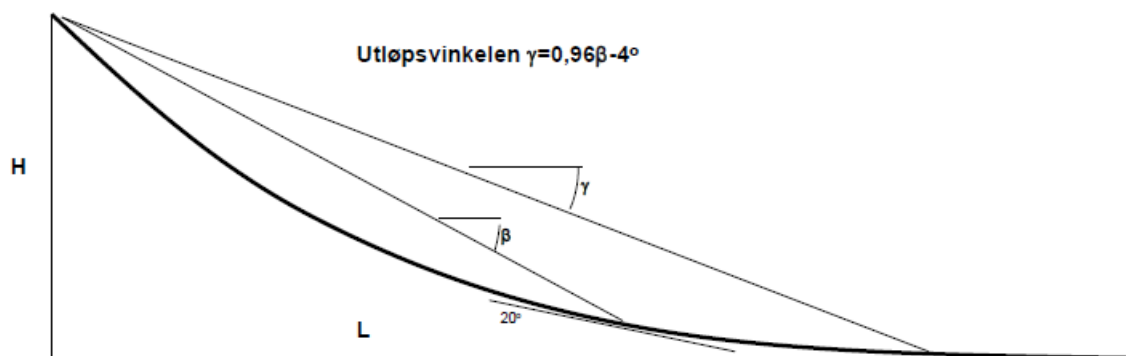
4.4 Beregning av utløpslengden

Ved beregning av utløpslengden for flomskred og sørpeskred benyttes i stor grad samme metoder som for snøskred, se kapittel 3.4. Det benyttes andre verdier for utregning av flom- og sørpeskred.

4.4.1 Alfa-beta modellen

α - β modellen for flom- og sørpeskred baseres på en sammenheng mellom utløpsvinkelen α og den gjennomsnittlige helning til skråningen β funnet ved kartlegging av en rekke flomskred i Norge. β - vinkelen er satt fra den øvre delen til skråningen til det punktet skråningen har 20° helning, se Figur 4.8. Punktet på 20° er valgt fordi skredene ofte starter den markerte nedbremsingen ved denne helningen. Forholdet mellom de to vinklene er gitt ved (Norem and Sandersen, 2011):

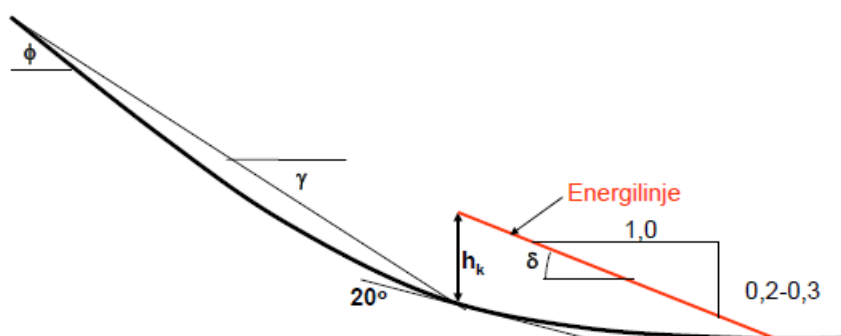
$$\alpha = 0.96\beta - 4^\circ \quad (4.1)$$



Figur 4.8: Utløpsvinkelen γ som funksjon av den gjennomsnittlige helningsvinkelen til skråningen β (Norem and Sandersen, 2011).

4.4.2 Energilinje modellen

Analyser viser at ved flom- og sørpeskred vil energilinjen i utløpsområdet ha en konstant helning på 0.2-0.3:1, se Figur 4.9. For store skred eller skred med finstoffrike masser bør en helning på 0.2:1 benyttes. For mindre skred med grove masser bør en bruke en helning på 0.3:1. Hvis det er usikkerhet rundt dette vil det være naturlig å bruke en helning på 0.25:1.



Figur 4.9: Energilinje modellen kan brukes til å beregne hastigheten i utløpsområdet (Norem and Sandersen, 2011).

4.5 Sikringstiltak

Flere sikringstiltak kan bli benyttet for sikring av sørpeskred og flomskred. Sikringstiltak som fangvoll, ledevoll og skredoverbygg er nærmere beskrevet i kapittel 3.5. Andre sikringstiltak er beskrevet under.

Erosjonskontroll

De fleste flom - og sørpeskred følger naturlige dreinsveier i terrenget og kan være sterkt erosive. Erosjonssikring blir benyttet for å øke energitapet langs skredløpet og da redusere skredhastigheten og erosjonstapet slik at skredet ikke øker i volum. Erosjonskontroll kan også bli brukt for å hindre at skredene brer seg ut til siden.

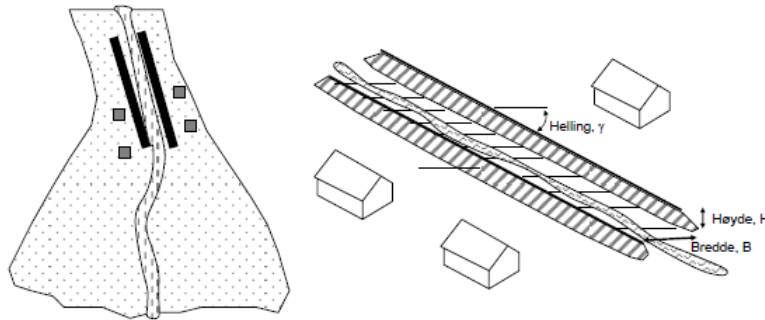
Erosjonssikring i skredløpet kan utføres ved å steinsette elvebunnen- og sidene og ved å bygge terksler i elveløpet. Dette reduserer vannets hastighetsenergi og hindrer skredet i å erodere og øke i volum i skredløpet.

Det kan også bygges kontrolldammer i elveløpet for å redusere helningen og hastigheten til skredet. Kontrolldammer bygges som oftest i armert betong, men det benyttes også uarmert betong eller tørrmur. Ved dimensjonering av kontrolldammer er viktige faktorer valg av høyde, fundamentering og erosjonssikring av foten. Et eksempel på en kontrolldam vises i Figur 4.10.



Figur 4.10: *Kontrolldam i Sveits (Norem and Sandersen, 2011).*

Hvis det er fare for at skredet kan bre seg ut og over sidene kan ledevoller langs sidene benyttes for kanalisere skredløpet. Slike sikringstiltak kan benyttes hvis det er infrastruktur eller bygninger lokalisert på sidene som kan ta skade, se figur 4.11 (Norem and Sandersen, 2011).



Figur 4.11: Ledevoller langs siden av et skredløp som sikrer bebyggelse fra at skredet flyter over sidene (Norem and Sandersen, 2011).

Broer

I området hvor skredløpet passerer vei eller jernbane kan det være nødvendig å bygge en bro, ofte utført med steinsatt bunn og ledevoller mot broen. Et eksempel på dette er gitt i Figur 4.12. Det er viktig at skredmassene er godt kanalisert frem mot broen og at skredmassene ikke bremses opp i terrenget rett før eller under broen. For at det ikke skal forekomme sedimentering ved brua må det være en jevn helning i kanalen, helst på 10° . Sedimentbasseng rett oppstrøms for brua kan føre til at det avsettes skredmasser slik at nye skred eller skredbølger går over og ødelegger brua.

Brua må også ha tilstrekkelig høyde og bredde til å slippe gjennom skredmassene. Minimum høyde bør være på minst 4m, da de fleste flom- og sørpeskred har en flythøyde på 1-2 m og enkelte partikler kan kastes høyere opp i lufta under skredbevegelsen. Modellforsøk utført ved NTNU viser at oppskyllingshøyden mot ledevollen var avhengige av bredden til brua. Det anbefales å redusere bredden til skredet før det styres inn mot broen. Bredden må derimot ikke reduseres for mye fordi dette kan føre til at massene stopper helt opp på grunn av økt sidetrykk.



Figur 4.12: Bro og ledevoller som fører inn mot brua knyttet til elveløp i Ponte Rossa, Biasca, Sveits (Norem and Sandersen, 2011).

Kapittel 5

Forundersøkelser

I dette kapittelet er det beskrevet forundersøkelser gjort for analysering av skredfare i Eresfjorden. Klimaet, geologien, aktsomhetskart og registrerte skredhendelser er temaer som er beskrevet under.

5.1 Klimaet i Norge

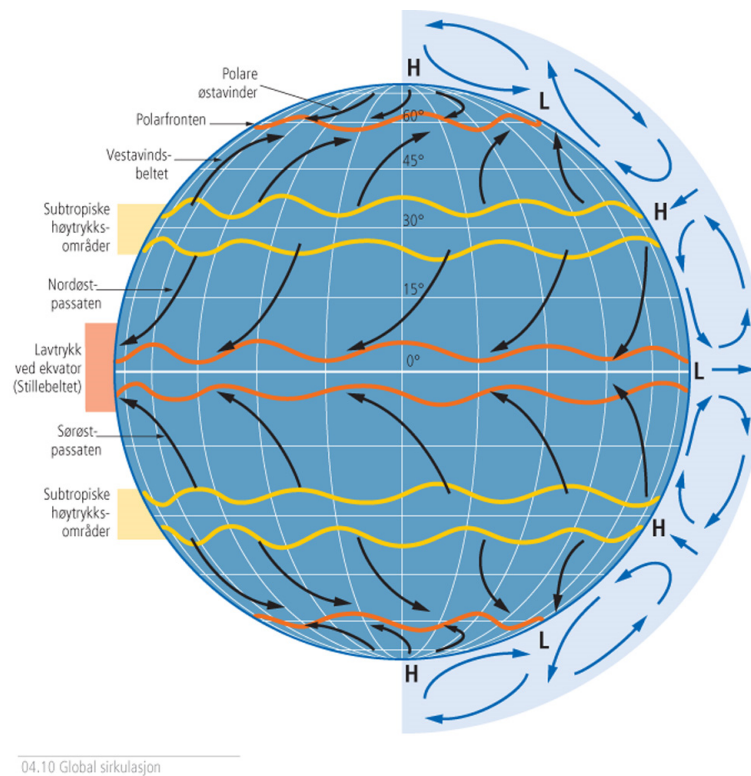
Klimaet i Norge er generelt sett varmere enn på andre steder på samme breddegrad. Dette er i hovedsak på grunn av de generelle hav- og luftstrømmer rundt og over Norge (Hanssen-Bauer et al., 2009). Det er store klimavariasjoner i Norge, både med tanke på årstider og med beliggenhet. Klimaet i Norge kan allikevel deles inn i to hovedgrupper; maritimt klima og kontinentalt klima.

5.1.1 Luftstrømninger

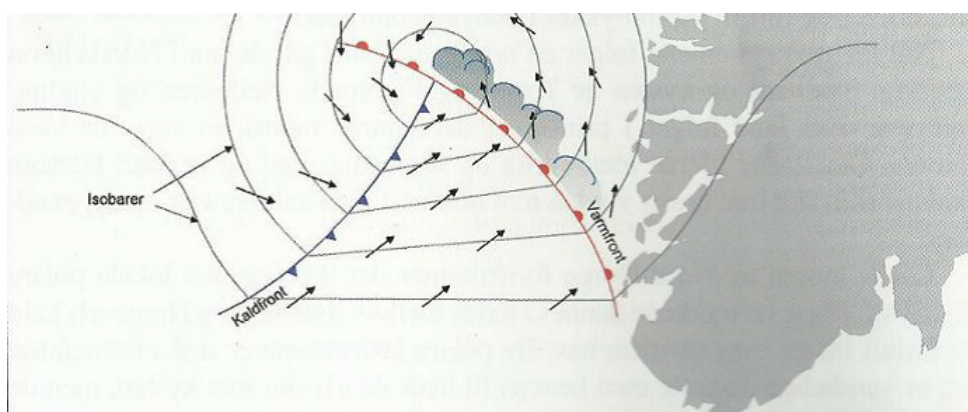
Den globale luftstrømningen bestemmer i stor grad klimaet i Norge (Klemsdal, 2005). Luftmassene beveger seg fra områder med høyere trykk til områder med lavere trykk. I tillegg virker jordrotasjonen inn på luftstrømmene slik at de blir bøyd av mot høyre på den nordlige halvkula og mot venstre på den sørlige halvkula, se Figur 5.1 (Lied and Kristensen, 2003).

Som det fremgår i Figur 5.1 har vestavindsbeltet stor påvirkning på klimaet i Norge. Varm luft fra de subtropiske områdene møter kalde luftstrømmer fra polarområdene og det dannes et lavtrykk ved at den varme fuktige luften fra sør presses opp i høyden av den kalde luften fra nord (Hanssen-Bauer et al., 2009). Vestavindsbeltet frakter dette fuktige lavtrykket inn mot norskekysten. Derfor vil luftstrømningene som regel kommer innover Norge fra en vestlig til sørvestlig

retning (Lied and Kristensen, 2003). Figur 5.2 viser et lavtrykksystem bestående av en varm front og en kald front som beveger seg inn mot Sør- Norge.



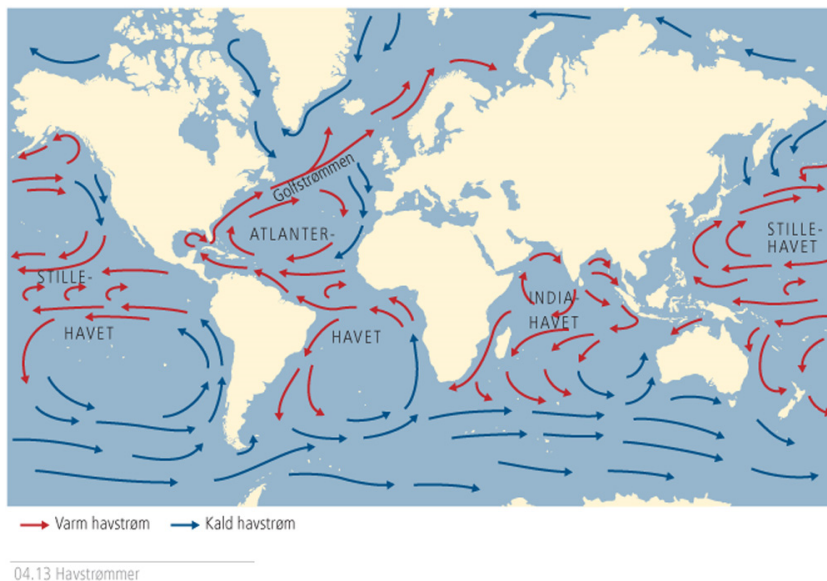
Figur 5.1: Den generelle, globale luftsirkulasjonen (Eidsmo, 2013)



Figur 5.2: Et frontsystem som beveger seg inn mot Sør- Norge (Lied and Kristensen, 2003)

5.1.2 Havsirkulasjon

Grunnen til at Norge har relativt varme temperaturer i forhold til land på samme breddegrad skyldes i stor grad overflatestrømmene i havet. I det nordlige Atlanterhavet er det en nordgående strøm av varmt og salt overflatevann som via Golfstrømmen og en forlengelse av denne når opp til og langs Norskekysten, se figur 5.3.



Figur 5.3: Overflatestrømmene i havet. (Eidsmo, 2013)

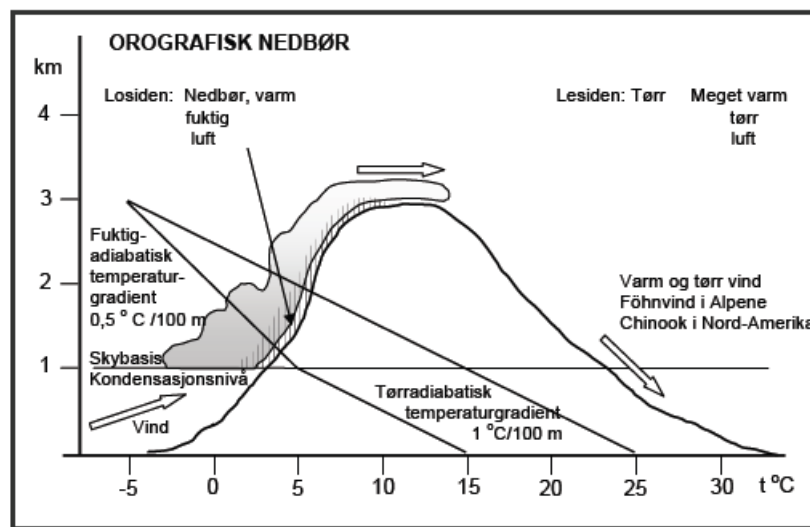
5.1.3 Maritimt klima

Maritimt klima er en av hovedinndelingene av Norges klima og opptrer i hovedsak i kyst- og fjordområdene. I disse områdene er det som regel mindre daglige og årlige temperatursvingninger, dette skyldes at områdene ligger i nærheten av havet. Vann har stor varmekapasitet og tar opp og mister varme saktere enn land. Gjennomsnittstemperaturen for hele året ligger grovt sett på en 2-8°C med varmere temperaturer jo nærmere havet et område befinner seg.

Et maritimt klima er også preget av rikelig med nedbør, høy luftfuktighet og mye vind. Årlig nedbørsmengde i Norge er størst på Vestlandet og ved kysten. Nedbøren kommer ofte inn med fuktige og tunge skyer fra Sør-vestlig til vestlig retning (Lied and Kristensen, 2003).

Når lavtrykkene går innover Vestlandet blir som regel nedbøren forsterket orografisk. De tunge skyene blir tvunget til å slippe fuktigheten i form av regn i

losiden for å kunne komme seg over fjellpartiet, se figur 5.4 (Klemsdal, 2005). På Vestlandet og i Nord-Norge fører den orografiske effekten fjell og fjorder gir til store forskjeller i årstemperatur og nedbørsmengder over små avstander. De enkelte områdene med mest nedbør på Vestlandet er blant de mest nedbørrike områdene i Europa (Hanssen-Bauer et al., 2009).



Figur 5.4: Orografisk nedbør (Klemsdal, 2005).

5.1.4 Kontinentalt klima

Kontinentalt klima, også kalt innlandsklima, finnes i indre strøk av fastlandet i Norge. Uten nærheten til havet er det større temperatursvingninger, både med store daglige temperaturskjeller og med varme somre og kalde vintre. Dette er fordi land tar opp og mister varme raskere enn vann (Klemsdal, 2005).

Andre kjennetegn på kontinentalt klima er lite vind, lav luftfuktighet og moderat nedbør. I de kystområdene hvor det også befinner seg større fjellpartier vil den orografiske nedbøren gjøre at de kontinentale områdene i lesiden vil oppleve lavere nedbørsmengde. Luftmassene må tømme seg for vann og fuktighet for å komme over fjellpartiene og vil dermed drive over de kontinentale områdene bakenfor som tørr luft (Klemsdal, 2005).

5.2 Klimaet i Eresfjorden

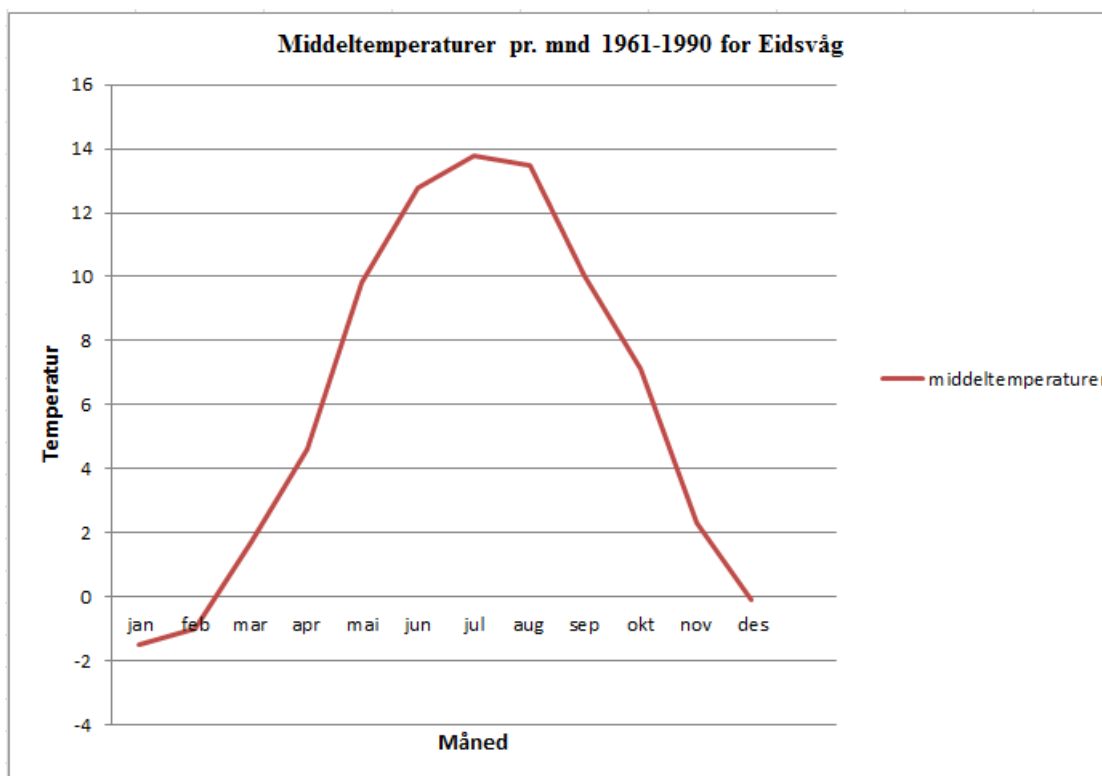
Eresfjorden befinner seg i fylket Møre og Romsdal, som ligger på Vestlandet. Området befinner seg i sonen med maritimt klima og opplever relativt lite fluktuierende temperaturer og høy nedbør.

5.2.1 Gjennomsnittstemperaturer

Gjennomsnittsverdier er hentet fra meteorologisk institutt via eklima.met.no. Figur 5.5 og Tabell 5.1 viser gjennomsnittstemperaturer for hver måned målt i perioden 1961 – 1990. Det var ikke tilgjengelig informasjon fra målestasjonen innerst i Eresfjorden, gjennomsnittsverdiene er hentet fra målestasjonen i Eidsvåg i andre ende av Eresfjorden. Det er gått ut fra at verdiene er sammenliknbare og kan representere temperaturene i indre Eresfjorden. I perioden desember til februar ligger gjennomsnittverdien på under 0 grader, ellers viser gjennomsnittstemperaturen plussgrader det meste av året, opp imot 14 grader i sommermånedene juli og august. Den generelle gjennomsnittverdien ligger på 6,1°C.

Tabell 5.1: *Middeltemperaturer (°C) for hver måned i Eidsvåg, fra perioden 1961-1990 (se figur 5.5)*

Måned	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	Årlig
Gjennomsnittsverdi(°C)	-1,5	-1	1,7	4,6	9,8	12,8	13,8	13,5	10	7,1	2,3	-0,1	6,1



Figur 5.5: Middeltemperaturer (°C) for hver måned i Eidsvåg, fra perioden 1961-1990 (eklima.met.no)

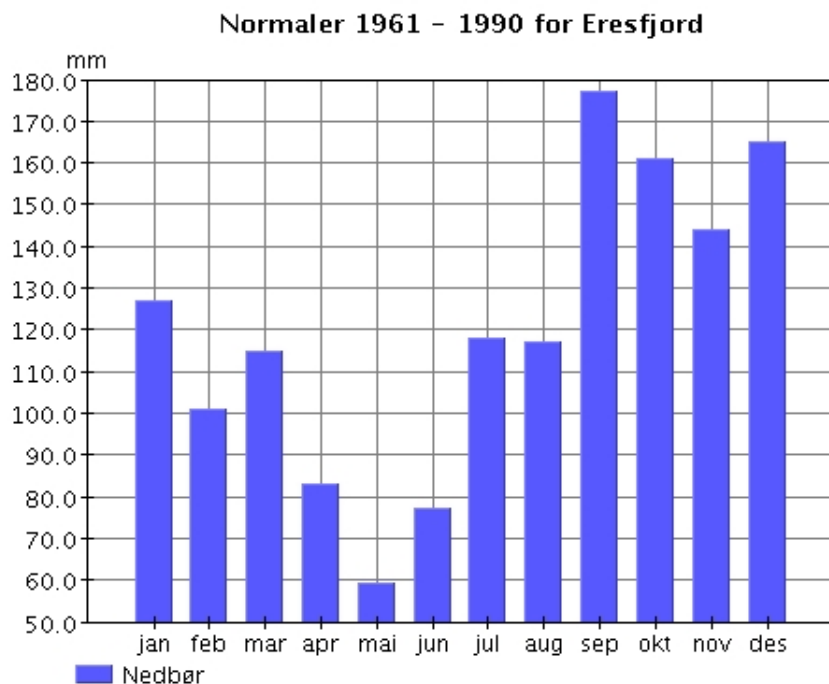
5.2.2 Normalverdier nedbør

Fra meteorologisk institutt via eklima.met.no er det hentet informasjon om nedbørsmengden for hver måned fra en stasjon lokalisert innerst i Eresfjorden, se Figur 5.6 og Tabell 5.2. Verdiene er gitt som normalverdier for hver måned fra perioden 1961 - 1990.

Figur 5.6 viser at det er mest nedbør fra september til desember. I april til juni er det registrert mindre nedbør, med minst nedbør i mai måned. Dette stemmer overens med det generelle værmønsteret i det maritime klimaet, der høstmånedene er de mest nedbørsrike, mens det er mindre nedbør i sommerperioden.

Tabell 5.2: Månedsnormaler for nedbør (mm) i Eresfjorden, fra perioden 1961-1990 (eklima.met.no) (se Figur 5.6)

Måned	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	Årlig
Månedsnormaler (mm)	127	101	115	83	59	77	118	117	177	161	144	165	1444



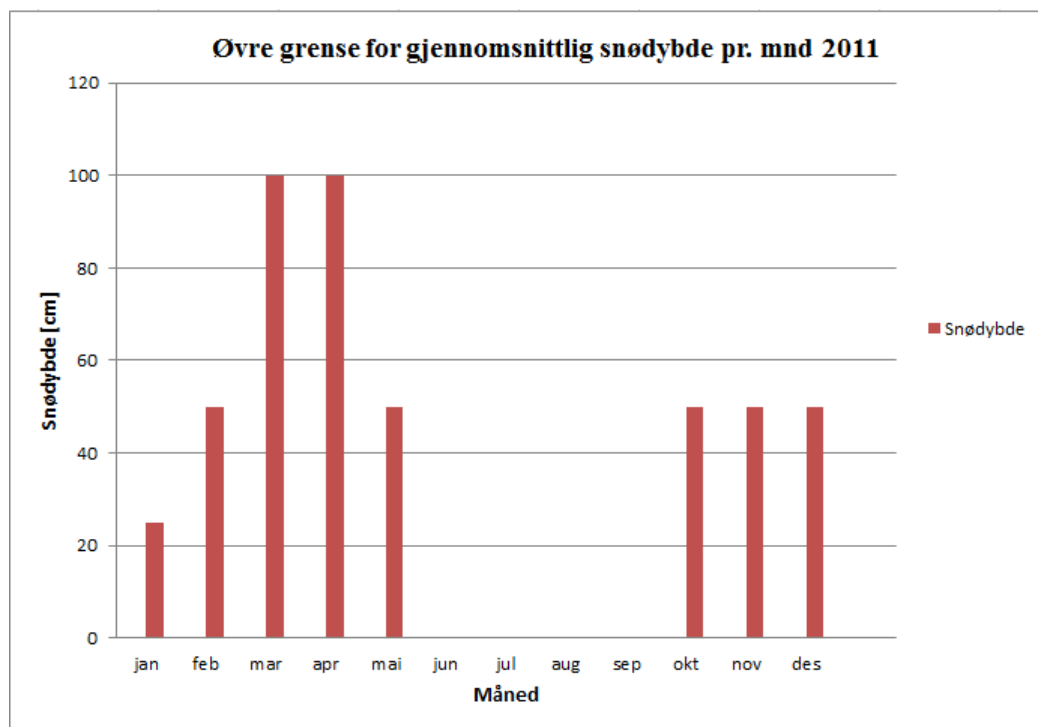
Figur 5.6: Månedsnormaler for nedbør (mm) i Eresfjorden, fra perioden 1961-1990 (eklima.met.no)

5.2.3 Gjennomsnittsverdier snødybde

Spesifikk informasjon om snødybde i Eresfjorden var ikke tilgjengelig. Gjennomsnittsverdier for snødybden gitt i senorge.no er vist i Tabell 5.3 og Figur 5.7. Snødybden i senorge.no var gitt med et spenn fra minste til høyeste verdi. I grafen er de høyeste verdiene oppgitt. Verdiene er knyttet til en del usikkerhet men kan allikevel gi et visst inntrykk av den generelle snødybden i Eresfjorden i løpet av ett år. Det må nevnes at snødybden vil variere fra dag til dag og år til år. Snødybden vil også variere med den lokale topografien langs Eresfjorden.

Tabell 5.3: Snødybde [cm] pr. måned i Eresfjorden. Snødybden viser den øvre grensen for gjennomsnittverdier for hele området den 25. hver måned (senorge.no) (se Figur 5.7)

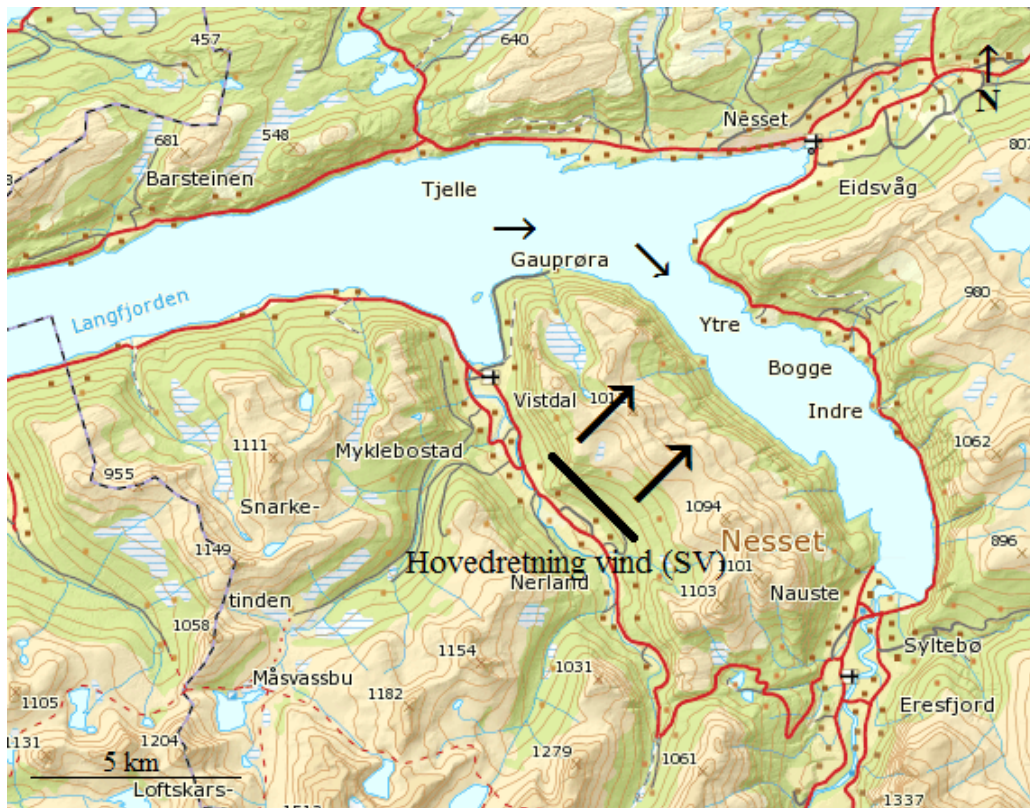
Måned	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
Snødybde (cm)	25	50	100	100	50	0	0	0	0	50	50	50



Figur 5.7: Snødybde [cm] pr. måned i Eresfjorden. Snødybden viser den øvre grensen for gjennomsnittverdier for hele området den 25. hver måned (senorge.no)

5.2.4 Vindretning

Det var ingen informasjon om målte vindretninger for værstasjonen i Eresfjorden. Som nevnt tidligere i kapittelet vil luftstrømningene som regel komme innover Norge fra en vestlig til sørvestlig retning. Vindretningen blir påvirket av topografien og har en tendes til å følge parallelt langs fjorder og daler (Hanssen-Bauer et al., 2009). Figur 5.8 viser hvordan hovedvindretningen kan tenkes å bli påvirket av omkringliggende fjorder slik at en vindarm går innover Eresfjorden parallelt langs fjorden.



Figur 5.8: Kart over Eresfjord området hvor de største pilene viser hoved vindretning fra sør-vestlig retning. Mindre piler viser hvordan vindretning kan tenkes å skru innover Langfjorden for så å gå parallelt langs Eresfjorden (Modifisert kart fra norgeskart.no).

5.2.5 Ekstremvær - Dagmar

Ekstremværet Dagmar rammet Norge den 25. desember og natt til 26. desember 2011. Møre og Romsdal var en av de verst rammede fylkene i landet, hvor Dagmar gjorde skade på veinettet for 41 millioner kroner. Det ble gjort skade på oppimot 7 millioner kroner på riksveiene og omtrent 34 millioner kroner på fylkesveinettet (Berger et al., 2012). Stormen rammet fylkesvei 660 langs Eresfjorden, der middelvinden målt i Eidsvåg, ytre Eresfjorden, ble målt til 26.2 m/s noe som tilsvarer full storm, og med sterke vindkast på opp imot 45.5 m/s (Harstveit, 2012).

Flere kilometer på strekningen mellom Hagbø og Eresfjorden ble påført skader. På enkelte strekninger ble opp imot halvparten av veiens bredde utvasket. Ifølge seksjonsleder Ivar Hol i Statens vegvesen ble oppryddingen av veien gjort i kombinasjon med en utbedring, der stein til ny plastring ble innhentet ved å sprengre masser ut av en hammer like ved slik at veien samtidig ble utvidet ved de rammede områdene (Loe Welde and Brunvoll, 2012).

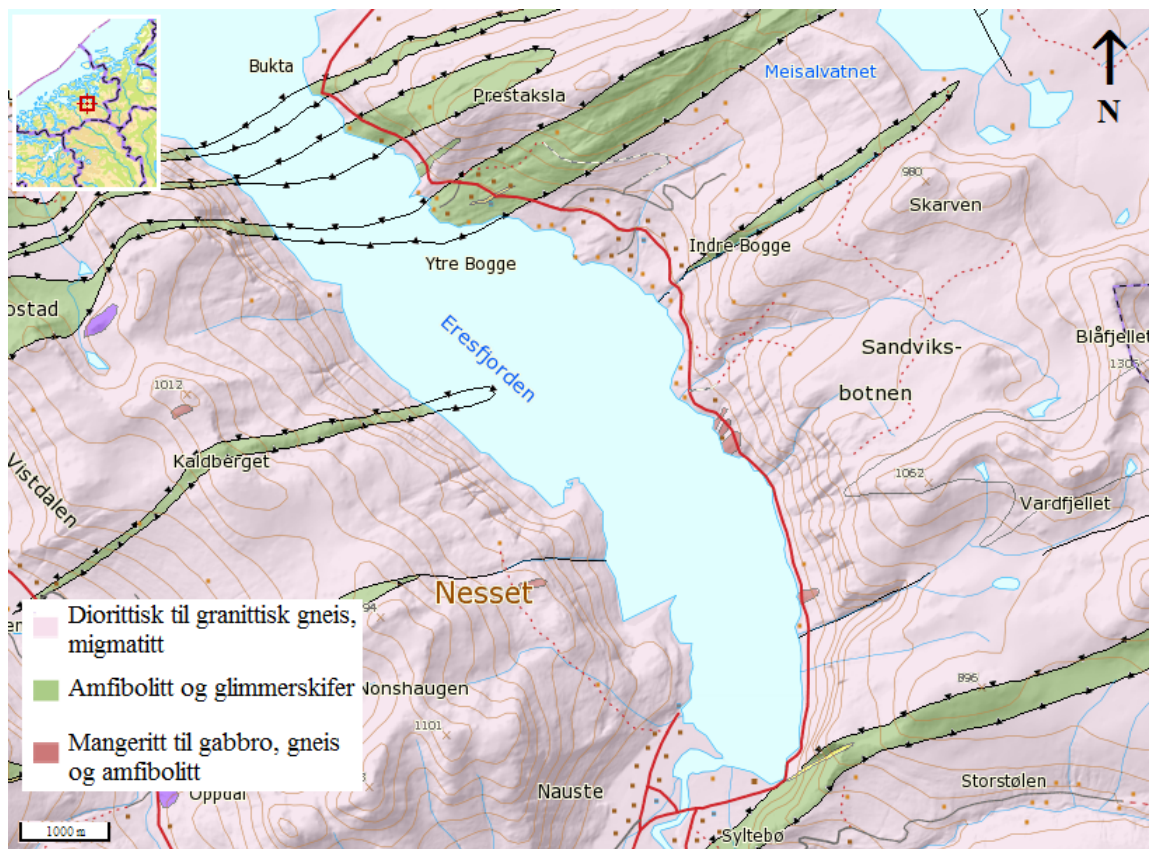


Figur 5.9: *Utvasking av veien ved fv.660 langs Eresfjorden etter Dagmar uværet (Loe Welde and Brunvoll, 2012)*

5.3 Geologien ved Eresfjorden

5.3.1 Bergrunnen

Et bergrunnskart for Eresfjordområdet er gitt ved Figur 5.10, (Tveten et al., 1998). Kartet viser at det finnes tre hovedtyper av bergarter i området. Kartet er gitt i målestokk 1:250000 og viser ikke en detaljert inndeling av bergartstyper på området men heller en hovedinndeling av mulige bergarter som kan opptre innenfor det gitte feltet.



Figur 5.10: Bergrunnskart over Eresfjordområdet i målestokk 1:250000, (Tveten et al., 1998)

Diorittisk til granittisk gneis eller migmatitt

På kartet vises det at store deler av bergrunnen som ligger ved og i området langs fv. 660 i Eresfjorden består av hovedbergarten diorittisk til granittisk gneis

og/eller migmatitt. Bergarten på området blir definert som gneis som ikke er videre inndelt, den er for det meste er kvartsdiorittisk og noen steder migmatittisk (det lyserosa området).

Gneis er et samlebegrep på en metamorf bergart som er blitt dannet ved at en dypbergart har gjennomgått en mekanisk deformasjon og rekrystallisering (Prestvik, 2001). Bergarten er assosiert med grunnfjellet i Norge fra prekambrisk alder som utgjør omtrent 50% av Norges geologi (Nilsen and Broch, 2009) og er del av den såkalte 'hard rock' provinsen.

Bergarten får navn utifra sammensetningen til kildebergarten, betegnelsen gneis brukes dermed om bergarter med store mineralogiske forskjeller. Diorittisk til granittisk gneis har dermed en sammensetning med hovedkomponenter av felsiske mineraler som kvarts og feltspat (Prestvik, 2001). Det er i hovedsak kvartsinnholdet som påvirker hvor sterk bergarten er fordi kvarts er et spesielt hardt mineral som er resistant både overfor kjemisk og fysisk forvitring (Nilsen and Broch, 2009).

Under metamorfosen vil mineralene orientere seg etter de påførte spenningene under deformasjonen. Ofte vil det dannes en tydelig parallellorientering av bergarten som vil gi bergarten anisotrope egenskaper med en utpreget svakhetsretning. Ofte vil mineralene i en gneis bli lagdelt og orientert ut ifra de rådende spenningsretningene, en slik bergart blir kalt båndgneis. Båndgneis er registrert i enkelte områder i Eresfjorden.

Generelt sett vil en diorittisk til granittisk gneis vil som regel oppføre seg som en relativt hard og sterk bergart med lav porøsitet og primær permeabilitet. Mulig orientering og bånding av mineraler vil kunne gi retninger med lavere styrke.

En migmatitt er samlebegrep på en bergart som har intrudert rundtliggende bergarter og dannet en blandingsbergart. En slik bergart har ulik sammensetning ut ifra sammensetningen til kildebergart og den intruderte bergarten (Prestvik, 2001).

Amfibolitt eller glimmerskifer

Det finnes også områder bestående av amfibolitt og/eller glimmerskifer (grønne felt). Disse områdene kan bestå av glimmerskifer, granatglimmerskifer, glimmergneis og/eller granatamfibolitt. Noen steder vil det være innhold av linser og ganger av trondhemitt og bergarten kan enkelte steder opptre migmatittisk.

Amfibolitt er en middels metamorf bergart av omdannet vulkanske bergarter. Den består i hovedsak av mineralene hornblende og plagioklas (Prestvik, 2001).

Glimmerskifer er en metamorfosert leirbergart av middels grad. Bergarten

består av glimmermineraler som muskovitt, kloritt og biotitt ut ifra sammensetning til kildebergarten (Prestvik, 2001). Typisk for denne bergarten er at den vil opptre med kløv og skifrihet i en spesifikk retning. Glimmerskifer vil være mye sterkere perpendikulært til enn langs lineasjonen/oppsprekkingsretningen. Skifrihet vil i tillegg til å påvirke styrken til bergarten også gjøre den mer mottakelig mot forvitring (Bell, 2007).

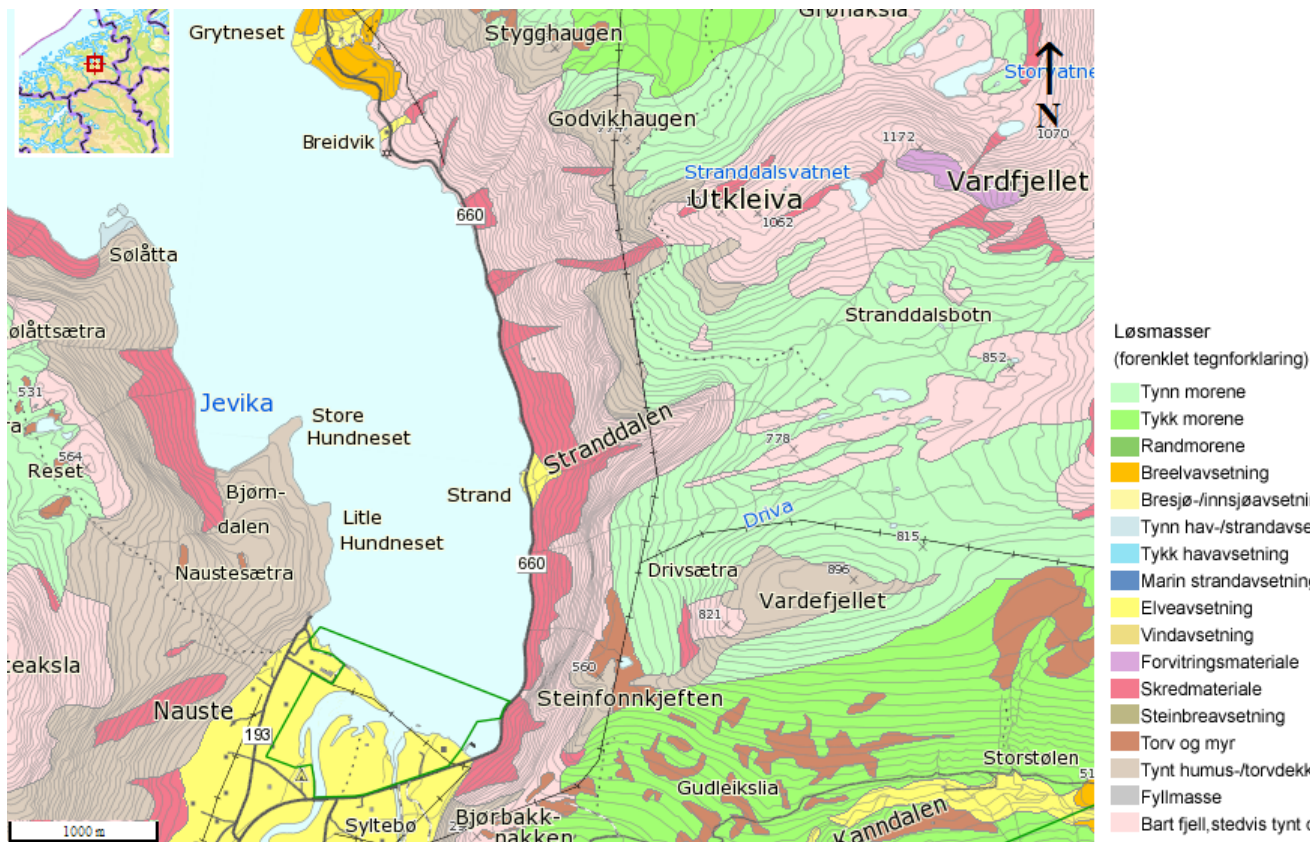
Mangeritt, gabbro, gneis eller amfibolitt

Enkelte steder langs kysten er det små felt bestående av bergartene mangeritt, gabbro, gneis og/eller amfibolitt (mørk rosa felt). Bergarten i området kan opptre som gabbro, granatholdig koronittisk gabbro, doleritt, noen steder omdannet til amfibolitt; hyperitt.

Flere av bergartene som kan opptre i dette området er blitt beskrevet i seksjon [5.3.1](#) og [5.3.1](#) De fleste av bergartene vil ha middels til høy styrke men variere noe ut ifra mineralsammensetningen og skifrihet.

5.3.2 Løsmasser

Et løsmassekart over Eresfjordområdet er gitt ved figur [5.11](#), (Follestad, 1994). Det er flere typer av løsmasser som er avsatt i området, for å gi et bedre overblikk er kartet delt inn i 3 soner med forskjellige løsmassetyper.



Figur 5.11: Løsmassekart over Eresfjordområdet i målestokk 1:50000, gitt ved (Follestad, 1994)

Sone 1 - Skredmateriale

Sone 1 er lagt ved fv.660 langs sjøen og opp imot de bratte klippene som befinner seg bakenfor. Her er den dominerende løsmassetypen skredmateriale (mørke rosa områder) som ligger i et usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen med en gjennomsnittlig tykkelse på under 0.5 m. Avsetninger er i hovedsak fra steinsprang, fjellskred, snø- og løsmasseskred fra de bratte bakenforliggende dalsidene ved Eresfjorden (Follestad, 1994). Dette vitner til at området har opplevd flere skred av forskjellig type og størrelse i tidligere perioder. Skredmaterialet har blitt avsatt i urer i den delen av skredbanen hvor topografien har begynt å flate ut og blokkene/materialet har mistet sin kinetiske energi.

Sone 2 - Bart fjell

Sone 2 er satt til de bratte dalsidene bakenfor veien og skredmaterialet. Dette området er definert som bart fjell (lyse rosa områder). Denne definisjonen brukes om områder som stort sett mangler løsmasser, der mer enn 50% av arealet er fjell i dagen (Follestad, 1994). Grunnen at det for det meste er bart fjell på dette området er at det er såpass bratt, dermed vil det ikke avsettes løsmasser.

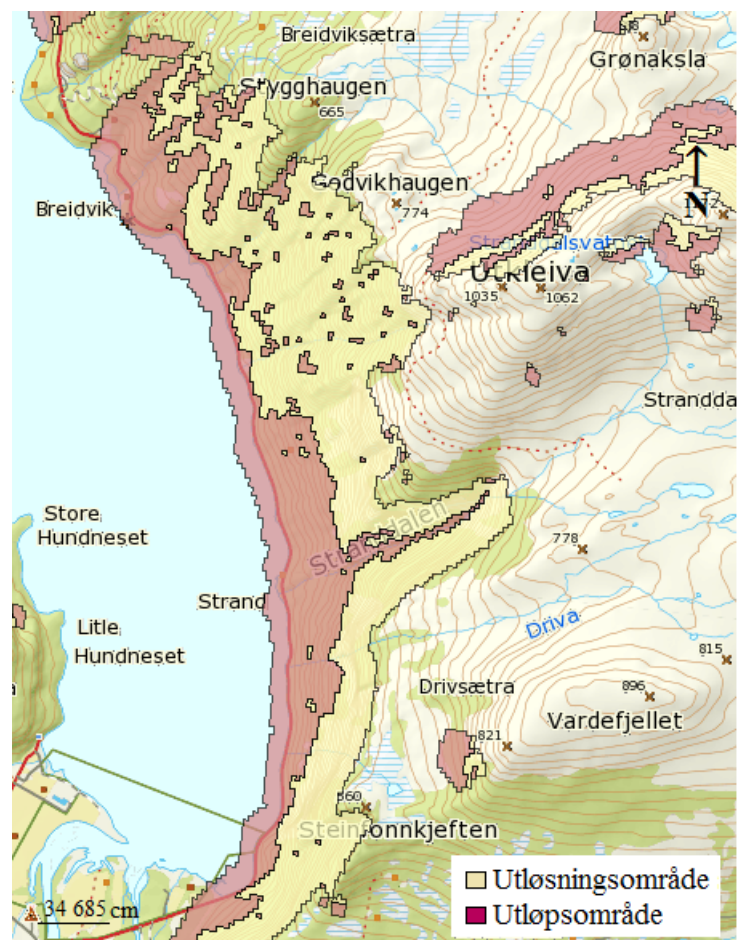
Sone 3 - Morenemateriale og humusdekke

Sone 3 befinner seg i området bakenfor de bratte dalsidene, hvor terrenget flater ut. Store deler av området er dekket av et tynt morenelag (lyse grønne områder), med en tykkelse på under 0,5m, eller bart fjell (lyse rosa områder). Enkelte områder består også av tykk morene, med en tykkelse fra 0.5 m opp til flere ti-talls meter (mørke grønne områder). Morenemateriale er materiale som er plukket opp, transportert og avsatt av isbreer, her fra siste istid i Norge. Det er vanligvis hardt sammenpakket, dårlig sortert og kan inneholde alt fra leire til fragmenter og blokker av stein (Follestad, 1994).

Noen områder i sone 3 består av humusdekke/tynt torvdekke (lyse grå områder). Mektigheten av humusdekket er vanligvis 0.2 - 0.5 m, men kan lokalt være tykkere. Fjellblotninger opptrer hyppig i disse områdene (Follestad, 1994).

5.4 Aktsomhetskart

Aktsomhetskart er utarbeidet ved NGU og er basert på en digital høydemodell i et GIS. Løsneområder er anslått ved analyse av fjellsidens helningsvinkel. Terskelverdiene er avhengig av berggrunn og blotningsforhold og inkluderer ikke feltundersøkelser. Minimum shadow angle benyttes for å anslå utløpsområdet ved utrasing. Minimum shadow angle er nærmere beskrevet i Kapittel 2.9. Denne metoden er svært konservativ men kan bli benyttet som en første analyse for skredutsatt område. Områdene sier ingenting om sannsynlighet for snøskred eller steinsprang.



Figur 5.12: Aktsomhetskart for steinsprang- og skred (fra NGU.no, revidert i ArcGis).

Aktsomhetskart for steinsprang- og skred er gitt i Figur 5.12. Et utløsningsområde er lokalisert bakenfor veistrekningen ved hele området, dette området er fjellklippene bakenfor veien. Utløpsområdet er ikke satt ved uren nedenfor fjellklippene, her er ikke området bratt nok. Utløpsområdet dekker hele veistrekningen og viser at det er mulig stein- og skredfare langs hele veistrekningen.

Aktsomhetskart for snøskred er gitt i Figur 5.13. Utløsningsområder er også her lokalisert bakenfor veistrekningen ved hele området og utløpsområdet dekker hele veistrekningen. Dette viser at det er mulig snøskredfare langs hele veistrekningen. Snøskred utløses ikke ved helninger brattere enn 60° . Enkelte felt ved fjellskråningen bakenfor er ikke definert som utløpsområde, her er skråningshelningen for bratt. Utløpsområdet er lokalisert ved store deler av uren nedenfor fjellklippene, her er skråningshelningen bratt nok for utløsning av snøskred.

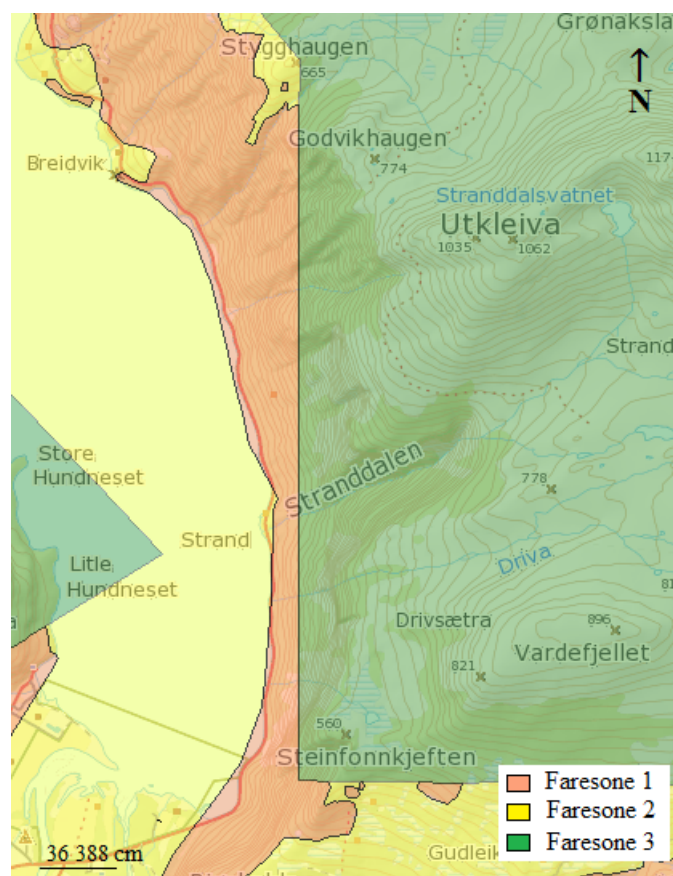


Figur 5.13: Aktsomhetskart for snøskred (fra NGU.no, revidert i ArcGis).

Aktsomhetskart for steinssprang- og skred og snøskred er utarbeidet ved NGU. Her er potensielle løснеområder og utløpsområder gitt med faregrad. Faresonene viser;

- Faresone 1: Potensielt fareområde for skred (Skråninger og skrenter høyere enn 30 meter og lengre enn 50-100 meter. Skråningshelninger mellom 20° og 30° kan være vanskelige å anslå).
- Faresone 2: Liten eller ingen fare for skred.
- Faresone 3: Faren for skred er ikke vurdert (Ikke undersøkt på grunn av liten bebyggelse eller ferdsel).

Temakvaliteten er satt som nokså god. Registrering er med lav oppløsning (+/- 100 m) og hvor det er gjort generalisering, ofte basert på flyfototolkning.



Figur 5.14: Aktsomhetskart for steinssprang- og skred og snøskred (fra NGU.no, revidert i ArcGIS).

5.5 Skredhendelser

Tidligere skredhendelser i et område kan gi viktig informasjon om fremtiden ved at det bidrar til en bedre forståelse av skredfare. Mange skredtyper gjentar seg på samme sted. Dette gjelder både for skredene som gjentar seg årlig, som snøskred og sørpeskred, men også for de skredene som forekommer sjeldnere.

5.5.1 Registrering av skredhendelser

Statens vegvesen registrerer skred mot vei i Nasjonal vegdatabank (NVDB). Skredhendelser vises som et punkt, enten der det traff veibanen eller der skredet skadet objekter eller mennesker. Informasjon som dato, klokkeslett, type skred, volum og hvilke skader som er oppstått er også oppgitt i tilfeller der dette er tilgjengelig.

Siden 2003 har skredhendelser fra flere samarbeidspartnere samlet og lagret i en digital database presentert på skrednett.no (Devoli et al., 2011). Registreringen ble utført av NGU i samarbeid med NGI, Alstor Furuseth, fylkesgeologer, Jernbaneverket, NVE og Statens vegvesen.

NGI har registrert informasjon om ulike skredhendelser, spesielt snøskred og løsmasseskred. Jernbaneverket har registrert skred mot jernbaneverket. Registreringer startet i 1920 og har fortsatt kontinuerlig til nåtid, med en mer og mer systematisk innhenting av informasjon.

NGU har igjennom lokalhistoriker Alstor Furuseth gjennomført en registrering av historiske skred. Forutsetningene her er at datoen for hendelsen må være registrert skriftlig eller synlig ved foto/flyfoto og at skredhendelsene må ha rammet mennesker eller gjort materiell skade (Devoli et al., 2011). Det er blitt hentet inn data fra ulike kilder som tidsskrifter og aviser, kirkebøker, gamle krøniker, historiske verk eller liknende.

5.5.2 Skredhendelser langs fv. 660, Eresfjorden

Skredhendelseskart er innhentet fra skrednett.no og fra NVDB, se henholdsvis Vedlegg A.52 og Vedlegg A.53. Registreringene er sammenstilt i ArcGIS, se Figur 5.15. Figuren viser at det kun er registrert snøskred (som inkluderer sørpeskred), steinsprang og steinskred i Eresfjorden. Det er ikke registrert fjellskred, løsmasseskred eller kvikkleiserskred langs veistrekningen.



Figur 5.15: Registrerte skredhendelser fra skrednett.no og nvdb, revidert i ArcGIS.

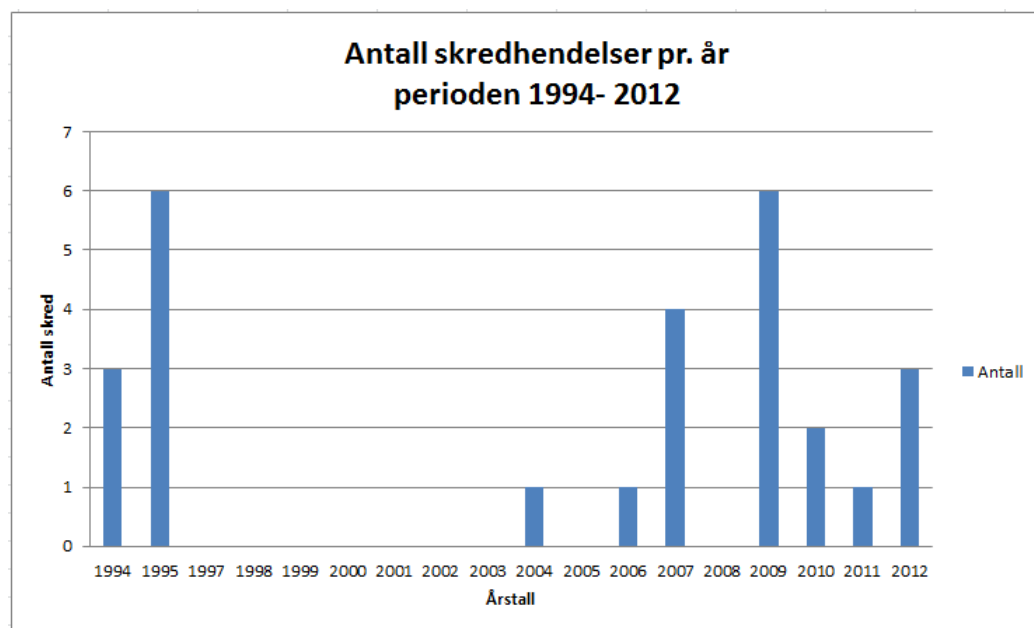
Graf 5.16 viser antall skredhendelser samlet for hvert år siden 1994 og Graf 5.17 viser hendelser for ulike skredtyper for hvert år siden 1994. Grafene er laget utifra Tabell i vedlegg A.56. Begynnelsesåret 1994 er valgt ut ifra når de første skredhendelsene er registrert fra senere tid. Her er ikke de historiske skredhendelsene lagt ved. Det er registrert 2 skredhendelser på 1880-tallet, disse er utdypet i Tabell 5.4.

Tabell 5.4: Registrerte skredhendelser i Eresfjorden på 1880-tallet

Årstall	Type skred	Stedsnavn	Omkomme	Beskrivelse
01.mars 1870	Snøskred	Liaseter	1	På garden Liaseter, mellom Eresfjord og Eikedalsvatnet, den 1. mars 1870 kom eit snøskred medan far og son var ute etter ved. Skredet tok dei og førte dei ned i dalbotnen. Åtteåringen overlevde, men dei leita fånyttas etter faren som omkom. Dette var Peder Ørgerson, 45 år gammal. forulykkede ved snescred". Kartreferansen er ca
17.februar 1842	Snøskred	Breivikstrand	1	Breivikstranda. Den 17. februar 1842 omkom gardbrukar Peder Pedersen Brevigstrand, 50 år, med bustad på Breivikstrand: "ihjelslagen af Iisscred,"Manglar ytterleg informasjon om kva dette innebar. Kanskje skjedde det i elvejuvet ovafor garden. Ytre Breivikstranda ligg ved fjorden innafor Breivik, og er gnr. 7 (gnr. 66). Kartreferansen er vilkårleg plassert ved elvejuv nord for garden

På grunn av at Statens vegvesen er samarbeidspartner ved registreringer av skredhendelser for skrednett.no vil enkelte skredhendelser være representert to ganger. Disse skredpunktene er forsøkt å rette opp i ved å se på likheter mellom skredpunktene i de to databasene. Er datoen og skredpunktet likt i databasene er det gått ut ifra at det representerer samme skredpunkt og er da kun blitt representert som en skredhendelse.

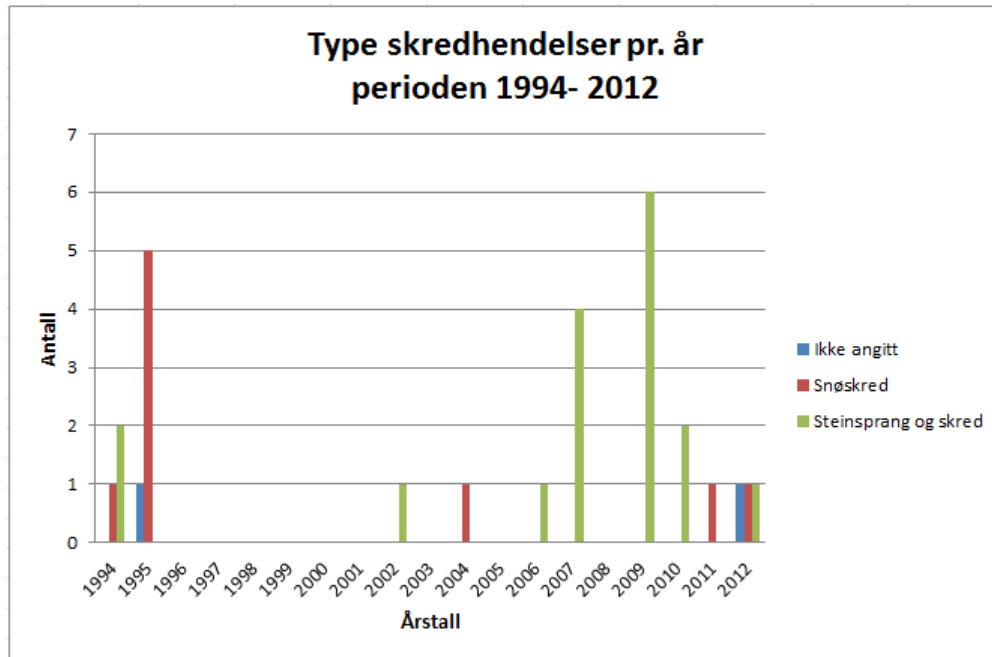
Det er registrert totalt 27 skredhendelser i perioden 1994 - 2012 i Eresfjorden. Graf 5.16 viser at det er registrert forholdsvis mange skred i 1995. I perioden 2002 - 2012 er det også registrert flere skred hvert år, mens i perioden 1996 - 2001 er det ikke registrert noen skredhendelser. En av grunnene til dette kan være at det i perioden ikke var lagt særlig vekt på å registrere skredhendelser. Det er først i senere år blitt vektlagt av de forskjellige samarbeidspartnerne.



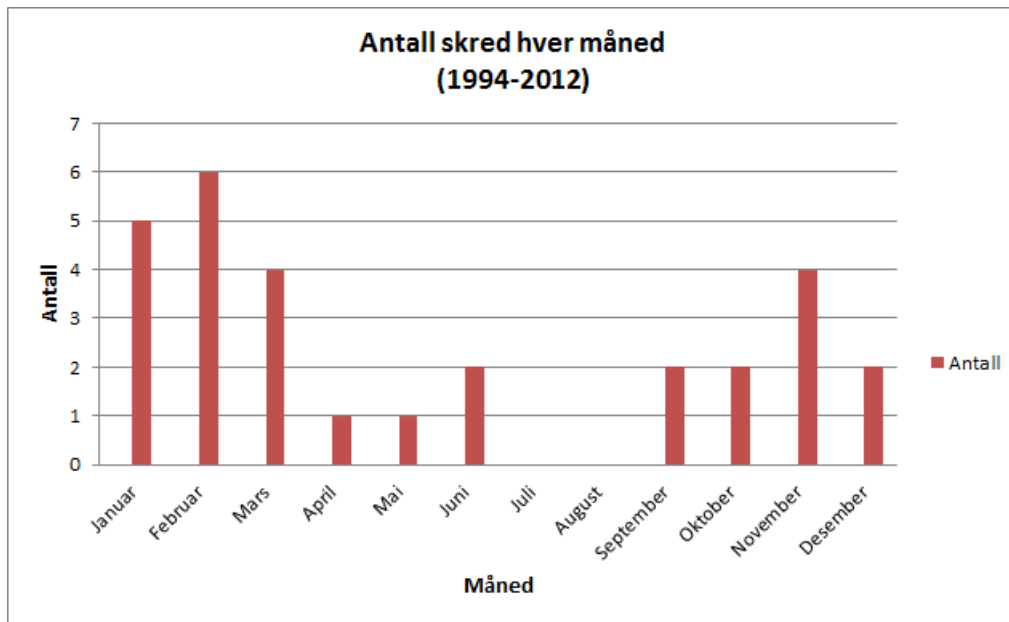
Figur 5.16: Antall skredhendelser som har blitt registrert langs fv.660 i Eresfjorden i perioden 1994 - 2012.

Figur 5.17 er basert på tabell i Vedlegg A.57 og viser antall og type skredhendelser som har blitt registrert langs fv.660 i Eresfjorden i perioden 1994 - 2012. Sammenlagt for hele perioden er det flest snøskred som er registrert langs Eresfjorden. De ulike typene skred er spredt utover perioden, men en kan se en viss tendens til at snøskred var den vanligste typen skred i perioden 1994 – 1995, mens steinskrud har vært den dominerende skredtypen i perioden 2002 – 2012. Det høye antallet av registrerte skred uten identifikasjon gjør derimot denne observasjonen noe usikker.

I en artikkel i Romsdals Budstikke, som blant annet har Nettet kommune som dekningsområde, nevnes det at det tidligere var snakk om mest snøskred, men at det i de senere år har vært en større tendens til steinsprang (Tjelle, 2007b). Artikkelen er skrevet i oktober 2007, hvilken periode som henvises til som 'tidligere' blir ikke utdypet i artikkelen.



Figur 5.17: Antall og type skredhendelser som har blitt registrert langs fv.660 i Eresfjorden i perioden 1994 - 2012.



Figur 5.18: Antall skredhendelser som har blitt registrert langs fv.660 i Eresfjorden hver måned i perioden 1994 - 2012

Figur 5.18, se tabell i Vedlegg A.57, viser antall skred som er registrert for hver måned i løpet av perioden 1994 – 2012. De registrerte skredene er fordelt forholdsvis jevnt over månedene, med størst antall skred i januar og februar. Ingen skred er registrert i juli og august. Dette kunne vært på grunn av at det generelt sett i landet er mindre nedbør i sommermånedene. Men Graf 5.6 viser at normalverdiene for nedbør i Eresfjorden ikke er spesielt lave i disse månedene.

I Romsdals Budstikke er det skrevet flere artikler om skredhendelser og skredfare i Eresfjorden. Skredhendelser som er registrert ved datoene 18/10/2007, 22/10/2007 og 26/10/2007 på skrednett, se vedlegg A.54, er nevnt i flere artikler (Tjelle, 2007c) (Tjelle, 2007a) (Tjelle, 2007b). Figur 5.19 og 5.20 viser bilder fra steinskredet som gikk 18/10/2007. Det er også nevnt et steinras som ikke er registrert i NVDB eller på skrednett.no. Den 25/05/2010 falt store steiner ut fra fjellsiden i Godvika og ned på veien. Ingen personer ble skadet men det oppstod mindre skader på veien (Høstmark, 2010). Denne skredhendelsen er ikke tatt med i statistikken.



Figur 5.19: Skredhendelse i Eresfjorden 18.10.2007 (Tjelle, 2007a).



Figur 5.20: Skredhendelse i Eresfjorden 18.10.2007 (Tjelle, 2007c).

Det er en del usikkerhet knyttet til de oppgitte skredhendelsene. På grunn av at det har vært flere samarbeidspartnere og derfor mange ulike personer som har gjort registreringer må det tas høyde for at registreringene kan være av noe ulik art. Informasjonen som er oppgitt ved registreringene er også svært forskjellig. Som det går frem i Figur 5.16 er det flere skredhendelser der skredtype ikke er oppgitt. Volum på utrasingene og hvor stor skade som er oppstått er det generelt sett oppgitt lite eller ingen informasjon om.

Det er grunn til å anta at en del skredhendelser ikke har blitt registrert og dermed ikke er med i denne statistikken. Geolog Harald Wahlstrøm, ansatt i Kolo veidekke, har hatt ansvaret for skredsikring langs denne strekningen fra 2007. Wahlstrøm har flere ganger opplevd at lokalbefolkningen har nevnt i etterkant at det har skjedd et steinskred eller steinsprang som traff veien og som de på eget initiativ har ryddet av veien. Dette kan indikere at det muligens er flere skred som har blitt ryddet av lokalbefolkningen eller tilfeldige forbipasserende, og som dermed ikke har blitt registrert.

Kapittel 6

Modellering av sannsynlig utløpslengde steinsprang

Registrerte skredhendelser viser at steinsprang og steinskred er et av hovedproblemene i Eresfjorden. Derfor er det gjort en vurdering av skredfaren for denne type skred langs veistrekningen. Modellering av sannsynlig utløpslengde for steinsprang er gjort ved RocFall- analyser som er beskrevet i Kapittel 2.5.3. Det er flere utfordringer knyttet til å vurdere steinsprangfare ved en veistrekning som ligger langs en relativt lang fjellklippe. Det vil være store variasjoner i skråningsgeometrien, skiftende materialeegenskaper og et komplekst samspill mellom utløsende mekanismer. Når en analyse er sensitiv for små variasjoner av disse parameterne vil en presis bestemmelse av alle potensielle løsneområder være verken mulig eller praktisk gjennomførbart.

6.1 Valg av profiler

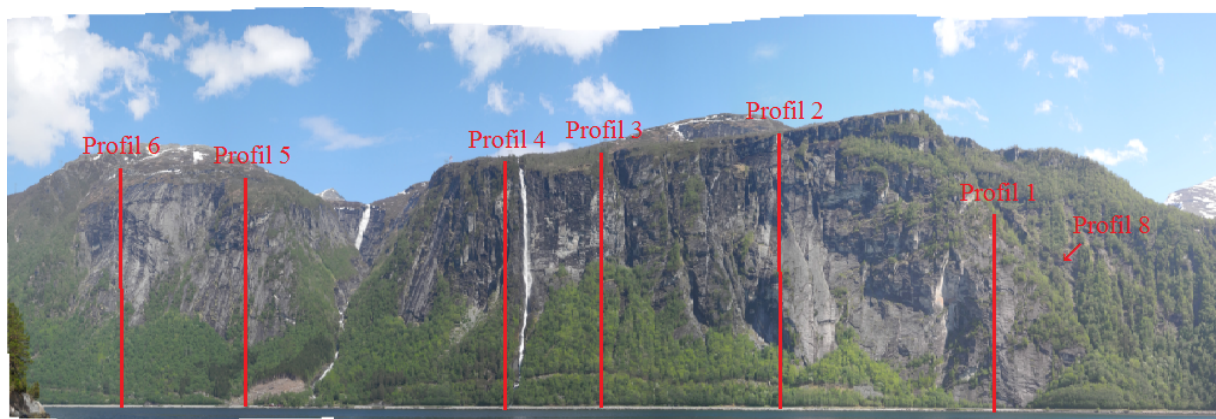
Profiler er eksportert fra en digital høydemodell (DEM) med et rutenett på 10x10m i ArcMap til RocFall. Fordi skråningsgeometrien forandrer seg kontinuerlig langs fjellveggen var det i praksis ikke mulig å danne profiler som inkluderer hele området. Derfor ble det laget 8 profiler som representerer forskjellige områder med liknende topografi og vegetasjon, se Figur 6.2 og 6.1.

Som en kan se på løsmassekartet i Figur 5.11 er nedre del av fjellklippene langs hele området dekket av ur. Dette viser at det har gått flere og større skred i tidligere perioder. Uren er de fleste steder dekket av vegetasjon og trær, se Figur 6.1, noe som indikerer at store stein- eller fjellskred ikke har forekommet de senere

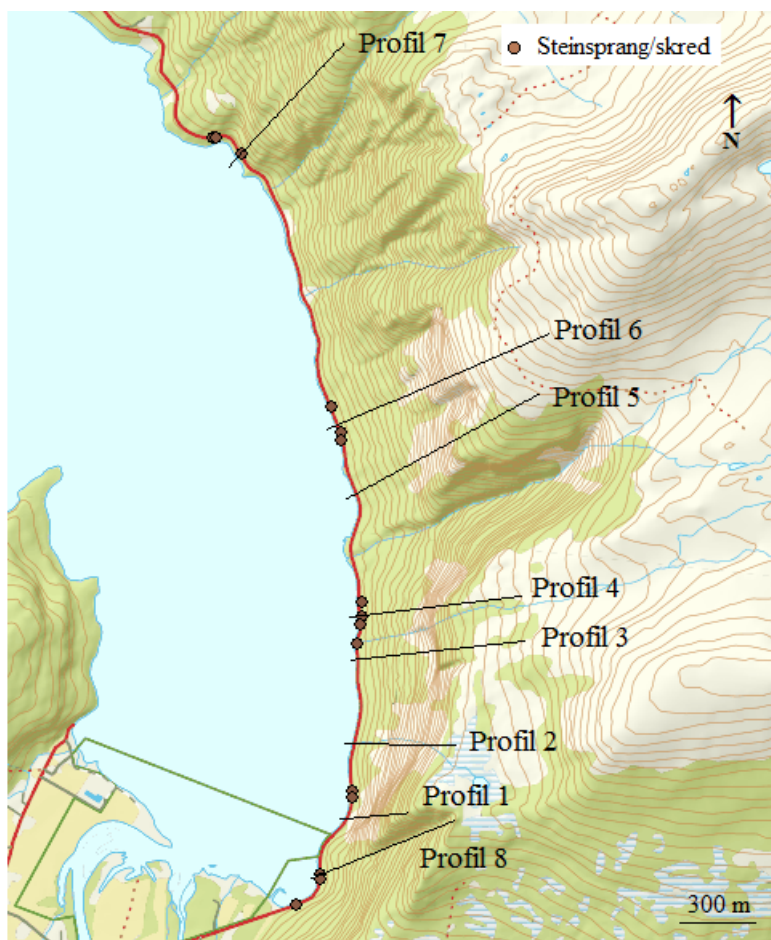
år.

Flere steinsprang og steinskredhendelser er registrert langs hele strekning, de er vist som punkter i Figur 6.2. Skredpunktene er ikke alltid vist på den eksakte plassen hvor skredet traff veien. Allikevel kan en se at flere av skredpunktene er samlet rundt visse områder, noe som indikerer at disse områdene er spesielt utsatt for steinsprang eller skred. Dette er tatt med i betraktningen ved valg av profiler.

Et klart og gjennomgående oppsprekkingsmønster var ikke synlig i bergarten ved området. Av denne grunn og fordi det var vanskelig å komme til de bratte fjellklippene er det ikke utført fall- og fallretningsmålinger. Et unntak er ved profil 8. Der var det en annen bergart enn ved de andre områdene, se Figur 5.10 for bergartskartet. Fjellblotninger øverst i skråningen viste flere gjennomgående sprekkesett. Det ble gjort fall- og fallretningsmålinger som ble satt inn i Dips for analysere hvilke utglidningstyper som kunne forekomme i fjellblotningene.



Figur 6.1: Beliggenheten til profiler 1 - 6 vist i panoramabilde over Eresfjorden. Profil 8 er indikert med pil og profil 7 er ikke vist fordi det ligger utenfor bildet.



Figur 6.2: Beliggenheten til profil 1 - 8 vist i ArcGis.

6.2 Valg av parametere

For å utføre en realistisk RocFall analyse er det lagt vekt på å definere parametere i RocFall som i størst mulig grad reflekterer den eksisterende situasjonen i Eresfjorden.

Materialeegenskaper

Materialeegenskaper er, i tillegg til skråningsgeometrien, den viktigste parameteren. Det er også den parameteren som er mest sensitiv for forandringer i analysen. Derfor er materialeegenskapene lagt mest vekt på ved valg av parametere.

Det er restitusjonskoeffisientene som i størst grad definerer materialeegenskape-

ne til skråningen. Det var ikke mulig å finne verdier for restitusjonskoeffisientene ved feltarbeid, derfor er litteratordata benyttet. I 'material editor' i RocFall er det en 'table' funksjon som viser testede restitusjonskoeffisienter for ulike områder. Her er det testet og verifisert restitusjonskoeffisienter for ulike materialer ved en fjordvegg i Sogn og Fjordane. Det er gått utifra at det er liknende forhold ved det testede området og Eresfjorden.

Benyttede restitusjonskoeffisienter fra analysen gjort i Sogn og Fjordane er oppført i Tabell 6.1. Materialene og deres restitusjonskoeffisienter er valgt fordi de reflekterer ulike sekvenser av skråningsprofilene ved Eresfjorden. Materialet 'blockfield with forest' er spesielt viktig ved analysen. Trær har stor påvirkning på utløpslengden til et steinsprang fordi det bremser blokkens kinetiske energi ved kollisjon og i enkelte tilfeller kan stoppe en blokk helt opp. Dette er derfor viktig å inkludere i analysen. Det er gjort her ved at den tangentielle restitusjonskoeffisienten viser en lavere verdi for dette materialet i forhold til de andre materialene.

Materialegenskapene er tilført ulike sekvenser i skråningsprofilen på bakgrunn av oppmåling av materialgrenser (for eksempel tre-bergklippe grense) ved bruk av topografisk kart og flyfoto i ArcMap. Det er endel usikkerhet knyttet til dette ved at det ikke var høy nok oppløsning på flyfotobildene og fordi tregrenser kan ha flyttet seg noe siden flyfotoene ble tatt. Fordi profilen er dannet fra en DEM med rutenett på 10x10m viser hvert segment på profilene i RocFall til 10 m hvis de ligger horisontalt eller vertikalt. Siden hvert segment i RocFall kun kan inneholde ett materiale vil dette også føre til endel usikkerhet i analysen. I tillegg til materialene oppgitt i Tabell 6.1 er materialet 'water' benyttet i RocFall analysene. Dette materialet er ikke tildelt verdier for restitusjonskoeffisienter. Siden vannet befinner seg bakenfor veien i forhold til skråningen er dette området ikke av interesse i analysen, materialet viser kun hvor vannet befinner seg. Ruhet er inkludert og gitt verdien 2, en gjennomsnittlig verdi.

Tabell 6.1: *Materialparametere brukt i RocFall analyser*

Materiale	Normal restitu- sjonskoeffisient	Avvik	Tangentiell restitusjonskoeff- fisient	Avvik
Bedrock	0.530	0.040	0.990	0.040
Blockfield with forest	0.500	0.060	0.500	0.060
Top-soil with vegetation	0.300	0.060	0.800	0.060
Asphalt paving	0.400	0.040	0.900	0.040

Parametere i project setting

Tabell 6.2 viser hvilke parametere som er definert i 'project settings' i RocFall. I tabellen er parameterne skrevet slik de står oppført i RocFall for å unngå misforståelse.

Det er valgt at friksjonsvinkelen for hvert av materialene skal bli regnet ut fra den tangentielle restitusjonskoeffisienten. Det positive ved dette er at den tangentielle restitusjonskoeffisienten allerede er definert fra estimerer i tidligere RocFall analyser. Det negative er at disse verdiene ofte er vanskelige å estimere og vil innebære noe usikkerhet. Angular velocity, eller rotasjonsenergi, er inkludert i alle analysene, fordi det gir en mer realistisk analyse.

Tettheten til bergarten er satt til 2800 kg/m^3 . Det er gått ut ifra at hovedbergarten ved profilene er gneis. Litteraturstudier viser at tettheten til gneis ligger på mellom omtrent $2600\text{--}3000 \text{ kg/m}^3$ (Sintef, 2013). Gjennomsnittsverdien av dette er valgt i analysen. Verdien innebærer endel usikkerhet, men simuleringer viser at analysen er lite sensitiv for ulike tetthetstall. Antall blokker som faller i hver analyse (number of rodes to throw) er satt til 1000. Dette tallet er valgt fordi det gir en viss distribusjon i simuleringene.

Tabell 6.2: *Parametere brukt i Project setting i RocFall*

Friksjonsvinkel	Regnet utifra tangentiell restitusjonskoeffisient
Consider angular velocity	Ja
Rock density	2865 kg/m^3
Number of rodes to throw	1000
Minimum velocity cut off	0.1m/s
Number of horizontal locations to analyse	50
Random number generation	Random

Parametere for utløste blokker

De valgte parameterne som bestemmer blokkens størrelse og utløsningshastighet er oppført i Tabell 6.3.

Den horisontale og vertikale hastigheten er satt til 0 m/s . Det er endel usikkerhet knyttet til disse verdiene. Sensitivitetsanalyser for ulike verdier viste at utløpslengden ikke ble merkbart forandret før det ble valgt veldig høye verdier (positive eller negative). Da dette er lite sannsynlig er det valgt å sette verdiene til 0 m/s .

Rotasjonshastigheten (angular velocity) er satt til 0. Det blir beskrevet i tutorials i RocFall at det som utgjør merkbar forskjell i analysen er om en velger å inkludere rotasjonshastigheten i utløpsbanen, dette er gjort. Å bestemme rotasjonshastigheten ved start er ikke like påvirkende i analysen, derfor er rotasjonshastigheten ikke blitt lagt vekt på.

De registrerte skredhendelsene viser et spenn i volumene fra omtrent 0.1 m^3 til 10 m^3 , se vedlegg A.53 (her er ikke volumet på et skred ved en fjellskjæring inkludert). Det er ut fra dette valgt 3 ulike blokkstørrelser for å se hvordan utløpslengden i simuleringene påvirkes. Størrelsen på blokkene ble satt til 0.1 m^3 , 1 m^3 og 10 m^3 , som tilsvarer en masse på henholdsvis 280 kg, 2800 kg og 28 000 kg.

Det er valgt en relativt liten størrelse på de simulerte blokkene. Grunnen til dette er at jo større en blokk er, jo lengre er returperioden, noe som gir mindre sannsynlighet for en slik utglidning. Hvis en blokk utløses med et større volum er det også en mulighet for at blokken brytes i flere mindre blokker. I RocFall kan kun en enkelt blokk simuleres. Det er valgt å fokusere på blokkstørrelser som er store nok til å utgjøre skade på veien og trafikken men allikevel ikke er så store at det er mindre sannsynlig at de forekommer.

Tabell 6.3: Parametere brukt for å definere seeder (utløst blokk)

Parameter	Mean	Standard deviation
Horizontal velocity (m/s)	0	0
Vertical velocity (m/s)	0	0
Angular velocity (rad/s)	0	0

Parametere for sikringstiltak

I profiler der simuleringene viser at en større prosentandel av blokkene treffer på eller over vei er det gitt forslag til sikringstiltak. Det er sett på fanggjerde og fangvoll ved utvalgte punkter i profilene. Fanggjerder er satt som perfekt elastiske, høyden og kapasiteten er valgt ut ifra spretthøyde og kinetisk energi ved det utvalgte punktet. Fangvollens høyde er satt ut ifra spretthøyden ved området. Det er som regel testet for forskjellige vollhøyder for å se på forskjeller i effekten til vollene.

6.3 Resultat profiler

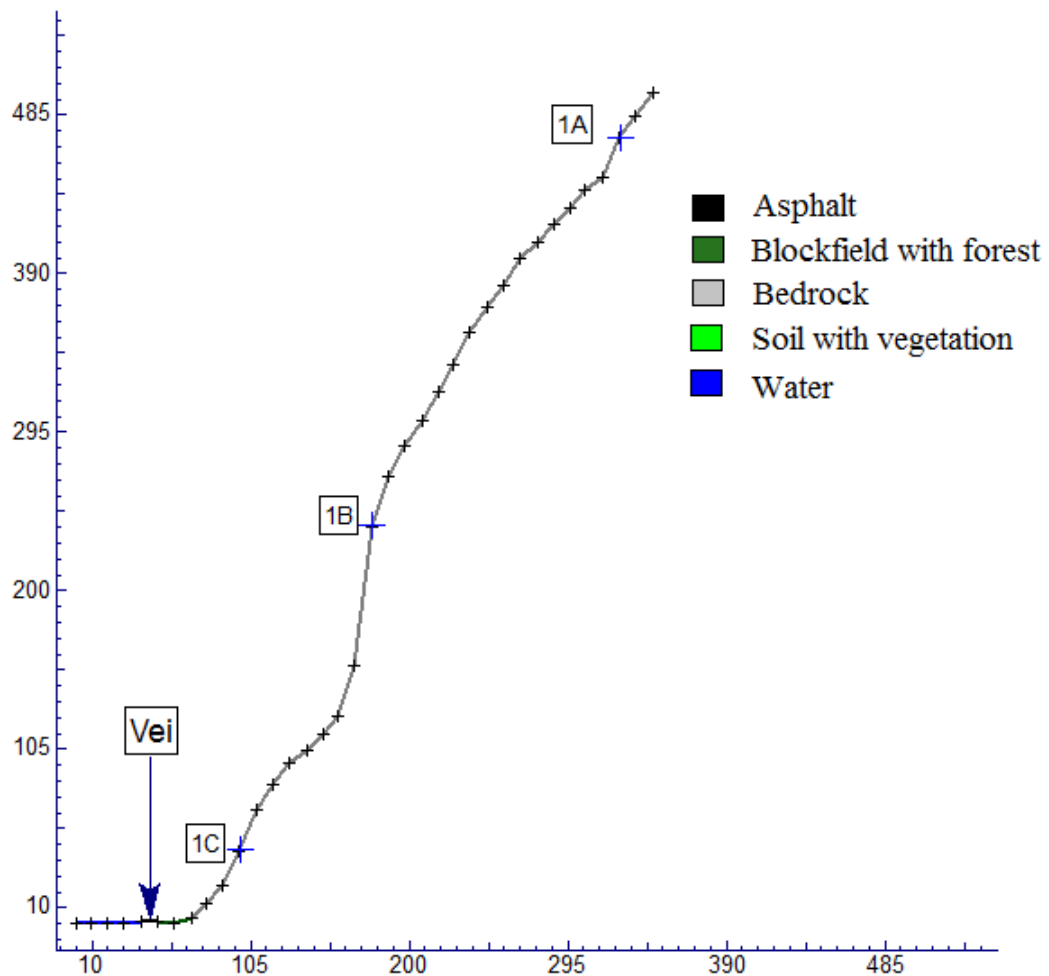
Det er gjort en RocFall-analyse av de 8 utvalgte profilene langs veistrekningen i Eresfjorden. Grafer i vedlegg [A.1](#) til [A.51](#) viser hvor blokkene stopper, spretthøyden og den kinetiske energien til blokkene langs profilene. Prosentandelen av blokker som stopper på veien, og som stopper på eller over veien er gitt i tabeller for hvert av profilene. Grunnen til at prosentandelen av blokker som stopper på eller over vei er inkludert er fordi det i flere tilfeller er blokker som spretter på veien for så å stoppe i et senere punkt. Da det i RocFall ikke gis direkte informasjon om hvor mange blokker som spretter på veien er denne informasjonen lagt ved for å gi et inntrykk av hvor mange blokker som kan sprette på veien.

Ved forslag til sikringstiltak er effekten til sikringstiltakene regnet ut i prosentandel av antall blokker som treffer på og over vei med sikringstiltak dividert på antall blokker som treffer på og over vei før sikringstiltaket.

RocFall er et statistisk basert program, så resultatene vil variere noe ved hver simulering. I oppgaven er det allikevel valgt å benytte eksakte verdier fordi en illustrativ effekt.

6.3.1 Profil 1

Profil 1, se [Figur 6.3](#), er valgt fordi det viser en bratt fjellvegg med lite vegetasjon som kan stoppe eller bremse blokker. Se [Figur 6.1](#) for oversiktsbilde. Ved dette profilet er det ikke ur i nedre del av skråningen. En kan se to hyller langs profilet som fungerer som sprettpunkt for blokkene og fører dem lengre ut fra skråningen. Det finnes en naturlig utformet grøft rett før veien. Løsnepunktene 1A, 1B og 1C er lagt til profilet. [Tabell 6.4](#) viser hvor stor prosentandel av blokkene som stoppet på veien, og over eller på veien i simuleringene.



Figur 6.3: Profil 1 med utløsningspunkter 1A, 1B og 1C. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 39-49m.

Tabell 6.4: Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 1A, 1B og 1C (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).

Løsnepunkt	Prosentandel blokker over vei/på vei 280kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 2800kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 28000kg
1A	99.70/11.51	99.9/12.91	100/14.41
1B	65.67/24.62	65.27/41.85	65.87/40.14
1C	99.80/0.9	99.8/0.8	99.7/1

Ved løsnepunkt 1A vil omtrent alle blokkene stoppe over veien og omtrent 10% vil treffe veien. Blokkene faller utfor den øverste hyllen og spretter ved nederste hylle for så å stoppe over eller på veien. De blokkene som ikke treffer den nederste hyllen kommer i kontakt med den nederste delen av skråningen for så å sprette over eller på veien. Den kinetiske energien øker helt til blokkene treffer flatt område. Siden skråningen ikke flater ut før et par meter før veien fører dette til at omtrent alle blokkene stopper over veien.

Ved punkt 1B vil en mindre andel av blokkene stoppe over veien men her vil en større prosentandel stoppe på veien. Flere av blokkene spretter på nederste hylle og ender på eller over veien, eller treffer grøfteområdet før veien for så å sprette på eller over veien. Også her vil den kinetiske energien øke helt til profilet flater ut.

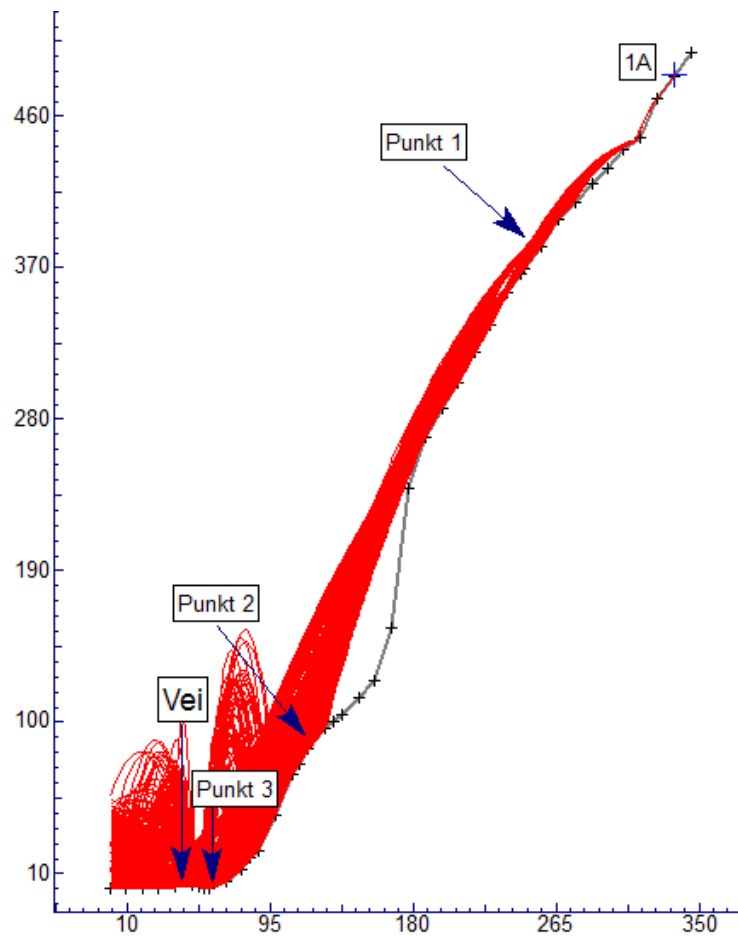
Punkt 1C er lokalisert kun 64 m over bakken men også her vil nesten alle blokkene stoppe over veien. Det er kun en liten andel av blokkene som vil stoppe på veien, de fleste vil sprette på veien for så å stoppe forbi veien.

Alle de analyserte utløpspunktene viser stor steinsprangfare for veien. De to hyllene gjør at blokkene fra punkt 1A og 1B får stor spretthøyde langs profilet. Blokkene fra både 1A, 1B og 1C, spesielt ved 1B og 1C, viser at spretthøyden er høy ved rundt 50 m langs x-aksen, rett før veien. Det er her den naturlige grøften er lokalisert. Det går frem i analysen at grøften har liten effekt, blokkene som treffer i dette området har såpass stor kinetisk energi at de vil sprette ved kontakt og fortsette over eller på veien.

Forslag til sikringstiltak ved profil 1

Sikringstiltak er sett på ut ifra simuleringer fra punkt 1A fordi dette punktet gir størst steinsprangfare, se Figur 6.4. En masse på 28 000 kg er brukt for å inkludere de høyeste energiene. Siden graf i Vedlegg A.3 viser at den kinetiske energien til en blokk på 28 000 kg er langt over den øverste kapasiteten til et fanggjerde er en masse på 2800 kg også inkludert for å vise hvor effektive fanggjerdene er ved lavere energier.

Siden blokkene viser tegn til å sprette ved to hyller i profilet er punkt 1 ved $x=255.3$ m og punkt 2 ved $x=118$ m valgt ved disse hyllene for å forsøke å fange opp blokkene i det området blokkene er i kontakt med skråningen og ikke har for stor spretthøyde. Høyden til fanggjerdene er satt til 9 m og kapasiteten er satt til 5000 kJ på grunn av store verdier for spretthøyden og energien ved områdene.

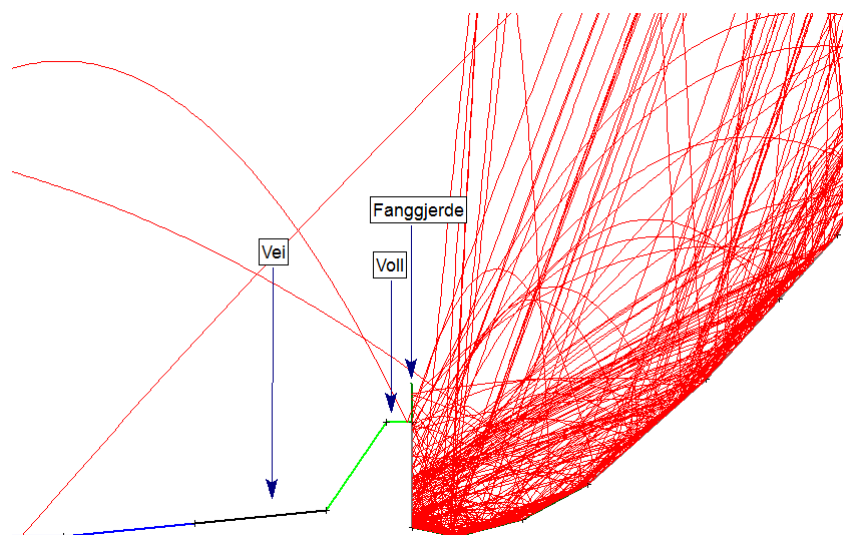


Figur 6.4: Simulering av 1000 blokker (røde linjer) langs profil 1 der punkt 1, 2 og 3 viser de valgte områdene for sikringstiltak.

Som det går frem i Tabell 6.5 vil fanggjerdet i punkt 1 ikke ha noen effekt på blokker på 28 000 kg, mens for blokker på 2800 kg vil fanggjerdet ha en effekt på 100%. Dette viser at det er den kinetiske energien som er den bestemmende faktor, slik at et fanggjerde plassert på dette punktet vil stoppe blokker av mindre størrelse. Fanggjerdet i punkt 2 viser ingen effekt for begge massene. Det går frem i Graf A.3 og A.2 at energien til blokkene på 2800 kg er høyere ved punkt 2 enn ved punkt 1, i tillegg er spretthøyden høyere.

Tabell 6.5: Sentrale verdier knyttet til fanggjerdene ved $x=255.3m$ og $x=118m$ med en høyde på 9m og kapasitet på 5000kJ.

	Punkt 1: 28 000kg	Punkt 1: 2800kg	Punkt 2: 28 000kg	Punkt2: 2800kg
Prosentandel blokker med spretthøyde over 9m (%)	3.2	4.1	65.7	65.8
Prosentandel blokker med kinetisk energi over 5000kJ (%)	100	0	100	79.9
Prosentandel blokker over/på vei med barriere (%)	100/0	0/0	100/0	99/0.1
Effekten til barrieren (%)	0	100	0	0.1



Figur 6.5: Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 8m og fanggjærde på 3m med kapasitet på 5000kJ. Viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.

I punkt 3 er det lagt til en fangvoll i RocFall, se Figur 6.5. Vollen er satt opp med en høyde på 8 m, 90° helning, vollkrone på 2 m og vollfot på 6.5 m. Det er også gjort simuleringer med et fanggjærde på toppen av vollen. Fanggjærdet er satt opp med en høyde på 3 m og en kapasitet på 5000 kJ. Det er et naturlig utformet magasin knyttet til vollen, med en bredde på omtrent 18 m.

Tabell 6.6 viser hvor mange blokker som stoppet på eller over veien for fangvollen, både med og uten fanggjærde. Fangvollen viser en effekt på omtrent 80%.

Det er ikke stor forskjell ved de forskjellige blokkstørrelsene på 28 00 kg og 2800 kg. Med et fanggjerde på toppen vil sikringstiltaket ha 90% effekt for blokker av mindre størrelse og 80% effekt for de større blokkene.

Tabell 6.6: Sentrale verdier knyttet til fangvoll ved $x=55m$ med en høyde på 8 m med og uten fanggjerde på 3 m med kapasitet på 5000kJ.

	28000kg	2800kg
Prosentandel blokker over/på vei med barriere 8m (%)	20.5/0	21.0/0
Effekten til barriere 8m (%)	79.5	79
Prosentandel blokker over/på vei med barriere 8m, fangvoll (%)	19.8/0	9.9/0
Effekten til barriere 8m, fangvoll (%)	80.2	90.1

Diskusjon

RocFall simuleringer viser at opp imot alle blokkene langs hele profilet vil treffe veien. Uten en bremsende faktor ved nedre del i profilet, som ur eller vegetasjon, vil blokkene ha såpass stor energi at de fleste spretter på eller over veien og stopper i vannet bakenfor veien.

Det er derimot vanskelig å fastslå om det faktisk vil løsne blokker på området. Figur 6.7 viser fjellklippen ved området. Det er ikke lokalisert løse blokker i området. Oppsprekkingen er tilfeldig og kan enkelte steder føre til at blokker løsner. Figur 6.6 viser eksfoliasjonsoppsprekking ved området, noe som kan bidra til løse blokker.

Fanggjerdet i punkt 1 i øvre del av profilet har større effekt enn fanggjerdet i punkt 2 som er lokalisert lengre ned i profilet. Men fanggjerdet i punkt 1 vil kun fange blokker som løsner i øvre del av profilet og vil ikke stoppe større blokker.

Fangvollen med fanggjerde på toppen i punkt 3 har 80% effekt for større blokker og 90% effekt for blokker av mindre størrelse. Toppgjerdet stanser mindre blokker som kan slynges ut ved eventuell knusing av større blokker mot vollveggen. I simuleringen legges det til grunn at vollen ikke kan bli ødelagt og dermed har en 'uendelig' kapasitet. Dette er det en del usikkerhet knyttet opp imot. Plasseringen til fangvollen gjør at den kan stoppe blokker som løsner langs hele profilet. En fangvoll anbefales derfor ved dette området.



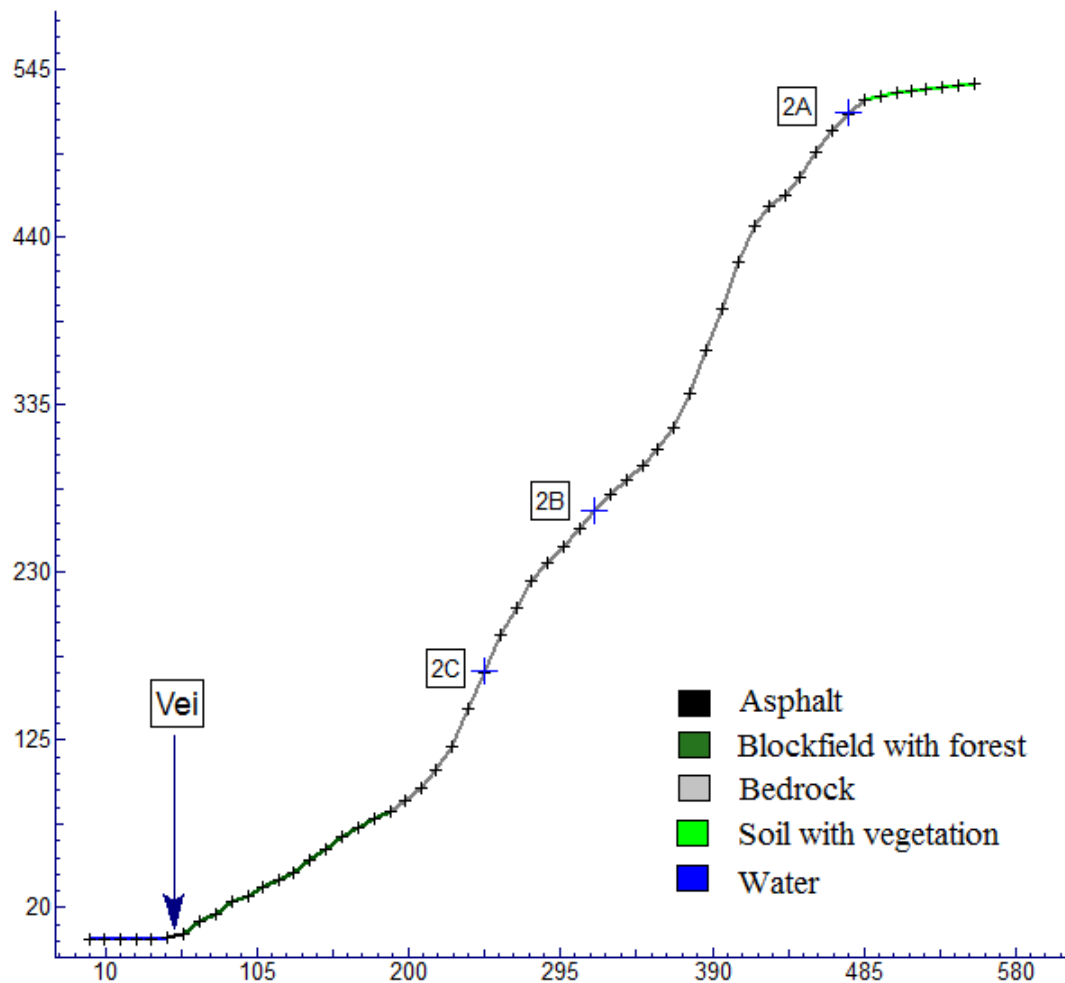
Figur 6.6: Eksfoliasjonsoppsprekking ved fjellveggen hvor profil 1 er satt (Foto: Kari Linn Søreide)



Figur 6.7: Bildet viser fjellveggen hvor profil 1 er satt ved (Foto: Kari Linn Søreide).

6.3.2 Profil 2

Profil 2, se Figur 6.8, viser en bratt skråning med to hyller som gjør at blokkene kan sprette ut over skråningen. Selve skråningsprofilet er liknende profil 1 men er valgt fordi det her ligger en ur et stykke opp langs skråningen, se Figur 6.1. Løsnepunktene 2A, 2B og 2C er lagt til profilet. Tabell 6.7 viser hvor stor prosentandel av blokkene som traff over eller på veien i simuleringene.



Figur 6.8: Profil 2 med utløsningspunkter 2A, 2B og 2C. X,Y-akser gitt i meter. Veien begynner seg ved strekning 48-58m.

Tabell 6.7: Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 2A, 2B og 2C (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).

Løsnepunkt	Prosentandel blokker over vei/på vei 280kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 2800kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 28000kg
2A	99.8/0.90	99.8/0.90	99.8/0.50
2B	17.82/5.11	15.92/5.01	14.31/4.7
2C	0/0	0/0	0/0

Løsnepunkt 2A viser størst prosentandel av blokker som treffer veien. Her stopper omtrent alle blokkene over veien. Blokkene spretter på hyller i profilet. Ved omtrent $x=100$ m, rundt 40 m før veien, treffer blokkene profilet etter sprett fra den nedre hyllen. Etter kontaktpunktet øker energien igjen og blokkene spretter for så å stoppe over veien. De fleste blokkene vil derfor sprette over veien fra løsnepunkt 2A.

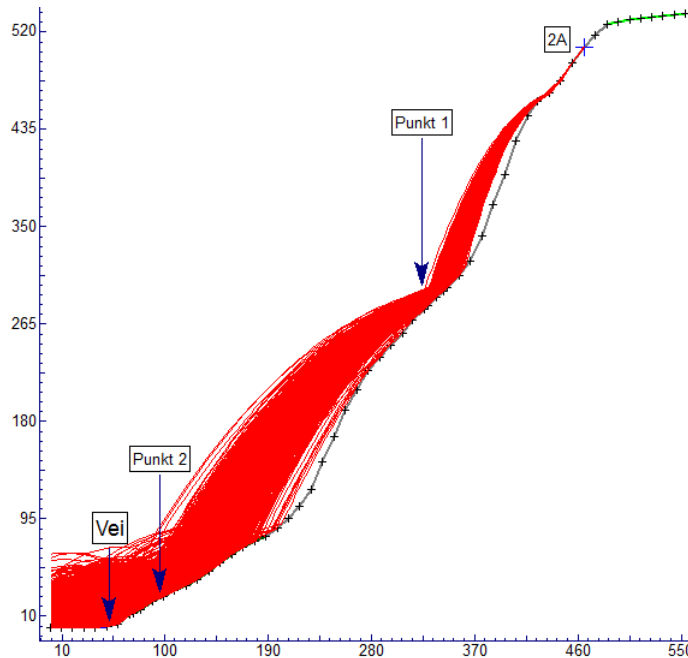
Fra løsnepunkt 2B stopper betraktelig færre blokker på eller over veien. Blokkene opparbeider seg ikke like mye energi før de bremses av den skogdekkede uren, der skråningsvinkelen faller til omtrent 30° . Det fleste blokkene stopper i midtre til nedre del av uren.

Alle blokkene simulert fra punkt 2C stopper før veien. Blokkene spretter noen meter over bakken nedover uren før de stopper i midtre del av uren.

Forslag til sikringstiltak langs profil 2

Sikringstiltak er sett på ut fra simuleringer fra punkt 2A fordi dette punktet gir størst steinsprangfare. Som det går frem i graf i Vedlegg [A.11](#) og [A.12](#) er spretthøyden og den kinetiske energien stor langs hele profilet. Punkt 1 og 2 er valgt for sikringstiltak ut ifra lavere spretthøyde og energinivå, se Figur [6.9](#). En masse på 28 000 kg er brukt for å inkludere de høyeste energiene. En masse på 2800 kg er benyttet for å inkludere lavere energiverdier.

Et fanggjerde er satt i punkt 1, på grunn av den bratte skråningsvinkelen i punktet. Punktet er plassert ved $x=242.48$ m. På grunn av stor spretthøyde og kinetisk energi ved dette punktet er maksimal høyde og kapasitet benyttet for fanggjerdet. Tabell [6.8](#) viser sentrale verdier knyttet til barrieren. Effekten til fanggjerdet er på kun 1.4% for de største blokkene, siden det er en statistisk varians ved RocFall simuleringene betyr dette at fanggjerdet har omtrent ingen effekt på disse blokkene. Effekten til fanggjerdet er betraktelig større for de mindre blokkene, dette er fordi de har lavere kinetisk energi i dette punktet.

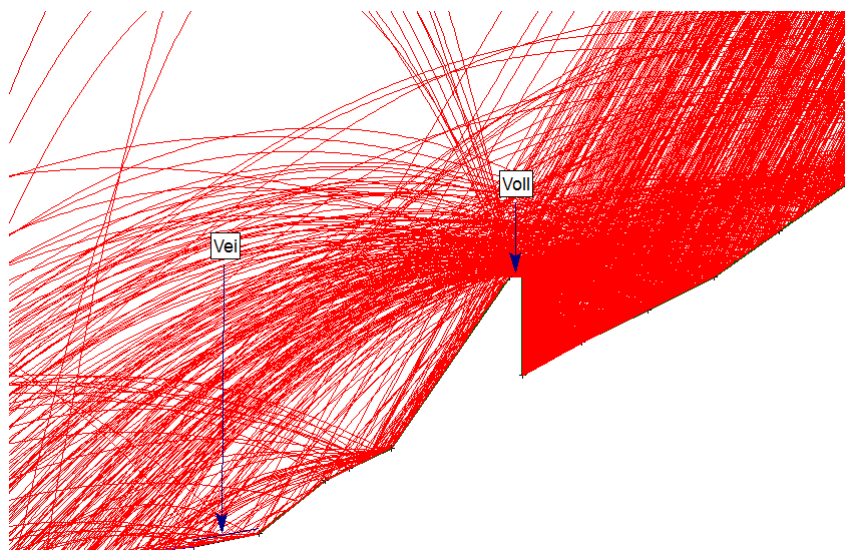


Figur 6.9: Simulering av 1000 blokker (røde linjer) langs profil 2 der punkt 1 og 2 viser de valgte områdene for sikringstiltak.

Tabell 6.8: Sentrale verdier knyttet til fanggjerdet ved $x=242.48$ m med en høyde på 9 m og kapasitet på 5000 kJ.

	28000kg	2800kg
Prosentandel blokker med spretthøyde over 9m (%)	26.23	27.33
Prosentandel blokker med kinetisk energi over 5000kJ (%)	100	15
Prosentandel blokker over/på vei med barriere	98.4/0.3 (%)	22.12/1.5
Effekten til barrieren (%)	1.40	77.8

Det er satt en fangvoll i punkt 2 fordi denne delen av profilet er slakere, og det derfor er praktisk gjennomførbart å sette opp en voll. Graf i Vedlegg A.12 viser at den kinetiske energien er høy ved dette punktet, og en voll har bedre effekt mot høye energinivåer. Punkt 2 på $x=100$ m er valgt fordi dette punktet viser de laveste verdiene for spretthøyden. Men spretthøyden er allikevel relativt stor. Vollen er laget med 90° helning, vollkrone på 2 m og vollfot på 6.5 m. Det er testet for flere vollhøyder men på grunn av stor spretthøyde på blokkene hadde alle vollhøydene lav effekt. Tabell 6.9 viser effekten til en 15 m høy voll, som har en sikringseffekt på omtrent 50% for begge blokkstørrelsene.



Figur 6.10: Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 15m.

Tabell 6.9: Sentrale verdier knyttet til fangvollen ved $x=100m$ med en høyde på 15m.

	28000kg	2800kg
Prosentandel blokker med spretthøyde over 15m (%)	51.45	48.35
Prosentandel blokker over/på vei med barriere (%)	52.25/1.1	49.85/0.8
Effekten til barrieren (%)	47.6	50

Diskusjon

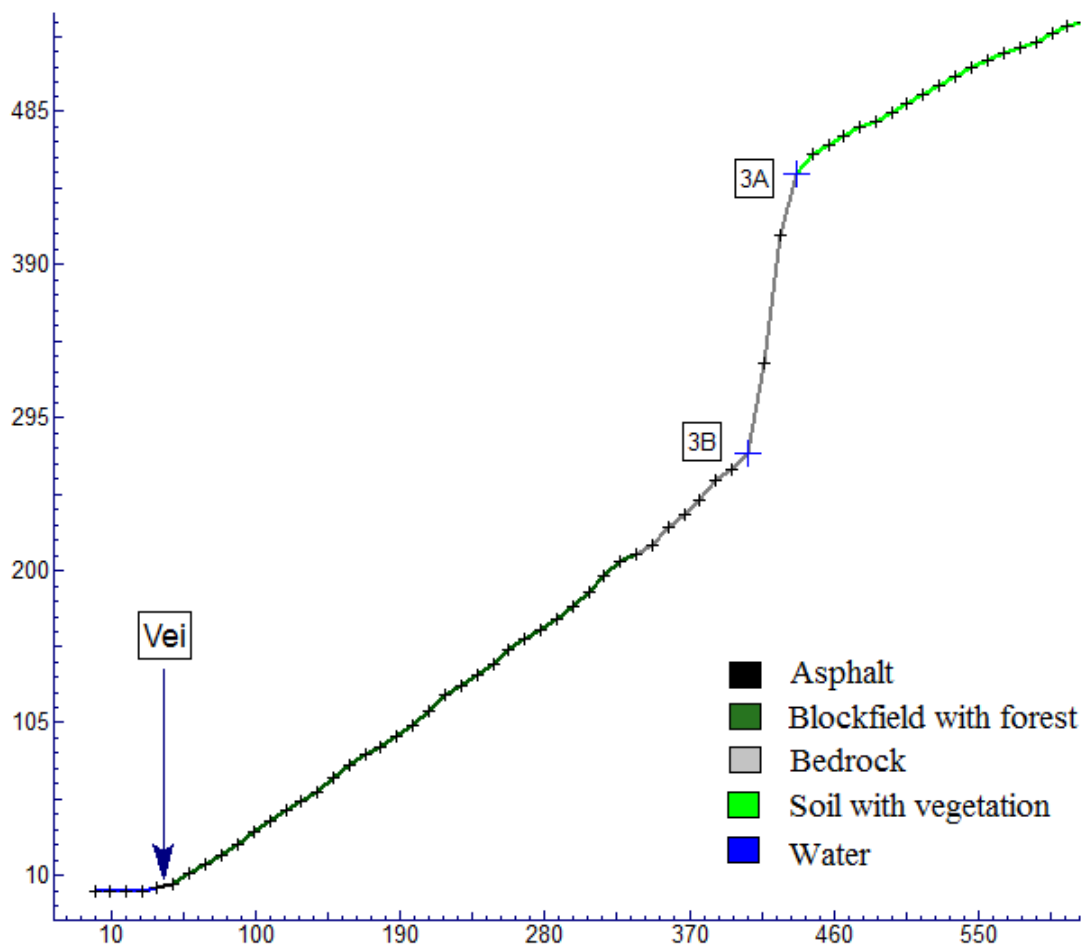
RocFall simuleringer ved profil 2 viser at de fleste blokker som løsner høyt oppe i profilet treffer veien. Blokkene som løsner lengre nede i profilet vil i stor grad bli bremsset av uren med vegetasjon.

2 skredhendelser er registrert i området, ett i 2009 og ett i 2010. I 2010 ble det registrert 2 blokker på omtrent 200 kg hvor løsneområdet ble satt til ura med en 50 - 200 m høydeforskjell fra veien. RocFall simuleringer viser at ingen blokker som løsner fra ura treffer veien. Mesteparten av ura er også dekket av vegetasjon så det virker lite sannsynlig at blokker vil løsne fra dette området. Registrering av utløsningspunktet kan muligens være feil formulert eller blokkene kan ha løsnet og hatt utløpsbane ved et område som ikke er dekket av vegetasjon. Et slikt område er ikke lokalisert.

Fanggjerdet i punkt 1 viser kun effekt ved blokker av mindre størrelse, da er

effekten på 77.8%. Blokker på 28 000 kg har for høy energi til å bli stoppet av fanggerdet. Fangvollen i punkt 2 har omtrent 50% effekt for begge blokkstørrelsene. Dette er en relativt lav effekt i forhold til vollhøyden på 15 m. Grunnen til dette er at blokkene har stor spretthøyde ved vollen.

6.3.3 Profil 3



Figur 6.11: Profil 3 med utløsningspunkter 3A og 3B. X, Y-akser gitt i meter. Veien begynner seg ved strekning 39-49m.

Tabell 6.10: Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 3A og 3B (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).

Løsnepunkt	Prosentandel blokker over vei/på vei 280kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 2800kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 28000kg
3A	40.84/36.94	40.24/36.74	42.24/38.34
3B	0/0	0/0	0/0

Figur 3 er valgt fordi store deler av skråningen består av skogdekket, slak ur, se Figur 6.1. Dette vil påvirke utløpslengden til blokkene. Figur 6.11 viser at nedre del av profilet består av en ur med en slak helning på omtrent 35°. I øvre del av profilet er det en omtrent 200 m høy fjellvegg med 80° helning. Løsnepunktene 3A og 3B er lagt til profilet. Tabell 6.7 viser hvor stor prosentandel av blokkene som traff over eller på veien i simuleringene.

Fra løsnepunkt 3A treffer omtrent 40% av blokkene over eller på veien. De fleste av disse blokkene stopper på veien. Blokkene faller langs den bratte fjellveggen og spretter i kontaktpunktet med den slakere uren. Graf A.20 viser tre topper der blokkene spretter, den første er etter dette kontaktpunktet mens de to andre er lokalisert i uren. Graf A.21 viser at den kinetiske energien øker etter hvert av kontaktpunktene, men synker betraktelig etter siste kontaktpunkt, lokalisert ved 80 m horisontal retning, ca. 40 m fra veien. Uren og vegetasjonen bremser energien og farten til blokkene slik at flere av blokkene stopper opp i uren.

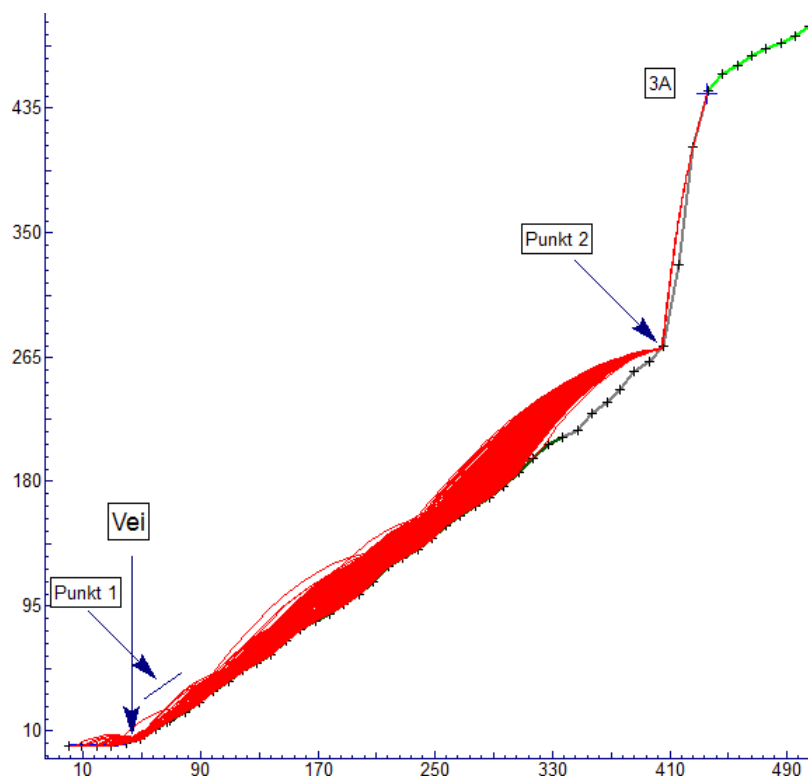
Graf A.23 viser tre 'sprettopper' for utløpspunkt 3B, der blokkene spretter i uren, foruten kontaktpunktet ved øverste del av uren. Graf A.24 viser at den kinetiske energien synker betraktelig ved de andre kontaktpunktene. Etter det tredje kontakt- og sprettepunktet går den kinetiske energien mot null og blokkene stopper opp omtrent ved den horisontale lengden 200 m, 160 m fra veien.

Forslag til sikringstiltak langs profil 3

Sikringstiltak er simulert med 3A som løsnepunkt fordi det kun var fra dette punktet de simulerte blokkene traff veien. En masse på 28 000 kg er benyttet for å inkludere de høyeste energiverdiene, og en masse på 2800 kg er brukt for å inkludere de lavere energiverdiene.

Graf A.21 og A.20 er benyttet for å lokalisere områder hvor blokkene viser lavest kinetisk energi og høyde over profilet. Det er lokalisert to områder hvor spretthøyden og energien er lavest, disse vises i Figur 6.12. Punkt 1 er sett på som

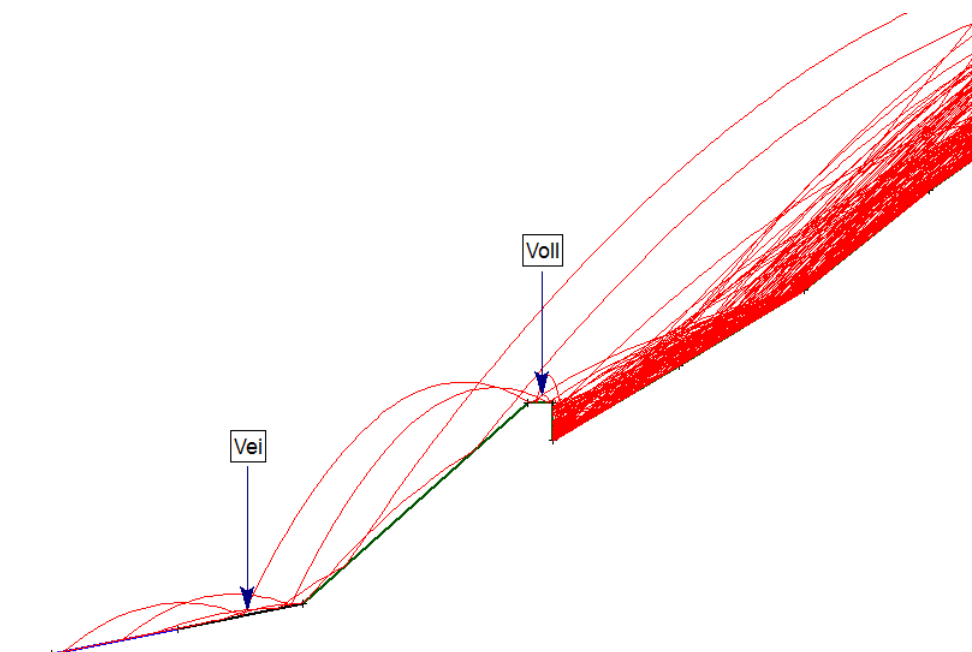
et bedre valg fordi punkt 1 ligger nærmere veien, noe som gjør det enklere å sette opp sikringstiltak. For punkt 2 vil det være viktig å sette sikringen på rett plass i forhold kontaktpunktet mellom klippe og ur, hvor blokken spretter. Figur 6.1 viser at urens beliggenhet variere over korte avstander.



Figur 6.12: Simulering av 1000 blokker langs profil 3 der punkt 1 viser det valgte området for sikringstiltak.

Det er gjort simuleringer med et fanggjerde ved punkt 1, $x=69.84$ m. Sentrale verdier knyttet til barrieren er gitt i Tabell 6.11. Det fremgår at et fanggjerde med maksimal kapasitet og høyde gir en effekt på 91% for de største blokkene og en effekt på 100% for de mindre blokkene.

Det er også gjort simuleringer med fangvoll ved punkt 1, $x=69.84$ m, se Figur 6.13. Vollen er laget med 90° helning, vollkrone på 2 m og vollfot på 6.5 m. Med en vollhøyde på 3 m vil vollen være omtrent 95% effektiv for begge blokkstørrelsene.



Figur 6.13: Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 15m. Viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.

Tabell 6.11: Sentrale verdier knyttet til punkt 1 ved $x=69.84m$. Fanggjerde med en høyde på 9m og kapasitet på 5000kJ og fangvoll med en høyde på 3m.

	28000kg	2800kg
Prosentandel blokker med spretthøyde over 9m (%)	8.86	0.24
Prosentandel blokker med kinetisk energi over 5000kJ (%)	12.74	0
Prosentandel blokker over/på vei med fanggjerde (%)	3.80/1.8 6	0/0
Effekten til fanggjerdet (%)	91	100
Prosentandel blokker over/på vei med fangvoll (%)	1.3/0 6	2.2/0.2
Effekten til fangvollen (%)	96.9	94.5

Diskusjon

Simuleringer i RocFall viser at en stor andel av blokkene blir stoppet i uren, men 40% av blokkene som løsner i punkt 3A treffer veien. Det er ikke registrert skredhendelser ved dette området. Figur 6.14 viser fjellklippen profil 3 er satt ved. Berget er oppsprukket, og blokker kan tenkes å løsne ved hele fjellklippen. Et steinskred som traff veien er lokalisert i øvre del av klippen, til venstre for elven, profil 4 er

satt ved dette området. Det er det registrert 4 skredhendelser her. En kan se at oppsprekkingsmønsteret er liknende ved dette området og området ved profil 3, som ligger til høyre for elven. Dette indikerer at steinsprang- eller skred også kan forekomme ved profil 3.

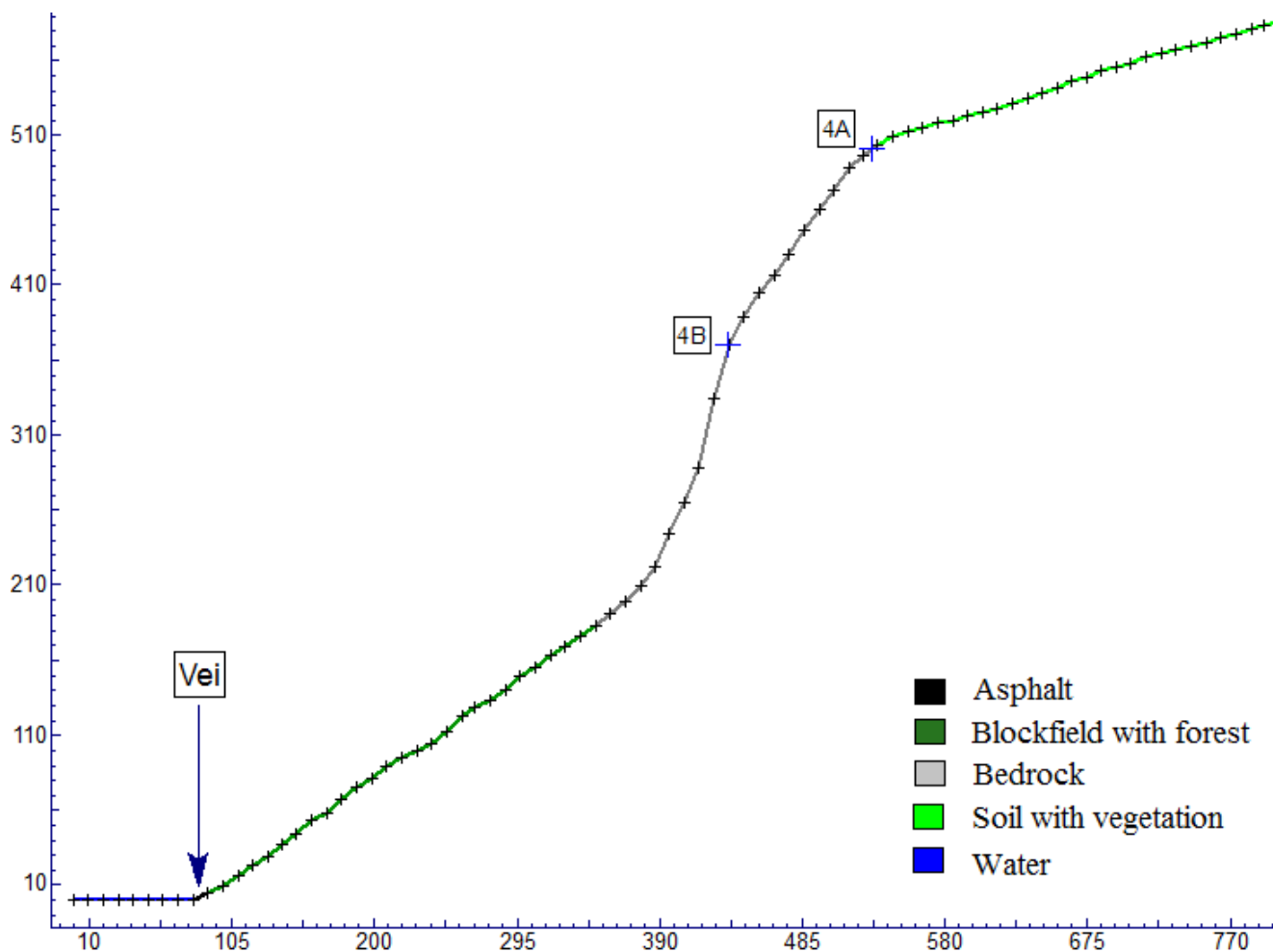


Figur 6.14: Bildet viser elven Driva og området rundt. Profil 3 er satt til høyre for Driva (Foto: Kari Linn Søreide).

Simuleringer for sikringstiltak i punkt 1 viser at fangvollen har noe bedre effekt enn fanggjerdet. På grunn av dette, og fordi kostnader knyttet til bygging av fangvoll er lavere enn for et fanggjerde, anbefales dette sikringstiltaket. For å sikre området 100% for blokker i simuleringene må vollhøyden økes.

6.3.4 Profil 4

Dette profilet er valgt fordi det gikk et steinsprang i 2007, fra øverste del i profilet. Arret er ennå godt synlig, se Figur 6.1 og Figur 6.18. En del av skredmaterialet er avsatt i øvre del av uren. Flere av blokkene traff også veien, ifølge driftsansvarlig Harald Wahlstrøm 'hagla det stein på veien' (Pers.Komm., 2013a). Ved feltarbeid ble det lokalisert flere løse blokker av ulik størrelse ved løsnesområdet. Punkt 4A er satt til løsneområdet for steinskredet. Punkt 4B er også lagt til. Figur 6.3.4 viser profilet og Tabell 6.12 viser hvor stor prosentandel av blokkene som traff over eller på veien i simuleringene.



Figur 6.15: Profil 4 med utløsningspunkter 4A og 4B. X, Y-akser gitt i meter. Veien begynner seg ved strekning 79-89m.

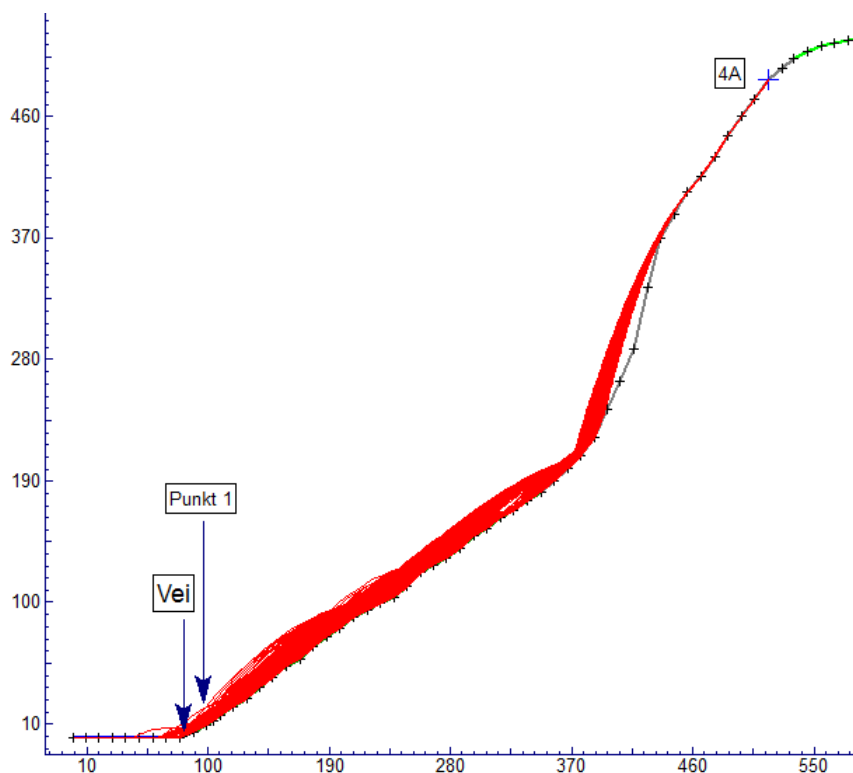
Tabell 6.12: Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 4A og 4B (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).

Løsnepunkt	Prosentandel blokker over vei/på vei 280kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 2800kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 28000kg
4A	10.61/1.6	13.21/2.7	9.01/6.71
4B	0/0	0/0	0/0

Fra løsnepunkt 4A stopper omtrent 10% av de simulerte blokkene etter veien. En kan se i Graf A.26 at blokkene faller langs den bratte klippeveggen. Ved kontaktpunktet med uren fortsetter blokkene å sprette nedover men med mindre spretthøyde og lavere energi. Den kinetiske energien avtar betraktelig etter hvert av kontaktpunktene mellom sprettene i uren. Flere av blokkene stopper opp i midtre og nedre del av uren, bremses opp av skråningsvinkelen, den ruglete overflaten til uren og vegetasjon.

Fra utløpspunkt 4B treffer ingen av blokkene på eller over veien. Den kinetiske energien blokkene opparbeider seg langs den bratte klippen er betraktelig mindre enn for 4A, derfor blir blokkene fortere bli bremses opp av uren.

Forslag til sikringstiltak langs profil 4



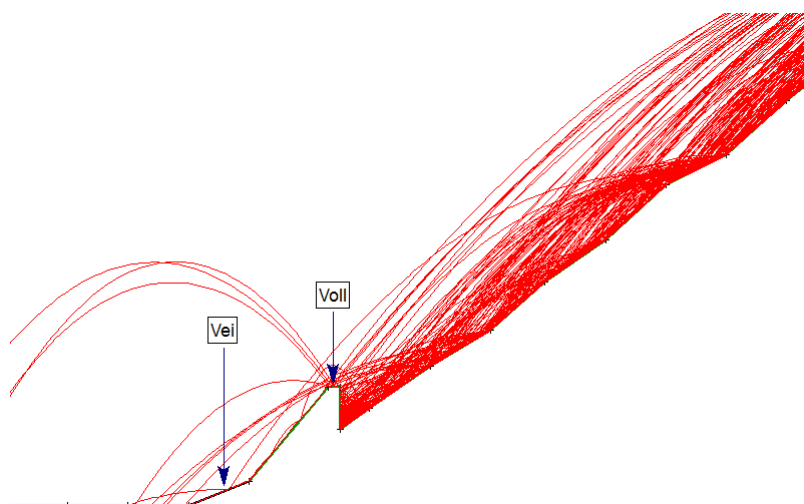
Figur 6.16: Simulering av 1000 blokker langs profil 4 der punkt 1 viser det valgte området for sikringstiltak.

Sikring er sett på ut ifra simuleringer fra punkt løsnepunkt 4A siden det kun var fra dette punktet de simulerte blokkene traff veien, og fordi det ved dette området

er lokalisert flere løse blokker. En masse på 28 000 kg er benyttet for å inkludere de høyeste energiverdiene og en masse på 2800 kg er benyttet for å inkludere lavere energiverdier.

Graf A.26 og A.27 er analysert for å lokalisere de områdene hvor blokkene viser lavest høyde over profilet og kinetisk energi. Både spretthøyden og den kinetiske energien har høye verdier langs hele profilet, men avtar noe i nedre del. Derfor er punkt 1 valgt, vist i Figur 6.16.

I punkt 1, $x=69.8$ m, er det gjort simuleringer for et fanggjerd med maksimal høyde og kapasitet. Som det går frem i Tabell 6.13 er den kinetiske energien ennå høy ved dette punktet. Dette gjør at fanggjerdet er 100% effektivt for de mindre blokkene men kun 25% effektivt for de større blokkene. Sett ut ifra at det kun var omtrent 10% av blokkene som stoppet på eller over veien før barrieren ble satt opp har sikringstiltaket ikke spesielt høy effekt.



Figur 6.17: Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 5 m. Viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.

Det er også gjort simuleringer med en fangvoll i punkt 1, se Figur 6.17. Vollen er satt opp med en høyde på 5 m, med 90° helning, vollkrone på 2 m og vollfot på 6.5 m. Med en vollhøyde på 5 m er effekten på fangvullen omtrent på 85% for begge blokkstørrelsene.

Tabell 6.13: Sentrale verdier knyttet til sikring ved punkt 1, $x=69.8$ m. Fanggjerdet har en høyde på 9 m og kapasitet på 5000 kJ, fangvollen en høyde på 5 m.

	28000kg	2800kg
Prosentandel blokker med spretthøyde over 9m (%)	4.45	0.24
Prosentandel blokker med kinetisk energi over 5000kJ (%)	37.09	0
Prosentandel blokker over/på vei med fanggjerdet (%)	6.71/0.7	0/0
Effekten til fanggjerdet (%)	25.5	100
Prosentandel blokker over/på vei med fangvull (%)	1.3/0	2.2/0.2
Effekten til fangvullen (%)	85.6	83.3

Diskusjon

Arret etter skredhendelsen i 2007 vises i Figur 6.18. 3 andre skredpunkt er også registrert ved området. Steinsprang og steinskred forekom i 2007, 2009 og 2010. Skredet som tok sted i 2010 ble registrert med et volum på under 10 m^3 og med utløsningsområde 200 m i fjellsiden. Hvis dette stemmer ble skredet utløst i nederste del av fjellklippen, lengre ned enn punkt 4B. Ved simuleringer fra punkt 4B traff ingen av blokkene veien. Enten er utløsningspunktet registrert ved feil sted eller så er det ikke samsvar mellom RocFall simuleringene og den reelle situasjonen.

Fra punkt 4A var det kun 10% av blokkene som stoppet på eller over veien. Punktet er satt ved utløsningsområdet til steinskredet som gikk i 2007, der flere blokker traff veien. Figur 6.18 viser at store deler av skredmaterialet ble avsatt i øvre del av ura. Uten mer nøyaktige verdier på den totale skredmassen og skredmassen som traff vei er det vanskelig å se om det er samsvar mellom skredhendelsen og RocFall analysen. En annen faktor som gjør det vanskelig å sammenlikne skredhendelsen og analysen er at RocFall baseres på simulering av enkeltstående blokker. Et steinskred består av flere blokker som påvirker hverandres utløpsbane og energi, dette inkluderes ikke i RocFall analysen.



Figur 6.18: Profil 4 er satt til høyre for elven Driva. Punkt 1 viser utløsningsområde til et skred gått i 2007 og punkt 2 viser skredmasser avsatt i øvre del av uren er indikert med piler (Foto: Kari Linn Søreide).

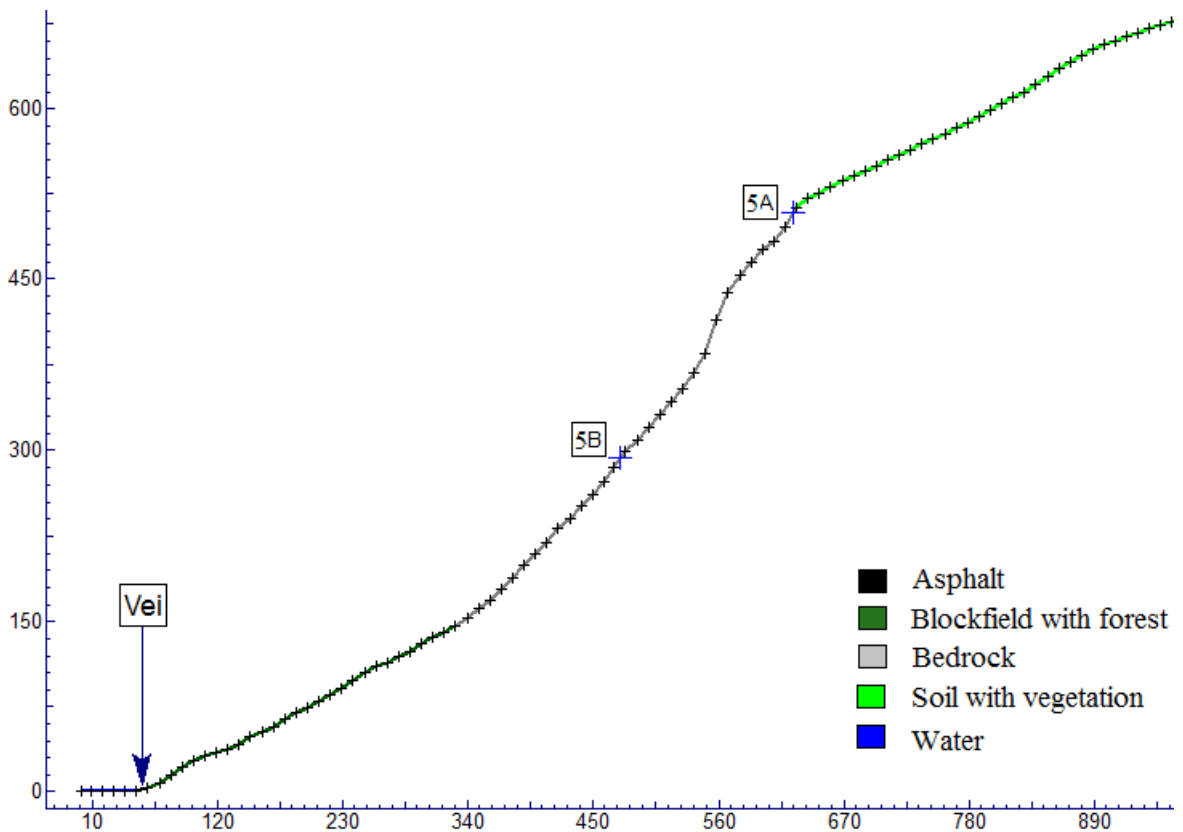
RocFall analysen viser at en relativt liten andel av blokkene vil treffe veien. Men på grunn av at det har forekommet flere nye skredhendelser de siste årene vurderes dette området som skredfarlig.

Simuleringer med sikringstiltak i punkt 1 viser at fangvollen har en samlet høyere effekt enn fanggjerdet. Siden kostnader knyttet til bygging er lavere for en fangvoll enn fanggjerdet anbefales dette sikringstiltaket.

Det kan også være aktuelt med andre typer sikring for utløsningsområdet til det tidligere steinskredet. Det kan settes opp et wirenett/stålringnett som dekker utløsningsområdet og kan ta imot løse blokker som løsner og glir ut. Det er ikke mulig å inkludere et slik nett i RocFall simuleringene men hvis det settes opp et nett med god nok kapasitet vil det kunne tenkes å være en effektiv sikring.

6.3.5 Profil 5

Profil 5 ligger på venstre side av skaret Stranddalen med Strandelva (sett fra Figur 6.1). Her er fjellveggen ikke like bratt som på høyre side av skaret. Store deler av skråningen viser en helning på omtrent 50° , med et lite område i øvre del som har en helning på 70° . Uren går relativt høyt opp i profilet og har en helning på omtrent 30° . øsnepunktene 5A og 5B er lagt til profilet. Det er gjort simuleringer for løsnepunkt i den øvre delen av profilet, som er dekket av 'soil'. Her var det ingen blokker som falt nedover profilet og dermed ingen steinsprangfare. Figur 6.19 viser profilet og Tabell 6.14 viser hvor stor prosentandel av blokkene som traff over eller på veien i simuleringene.



Figur 6.19: Profil 5 med utløsningspunkter 5A og 5B. X,Y-akser gitt i meter. Veien begynner seg ved strekning 49-59m.

Ved løsnepunkt 5A stopper omtrent 2% av de simulerte blokkene over veien. De fleste blokkene stopper opp i uren. Blokkene spretter nedover skråningen men den kinetiske energien avtar fort når blokkene kommer i kontakt med uren.

Ved utløpspunkt 5B er det ingen blokker som treffer veien. Blokkene oppnår mindre kinetisk energi fordi punktet ligger lengre nede i den bratte, bare delen av profilet. Dermed blir blokkene fortere bremsset opp i uren.

Tabell 6.14: *Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 5A og 5B (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).*

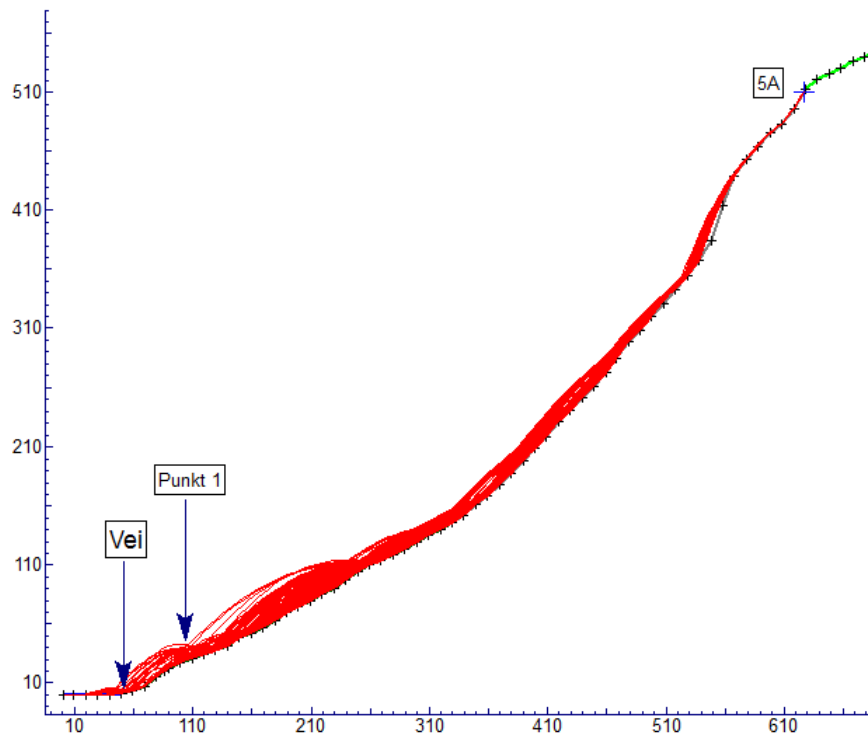
Løsnepunkt	Prosentandel blokker over vei/på vei 280kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 2800kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 28000kg
5A	2.30/0	2.20/0.1	2.40/0.20
5B	0/0	0/0	0/0

Forslag til sikringstiltak langs profil 5

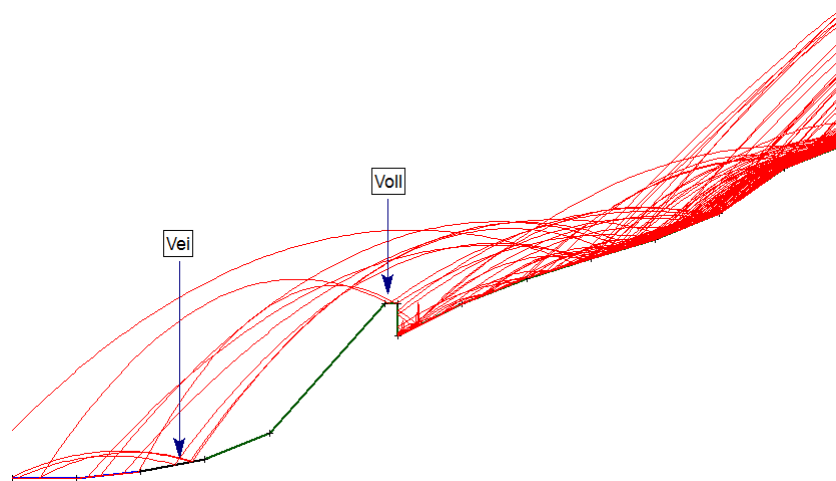
Sikring er sett på ut ifra simuleringer fra punkt 5A fordi det kun var fra dette punktet de simulerte blokkene traff veien. En masse på 28 000 kg er benyttet for å inkludere de høyeste energiverdiene og en masse på 2800 kg er brukt for å inkludere lavere energiverdier.

Graf [A.32](#) og [A.33](#) viser at selv om det er få blokker som treffer veien er spretthøyden og den kinetiske energien høy langs hele profilet, og minsker kun de siste 10-talls meterne før veien. Sikringstiltak er satt i punkt 1, $x=87.76$ m, fordi dette punktet viste de laveste verdiene for energi og spretthøyde. Se Figur [6.20](#) for beliggenhet av punkt 1.

Det er gjort simuleringer for et fanggjerde med en høyde på 9 m og en kapasitet på 5000 kJ. Som det går frem i Tabell [6.15](#) har 20% av blokkene en energi over 5000 kJ, og 34% av blokkene har en spretthøyde over 9 m. Fanggjerdet har en effekt på 16.7% for de større blokkene og 63% for de mindre blokkene.



Figur 6.20: Simulering av 1000 blokker langs profil 5 der punkt 1 viser det valgte området for sikringstiltak.



Figur 6.21: Detaljer av blokker (røde linjer) mot fangvoll på 5m. Viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.

Det er også gjort simuleringer for en fangvoll, se Figur 6.21. Vollen er satt opp med en høyde på 5 m, med 90° helning, vollkrone på 2 m og vollfot på 6.5 m. Effekten til den relativt høye fangvollen er på 33% for de større blokkene og 54% for de mindre blokkene.

Tabell 6.15: Sentrale verdier knyttet til punkt 1, $x=87,76m$. Fanggjerde med en høyde på 9m og kapasitet på 5000kJ, fangvoll med en høyde på 5m.

	28 000kg	2800kg
Antall blokker med spretthøyde over 9m (%)	34.88	32.26
Antall blokker med spretthøyde over 9m (%)	34.88	32.26
Antall blokker med kinetisk energi over 5000kJ (%)	20.39	0
Antall blokker over/på vei med fanggjerde (%)	2/0	0.8/0
Effekten til fanggjerdet (%)	16.7	63.6
Antall blokker over/på vei med fangvoll (%)	1.6/0	1/0
Effekten til fangvollen (%)	33.3	54.5

Diskusjon

RocFall simuleringer viser at blokker kun vil treffe veien ved punkt 5A, og kun 2% av blokkene treffer veien. Figur 6.23 viser at det ved øvre del av fjellklippen er et sprekkemønster som står steilt på skråningshelningen. Dette indikerer at blokker kan løsne og falle ut ved dette området. Det må mest sannsynlig utløses et steinskred med større skredmasser for å utgjøre en skredfare for veien. Ingen skredhendelser er registrert i området.

Både fangvollen og fanggjerdet viser lav effekt. Dette er fordi de få blokkene som treffer veien viser relativt høy spretthøyde rett før veien. Det kan diskuteres om dette er reelt etter den bremsende effekten til skogdekket ur ved de siste 300 meterne.



Figur 6.22: Fjellklippene til venstre for Strandelva. Profil 5 er satt til høyre del av klippen (Foto: Kari Linn Søreide).

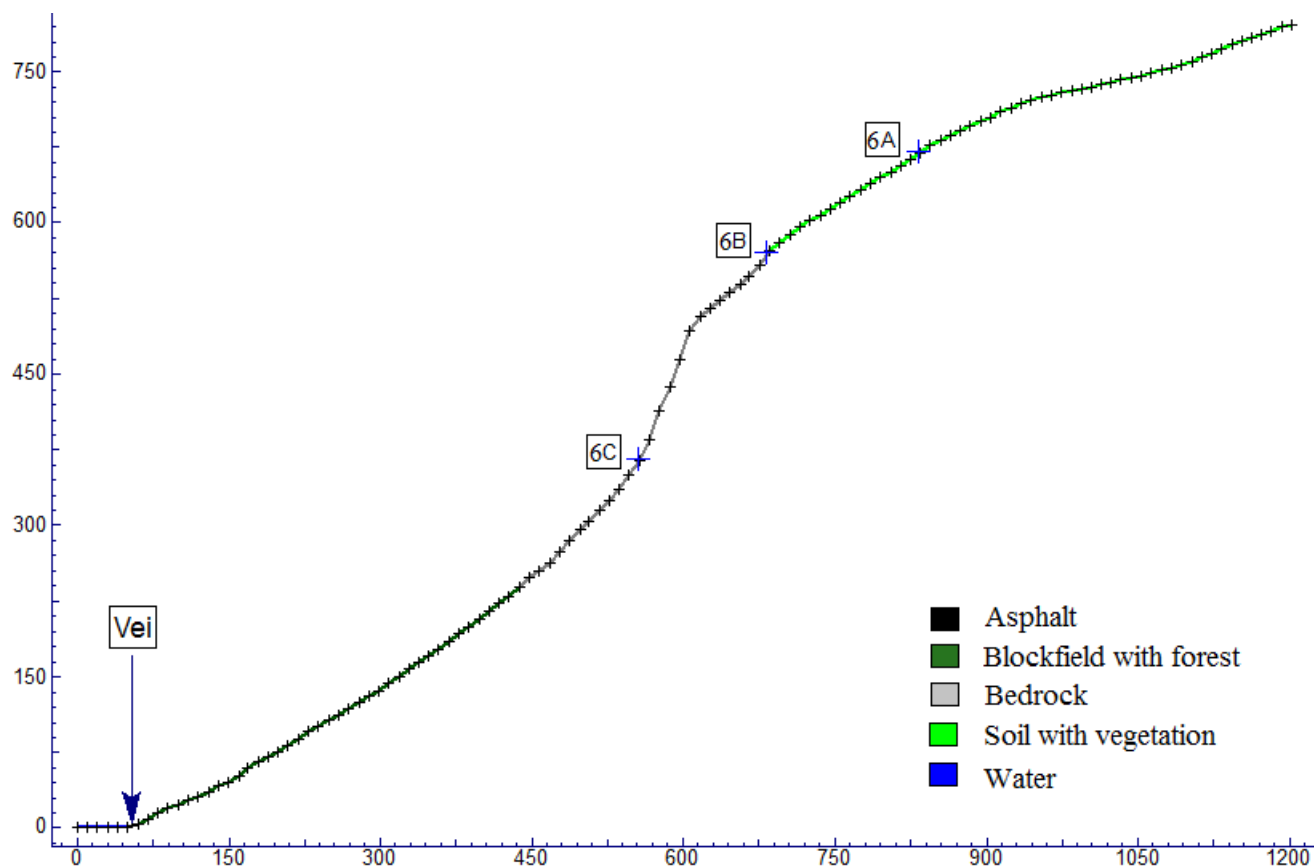


Figur 6.23: Nærbilde av klippeområde ved profil 5 (Foto: Kari Linn Søreide).

6.3.6 Profil 6

Profil 6, vist i Figur 6.24, er også lokalisert på venstre side av Stranddalen. Profilet er liknede profil 5, men det er et lengre område med bratt helning på omtrent 70° . Uren dekker også en større del av profilet. Løsnepunktene 6A, 6B og 6C er lagt til profilet. Tabell 6.16 viser hvor stor prosentandel av blokkene som traff over eller på veien i simuleringene.

Ingen av blokkene treffer veien fra enten 6A, 6B eller 6C. Ved 6A stopper flere av blokkene før de når den bratteste delen av profilet, resten av blokkene stopper i midtre del av uren. For punkt 6B og 6C stopper blokkene i midtre del av uren. Profil 6 er ikke videre vurdert for sikringstiltak fordi det ikke ble simulert steinsprangfare ved veien.



Figur 6.24: Profil 6 med utløsningspunkter 6A, 6B og 6C. X,Y-akser gitt i meter. Veien begynner seg ved strekning 49-59m.

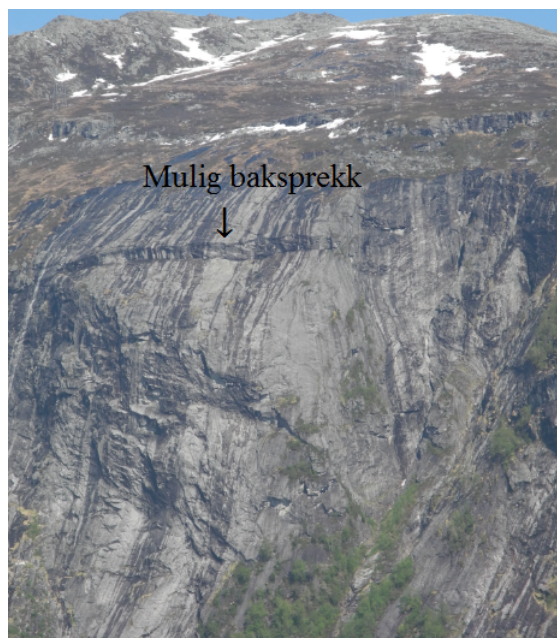
Tabell 6.16: Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 6A, 6B og 6C (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).

Løsnepunkt	Prosentandel blokker over vei/på vei 280kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 2800kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 28000kg
6A	0/0	0/0	0/0
6B	0/0	0/0	0/0
6C	0/0	0/0	0/0

Diskusjon

Området profil 6 er satt til vises til høyre i Figur 6.22. Figur 6.25 viser øvre del av skråningen, hvor det mest sannsynlig har gått et skred, se Figur 6.25. Dette indikeres av tydelig baksprekk i berget. Det vises ikke arr så hvis det har gått et skred ved dette området er det utløst for lenge siden. Hvis baksprekken er en del av et sprekesett vil det kunne være fare for utglidning ved baksprekker som befinner seg i øvre del av skråningen. På grunn av at området er såpass bratt var det ikke mulig å se på dette i felt.

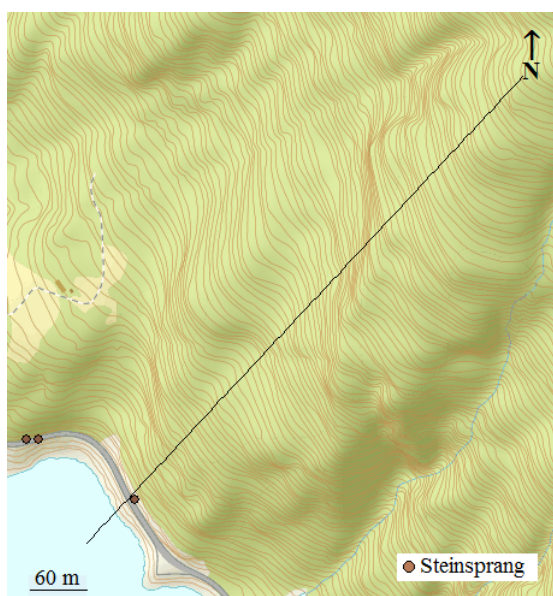
Det er registrert 4 skredhendelser ved profil 6. To av skredhendelsene er registrert som utglidninger fra fjellskjæring. De to andre skredpunktene er registrert i skrednett. Her er det ikke oppgitt like detaljert beskrivelse av skredhendelsene. På grunn av at RocFall simuleringer ikke viser skredfare ved veien kan det tenkes at de to andre skredhendelsene også er fra fjellskjæring. Hvis de to skredpunktene har utløsningspunkt i skråningen viser dette at RocFall simuleringene ikke samsvarer med den reelle situasjonen. Det kan også tenkes at skredene utløstes og fulgte en annen utløpsbane enn ved profil 6.



Figur 6.25: Viser øvre del av området hvor profil 6 er satt. Pil viser baksprekk til mulig utløsningsområde til tidligere utløst steinskred (Foto: Kari Linn Søreide)

6.3.7 Profil 7

Profil 7 er satt ved Godvika fordi det er registrert 3 skredhendelser i dette området. Det er det ingen fjellklipper som viser bart fjell, området består av skogdekket skråning med en gjennomsnittlig helning på 35° . Området vises i Figur 6.26 og Figur 6.27. Det gjort en RocFall analyse ved skråningen i profil 7, se Figur 6.28. Punkt 7A er plassert ved et lite bart område vist i flyfoto. Tabell 6.17 viser hvor stor prosentandel av blokkene som traff over eller på veien i simuleringene.

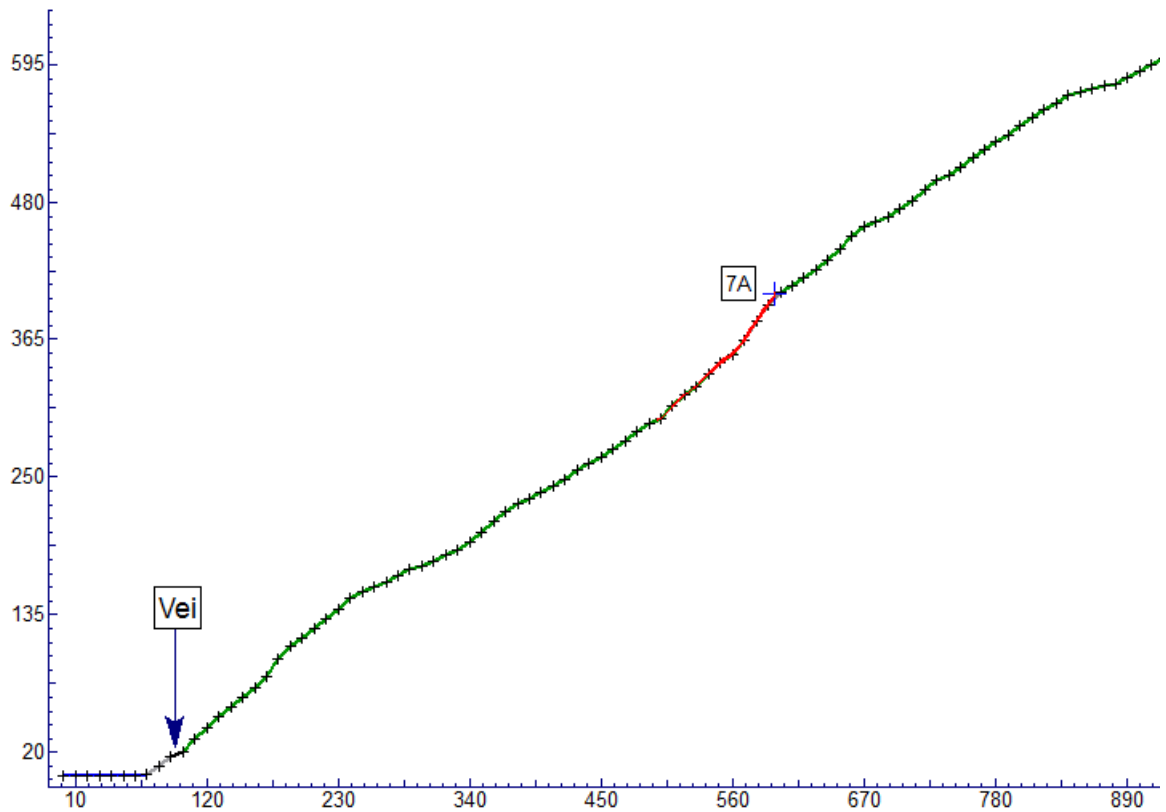


Figur 6.26: Kart av området rundt profil 7 (Topografisk kart fra ArcGis, modifisert)



Figur 6.27: Flyfoto av området rundt profil 7. Skråningen er dekket av skog utenom et lite område (punkt 1) som kan fungere som mulig utløsningsområde (Flyfoto fra ArcGis, modifisert)

Både 6.17 og 6.28 viser at det er ingen av blokkene som treffer veien. Grafer i Vedlegg A.46, A.48 og A.48 viser at blokkene stopper tidlig opp i skråningen. Profil 7 er derfor ikke videre vurdert for sikringstiltak.



Figur 6.28: Profil 7 med utløsningspunkt 7A. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 89-99m. Med simulering av 1000blokker fra utløpspunkt.

Tabell 6.17: Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 7A (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).

Løsnepunkt	Prosentandel blokker over vei/på vei 280kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 2800kg	Prosentandel blokker over vei/på vei 28000kg
7A	0/0	0/0	0/0

Diskusjon

Ved 1 de 3 av skredpunktene i området står det at løsnepunktet til steinskredet var fra en fjellkjæring ved veien. Det står beskrevet at det er endel dårlige og oppsprukkede fjellpartier i området (se Vedlegg A.55). Selv om det er registrert 2 skredhendelser ved dette området viser RocFall simuleringer at alle blokkene stopper opp etter omtrent 100 m og ikke treffer veien. Fordi simuleringer viser at ingen av blokkene treffer veien kan det tenkes at de to andre skredpunktene også har utløsningsområde i fjellskjæringen, hvor det er påvist oppsprukkede fjellpartier.

6.3.8 Profil 8

Profil 8 er lokalisert ved Steinfonnkjeften. Berggrunnen på dette området er amfibolitt og glimmerskifer, se Figur 5.10 for berggrunnskart. Store deler av området er dekket av vegetasjon og trær. I den øvre delen av Steinfonnkjeften er det fjellblotninger med et mer utpreget oppsprekkingsmønster enn ved resterende del av fjellklippene langs Eresfjorden. Figur 6.29, 6.30 og 6.31 viser bilder fra området.



Figur 6.29: Steinfonnkjeften sett fra veien, fjellblotningene vises øverst i skaret (Foto: Kari Linn Søreide).



Figur 6.30: Fjellblotningene sett fra toppen av Steinfonnkjeften (Foto: Kari Linn Søreide).



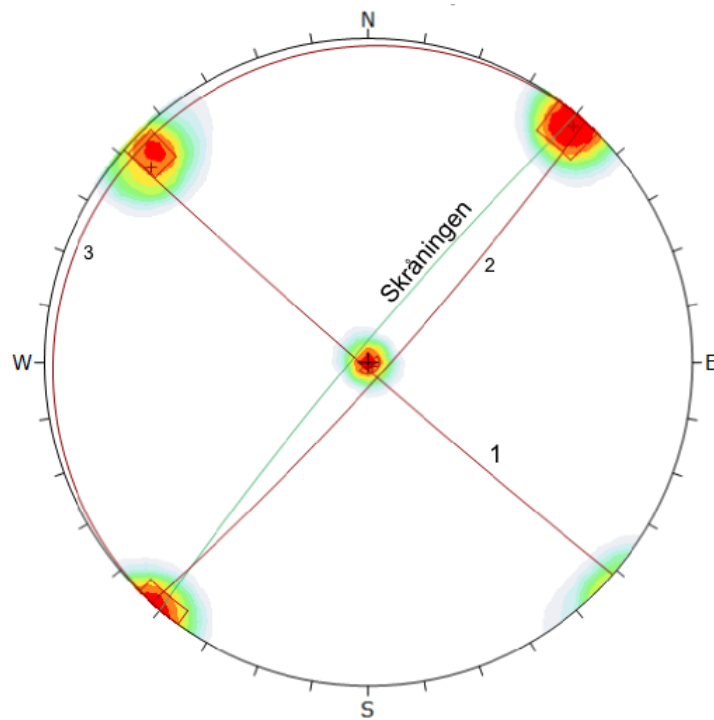
Figur 6.31: Nærbilde av fjellblotningen. Rød pil viser blokk hvor det er fare for utglidning. Det vises små løse blokker langs hele blotningen (Foto: Kari Linn Søreides).

Dips-analyse

Fall og fallretningsmålinger ble gjort ved en fjellblotning i øverste del av Steinfonnkjeften, målingene er oppført i Tabell 6.18. Målingene er plottet i et Stereonett i Dips for å se hvilke utglidningstyper som kan forekomme i området, se Figur 6.32. Det var ulendt terreng og vanskelig å komme til på området, derfor er antall målinger få. En liten konklusjon kan allikevel trekkes hvis en sammenlikner Figur 6.32 med Figur 2.5. Det er blokk toppling som er hovedstabilitetsproblemet på området. Dette vises også i Figur 6.31. En kan se de tre sprekkesettene som til sammen danner blokker som kan topple eller gli utfor fjellklippen og nedover Steinfonnkjeften.

Tabell 6.18: Målinger av fall og fallretning av sprekker i fjellblotning i øverste del av Steinfonnkjeften. Inndeling av sprekkesett er gjort i Dips.

Fall	Fallretning	Sprekkesett
89	220	1
87	222	1
89	219	1
86	223	1
88	220	1
82	135	2
85	132	2
87	140	2
85	131	2
86	131	2
3	132	(3)
2	310	3
3	128	(3)
2	312	3
2	311	3



Figur 6.32: Dipsanalyse av fall/fallretning målinger ved fjellblotning i øverste del av Steinfonnkjeften.

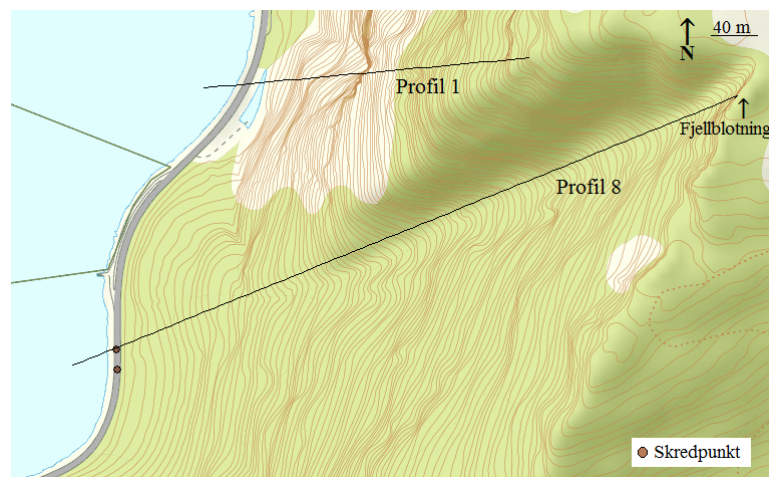
Det ble gjort målinger på øyemål av avstanden mellom sprekkeene ved de 3 forskjellige sprekkesettene. Avstanden mellom sprekkeene var mellom 0.5 m - 2 m for sprekkesett 1, 0.2 m - 1 m for sprekkesett 2 og 0.5 m - 1 m for sprekkesett 3. Største og minste volum på blokkene ble funnet ut ifra dette:

- Minste volum: $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.3\text{m} = 0.075\text{m}^3$
- Største volum: $1\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m} = 2\text{m}^3$

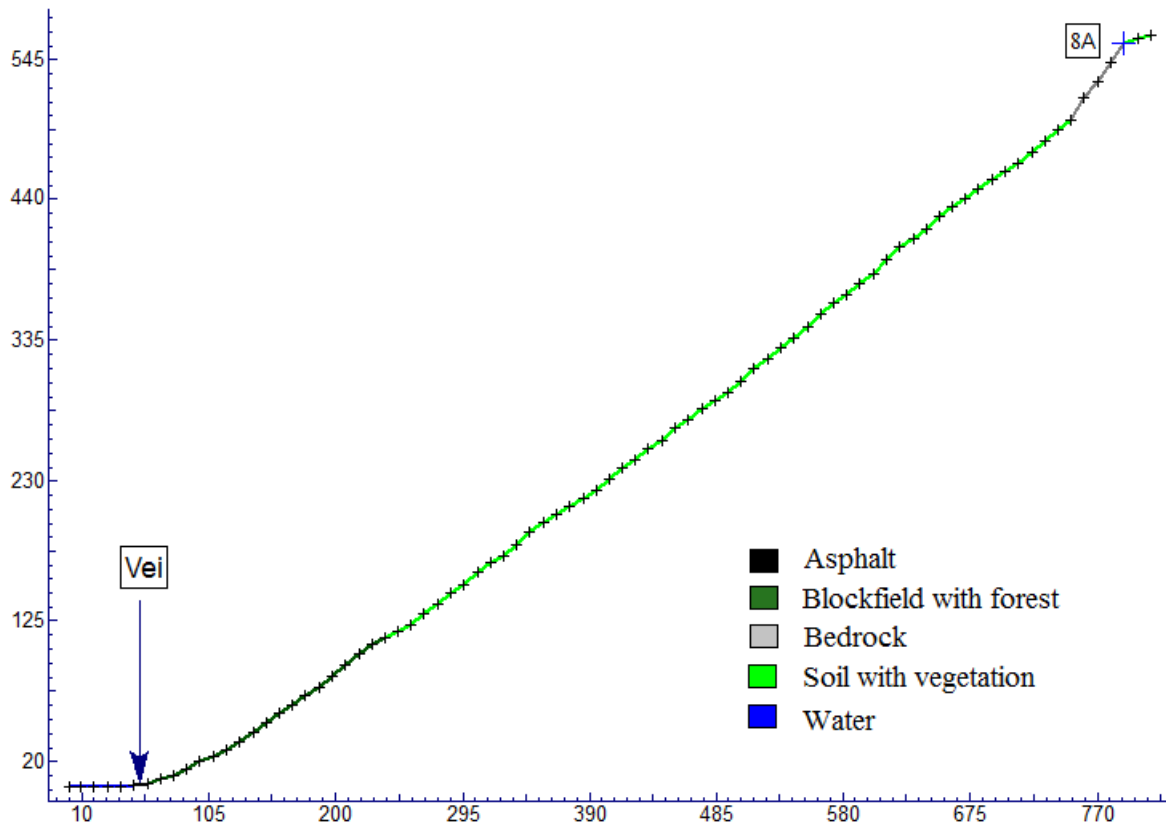
Brutto densitet for bergarten er satt til 2800 kg/m^3 ut ifra fra Sintefs materialdata (Sintef, 2013). Blokkemasser på 204 kg og 5600 kg er dermed benyttet for RocFall simuleringene.

RocFall-analyse

Profilen er satt fra fjellblotningen hvor det ble utført fall- og fallretning målinger, langs renna og ned til veien, se Figur 6.33. Profil 8 vises i Figur 6.34. Utløsningspunkt 8A er satt til øverst ved fjellblotningen. Tabell 6.19 viser hvor stor prosentandel av blokkene som traff over eller på veien i simuleringene.



Figur 6.33: Profil 8 er lagt ved Steinfonnkjeften. Pil viser hvor det er gjort fall- og fallretningsmålinger ved fjellblotning (Topografisk kart fra ArcGis, modifisert).



Figur 6.34: Profil 8 med utløsningspunkt 8A. X,Y-akser gitt i meter. Veien befinner seg ved strekning 49-59m.

Tabell 6.19: Prosentandel blokker som stoppet over (dette inkluderer også den andelen som stoppet på vei) og på veien for løsnepunkt 8A (informasjon hentet ved statistics i end point grafen i RocFall).

Løsnepunkt	Prosentandel blokker over vei/på vei 204kg	Prosentandel blokker over vei /på vei 5600kg
8A	0/0	0/0

Fjellblotningen befinner seg i den øvre delen av profilet, som viser materialet bedrock. Skråningshelningen er på omtrent 65° . Den resterende delen av profilet viser en forholdsvis slak skråning med en helning på omtrent 35° . Ved store deler av profilet er det vegetasjon og skogvekst over grunnfjell. Det var ikke oppgitt retituskoeffesienter for et slikt material, derfor er materialet 'topsoil with vegetation' benyttet. Her er det ikke inkludert større trær og deres bremseeffekt på blokker, dette gjør at resultatet i simuleringene bli noe konservativt.

Tabell 6.19 viser at ingen av blokkene treffer veien. Alle blokkene stopper i øvre del av profilet.

Diskusjon

Fjellblotningen i øverste del av profilet viser 65° i RocFall men ble målt til å være 85° i felt. Grunnen til at en lavere skråningsvinkel er vist i RocFall kan være fordi profilene har en 10x10 m oppløsning, slik at en del av skråningsgeometrien ikke vises. Dette gir noe usikkerhet i Rocfall analysen.

Ingen av blokkene treffer veien, selv om materialet som satt for store deler av profilet ikke inkluderer trær og vegetasjon. En kan gå ut ifra at blokkene vil stoppe lengre opp i profilet ved den reelle situasjonen.

Det er registrert 2 skredpunkt for steinsprang eller steinskred ved dette området. Men RocFall simuleringer viser at ingen blokker treffer veien. Dette er selv om materialet er satt for store deler av profilet ikke inkluderer skogvekst. En kan gå ut ifra at blokkene vil stoppe lengre opp i profilet ved den reelle situasjonen. Det kan tenkes at blokkene har blitt utløst ved fjellblotninger som ligger nærmere veien, vist øverst oppe til høyre i Figur 6.29. Her er det ikke gjort RocFall simuleringer. Ved en generell vurdering av området vil det med tanke på mulig sikringstiltak anbefales en voll i nederste del av området. Her vil energien og mulig spretthøyde til blokkene tenkes å være lav.

Kapittel 7

Beregning av sannsynlig utløpslengde for snøskred og sørpeskred

Registrerte skredhendelser viser at snøskred og sørpeskred er et av hovedproblemene i Eresfjorden. Derfor er det gjort en vurdering av skredfaren for disse typene skred. Det er gjort beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred og flom- og sørpeskred ved hjelp av metodene $\alpha - \beta$ modellen og energilinje modellen. Modellene er beskrevet i Kapittel [3.4](#) og [4.4](#).

7.1 Valg av profiler

Fordi luftstrømningene som regel kommer innover Norge fra en vestlig til sørvestlig retning vil relativt lite snø bli avsatt langs fv.660 i Eresfjorden. Figur [5.8](#) viser at med en vindretning fra sør- vest vil det kunne bygge seg opp skavler på den andre siden av fjorden fordi vinden kommer i ly her. Skavler vil kunne dannes ved skråningen langs veien hvis snøførende vind kommer fra nord-østlig retning.

Aktsomhetskart for snøskred er vist i Figur [5.13](#) i Kapittel [5.4](#). Løsneområder er lokalisert i skråningen bakenfor veistrekningen ved hele området og utløpsområdet dekker samtlige deler av veistrekningen. Feltundersøkelser og analysering av flyfoto viser at store deler av uren som er definert som potensielt utløsningsområde er dekket av tett skog. Vegetasjon og overflateruhet påvirker hvor stor skredfare det er i et område. Trestammer kan være sterke nok til å motstå sigetrykket og motvirke skredfaren. De deler av uren som er dekket av skog betraktes som lite skredfarlige.



Figur 7.1: Oversikt over elver som har utløp ved fv.660 langs Eresfjorden (modifisert kart fra norgeskart.no).

Flere skredhendelser knyttet til snøskred og sørpeskred er registrert langs Eresfjorden, se Figur 7.1. Skredhendelsene befinner seg stort sett der elveløp treffer veien. I følge Halgeir Dahle følger de fleste skredene elveløp, begynner som snøskred og går over i sørpeskred langs skredløpet (Pers.Komm., 2013b). Derfor er beregninger gjort både for snøskred og sørpeskred i de største elvene, vist i Figur 7.1. Et unntak er ved Steinfonnkjeften, hvor det ikke befinner seg en elv. Her er det gjort beregninger av utløpslengde fordi det er registrert en snøskredhendelse ved området. Ingen flomskred er registrert ved Eresfjorden men det kan ofte være en flytende grense mellom flomskred og sørpeskred, derfor er flomskred inkludert i beregningene.

Det er flere utførte sikringstiltak langs veistrekningen. Alle sikringstiltak er

knyttet til elver som har utløp mot veien.

7.2 Valg av verdier og fremgangsmetode

Profilen er hentet fra en digital høydemodell (DEM) med et rutenett på 10x10 m i ArcMap, beregninger er gjort for hånd og ved hjelp av innskape.org. Fordi beregningsmodellene kun baserer seg på topografiske forhold vil rutenettet på 10x10 m gi stor usikkerhet fordi det ikke inkluderer større detaljer ved profilet.

Utløsningshelningen er valgt ut ifra hvilken helningsvinkel de fleste skred utløses fra. Snøskred kan forekomme helt opp til 60° helning, men flest skred forekommer mellom 45° og 30° helning. Sørpeskred vil utløses ved omtrent 30° helning, og er førende ved beregninger for flom- og sørpeskred.

Utløpslinjen for snøskred er for alle profilene regnet ut fra likning 3.1. Det er trukket fra et halvt standardavvik, 1.15, for å beregne utløpslengden for snøskred med 20-50 års returperiode. Utløpslinjen for sørpeskred og flomskred er regnet ut fra likning 4.1. Det er ikke oppgitt standardavvik for denne likningen. Et halvt standardavvik for snøskred, på 1.15, er lagt til for å beregne utløpslengden med 20-50 returperiode. Dette gjør at beregninger av flom- og sørpeskred inkluderer en del usikkerhet.

Beregning av teoretisk høyde for en 100% effektiv fangvoll er gitt ved likning 3.2 i Kapittel 3.5. Snødybden er valgt ut ifra gjennomsnittlige verdier gitt i Tabell 5.3 i Kapittel 5.2. Den maksimale snødybden på 1 m er brukt i beregningene for å inkludere de høyeste snømengdene. Flythøyden er satt som 2 m i beregningene. Dette inkluderer en del usikkerhet. Denne verdien er valgt ut ifra at det er en relativt lav verdi for snødybden i Eresfjorden.

Ingen fremgangsmåte er gitt for beregning av teoretisk høyde for en 100% fangvoll ved flom- og sørpeskred. Her er beregninger gjort ut ifra at skredet initieres som et snøskred og utvikler seg til et sørpeskred nedover elveløpet. Denne beregningsmetoden vil inneholde en del usikkerhet.

7.3 Resultat profiler

7.3.1 Driva

Området

Figur 7.2, 7.3 og 7.4 viser bilder fra det området Driva treffer veien. Elven blir ført gjennom en renne under veien med steinsatt bunn. Det er dannet en trapp av steinblokker i nedre del av elveløpet med en vinkel på omtrent 40° som fører elva ned mot renna. Dimensjonene til magasinet er gitt i Tabell 7.1.

Tabell 7.1: Dimensjoner til magasinet satt ved utløpet til Driva. Høyde er gitt i meter under vei slik at høyde og lengde gir dimensjonene til renne under vei.

Parameter	Verdi
Lengde	8m
Bredde	6m
Høyde	3m
Volum	144m^3



Figur 7.2: Magasin ved utløpet til Driva, sett fra siden.



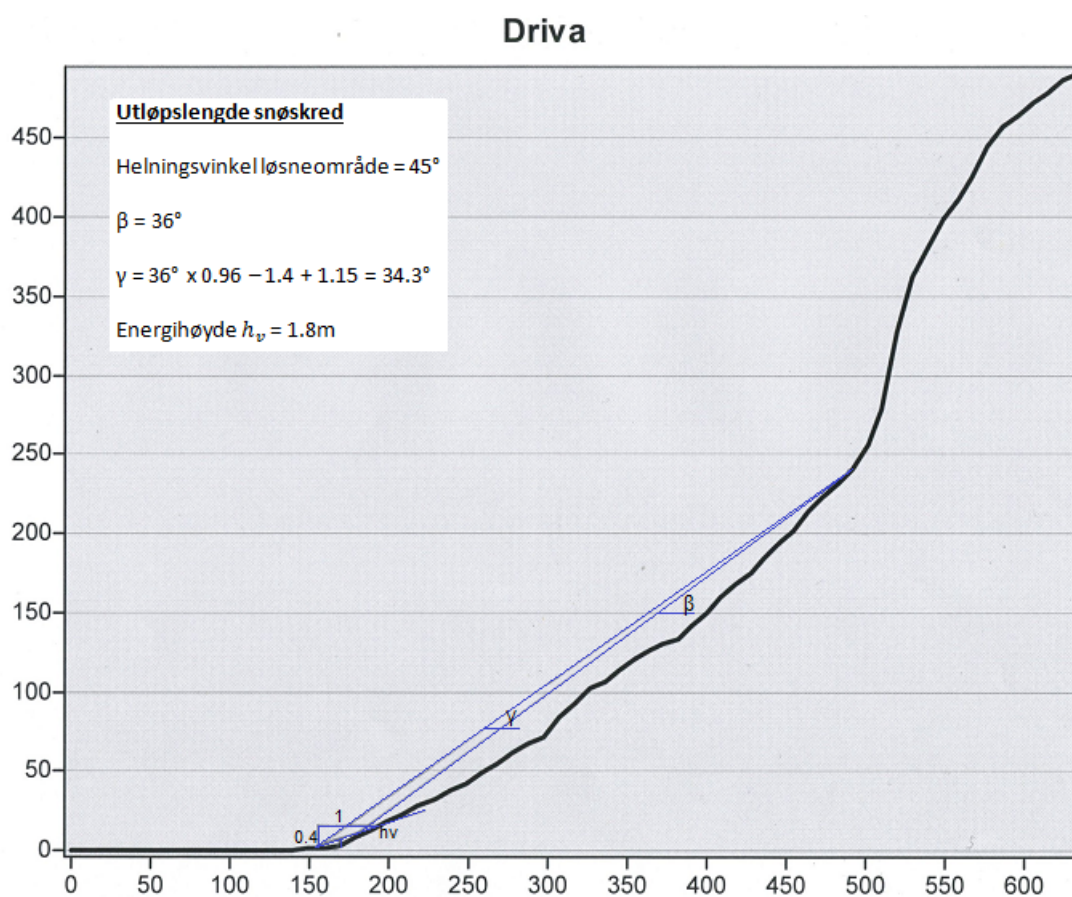
Figur 7.3: Utløp av Driva i betongrenne under vei.



Figur 7.4: Magasin ved utløpet til Driva, sett ovenfra (Foto: Marie Drågen og Kari Linn Søreide).

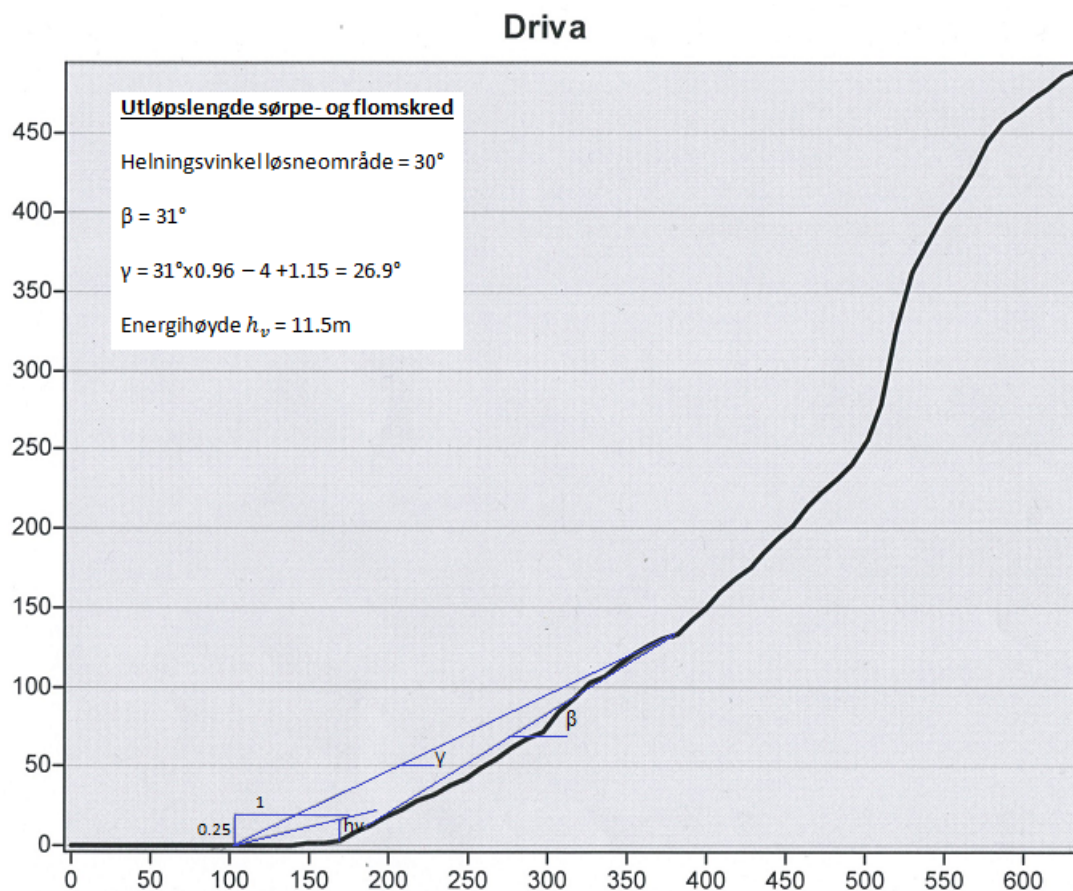
Beregning av utløpslengden

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred ved Driva er vist i Figur 7.5. Profilet er relativt bratt i øverste del. Utløsningspunktet er satt i den midterste delen av profilet med en vinkel på 45° . Figuren viser at det teoretiske utløpspunktet til skredet er rett etter veien. Energihøyden h_v er relativt lav i området rundt veien og er beregnet til å være 1.8 m ved veien.



Figur 7.5: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elven Driva.

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for flom- og sørpeskred ved Driva er vist i Figur 7.6. Utløsningspunktet er satt til en vinkel på 30° . Figuren viser at sørpeskredet får et utløpspunkt som er 56 m etter veien. Energihøyden h_v er beregnet til å være 11.5 m ved veien.



Figur 7.6: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elven Driva.

Diskusjon

Figur 7.7 viser hvor løsnemrådene er valgt for snøskred og sørpeskred. Løsnepunktet for både snøskred og sørpeskred er satt relativt bratt og nærme veien. Dette er fordi helningen er generelt sett bratt ved hele profilet. Fordi helningen er bratt ved utløpspunktet for snøskredet vil det være et relativt tynt snølag som løser. Bildet over Driva viser at elven ikke er spesielt bred og det befinner seg skog og vegetasjon rundt elva. Dette indikerer at liten snømengde kan inkorporeres nedover snøskredet. Volumet på skredet og da også utløpslengden kan derfor tenkes å være av mindre skala. Volumet til området bak renna er på 144 m^3 og vil romme skredmasser av liten til middels størrelse.

Det samme gjelder for flom- og sørpeskred. Utløsningspunktet ligger ennå la-

vere nede enn for snøskred. Det er observert store steinblokker og lite løsmasser i bunnen av den nederst delen av skredløpet. For at store blokker skal kunne tas opp og transporteres må et flomskred ha veldig stor energi. Ved skredfare for sørpeskred må det være tilgang til snø, vann og eventuelt løsmasser. På grunn av bratt skråningshelning og omkringliggende skogvekst er det lite sannsynlig at større sørpeskred vil forekomme. Energihøyden på 11.5 m ved veien gir inntrykk av et veldig konservativt resultat. Dette støttes opp med at det ikke er registrert noen snø - eller sørpeskred ved Driva.



Figur 7.7: Viser elva Driva. Omtrentlig beliggenhet av løsnepunkt for snøskred og sørpeskred ved utløpsberegninger (Foto: Kari Linn Søreide).

7.3.2 Strandelva

Området

Figur 7.8 til 7.10 viser det området Strandelva treffer veien. Det er laget en bru under veien som leder elveløpet ut mot sjøen. Ledevoller av betong er satt inn mot brua for å lede elven og forhindre utrasing av løsmasser langs kanten. Bildet er tatt på våren. Allikevel viser Strandelva lav vannføring og elvebredden er betraktelig større enn selve elva. Dette kan tyde på at det har vært en eller flere episoder med

flom eller sørpeskred eller muligens snøskred.



Figur 7.8: Utrasing av løsmasser langs siden av Strandelva.



Figur 7.9: Utløpet til Strandelva sett fra siden.

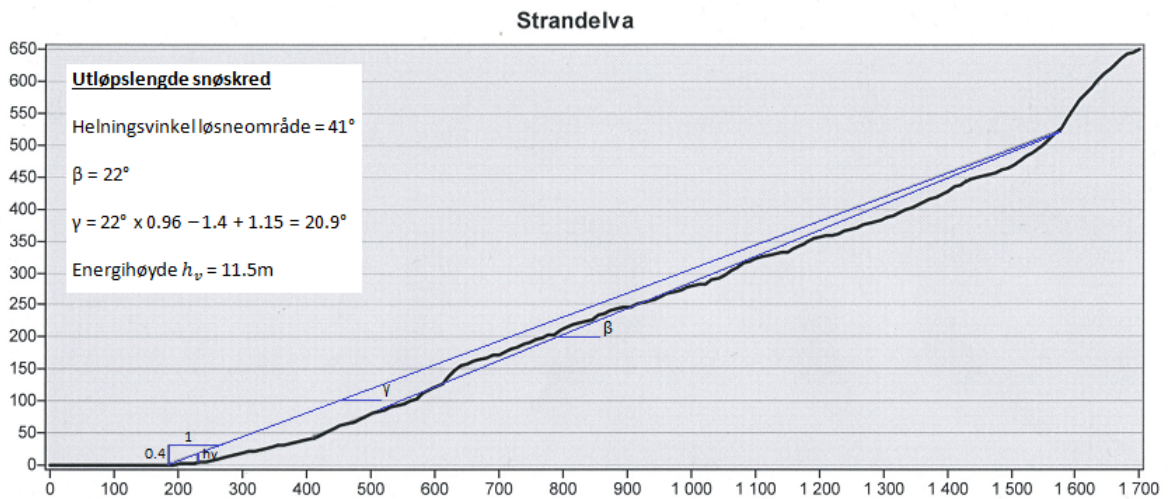


Figur 7.10: Utløpet til Strandelva sett fra veien (Foto: Marie Drågen og Kari Linn Søreide).

Beregning av utløpslengden

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred ved Strandelva er vist i Figur 7.11. Beregning av utløpslengden for flom- og sørpeskred er ikke inkludert. Profilet viser en generell slak helning som veksler mellom omtrent 25° og 20°. Da flom- og sørpeskred utløses ved under 30° og bremses ned ved 20° var det ikke mulig å finne et reelt utløpsområde og bremseområde langs profilet.

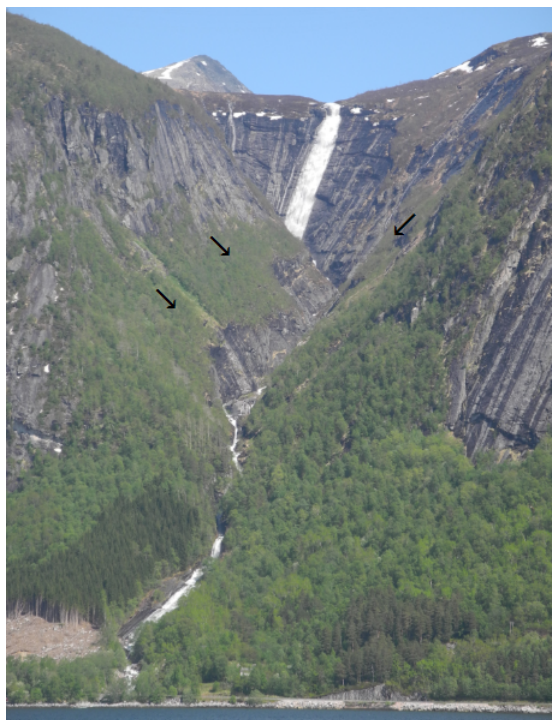
Utløsningsområdet for snøskred er satt til 41°. 10° vinkelen er satt i nedre del av profilet. Utløpslengden er noen meter etter veien, så skredet vil treffe og gå over veien. Energihøyden er beregnet til å være 11.5m.



Figur 7.11: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elven Strandelva.

Diskusjon

Figur 7.12 viser Strandelva og området rundt. Det kan tenkes at snø som samles ved sidene av elva kan falle ned i elva. Hvis det er store nok mengder snø kan det demme opp elva slik at et snøskred eller sørpeskred utløses. Men det er usikkert hvor store mengder snø som vil samles opp ved kantene rundt. Som det går frem i bildet er det bratte vegger hvor det mest sannsynlig ikke legger seg mye snø. Siden elva ligger i et skar kan det ved de rette vindretninger avsettes snø ved at vinden avtar ved kanten. Det er endel skogvekst langs sidene av elva som vil minke utglidningsfaren for snø.



Figur 7.12: Viser Strandelva. Piler viser hvor snø kan samles for så å falle ned og muligens demme opp elva (Foto: Kari Linn Søreide).

Figur 7.12 og flyfoto viser at størsteparten av elveløpet ligger på bart fjell. Kun de siste omtrent 170 meterne før veien viser løsmasser i elveløpet. Figur 7.10 viser store blokker avsatt i elveløpet rett før veien. Figur 7.8 viser elvebredden ved veien der løsmasser blir erodert og faller ut i elveløpet. Ved spesielt høy vannføring vil elva kunne erodere de områdene der det befinner seg løsmasser, transportere dem og danne et flomskred. Men da det i hovedsak befinner seg løsmasser de nederste 170 meterne i elveløpet gir dette liten sannsynlighet for større flomskred.

Det kan tenkes at det er størst fare for sørpeskred ved Strandelva. Snøskred vil bremses betydelig opp langs skredløpet på grunn av den slake skråningsvinkelen på mellom 25° og 20° . Sørpeskred eller våte snøskred kan følge skredløp med betraktelig lavere helningsvinkler og vil i enkelte tilfeller ikke bremses opp før det når en helningsvinkel på ned til 0° . Dette viser at beregningsmetoden for utløpslengder til sørpeskred inneholder en del usikkerhet. Den nedre vinkelen på 20° er valgt fordi det tenkes at skredene bremses ned her. Dette stemmer ikke alltid. En mulig grunn til dette valget av vinkel kan være fordi den er dannet på grunnlag av registrerte flomskred. Flomskred kan opptre annerledes enn sørpeskred med tanke på ved hvilken vinkel de bremses ned.

Det er et registrert skredpunkt ved Strandelva. Et snøskred ble utløst i 1842 og ga katastrofale følger for en gårdbruker som bodde like ved. Hendelsen er beskrevet nærmere i 5.4. Det er beskrevet at utløsningsområdet er ukjent men at det muligens forekom i Strandelva like ved. Det er ikke registrert skredhendelser i nyere tid.

7.3.3 Djupfonna

Området

Figur 7.13 og 7.14 viser utløpsområdet til Djupfonna ved veien. Her er det et magasin og en voll ved utløpet som ble bygget i 2007. Dimensjonene til magasinet og vollen er gitt i henholdsvis Tabell 7.3 og 7.2.

Tabell 7.2: Dimensjoner til vollen satt ved utløpet til Djupfonna.

Parameter	Verdi
Lengde	60m
Høyde gj.snitt	3m
Høyde maks	4m
Bredde fot	4m
Bredde krone	1m
Vinkel gjennomsnitt	80°
Vinkel maks	90°

Tabell 7.3: Dimensjoner til magasinet satt ved utløpet til Djupfonna.

Parameter	Verdi
Lengde	64m
Bredde	23m
Høyde	3m
Volum	4416m ³



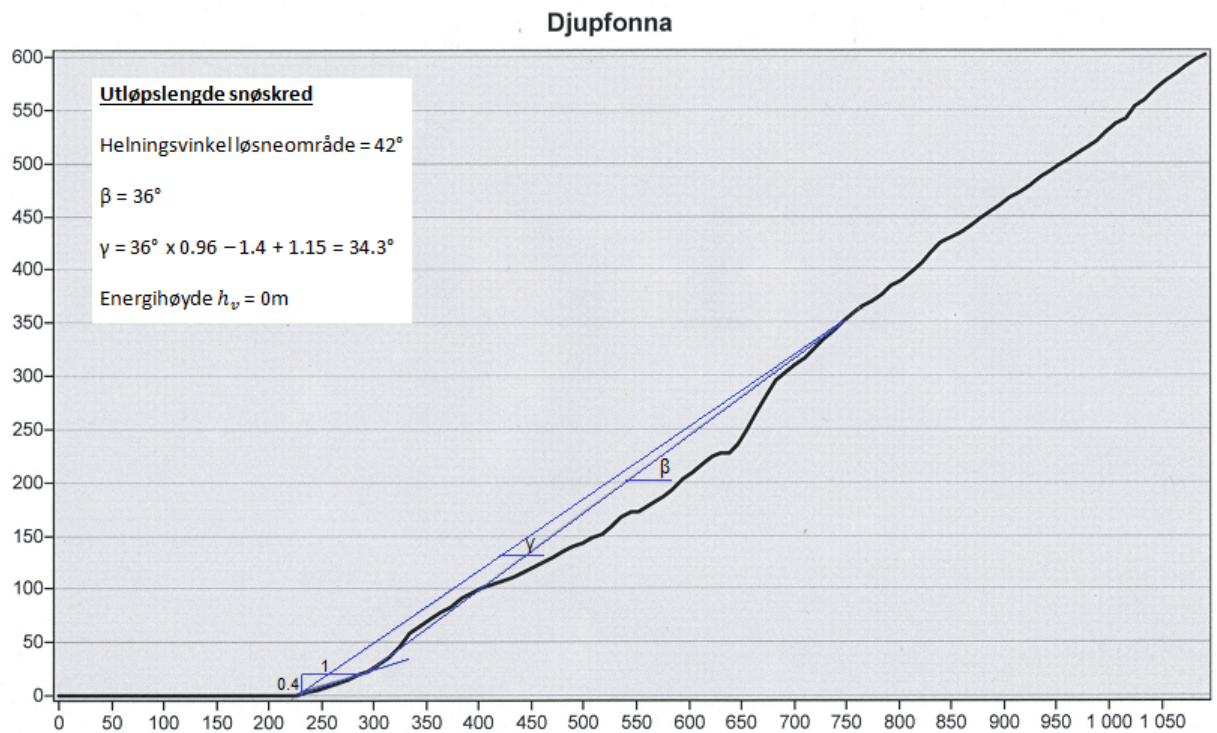
Figur 7.13: Voll og magasin ved utløpet til Djupfonna, sett fra siden (Foto: Marie Drågen).



Figur 7.14: Bakre vegg til magasin ved utløp til Djupfonna (Foto: Kari Linn Søreide).

Beregning av utløpslengde ved Djupfonna 1

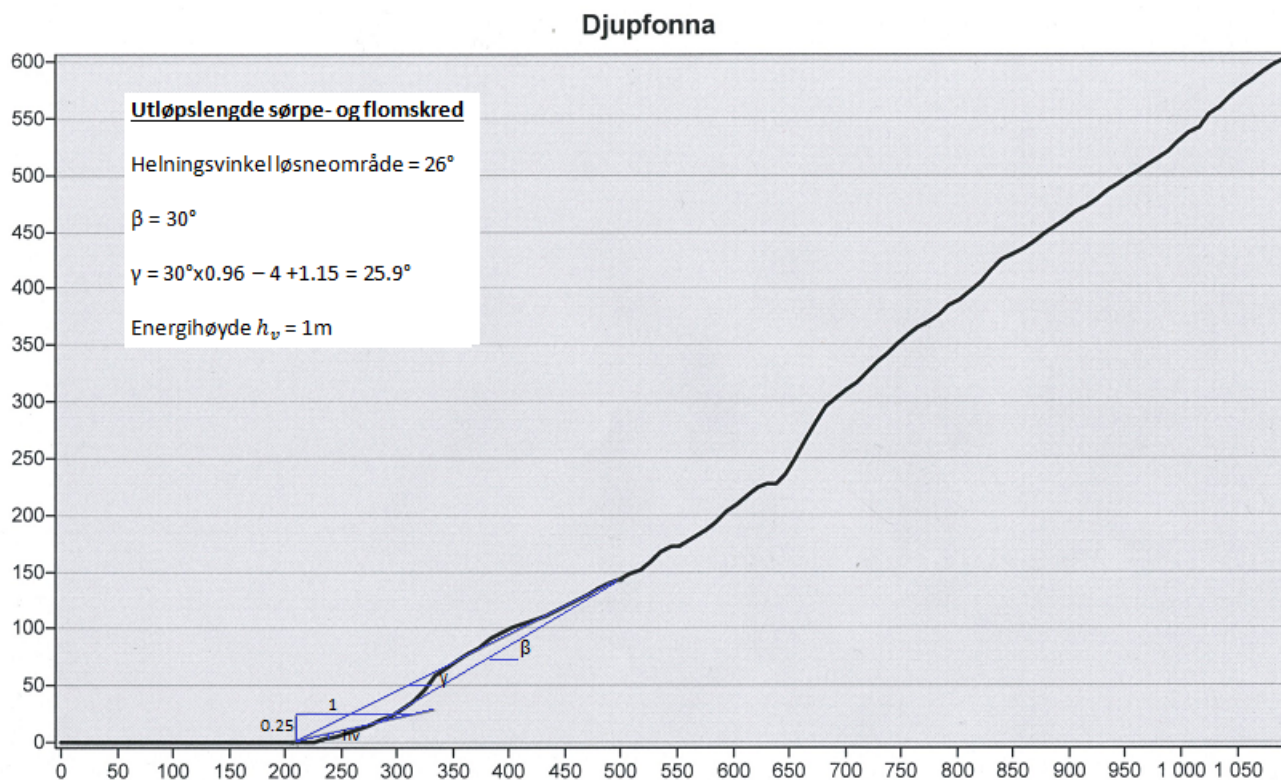
Beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred ved Djupfonna er vist i Figur 7.15. Utløsningspunktet er satt ved 42° . Snøskredet stopper rett bakenfor veien. Energihøyden er satt til 0 m ved vollen.



Figur 7.15: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i ett elveløp ved Djupfonna.

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for flom- og sørpeskred ved Djupfonna er vist i Figur 7.16. Utløsningspunktet er satt ved 26° og er lokalisert ved nedre del av profilet, kun omtrent 250 m fra veien. Skredet stopper rett bakenfor veien men viser litt lengre utløp enn snøskredet. Energihøyden er satt til 1 m ved vollen. Det er ikke oppgitt utregningsmetode for dimensjonering av fangvoll ved flom- og sørpeskred. Hvis en går ut ifra at skredet blir initiert som snøskred og utvikler seg til å bli et sørpeskred kan en benytte seg av samme beregningsmetode som for snøskred. Hvis en går ut ifra at skredet initieres som et snøskred med snødybde satt til 1 m og flythøyden er satt til 2 m vil minimum høyde på fangvollen etter dimensjonskravene være: $h_{n\ddot{o}dvendig} = 1 + 1 + 2 = 4m$. Fangvollen med en gjennomsnittlig høyde på 3 m og maksimal høyde på 4 m vil være opp imot 100% effektivt

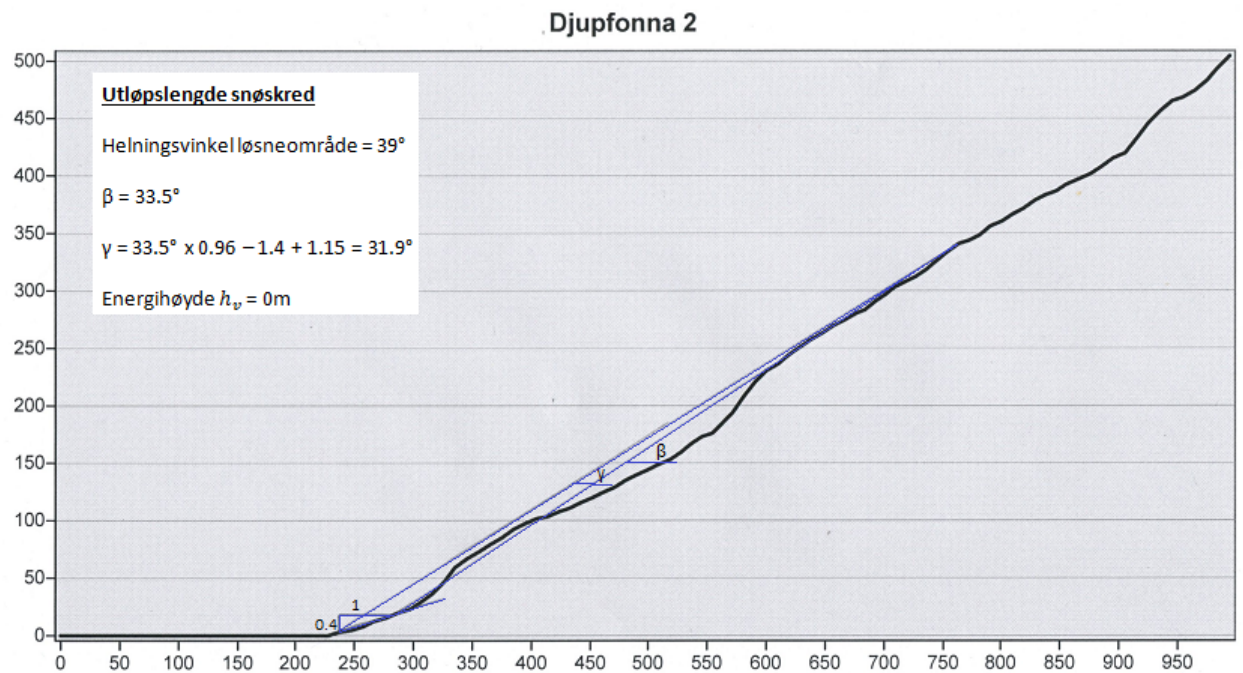
for sørpeskredet.



Figur 7.16: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i ett elveløp ved Djupfonna.

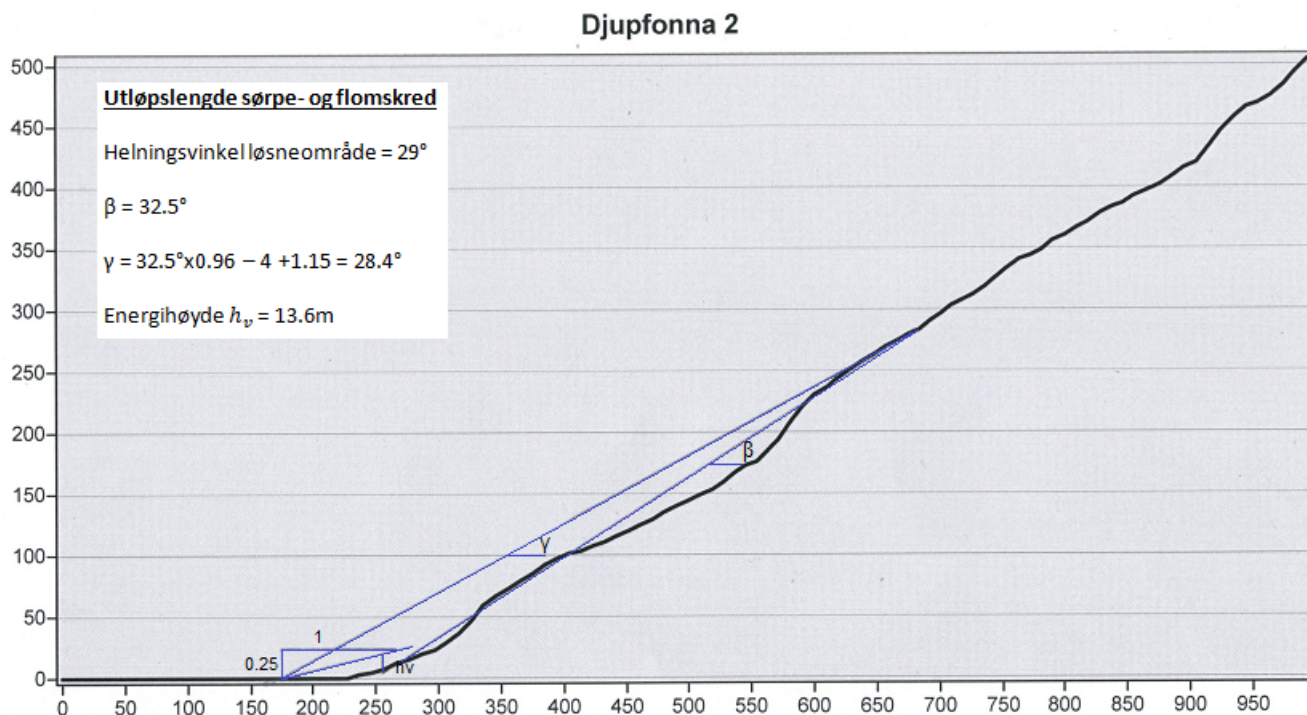
Beregning av utløpslengde ved Djupfonna 2

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred ved Djupfonna profil 2 er vist i Figur 7.17. Utløsningspunktet er satt ved 39° . Også her vil skredet ha utløpslengde rett etter veien men energihøyden viser 0 m ved vollen.



Figur 7.17: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elveløp 2 ved Djupfonna.

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for flom- og sørpeskred ved Djupfonna profil 2 er vist i Figur 7.18. Utløsningspunktet er satt ved 29° og er lokalisert ved midtre til øvre del av profilet. Utløpspunktet til skredet befinner seg omtrent 60 m bakenfor veien. Energihøyden er 13.6 m ved vollen. Hvis en går ut ifra at skredet initieres som et snøskred med snødybde satt til 1 m og flythøyden er satt til 2 m vil minimum høyde på fangvollen etter dimensjonskravene være: $h_{n\ddot{o}dvendig} = 13.6 + 1 + 2 = 16.6\text{m}$. Fangvollen på 3-4 m vil ved disse beregningene ikke være 100% effektivt.



Figur 7.18: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elveløp 2 ved Djupfonna.

Diskusjon

De to profilene viser omtrent lik utløpslengde for snøskred. Begge profilene viser at energihøyden ved vollen er 0 m. Dette er usannsynlig da et skred som går forbi veien vil ha en viss høyde ved vollen. Det er en del usikkerhet knyttet utregningen og til topografien som ikke inkluderer detaljer ved utløpsområdet.

For flom - og sørpeskred ble utløpslengden beregnet til å være betraktelig høyere ved Djupfonna profil 2. Her er energihøyden på 13.6 m slik at vollen måtte ha en høyde på 16.6 m for å være 100% effektiv. Dette virker noe urealistisk.

Figur 7.19 viser Djupfonna og området rundt. Det er tett skog rundt elva slik det er liten sannsynlighet for utløsning av større skred i området som vil bli kanalisert av Djupfonna. Magasinet har et volum på 4416 m³ og vil kunne romme større skredmasser. De røde pilene i figuren viser punkt der to elver møtes. I disse punktene kan det samle seg snø eller løsmasser som demmer opp elva og kan føre til plutselig utløsning av skred.

Det er 4 registrerte skredhendelser ved Djupfonna. Alle skredhendelsene er

registrert i 1995, ingen skredhendelser er registrert etter 2007 da voll og magasin ble bygget. Dette indikerer at sikringstiltakene ved området har stoppet mulige skred som kan ha blitt utløst i senere tid. Figur 7.13 viser vegetasjon med flere trær i magasinet. Dette indikerer at det ikke har vært høy skredfrekvens den siste perioden.



Figur 7.19: Viser djupfonna. Piler viser treffpunkt hvor snø eller løsmasser kan samles og demme opp elva (Flyfoto fra ArcGis, modifisert).

7.3.4 Langfonna

Området

I 2007 ble det sprengt ut magasin og satt opp fangvoll der Langfonna møter veien. Figur 7.20 og 7.21 viser fangvoll og magasin. Tabell 7.4 og 7.5 gir dimensjonene til henholdsvis vollen og magasinet.

Tabell 7.4: *Dimensjoner til fangvoll satt ved utløpet til Langfonna.*

Parameter	Verdi
Lengde	80m
Høyde gj.snitt	3m
Høyde maks	4m
Bredde fot	4m?
Bredde krone	1m
Vinkel gjennomsnitt	80°
Vinkel maks	90°

Tabell 7.5: *Dimensjoner til magasin satt ved utløpet til Langfonna.*

Parameter	Verdi
Lengde	78m
Bredde	36m
Høyde	3m
Volum	8424m ³



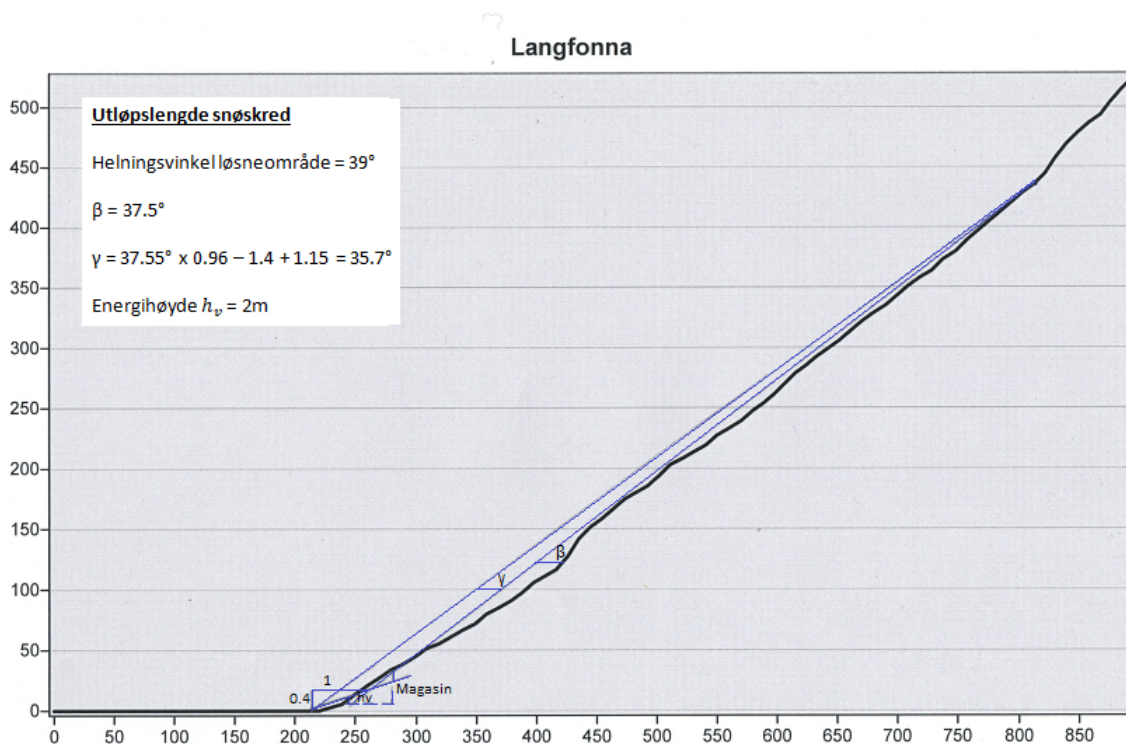
Figur 7.20: Voll og magasin ved utløp til Langfonna, sett fra siden (Foto: Marie Drågen)



Figur 7.21: Voll og magasin ved utløp til Langfonna, sett fra vei (Foto: Marie Drågen)

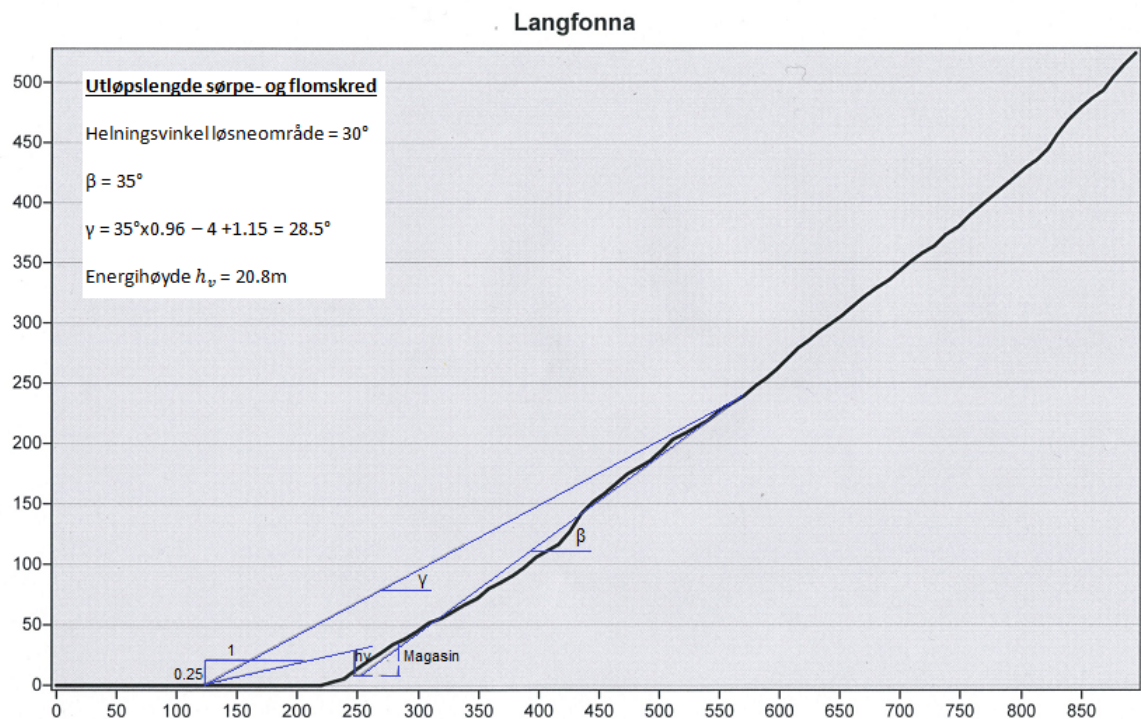
Beregning av utløpslengde

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred ved Langfonna er vist i Figur 7.22. Utløsningspunktet er satt ved øvre del av profilet med en helningsvinkel på 39° . På grunn av at DEM brukt for profilutsnittet har en 10×10 m oppløsning vil enkelte detaljer i profilet ikke vises. I dette profilet vises ikke magasinet selv om magasindimensjonene er såpass store at de burde vist. En mulig grunn er at DEM-et ble laget før sikringstiltakene ble bygget. Magasinet er lagt til profilet. Det var ikke et område med 10° helning før magasinet så punktet er satt ved magasinet. Snøskredet har utløpspunkt omtrent 15 m etter veien. Energihøyden er beregnet til 2 m ved vollen. Snødybden er satt til 1 m og flythøyden er satt til 2 m. For å sikre veien tilnærmet 100% med en fangvoll vil minimum nødvendig høyde etter dimensjoneringskravene være: $h_{n\ddot{o}dvendig} = 2 + 1 + 2 = 5\text{ m}$. Fangvollen har en gjennomsnittlig høyde på 3 m og maksimal høyde på 4 m og vil ut ifra beregningene ikke kunne stoppe snøskredet med 100% effektivitet.



Figur 7.22: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elveløpet ved Langfonna.

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for flom- og sørpeskred ved Djupfonna er vist i Figur 7.23. Utløsningspunktet er satt ved 30° og er lokalisert omtrent 200 m fra veien. Det var ikke et område med 20° helning før magasinet så punktet er satt ved magasinet. Utløpspunktet til skredet er omtrent 140 m etter veien. Energihøyden ved fangvollen er beregnet til 20.8 m. Hvis en går ut ifra at skredet initieres som et snøskred med snødybde satt til 1 m og flythøyden er satt til 2 m vil minimum høyde på fangvollen etter dimensjonskravene være: $h_{n\ddot{o}dvendig} = 20.8 + 1 + 2 = 23.8\text{m}$. Fangvollen har en gjennomsnittlig høyde på 3 m og maksimal høyde på 4 m og vil ut ifra beregningene ikke kunne stoppe snøskredet med 100% effektivitet.



Figur 7.23: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elveløpet ved Langfonna.

Diskusjon

Figur 7.24 viser Langfonna og området rundt. Bildet viser et relativt kort og lineært elveløp ned mot veien. Det er registrert et snøskred ved Langfonna. Snøskredet skjedde i 1995 og var på omtrent 100 m^3 . Magasin volumet på 8424 m^3 vil romme både disse skredmassene og betraktelig større skredmasser. Det er ikke registrert skredhendelser i den senere tid. Figur 7.20 viser at bunnen til magasinet er dekket av småstein og løsmasser og mindre grad vegetasjon. Dette indikerer at skred har gått ved Langfonna etter sikringstiltakene var bygget og at sikringstiltakene var effektive i å stoppe skredet.

Utløpslengden til snøskred går forbi veien, men beregninger viser at fangvollen stopper skredet i stor grad. Utløpslengden til flom- og sørpeskredet har en betraktelig lengre utløpslengde og viser en veldig høy energihøyde ved fangvollen. Det virker urealistisk at et flomskred eller sørpeskred i løpet av et relativt kort utløpsdistanse på en 200 m fra veien vil opparbeide seg en så høy energihøyde ved vollen.



Figur 7.24: Flyfoto av Langfonna (2) og ikke navngitt elv (1). Magasin og fangvoll er vist ved punkt 3. Det sirklede området viser hvor elva bryter i baneretningen og nye elvebaner går mot venstre inn mot Kårteigen og mot høyre (Flyfoto fra ArcGIS, modifisert)

7.3.5 Ikke navngitt elv

Området

Mellom Langfonna og Kårteigen er det en elv som ikke er navngitt. På kartet vises det at elven stopper opp før den når veien. På flyfoto viser elven tegn til både å ha utløp til venstre i Kårteigen (før den krysser veien) og til høyre rett ved utløpet til Langfonna. Dette kan tyde på at elven vanligvis har liten vannføring men at det ved perioder med mye nedbør/snøsmelting kan dannes nye elveløp ned til veien.

Det er satt en voll ved utløpet mot vei som ligger rett ved Langfonna. Dimensjonene til vollen er gitt i Tabell 7.6. Vollen fortsetter som en del av vollen til Langfonna, men med lavere vollhøyde og slakere vinkel på vollen. Det er et naturlig dannet magasin bakenfor vollen med omtrentlige dimensjoner gitt i Tabell 7.7.

Tabell 7.6: *Dimensjoner til voll plassert ved elv mellom langfonna og Kårteigen*

Parameter	Verdi
Lengde	46m
Høyde gj.snitt	2m
Høyde maks	3m
Bredde fot	5m?
Bredde krone	1m
Vinkel gjennomsnitt	40°
Vinkel maks	50°

Tabell 7.7: *Dimensjoner til magasin plassert ved elv mellom langfonna og Kårteigen*

Parameter	Verdi
Lengde	20m
Bredde	12m
Høyde	2m
Volum	480m ³



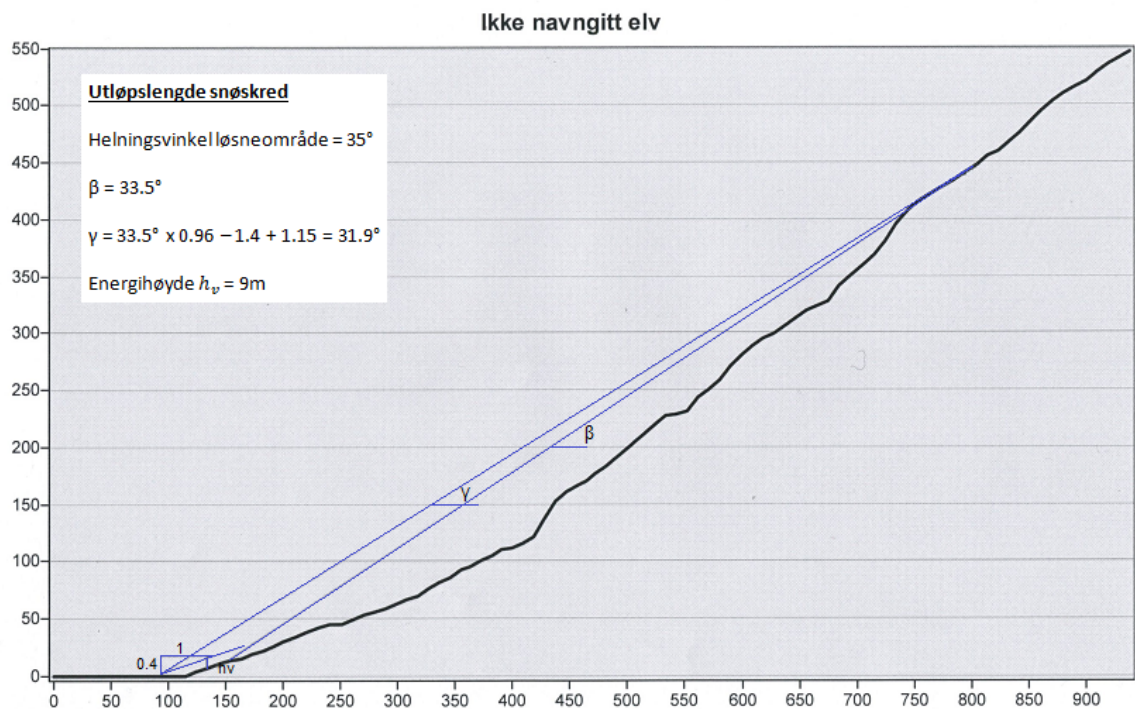
Figur 7.25: Voll og magasin ved utløp til elv uten navn, lokalisert mellom Langfonna og Kårteigen (Foto: Marie Drågen).



Figur 7.26: Magasin til elv mellom Langfonna og Kårteigen, sett forfra (Foto: Kari Linn Søreide).

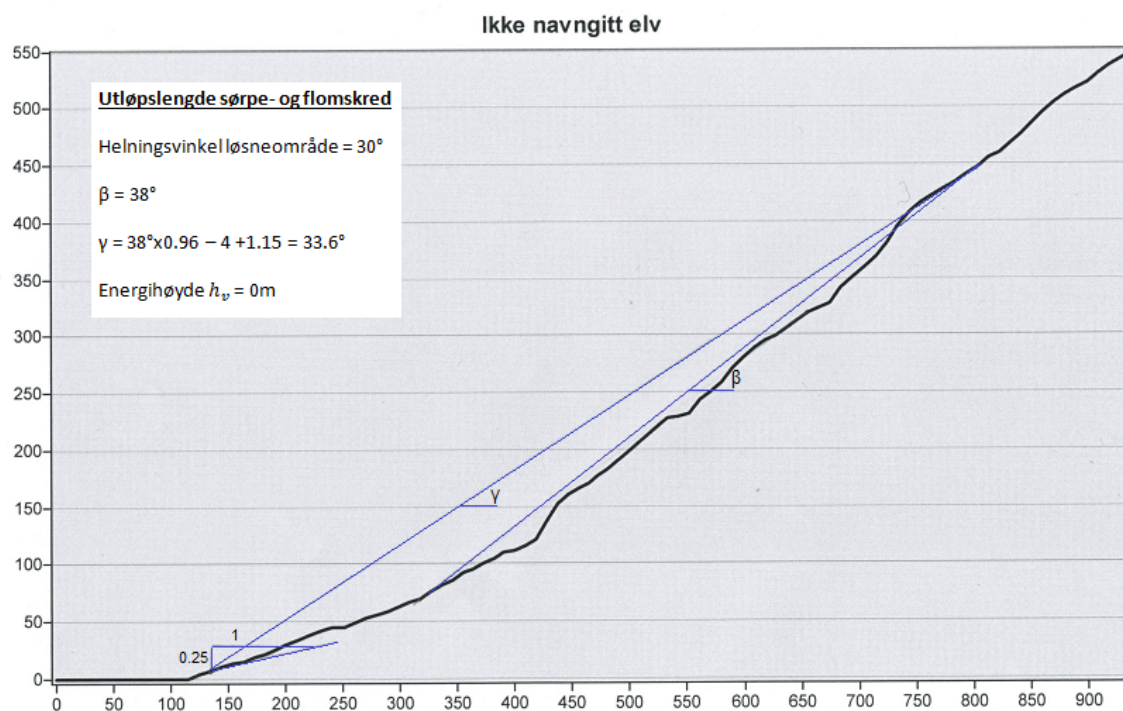
Beregning av utløpslengde

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred ved elva er vist i Figur 7.27. Utløsningspunktet er satt ved øvre del av profilet med en helningsvinkel på 35° . Beregninger viser at snøskredet vil ha en utløpslengde på omtrent 30 m bakenfor veien. Energihøyden ved vollen er 9 m. Snødybden er satt til 1 m og flythøyden er satt til 2 m. For å sikre veien tilnærmet 100% med en fangvoll vil minimum nødvendig høyde etter dimensjoneringskavene være: $h_{n\ddot{o}dvendig} = 9 + 1 + 2 = 12\text{m}$. Fangvollen har en gjennomsnittlig høyde på 2 m og maksimal høyde på 3 m og vil ikke stoppe skredet med 100% effektivitet.



Figur 7.27: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elveløp mellom langfonna og Kårteigen.

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for flom- og sørpeskred ved Djupfonna er vist i Figur 7.28. Utløsningspunktet er satt ved 30° ved øvre del av profilet. 20° -punktet er satt et stykke fra veien og utløpspunktet er ut ifra dette beregnet til akkurat ved vollen. Energihøyden ved vollen er beregnet til 0 m.



Figur 7.28: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elveløp mellom langfonna og Kårteigen.

Diskusjon

Figur 7.24 viser elva og området rundt. Det sirklede området viser hvor elva skifter retning og føres ned mot fangvollen og magasinet. Retningsendringen på omtrent 90° vil bremse skredmassene betraktelig. Dette er ikke inkludert i beregningene fordi profilet danner en rett linje av linjene som er tegnet opp i ArcGis. Det er ikke mulig å regne hvor stor del av energien som bremses ved retningsendringen men en kan gå ut fra at skredmassene bremses betydelig ned og at utløpslengden og energihøyden på vollen da vil bli mindre enn det beregningene viser.

Et snøskred er registrert ved den ikke navngitte elva i 1994. I senere tid er det ingen registrerte skredhendelser. Figur 7.25 og 7.26 viser grus og småstein i magasinet. Massen viser lys patina noe som indikerer at et nylig flom, sørpe eller snøskred kan ha gått i elva. Siden det ikke er registrert skredhendelse i nyere tid viser dette at sikringstiltakene i så fall var effektive mot å stoppe skredmassene.

7.3.6 Kårteigen

Området

Figur 7.29 til ?? viser utløpsområdet til Kårteigen ved veien. Der elva treffer veien er det lagt ei renne under veien på 1x1 m. Det er ikke gjort andre sikringstiltak ved området, elva ligger omtrent 1 m under veinivået.



Figur 7.29: Renne under vei ved utløp til Kårteigen, sett fra siden.



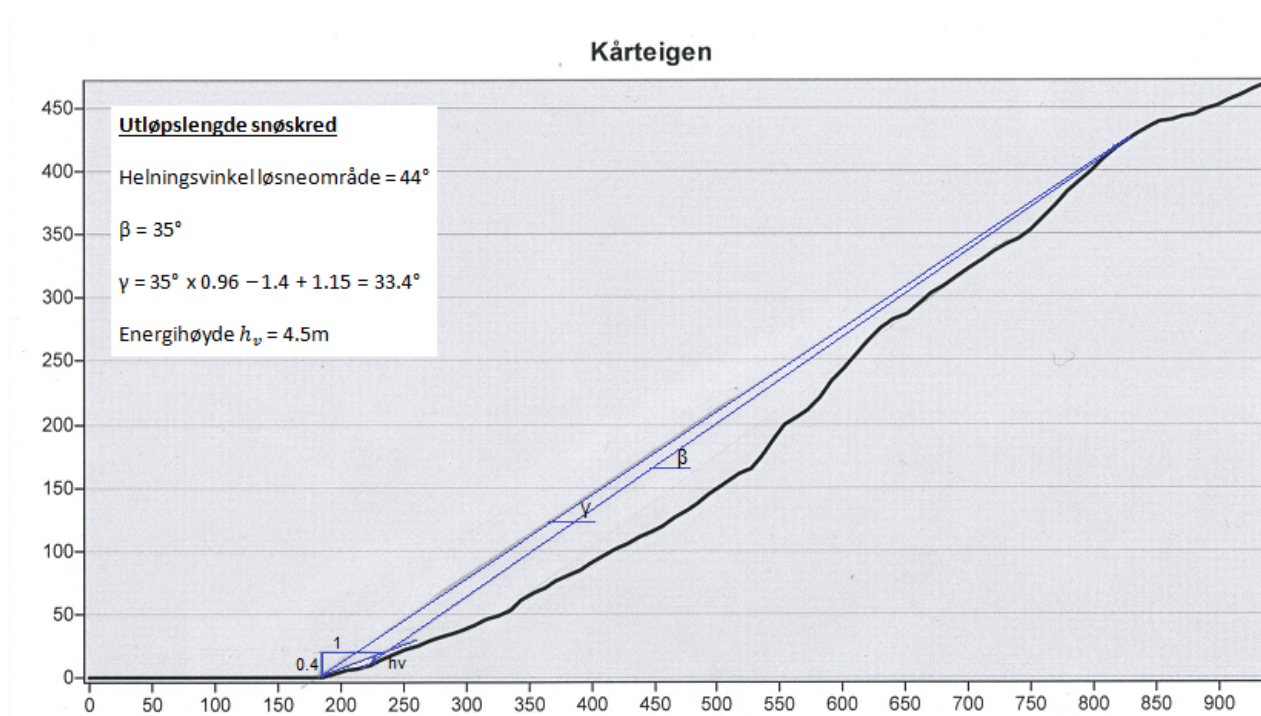
Figur 7.30: Renne under vei ved utløp til Kårteigen, sett ovenfra



Figur 7.31: Utløp til Kårteigen, sett fra vei.

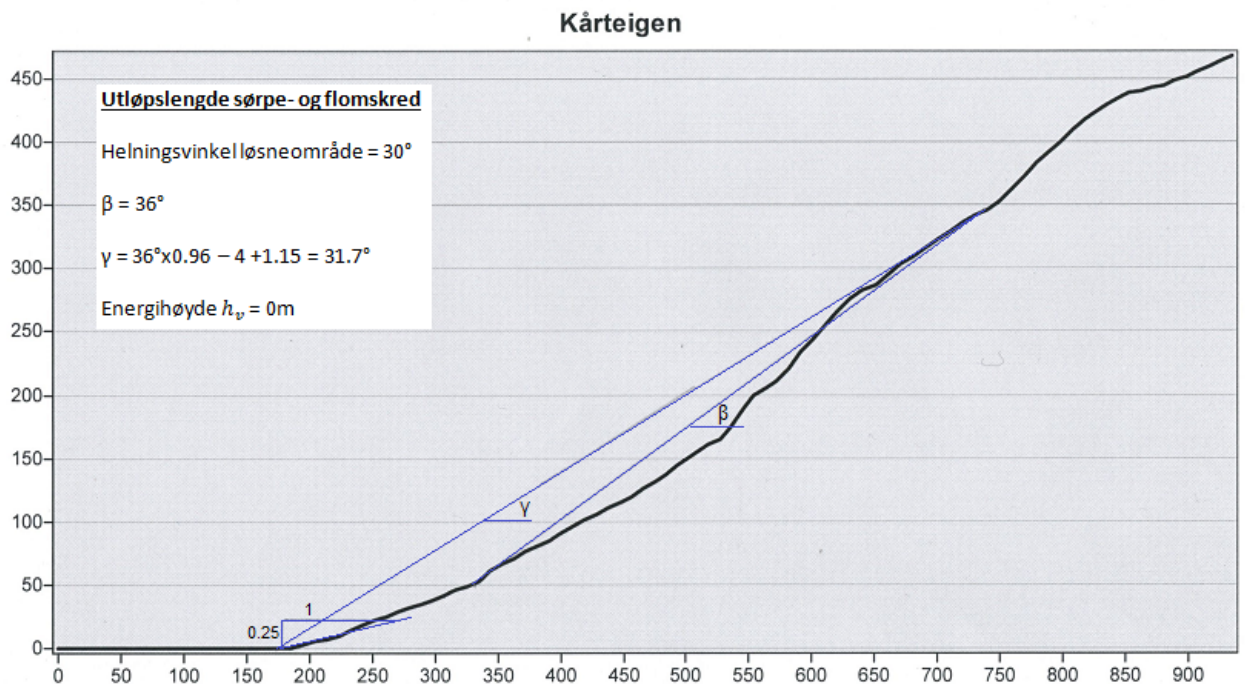
Beregning av utløpslengde

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred ved elva er vist i Figur 7.32. Utløsningspunktet er satt ved øvre del av profilet med en helningsvinkel på 44° . Beregninger viser at snøskredet vil ha en utløpslengde på omtrent 40 m bakenfor veien. Energihøyden ved veien er 4.5 m. Snødybden er satt til 1 m og flythøyden er satt til 2 m. For å sikre veien tilnærmet 100% med en fangvoll vil minimum nødvendig høyde etter dimensjoneringskavene være: $h_{n\ddot{o}dvendig} = 4.5 + 1 + 2 = 7.5\text{ m}$.



Figur 7.32: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred i elveløpet ved Kårteigen.

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for flom- og sørpeskred ved Djupfonna er vist i Figur 7.33. Utløsningspunktet er satt ved 33° i nedre del av profilet hvor et registrert sørpeskred har oppført utløsningspunkt. Utløpslengden er beregnet til å være 45 m bakenfor veien. Energihøyden ved veien er beregnet til 0 m.



Figur 7.33: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for flom- og sørpeskred i elveløpet ved Kårteigen.

Diskusjon

Det er registrert et sørpeskred ved Kårteigen i 2004. Det totale volumet var 250 m³ og volumet på veien var over 100 m³. Utløsningsområdet var vurdert til å være 200 m opp i dalsiden. Dette skredet indikeres i flyfoto over Kårteigen, vist i Figur 7.34. Øverste pil viser det øverste stedet der løsmasser vises i elveløpet, dette området kan tenkes å være utløsningsområdet til sørpeskredet. Området befinner seg nærmere 300 m fra veien men ved registrering av sørpeskredet er lokalisering av utløsningsområdet mest sannsynlig gjort ved øyemål så det kan allikevel stemme overens.

Nedre pil viser at elvebredden økes betraktelig i området rett før veien. Mens elvebredden er på omtrent 10 m i resten av elveløpet er elvebredden ved dette området på nærmere 50 m. Den økte elvebredden viser til at skråningshelningen har blitt lavere og bremset skredet. De fremste skredmasser har blitt avsatt og presset skredmassene bakenfor ut til kantene der de har blitt avsatt. Skredmasser har bygget seg opp i dette området og store deler av skredmassene har blitt avsatt på veien. Det er ikke funnet informasjon om når renna var laget men den

er mest sannsynlig laget før skredet i 2004. Med tanke på det store volumet til sørpeskredet ville ikke renna ha vært spesielt effektivt når det kun har et areal på 1 m^2 . Beregninger viser at for å sikre veien 100% for sørpeskred måtte det bygges en fangvoll på minst 12.1 m.

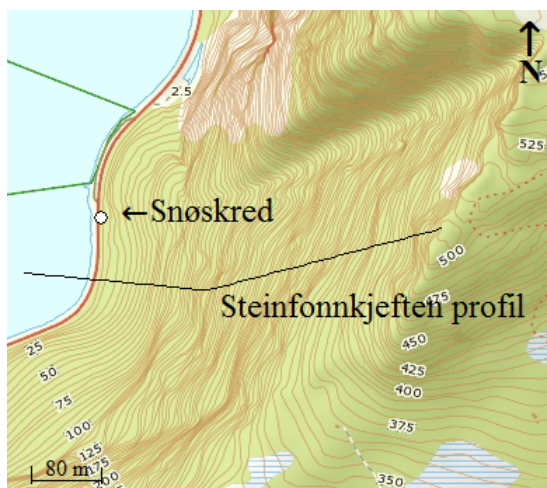


Figur 7.34: Elveløpet til Kårteigen og området rundt. Punkt 1 viser det øverste stedet der løsmasser vises i elveløpet, punkt 2 viser hvor elvebredden øker betraktelig (Flyfot fra ArcGIS, modifisert).

7.3.7 Steinfonnkjeften

Området

Figur 7.35 til 7.36 viser hvor profilet er lagt ved Steinfonnkjeften. En snøskredhendelse er registrert i 1995, det er ikke spesifisert hvor utløsningsstedet var. Store deler av området rundt Steinfonnkjeften er dekket av skog og vegetasjon. Men Figur 7.36 viser et område hvor det ikke er vegetasjon, men bart fjell. Det bare området viser en tendens til å danne en bane nedover skråningen. Dette området kan tenkes å være utløpsbanen til den registrerte skredhendelsen. Profilet er derfor lagt ved dette område. Det er ikke gjort sikringstiltak ved området.



Figur 7.35: Viser profilet ved Steinfonnkjeften og området rundt (kartutsnitt fra ArcGis)

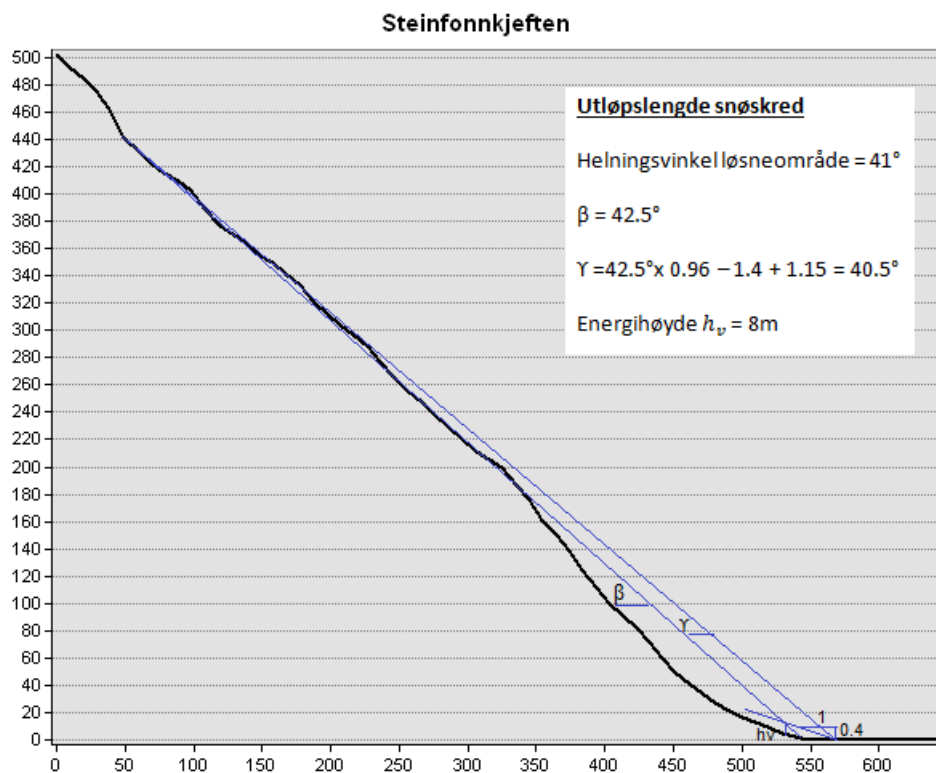


Figur 7.36: Viser flyfoto av profilet ved Steinfonnkjeften og området rundt. Mulig snøskredløp er indikert ved rød pil (flyfoto utsnitt fra ArcGis)

Beregning av utløpslengde

Beregninger av sannsynlig utløpslengde for snøskred ved elva er vist i Figur 7.37. Utløsningspunktet er satt ved øvre del av profilet med en helningsvinkel på 41° . Beregninger viser at snøskredet vil ha en utløpslengde på omtrent 40 m bakenfor veien. Energihøyden ved veien er 8 m.

Det er ikke gjort beregninger for flom- og sørpeskred fordi det ikke var slak nok helning for utløsning ved skråningen.



Figur 7.37: Beregning av sannsynlig utløpslengde og energihøyde for snøskred ved Steinfonnkjeften.

Diskusjon

Valg av profil er gjort ut ifra identifikasjon av mulig tidligere skredløp. Dette er vanskelig å bestemme med stor sikkerhet, mangel på vegetasjon ved dette området kan også skyldes erosjon eller at det er et spesielt bratt område hvor vegetasjon ikke får feste.

Det registrerte snøskredet hadde et volum på 175 m³. Som nevnt tidligere er mesteparten av skråningen dekket av skogvekst og det er få felt med bart fjell. For at et snøskred av en viss størrelse skal kunne utløses må det være en periode med spesielt mye snøfall, muligens fra en annen vindretning enn hovedretningen fra sør-vest.

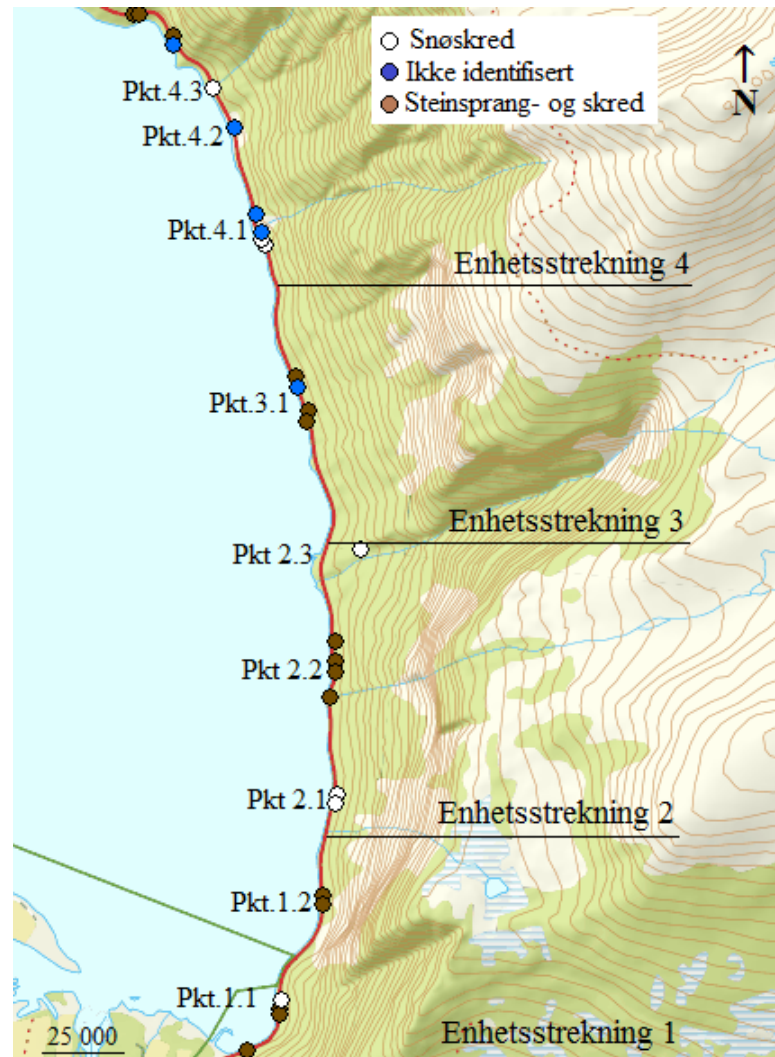
Det er for bratt ved profilet til at sørpeskred vil utløses. Sørpeskred kan tenkes å bli utløst i selve Steinfonnkjeften hvor det ikke er like bratt helningsvinkel. Dette området er også i stor grad dekket av skog. Det er ikke vannføring her. Uten tilgang til større mengder snø og vann er det usannsynlig at et sørpeskred vil utløses.

Kapittel 8

Risikoakseptkriterier for skredhendelser på vei

Risikoakseptkriterier er funnet for veistrekingen ved fv. 660 i Eresfjorden, basert på metoden beskrevet i Kapittel 1.3.6. Risikoakseptmatrisa er laget for nye vei-prosjekter. Men den kan også benyttes for eksisterende veier. Kravene som stilles til sikkerhet mot vei øker stadig og har økt siden denne veistrekingen ble bygget. Risikoakseptmatrisen kan benyttes for å lokalisere veistrekinger hvor det er høy risiko for skred i forhold til nåværende veistandard. Skredsikringstiltak kan foreslås ut ifra dette.

Årsdøgntrafikken (ÅDT) for fv. 660 langs Eresfjorden er på 750, og ligger i konsekvensklasse C. Veistrekingen består av 4 enhetsstrekinger på omtrent 1 km hver. I enhetsstrekingene er det ett eller flere skredløp som er lagt til et område med registrerte skredhendelser. Årlig nominell sannsynlighet er gitt for hvert av skredløpene basert på antall skredhendelser og når skredene forekom. Det er også gjort vurdering basert på beregning av utløpslengde og en generell vurdering av utløsningsområdet. Verdiene for den årlige nominelle sannsynligheten er gjort i samarbeid med veileder Halgeir Dahle, som har større erfaring med tallsetting av årlig nominell sannsynlighet gjennom tidligere bruk av risikoakseptanalysen (pers. komm.). Den årlige nominelle sannsynligheten for hvert av skredløpene er addert for å gi den totale årlige nominelle sannsynligheten ved hver enhetsstreking.



Figur 8.1: Viser kart over Eresfjordområdet. Veistrekningen er delt opp i 4 enhetsstrekninger, hvor skredløpene er tallfestet ut ifra beliggenhet i enhetsstrekningene (topografisk kart fra ArcMap, modifisert).

8.1 Enhetsstrekning 1

Langs enhetsstrekning 1 er det to skredløp som er knyttet opp mot registrerte skredhendelser, se Figur 8.1. Skredpunktet nederst mot sør i kartet er ikke inkludert fordi det er utløst fra fjellskjæring.

Skredløp 1.1

Det er registrert 3 skredhendelser, 2 steinskred og 1 snøskred. Området er for det meste dekket av skog og annen vegetasjon, men løse blokker er identifisert i fjellblotning i øvre del av skråningen.

Den årlige nominelle sannsynligheten er satt til $= \frac{1}{50}$

Skredløp 1.2

Det er registrert 2 steinskred ved dette området. Fjellveggen hvor skredene ble utløst er bratt og RocFall analyser viser at opp imot alle blokker som faller ut fra fjellveggen treffer på eller over veien.

Den årlige nominelle sannsynligheten er satt til $= \frac{1}{50}$

Årlig nominell sannsynlighet

Den totale årlige nominelle sannsynligheten for enhetsstrekning 1 er satt til:

$$\frac{1}{50} + \frac{1}{50} = \frac{1}{25} = \textit{klasseIII} = \frac{1}{10} \quad (8.1)$$

Med en sannsynlighet på $\frac{1}{10}$ kommer denne strekningen i gult akseptområde i risikomatriksen, som viser til tolererbar risiko, se Figur 8.2.

8.2 Enhetsstrekning 2

Langs enhetsstrekning 2 er det tre skredløp som er knyttet til registrerte skredhendelser, se Figur 8.1.

Skredløp 2.1

Det er i dette området registrert 2 skredhendelser, et snøskred og et sørpeskred. Skredene fulgte en bekk der skredmaterialet tettet opp elveløpet og gikk over veien. Skredmaterialet for sørpeskredet var mindre enn 10 m^3 , noe som er for lite til å bli inkludert i risikoanalysen. Mest sannsynlig er den andre skredhendelsen også av mindre skala, men fordi det ikke er oppgitt noen størrelse på skredet er det en viss skredfare ved området.

Den årlige nominelle sannsynligheten er satt til $= \frac{1}{100}$

Skredløp 2.2

Det er registrert 4 steinskred ved dette området. Skredene er registrert fra 2007 - 2010. Fjellveggen hvor skredene ble utløst er bratt og viser sterkt oppsprukket berg. Sannsynligheten for skred blir vurdert som relativt høy for dette området.

Den årlige nominelle sannsynligheten er satt til $= \frac{1}{10}$

Skredløp 2.3

I dette området er det registrert 1 historisk skred som gikk i 1845. Det er ikke registrert skredhendelser i nyere tid. Beregninger av utløpslengde viser at snøskred og sørpeskred kan gå over veien. På grunn av få skredhendelser blir sannsynligheten for skred vurdert som relativt lav.

Den årlige nominelle sannsynligheten er satt til $= \frac{1}{300}$

Årlig nominell sannsynlighet

Den totale årlige nominelle sannsynligheten for enhetsstrekning 2 er satt til:

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{10} + \frac{1}{300} = \frac{17}{150} = \textit{klasseII} = \frac{1}{5} \quad (8.2)$$

Med en sannsynlighet på $\frac{1}{5}$ kommer denne strekningen i rødt akseptområde i risikomatriksen, som viser til en uakseptabel strekningsrisiko, se Figur 8.2.

8.3 Enhetsstrekning 3

Enhetsstrekning 3 viser ett skredpunkt, se Figur 8.1.

Skredløp 3.1

Det er registrert 4 skredhendelser ved dette skredløpet, 3 steinskred og 1 skred som ikke er identifisert. 2 av skredhendelsene er knyttet til fjellskjæringer, disse er derfor ikke inkludert i risikoanalysen. RocFall simuleringer viser at nesten ingen steinblokker utløst i skråningen bakenfor veien treffer veien. De to andre skredhendelsene er derfor også muligens knyttet til fjellskjæringer. På grunn av usikkerhet rundt dette er en viss årlig nominell sannsynlighet inkludert.

Den årlige nominelle sannsynligheten er satt til $= \frac{1}{200}$

Årlig nominell sannsynlighet

Den totale årlige nominelle sannsynligheten for enhetsstrekning 3 er satt til:

$$\frac{1}{200} = \textit{klasseVI} \quad (8.3)$$

Denne strekningen kommer i grønt akseptområde i risikomatrisen, som viser til akseptabel risiko, se Figur 8.2.

8.4 Enhetsstrekning 4

Langs enhetsstrekning 4 befinner det seg fire skredløp knyttet til registrerte skredhendelser, se Figur 8.1.

Skredløp 4.1

Ved dette skredløpet er det registrert 4 snøskred knyttet til Djupfonna. Skredene tok sted i 1995. I 2007 ble det bygget fangvoll med magasin der elveløpet møter veien. Det er ikke registrert skredhendelser etter 2007, dette indikerer at sikrings tiltakene har vært effektive.

Siden det ikke har gått nok år siden sikringstiltakene ble bygget til å eliminere skredfaren helt er den årlige nominelle sannsynligheten satt til $= \frac{1}{300}$

Skredløp 4.2

Det er registrert 1 snøskred i 1995, knyttet til Langfonna. I 2007 ble det satt opp fangvoll og magasin ved veien. Ingen skredhendelser er registrert etter 2007.

På samme grunnlag som for skredløp 4.1 er den årlige nominelle sannsynligheten satt til $= \frac{1}{300}$

Skredløp 4.3

Ved dette skredløpet er det registrert 1 snøskred i 1994. Fangvoll ble i 2007 satt opp ved veien, ingen skredhendelser er registrert etter dette.

Også her er den årlige nominelle sannsynligheten satt til $= \frac{1}{300}$

4.4

1 sørpeskred er registrert i 2004, knyttet til elveløpet Kårteigen. Her er det ikke satt opp sikringstiltak der elveløpet møter veien. Beregninger viser at både snøskred og sørpeskred vil gå over veien. Hvis et nytt skred utløses ved Kårteigen vil det være sannsynlig at det går over veien. Dette skredløpet er vurdert som noe skredfarlig.




Den årlige nominelle sannsynligheten er satt til $= \frac{1}{50}$

Årlig nominell sannsynlighet

Den totale årlige nominelle sannsynligheten for enhetsstrekning 2 er satt til:

$$\frac{1}{300} + \frac{1}{300} + \frac{1}{300} + \frac{1}{50} = \frac{3}{100} = \textit{klasseIV} = \frac{1}{20} \quad (8.4)$$

Med en sannsynlighet på $\frac{1}{20}$ kommer denne strekningen i gult akseptområde i risikomatriksen, som viser til tolererbar strekningsrisiko, se Figur 8.2.

Årlig nominell skredansynlighet pr. enhetsstreking	I ≤ 1/2						
	II ≤ 1/5			②			
	III ≤ 1/10			①			
	IV ≤ 1/20			④			
	V ≤ 1/50						
	VI ≤ 1/100			③			
	Trafikkmengde (ÅDT)	A < 200	B 200 - <500	C 500 - <1500	D 1500- <4000	E 4000- <8000	F ≥ 8000
		 Akseptabel strekningsrisiko	 Tolererbar strekningsrisiko. Aksept avhenger av skredintensitet og kost-nytte-analyse. Akseptnivå besluttes på regionledernivå.	 Uakseptabel strekningsrisiko			

Figur 8.2: Viser kart over Eresfjordområdet. Veistrekingen er delt opp i 4 enhetsstrekinger, hvor skredløpene er tallfestet ut ifra beliggenhet i enhetsstrekingene (topografisk kart fra ArcMap, modifisert).

Kapittel 9

Diskusjon

Registrerte skredhendelser viser at det er steinsprang- og skred og snøskred som er hovedproblemet ved Eresfjorden. Det er derfor fokusert spesielt på mulig skredfare for disse typer skred. Det er totalt 8 profiler som er blitt vurdert for steinsprang- og skredfare og 7 profiler som er vurdert for flom- og sørpeskredfare og snøskredfare. Det henvises til Kapittel 6 og 7 for mer nøyaktig diskusjon av hvert av profilene. Dette kapittelet tar for seg en hoved oppsummering av programmene og beregningsmetodene som har blitt benyttet og en oppsummering av vurdert skredfare. Bruk og resultater ved risikoakseptanalysen er nærmere beskrevet og vurdert.

9.1 RocFall simuleringer

Det er vanskelig å forutsi hvor og når steinsprang- og skred vil forekomme. Variesende oppsprekking og topografi over korte avstander og et komplekst samspill mellom utløsende faktorer er noen av hovedgrunnene til dette. RocFall er en probabilistisk prosessbasert simuleringmodell som beregner den sannsynlige utløpslengden til en blokk fra et gitt utløsningspunkt. Programmet vil ikke forutsi nøyaktig hvor en blokk vil stoppe, men gir en sannsynlig utløpslengde til en blokk. En må selv oppgi hvor en blokk skal utløses, simuleringene forteller ikke hvor sannsynlig det er at en blokk faktisk løsner. RocFall programmet er et nyttig verktøy men det må foretas en vurdering på om det faktisk vil løsne blokker ved området for en fullstendig skredfarevurdering.

Det er flere usikkerhetskilder ved RocFall simuleringene benyttet i denne oppgaven:

- Topografien til profilet er en av hovedparameterne ved en RocFall simule-

ring. Profiler i oppgaven er eksportert fra en digital høydemodell (DEM) med et rutenett på 10x10 m. Dette gjør at RocFall profilene mister detaljer fra den faktiske topografien. For eksempel kan mindre hyller eller utstående områder ved fjellklippen som vil gjøre at blokker spretter og øker den kinetiske energien ikke bli inkludert i RocFall. Uren vil også mest sannsynlig være mer ujevn og ruglete enn det som kommer frem i RocFall profilene. En ruglete overflate vil bremse ned blokker. Dette er til en viss grad inkludert ved materialeegenskapene.

RocFall profilene viser en skrå veibredde, mens veien i virkeligheten er tilnærmet horisontal. Veien er også satt til å være 10 m i RocFall fordi materialeegenskapene kun kan settes ved et helt segment mellom to punkter. Segmentene som er omtrentlig horisontale er på 10 m i RocFall på grunn av oppløsningen til DEM-en. Veien er i virkeligheten på 7 m. Dette gir noe usikkerhet i målingene av hvor mange blokker som treffer veien i simuleringene.

- Den andre hovedparameteren i en RocFall analyse er materialeegenskapene. Materialeegenskapene er definert av en normal restitusjonskoeffisient og en tangentiell restitusjonskoeffisient. Disse to koeffisientene angir hvor mye av hastigheten (energien) til en blokk som dempes i et treff med underlaget. I oppgaven er det benyttet restitusjonskoeffisienter som er verifiserte for ulike materialer ved en fjordvegg i Sogn og Fjordane. Her er en materialeegenskap gitt for ur med skog. Store deler av uren i Eresfjorden er dekket av skog. Skog påvirker i stor grad utløpslengden til blokker fordi det bremser ned og i enkelte tilfeller stopper blokkene. At dette er inkludert i analysen gir derfor mindre usikkerhet ved simuleringene. Men det er mest sannsynlig forskjeller ved fjellveggen i Sogn og Fjordane og fjellveggen i Eresfjorden. For eksempel vil type og størrelse på trærne og hvor tett de vokser være forskjellig. Dette vil også gjelde for de andre materialeegenskapene som er benyttet. Uten å ha verifisert at materialeegenskapene reflekterer den faktiske situasjonen ved Eresfjorden vil det være en del usikkerhet knyttet til materialeegenskapene.
- Valg av utløsningspunkt påvirker resultatene. Blokkene viser forskjellig utløpslengde ut ifra hvor de er plassert ved profilet. To til tre utløsningspunkter er inkludert ved hvert profil for å se på hvordan utløpslengden varierer ut ifra hvor blokkene er plassert. Områdene mellom punktene som er analysert er det derfor ikke gitt noe informasjon om. Størrelsen på blokkene påvirker også resultatene. Tre forskjellige størrelser er inkludert for å se hvordan utløpslengden varierer med hensyn til dette. Simuleringene viser liten variasjon av utløpslengden

for de forskjellige størrelsene, derfor er valget av blokkstørrelse sett på som en mindre usikkerhet.

- Stor usikkerhet er knyttet til selve RocFall programmet. Det baseres på et to-dimensjonalt profil mens den reelle situasjonen er en tredimensjonal skråning. Det tas dermed ikke hensyn til at blokker som regel ikke vil forholde seg til en rett vertikal linje langs utløpsbanen, men også forandre retning horisontalt nedover skråningen. Blokkenes utløpsbane og utløpslengde vil variere i stor grad i forhold til RocFall simuleringene.

Enkelte hovedkonklusjoner kan trekkes fra simuleringer av de 8 RocFall profilene:

- Høyden og helningsvinkelen til skråningen har stor påvirkning på utløpslengden til blokkene. Blokker som har utløsningspunkt øverst i profilet har større potensiell energi og vil ved utløsning få stor kinetisk energi nedover profilet. Simuleringer viser at hvis blokker utløses ved en bratt klippe, med en helningsvinkel på 80° - 90° , vil blokkene bevege seg ved fritt fall og få høy kinetisk energi og dermed lengre utløpslengder. Hvis en sammenlikner profil 3 og 6 ser en hvor stor effekt skråningsvinkelen utgjør. I profil 3 er det en ca. 200 m høy fjellvegg med gjennomsnittlig skråningsvinkel på 80° og ur de nederste 200 m med 35° helning. Med et utløsningspunkt øverst i fjellklippen er det 40% av blokkene som treffer veien. I profil 6 er det en ca 500 m høy fjellskråning med gjennomsnittlig skråningsvinkel på 50° til 70° og ur de nederste 150 m med 30° helning. Med et utløsningspunkt i øverst del av fjellskråningen vil ingen av blokkene treffe veien. Det er høyere fjellklippe og lavere høyde på uren ved profil 6, allikevel er utløpslengden kortere enn ved profil 3. Siden fjellklippen er brattere ved profil 3 enn ved profil 6 indikeres det at helningsvinkelen ved klippeområdet er avgjørende for hvor lang utløpslengden en blokk får.
- Ur i nedre del av profilet fungerer som en viktig bremsende faktor for blokkene. Dette er fordi den ujevne overflaten gir økt friksjon mellom underlaget og blokken. Uren har som regel en skråningsvinkel på 30° - 35° , der blokkene vil bevege seg ved rulling langs profilet. Blokkene mister energi ved hvert treffpunkt med bakken slik at rulling vil føre til mange treffpunkt og at blokkene hurtig mister sin kinetiske energi. Størsteparten av ura er også dekket av skog, noe som bremser blokkene.

- De tre blokkstørrelsene som er inkludert i simuleringene viser relativt lik utløpslengde. Men de største blokkene viser mye høyere energinivåer og spretthøyde enn de mindre blokkene. I profil 1 er det ingen ur som bremses ned blokkene langs utløpsbanen, her viser blokkene en spretthøyde på over 100 m etter kontaktpunkt i nedre del av profilet. Dette virker noe urealistisk.
- På grunn av den høye kinetiske energien har fanggjerdene som er inkludert i simuleringer ingen effekt for de større blokkene. Energinivåene ved de fleste fanggjerdene er mye høyere enn den øverste kapasiteten til et fanggjerdene på 5000 kJ. Fanggjerdene er som regel mye mer effektive for mindre blokkstørrelser. Dette varierer ut ifra hvor stor spretthøyde blokkene har. Fangvoller som er inkludert i simuleringer viser generelt sett høyere effekt enn fanggjerdene. Dette er fordi de er laget som en del av profilet og dermed har 'uendelig' kapasitet. Dette stemmer i realiteten ikke, en fangvoll vil brytes opp ved for store energier. Det finnes per idag ingen gode metoder for å regne ut hvor store energier en voll vil kunne motstå, men det er grunn til å tro at fangvollene vil kunne stoppe de største blokkene som er inkludert i simuleringene.

9.2 α - β modellen og energilinje modellen

Det er også vanskelig å forutsi når og hvor snøskred og flom- og sørpeskred vil forekomme. Men tidligere skredhendelser i Eresfjorden er knyttet til elveløp langs veistrekningen, dette indikerer at det er elveløpene som fungerer som skredløp i dette området. Det var ikke mulig å finne frekvensen til skredene fordi skredhendelsene var spredt tilfeldig over perioden fra 1994 til 2012. Men som regel vil skredene forekomme hvis det har blitt avsatt mye snø og gjerne i kombinasjon med høy vannføring i elvene. α - β modellen og energilinje modellen er beregningsmetoder for sannsynlige utløpslengder og kan med visse modifikasjoner benyttes både for snøskred og flom- og sørpeskred. Begge modellene er empirisk basert slik at det er en sannsynlig utløpslengde som blir beregnet på grunnlag av vurderte utløpslengder ved flere andre skred. Modellene er nyttige verktøy men det må foretas en vurdering på om det faktisk vil forekomme flom-, sørpe- eller snøskred for en fullstendig skrefarevurdering.

Det er flere usikkerhetskilder ved α - β modellen og energilinje modellen:

- α - β modellen er en topografisk modell, derfor er det topografien ved profilet den viktigste faktoren. Profilene er eksportert fra en digital høydemodell

(DEM) med et rutenett på 10x10 m. Dette gjør at profilene mister detaljer fra den faktiske topografien. Dette gir usikkerhet angående valg av utløsningsområde og 10° vinkel som igjen gir usikkerhet ved utløpslengden.

- I ArcMap er profilene dannet ved å trekke linjer langs elveløpene. Siden elveløp som regel ikke følger en rett linje men vil sirkle seg nedover skråningen var det ikke mulig å danne en rett linje som kunne representere hele elveløpet. Som en kan se i Figur 7.1 er profilene dannet ved flere rette linjer som står skrått i forhold til hverandre. Profilene danner en rett linje av dette. Dermed vil ikke retningsendringer i skredløpet og nedbremsing som følge av dette bli inkludert i analysene. Den beregnede utløpslengden blir derfor konservativ.
- Ved α - β beregninger må en selv velge utløsningspunkt. Dette punktet er valgt på grunnlag av hvilken helning det som oftest utløses skred. Flere av profilene viser veldig vekslende topografi, der helningsvinkelen varierer over korte avstander, så utløsningspunktet var ofte vanskelig å bestemme. Utløpslengden viser store variasjoner ut ifra hvor utløsningspunktet er satt. Beregninger av utløpslengder viser kun til det satte utløsningspunktet, hvis et skred utløses andre steder ved profilet vil det føre til andre utløpslengder.
- De fleste profilene viser vekslende topografi og det er flere små platå og knoller som er lokalisert langs skredløpet. Dette vil i realiteten føre til nedbremsing av skredenergien, men er ikke inkludert i beregningsmodellen. Utløpslengden blir derfor konservativ.
- Energilinjemodellen er benyttet for å finne energihøyden rett bak veien eller ved en fangvoll. Selv om det energihøyden kan bli benyttet til beregning av volldimensjoner, se Kapittel 3.5, er det også nevnt at en må bruke skjønn ved dimensjonering. Det er ikke oppført noen beregningsmetoder for å benytte seg av energihøyden ved dimensjonering av magasin eller bru under vei. Energilinjen varierer i stor grad ved de forskjellige profilene og det er stor usikkerhet knyttet til bruk av denne metoden for vurdering av sikringstiltak.
- Snøskredberegninger ved Djupfonna og flom- og sørpeskredberegninger ved Kårteigen viser en utløpslengde som går over veien, men energihøyden rett ved veien er på 0 meter. Det er ikke realistisk at et skred som går over veien ikke vil ha en energihøyde ved veien. Dette skyldes mest sannsynlig den lave oppløsningen på DEM-en. Skråningen rett bak veien viser ofte en brattere helning enn det som er observert ved feltarbeid.

Det kan trekkes noen hovedkonklusjoner for de 7 profilene hvor det er gjort beregninger ved α - β modellen og energilinje modellen:

- Det er rimelig godt samsvar mellom utløpslengde og energihøyde ved voll eller vei, dette gjelder både for beregninger av snøskred og flom- og sørpeskred. Flere av profilene viser en utløpslengde rett over veien, her har energilinjen en høyde på omtrent 1-2 meter. Noen profiler viser en utløpslengde på 40-50 meter over veien, her er energihøyden på rundt 10 meter. Langfonna- profilet viste en utløpslengde på 140 meter over vei ved flom- og sørpeskred. Her var energihøyden på 20.8m. Dette indikerer at energihøyden øker ved økende utløpslengde.
- Beregninger av snøskred og sørpe- og flomskred ved samme profil viser veldig forskjellig utløpslengder. Ved de fleste profilene har snøskred en utløpslengde rett over veien mens utløpslengden for flom- og sørpeskred er på noen meter opp til 140 meter over veien. Siden utløpslengden generelt sett er lengre for flom- og sørpeskred vil disse typer skred ha større hastighet og da påføre større skader på veien enn ved snøskred. Ved elva uten navn og Kårteigen er det snøskred som har størst utløpslengde, her vil denne type skred påføre størst skade ved veien.

9.3 Skredfare

9.3.1 Steinsprang og steinskred

Det er gjort en vurdering av skredfaren ved fjellklippene langs veistrekningen. Vurderingen er basert på hvor stor prosentandel av blokkene som traff veien i simuleringene, sammen med tidligere skredhendelser og hvor oppsprukket berget er ved området. Skredfaren gir kun indikasjoner på hvor det er mer sannsynlig at et skred vil forekomme. Skredfaren er vurdert for hvert profil:

- Ved profil 1 treffer opp imot alle blokkene veien ved alle de 3 valgte utløsningspunktene. Hvis en blokk løsner i dette området vil den mest sannsynlig treffe veien. Ved profil 2 vil omtrent alle blokkene som utløses fra øvre del i profilet treffe veien. Blokker som løsner fra lavere områder blir stoppet av uren i nedre del av profilet og treffer ikke veien. Det er to registrerte skredhendelser mellom disse to profilene, fra 2009 og 2010, eksakt utløsningspunkt er ikke oppgitt. Dette indikerer noe skredfare ved området. Det er ikke lokalisert enkelte løse

blokker ved fjellveggen i området. Simuleringer viser at en fangvoll vil være det mest effektive sikringstiltaket ved begge profilene. En fangvoll ved veien vil være opp imot 90% effektiv ved profil 1, men kun 50% effektiv ved profil 2. Hvis det sprenges ut et magasin i uren bak fangvollen i profil 2 vil sikringstiltaket mest sannsynlig få økt effektivitet.

- Ved profil 3 treffer omtrent 40% av blokkene veien når de utløses fra øvre del av profilet. Fjellklippen ved dette området er oppsprukket, dette kan føre til at blokker utløses. Men det er ikke registrert noen skredhendelser i dette området, så skredfaren blir vurdert som lav.
- I området rundt profil 4 er det registrert 4 skredhendelser fra de siste årene. Simuleringer viser en lav prosentandel av blokker som treffer veien. Men RocFall simulerer kun enkeltblokker, og ikke steinskred hvor det flere blokker i samspill. På grunn av at det er registrert flere skredhendelser de siste årene og fordi fjellklippen viser sterkt oppsprukket berg blir skredfaren vurdert som høy for dette området. Et sikringstiltak lokalisert rett før veien er å anbefale, fordi den vil fange opp blokker som løsner fra alle områder ved fjellveggen. Simuleringer med fangvoll rett før veien viser størst effekt, fangvollen stopper opp imot 85% av blokkene. Fordi det er lokalisert løse blokker i utløsningsområdet til steinskredet som gikk i 2007 bør det også settes opp et wirenett som dekker utløsningsområdet.
- Profil 5, 6 og 7 er satt ved et område hvor skråningshelningen er lavere enn ved profil 1 til 4. Ved profil 5 til 7 er det liten til ingen andel av blokkene som treffer veien. Det er registrert flere skredhendelser men samtlige er tolket til å være knyttet til veiskjæringer langs veien. Det er ikke sett på skredfare ved veiskjæringer i denne oppgaven. Fordi det er registrert flere skredhendelser ved veiskjæringer bør dette ses nærmere på ved fremtidig arbeid. Skredfaren er vurdert til å være lav ved disse profilene.
- Simuleringer i profil 8 viser at ingen av blokkene treffer veien. Allikevel er det registrert to skredhendelser. Det er mulig at blokker har blitt utløst ved et annet område i Steinfonnkjeften. Utløsningspunkt er mest sannsynlig ved oppsprukkete fjellblotinger i øverste del av skråningen. Fordi det var bratt i området var det kun mulig å inspisere fjellblotningen som lå lengst vekk fra veien. Det bør gjøres feltarbeid ved fjellblotningene som befinner seg nærmere veien for å vurdere hvilke sikringstiltak som vil være mest effektive. Hvis det finnes enkelte løse blokker kan en sette opp bolter. Viser en større del av

fjellblotningen tegn til å være ustabil kan wirenett benyttes for å dekke hele området.

9.3.2 Snøskred, flomskred og sørpeskred

Utløpslengden er beregnet til å gå over veien ved samtlige profiler både ved snøskred og flom- og sørpeskred. Men flere av profilene er vurdert som lite skredfarlige. Skredfaren ikke har blitt beregnet eksakt men vurdert ut ifra beliggenheten til elvene og registrerte skredhendelser. Disse vurderingene viser dermed til noe usikkerhet, og skred kan forekomme ved områder som er vurdert som lite skredfarlige.

Skredfaren er vurdert for hvert av profilene:

- Ved elvene Driva og Strandelva er det ikke registrert noen skredhendelser, utenom et historisk snøskred i 1842 som ble utløst i området rundt Strandelva. Selv om et mulig skred er beregnet til å gå over veien blir ikke disse to elvene vurdert som skredfarlige.
- Ved elvene Djupfonna, Langfonna og den ikke navngitte elva er det registrert skredhendelser som utløstes i 1994 og 1995. Der disse tre elvene møter veien er det satt opp fangvoll og magasin. Sikringstiltakene ble bygget i 2007, etter dette er det ikke blitt registrert skredhendelser ved noen av elvene. Det er vokset opp busker og mindre trær i magasinet knyttet til Djupfonna. Dette indikerer at det ikke har forekommet skred siden det ble satt opp sikringstiltak. I Langfonna og den ikke navngitte elva er det avsatt skredmateriale i magasinene. Siden det ikke er registrert skredhendelser på veien tyder dette på at sikringstiltakene har vært 100% effektive. Skredfaren på vei blir vurdert som liten for disse elvene.
- Ved Steinfonnkjeften er det registrert en skredhendelse i 1994. Det var ikke mulig å gjøre beregninger for sørpeskred. Snøskredberegninger viste en utløpslengde på omtrent 40 meter etter veien. Steinfonnkjeften viste ikke nylige tegn på vannføring, og området var for det meste dekket av vegetasjon. For at skred skal kunne utløses med stort nok volum til å treffe veien vil det måtte forekomme en periode med spesielt stor nedbørsmengde.
- I elva Kårteigen er det registrert et sørpeskred i 2004. Her er det kun en liten renne på 1x1 m som går under veien. Elveløpet ligger omtrent 1 meter under veien. Hvis det skulle forekomme et nytt skred vil dette mest sannsynlig også bygge seg opp over veien og føre til skader på vei og i verste fall

trafikanter på veien. Det er vanskelig å si noe om når et nytt skred kan forekomme ut ifra kun en registrert skredhendelse. Men Kårteigen blir vurdert som noe skredfarlig. Det anbefales å enten bygge en større bru under veien for å lede eventuelle skredmasser vekk fra veien, eller å sette opp en fangvoll for å stoppe skredmassene i området før elva treffer veien. Energihøyden rett ved veien for flom- og sørpeskred er beregnet til 0 m, dette er mest sannsynlig på grunn av for dårlig oppløsning på DEM-en. Energihøyden ved snøskred er på 4.5 m, for å sikre veien tilnærmet 100% med en fangvoll vil minimum nødvendig høyde etter dimensjoneringskavene være 7.5 m. Dette er en relativt stor høyde på en voll. En fangvoll på omtrent 3 til 4 m er anbefalt som en realistisk fangvollhøyde.

9.4 Sikringstiltak

Sikringstiltak er vurdert for hvert enkelt av skredprofilene som viser til noe skredfare. Både profilene og risikoanalysen viser at det flere skredløp langs veistrekningen som viser til noe til større skredfare. For å eliminere skredfare helt er det mulig å bygge veien ut i sjøen. RocFall analyser viser at ved de fleste steder med steinsprangfare vil blokkene ha en utløpslengde forbi veien og ut i vannet. Derfor vil utbygging av veien ut i sjøen ikke gi en god sikringseffekt, men kan i verste fall føre til større skredfare. Dette alternativet anbefales derfor ikke.

Det er også mulig å bygge veien inn i berget som en tunnel. Utbygging av tunnel er kostbart og er en slags siste utvei for veistrekn timer med gjennomgående høy skredfare. En annen faktor som tas med i betraktningen er at lokalbefolkningen i Eresfjorden ikke ønsker tunnel langs denne veistrekningen, tross i at det er visshet om fare for skred på vei. Veistrekningen er et turistmål, den ligger flott til med utsikt over Eresfjorden og fjellene rundt. I denne oppgaven er det enkelte områder som er vurdert som skredfarlige, men det er også enkelte veilengder som ikke viser til noe eller til liten skredfare. Det anbefales å rette sikringstiltak mot spesifikke skredløp som viser til større skredfare.

9.5 Risikoakseptanalyse

Risikoakseptanalysen kan være et nyttig verktøy for å lokalisere veistrekn timer som viser høy risiko for skred. Risiko for skred blir satt opp mot konsekvens i en matrise som gir enten akseptabel, tolererbar eller uakseptabel risikoklasse for skred på vei.

I denne oppgaven er den årlige nominelle sannsynligheten basert på registrerte skredhendelser, beregningsmetoder for utløpslengde ved forskjellige typer skred og en generell vurdering av skredområdet. Disse verdiene er derfor knyttet opp mot endel usikkerhet.

Veistrekningen er delt inn i 4 enhetsstrekninger. Risikoklassene som enhetsstrekningene er satt i viser godt samsvar med områder langs veistrekningen som er vurdert som skredfarlige ved alfa - beta modellen og RocFall analyser.

De fire enhetsstrekningene er satt i følgende risikoklasser:

- Enhetsstrekning 1 viser tolererbar risiko. Aksept avhenger av skredintensitet og kost-nytte-analyse. De to skredløpene viser begge til noe skredfare.
- Enhetsstrekning 2 ligger i en risikoklasse som viser til uakseptabel risiko. Det er skredløp 2.2 som viser til størst skredfare, og som gjør at veistrekningen gir uakseptabel risiko. Videre analyse av dette området anbefales. Forslag til sikringstiltak er beskrevet under diskusjon i Kapittel 6.3.4 og i diskusjonsdelen under RocFall simuleringer - skredfare.
- Enhetsstrekning 3 viser til akseptabel risiko. I følge risikoakseptanalysen er det ikke nødvendig med sikringstiltak ved denne veistrekningen.
- Enhetsstrekning 4 er satt i en risikoklasse med tolererbar risiko. Aksept avhenger av skredintensitet og kost-nytte-analyse. Det er elveløpet i Kårteigen som viser til størst risiko for skred på vei. Sikringstiltak anbefales ved denne elven.

Kapittel 10

Konklusjon

RocFall simuleringer og α - β modellen er benyttet for beregning av sannsynlig utløpslengde til henholdsvis steinsprang og snøskred, flomskred og sørpeskred. Begge metodene viser til flere usikkerhetsfaktorer. De mest sentrale er at metodene baseres på et todimensjonalt profil mens den reelle situasjonen er en tredimensjonal skråning. Profilene er eksportert fra en digital høydemodell (DEM) med et rutenett på 10x10 m. Dette gjør at mindre detaljer ved skråningsprofilen ikke blir inkludert i analysene. Allikevel er metodene nyttige verktøy for vurdering av skredfare ved et område.

8 profiler er analysert for steinsprang og steinskred. Ved profil 5,6 og 7 er risikoen for skred vurdert som lav. Profil 1, 2, 3 og 8 er vurdert som noe skredfarlige. Simuleringer av sikringstiltak viser at det mest effektive sikringstiltaket ved samtlige profiler er en fangvoll ved veien. Anbefalt høyde på vollen varierer for profilene. Profil 4 er vurdert som skredfarlig. Området rundt profilet er knyttet til flere skredhendelser. Det anbefales fangvoll ved veien og et wirenett for å dekke løsneområdet til et utløst skred, hvor det er lokalisert løse blokker.

Profiler av 7 elveløp er analysert for snøskred og flom- og sørpeskred. Det er utført sikringstiltak ved tre av elveløpene. Beregning av utløpslengde og utregning av hastighetshøyde viser at effekten til sikringstiltakene er god. De fleste elveløpene viser til lav skredfare, med unntak av Kårteigen hvor skredfaren er vurdert som noe høyere. Her er det ikke gjort noen sikringstiltak. Hvis et nytt skred forekommer vil det mest sannsynlig bygge seg opp og over veien.

Risikoakseptkriterier er benyttet for en samlet vurdering av skred på vei. Vestrekningen er delt opp i 4 enhetsstrekninger. Enhetsstrekning 4 er satt i en risikoklasse med tolererbar risiko. Enhetsstrekning 1 og 4 viser tolererbar risiko. Enhetsstrekning 2 viser til uakseptabel risiko.

Bibliografi

- Aas, P. (2012). *Vurdering av sikringstiltak mot snøskred*. Masteroppgave, NTNU.
- Bargel, T. H. (2013). *Forebygging av skredfare i Norge - Jordskred og flomskred*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Bargel, T. H., Fergus, s. T., Devoli, G., Orvedal, K., Peereboom, I., and Øydvin, E. K. (2011). *Plan for skredfarekartlegging - Delrapport jordskred og flomskred*. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.
- Bell, F. G. (2007). *Engineering geology*. Elsevier Ltd., Oxford, UK, second edition.
- Berger, M. S., Busterud, H. E., Wold, K., and Aurlien, H. (2012). *Vegen og vi - nr.01*. Statens vegvesen, Oslo.
- Bjordal, H. (2011). *Sikring av veger mot steinscred*. Statens vegvesen, vegdirektoratet rapport nr.32.
- Carstens, H. (2011). *Geovegen - forvitring*. Tilgjengelig ved: <http://www.geoportalen.no/geofunn/funnene/geofunn-ge/>, Hentet: 2013-15-10.
- Devoli, G., Eikenæs, O., Taurisano, A., Hermanns, R., Fisher, L., Oppikofer, T., and Bunkholt, H. (2011). *Plan for skredfareplanlegging - Delrapport steinsprang, steinscred og fjellskred*. Norges vassdrags- og energidirektorat, Rapport nr 15/2011, Oslo.
- Dorren, L. K. (2003). *A review of rockfall mechanics and modelling approaches*. Institute of Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Universiteit van Amsterdam.
- Duklet, H. (2013). *Eksfoliasjon - avskalning*. Tilgjengelig ved: http://www.steinkjer-kommune.net/eggevandring/byahalla/index.php?art_id=802, Hentet: 2013-10-15.

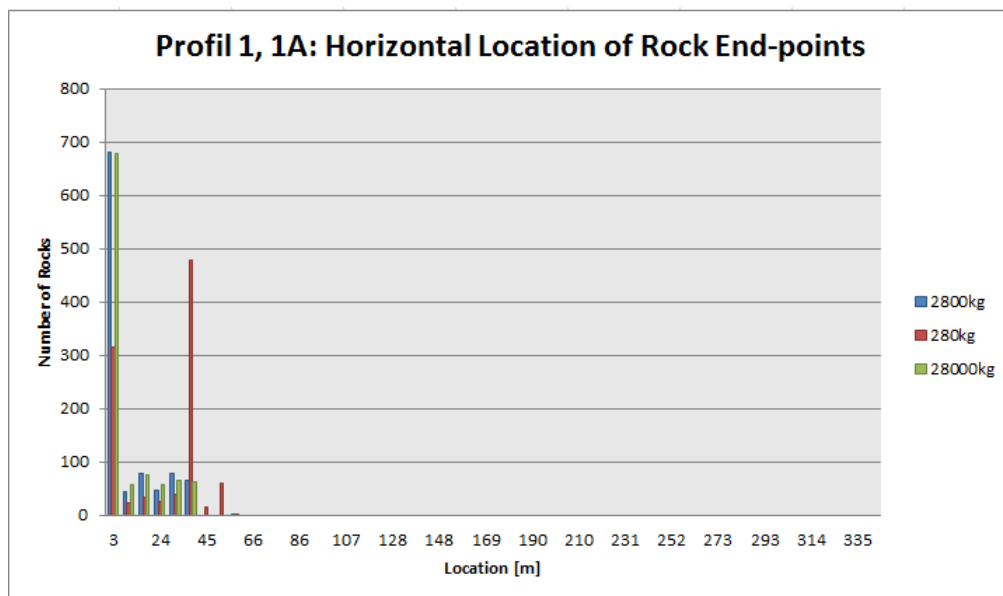
- Eidsmo, J. A. (2013). *Geo*. Tilgjengelig ved: http://web2.gyldendal.no/undervisning/felles/pixdir20/?archive=geo&menuitem=menu_4&re
Hentet: 2013-09-22.
- Follestad, B. A. (1994). *Kvartærgeologisk kart {ERESFJORD} 13202,1:50 000*.
Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>, hentet: 2013-09-30.
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, A., Sundby, S., Vas-skog, K., and Ådlandsvik, B. (2009). *Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing*. Norsk klimasenter, Oslo.
- Harstveit, K. (2012). *Vinden som blåste ifjor - Hvor sterk var Dagmar?* Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.
- Håland, G. (2011). *Vurdering av sikringstiltak mot snøskred i regi av statens vegvesen, Region Nord*. NTNU - Institutt for geologi og bergteknikk, Trondheim.
- Høstmark, E. (2010). *Steiner raste ut i vege*. Tilgjengelig ved: <http://www.driva.no/nyheter/article220595.ece>, Hentet: 2013-10-15.
- Klemsdal, T. (2005). *Naturmiljø i Köppens klimasoner*. Tilgjengelig ved: <http://www.uio.no/studier/emner/matnat/geofag/GEO1010/h07/undervisningsmateriale/na>
2013 – 09 – 25.
- Lied, K. and Kristensen, K. (2003). *Snøskred - håndbok om snøskred*. Vett og viten AS, Oslo.
- Loe Welde, O. B. and Brunvoll, y. (2012). *tilgjengelig ved: http://www.rbnnett.no/lokal/nesset/article413470.ece*. Hentet 01.10.2013.
- Natterøy, A. (2012). *Vurdering av fare for steinskred*. NTNU - Institutt for geologi og bergteknikk, Trondheim.
- Nilsen, B. and Broch, E. (2009). *Ingeniørgeologi - berg. Grunnkurskompendium*. Tapir Akademisk Forlag, Trondheim.
- Nilsen, M. W. (2008). *Modelling of rockfall runout range*. University of Oslo, Oslo.
- Norem, H. (2011). *Veger og snøskred - håndbok om sikring av vegger som er utsatt for snøskred*. Statens vegvesen, Håndbok 283, høringsutgave.

- Norem, H., Bjordal, H., Larsen, J. O., and Dahle, H. (2012). *Forslag til risikoakseptkriterier for skredhendelser på vei*. Statens vegvesen, Region midt, Molde.
- Norem, H. and Sandersen, F. (2011). *Flom- og sørpeskred - Håndbok om sikring av veier som er utsatt for vannrelaterte skred*. Statens vegvesen, Håndbok 284, høringsutgave.
- Pers.Komm. (2013a). Wahlstrøm, Harald, Eresfjorden.
- Pers.Komm. (2013b). Dahle, Halgeir, Molde, Eresfjorden.
- Prestvik, T. (2001). *Petrologi og geokjemi*. Vett og viten AS, Trondheim.
- RocScience (2013). *RocFall tutorial*. Tilgjengelig ved: <http://www.roscience.com/products/12/RocFall> og i RocFall programmet.
- Sandven, R., Vik, A., Rønning, S., Tørum, E., Christensen, S., and Gylland, A. (2012). *Naturfareprosjektet: Detektering av kvikkleire fra ulike sonderingsmetoder*. Norges vassdrags- og energidirektorat i samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket.
- Schanche, S. (2011). *Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Sintef (2013). *Materialdata for naturstein. Typiske verdier*. Tilgjengelig ved: http://www.sintef.no/upload/Teknologi_og_samfunn/Berg%20og%20geoteknikk/Lister/Typiske%20ma
Hentet: 22.11.2013.
- St George, D. j. and Orense, D. R. (2012). *Civil 722 - Slope engineering*. Department of Civil and Environmental Engineering, Auckland.
- Tjelle, S. (2007a). *Bil unngikk nytt steinras nær Eresfjorden*. Tilgjengelig ved: <http://www.driva.no/nyheter/article99453.ece>, Hentet: 2013-10-15.
- Tjelle, S. (2007b). *Håper å unngå tunnel i Eresfjord*. Tilgjengelig ved: <http://www.driva.no/nyheter/article99487.ece>, Hentet: 2013-10-15.
- Tjelle, S. (2007c). *Store steinblokker sperret vegen*. Tilgjengelig ved: <http://www.driva.no/nyheter/article99439.ece>, Hentet: 2013-10-15.
- Tveten, Lutro, and Thorsnes (1998). *Berggrunnen Ålesund NGU, 1:25000*. Tilgjengelig ved: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>, hentet: 2013-09-30.

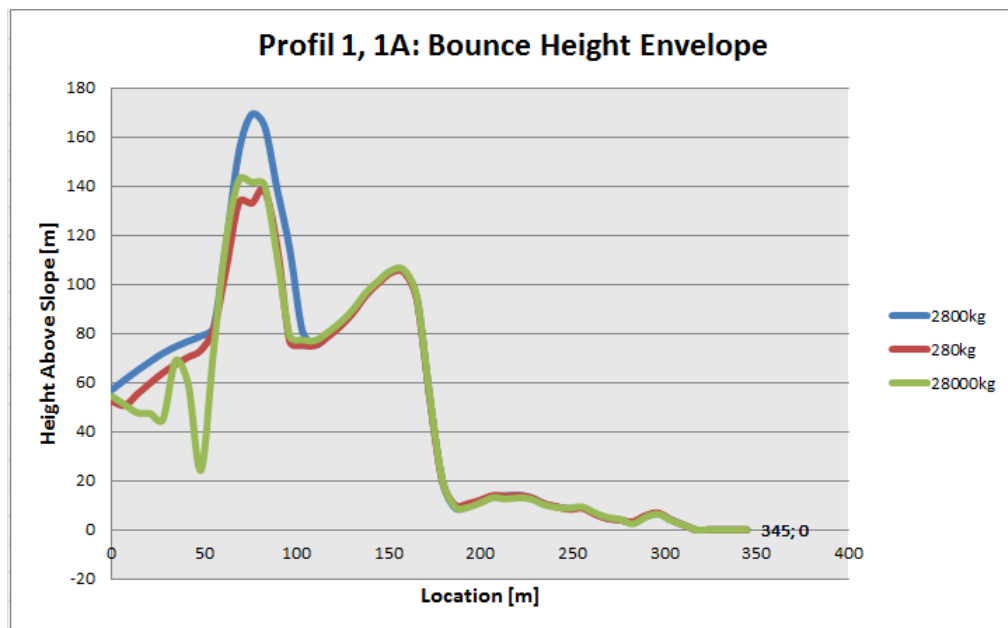
Wyllie, D. and Mah, C. W. (2001). *Rock Slope Engineering - Civil and mining*. Spon Press Taylor & Francis Group, 4th.edition edition.

Tillegg A

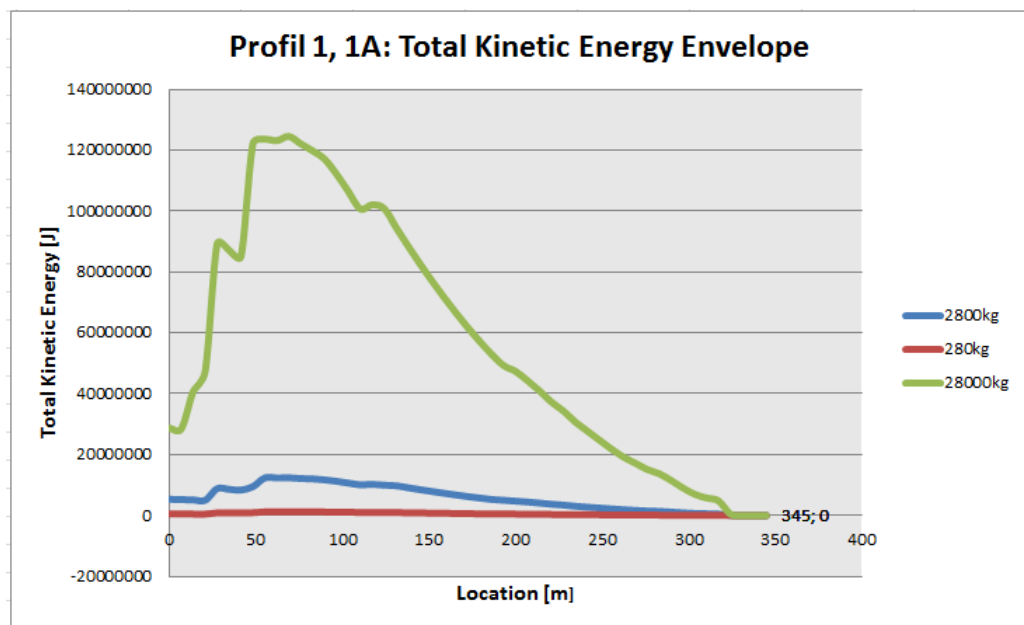
Vedlegg



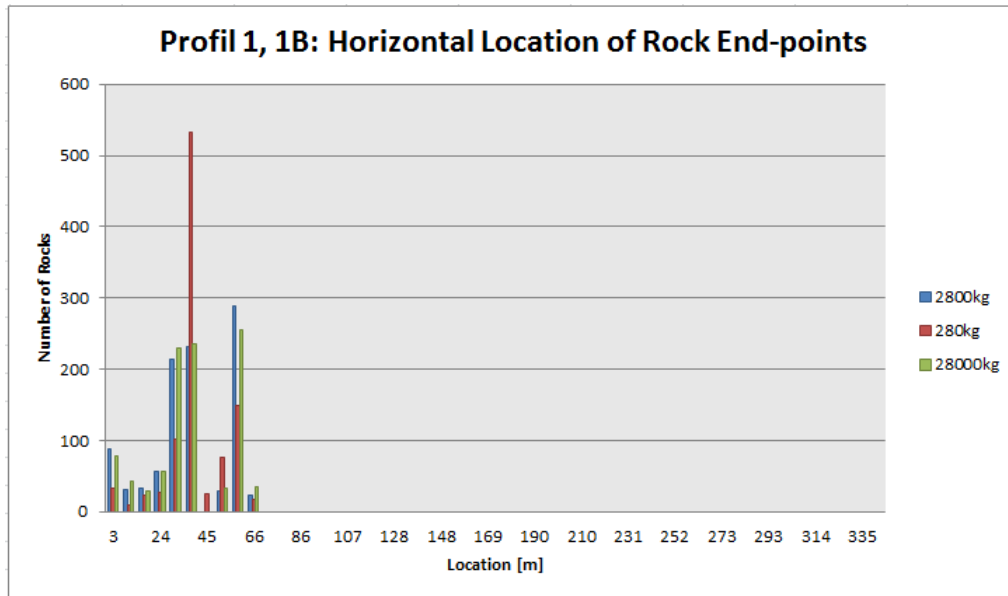
Figur A.1: Punkt 1A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



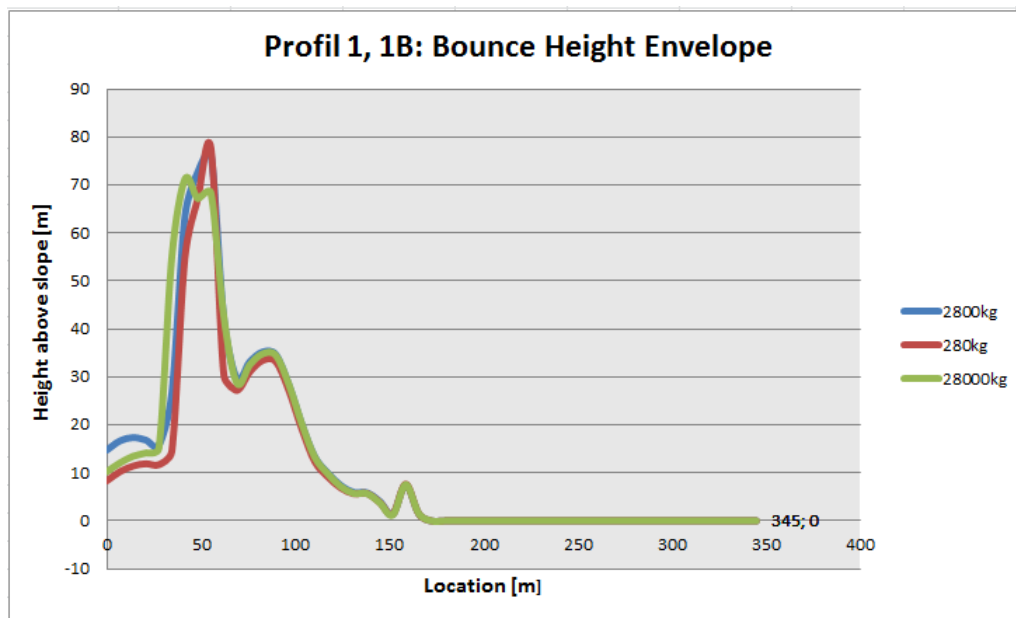
Figur A.2: Punkt 1A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



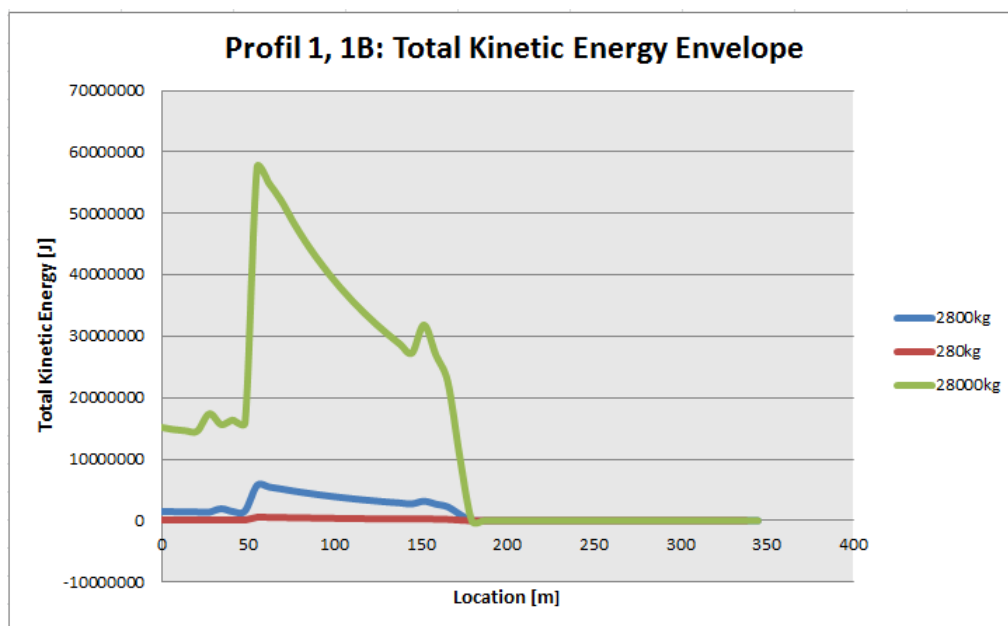
Figur A.3: Punkt 1A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



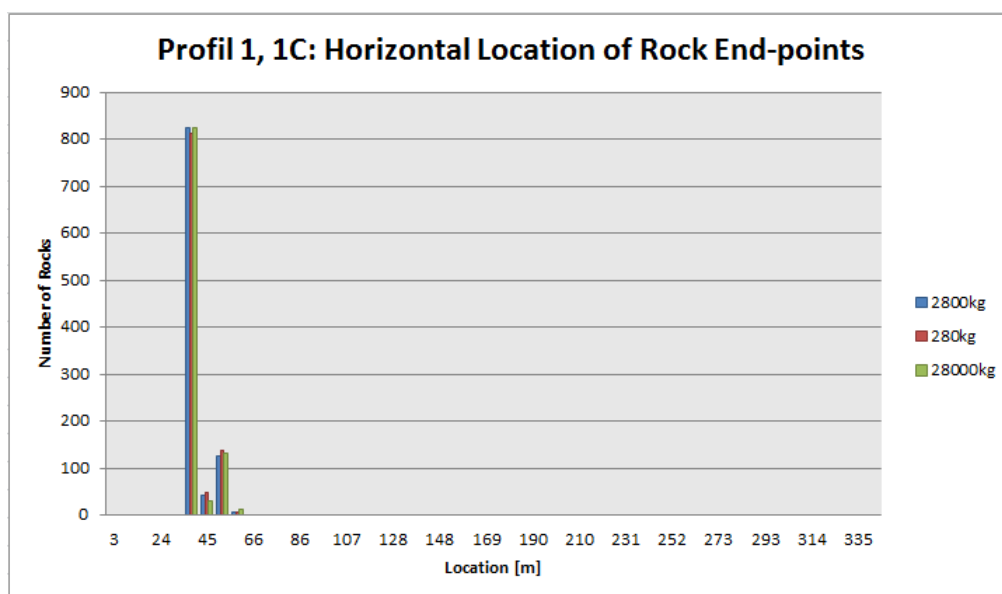
Figur A.4: Punkt 1B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 og 49m.



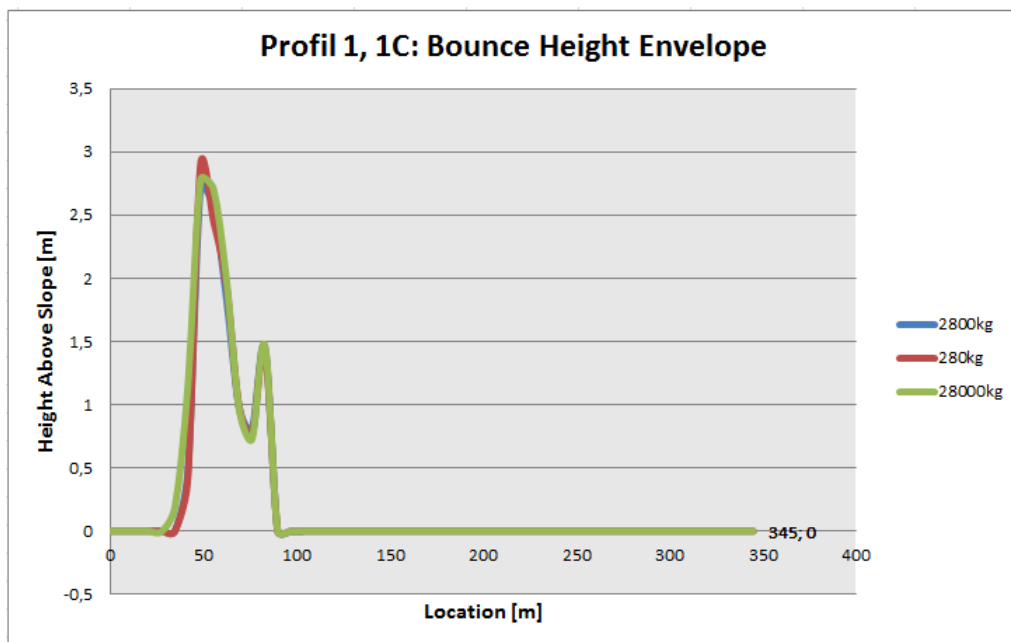
Figur A.5: Punkt 1B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 og 49m.



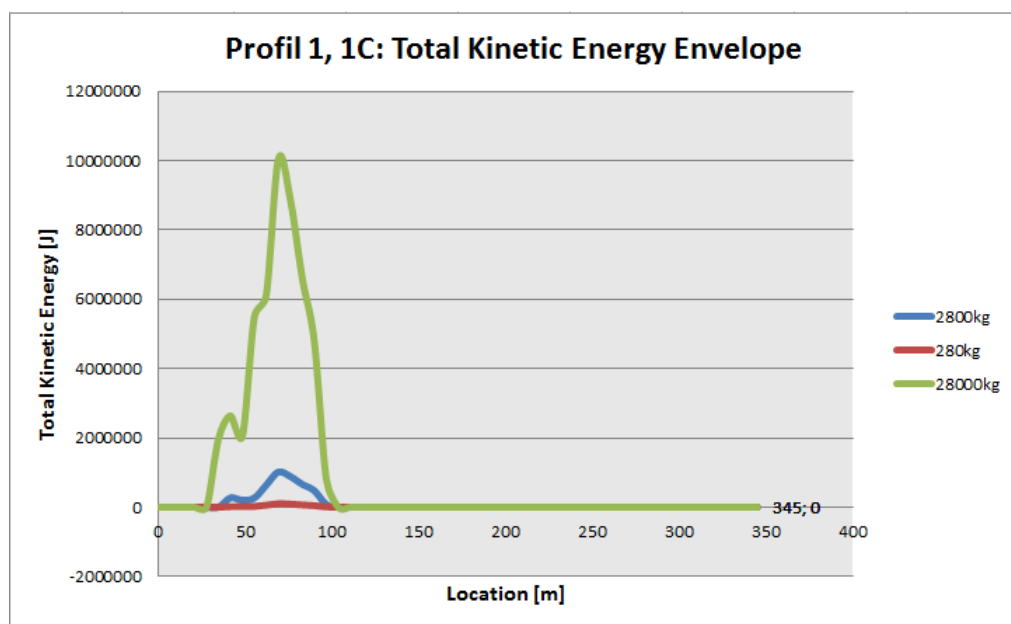
Figur A.6: Punkt 1B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



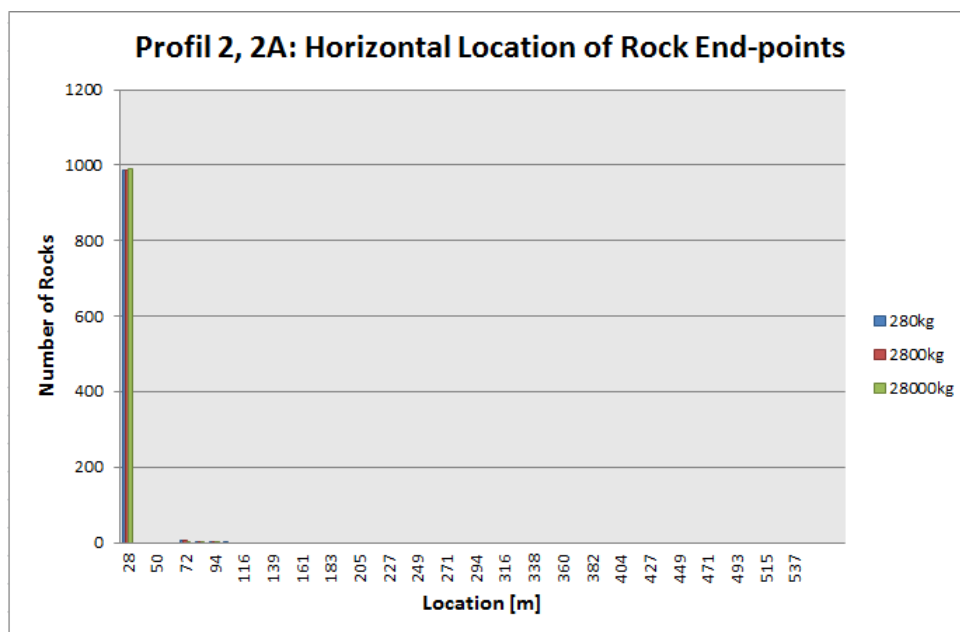
Figur A.7: Punkt 1C. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 og 49m.



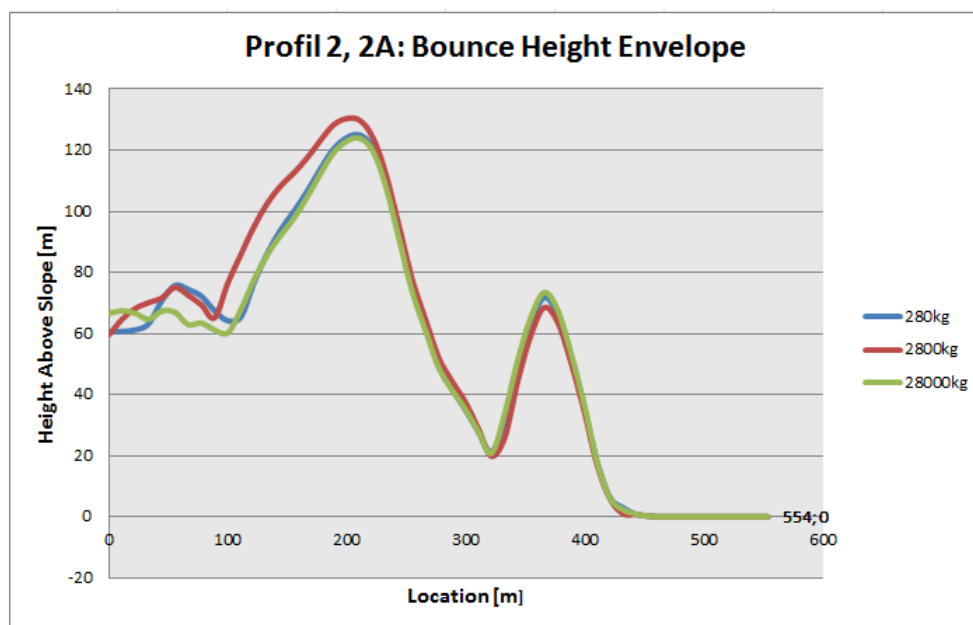
Figur A.8: Punkt 1C. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 og 49m.



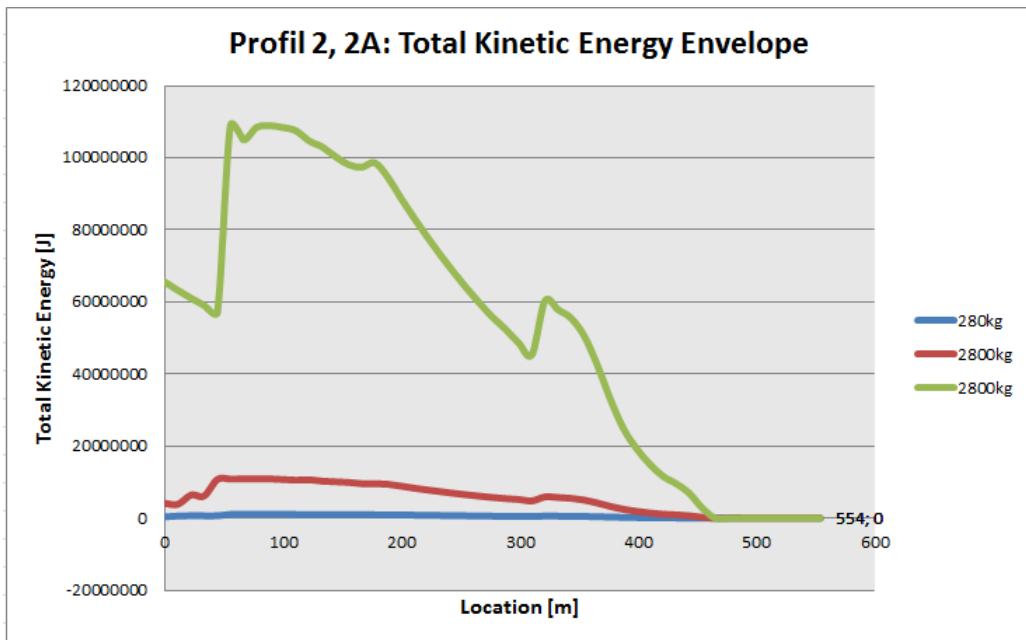
Figur A.9: Punkt 1C. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



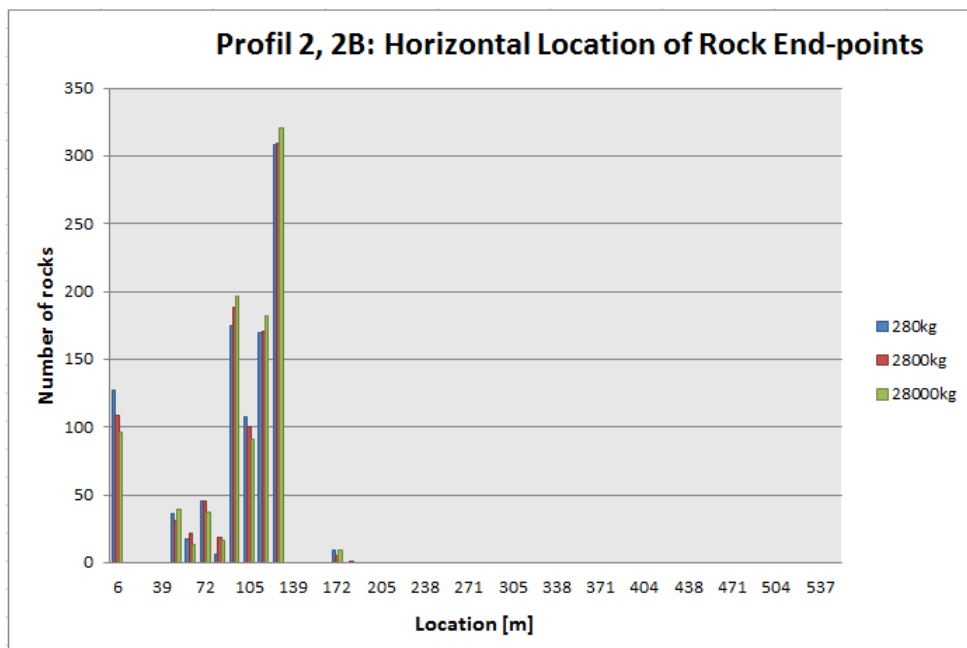
Figur A.10: Punkt 2A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 og 58m.



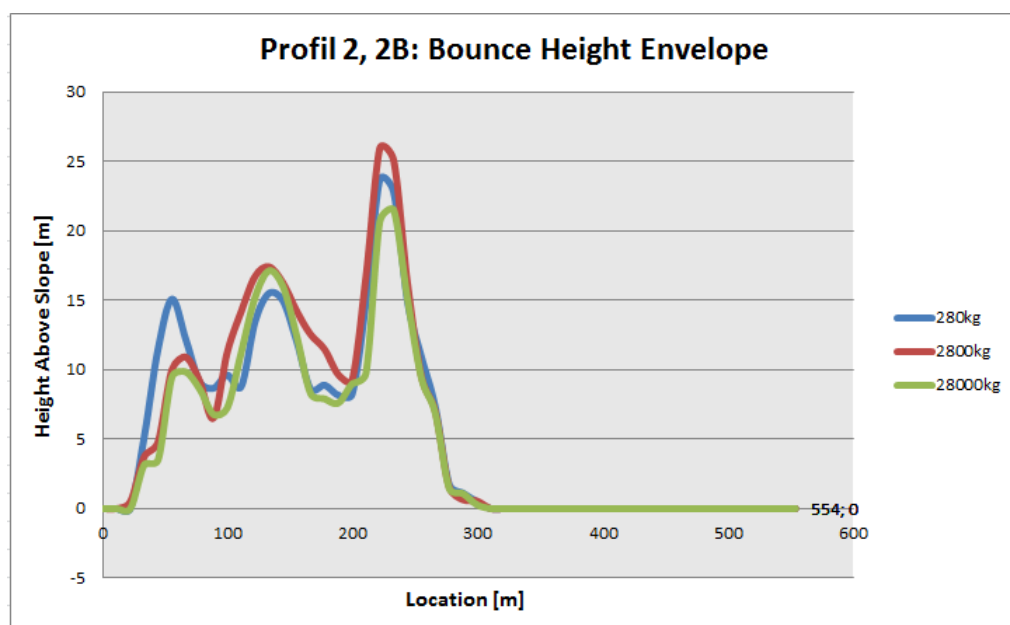
Figur A.11: Punkt 2A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.



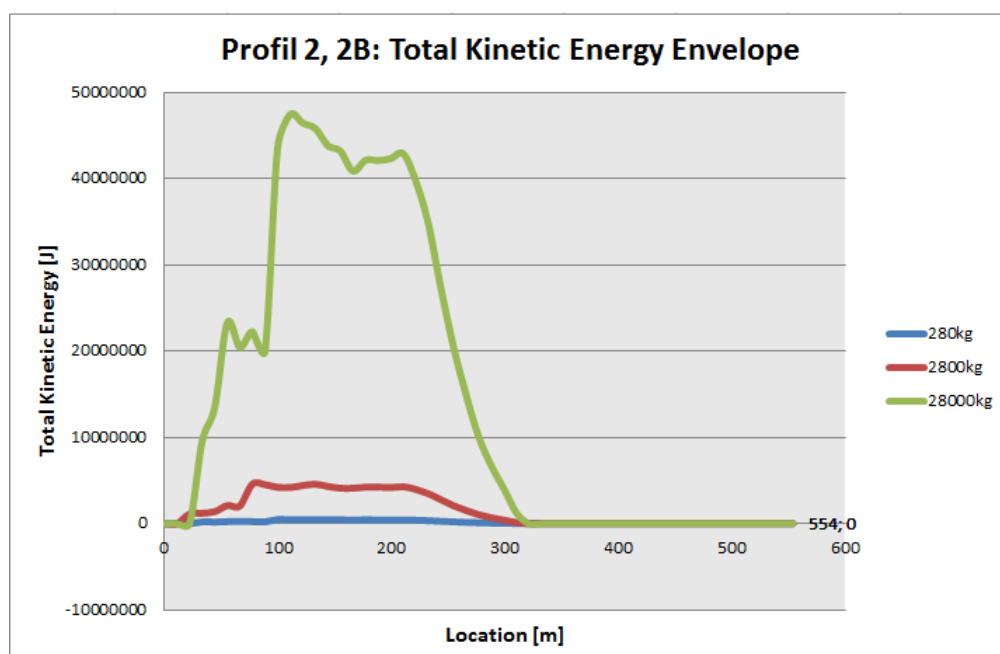
Figur A.12: Punkt 2A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.



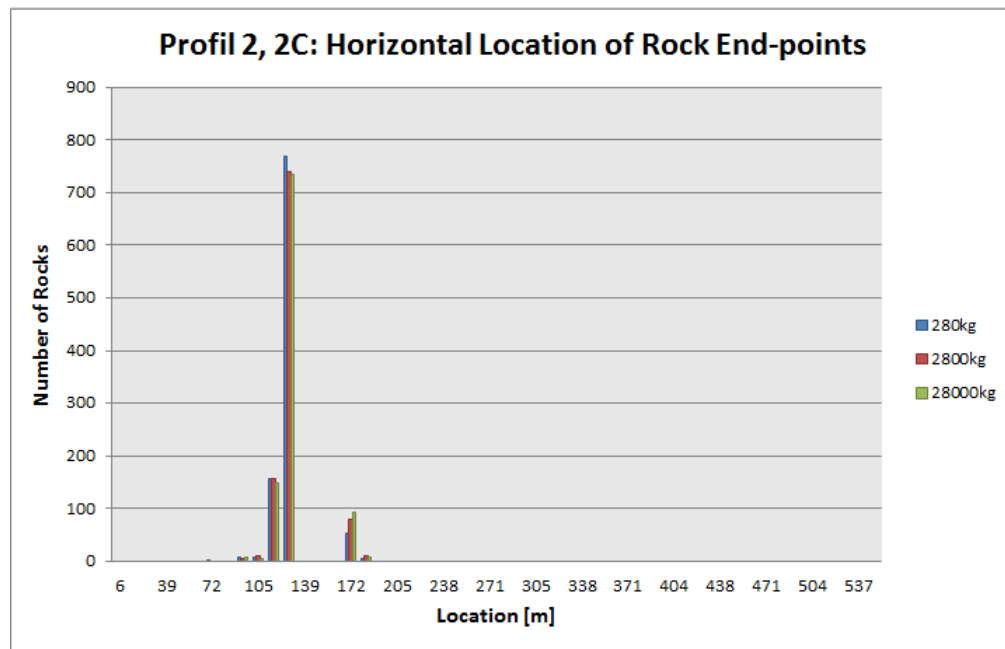
Figur A.13: Punkt 2B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 og 58m.



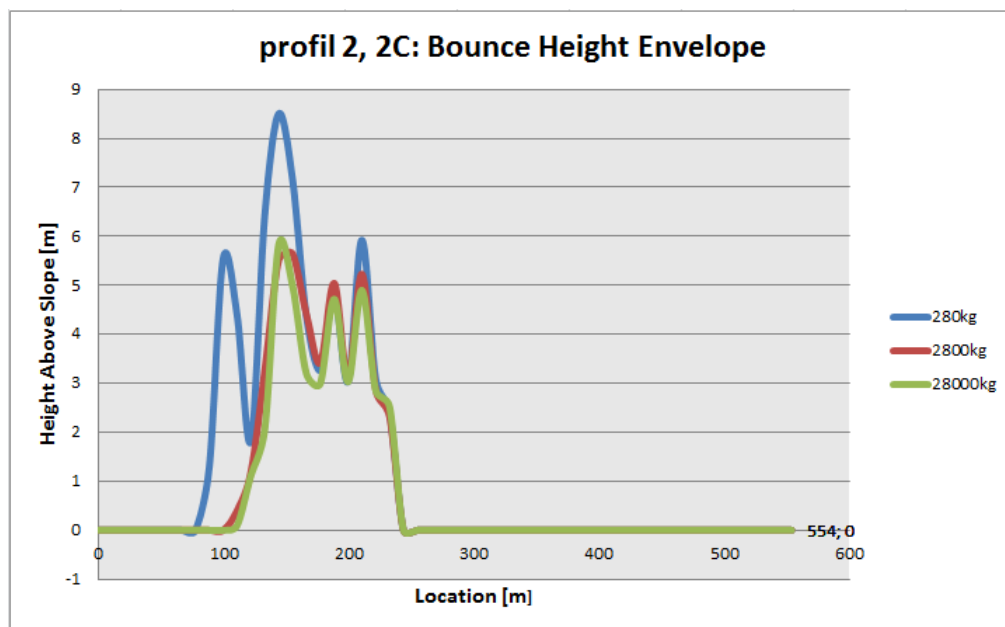
Figur A.14: Punkt 2B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.



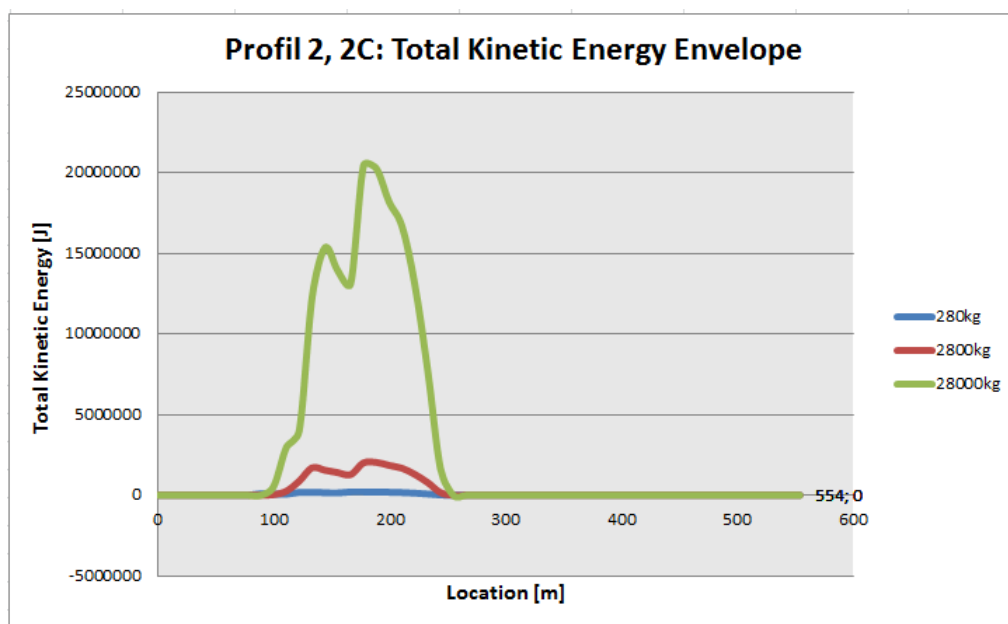
Figur A.15: Punkt 2B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.



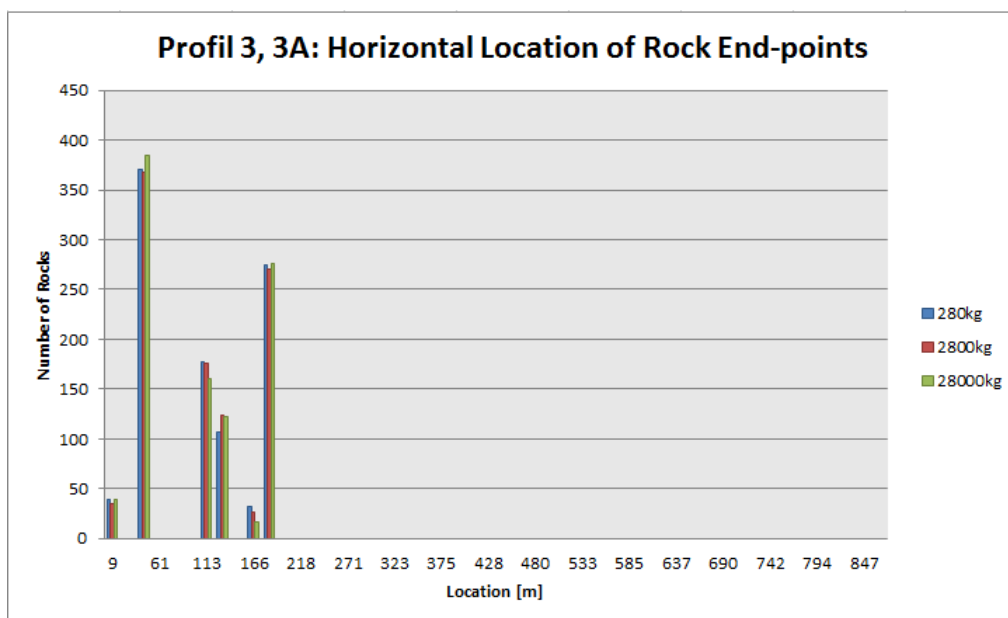
Figur A.16: Punkt 2C. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 og 58m.



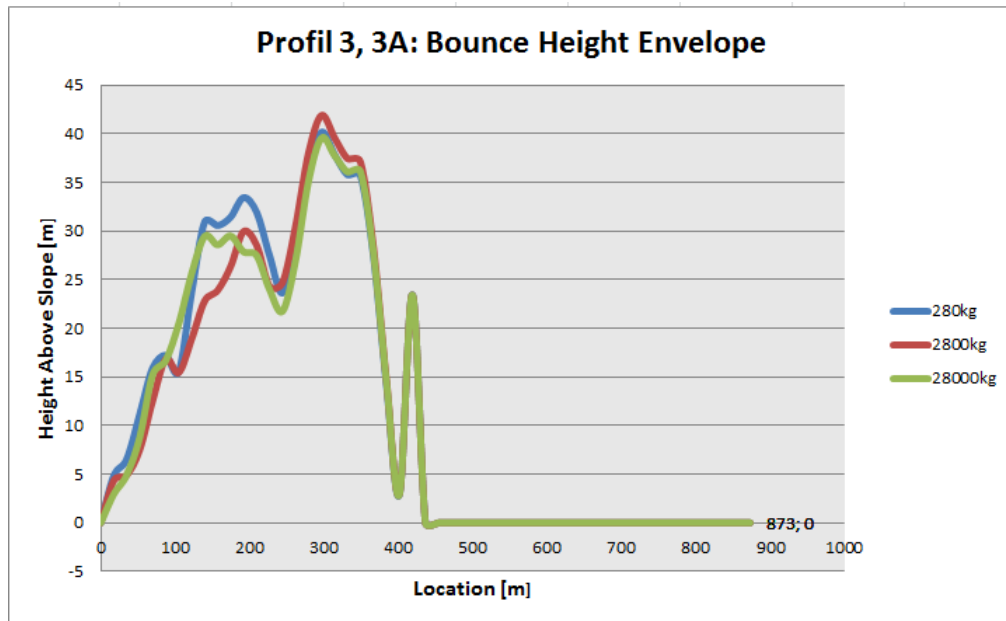
Figur A.17: Punkt 2C. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.



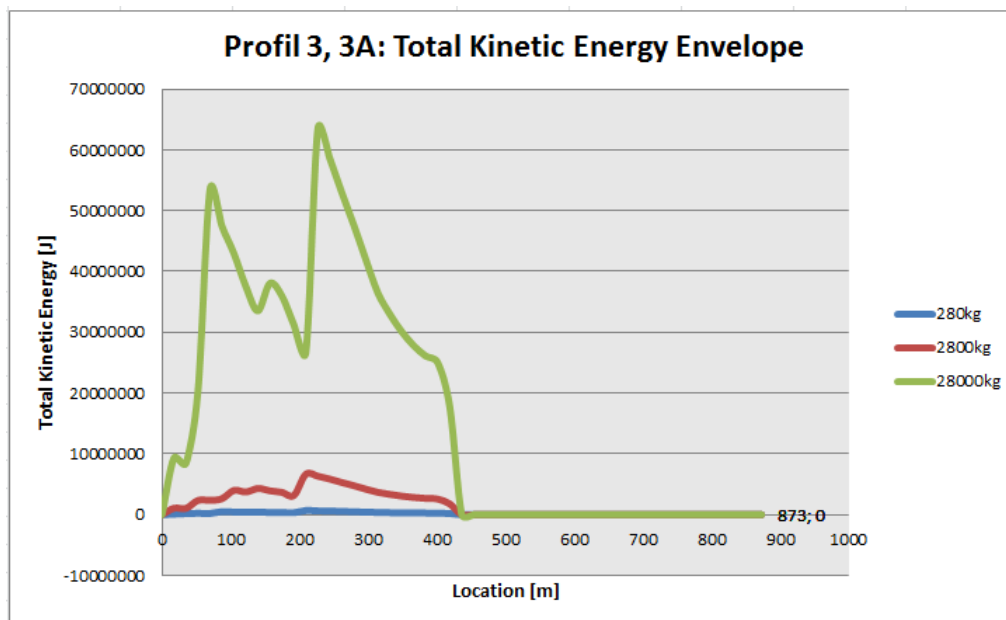
Figur A.18: Punkt 2C. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 48 - 58m.



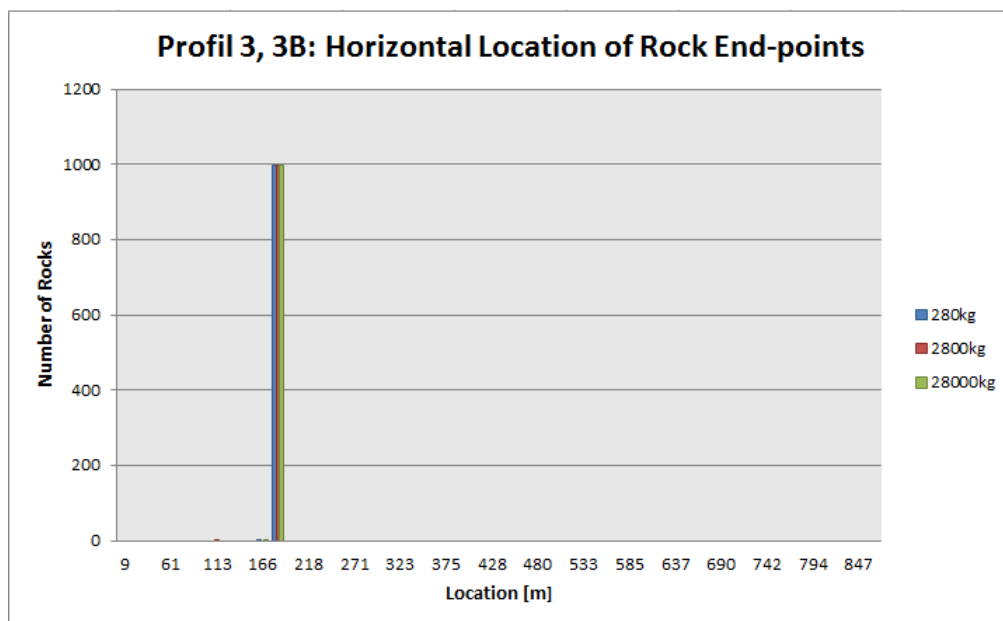
Figur A.19: Punkt 3A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



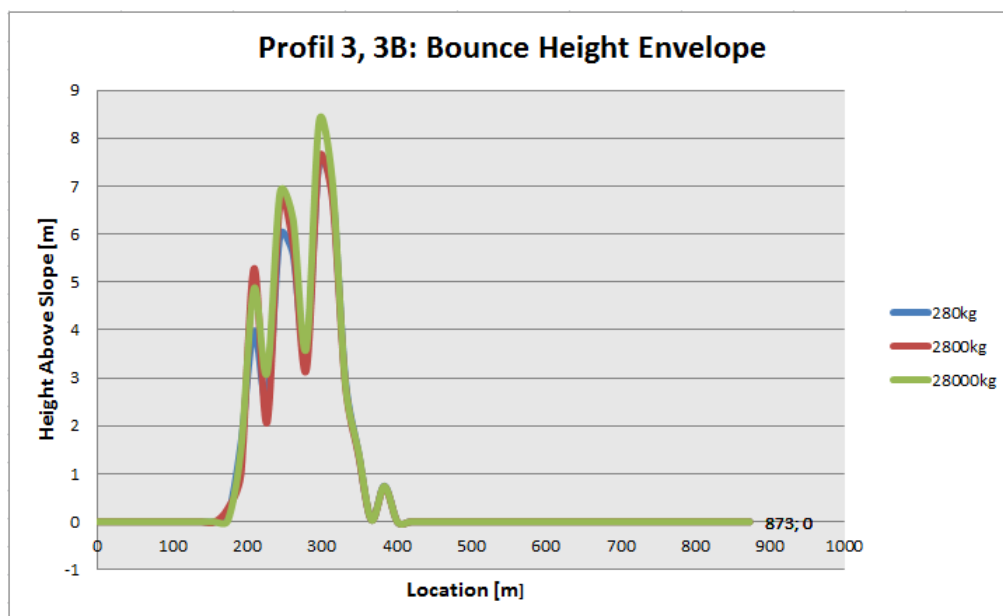
Figur A.20: Punkt 3A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



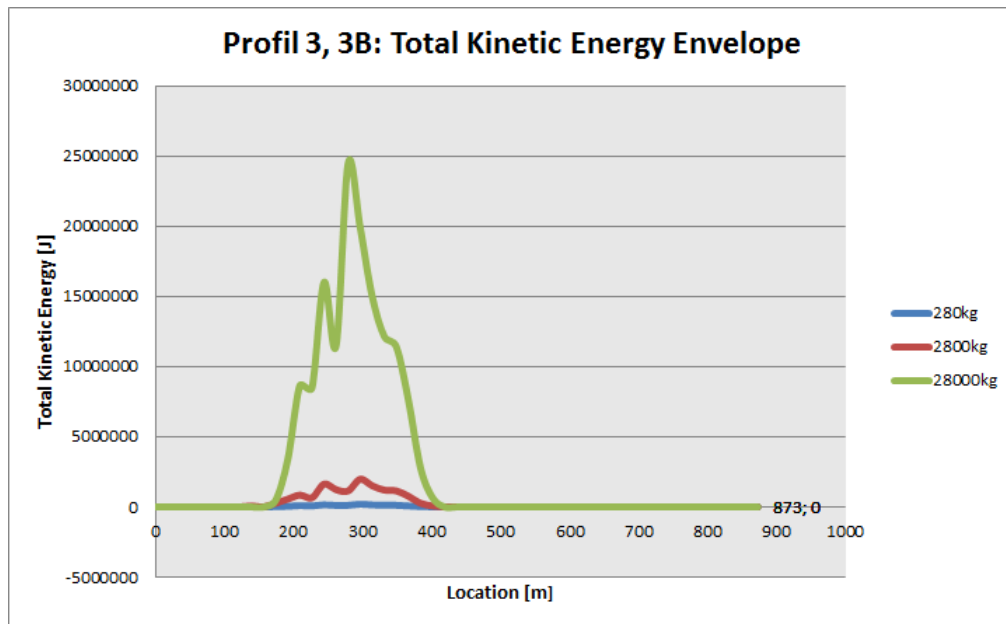
Figur A.21: Punkt 3A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



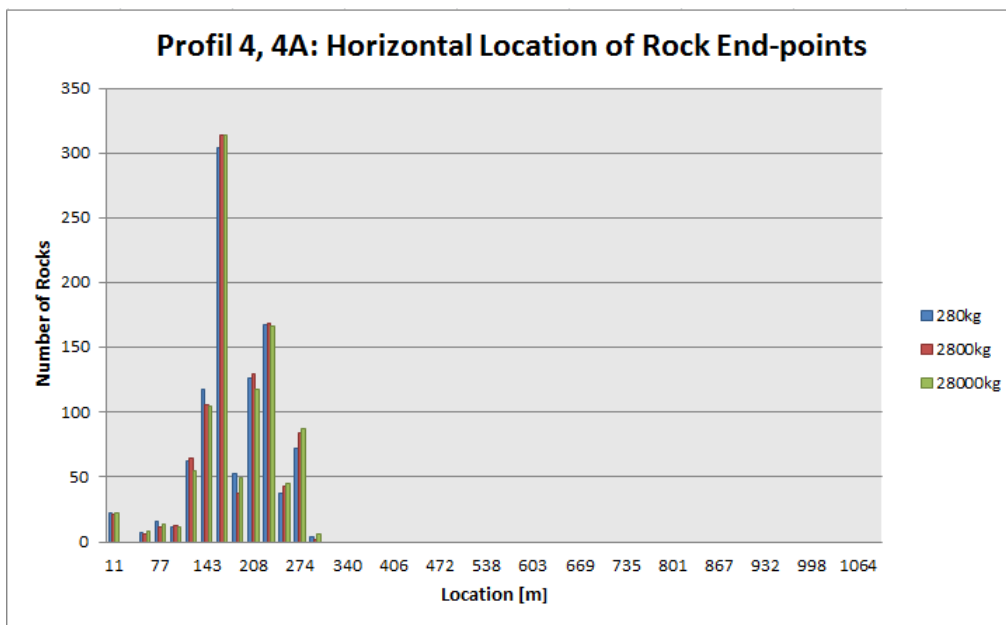
Figur A.22: Punkt 3B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



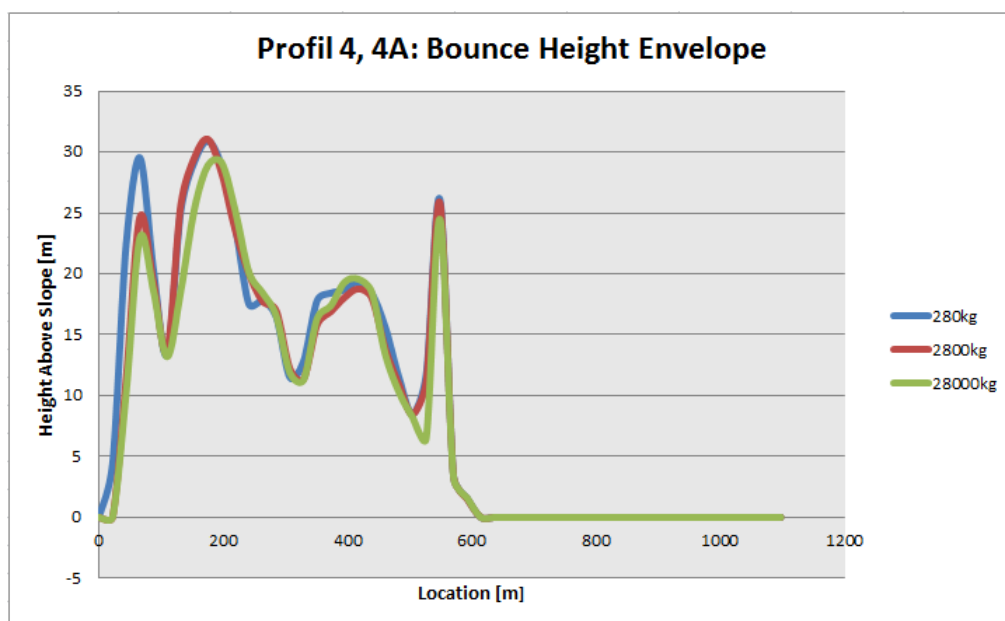
Figur A.23: Punkt 3B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



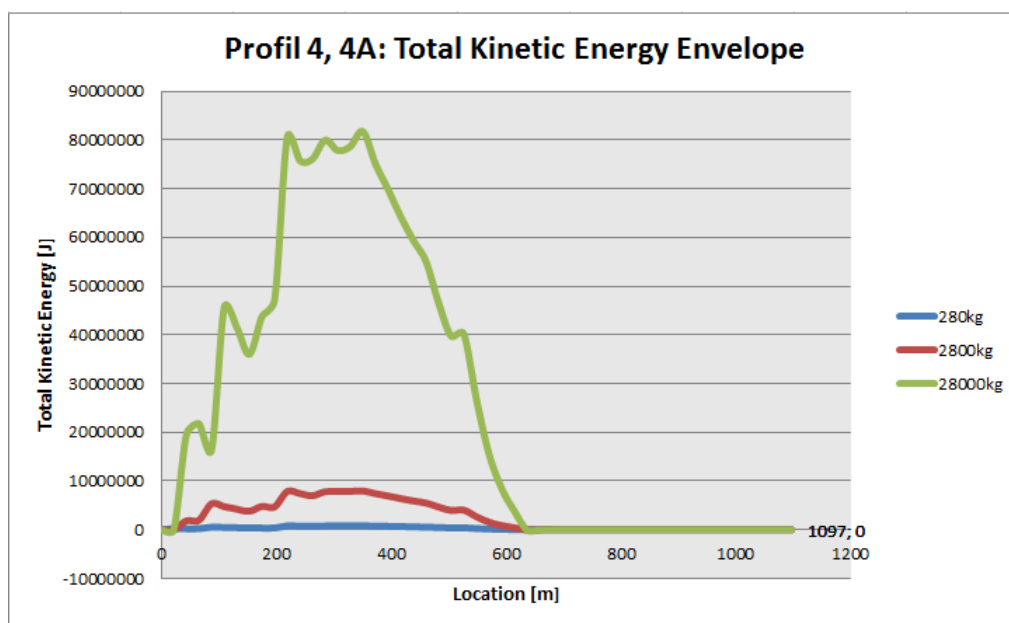
Figur A.24: Punkt 3B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 39 - 49m.



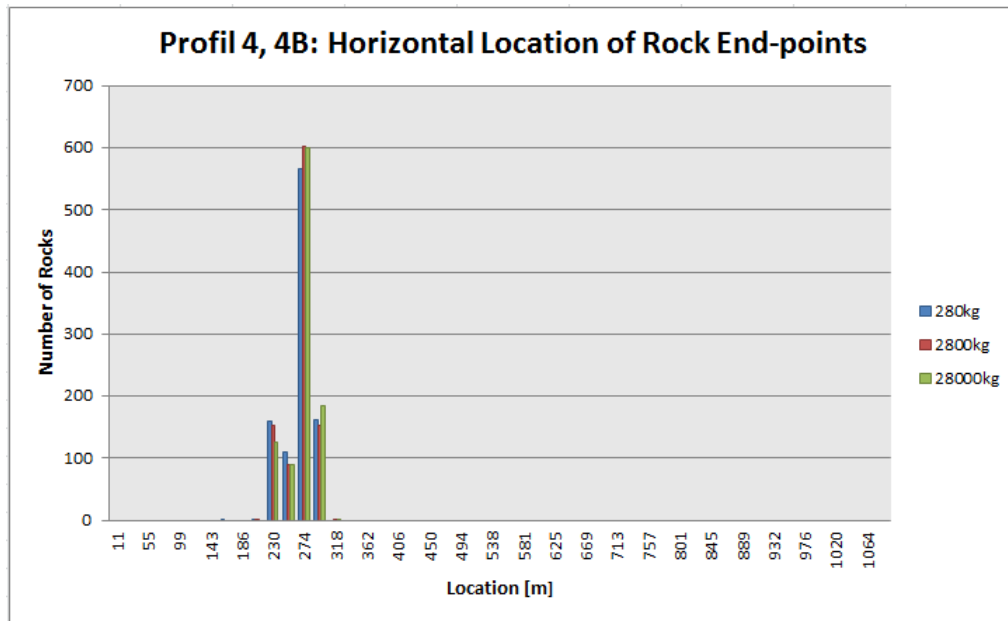
Figur A.25: Punkt 4A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.



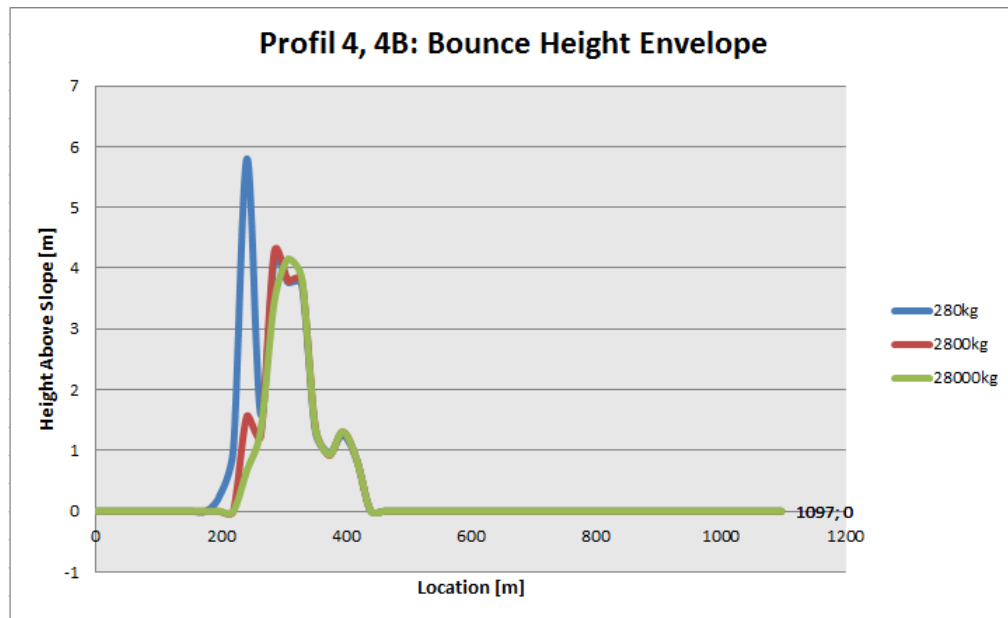
Figur A.26: Punkt 4A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89mm.



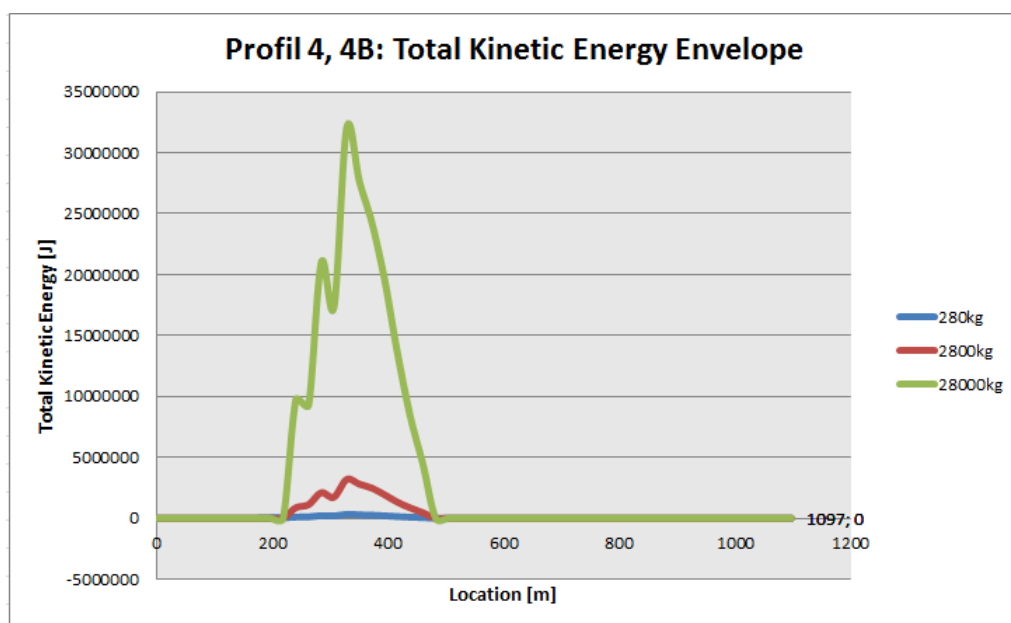
Figur A.27: Punkt 4A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.



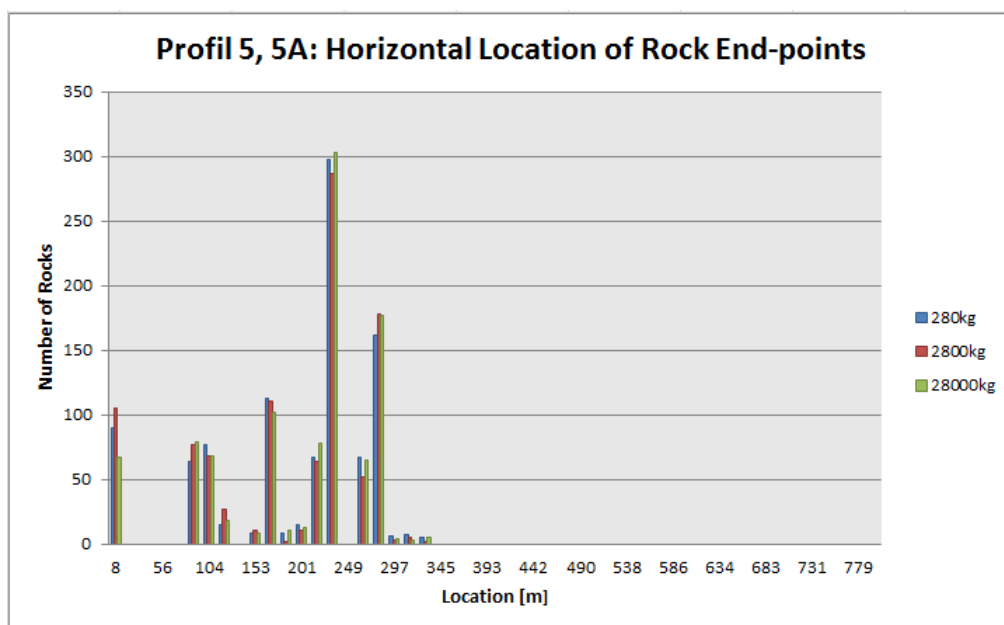
Figur A.28: Punkt 4B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.



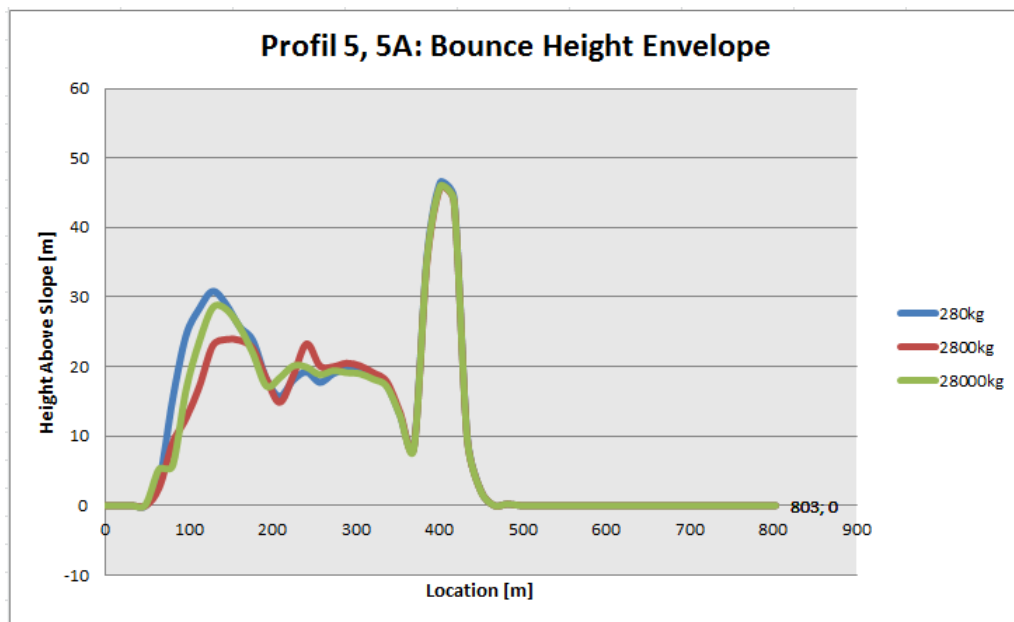
Figur A.29: Punkt 4B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.



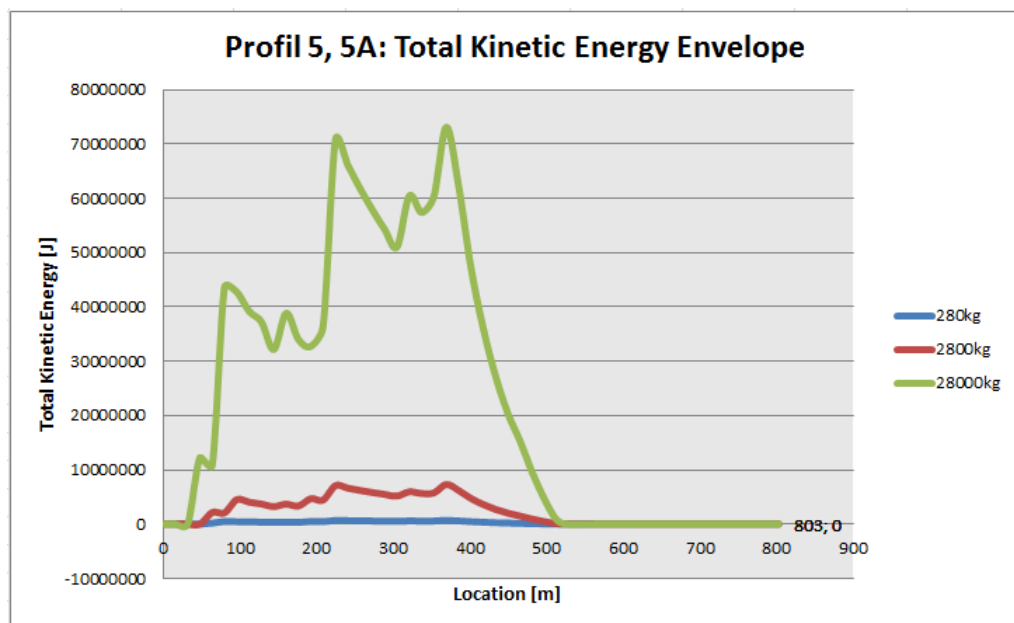
Figur A.30: Punkt 4B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 79-89m.



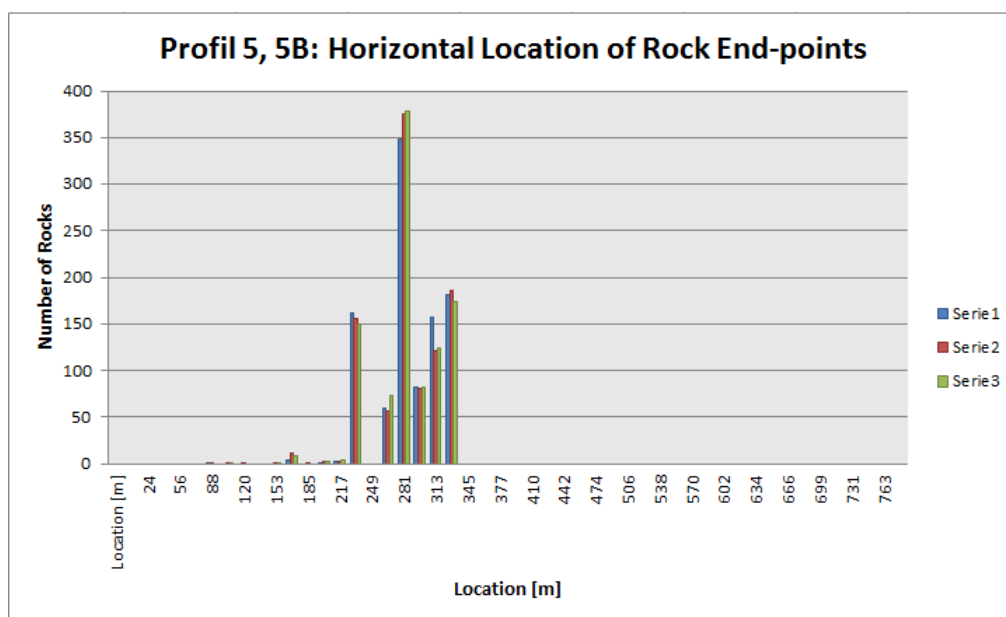
Figur A.31: Punkt 5A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



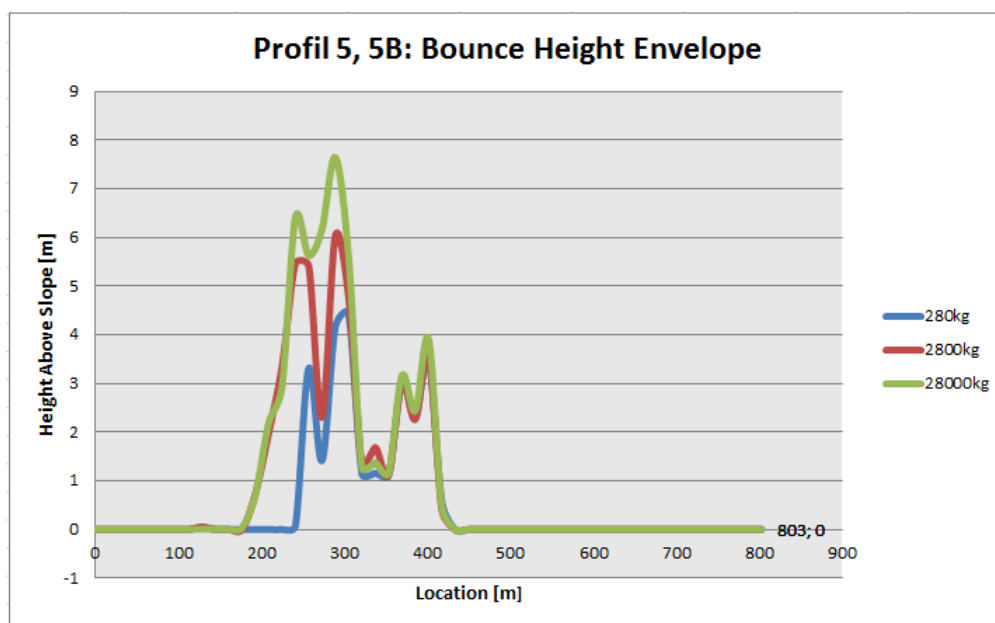
Figur A.32: Punkt 5A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



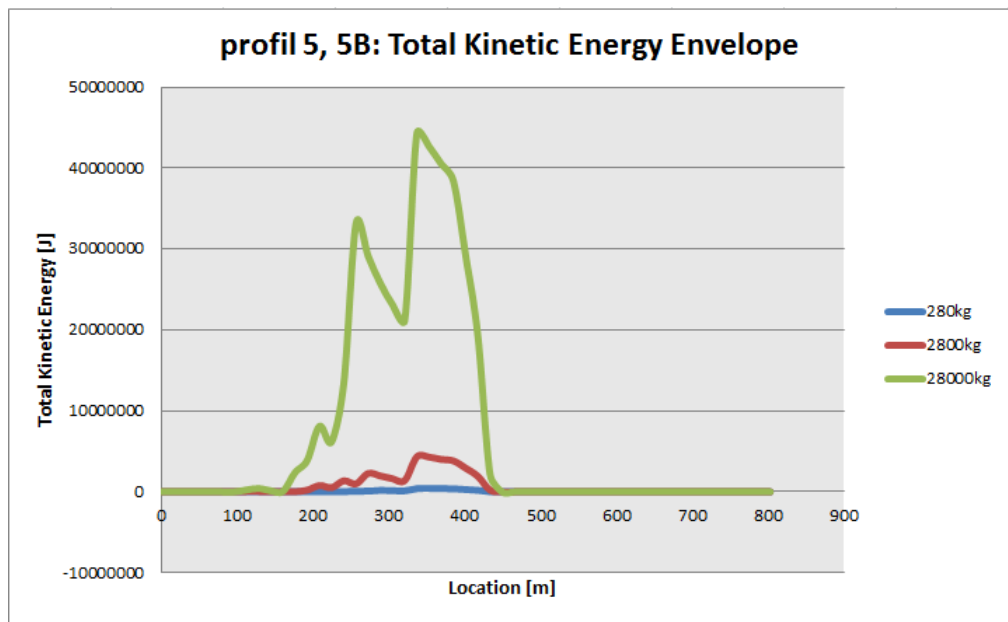
Figur A.33: Punkt 5A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



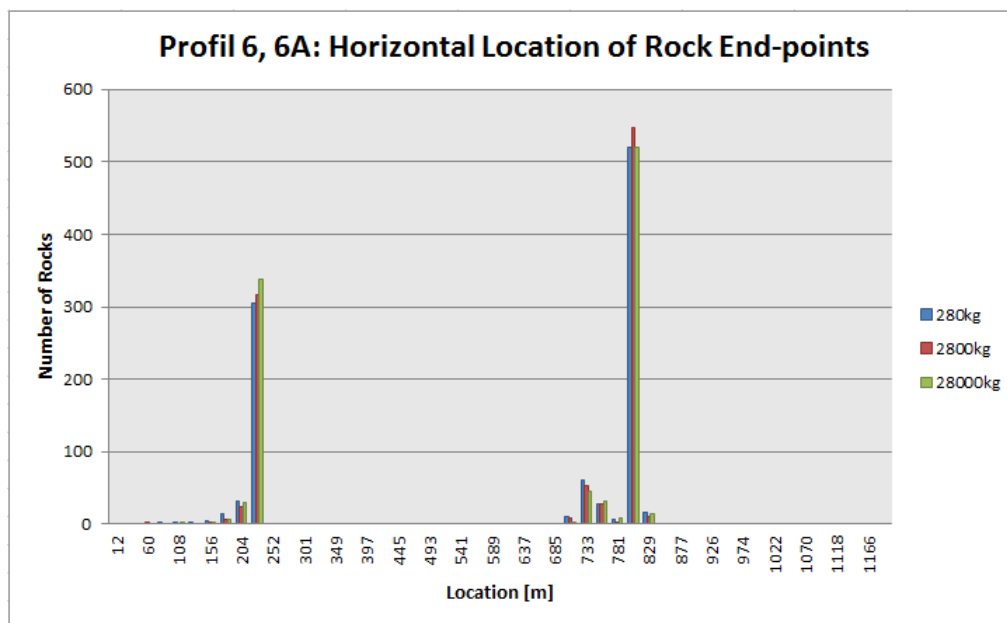
Figur A.34: Punkt 5B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 og 59m.



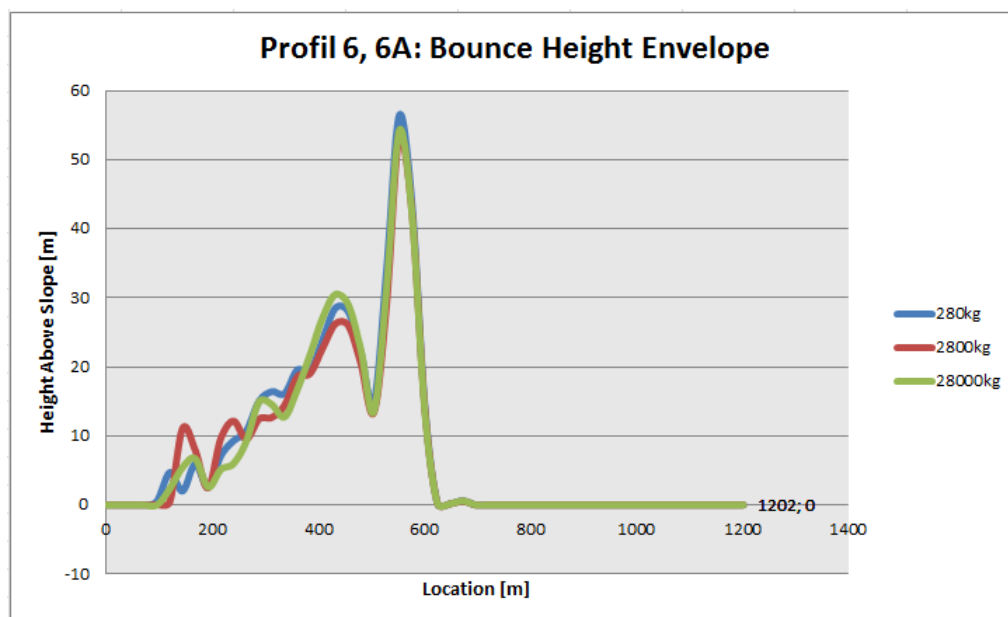
Figur A.35: Punkt 5B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



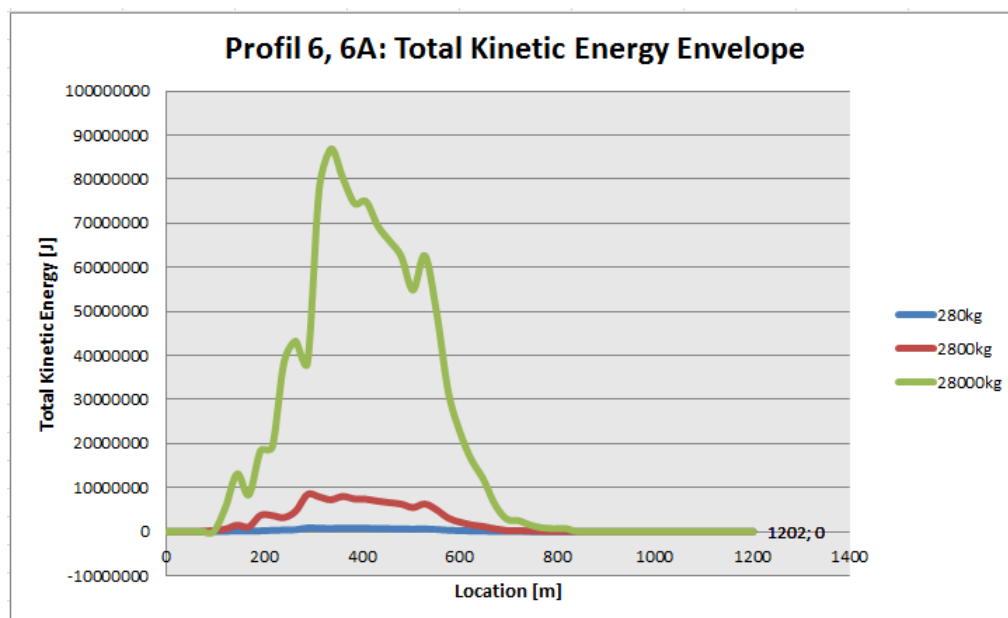
Figur A.36: Punkt 5B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



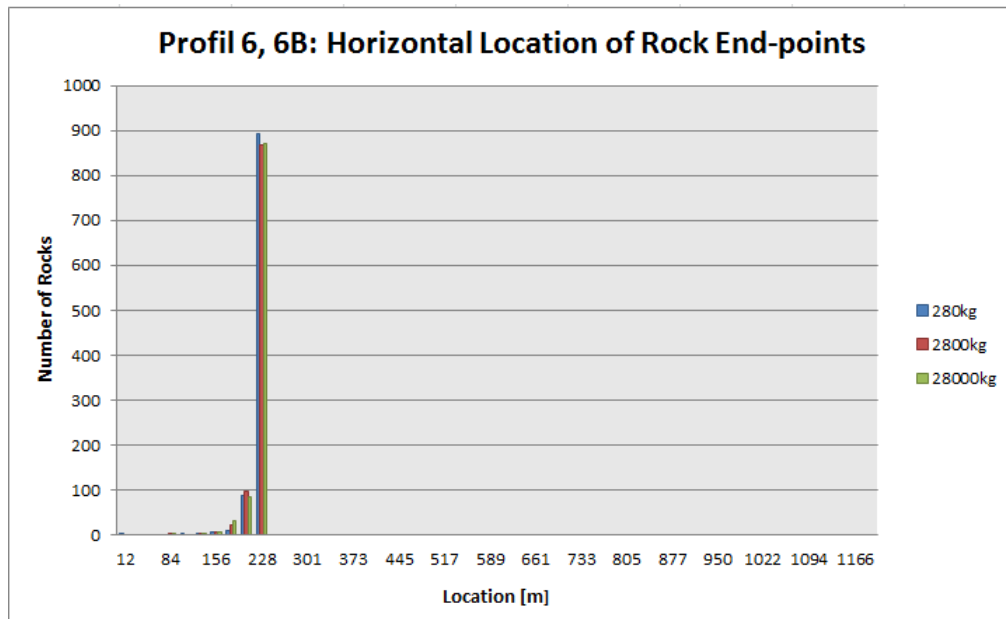
Figur A.37: Punkt 6A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



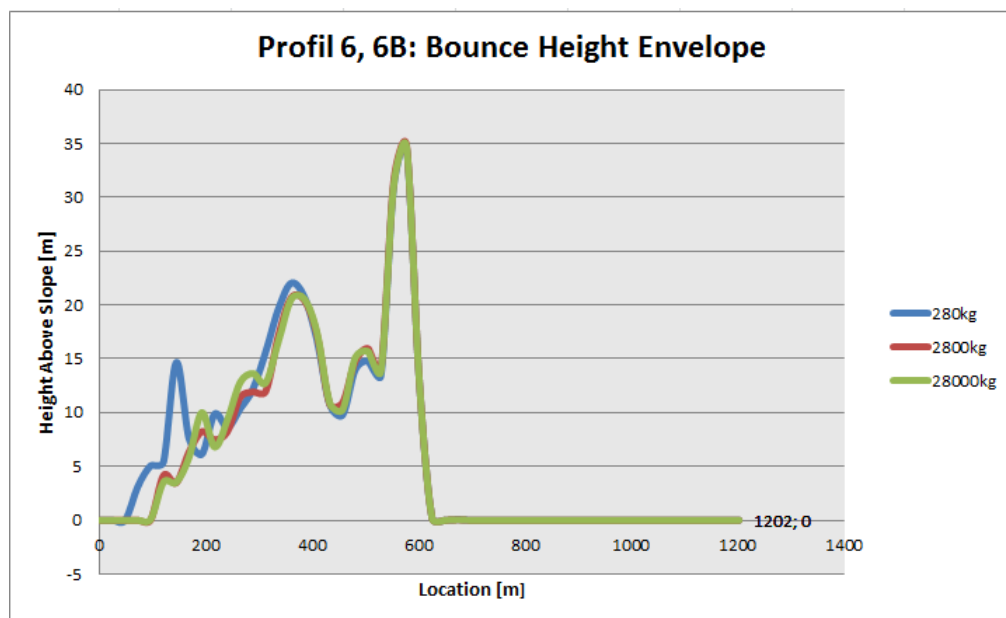
Figur A.38: Punkt 6A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



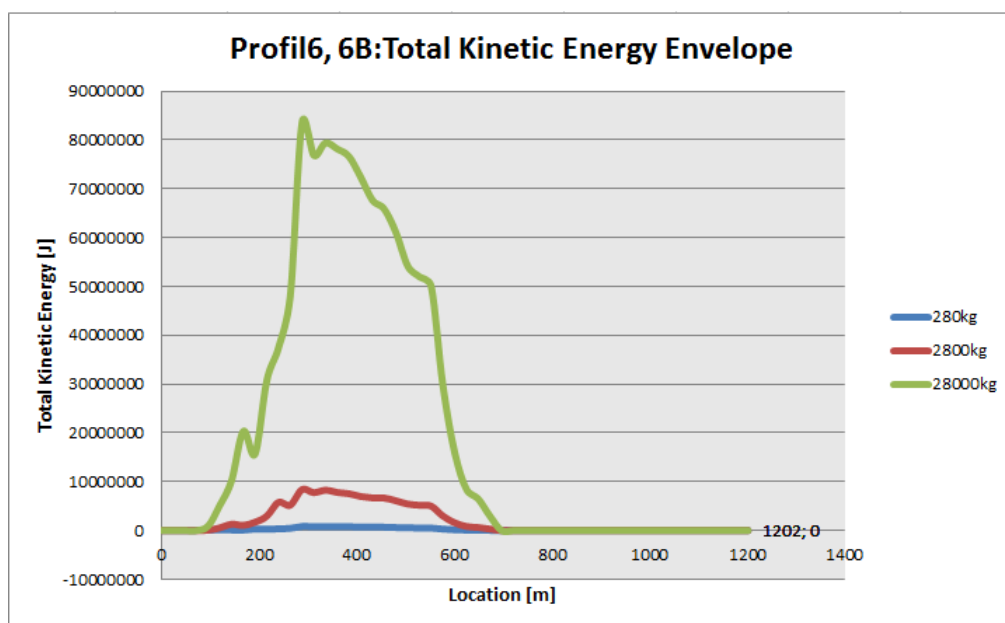
Figur A.39: Punkt 6A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



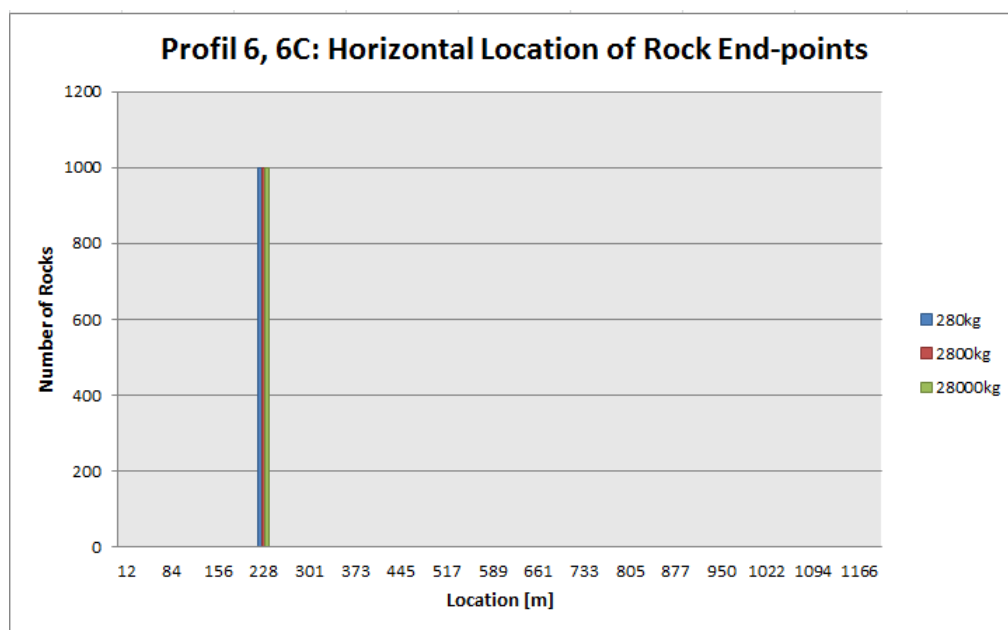
Figur A.40: Punkt 6B. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m



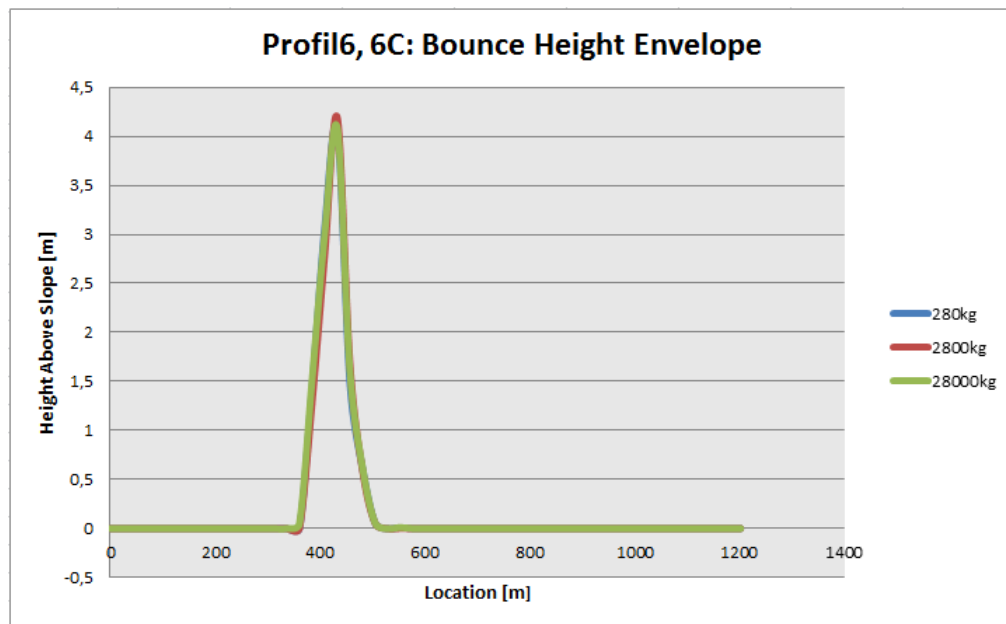
Figur A.41: Punkt 6B. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



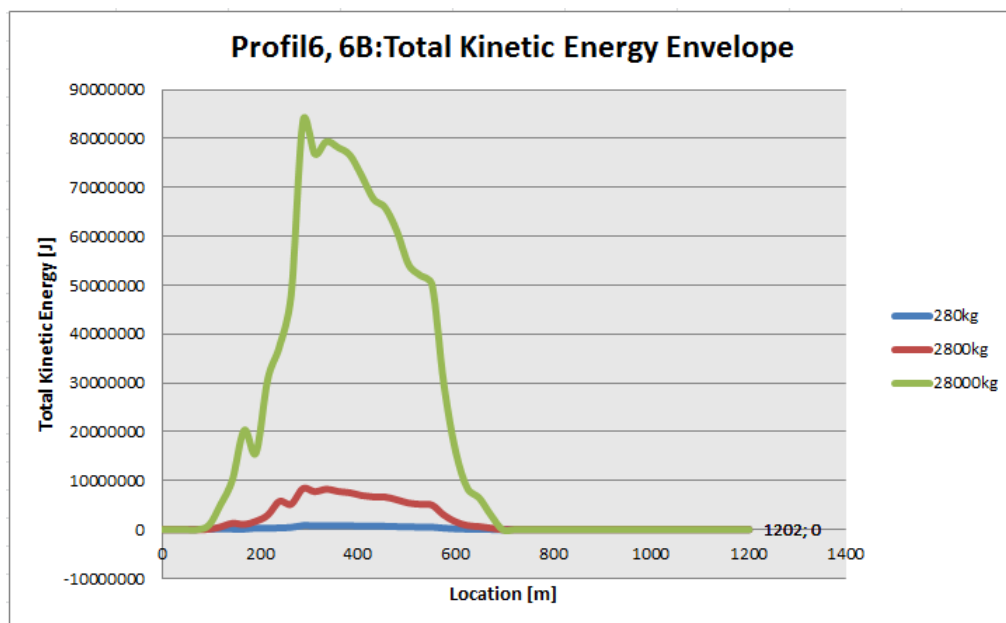
Figur A.42: Punkt 6B. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



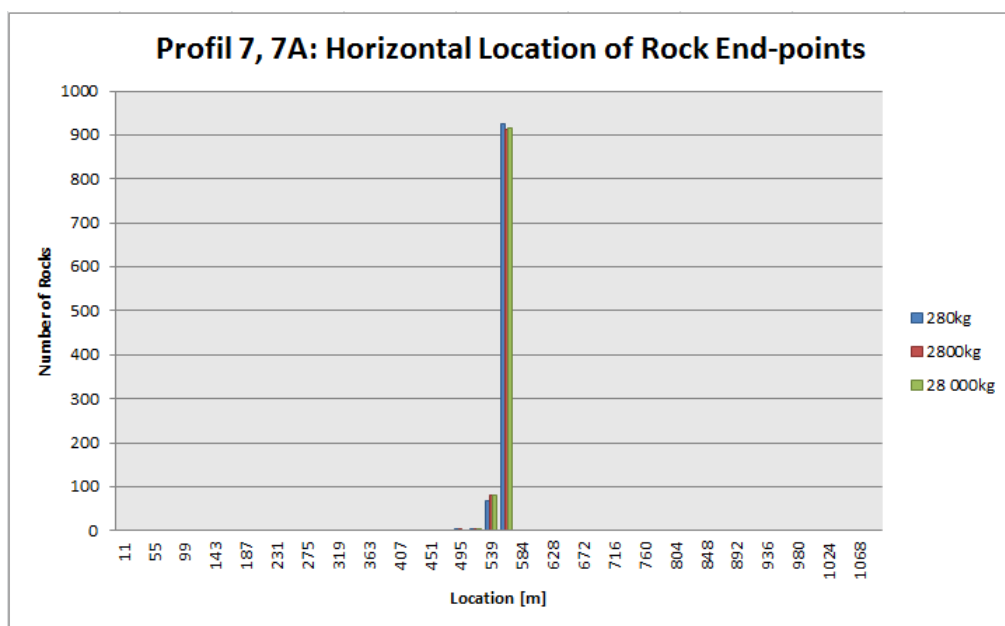
Figur A.43: Punkt 6C. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



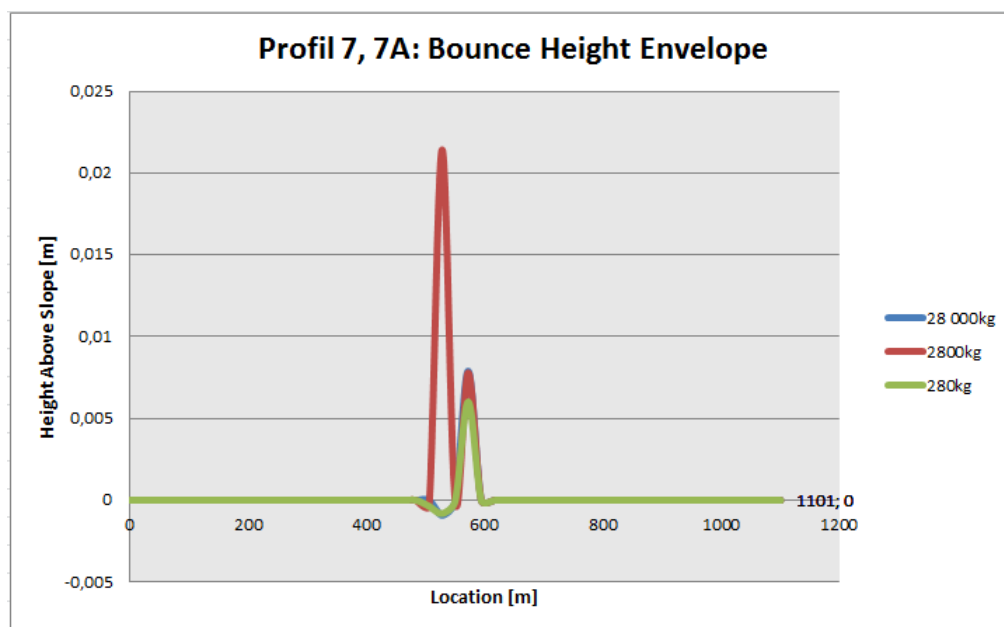
Figur A.44: Punkt 6C. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



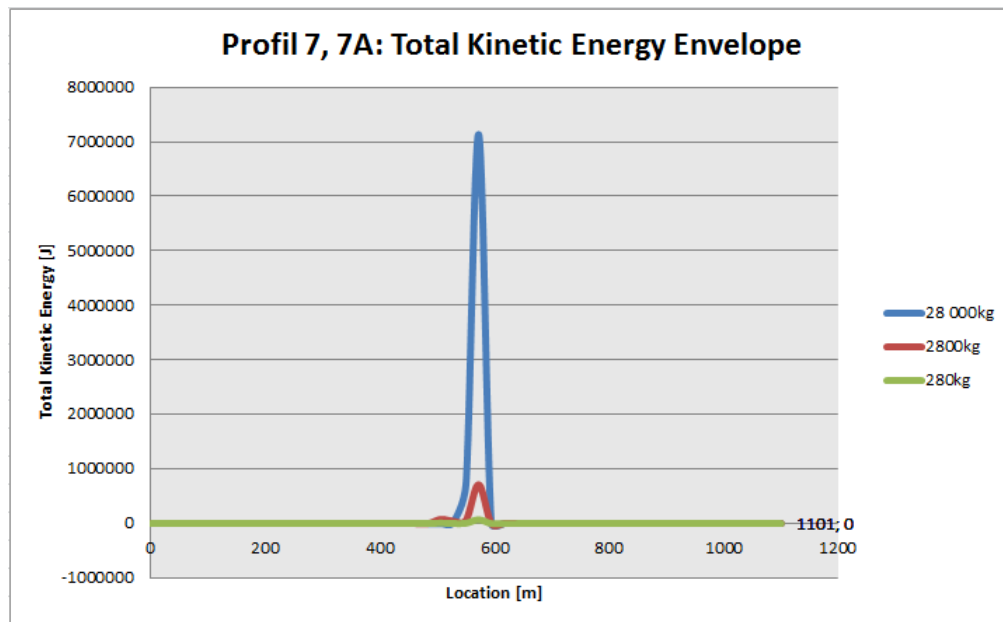
Figur A.45: Punkt 6C. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



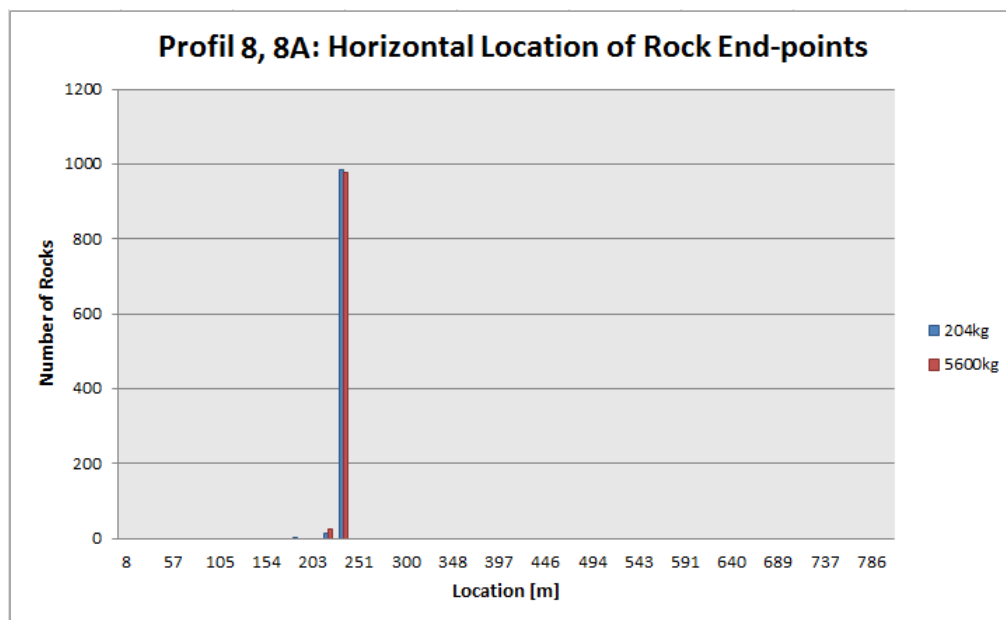
Figur A.46: Punkt 7A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 89-99m.



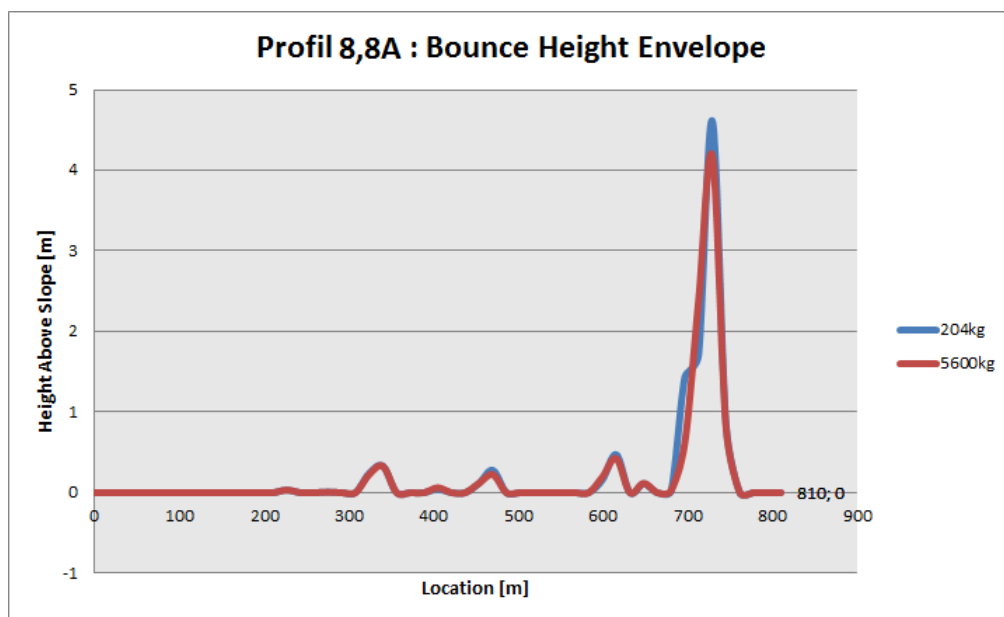
Figur A.47: Punkt 7A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 89-99m.



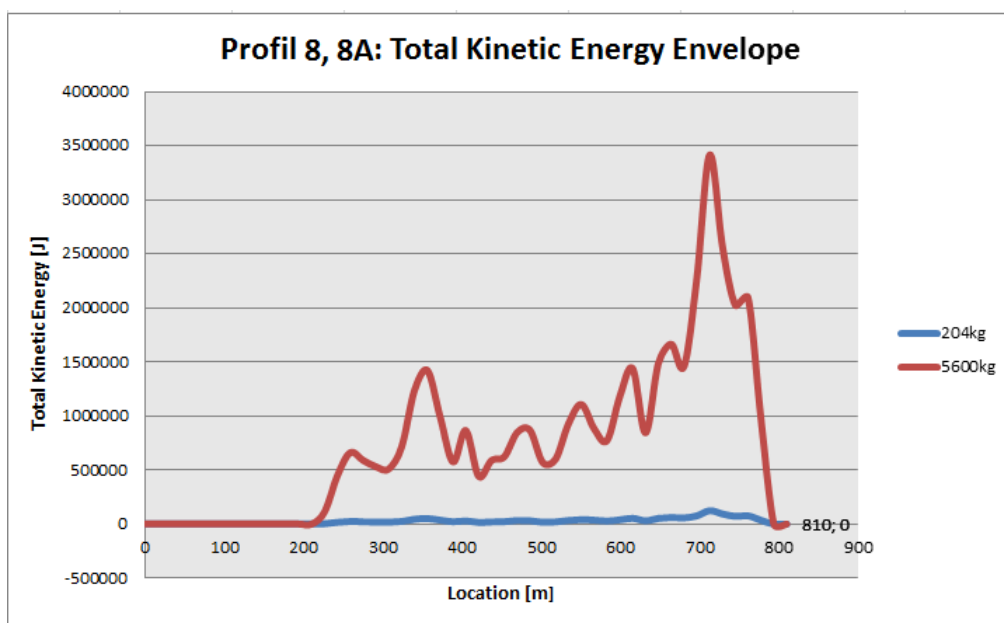
Figur A.48: Punkt 7A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 89-99m.



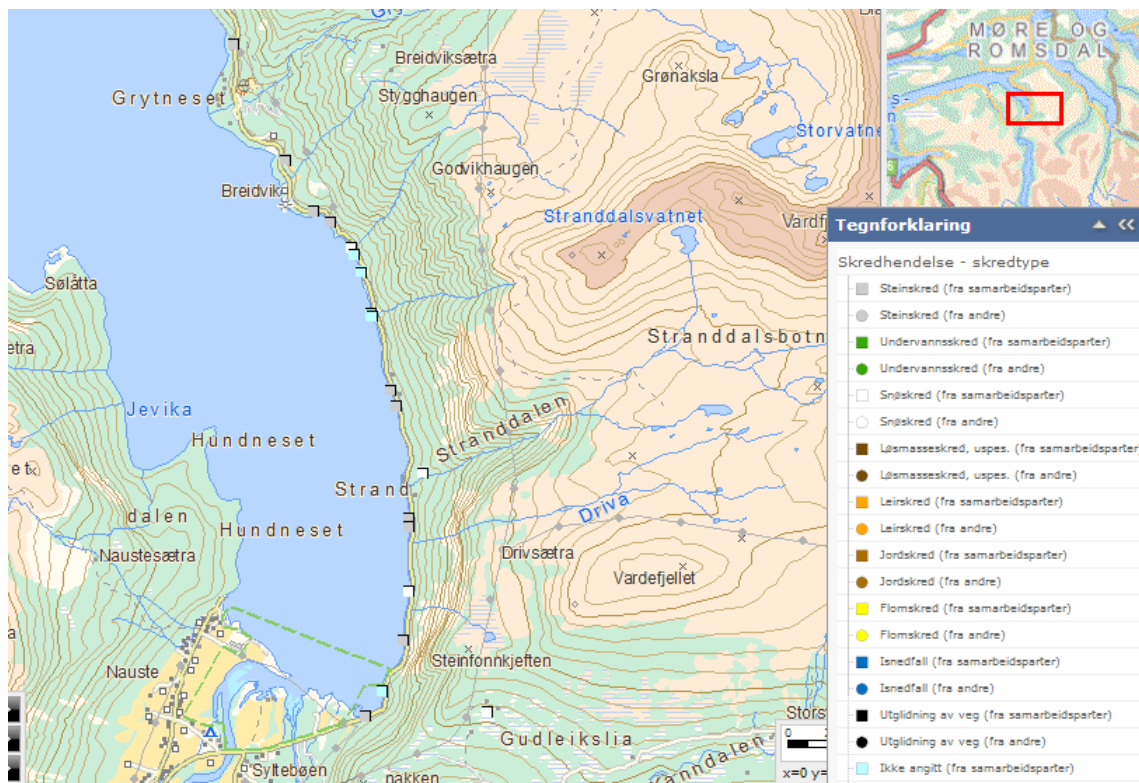
Figur A.49: Punkt 8A. Grafen viser hvor de simulerte blokkene stopper langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



Figur A.50: Punkt 8A. Grafen viser hvor høyt blokkene spretter over bakken langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



Figur A.51: Punkt 8A. Grafen viser den kinetiske energien til blokkene langs profilet. Veien befinner seg ved strekningen 49 - 59m.



Figur A.52: Skredhendelser representert som punkt på kartet, hentet fra *skrednett.no*



Figur A.53: Skredhendelser representert som punkt på kartet, hentet fra nvdb

Område	Type	Størrelse	Dato	Navn	Skader	Ansvarlig
Veiskjæring Paulhammaren	Steinskred	<100m ³	27.02.2006		veiskader	SVV
Steinfonnkjeften	Steinskred		25.02.2009		veiskader	SVV
Mellom steinfonnkjeften og liten elv	Steinskred		08.05.2009		veiskader	SVV
Ved liten elv	Snøskred		02.04.2011		veiskader	SVV
Mellom Drivå og Strandelva	Steinskred		11.11.2009		veiskader	SVV
Mellom Drivå og Strandelva	Steinskred		22.10.2007		veiskader	SVV
Strandelva	Snøskred		17.02.1842		1 person	NGU
Ved Tjeldneset	Steinskred	<100m ³	19.10.2007		veiskader	SVV
Ved Tjeldneset	Steinskred		17.01.2012		veiskader	SVV
Djupfonna	Ikke identifisert		31.01.1995		veiskader	SVV
Godvika	Steinskred	<100m ³	08.06.1994		veiskader	SVV
Godvika	Steinskred	<100m ³	24.03.2009		veiskader	SVV
Breivik	Steinskred	>1000m ³	11.08.1848		5 personer	NGU

Figur A.54: Registrerte skredhendelser langs Eresfjorden, tabell er laget utifra informasjon hentet i skrednett.no. Punkter som er også registrert i nvdb er ikke inkludert i denne tabellen.

Veg	HP	Meter	Område	Type	Dato	Volum	Beskrivelse
Fv660	5	2500	Ved boggetunnelen.	Feil plassert	20070305		Gitt beskjed til David Grøvdal om hendelsen og at entreprenøren ønsker befaringsbefaring av geolog snarest.
Fv660	5	2769	Steinfunnkjeften	Snøskred	19951230	175kkm	
Fv660	5	2787	Steinfunnkjeften	Steinskred	20090929	Stein på ca 200 kg	
Fv660	5	3216	Mellom kårteigen og liten elv	Steinskred	20100118	<1kkm	2 store steiner på ca 200 kg. Steinene ble fjernet av Odd Øverås. Utløsningsområde i ur, ca 50-200m høydeforskjell fra vei.
Fv660	5	3590	Mellom liten elv og drivå	Sørpeskred (vann+snø+stein)	20120328	Totale:180kkm. På vei: <10kkm	Bekk har til dels tatt nytt løp. Stikkrenna tetta seg med snø og is. Måtte rydde veien med hjullaster og åpne stikkrenna med gravemaskin. Noe grøfting og rensk av kum. Løsningsområde 200m opp i fjell/dalside
Fv660	5	3993	Drivå	Stein	20100118	<10kkm	Det låg til dels store steiner i vegbanen. De ligger no i grøfta. Opprydding senere med gravemaskin. Noen trær må kvistes og fjernes. Løsningsområde >200m i fjell/dalside.
Fv660	5	4092	Drivå	Stein	20071126	>10kkm	Løsningsområdet er høyt oppe litt til venstre for elva Drivå der den bikker kanten. Løsningsområde >200m i fjell/dalside.
Fv660	5	5022	Mellom strandelva og djupfonna; veiskjæring	Stein	20071126	Total: 20kkm. På vei: <10kkm	Telefon fra Jan Iver Tokle som hadde vakt, om steinras mellom Eresfjord og Bugge v/Vasstocken. Det vart også sagt at det var en lastebil der med blinklampe. Det hadde kommet ned 2 kjempesteiner på ca. 6 og 10 m ³ . Jeg prøvde og ta bilder, men fotoapp. hadde vært brukt til filming så i mørket var det ikke så enkelt. Steinene vart skubba opp i grøfta og må sprenges.
Fv660	5	5159	Mellom drivå og strandelva: veiskjæring	Stein	20120328		
Fv660	5	5714	Djupfonna	Snøskred	19950213	1600kkm	
Fv660	5	5714	Djupfonna	Snøskred	19950201	1500kkm	
Fv660	5	5728	Djupfonna	Snøskred	19950213	200kkm	
Fv660	5	6072	Langfonna	Snøskred	19951230	100kkm	
Fv660	5	6211	Ikke navngitt elv	Snøskred	19940129	40kkm	
Fv660	5	6291	Kårteigen	Sørpeskred (vann+snø+stein)	20041125	Total: 250kkm. På vei >100kkm	Utløsningsområde 200m opp i fjell/dalside.
Fv660	5	6530	Godvika	Stein	19940607	15kkm	Steinskred
Fv660	5	6719	Ved fjellskjæring	Stein	20090929	Total: <100kkm. På vei: 30kkm	Det er en del dårlige fjellpartier i det samme område. Oppsprukket, gliper og sleppete.

Figur A.55: Registrerte skredhendelser langs Eresfjorden, tabell er laget utifra informasjon hentet i nvdb. Punkter som er også registrert på skrednett.no er vist med blå skrift. Det punktet som er skrevet i rødt er feilplassert og ikke inkludert i videre beregninger.

Årstall	Antall	ikke angitt	snø	stein
1994	3	0	1	2
1995	6	1	5	0
1997	0	0	0	0
1998	0	0	0	0
1999	0	0	0	0
2000	0	0	0	0
2001	0	0	0	0
2002	0	0	0	0
2003	0	0	0	0
2004	1	0	1	0
2005	0	0	0	0
2006	1	0	0	1
2007	4	0	0	4
2008	0	0	0	0
2009	6	0	0	6
2010	2	0	0	2
2011	1	0	1	0
2012	3	1	1	1
Sum	27	2	9	16

Figur A.56: Antall registrerte skredhendelser pr. år fra 1994 - 2012, basert på informasjon fra skrednett.no og nvdb.no.

Måned	Antall
Januar	5
Februar	6
Mars	4
April	1
Mai	1
Juni	2
Juli	0
August	0
September	2
Oktober	2
November	4
Desember	2

Figur A.57: Antall registrerte skredhendelser pr. måned fra 1994 - 2012, basert på informasjon fra skrednett.no og nvdb.no.