

Vurdering av skredfaren langs E136  
Flatmark - Monge - Marstein i  
Romsdalen

**Marie Drågen Belland**

Geologi

Innlevert: desember 2013

Hovedveileder: Anders Schomacker, IGB

Medveileder: Halgeir Dahle, Statens Vegvesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for geologi og bergteknikk



## Forord

---

Denne masteroppgaven er utført ved Institutt for geologi og bergteknikk ved NTNU. Arbeidet med oppgaven har pågått i perioden fra januar til 2013 til desember 2013.

Oppgaven er et samarbeid mellom NTNU og Statens Vegvesen, Region Midt. Ekstern veileder, Halgeir Dahle fra Statens Vegvesen, Region Midt har bidratt til valg av oppgave. Hovedveileder Anders Schomacker ved NTNU har hjulpet til med utarbeiding av problemstillingen.

Resultatene i denne oppgaven er ment som et supplement til de eksisterende rasfarevurderingene som er gjort for de aktuelle prosjektene langs E136 i Romsdalen.

Jeg ønsker å takke Halgeir Dahle for gode og nyttige innspill underveis i arbeidet med denne oppgaven. Takk til Torkild Åndal fra Statens Vegvesen, Region Midt som var til god hjelp ved befaring i Romsdalen. En stor takk retter jeg også til masterstudent Kari Linn Søreide for godt samarbeid under befaringene og gjennom det videre arbeidet med oppgaven. Takk til klassekameratene mine for 5 fine år sammen på geologistudiet. Takk til Eirik og familien min for uvurderlig hjelp og gode råd under oppgaveskrivingen. Til slutt vil jeg takke hovedveileder Anders Schomacker for god hjelp til utførelse og avslutning av oppgaven.

Marie Drågen Belland  
Trondheim, 15.12.2013



## Sammendrag

---

Strekningen Flatmark – Monge – Marstein på E136 ligger i Romsdalen i Rauma kommune. På denne strekningen har vegen delvis svært dårlig horisontalkurvatur og flere steder er vegen smalere enn 5,5 m. En forbedring og utbygging av vegen er planlagt i to delprosjekter, Marstein – Monge og Monge – Flatmark. Vegens kurvatur skal forbedres og det er planlagt to tunneler på strekningen i områder hvor vegen er for smal i forhold til dagens krav til veg med denne trafikkmengden.

Romsdalen er et av områdene i Norge hvor det har gått flest store fjellskred. Det finnes mange registrerte skredhendelser her, det eldste helt tilbake til år 1200. Kravet til sikkerhet på veger øker, så i forbindelse med at vegen skal legges nærmere fjellsiden er det viktig å gjøre en vurdering av skredfare langs vegstrekningen for å forhindre at store ulykker skal skje.

Denne oppgaven er et supplement til de eksisterende rasfarevurderingene som er gjort for de to prosjektene. Det er utført analyser for skredfare i 15 ulike profiler langs strekningen. Profilene er valgt på grunnlag av tidligere skredhendelser og nærhet til den nye vegen. Vurdering av fare for steinsprang har blitt gjort ved bruk av en enkel topografisk metode samt RocFall-analyser. For vurdering av fare for snøskred er det gjort beregninger av ved hjelp av  $\alpha\beta$ -metoden og energilinjemodellen. Undersøkelsene har vist at det er relativt stor skredfare langs noen deler av vegstrekningen.

Det er gjort analyser med sikringstiltak i enkelte profiler. I noen av profilene er det ikke gjort vurdering av sikringstiltak fordi det tryggeste alternativet (tunnel) allerede er anbefalt, eller fordi det er liten skredfare i profilet. Resultatene her viser at plasseringen av tiltaket og blokkstørrelsen har stor betydning for effekten av både fanggjerder og voller.

Det er gjort en risikovurdering av strekningen, hvor det er brukt risikoakseptkriterier for å fastsette den nødvendige graden av sikring i de ulike enhetsstrekningene som har blitt vurdert. Vurderingen viser at det er to områder som har utolerbar risiko for skred. Det er anbefalt at vegen legges i tunnel forbi den ene strekningen, og den andre bør sikres med en voll.

Resultatene fra analysene viser at det er flere områder med skredfare, men en mer detaljert kartlegging vil være nødvendig i enkelte områder for å kunne fastsette risikoen for skred på den aktuelle vegstrekningen.



# Abstract

---

The highway section Flatmark – Monge – Marstein is a part of the E136 in Romsdalen in Rauma municipal, Norway. In this highway stretch the horizontal alignment poor, and the road width is less than 5.5 m in some areas. Road improvement measures and subsequent road construction is planned in two sub-projects Marstein – Monge and Monge – Flatmark. Two tunnels are planned in areas where the road is too narrow relative to regulatory requirements regarding traffic volumes.

Romsdalen is one of the areas in Norway with the highest frequency of large rock avalanches. Several avalanches are registered, the oldest dating back to year 1200. Due to the increased safety requirements for roads and to minimize the extent of damage it is important to evaluate the risk of avalanches related to the new route placement.

This thesis is a supplement to the existing evaluation of avalanche hazards that has been carried out for the two sub-projects. 15 different profiles have been analyzed along the road stretch in question. The profiles have been selected based on former registered avalanches and the proximity to the new route. Evaluation of the rock fall hazard has been performed using a simple topographical method and RocFall-analysis. The hazard of snow avalanches has been estimated using the  $\alpha\beta$ -method and the energy line model. The investigations show a significant avalanche hazard in some parts of the road stretch.

Safety measures have been analyzed for some of the profiles. The results show that the placement of the safety measures and the size of the rocks have a great impact on the efficiency. The remaining profiles are not evaluated with further safety measures in this thesis, because a tunnel is already recommended.

A risk assessment has been performed using risk acceptance criteria to determine the necessary degree of securing of the the different unit stretches. This assessment shows that there are two particular areas with an intolerable risk of avalanches. It is recommended that the road is built in tunnel past one of the areas, the second will be secured using other safety measures.

The analysis carried out in this thesis shows that several of the areas prone to avalanche hazards. However, a more detailed mapping of the area is required to determine the risk of avalanche hazards in the relevant highway stretch.





# Innholdsfortegnelse

---

Sammendrag .....	iii
Abstract .....	v
Figurer .....	xi
Tabeller .....	xvii
1 Innledning .....	1
2 Bakgrunnsmateriale og metoder .....	3
2.1 Bakgrunnsmateriale .....	3
2.2 Prosjektet .....	3
2.3 Skredfare .....	7
2.3.1 Skredfarevurderinger .....	7
2.4 Metoder .....	8
2.4.1 Programvare .....	8
2.4.2 Feltarbeid .....	9
2.4.3 Beregningsmetoder .....	9
2.4.4 Risikoakseptkriterier .....	9
3 Teori – Skred i fast fjell .....	11
3.1 Skredtyper .....	11
3.1.1 Steinsprang og steinskred .....	11
3.1.2 Ustabile fjellpartier .....	12
3.1.3 Fjellskred .....	13
3.2 Utløsende årsaker for skred i fast fjell .....	14
3.3 Sikring .....	14
3.3.1 Sikring mot steinsprang og steinskred .....	14
3.3.2 Sikring mot ustabile fjellparti og fjellskred .....	15
3.4 Beregningsverktøy for utløpslengden til steinsprang .....	16
3.5 RocFall .....	17
3.5.1 Parameterverdier .....	17
3.5.2 Resultater og tolkninger .....	20
4 Teori - Snøskred .....	21
4.1 Skredtyper .....	21
4.1.1 Løssnøskred .....	22
4.1.2 Flaskred .....	23

4.2	Skredområdet .....	24
4.2.1	Utløsningsområdet .....	24
4.2.2	Skredløpet .....	25
4.2.3	Utløpsområdet.....	26
4.3	Spor i terrenget .....	26
4.3.1	Vegetasjon.....	26
4.3.2	Erosjon og avsetninger.....	27
4.4	Klimatiske forhold i sammenheng med skredhendelser .....	27
4.4.1	Returperiode.....	29
4.5	Beregningsmetoder for snøskred.....	29
4.5.1	$\alpha$ - $\beta$ -modellen.....	30
4.5.2	Energilinjemodellen.....	31
4.6	Sikring mot snøskred.....	32
4.6.1	Tunneler og overbygg .....	32
4.6.2	Terrengtiltak.....	33
4.6.3	Støtteforbygninger .....	35
4.6.4	Utflytting av veg, sjøfylling .....	35
4.6.5	Andre sikringstiltak.....	36
5	Forundersøkelser .....	37
5.1	Geologien i Romsdalen .....	37
5.1.1	Berggrunn .....	37
5.1.2	Løsmasser .....	38
5.2	Skredfare aktsomhetskart .....	40
5.2.1	Steinsprang aktsomhetskart .....	40
5.2.2	Snøskred aktsomhetskart .....	41
5.2.3	Aktsomhetskart snø- og steinskred .....	42
5.3	Klima og værforhold .....	43
5.4	Skredhendelser .....	45
5.4.1	Registrerte hendelser.....	45
5.4.2	Store fjellskred .....	47
5.5	Eksisterende sikringstiltak.....	48
6	Resultater.....	49
	Tommelfingerregel for estimering av utløpslengde for steinsprang .....	49

RocFall .....	49
Snøskredberegninger .....	50
Profil 1 .....	52
Profil 2 .....	56
Profil 3 .....	59
Profil 4 .....	64
Profil 5 .....	67
Profil 6 .....	71
Profil 7 .....	74
Profil 8 .....	77
Profil 9 .....	80
Profil 10 .....	82
Profil 11 .....	84
Profil 12 .....	86
Profil 13 .....	88
Profil 14 .....	93
Profil 14A .....	93
Profil 14B .....	95
Profil 15 .....	97
7 Risikoaksept-vurderinger .....	99
Enhetsstrekning 1 .....	99
Enhetsstrekning 2 .....	100
Enhetsstrekning 3 .....	100
Enhetsstrekning 4 .....	101
Enhetsstrekning 5 .....	101
Enhetsstrekning 6 .....	102
Enhetsstrekning 7 .....	102
Enhetsstrekning 8 .....	102
8 Diskusjon .....	105
8.1 Profiler .....	105
8.2 RocFall .....	105
Valg av parameterverdier .....	107
8.3 Tommelfingerregel-metoden for utløpsdistanse .....	107

8.4	$\alpha$ - $\beta$ -metoden .....	107
8.5	Energilinjemodellen .....	108
8.6	Kartleggingen .....	109
8.7	Skredfare .....	109
8.8	Risikoakseptkriterier for skred på veg .....	111
9	Konklusjon.....	113
	Referanser .....	115
A	VEDLEGG .....	1
	Profil 1.....	1
	Profil 2.....	6
	Profil 3.....	9
	Profil 4.....	12
	Profil 5.....	15
	Profil 6.....	20
	Profil 7.....	22
	Profil 8.....	24
	Profil 9.....	26
	Profil 10.....	29
	Profil 12.....	32
	Profil 13.....	34

## Figurer

Figur 2-1 Oversiktsbilde strekningen Marstein- Flatmark. Området markert med rød firkant viser i Figur 2 (gulesider.no/kart).....	4
Figur 2-2 Utsnitt fra kart i Figur 2-1. Viser jernbaneundergangen på Skirimoen (kart.finn.no, 2013). .....	4
Figur 2-3 Tverrprofil Remmem (Statens Vegvesen, 2002). .....	4
Figur 2-4 Veglinje Marstein - Monge. tunnel gjennom Mongehamran. Modifisert fra ArcGIS. ....	5
Figur 2-5 Figuren viser de ulike vegalternativene fra Flatmark – Monge. (Statens Vegvesen, 2007). .....	6
Figur 2-6 Risikomatrix for skred på vegstrekning. Grønn, gul og rød angir akseptnivået (Dahle m.fl., 2012). (Dahle m.fl, 2012) .....	10
Figur 3-1 Steinsprang i Lærdal (Bilde hentet fra: ngi.no[1], 2013).....	11
Figur 3-2 Steinskred (Bilde fra ngi.no[2], 2013) .....	12
Figur 3-3 Fjellskred (Bildet er hentet fra ngi.no[3], 2013). ....	13
Figur 3-4 Fjellnett og bolter (Bjordal, 2011). .....	15
Figur 3-5 Høyre: Sikring med sprøytebetong på vegskjæring (fra wikipedia.no, 2013). Venstre: Fjellbånd som sikring for ustabile enkeltblokker (Bjordal, 2011). .....	15
Figur 3-6 Fanggjerd på Rv70 Oppdølstranda, 2013 (Foto: Marie Drågen Belland). ....	16
Figur 3-7 Enkel metode for beregning av utløpslengde til steinsprang (Modifisert fra NVE, 2011).....	16
Figur 3-8 Bevegelsesmåter for steinsprang basert på helningsgraden (Bjordal, m.fl. 2011) .....	17
Figur 3-9 Hastighet før og etter nedslag i dekomponert tangentiell og nominell retning (Bjordal, m.fl. 2011). .....	18
Figur 3-10 RocFall-simulering som viser effekten av å inkludere rotasjonshastigheten (modifisert fra RocscienceInc., 2003).....	20
Figur 4-1 Skredtyper (Norem, 2011). .....	21
Figur 4-2 Løssnøskred (Lied og Kristensen, 2003). .....	22
Figur 4-3 Venstre: Flakskred (flickr.no/Statskog). Høyre: Bruddkant flakskred (ngi.no[4], 2013). .....	23
Figur 4-4 Skjematisk oppbygging snødekke (ngi.no [5], 2013) .....	23
Figur 4-5 Skredområde (Lied og Kristensen, 2003). .....	25
Figur 4-6 Skredområde med utløsningsområde, skredløp og utløpsområde (Lied og Kristensen, 2003). .....	26
Figur 4-7 Utløsning av snøskred med høyt vanninnhold (ngi.no[6], 2013) .....	28
Figur 4-8 Nasjonal fordeling av utløsende årsaker for skred. Ser at i Møre og Romsdal er nedbør viktigste utløsende årsak. (hentet fra ngi.no [7], 2013) .....	28
Figur 4-9 Forholdet mellom utløpsdistanse og skredfrekvens (Lied og Kristensen, 2003). .....	29
Figur 4-10 Alfa-beta modellen. Skissen viser parameterne som brukes. (SD er standardavvik og R er korrelasjonskoeffisient) (NVE, 2011). .....	30
Figur 4-11 Energilinjemodellen for beregning av snøskred (Norem, 2011). .....	31

Figur 4-12 Rørtunnel fv40 Dalsfjordvegen, 2013 (foto: Kari Linn Søreide). .....	32
Figur 4-13 Rasoverbygg ved Løggjølet på fv41, juni 2013 (Foto: venstre: Marie Drågen Belland. Høyre: Skjermdump Google Maps). .....	32
Figur 4-14 Fangvoll og ledevoll i system. Ved Fyrdsberg tunnelen på E39, 2013 (Foto: Marie Drågen Belland). .....	33
Figur 4-15 Skredoverbygg med forlenget ledevoll, Breidefonnoverbygget på E39 Stigedalen, 2013 (Foto: Marie Drågen Belland). .....	34
Figur 4-16 Kjegler i kombinasjon med voll på fv60 Strandadalen, 2013 (Foto: Kari Linn Søreide). .....	34
Figur 4-17 Støtteforbygninger, Honningsvåg. Sikrer både veg og hus (Foto: Jan Otto Larsen i Håland, 2012). .....	35
Figur 4-18 Utflytting av veg på sjøfylling. Fv 70 langs Hjørundfjorden, 1988 (Foto: Arnold Hustad, i Håland, 2012). .....	35
Figur 4-19 Høyre: DaisyBell. Øverst venstre: Snøskjermer. Nederst venstre: Bru over skredløp. (Håland, 2012). .....	36
Figur 5-1 Geologisk oversiktskart over Norge (Fra ngu.no [1], 2013). .....	37
Figur 5-2 Bergrunnskart området Marstein - Flatmark. (Fra ngu.no [2], 2013). .....	38
Figur 5-3 Marin Grense. (Fra ngu.no [3], 2013). .....	39
Figur 5-4 NGUs Løsmassekart. (Fra ngu.no [4], 2013). .....	39
Figur 5-5 Aktsomhetskart steinskred. (Modifisert i ArcGIS etter data fra ngu.no [5], 2013) .....	40
Figur 5-6 Aktsomhetskart snøskred. (Modifisert fra ArcGIS etter data fra ngu.no [6], 2013) .....	41
Figur 5-7 Aktsomhetsområde snø- og steinskred (modifisert fra ArcGIS, data fra ngu.no [7], 2013). .....	42
Figur 5-8 Døgnnormaler middeltemperatur for Alnes målestasjon, basert på normalperioden 1961-1990. (fra Eklima) .....	43
Figur 5-9 Normal årsnedbør i Norge for perioden 1960-1991. Rød stjerne markerer Romsdalen. Årsnedbør i Romsdalen ligger på 900-950 mm/år. (Modifisert i ArcGIS etter data fra Eklima, 2013). .....	43
Figur 5-10 Snødybden ved målestasjonene Mannen(1294 m.o.h) og Marstein (67 m.o.h). Målingene for Marstein ligger bak målingene for mannen, de mørkeste blå fargene viser resultat fra Marstein målestasjon (senorge.no, 2013). .....	44
Figur 5-11 Snødybdene langs fjella fra Monge til Rangåhøgda, maksimal snødybde det hydrologiske året 2012. Den mørkeste fargen på kartet tilsvarer snødybde over 400 cm (senorge.no, 2013). .....	44
Figur 5-12 Registrerte skredhendelser(skrednett.no/skredhendelser, 2013). .....	45
Figur 5-13 Registrerte raspunkt i Statens Vegvesens rasregister (Statens Vegvesen vegkart, 2013). Tabell 5-2 Skredhendelser. Fra skrednett.no, Statens vegvesen rasregister og A. Normann. ....	45
Figur 5-14 Børa med Mannen lengst unna i bildet (Blikra m.fl., 2002). .....	47
Figur 5-15 Tabell fra Statens vegvesens rasregister som viser sikringstiltak på Flatmark. Målestokk 1:30 000. (Statens Vegvesen Vegkart, 2013). .....	48
Figur 6-1 Plassering av profiler. ....	49

Figur 6-2 Figuren viser den maksimale snødybden langs vegstrekningen for det hydrologiske året 2012. Røde stjerner markerer løsnedområder for snøskredene i de ulike profilene (Modifisert fra Figur 5-11). .....	51
Figur 6-3 Profil 1 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	52
Figur 6-4 Bildet viser plasseringen av Profil 1 og Profil 2 (Modifisert fra Norgei3D). ....	53
Figur 6-5 Sikringstiltak profil 1. Voll i x=895, 10 m høy. Aksene er angitt i meter. ....	54
Figur 6-6 Sikringstiltak Profil 1, x=926. Aksene er angitt i meter. ....	54
Figur 6-7 Profil 2 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	56
Figur 6-8 Sikringstiltak profil 2. Voll med høyde 4 m. Aksene er angitt i meter. ....	57
Figur 6-9 Simulering med voll i x=1390 m. Denne analysen viste at ingen blokker nådde frem til verken voll eller veg. Aksen er angitt i meter. ....	58
Figur 6-10 Profil 3 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	59
Figur 6-11 Den nye veglinjen ligger rett nedenfor denne hammeren. Markeringer viser kant som antas å lede skredmateriale bort fra området (Foto: Marie Drågen Belland). ....	59
Figur 6-12 Venstre: Profil 3, løsnepunkt A, med blokker på 280 kg. Blokkene treffer hammeren og spretter i alle retninger. Venstre: Profil 3, løsnepunkt B, med blokker på 280 kg. Fjellhammeren fungerer som springbrett for blokkene. ....	60
Figur 6-13 Sikringstiltak profil 3, løsnepunkt A. Fanggjerd med høyde 5 m, og styrke 5000kJ. Aksen er angitt i meter. ....	62
Figur 6-14 Fanggjerder i profil 3. Høyde 5 m og styrke 5000 kJ. Aksene er angitt i meter. ....	62
Figur 6-15 Profil 4 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	64
Figur 6-16 Sikringstiltak profil 4. 10 m høy voll, med fanggjerd på 4 m på kronen. Aksen er angitt i meter. ....	66
Figur 6-17 Profil 5 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	67
Figur 6-18 Påhuggsområdet for tunnel gjennom Mongehamran, endepunkt for profil 5 (foto: Marie Drågen Belland, 2013). ....	68
Figur 6-19 Sikringstiltak i profil 5, voll i x=956 m. Aksene er angitt i meter. ....	69
Figur 6-20 Sikringstiltak i profil 5. Voll i x=1046 m, med høyde 10 m. Aksene er angitt i meter. ....	70
Figur 6-21 Profil 6 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	71
Figur 6-22 Påhuggsområdet for tunnel gjennom Mongehamran (Foto: Marie Drågen Belland, 2013). ....	71
Figur 6-23 Fanggjerd som sikring i profil 6. Gjerdet er 4 m høyt. Aksene er angitt i meter. ....	72
Figur 6-24 Profil 7 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	74
Figur 6-25 Høyre: Område for påhugg av tunnelen gjennom Mongehamran. Venstre: Fjellhammeren hvor det kan gå mindre skred (Foto: Marie Drågen Belland, 2013). ....	74
Figur 6-26 Sikringstiltak i profil 7. Fanggjerd i x=13 m. Aksene er angitt i meter. ....	76
Figur 6-27 Profil 8 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	77
Figur 6-28 Omtrentlig plassering av profil 8, ender i området for påhugg ved Rygg (foto: Marie Drågen Belland) .....	77
Figur 6-29 Plassering av profil 8 i forhold til Mongefossen. (Skjermdump fra Norgei3d.no) .....	78

Figur 6-30 Profil 9 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	80
Figur 6-31 Profil 10 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	82
Figur 6-32 Profil 11 Elv ved Mongeura. Modifisert fra ArcGIS. Aksene er angitt i meter. .....	84
Figur 6-33 Profil 12 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	86
Figur 6-34 Påhuggsområdet for tunnel fra Skiri til Rygg. Oransje firkant viser området. Stiplet oransje linje viser skar som tar av for ras fra skaret i fjellet bak. Rød linje viser plasseringen av profil 12. Blå stiplet linje markerer elven i Skirifonna, profil 13. (Foto: Marie Drågen Belland) .....	87
Figur 6-35 Profil 13 RocFall. Aksene er angitt i meter. ....	88
Figur 6-36 Skirifonna til høyre i bildet, hvor elven renner. (Foto: Marie Drågen Belland) .....	89
Figur 6-37 Snøskredberegninger profil 13 Skirifonna. Aksene er angitt i meter. ....	91
Figur 6-38 Plassering av Profil 14A og Profil 14B. Modifisert fra Norgei3D.no. ....	93
Figur 6-40 Snøskredberegninger Profil 14A Rangåa. Profilet er modifisert fra ArcGIS. Aksene er angitt i meter. ....	93
Figur 6-41 Profil 14B Rangåa. Bildet er modifisert fra ArcGIS. Aksene er angitt i meter. .....	95
Figur 6-42 Profil 14 Grønfonna. Modifisert fra ArcGIS. Aksene er angitt i meter. ....	97
Figur 7-1 Enhetsstrekningenes risiko vist i risikoakseptmatrisen (Modifisert fra Dahle m.fl., 2012).....	103
Figur A-1 Fordeling av endepunkt langs Profil 1A. ....	1
Figur A-4 Fordeling av endepunkt langs Profil 1B. ....	1
Figur A-5 Fordeling av endepunkt langs Profil 1C. ....	2
Figur A-6 Blokkenes spretthøyde langs Profil 1A.....	2
Figur A-7 Blokkenes spretthøyde langs Profil 1B.....	3
Figur A-8 Blokkenes spretthøyde langs Profil 1C.....	3
Figur A-9 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 1A. ....	4
Figur A-10 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 1B. ....	4
Figur A-11 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 1C. ....	5
Figur A-12 Fordeling av endepunkt langs Profil 2A .....	6
Figur A-13 Fordeling av endepunkt langs Profil 2B .....	6
Figur A-14 Blokkenes spretthøyde langs Profil 2A.....	7
Figur A-15 Blokkenes spretthøyde langs Profil 2B.....	7
Figur A-16 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 2A. ....	8
Figur A-17 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 2B. ....	8
Figur A-18 Fordeling av endepunkt langs Profil 3A. ....	9
Figur A-19 Fordeling av endepunkt langs Profil 3B. ....	9
Figur A-20 Blokkenes spretthøyde langs Profil 3A.....	10
Figur A-21 Blokkenes spretthøyde langs Profil 3B.....	10
Figur A-22 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 3A. ....	11
Figur A-23 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 3B. ....	11
Figur A-24 Fordeling av endepunkt langs Profil 4A. ....	12
Figur A-25 Fordeling av endepunkt langs Profil 4B. ....	12



Figur A-26 Blokkenes spretthøyde langs Profil 4A.....	13
Figur A-27 Blokkenes spretthøyde langs Profil 4B.....	13
Figur A-28 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 4A. ....	14
Figur A-29 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 4B. ....	14
Figur A-30 Fordeling av endepunkt langs Profil 5A.....	15
Figur A-31 Fordeling av endepunkt langs Profil 5B.....	15
Figur A-32 Fordeling av endepunkt langs Profil 5C.....	16
Figur A-33 Blokkenes spretthøyde langs Profil 5A.....	16
Figur A-34 Blokkenes spretthøyde langs Profil 5B.....	17
Figur A-35 Blokkenes spretthøyde langs Profil 5C.....	17
Figur A-36 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 5A. ....	18
Figur A-37 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 5B. ....	18
Figur A-38 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 5C. ....	19
Figur A-39 Fordeling av endepunkt langs Profil 6. ....	20
Figur A-40 Blokkenes spretthøyde langs Profil 6.....	20
Figur A-41 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 6. ....	21
Figur A-42 Fordeling av endepunkt langs Profil 7. ....	22
Figur A-43 Blokkenes spretthøyde langs Profil 7.....	22
Figur A-44 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 7. ....	23
Figur A-45 Fordeling av endepunkt langs Profil 8. ....	24
Figur A-46 Blokkenes spretthøyde langs Profil 8.....	24
Figur A-47 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 8. ....	25
Figur A-48 Fordeling av endepunkt langs Profil 9A. ....	26
Figur A-49 Fordeling av endepunkt langs Profil 9B. ....	26
Figur A-50 Blokkenes spretthøyde langs Profil 9A.....	27
Figur A-51 Blokkenes spretthøyde langs Profil 9B.....	27
Figur A-52 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 9A. ....	28
Figur A-53 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 9B. ....	28
Figur A-54 Fordeling av endepunkt langs Profil 10A. ....	29
Figur A-55 Fordeling av endepunkt langs Profil 10B. ....	29
Figur A-56 Blokkenes spretthøyde langs Profil 10A.....	30
Figur A-57 Blokkenes spretthøyde langs Profil 10B.....	30
Figur A-58 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 10A. ....	31
Figur A-59 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 10B. ....	31
Figur A-60 Fordeling av endepunkt langs Profil 12. ....	32
Figur A-61 Blokkenes spretthøyde langs Profil 12.....	32
Figur A-62 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 12. ....	33
Figur A-63 Fordeling av endepunkt langs Profil 13. ....	34
Figur A-64 Blokkenes spretthøyde langs Profil 13.....	34
Figur A-65 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 13. ....	35



## Tabeller

Tabell 3-1 Klassifisering fjellskred.....	13
Tabell 3-2 Parametere om påvirker hastighetsenergien til en blokk.....	18
Tabell 5-1 Forklaring og begrunnelse til kart i Figur 5-7. ....	42
Figur 5-13 Registrerte raspunkt i Statens Vegvesens rasregister (Statens Vegvesen vegkart, 2013). Tabell 5-2 Skredhendelser. Fra skrednett.no, Statens vegvesen rasregister og A. Normann.....	45
Tabell 6-1 Parameterverdier i RocFall benyttet i denne oppgaven.....	50
Tabell 6-2 Restitusjonskoeffisienter benyttet i denne oppgaven. Se Figur 0-1 og Figur 0-2 i Vedlegg A. ....	50
Tabell 6-3 Tabellen viser fordelingen av blokker langs Profil 1. Tallene er gitt i prosent. ....	53
Tabell 6-4 Tabell som viser andelen blokker som gikk forbi $x=896$ , med og uten voll. Tallene er gitt i prosent. ....	54
Tabell 6-5 Andelen blokker som stoppet forbi $x=926$ m, med og uten voll. Tallene er gitt i prosent.....	55
Tabell 6-6 Andel blokker som stanser på/over veg i profil 2. Tallene er gitt i prosent. ....	57
Tabell 6-7 Andel blokker som har endepunkt på eller over vegen. Fordi vegen ligger rett ved endepunktet for profilet er det ikke mulig å skille antallet blokker på vegen og over vegen. Tallene er gitt i prosent.....	60
Tabell 6-8 Andelen blokker på veg før og etter sikringstiltak ble satt inn. Tallene er gitt i prosent.....	61
Tabell 6-9 Andel blokker som stopper på vegen og over vegen i Profil 4. Tallene er gitt i prosent.....	65
Tabell 6-10 Andel blokker over veg, på veg og i grøft for de ulike størrelsene blokker, med og uten voll/fanggjerd. ....	65
Tabell 6-11 Andel blokker på veg/over veg profil 5. Tallene er gitt i prosent. ....	68
Tabell 6-12 Andel blokker som stopper forbi $x=956$ m, med og uten voll. Tabellen viser også effektiviteten til vollen for hvert tilfelle. Tallene er gitt i prosent. ....	69
Tabell 6-13 Andelen blokker som stopper forbi $x=1046$ m, med og uten voll. Effekten for sikringstiltaket i hvert av tilfellene er beregnet. Tallene er gitt i prosent. ....	69
Tabell 6-14 Andel blokker som stopper forbi det planlagte påhugget. Tallet er gitt i prosent.....	72
Tabell 6-15 Andel blokker ved påhugg i Profil 6, med og uten sikringstiltak.....	73
Tabell 6-16 Andel blokker i gitte punkt langs profilet. Tallene er gitt i prosent. ....	75
Tabell 6-17 Andelen blokker som blir stoppet av fanggjerdet i $x=13$ m. Tallene er gitt i prosent.....	75
Tabell 6-18 Andelen blokker på veg i profil 8. Tallene er gitt i prosent. ....	78
Tabell 6-19 Andel blokker på og over veg i profil 9. Tallene er gitt i prosent. ....	81
Tabell 6-20 Andel blokker som stopper på og over veg i profil 10. Tallene er gitt i prosent.....	83
Tabell 6-21 Andel blokker på påhugg/veg i Profil 12. Tallene er gitt i prosent. ....	87
Tabell 6-22 Andel blokker på/over veg i profil 13. Tallene er gitt i prosent. ....	89



# 1 Innledning

---

Hvert år meldes det om flere skredhendelser på norske veger. Størrelsen og hyppigheten på skredene varierer, men de fleste skred skjer i kombinasjon med mye nedbør, både som regn og snø. Den årlige nominelle sannsynligheten forteller noe om hvor ofte en kan forvente å få skredhendelser på veg, og ved bygging av ny veg er kravene til sikkerhet høyere enn kravene på eksisterende veger. Nye veger skal sikres mot 20-50 års skred, eksisterende veger sikres mot 100-300 års returperiode.

Ved utbedring av vegen fra Flatmark – Marstein langs E136 i Romsdalen må det gjøres en vurdering av skredfaren i området. Romsdalen er et område med relativt stor skredfare, flere store skredhendelser er registrert her. I denne oppgaven blir det gjort en skredfarevurdering ved hjelp av enkle, men effektive beregningsmodeller.

Oppgavens hensikt er å kartlegge skredfaren langs ny E136 på strekningen Flatmark – Marstein i Romsdalen. Historiske skredløp kartlegges ved hjelp av flyfoto og lokalhistorie og feltarbeid. Potensielle kildeområder for ulike skredtyper fastsettes og utløpslengder estimeres ved hjelp av analyseverktøy som for eksempel RocFall og GIS-analyse av terrengmodell. Skredfaren skal vurderes i henhold til gjeldende retningslinjer for nybygging av veg. Det benyttes også risikoakseptkriterier for vurdering av nødvendig sikring langs strekningen.

I kapittel 2 gis en oppsummering av kommunedelplanen for Flatmark – Marstein og reguleringsplanen for Marstein – Monge. Tidligere rasfarevurderinger og metoder blir også beskrevet her. Videre er det en teoretisk gjennomgang av skredtyper, beregningsmodeller og sikringstiltak i kapittel 3 og 4. Innsamling av tilgjengelig informasjon i form av kart, flyfoto og skredhendelser er viktig for å kunne gjøre en vurdering av rasfaren, dette er vist i kapittel 5.

Resultatene fra arbeid gjort til denne oppgaven blir presentert i kapittel 6. I kapittel 7 gjøres en risikoaksept-vurdering. Diskusjon av metoder og resultater finnes i kapittel 8, etterfulgt av konklusjon og videre arbeid i kapittel 9.



## 2 Bakgrunnsmateriale og metoder

---

I det følgende kapittelet blir bakgrunnsmateriale benyttet til oppgaven oppsummert, sammen med metoder og programvare som er benyttet. Prosjektbeskrivelsen samt kommunedelplanen/reguleringsplanen med temarapporter for vegprosjektene E136 Flatmark – Monge og E136 Monge – Marstein blir kort oppsummert.

### 2.1 Bakgrunnsmateriale

Romsdalen er en av dalene i Norge hvor det er registrert flest store fjellskred, og en kan finne mye dokumentasjon om skred i området. Torkild Åndals rasfarevurdering for området, temarapport i kommunedelplanen (Statens Vegvesen, 2007), har vært svært nyttig grunnlag til denne oppgaven, med flyfoto fra 1950 og hans egne bilder. Bakgrunnsmateriale som har blitt brukt er:

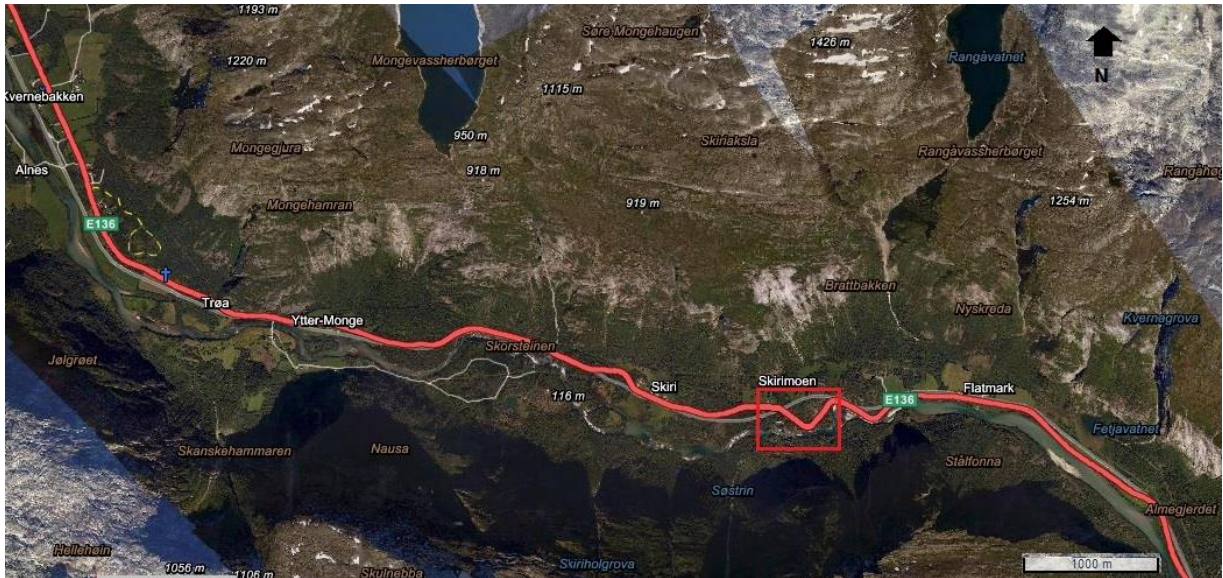
- Google Maps
- Topografisk Norgeskart (Kartverket)
- Skrednett.no (skredhendelser, fjellskred, stein- og snøskred, skredfaresoner)
- Statens Vegvesen rasregister (vegvesen.no/vegkart)
- Andreas Normanns beretninger (Normann, ukjent årstall)
- Kommunedelplan, E136 Flatmark – Monge
- Reguleringsplan, E136 Monge - Marstein
- NGUs karttjenester

### 2.2 Prosjektet

Strekningen Flatmark – Marstein er ca. 9 km lang og ligger i Rauma kommune i Romsdalen langs E136 mellom Dombås og Ålesund. Vegen er hovedtransportåre mellom det indre østlandsområdet og nordre del av Vestlandet og Møre og Romsdal.

Utbedringen av vegen fra Flatmark til Marstein er to prosjekter som er planlagt hver for seg, strekningene Flatmark – Monge og Monge – Marstein. De to strekningene skal prosjekteres samtidig. Begge strekningene har for liten vegbredde og til dels svært dårlig horisontalkurvatur. Mellom Flatmark – Monge er det også en høydebegrensning i jernbaneundergangen på Skiri. Trafikkulykkene på strekningen Flatmark – Marstein skjer i hovedsak i de krappe kurvene og ved jernbaneundergangen, se Figur 2-1 og Figur 2-2.

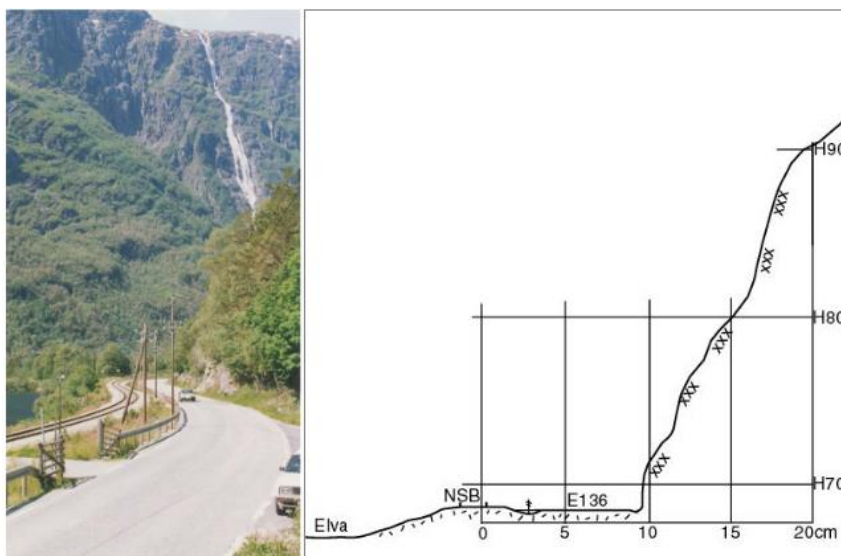
Strekningen Flatmark – Monge er den lengste, og er også den strekningen som har flest raspunkter. To av disse ligger ved Rygg, hvor det er registrert flere skred som har truffet vegen. To andre skredpunkt fra Statens Vegvesens rasregister ligger også på denne strekningen. Strekningen Monge – Marstein er ca. 3,5 km, og store deler av denne strekningen er smalere enn 5,5 m. Ved Rømmem ligger vegen helt inntil jernbanelinjen og avgrenset av en bergknaus oppover, se Figur 2-3.



Figur 2-1 Oversiktsbilde strekningen Marstein- Flatmark. Området markert med rød firkant viser i Figur 2 (gulesider.no/kart).



Figur 2-2 Utsnitt fra kart i Figur 2-1. Viser jernbaneundergangen på Skirimoen (kart.finn.no, 2013).



Figur 2-3 Tverrprofil Rømmem (Statens Vegvesen, 2002).

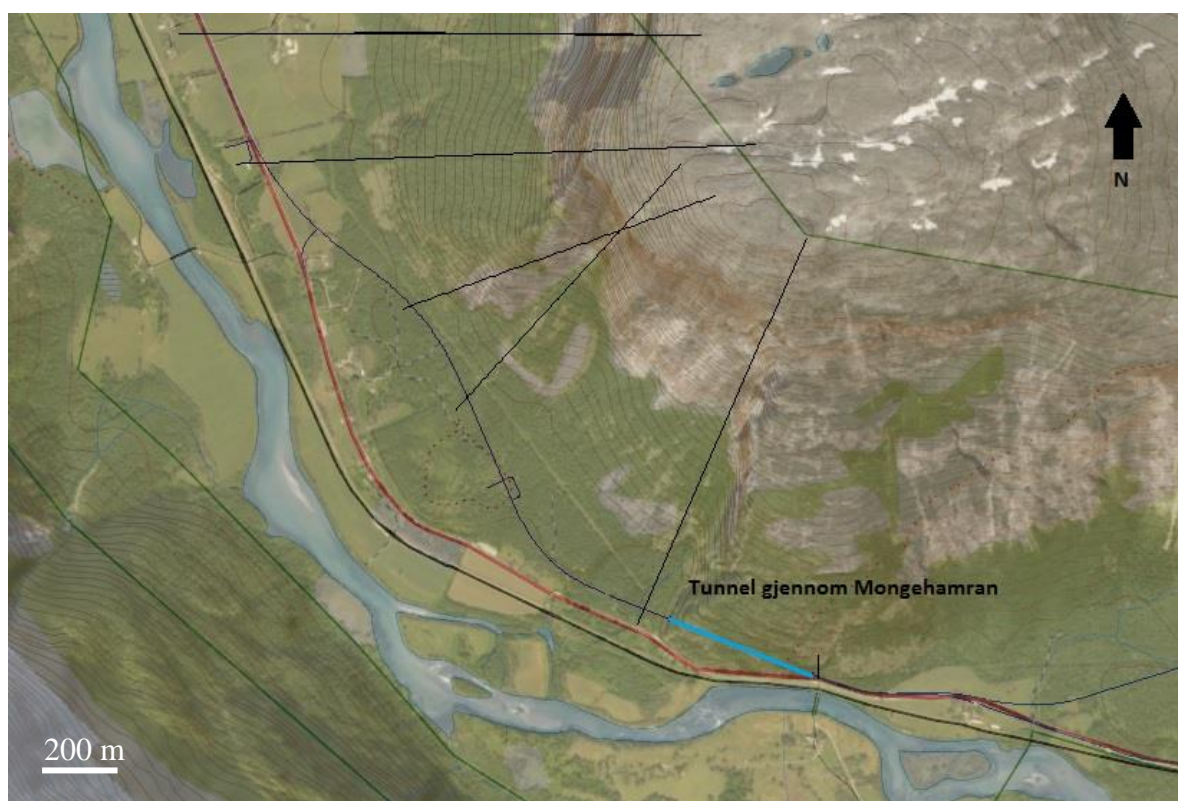


Hovedmålet for utbedringen av vegen er å få redusert reisetid og lavere ulykkesrisiko. Særlig viktig er redusert reisetid og forutsigbarhet for langdistansetransportene, enten det gjelder gods- eller persontransport. Gjennomsnittlig trafikkmengde er ca. 1500 kjøretøy/døgn (ÅDT), av disse utgjør tungtransportdelen ca. 25 %. Sommerdøgntrafikken er 3000 ÅDT. Fremskrevet ÅDT for 2014 er 1700.

Den nye vegen skal planlegges med dimensjoneringsklasse S2, med 8,5 m vegbredde og fartsgrense 80 km/t. Tunnelen vil få en profil på 8,5 m. Minimum horisontal kurveradius er 275 m. Det er mål om 2 forbikjøringsmuligheter per 5 km.

For strekningen Monge – Marstein er vegen planlagt å ligge nord for eksisterende veg med slak stigning mot planlagt tunnel gjennom Mongehamran, se Figur 2-4.

For strekningen Flatmark – Marstein er 4 alternativer for veglinjen vurdert, se Figur 2-5. Statens Vegvesen anbefaler alternativ B med alternativ A1 forbi husene på Skiri. Dette innebærer at det bygges tunnel fra Skiri til Monge, og at på Skiri legges vegen mellom husene og elva, og at vegen og jernbanen forskyves mot elva i dette området.



Figur 2-4 Veglinje Marstein - Monge. tunnel gjennom Mongehamran. Modifisert fra ArcGIS.



Figur 2-5 Figuren viser de ulike vegalternativene fra Flatmark – Monge. (Statens Vegvesen, 2007).

## 2.3 Skredfare

### 2.3.1 Skredfarevurderinger

Skredfarevurderingen for strekningen Flatmark - Monge er gjort av Torkild Åndal, og er en temarapport i kommunedelplanen. Rasfarevurderingen for Marstein – Monge er en del av reguleringsplanen. Siden Statens Vegvesen anbefaler alternativ B med A1 forbi gårdene på Skiri, er ikke påhuggene ved Fetjavatnet og Gravdehaug tatt med i videre vurderinger (Statens Vegvesen, 2007).

#### **Flatmark – Marstein**

På denne strekningen er det vurdert fire alternativer for tunnelpåhugg. Disse vil bli kort beskrevet her, og videre undersøkelser blir beskrevet i kapittel 6.

- Rygg/Monge. Tunellpåhugg som først var planlagt i et sva, men i følge A. Normann har det gått et snøskred ved påhugget, så det ble flyttet et par hundre meter vestover, da nærmer man seg en rygg som vil redusere faren for steinskred. Flyttingen fører påhugget nærmere Mongefossen, og selv om det ikke er ofte fossen renner lengre, bør det tas hensyn til denne ved å bygge en voll eller grøft.
- Omtrent 500 m vest for Skirigårdene er det et område egnet for påhugg. Det er et begrenset område som er tryggere enn områdene rundt. En rygg leder eventuelt rasmateriale bort fra påhugget og ned i et gjøl på andre siden. Påhugg i dette området vil gi en tunnel på ca. 1,2 km, og er alternativ B i kommunedelplanen, se Figur 2-5. På grunn av rasfare på begge sider av påhugget må det bygges en lengre portal enn normalt, lengden avhenger av andre sikringstiltak.
- Ved Fekjavatnet ligger område som kan være egnet for påhugg, men noen glatte sva gjør at dette ikke er av de beste alternativene. Strukturer i fjellsiden viser også at det har gått og kommer til å gå store skred, det siste gikk i 2003. Mange tyngre tiltak må gjøres her, som ledevoller og veg delvis på bru. Påhugg her vil gi tunnel på ca. 6 km.
- Ved Gravdehaug er det et område som kan være egnet som tunnelpåhugg. Området ligger under 100 m fra jernbanen, og er en 30-50 m høy skrent. Over skrenten er det en hylle med grovt urmateriale som med stor sannsynlighet vil stoppe det mest som kommer fra fjellsiden. To skredhendelser har skjedd i området her, men disse har gått litt lenger sør. Påhugg her gir tunnel lengre enn 8 km.

#### **Monge – Marstein**

- Ved Monge: Snøskredfaren blir ikke ansett for å være stor her, selv om det gikk et snøskred i 1868 som tok livet av en person, se Tabell 5-2 i kapittel 5.4. Faren for snøskred og steinsprang gjør at det ikke blir aktuelt å flytte vegen nærmere fjellsiden ved Monge, til tross for at dette kunne ha løst nærføringsproblemene i forhold til husene.
- Vest for Mongehamran: Ingen fare for snøskred, men årlige steinsprang. Disse stopper før de treffer området for den planlagte vegen. Rett vest for Mongehamran har det gått flere steinskred fra Mongegygra, se Tabell 5-2 kapittel 5.4. Planlagt

sikring for dette området er en 8-10 m høy voll bygget av overskuddsmasse fra tunnelen, mellom tunnelen og fjellveggen.

- Ved Marstein er vegen lagt nær en fjellhammer, omtrent der hvor kraftlinjen går i dag. Dette området ligger rett utenfor området med registrert skredfare, se Figur 5-5. Det finnes store blokker i området for vegen, men disse er gamle og mye skog i området forteller om lite skredaktivitet.

## 2.4 Metoder

### 2.4.1 Programvare

#### **ArcGIS**

ArcGIS er ulike dataprogrammer som i kombinasjon med geografiske data utgjør et komplett geografisk informasjonssystem, et GIS. ArcGIS er laget av ESRI, Redlands, California. Programmet består av flere moduler, og innen hver modul finnes flere nivåer (Oterholm, 2008).

NTNU har lisens på ArcGIS, programmet har derfor blitt benyttet som kartverktøy i denne oppgaven. Kart som ble benyttet var topografisk Norgeskart fra kartverket, flyfoto fra Geocache fra Geodata Tromsø, DEM(Digital Elevation Model) fra Kartverket og ulike kart fra NGUs karttjenester.

Programmet ble benyttet til å hente ut terrengprofiler til bruk i RocFall, ved hjelp av 3D-Analyst-verktøyet. Linjer i kartet trukket langs profilet dekket både løseområde og antatt utløpsområde og veglinjen. Data om profilet ble så eksportert til Excel for videre bruk i RocFall.

#### **RocFall**

RocFall er et statistisk program fra Rocscience Inc. som kan hjelpe en planlegger med sannsynlighetssimulering av steinsprang og utforming av stabiliserende konstruksjoner. Energi, spretthøyde og endepunkt til blokkene blir grafisk fremstilt. Resultatene i denne oppgaven ble transportert til Excel for videre behandling. 12 profiler ble undersøkt i RocFall i denne oppgaven.

I RocFall kan man også legge inn barrierer og planlegge og dimensjonere sikringstiltak. Resultatene avhenger av nøyaktigheten til skråningsgeometrien og ulike parameterverdier (Stevens, 1998)(RocscienceInc., 2013). Parameterverdiene benyttet i denne oppgaven er beskrevet i kapittel 3.5 RocFall.

Profilene fra ArcGIS ble eksportert til RocFall via Excel. Høydemodellen benyttet for profilene har en oppløsning på 10 x 10m.

#### **QuantumGIS**

QuantumGIS er også et program som sammen med kartdata utgjør et geografisk informasjonssystem. Dette programmet er blitt brukt til å lage aktsomhetskartet for snø- og steinskred. Kartdata ble lastet ned fra NGUs karttjeneste som shapefiler. Videre ble de ulike dataene sortert etter skredtype, og skilt med ulike farger, se kapittel 5.2.3.

### 2.4.2 Feltarbeid

I forbindelse med denne oppgaven ble det gjort tre korte feltundersøkelser i Romsdalen. Første tur var 3-4. juni 2013. Torkild Åndal var med som lokalkjent. Traseen til den nye veglinjen ble studert, og plasseringen av påhuggene til tunnelene ble forklart og begrunnet. Den andre feltundersøkelsen ble gjort 3. september 2013, denne gangen for å ta nærmere i øyesyn de profilene som var valgt ut til RocFall-analysene. Den tredje turen fant sted 23. oktober, denne gangen var det for å se nærmere på de ulike snøskredløpene.

### 2.4.3 Beregningsmetoder




I denne oppgaven er det blitt benyttet tre ulike metoder for beregning av skredfare. Den første er tommelfingerregelen for beregning av skredfare i fjellsider. Modellen er en enkel topografisk modell som gir et estimat for utløpslengden til steinsprang basert på enkle inngangsdata.

For snøskred er det benyttet to ulike metoder for beregning av utløpslengde.  $\alpha\beta$ -metoden er en topografisk modell for beregning av utløpslengden til skred, basert på vinkelen til linja fra løsneområdet til det punktet der skredet bremses. Energilinjemodellen er en dynamisk modell for beregning av utløpslengde, basert på vinkelen i løsneområdet og hastighetshøyden i et gitt punkt langs profilet. Grundigere beskrivelse av metodene finnes i kapittel 3 og 4.

### 2.4.4 Risikoakseptkriterier

Det er gjort en vurdering av samlet risiko for skred på vegen, og vurdert om disse oppfyller kravene

Det finnes i dag ikke tydelige retningslinjer for hvilke risikoakseptkriterier som er gjeldende for skred på veg i Statens Vegvesen. Dette fører til at graden av sikring varierer mellom ulike prosjekter, og det er opp til hvert enkelt vegprosjekt å finne et passende sikringsnivå. Det er utarbeidet et forslag til risikoakseptkriterier for skred på veg. Tiltak på og langs veg som krever byggeplan/reguleringsplan, omfattes av akseptkriteriene. Akseptkriteriene også vil være en veileder med hensyn på behov for sikringstiltak mot skred langs eksisterende veg. Akseptkriteriene gjelder for veg med flytende trafikk, busslommer, rasteplasser o.l. krever større sikkerhetsnivå. (Dahle m.fl., 2012).

Årlig nominell skredsannsynlighet pr. enhetsstrekning	I ≤ 1/2						
	II ≤ 1/5						
	III ≤ 1/10						
	IV ≤ 1/20						
	V ≤ 1/50						
	VI ≤ 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 2-6 Risikomatrix for skred på vegstrekning. Grønn, gul og rød angir akseptnivået (Dahle m.fl., 2012). (Dahle m.fl, 2012)

Konsekvensklassene er delt inn etter årsdøgntrafikk, økende ÅDT gir økt konsekvens. Sannsynlighetsklassene er inndelt etter årlig nominell sannsynlighet for skredstengt enhetsstrekning.

Målet med metoden er å finne akseptnivå for sikkerhet på vegstrekninger, basert på årsdøgntrafikk (ÅDT) og nominell sannsynlighet for skred på veg. Strekingen deles inn i enhetsstrekninger på 1 km for å få en helhetlig vurdering av strekninger. Hver enhetsstrekning kan omfatte flere skredpunkter som krever sikring. Dersom enhetsrisikoen er uakseptabel(rød) eller tolererbar(gul), må det innføres tiltak som gir en årlig nominell sannsynlighet for skredhendelser på enhetsstrekningen som er akseptabel(grønn).

I noen tilfeller vil kostnadene og ulempene ved skredsikring til akseptabelt (grønn) risikonivå være uforholdsmessig store. Det kan da åpnes for å akseptere tolererbar (gul) risiko på enhetsstrekningen. Dette krever at det gjøres en kost-nytte-analyse, hvor resultatet fører til at det er forsvarlig å øke akseptnivået til tolererbart (gul). En kost-nytte-analyse er en systematisk kartlegging av fordeler og ulemper ved et bestemt tiltak. Nyttevirkninger og kostnader verdsettes i kroner så langt det er faglig forsvarlig. Det kan åpnes for risikoaksept på grunnlag av at konsekvens kun er vurdert ut fra ÅDT, noe som ikke reflekterer viktigheten av vegen. (Dahle, m.fl, 2013)



## 3 Teori – Skred i fast fjell

---

### 3.1 Skredtyper

#### 3.1.1 Steinsprang og steinskred

Steinsprang og steinskred er deler av fjellet som løsner og faller ned bratte fjellsider, ofte med en helningsvinkel større enn  $40^\circ$ . Løsneområdet for steinsprang og steinskred er ofte skrenter med stort overheng og bratte skråninger med høy grad av oppsprekking. Fragmentene faller, spretter og ruller ned skråningen til terrenget flater ut. En skiller mellom steinsprang og steinskred på størrelsen. Et steinsprang kan variere i størrelse fra noen få kubikkmeter til flere hundre kubikkmeter. Et steinskred varierer fra noen få hundre kubikkmeter til flere hundretusen kubikkmeter. I et steinskred splittes ofte fragmentene opp på grunn av bevegelsen, noe de ikke gjør i steinsprang. (Devoli m.fl., 2011).

Materialet fra steinsprang og steinskred samler seg i urer ved foten av fjellet. Avsetninger fra steinskred som treffer vann får en kjegleform. Disse avsetningene kan skilles fra avsetninger etter fjellskred, fordi de har en kortere utløpsavstand og mer regelmessig kjegleform.

Steinsprang og steinskred kan ofte være vanskelige å forutsi, da deformasjonen som skjer ofte er liten og tar relativt kort tid. Steinsprang og steinskred gir ofte tydelige spor i topografien, som kan være synlige i mange år. Nye arr og spor kjennetegnes av lysere farge i fjellet, nye blokker i ura og merker på trær. (Devoli m.fl., 2011).



Figur 3-1 Steinsprang i Lærdal (Bilde hentet fra: ngi.no[1], 2013).



**Figur 3-2 Steinskred (Bilde fra [ngi.no](http://ngi.no)[2], 2013)**

Steinsprang og steinskred kan variere mye i størrelse og omfang. De utgjør en trussel for jernbanelinjer og veger fordi de kan stenge vegbanen og treffe kjøretøy. Steinsprang og steinskred i mer urbane strøk kan også føre til skade på bebyggelse og mennesker.

Det er ofte lite deformasjon i kildeområdet for steinsprang og steinskred. Dette gjør at identifiseringen av utløsningsområdet kan være vanskelig, spesielt for steinsprang. Steinskred kan i noen tilfeller identifiseres i ustabile skråninger som viser strukturelle og morfologiske tegn på at større områder vil rase ut. Bakkebasert radar og terrestrisk laserovervåkning er ny teknikk som kan gjøre det mulig å oppdage steinsprang på utvalgte steder. (Devoli m.fl., 2011).

### **3.1.2 Ustabile fjellpartier**

Et ustabil fjellparti er et område med stor deformasjon i en fjellside. Volumet er stort, fra noen tusen til flere millioner kubikkmeter. Bevegelsen skjer ofte ved glidning, velting og strømming, eller en kombinasjon av disse. Hastigheten kan være i mm/år, men en ser ofte at hastigheten øker mye rett før utrasing. Det dannes ofte sprekker i fjellpartiet under bevegelsen. Fjellpartiene består i hovedsak av fjell, men kan være dekket av sedimenter, vegetasjon og jord. Dersom bevegelsen går over i et fall kan det ustabile fjellpartiet utvikle seg til å bli et steinsprang eller steinskred.

Ustabile fjellpartier kan identifiseres ved tegn på tidligere bevegelse, ved sprekker, lange bratte skrenter, klipper og skråninger, senkninger, motskrenter, grabenstrukturer, eller høy steinsprangaktivitet.

Krypbevegelse i den ustabile fjellmassen kan skade infrastruktur som bygges på eller i områder i bevegelse. Dersom fjellpartiet kollapser kan en få dannet et fjellskred med potensielt katastrofale konsekvenser, for eksempel flodbølger dersom skredet går i fjordstrøk.

Overvåkning av ustabile fjellpartier kan gjøres på forskjellige måter. Bevegelsehastigheten måles f eks. med GPS, totalstasjon, ekstensometre, terrestrisk



laserovervåkning, bakkebasert radar, InSAR(Interferometric synthetic aperture radar) (Wyllie og Mah, 2004). Alderen på skred som har gått kan dateres ved hjelp av flyfoto for nyere skred, og med kosmogene dateringsmetoder for eldre skred. Før store kollapser av ustabile fjellpartier er det ofte tegn på aktivitet. Det kan være akselererende bevegelser, forstyrrelser i vegetasjon og steinsprangaktivitet langs de ustabile flatene.

### 3.1.3 Fjellskred

Fjellskred oppstår etter en kollaps i et ustabil fjellparti. Store volum med fragmentert berg får høy hastighet og flomlignende bevegelser. Fjellskred klassifiseres ut i fra volum og utløpslengde, se Tabell 3-1. Fjellskred med stort volum får større mobilitet, og får innvirkning på store områder.

Tabell 3-1 Klassifisering fjellskred.

Betegnelse	Volum	Rekkevidde
Små fjellskred	100 000 - 200 000 m <sup>3</sup>	Litt lenger enn fallhøyden
Middels fjellskred	200 000 – 1 mill. m <sup>3</sup>	1,4 – 3 ganger fallhøyden
Store fjellskred	1 – 5 mill. m <sup>3</sup>	2 – 5 ganger fallhøyden
Meget store fjellskred	5 – 100 mill. m <sup>3</sup>	3 – 7 ganger fallhøyden

Fjellskred kan sees som arr og spor i morfologien i lang tid etter hendelsen. Dette skyldes de markante topografiske endringene og forandringen i overflatepatina. Store blokkavsetninger med bratt front og kaotisk overflatemorfologi er også tegn på fjellskred. Avsetningene etter fjellskred som treffer vannoverflater har ofte kjegleform. Disse finner en i bunnen av fjorder, innsjøer og blokkmark. Noen ganger kan det være et distinkt, konsentrisk bølgemønster rundt avsetningene. Avsetningene kan kartlegges ved hjelp av geofysiske teknikker.

Forskjellen mellom avsetninger fra fjellskred og avsetninger fra steinsprang og steinskred er at fjellskred ofte har en lavere vinkel fra kildeområdet til randen av avsetningen og en mer kaotisk og uregelmessig morfologi.



Figur 3-3 Fjellskred (Bildet er hentet fra [ngi.no](http://ngi.no)[3], 2013).

Fjellskred kan bevege seg fort og langt, og kan bevege seg flere km før de stopper. Dersom skredet går over i et flomskred kan utløpsdistansen bli enda lenger. Infrastruktur i skredløpet blir totalt ødelagt og dødshallene ved store skredhendelser kan bli høye, siden det er liten mulighet for varsling og evakuering på grunn av de store hastighetene skredene kan oppnå.

Etter kollaps oppnår fjellskredet stor hastighet, og kan ikke overvåkes. Ustabile fjellpartier kan derimot overvåkes og til en viss grad sikres. Den viktigste sikringen mot store fjellskred er effektiv arealplanlegging og evakueringsplaner, da dette kan redusere konsekvensene av slike skred.

### **3.2 Utløsende årsaker for skred i fast fjell**

Stabiliteten til løse blokker i en fjellside blir i stor grad påvirket av ytre faktorer. Disse ytre faktorene og den utløsende årsaken er listet opp under. De tre første faktorene er styrt av klimaprosesser, og vil variere ved varierende klima (Devoli m.fl., 2011).

- Nedbør – Store nedbørsmengder fører til økt poretrykk i sprekker, som fører til oppsprekking, samt at vannet finner nye veier og eroderer. I sprekker fylt med løsmasser vil vannet skylle bort dette og gi stabilitetsproblemer.
- Snøsmelting – snøsmelting i kombinasjon med store nedbørsmengder fører til økte vannmengder, og derav erosjon og økt poretrykk.
- Temperatur – vann utvider seg 9 % når det fryser. I vannfylte sprekker kan dette derfor føre til utrasing av blokker.
- Rotsprengning – store rotsystemer fra trær og annen vegetasjon kan føre til oppsprekking i berggrunnen og utskyvning av blokker. Dersom det er mye jord og forvittringsmateriale i sprekken kan disse materialene fungere som utglidningsplan.
- Jordskjelv – jordskjelv forekommer sjelden i Norge og de er som regel svake. De er i liten grad årsaken til steinsprang men en kan anta at større jordskjelv kan inntreffe og forårsake flere utfall. Dette var tilfelle for ca. 5000 år siden, når en antar at høy tektonisk aktivitet førte til økt skredfrekvens (Blikra m.fl., 2002).

### **3.3 Sikring**

#### **3.3.1 Sikring mot steinsprang og steinskred**

Sikring mot steinsprang og steinskred kan deles i passive og aktive tiltak. Passive tiltak er tiltak som stanser skredmassene i utløpsområdet, som fjellnett (Figur 3-4), fanggjerde (Figur 3-6), gjerder, ledevoller (se kapittel 4.6) og verneskoger. Arealplanlegging, tidlig varsling og evakuering er også passive tiltak. Aktive tiltak er sikringstiltak som fokuserer på skredets kildeområde og hindrer at skredet skjer, for eksempel fjellbolter (Figur 3-4), sprøytebetong, geometriendringer i skråningen, kontrollert sprengning av ustabile blokker, drenering og nyplantning av vegetasjon.

### 3.3.2 Sikring mot ustabile fjellparti og fjellskred

På grunn av store volum i de ustabile fjellpartiene og høy energi i etterfølgende skred vil aktive sikringstiltak som fjellbolter, ledevoller og sprenging være unyttige. Drenering av vann i sprekkeene kan redusere forskyvningshastigheten, men dette er nok i de fleste tilfeller ikke nok til å fullstendig unngå en kollaps på lang sikt. Passive tiltak som tidlig varsling og arealplanlegging er den mest effektive måten å redusere konsekvensene av en plutselig kollaps i en fjellside.



Figur 3-4 Fjellnett og bolter (Bjordal, 2011).



Figur 3-5 Høyre: Sikring med sprøytebetong på vegskjæring (fra wikipedia.no, 2013). Venstre: Fjellbånd som sikring for ustabile enkeltblokker (Bjordal, 2011).



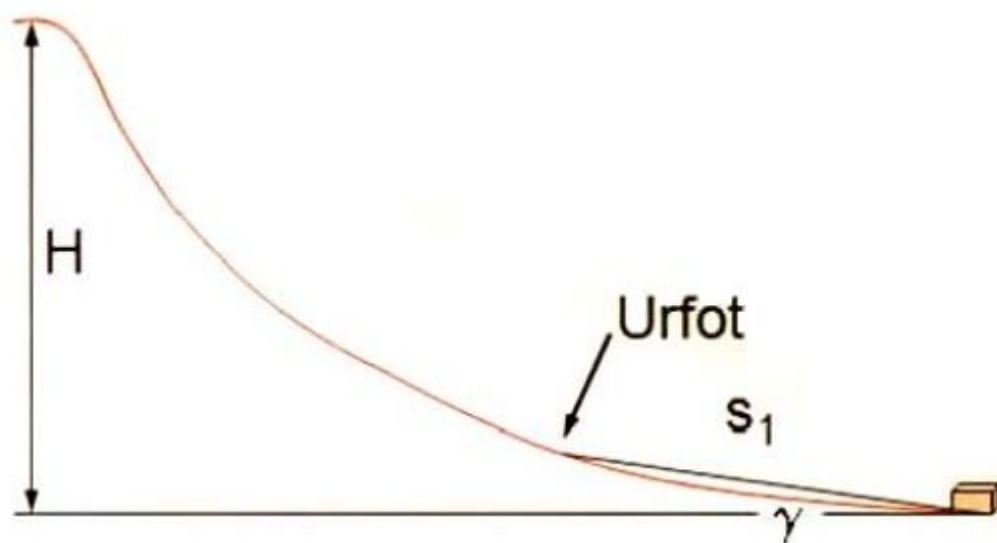
Figur 3-6 Fanggjerdar på Rv70 Oppdølstranda, 2013 (Foto: Marie Drågen Belland).

### 3.4 Beregningsverktøy for utløpslengden til steinsprang

Domaas presenterte i 1994 en enkel tommelfingerregel for beregning av utløpslengden til steinsprang. Metoden er topografisk og er basert på en analyse av mer enn 120 undersøkte enkeltsprang (NVE, 2011). Regelen sier at et steinsprang kan passere foten av ura med en sitanse tilsvarende  $1/3$  av fjellsidens høyde pluss 30 m, se Figur 3-7. Modellen gjelder bare når fjellsiden er høyere enn 100 m og terrenget utenfor foten av ura har slak helning.

Formelen for beregning ved bruk av denne metoden er som følger:

$$\text{Rekkevidde (m)} = \frac{H}{3} + 30 \quad (\text{formel 3.1})$$



Figur 3-7 Enkel metode for beregning av utløpslengde til steinsprang (Modifisert fra NVE, 2011)).

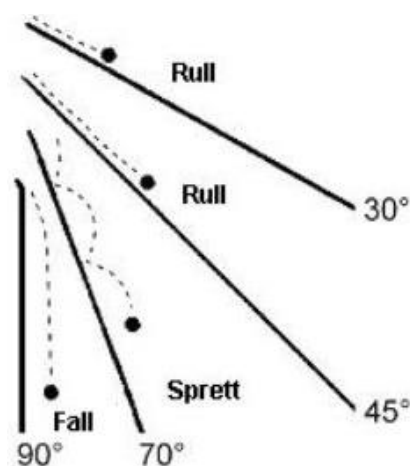
### 3.5 RocFall

RocFall er et statistisk program utviklet av Rocscience Inc. i Canada. Programmet er en simuleringsmodell som benyttes for å vurdere forløpet av potensielle steinsprang og utforming av stabiliserende konstruksjoner. I denne oppgaven blir versjon 4.057 av programmet benyttet.

For å benytte RocFall må det legges inn data om skråningsprofilen og materialtypen i underlaget, samt antatt løsnepunkt, form og vekt for den ustabile blokken. For et valgt antall simuleringer gir programmet en statistisk fordeling av sannsynlige skredbaner. Simuleringene kan gi blokkens mest sannsynlige bane, energi og utløpsdistanse.

RocFall er nyttig til å bestemme plassering, høyde og kapasitet på sikringstiltak, fordi simuleringene kan vise blokkens energi og spranghøyde i valgte observasjonspunkt. Det er allikevel viktig å understreke at det er mange feilkilder i inngangsparameterne, slik at beslutninger må baseres på faglige og erfaringsmessige grunnlag.

Blokkens bevegelse i et steinsprang er sammensatt av utglidning, fritt fall, sprang mot underlaget, rulling og gliding. Det er geometrien og dempingsforholdene i skredbanen som avgjør hvordan blokken vil bevege seg. Figur 3-8 viser blokkens sannsynlige bevegelse på grunnlag av skredbanens helningsvinkel. (Bjordal, m.fl. 2011)



Figur 3-8 Bevegelsesmåter for steinsprang basert på helningsgraden (Bjordal, m.fl. 2011)

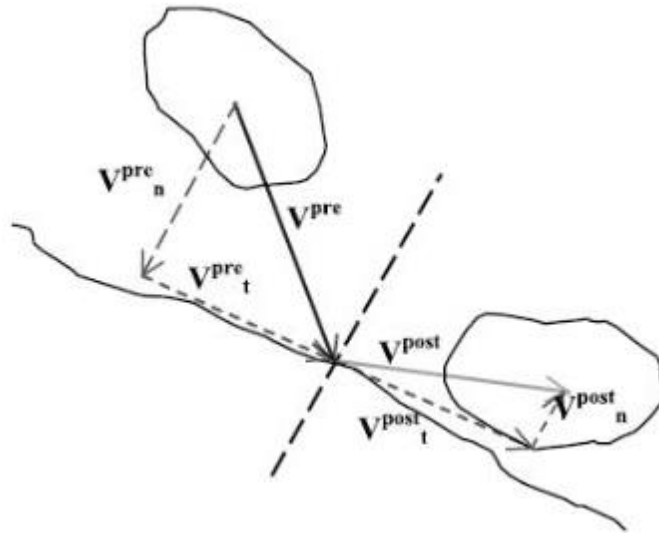
#### 3.5.1 Parameterverdier

For å fastsette parameterverdiene for et steinsprang identifiserer man skredbanen og området som skal sikres. Ved store variasjoner i terrenget må en benytte flere profiler for å få et godt resultat. Inndelingen av profilet i ulike segmenter gjøres ved å innhente verdier ved befaring i felt, men om dette ikke er mulig kan data innhentes fra avstand.

For å oppnå best mulige resultater er det viktig å ha kjennskap til hvordan valg av parameterverdier vil påvirke resultatet. I det følgende vil de viktigste parameterne forklares i mer detalj.

### Restitusjonskoeffisienter

Restitusjonskoeffisienter brukes for å angi hvor mye av hastigheten i et steinsprang som bevares i et treff med underlaget. Restitusjonen angis normalt og parallelt på bakken, se Figur 3-9.



Figur 3-9 Hastighet før og etter nedslag i dekomponert tangentiell og nominell retning (Bjordal, m.fl. 2011).

Koeffisientene finner en ved følgende formler:

$$\text{Normalrestitusjon: } k_n = \frac{V_n^{post}}{V_n^{pre}} \quad \text{Formel 3.2}$$

$$\text{Tangentiellrestitusjon: } k_t = \frac{V_t^{post}}{V_t^{pre}} \quad \text{Formel 3.3}$$

Starthastigheten som brukes i simuleringen angis av brukeren. Programmet beregner så hastigheten for de forskjellige delene av profilet. Ved hvert nedslag analyseres innfallsvinkelen, hastigheten før nedslaget i begge retninger og graden av rotasjon for å beregne utgangshastigheten. En kan skalere restitusjonen i normalretning med hastigheten eller massen. Dette fordi restitusjonen ikke er uavhengig av hastighet eller masse, og derfor vil blokkene trenge dypere ned i bakken ved høyere hastighet, eller knuses.

Restitusjonskoeffisienten i RocFall er beregnet på bakgrunn av standardiserte materialkonstanter. Dette er en kraftig forenkling fra virkeligheten, noe det er viktig å ta hensyn til når man bruker programmet. Restitusjonskoeffisientene vil bare være gjeldende ved nedslag, derfor vil beregnet spranghøyde og hastighet være avhengig av antall nedslag. Faktorer som påvirker restitusjonsegenskapene er vist i Tabell 3-2. (Bjordal m.fl.)

Tabell 3-2 Parametere om påvirker hastighetsenergien til en blokk



Helningsegenskaper	Blokkeegenskaper	Kinematikk
<b>Deformasjonsstyrke</b>	Deformasjonsstyrke	Hastighet (translasjon og rotasjon)
<b>Stivhet</b>	Stivhet	Kollisjonsvinkel
<b>Ruhet i forhold til blokkstørrelsen</b>	Vekt	Konfigurasjon av blokken ved nedslag
<b>Inklinasjon</b>	Form	

### ***Ruhet i helningen***

Ruhet mot underlaget defineres som variasjonen normalt på helningen i en avstand lik radien til steinen. Parameteren vil da være avhengig av steinens størrelse. RocFall benytter en statistisk måte for å beregne ruhetsfaktoren. Brukeren har mulighet til å endre standardavviket for et linjesegment i grader, og ruhet vil dermed være definert som en normalfordistribusjon med standardavvik i helningen definert av brukeren eller beregnet ut fra en normalfordistribusjon på bakgrunn av linjesegmentet.

### ***Form og størrelse av fallblokken***

Fallblokkens form har betydning med hensyn til friksjonen mot underlaget og konfigurasjonen av fallblokken i forhold til restitusjonsegenskapene. Formen kan også ha en innflytelse på utløpsdistansen. En rund blokk vil rulle mer mot underlaget enn en avlang eller flat blokk som vil ha en glidende bevegelse mot underlaget. Også treghetsmomentet påvirkes av formen. RocFall benytter en rund form på blokken, noe som kan gi konservative simuleringer og ofte for lange utløpslengder.

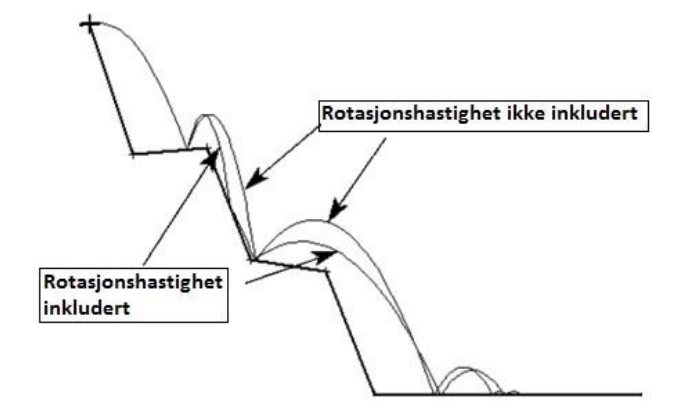
Størrelsen på blokken vil påvirke utløpsdistansen. En større blokk vil ha mindre ruhet mot underlaget og en større drivkraft sammenlignet med en mindre blokk. En større blokk vil grave seg mindre ned i underlaget enn en mindre. Størrelsen på blokken vil ikke ha stor betydning om skredløpet er jevnt og hardt, så lenge blokken ikke akselererer. Massen av steinen er derimot en komponent i beregningen av den kinetiske energien, noe det er viktig å ta hensyn til ved beregning av størrelsen på sikringstiltak.

### ***Rotasjonsenergi***

Energien i et steinsprang deles i to forskjellige bevegelsesmåter. Translasjon, bevegelse av blokken, og rotasjon av fallblokken rundt massesenteret. Virkningen av fallblokkens rotasjon tas normalt ikke med i beregningen av restitusjonsparametere. De fleste blokker vil ikke ha rotasjon rett etter utløsning, bortsett fra i slake skredbaner hvor rotasjonsbevegelsen kan settes i gang raskt.

Undersøkelser fra Japan viser at rotasjonsenergien alltid vil være under 40 % og ofte ikke mer enn 10 % av translasjonsenergien. Nedslagsvinkelen har en sentral betydning for rotasjon i fallblokken, størst andel rotasjonsenergi oppnås i helninger rundt 40°.

I RocFall kan man om ønskelig neglisjere rotasjonsenergien, men det anbefales at man inkluderer denne for en mer realistisk simulering, se Figur 3-10.



Figur 3-10 RocFall-simulering som viser effekten av å inkludere rotasjonshastigheten (modifisert fra RocscienceInc., 2003).

Selv om rotasjonsenergien er liten i forhold til translasjonsenergien er det viktig å inkludere den når fangvoller av jord skal brukes som sikring. Bløtt materiale gir små normalrestitusjoner og små refleksjonsvinkler. Det vil si at dersom et materiale kommer med stor fart mot en lav og slak voll kan den rulle over. Det er derfor viktig å dimensjonere jordvoller med tilstrekkelig høyde og støtvinkel.

### **Friksjonsvinkel**

Friksjonsvinkel avhenger av formen og bevegelsen til fallblokken. RocFall justerer friksjonen mot underlaget avhengig om det er en rullende eller glidende bevegelse. Friksjonsvinkelen er den kritiske vinkelen av skråningssegmentet som medfører at fallblokken fortsetter eller stanser sin bevegelse. Dersom segmentet er brattere enn den kritiske vinkelen vil fallblokken fortsette sin ferd nedover skråningen, mens den vil bremse opp og stanse hvis den er slakere. RocFall benytter en standardisert verdig på friksjonen. Denne benyttes både for den statiske og den dynamiske situasjonen. En kan endre friksjonsvinkelen ved å sette den lik 0 (ingen bevegelsesmotstand, gir lengst mulig utløp) eller ved å beregne friksjonen ut fra den tangentielle restitusjonen.

### **3.5.2 Resultater og tolkninger**

Resultatene av simuleringene gir en grafisk fremstilling av de ulike skredbanene i forhold til skråningsprofilet. Grafiske fremstillinger som vises er:

- Maksimal og gjennomsnittlig spranghøyde
- Hastighetskurver og grafer
- Fordeling av kinetisk energi
- Grafisk fordeling av endepunkter
- Statistiske opplysninger i analysepunkter langs profilet

Resultatene vises ved hjelp av histogram og hastighetskurver, og viser fordelingen av utløpsdistanse etter simuleringen. En kan sette barrierer direkte inn i profilet, og kan på denne måten få informasjon om forventet spranghøyde i barrieren og energimengde ved treff mot barrieren. (Bjordal, m.fl 2011)






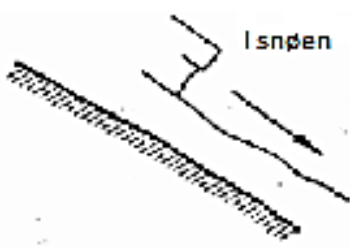
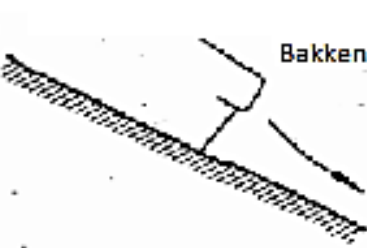


## 4 Teori - Snøskred

Registrerte skredhendelser, kapittel 5.4, viser at det gjennom tidene har gått mange snøskred i Romsdalen, med varierende størrelse. Når veggen nå skal legges nærmere fjellsiden blir det større behov for å se på eventuelle sikringstiltak mot snøskred, og for å få en forståelse for sikringen er det først nødvendig å se på generelle trekk ved snøskred. Skredfrekvens, type, størrelse og skadeomfang vil variere i de ulike skredløpene. Ved sikring mot snøskred er kunnskapen om skredløpet viktig for dimensjoneringen av sikringstiltaket.

### 4.1 Skredtyper

Snøskred kan i hovedsak deles i to grupper, løssnøskred og flakskred. Disse kan videre deles inn i undergrupper på grunnlag av glideflaten, fuktighet, bevegelse og utløsningsfaktor, som vist i Figur 4-1.

Utløsningsstype	Flakskred		Løssnøskred	
				
Bevegelse	Luft 	Bakke 	Blandet 	
	Glideplan			
Vanninnhold		Tørt	Fuktig	Vått

Figur 4-1 Skredtyper (Norem, 2011).

#### 4.1.1 Løssnøskred

Løssnøskred oppstår i snø med reduserte bindinger mellom snøflakene. Oftest skjer denne typen skred i tørr, nyfallen snø hvor bindingene fortsatt er svake, men kan også oppstå etter temperaturendringer eller etter regnvær, som fører til endring i vanninnholdet (Norem, 2011).

Løssnøskred starter ved at litt snø blir satt i bevegelse, dette skjer ofte ved at det faller snøballer ned på området, fra snøskavler, bratte partier eller trær i området. For at tørre løssnøskred skal kunne utløses må det som regel være over 45° helning. Løssnøskred starter ofte i et lite punkt og brer seg utover etter hvert som mer snø blir dratt med og volumet øker, derfor har disse skredene ofte en karakteristisk pæreform (Norem, 2011).

Løssnøskred har sjelden stort volum eller utløpslengde, så de gjør sjelden stor skade. Den største faren ved løssnøskred er at de kan opptre hyppig når de først skjer, gjerne i perioder med store nedbørsmengder/snøfall. Dette kan føre til problemer ved opprydding på veg, og utsette bilister og oppryddningsmannskap for fare, siden det kan gå flere skred i samme skredbane og i samme område på kort tid (Norem, 2011).



Figur 4-2 Løssnøskred (Lied og Kristensen, 2003).

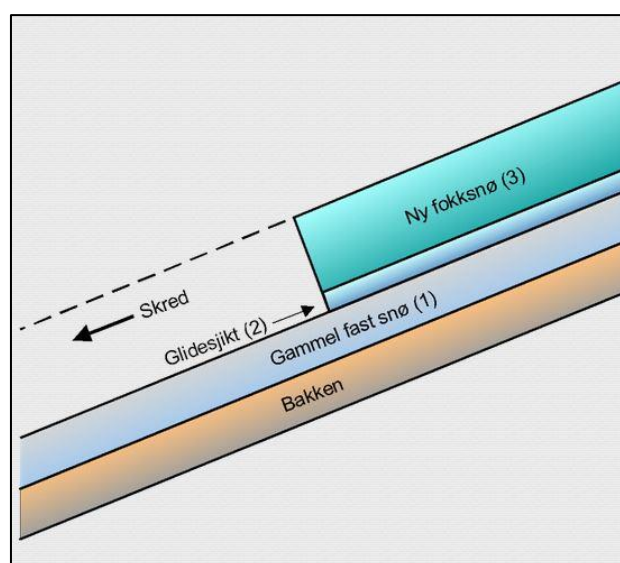
### 4.1.2 Flakskred

Flakskred oppstår når et snøflak glir ut som en samlet masse langs et glideplan. Denne typen skred kan dekke store areal og oppnå store volum, og derfor gjøre mye skade. Flakskred er den største og farligste snøskredtypen (Lied og Kristensen, 2003).



Figur 4-3 Venstre: Flakskred (flickr.no/Statskog). Høyre: Bruddkant flakskred (ngi.no[4], 2013).

Et klassisk snøprofil i en flakskredsituasjon er fast snø øverst, som f.eks. fokksnø. Dette laget glir over et svakere lag som ofte er porøse og med dårlig bæreevne. Rim, snø som har falt i stille vær, bergkrystallag og sprøhagl er eksempel på svake lag. Under det svake laget ligger ofte et fastere lag som kalles glidelaget, se Figur 4-4. I det svake laget skjer det et skjærbrudd som brer seg utover, dette er grunnen til at store flak glir ut. Brudd og utløsning av flakskred kan oppstå ved en kombinasjon av ulike faktorer, som rask akkumulasjon av nysnø, snøsig, spenningskonsentrasjoner i snøen eller tilleggsbelastninger (for eksempel dyr eller skiløpere). Øverst i skråningen hvor snøen er godt forankret skjer det et strekkbrudd, den karakteristiske kanten som står normalt på snøoverflaten ved flakskred dannes, se Figur 4-3. Lengden på bruddkanten kan variere fra 10 til 1 000 m og høyden varierer fra 20 cm til 2-3 m. De fleste flakskred utløses ved helning mellom  $27^{\circ}$  –  $45^{\circ}$  (Lied og Kristensen, 2003).



Figur 4-4 Skjematisk oppbygging snødekke (ngi.no [5], 2013)

#### **4.1.2.1 Våtsnøskred**

Våtsnøskred skjer i perioder med temperaturøkning og snøsmelting. Både løssnøskred og flakskred kan være våtsnøskred. Disse skredene utløses på grunn av at økt vannmengde i snøen har ført til redusert kohesjon mellom snøkrystallene. Selv de minste bevegelser kan sette snøen i bevegelse (Norem, 2011). Tørre flakskred kan omdannes til våtsnøskred gjennom skredløpet, både på grunn av økt temperatur som følge av skiftende høydeklima og på grunn av økt temperatur som resultat av skredbevegelsen (Lied og Kristensen, 2003). Våte snøskred kan nå hastigheter opp til 40 m/s, men dette er sjelden (Norem, 2011).

#### **4.1.2.2 Tørrsnøskred**

Tørrsnøskred er en skredtype en ofte får etter lengre perioder med tørt og kaldt vær. Denne skredtypen forekommer derfor oftest i høye fjellområder, hvor temperaturen er jevnt lav gjennom vinteren. Tørrsnøskred kan bli utløst ved at det faller store mengder snø på kort tid. Tørrsnøskred er ofte den typen skred som forårsaker størst skader, da disse kan oppnå hastigheter på opptil 60 til 70 m/s i ekstreme tilfeller. (Lied og Kristensen, 2003)(Norem, 2011)

#### **4.1.2.3 Sørpeskred**

Sørpeskred er snøskred med høyt vanninnhold, så på mange måter kan disse skredene minne mer om flomskred enn snøskred. De forekommer i perioder med ustabil vær. Store nedbørmengder og økende temperaturer fører til økte vannmengder i snømassene. Terreng hvor snøen kan demmes opp og samle store mengder vann er spesielt utsatt for sørpeskred (Lied og Kristensen, 2003).

### **4.2 Skredområdet**

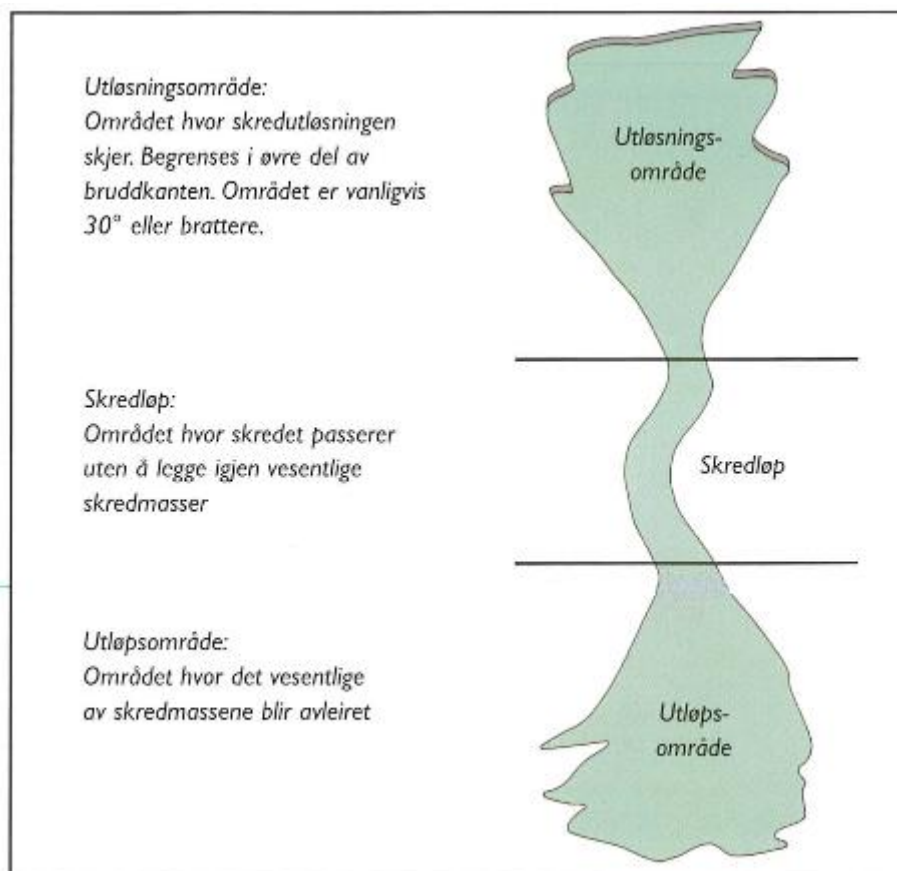
Snøskred kan forekomme i ulike terrengformasjoner, med varierende helning og bredde. I Norge kan løsningsområdet for snøskred variere fra 5 til 1500 m, og bredden varierer fra 10 m til 2 km. Et skredområde er et område hvor topografien er slik at det kan gå snøskred. Skredområdet kan deles inn i tre mindre områder; utløsningsområdet, skredløpet og utløpsområdet, se Figur 4-5 (Lied og Kristensen, 2003).

#### **4.2.1 Utløsningsområdet**

Utløsningsområdet er området der skredet løsner. Det begrenses av skredets øvre bruddkant og den nedre grensen for det utglidende flaket. Begrensingene mot sidene er snøen som ligger igjen i skråningen. Vanlige utløsningsområder for skred er større botner, åpne skåler og borsenkinger, bratte skar og elvegjel, samt svaberg og flater som er konvekse i formen.

Alle områder med helning større enn 30° og uten mye vegetasjon i fjellsider og skråninger er potensielle utløsningsområder. Statistikk viser at de fleste snøskred blir utløst mellom 35° og 45°. Store flakskred kan utløses ned mot 28°. Det finnes også eksempler på snøskred i områder med helning større enn 60°. Langs kysten kan fuktig snø og kraftig vind føre til at mye snø pakkes i bratte områder, som senere kan føre til snøskred, men disse er sjelden store. Dersom snøen blir svært bløt kan det dannes

sørpeskred, som ofte løsner ved vinkler lavere enn  $30^\circ$  og har ingen nedre grense (Lied og Kristensen, 2003).



Figur 4-5 Skredområde (Lied og Kristensen, 2003).

#### 4.2.2 Skredløpet

Skredløpet er området mellom utløsningsområdet og utløpsområdet, her kanaliseres snøen og farten øker. Skredløpet følger ofte naturlige forsenkninger i terrenget, som raviner, elvedaler og bekkeløp. Skredløpet har ofte en helning på  $20^\circ$ - $25^\circ$ , men dette varierer med terrenget (Lied og Kristensen, 2003).

Erfaringer fra tidligere snøskred og kunnskap om det naturlige terrenget kan hjelpe til med å forutsi hvor snøskredene vil ha utløp. I svingete skredløp kan skredene gå over kantene i skredløpet. Dette gjelder spesielt store, tørre snøskred som består av en snøsky som kan være 30-50 meter høy. Disse skyene beveger seg helst rett frem og vil kunne gå over kanten på skredløpet (Norem, 2011). Dersom skredet er veldig stort i forhold til skredløpet og skredløpet i tillegg er ujevnt, kan skredet gå over kantene og danne skredarmer som kan lede snøen langt bort fra det antatte utløpsstedet (Lied og Kristensen, 2003).



### 4.2.3 Utløpsområdet

I utløpsområdet stopper skredet opp. Små, våte snøskred stanser begynner oppbremsingen fra 25°-15°. Dette er gjerne ved fjellfoten i dalbunnen. Store, tørre snøskred med stor hastighet begynner oppbremsingen først ved en terrenghelning på 10°, så disse skredene kan gå langt ut over dalbunner, horisontale flater, fjorder og vann. De kan også gå 150-200 m opp i motstående dalsider (Lied og Kristensen, 2003). I utløpsområdet kan skredets bredde øke. Dette er fordi de første skredmassene som kommer vil virke som en barriere for de bakre massene, som så presses ut til sidene (Norem, 2011).



Figur 4-6 Skredområde med utløsningsområde, skredløp og utløpsområde (Lied og Kristensen, 2003).

## 4.3 Spor i terrenget

Spor i naturen kan ofte gi indikasjoner på hvor skred forekommer. Ved å studere disse sporene kan en foreta en vurdering av skredfrekvens og størrelse. De viktigste sporene er skader på vegetasjon, skader som følge av erosjon og materiale avsatt fra skred.

### 4.3.1 Vegetasjon

Lite vegetasjon i skredløpet og spesielt utløpsområdet er et av de tydeligste tegnene på skred. Dette tyder på høy skredfrekvens og samtidig at skredene er kraftig eroderende.

Generelt gjelder det at trær som er sprø i kaldt vær vil brette når belastningen blir for stor, mens myke tresorter bøyes under skredet. Åpne, vertikale striper i fjellsider med tett skog av furu, gran og osp er et tegn på skredaktivitet. Dersom en har bjørk og or er dette et tegn på store, men ikke så hyppige skred (Norem, 2011).

Ved snøskredhendelser blir ikke rotsystemet skadet, noe det blir ved vindfall og flomskred. En kan telle årringer på nye skudd på nedpressede trær, for å anslå tidspunktet for skredet. Skjærbrudd i stammens lengderetning er også karakteristisk for skredskadet

skog. Snøskydelen fører til skader høyere på stammen, da spesielt greinene på skredsiden. Snøskred kan føre med seg steiner som blir avsatt mellom trærne eller oppå nedlagt vegetasjon (Norem, 2011).

### **4.3.2 Erosjon og avsetninger**

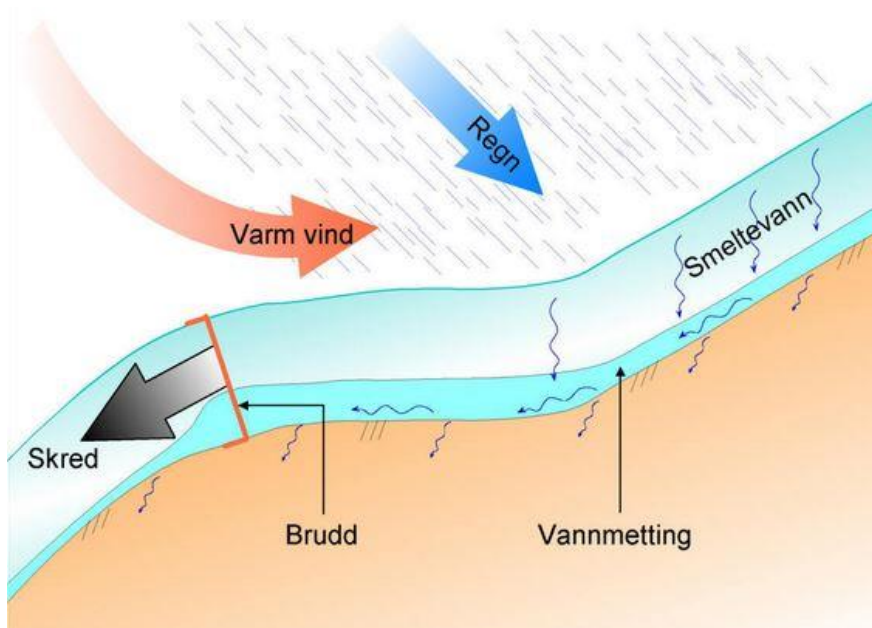
I løpet av siste istid ble det avsatt store områder med morenemasser. I områder hvor det går snøskred gjennom disse massene, kan en se tydelige spor ved at skredet graver seg ned i massene og danner raviner og steinblokker som har fulgt skredmassene avsettes på «unaturlige» steder. I overgangen mellom bratte fjellsider og slake dalbunner vil skredet få stor avbøyningskraft når det treffer dalbunnen. Skredet graver seg da dypt ned i løsmassene og skyver massene fremover, slik at det ved gjentakelser kan dannes store voller og groper (Lied og Kristensen, 2003).

### **4.4 Klimatiske forhold i sammenheng med skredhendelser**

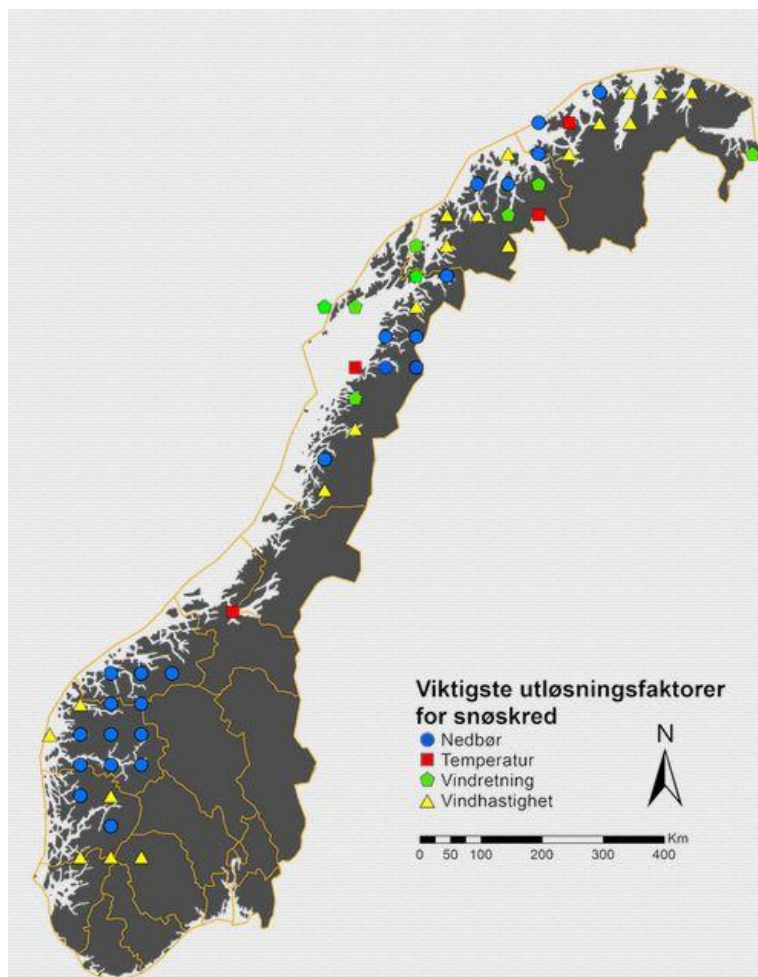
Om vinteren blir snøskred ofte utløst i forbindelse med mye nedbør og kraftig vind. Intensiteten i snøakkumulasjonen er den mest avgjørende enkeltfaktoren for utløsning av skred. Om våren fører varmluft, stråling og regn til utløsning av snøskred (Lied og Kristensen, 2003). De tre viktigste faktorene som bestemmer skredfaren er

- Nysnømengde
- Vindstyrke og retning
- Lufttemperatur

Nysnømengden har størst betydning for skredfaren. Det kan være vanskelig å måle snømengden i utløsningsområdene for snøskredet, men det har vist seg at nedbørsmengden i millimeter samsvarer godt med sannsynlighet for skred. Vindtransport av snø øker skredfaren. Lufttemperaturen har en sammensatt virkning på stabiliteten i snødekket. Kulde fører til at ustabilitet opprettholdes, mens stigende temperatur vil føre til nedsatt styrke og øke sannsynligheten for skred. En metamorfoseprosess i snøen som følge av stigende temperatur kan så føre til økt stabilitet etter den første perioden med stigende temperaturer. Ved varmefrontpassasjer øker skredfaren på grunn av økte temperaturer. Kraftig regn vil også gi økt risiko for skred (Lied og Kristensen, 2003).



Figur 4-7 Utløsning av snøskred med høyt vanninnhold (ngi.no[6], 2013)

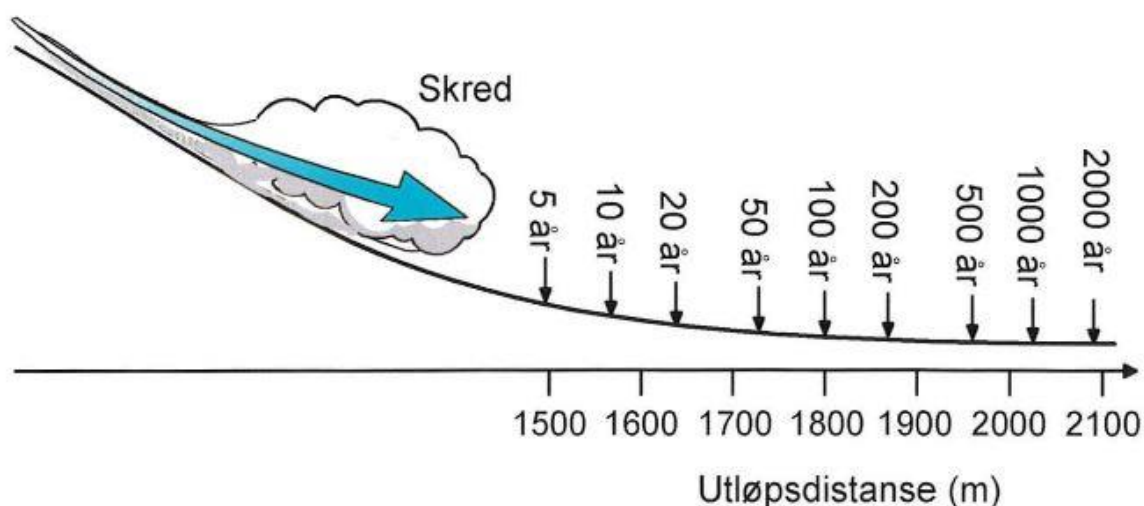


Figur 4-8 Nasjonal fordeling av utløsende årsaker for skred. Ser at i Møre og Romsdal er nedbør viktigste utløsende årsak. (hentet fra ngi.no [7], 2013)



#### 4.4.1 Returperiode

I følge loven skal sannsynligheten for å bli truffet av skred i bygninger hvor det oppholder seg mennesker være mindre enn 1/1000 per år. På grunn av dette er det viktig å vite skredets returperiode ved bygging og sikring av infrastruktur. Skredfrekvensen og størrelse vil variere som følge av de klimatiske forholdene. Skred i samme skredbane kan ha varierende oppførsel. Skred med lav hastighet for kort utløpsdistanse og skred med høy hastighet får lengre utløpsdistanse. Noen steder går det flere skred hver vinter, andre kan det gå flere tiår mellom hver gang. Forskjellene i utløpslengden vil i stor grad avhenge av skredets flyte høyde, vanninnholdet i snøen og størrelsen på snøpartikler i bevegelse (Bakkehøi og Norem, 1992). Fullskalaforsøk som er utført har vist at gjennomsnittlig skredhastighet og utløpsdistansen har en direkte sammenheng med skredvolumet. Snøforholdene i banen vil påvirke volumet. Skredvolum og utløpsdistanse har også en sammenheng med returperioden (Bakkehøi og Norem, 1994). Returperioden finner en ved å sammenligne skredets utløpsdistanse funnet ved beregninger med historiske hendelser og spor i terrenget (Lied og Kristensen, 2003).



Figur 4-9 Forholdet mellom utløpsdistanse og skredfrekvens (Lied og Kristensen, 2003).

Ved bruk av en topografisk modell for beregning av skredets utløpslengde, er tanken at en i en skredbane over en lang periode vil oppleve snøforhold som gir maksimal utløpslengde. Denne returperioden ligger på 100-300 år (Bakkehøi og Norem, 1994). Ved bygging av ny veg skal det sikres for en returperiode på 20-50 år (Halgeir Dahle, pers.kom., 2013).

#### 4.5 Beregningsmetoder for snøskred

Snøskredets utløpslengde har stor betydning for hvilken grad av sikring som må til for å oppnå nødvendig sikkerhet. Det finnes flere beregningsmetoder for å finne utløpslengden til snøskred, disse deles i topografiske og dynamiske modeller. I topografiske modeller inngår bare topografiske faktorer. Dynamiske modeller tar utgangspunkt i de numeriske

hastighetsmodellene og beregner utløpsdistansen ved hjelp av fastlagte verdier for parameterne i modellen (Norem, 2011).

Ingen modeller for beregning av utløpslengde gir nøyaktige svar for hvor langt et skred med en viss retur periode kan gå. Som første kontroll kan en benytte  $\alpha$ - $\beta$ -modellen og energilinjemetoden.

#### 4.5.1 $\alpha$ - $\beta$ -modellen

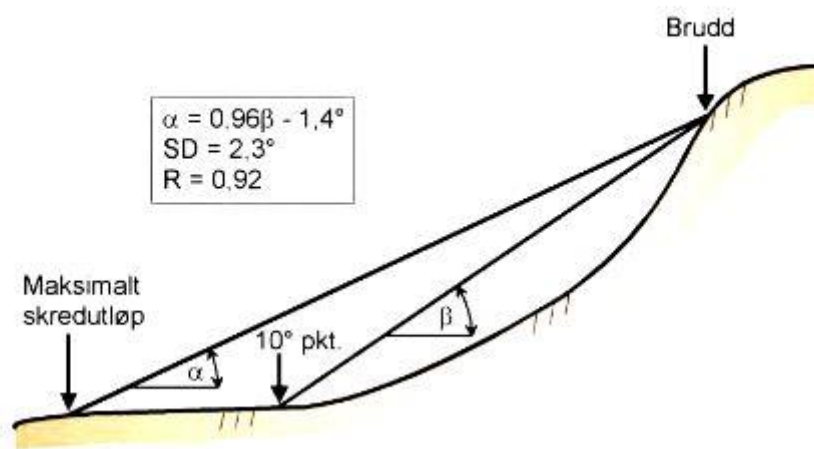
$\alpha$ - $\beta$ -modellen er en ren topografisk modell for utløpsdistansen for snøskred, presentert av Lied og Bakkehøi i 1980 (Norem, 2011). Utgangspunktet for modellen er lengdeprofillet av fjellsiden og er basert på data fra 210 skred i NGIs skredregister (NVE, 2011).

En kan finne utløpslengden til skredet ved å definere et øvre bruddpunkt og punktet hvor helningen er  $10^\circ$ , definert som  $10^\circ$ -punktet. Den gjennomsnittlige helningen til skredbaneprofilet er gitt ved vinkelen  $\beta$ , som er helningen fra øvre utløsningspunkt og  $10^\circ$ -punktet. Analyser har vist at det er en klar sammenheng mellom denne vinkelen og utløpsvinkelen, og forholdet til disse vinklene er gitt ved formelen

$$\alpha = 0.96\beta - 1,4^\circ \quad (4.1)$$

hvor  $\alpha$  og  $\beta$  er gitt i grader.

Standardavviket for ligningen er  $2,3^\circ$  med korrelasjonskoeffisient 0,92 (Norem, 2011). For nye vegger kan et standardavvik på  $1,15^\circ$  trekkes fra for å korrelere for en returperiode på 20-50 år. Modellen er beregnet for skred med 100-300 års returperiode (Halgeir Dale, pers.kom., 2013) og (Norem, 2011).

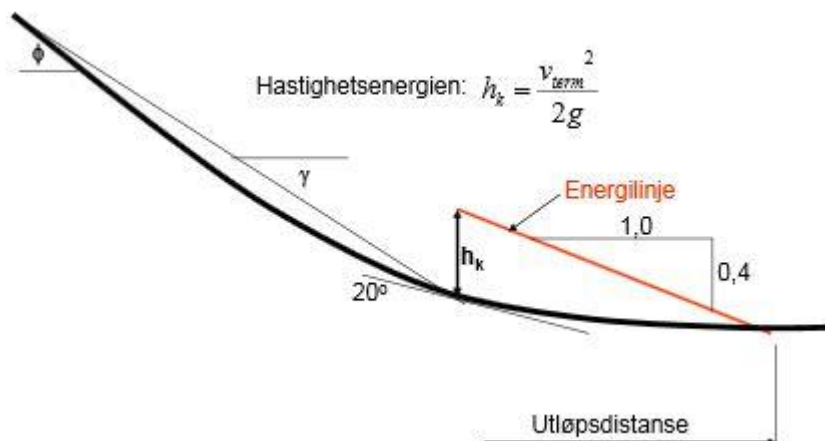


Figur 4-10 Alfa-beta modellen. Skissen viser parameterne som brukes. (SD er standardavvik og R er korrelasjonskoeffisient) (NVE, 2011).

Denne modellen gir en enkel sammenheng mellom utløpsvinkelen og helningen på skredbanen og inkludering av andre parametere i ligningen har ikke gitt bedre resultater (Norem, 2011).

#### 4.5.2 Energilinjemodellen

Energilinjemodellen er en dynamisk modell for beregning for skredets hastighet i skredløpet og i utløpspunktet, samt en enkel grafisk fremstilling for beregning av utløpslengden. Energilinja i utløpsområdet har en helning på  $21,8^\circ$  (0,4:1).



Figur 4-11 Energilinjemodellen for beregning av snøskred (Norem, 2011).

I  $20^\circ$ -punktet avsettes hastighetshøyden  $h_k$ . Denne høyden regnes ut med formelen

$$h_k = \frac{v_{term}^2}{2g} \quad (4.2)$$

Terminalhastigheten finnes ved formelen

$$v_{term} = (3000 \cdot h_\theta \cdot (\sin \gamma - 0,31 \cos \gamma))^{1/2} \quad (4.3)$$

$\gamma$  er vinkelen til linja fra løsnedområdet nedre begrensning til utløpsområdet hvor vinkelen er  $20^\circ$ . 3000 er en valgt gjennomsnittsverdi for forholdet mellom tetthet, tyngde og viskositet til snølaget.

$h_\theta$  finnes ved formelen:

$$h_\theta = 1,4 \frac{\sin 40 - 0,2 \cos 40}{\sin \theta - 0,2 \cos \theta} \quad (4.4)$$

Utløpslengden til snøskredet er det punktet hvor energilinja fra  $H_k$  med helning  $21,8^\circ$  treffer profilet.

## 4.6 Sikring mot snøskred

### 4.6.1 Tunneler og overbygg

Tunneler og overbygg er den tryggeste metoden for skredsikring. Disse tiltakene brukes mot alle typer skred, men er mest brukt i områder med hyppige snøskred og stor steinskredfare.

Overbygg og tunneler er dyre tiltak, så disse brukes kun når andre typer sikring ikke er god nok. Problemer ved denne typen sikring kan være dårlig linjeføring, ising ved inngangspartiene, dårlige lysforhold, nedfall av stein fra ledevoller tilknyttet overbygget, skredmasser foran inngangspartiene, problemer med overflatevann og tetting av dreneringssystem på grunn av løsmasser. Figur 4-12 viser en rørtunnel bygget for å sikre vegen mot snøskred på fylkesveg 40 Dalsfjordvegen. Figur 4-13 viser et rasoverbygg ved Løggjølet på fylkesveg 41 mellom Bjørke og Viddal. Denne typen skredoverbygg er mer brukt enn rørtunnelen i Figur 4-12.



Figur 4-12 Rørtunnel fv40 Dalsfjordvegen, 2013 (foto: Kari Linn Søreide).



Figur 4-13 Rasoverbygg ved Løggjølet på fv41, juni 2013 (Foto: venstre: Marie Drågen Belland. Høyre: Skjermdump Google Maps).



#### 4.6.2 Terrengtiltak

Skredmasser lar seg styre av formasjoner i terrenget, og ved å studere disse kan en få kunnskap om hvordan en kan utforme skredsiden av vegen for å bremse, lede eller stoppe skredene. De vanligste tiltakene som brukes i dag er fangvoller, ledevoller og kjebler.

Fangvoller bygges for å bremse og stanse skredet i utløpsområdet, se Figur 4-14.

Ledevoller brukes for å lede skredet bort fra det som er skredutsatt, det kan være hus, veger og kraftledninger. Ledevoller brukes også for å lede snømassene over et overbygg, se Figur 4-14 og Figur 4-15.

Kjebler brukes for å redusere skredets hastighet og spre skredmassene. Kjebler brukes ofte i kombinasjon med fangvoller, der kjeblene bremser skredet og fangvollen stopper skredmassene, se Figur 4-16.



Figur 4-14 Fangvoll og ledevoll i system. Ved Fyrdsberg tunnelen på E39, 2013 (Foto: Marie Drågen Belland).



**Figur 4-15 Skredoverbygg med forlenget ledevoll, Breidefonnoverbygget på E39 Stigedalen, 2013 (Foto: Marie Drågen Belland).**



**Figur 4-16 Kjegler i kombinasjon med voll på fv60 Strandadalen, 2013 (Foto: Kari Linn Søreide).**

Erfaringer har vist at terrengtiltak har redusert sikringseffekt mot tørrsnøskred og sørpeskred. De er derfor mest brukt langs kysten og i lavlandet, og i mindre grad brukt langs veger i fjellet. Vedlikehold av slike tiltak går ut på å hindre erosjon, og sørge for åpne dreneringsløp. Erosjon kan føre til redusert helning på støtsiden av vollen, noe som kan redusere effekten. Det er viktig å fjerne skredmasser etter hvert skred for å hindre at neste skred kan flyte over de gamle skredmassene, da vil sikringstiltaket ha liten effekt (Håland, 2012).



### 4.6.3 Støtteforbygninger

For å forhindre snøskred å løsne kan man forankre snøen. Til det brukes støtteforbygninger som vist i Figur 4-17. Disse er mest brukt i områder med moderat helning og utstrekning, men blir også brukt på brattere svaberg hvor det kan forekomme steinsprang, isnedfall og små utglidninger av snø. Tiltaket er kostbart og blir ofte ikke kostnadseffektivt ved sikring av veger.



Figur 4-17 Støtteforbygninger, Honningsvåg. Sikrer både veg og hus (Foto: Jan Otto Larsen i Håland, 2012).

### 4.6.4 Utflytting av veg, sjøfylling

Mange steder i Norge ligger veger klemt mellom bratte fjellsider og fjorder. Selv små skred kan sperre vegen. I slike tilfeller kan det være aktuelt å flytte vegen ut på en sjøfylling med et magasin innenfor, eller å etablere breie grøfter, som vist i Figur 4-18. Fordelen med denne løsningen er at skredmassene ofte smelter mellom hvert skred, så det kreves lite håndtering av massene.



Figur 4-18 Utflytting av veg på sjøfylling. Fv 70 langs Hjørundfjorden, 1988 (Foto: Arnold Hustad, i Håland, 2012).

#### 4.6.5 Andre sikringstiltak

Andre sikringstiltak som brukes mot snøskred er manuell nedsprenngning ved bruk av DaisyBell og taubaner. Ved bruk av DaisyBell utføres en kontrollert utløsning av skredet. En gassseksplasjon i hylsen danner en sjokkbølge som utløser skredet, se Figur 4-19. Det kan også bygges broer over skredløp for å forhindre at vegen blir stengt. Snøskjermer kan også settes opp for å hindre at snø vindtransporteres ut i løsneområder.



Figur 4-19 Høyre: DaisyBell. Øverst venstre: Snøskjermer. Nederst venstre: Bru over skredløp. (Håland, 2012).

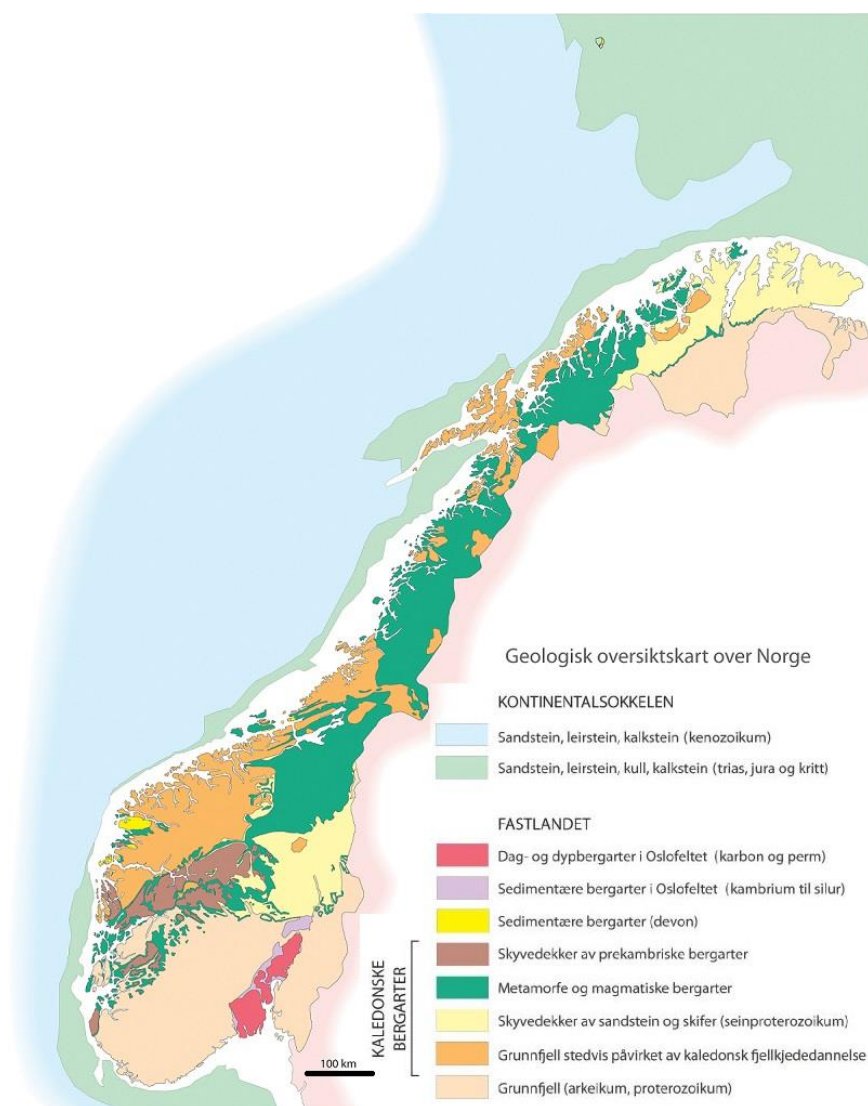


## 5 Forundersøkelser

### 5.1 Geologien i Romsdalen

#### 5.1.1 Berggrunn

Møre og Romsdal ligger i den vestre gneisregionen, et område som dekker store deler av Nordvestlandet, se Figur 5-1. Dette er prekambriske bergarter, dannet for 1500 til 1700 millioner år siden. De geologiske strukturene i området er i stor grad et resultat av kollisjonen mellom to tektoniske plater; Laurentia og Baltika. Prekambriske bergarter langs vestranden av Baltika ble presset ned til dyp på opptil 120 km, og dette førte til en stor omvandling av bergartene. Det finnes også spor fra nederste del av jordskorpen og øvre del av mantelen som inklusjoner i gneisen. (Ramberg, m.fl, 2006) I Romsdalen består berggrunnen av diorittisk til granittisk gneis og migmatitter, se Figur 5-2. Fra SINTEFs Materialdata for naturstein har en at egenvekten til gneis er  $2800 \text{ kg/m}^3$ .



Figur 5-1 Geologisk oversiktskart over Norge (Fra ngu.no [1], 2013)



Figur 5-2 Bergrunnskart området Marstein - Flatmark. (Fra ngu.no [2], 2013)

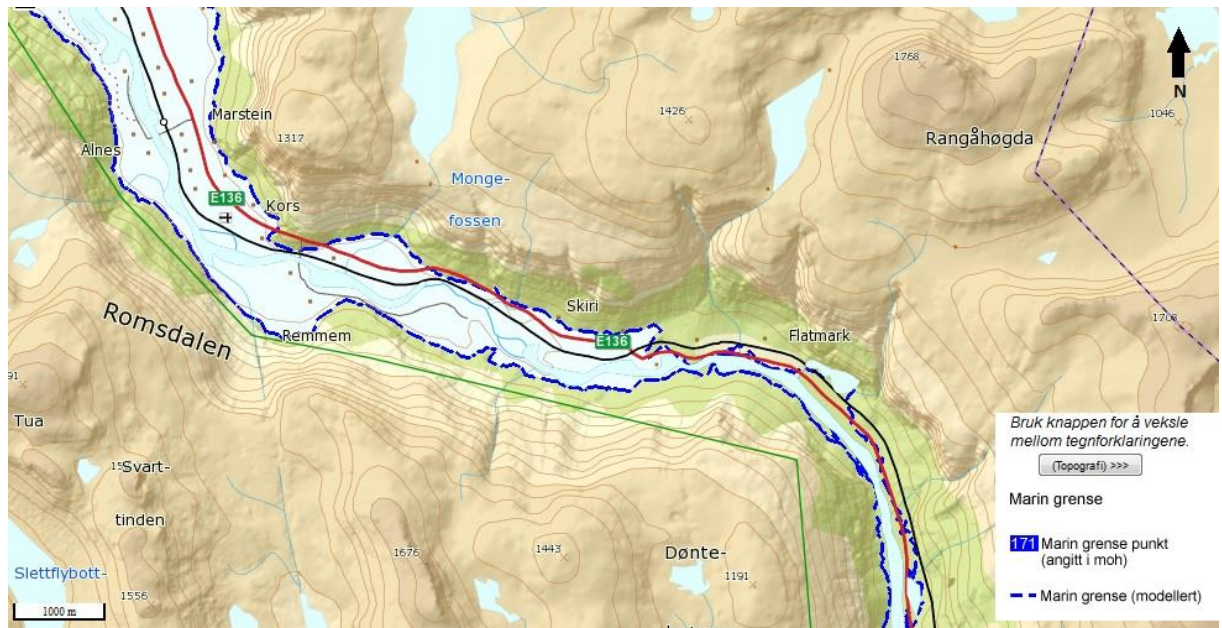
### 5.1.2 Løsmasser

Glasiale prosesser under de kvartære istidene har dannet landskapet i Romsdalen slik vi ser det i dag. For 20 000 år siden, ved siste istids maksimum, var isen på sitt største og dekte hele Norge frem til kontinentalkanten. Deglasiasjonen som fulgte skjedde i rykk og napp gjennom noen tusen år, frem til slutten på siste istid for 11 000 år siden. I denne perioden trakk isen seg tilbake i Romsdalen, og en trykkavlastning som fulgte i kombinasjon med økt temperatur som smeltet permafrosten førte til mange skredhendelser denne perioden (Etzelmüller m.fl., 1998).

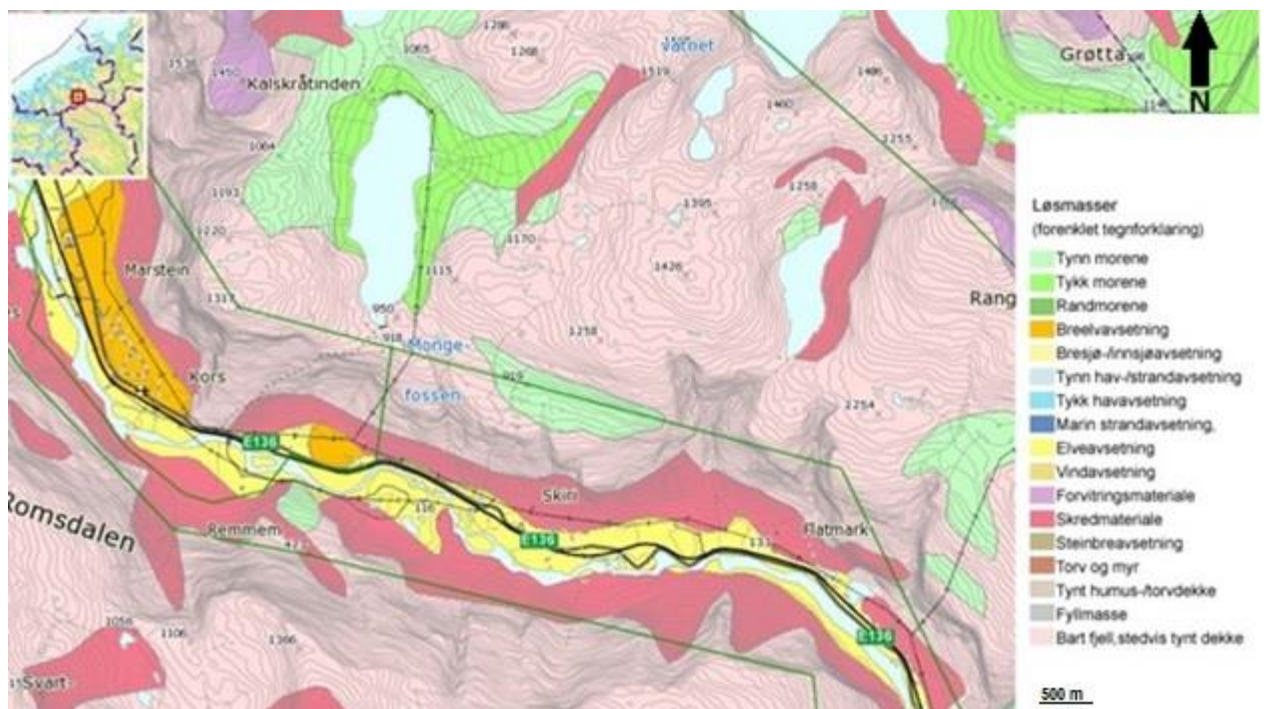
Ved slutten av siste istid sto havet høyere i forhold til land enn i dag. Dette gjør at en kan finne sedimenter avsatt i marint miljø over dagens havnivå. Den øvre grensen for disse sedimentene kalles marin grense, og er det høyeste nivået havet har hatt etter siste istid, se Figur 5-3.

I en periode for omtrent 5000 år siden har undersøkelser vist at skredaktiviteten var på det høyeste nivået siden rett etter deglasiasjonen, dette skyldes høy tektonisk bevegelse. Berill-forkastningen i Innfjorden antas å ha sammenheng med disse skredhendelsene (Blikra m.fl., 2002). Romsdalen er fortsatt i endring, noe man erfarer når det går nye skred.

Dalbunnen i Romsdalen i dag består i stor grad av skredmateriale, men også elveavsetninger og breelvavsetninger, se Figur 5-4. Skredmaterialet varierer i alder, det eldste er fra perioden rett etter istiden, de yngste kan være bare få dager gamle.



Figur 5-3 Marin Grense. (Fra ngu.no [3], 2013).



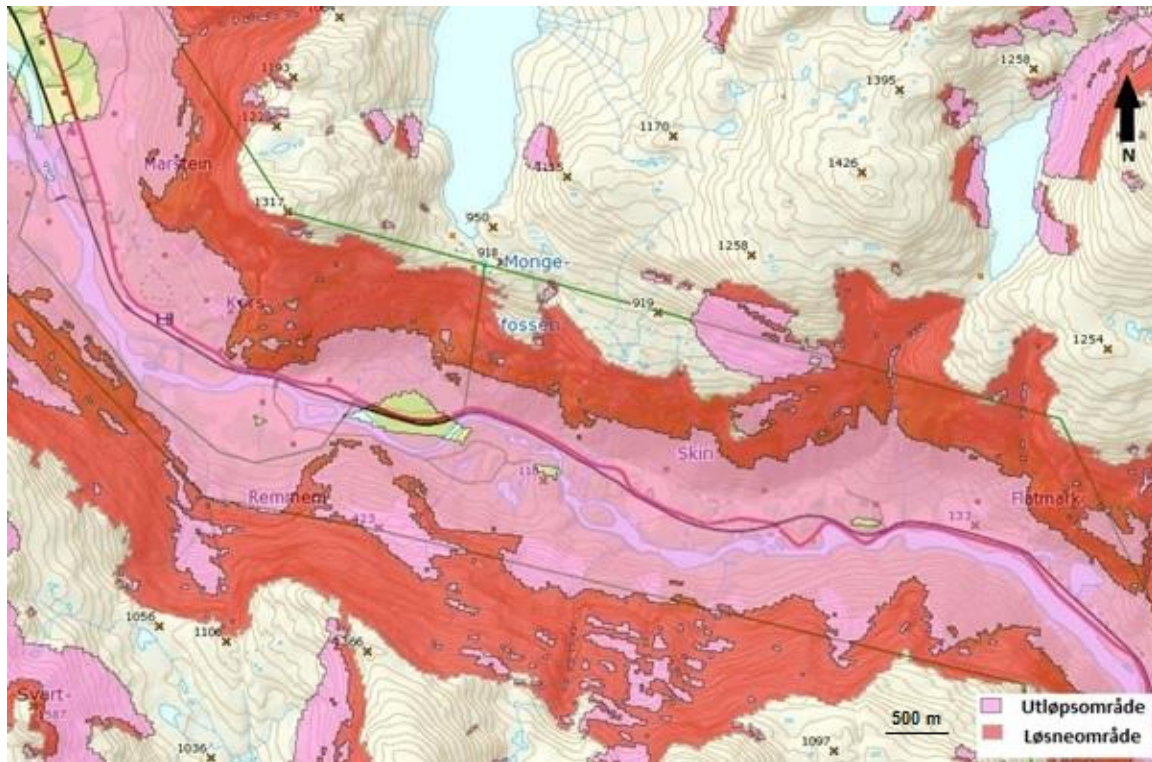
Figur 5-4 NGUs Løsmassekart. (Fra ngu.no [4], 2013).



## 5.2 Skredfare aktsomhetskart

Aktsomhetskart er kart som er laget for å vise område der det må utvises aktsomhet i forhold til skredfare. Områdene er blitt kartlagt i en målestokk 1:50 000, og potensielle kildeområder og utløpsområder er adskilt. Kartene er basert på høydemodeller, og viser områder der det er fysisk mulig at skred utløses. Aktsomhetskart kan benyttes som grunnlag for en mer nøyaktig kartlegging av skredfaren.

### 5.2.1 Steinsprang aktsomhetskart



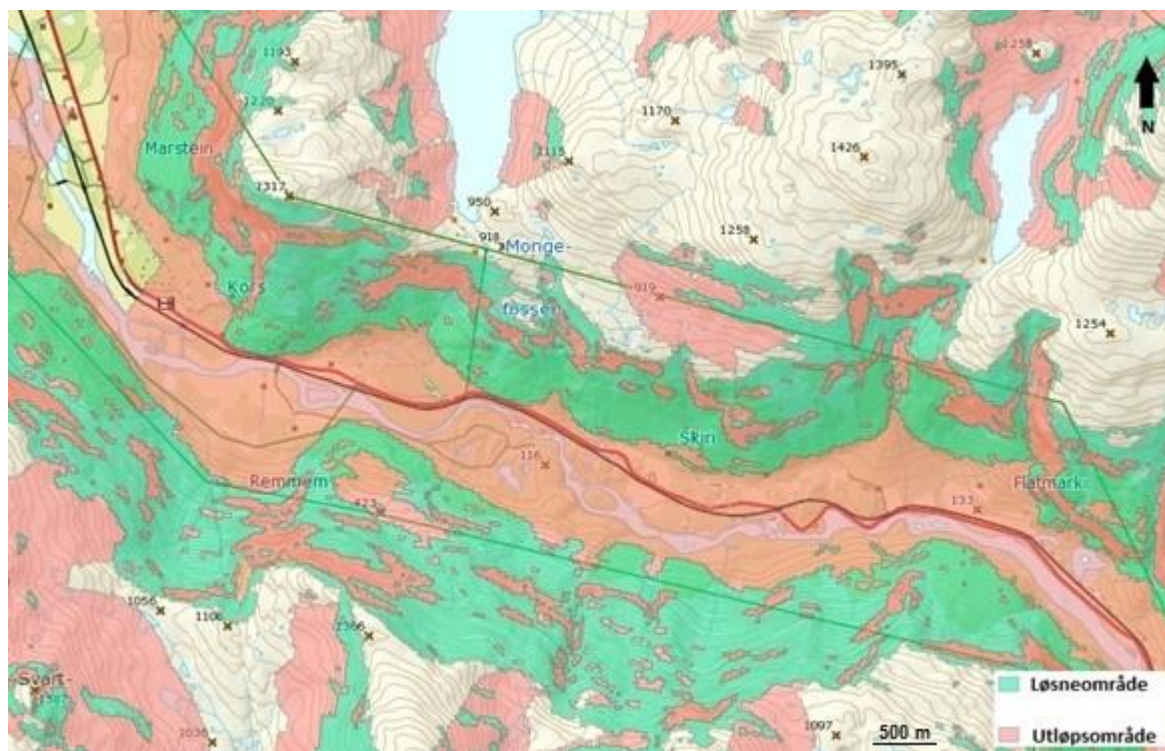
Figur 5-5 Aktsomhetskart steinskred. (Modifisert i ArcGIS etter data fra ngu.no [5], 2013)

Figur 5-5 er et aktsomhetskart for steinskred i Romsdalen. Områder i rødt er løsneområder for steinskred og rosa områder er utløpsområder. Kartdata ble lastet ned fra NGUs nedlastingsjeneste for geologiske kartdata. Data ble lastet ned som shape-filer og eksportert til ArcGIS.

Kartet for aktsomhetsområder for steinsprang er en del av en nasjonal kartserie som viser potensielt steinsprangutsatte områder på oversiktsnivå. Potensielle løsneområder og utløpsområder er vist i kartet. Selv om et område er merket som løsneområde, kan det også være utløpsområde for blokker som løsner høyt i løsneområdet.

Aktsomhetsområdene er funnet ved bruk av en datamodell som gjenkjenner mulige løsneområder ut fra helning på terrenget og geologisk formasjon. Kildeområdene er beregnet automatisk ved hjelp av «shadow angle» metoden. Det er ikke gjort feltarbeid ved identifisering eller avgrensning av områdene.

## 5.2.2 Snøskred aktsomhetskart



Figur 5-6 Aktsomhetskart snøskred. (Modifisert fra ArcGIS etter data fra ngu.no [6], 2013)

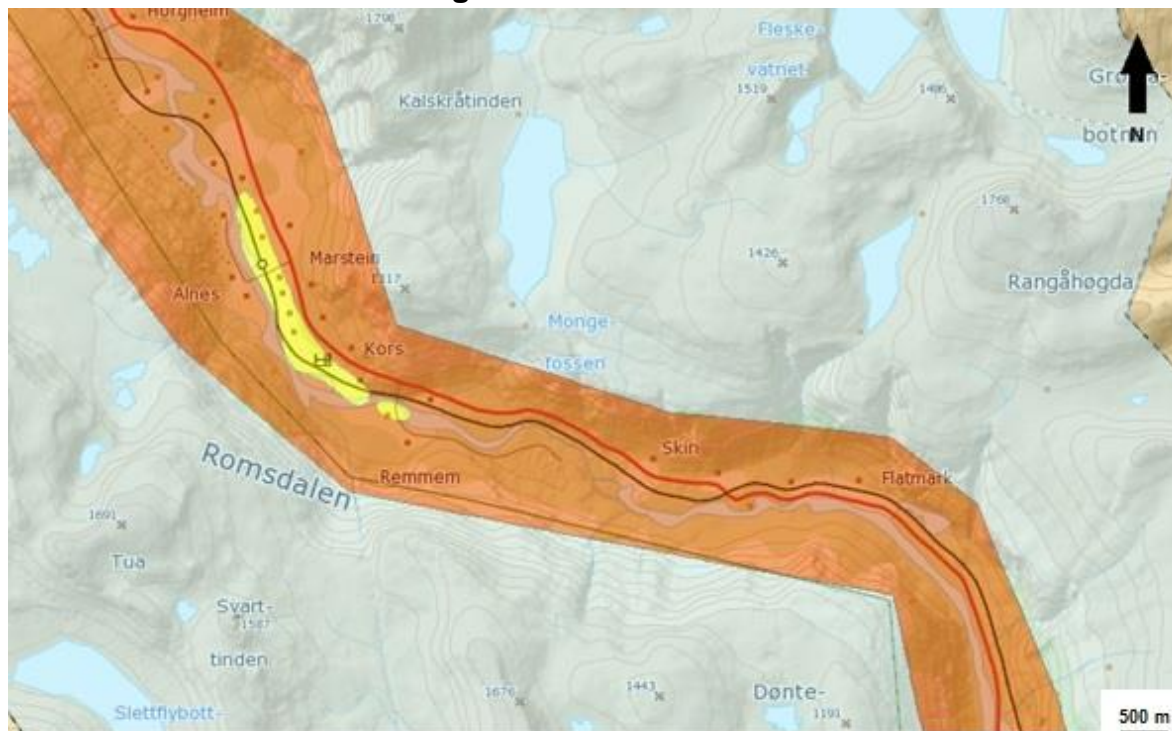
Figur 5-6 er et aktsomhetskart for snøskred i Romsdalen. Grønne områder viser løsneområde og rosa områder er utløpsområder. Kartdata ble lastet ned fra NGUs nedlastingstjeneste for geologiske kartdata som shape-filer. Disse ble videre eksportert til ArcGIS.

Kartet er en del av en nasjonal kartserie som viser aktsomhetsområder (potensielt skredutsatte områder) på oversiktsnivå. Potensielle løsneområder og utløpsområder er vist i kartet. Snømasser kan avsettes innenfor løsneområdet, ettersom det beveger seg gjennom dette området.

Aktsomhetsområdene er identifisert ved at en datamodell gjenkjenner terreng der utløsning av snøskred er mulig, på grunnlag av terrengets helning. Utløpsområdet er automatisk beregnet. Det er ikke gjort feltarbeid, så effekten av lokale faktorer (skog, terrengdetaljer, sikringstiltak mm) er ikke tatt med i vurderingen.

Aktsomhetsområdene gjelder ikke skredfare knyttet til sørpeskred.

### 5.2.3 Aktsomhetskart snø- og steinskred



Figur 5-7 Aktsomhetsområde snø- og steinskred (modifisert fra ArcGIS, data fra ngu.no [7], 2013)

Aktsomhetskartet for snø- og steinskred viser aktsomhetsområder for snø- og steinskred samlet. Snøskredfaren er som regel dimensjonerende for utløpslengden, da disse skredene ofte har størst rekkevidde. Aktsomhetsområdene er funnet ved bruk av helningskart og identifisering av potensielle løснеområder basert på terrengets helning. Utløpslengden er beregnet ved bruk av en empirisk metode utviklet av NGI, dette arbeidet er gjort manuelt. Områdene ble så befart og vurdert av sakkyndige før grensen ble tegnet inn. Bare områder som kan nås fra vei er befart.

Tabell 5-1 Forklaring og begrunnelse til kart i Figur 5-7.

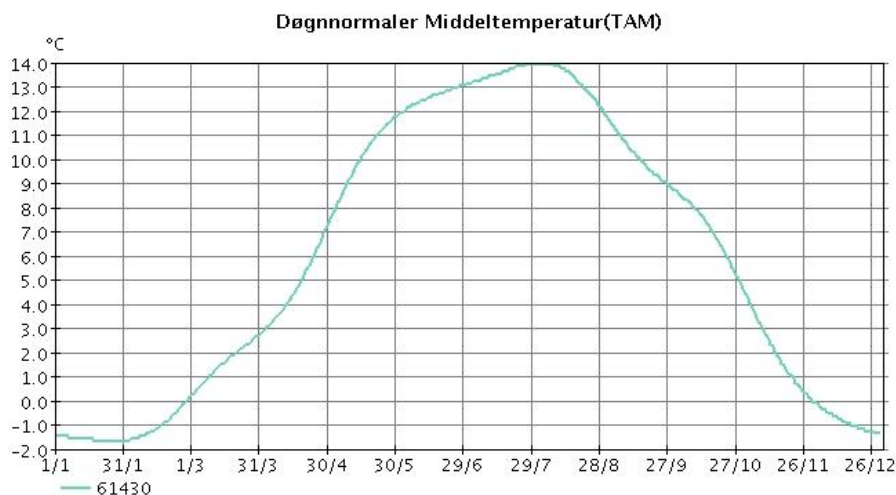
Farge	Skredfarevurdering	Definisjon/forklaring
<b>Oransje</b>	Potensielt fareområde for skred	Område som pga. terrenghelning har en teoretisk, potensiell skredfare. Skråninger og skrenter høyere enn 30 meter vil normalt være med der kartgrunnlaget er i 1:50 000. Områder der det er en helt åpenbar fare for andre typer skred er også tatt med. I terreng med helning mellom 20 og 30 grader kan faregrensene være vanskelig å fastsette. De kan her innbefatte også areal som slett ikke er skredfarlig.
<b>Gul</b>	Liten eller ingen fare for skred	Skredfaren vurdert til å være liten eller ikke tilstede
<b>Lys blå</b>	Faren for skred ikke vurdert	Område der en har besluttet å ikke undersøke skredfaren på grunn av liten bebyggelse og ferdsel



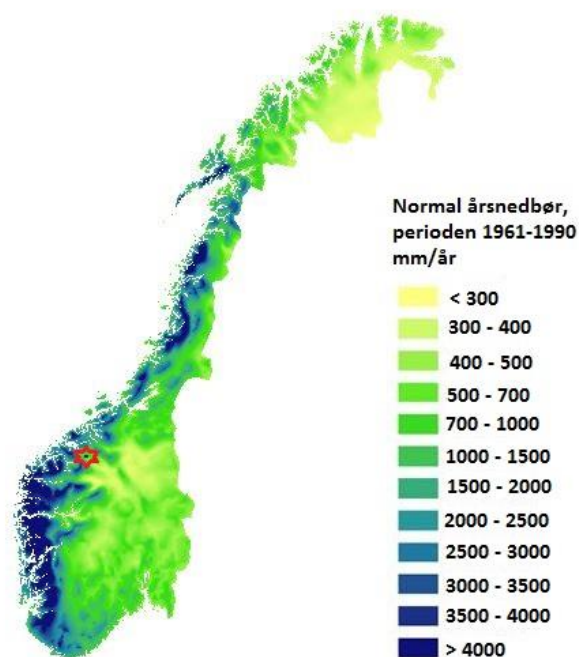
### 5.3 Klima og værforhold

Skredhendelser er tett knyttet opp mot klima og værforhold, og vann i ulike former har stor innvirkning på stabiliteten til skråninger og snølag. Snøskred forekommer ofte etter værømslag, se kapittel 4.4. Skred i fast fjell kan forekomme etter perioder med stor nedbørsmengde, se kapittel 3.2.

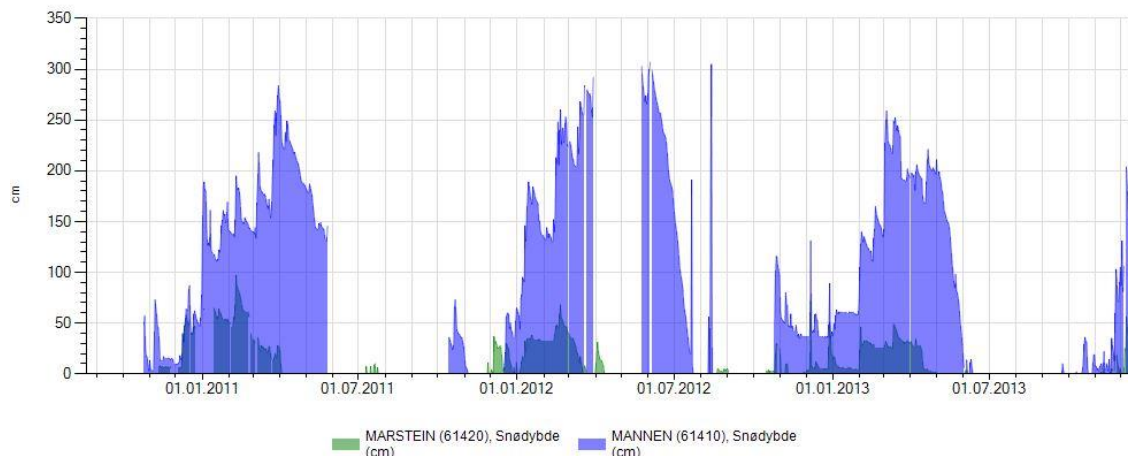
Flatmark – Marstein ligger i det maritime klimabeltet langs Norskekysten. Døgnormal middeltemperatur er vist i Figur 5-8.



Figur 5-8 Døgnormaler middeltemperatur for Alnes målestasjon, basert på normalperioden 1961-1990. (fra Eklima)

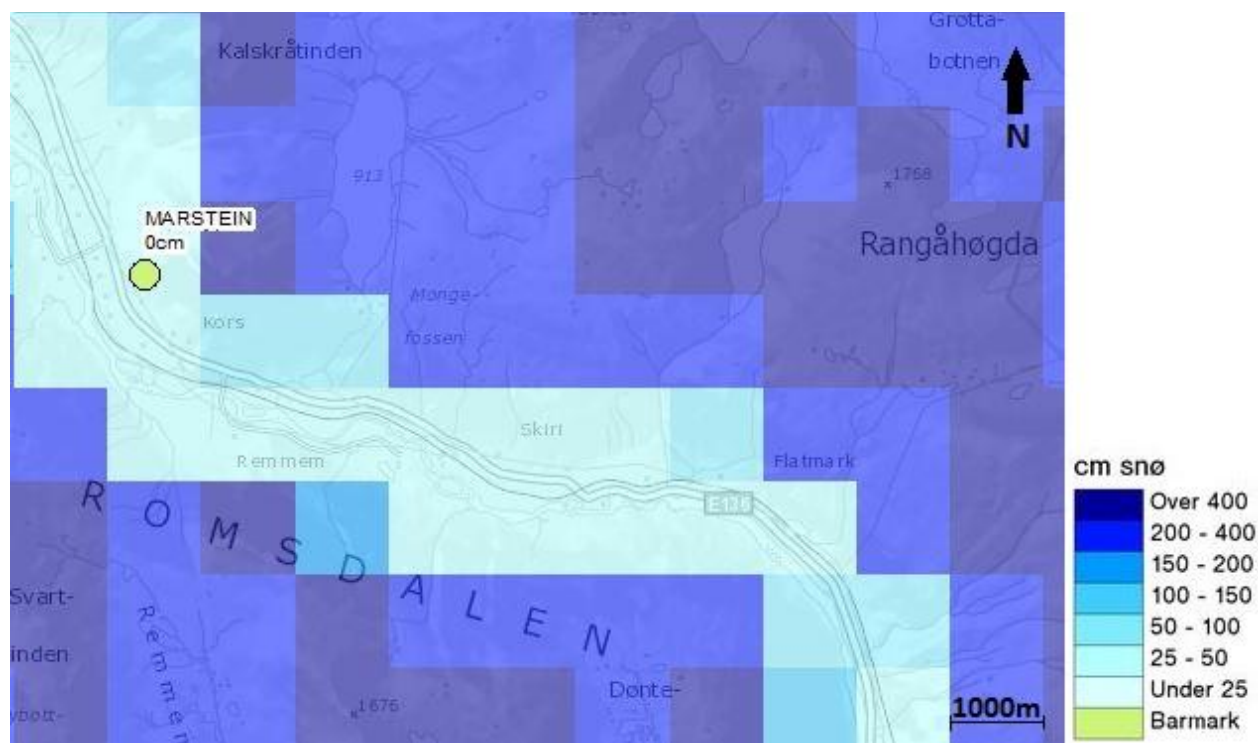


Figur 5-9 Normal årsnedbør i Norge for perioden 1960-1991. Rød stjerne markerer Romsdalen. Årsnedbør i Romsdalen ligger på 900-950 mm/år. (Modifisert i ArcGIS etter data fra Eklima, 2013)



**Figur 5-10 Snødybden ved målestasjonene Mannen(1294 m.o.h) og Marstein (67 m.o.h). Målingene for Marstein ligger bak målingene for mannen, de mørkeste blå fargene viser resultat fra Marstein målestasjon (senorge.no, 2013).**

Figur 5-10 viser snødybdene ved målestasjonene på Mannen, 1294 m.o.h., og Marstein 67 m.o.h. Området hvor det går flest snøskred langs vegstrekningen ligger i et litt lavere terreng enn mannen, men også flere hundre meter høyere enn målestasjonen på Marstein, derfor er begge vist her. Kan anta at snødybdene fra Monge til Rangåhøgda litt mindre enn de som er registrert ved Mannen. Figur 5-11 viser den maksimale snødybden i fjellene langs strekningen. Den mørkeste fargen på kartet tilsvarer snødybder over 400 cm.



**Figur 5-11 Snødybdene langs fjella fra Monge til Rangåhøgda, maksimal snødybde det hydrologiske året 2012. Den mørkeste fargen på kartet tilsvarer snødybder over 400 cm (senorge.no, 2013).**

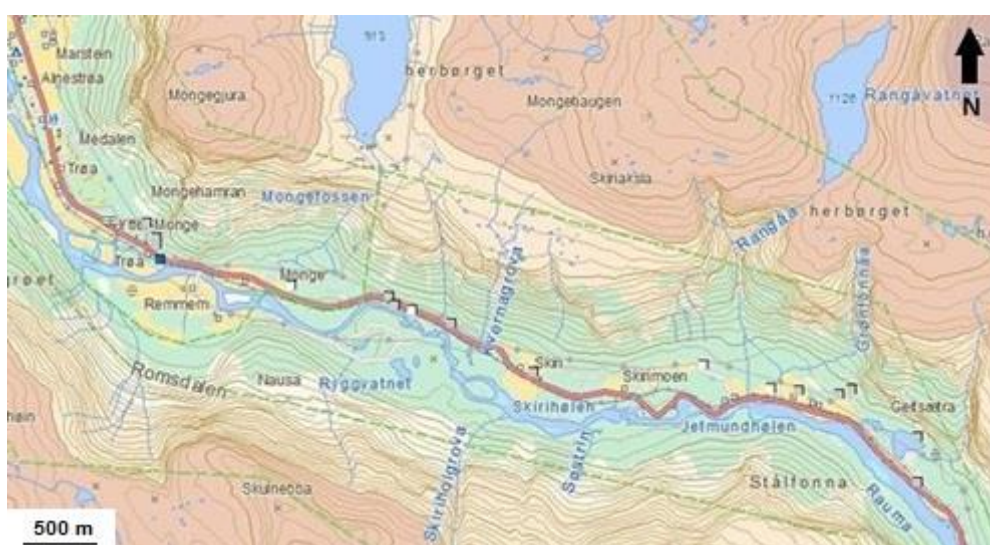


## 5.4 Skredhendelser

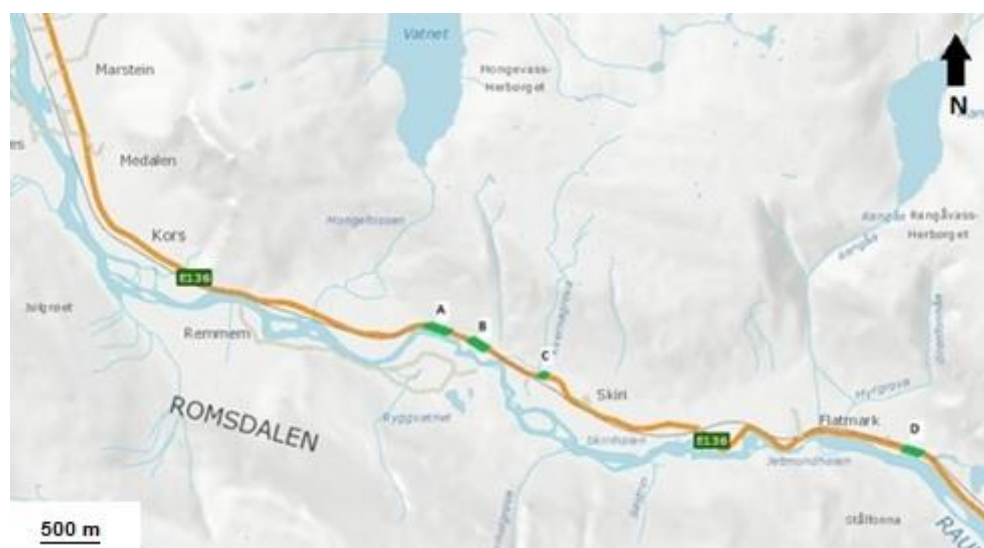
Romsdalen har vært preget av flere store skredhendelser gjennom tidene. Skredraten var størst rett etter deglasiasjonen, men også i en periode for ca. 5000 år siden var det relativt høy rate av skredhendelser, som trolig skyldes høy neotektonisk aktivitet i perioden (Blikra m.fl., 2002).

### 5.4.1 Registrerte hendelser

Statens vegvesens rasregister har fire registrerte skredpunkter på den aktuelle strekningen. Skrednett.no viser 17 registrerte skred i området, disse er både fjell-, snø-, flom- og jordskred, se Figur 5-12. Flere av disse registreringene er basert på muntlige beretninger, så den geografiske plasseringen er noe usikker. Disse registreringene, samt 3 registreringer fra A. Normann er samlet i Tabell 5-2.



Figur 5-12 Registrerte skredhendelser(skrednett.no/skredhendelser, 2013).



Figur 5-13 Registrerte raspunkt i Statens Vegvesens rasregister (Statens Vegvesen vegkart, 2013).

Tabell 5-2 Skredhendelser. Fra skrednett.no, Statens vegvesen rasregister og A. Normann.

Skredpunkt	Registrerte hendelser	Beskrivelse av hendelsen
<b>Ytter Monge</b>	<b>3</b>	2.2.1757: Stort fjellskred, stengte vegen. 10.10.1927: Steinskred som stengte vegen. Løsneområdet var 800-900m oppe i fjellsida, og steinene veide opp mot 50 tonn. 18.3.1982: Steinskred, ca. 60 000m <sup>3</sup> . Løsnehøyde 875m.
<b>Remmem</b>	<b>1</b>	12.1.2009: Isnedfall
<b>Monge</b>	<b>1</b>	10.2.1868: Snøskred over husmannsplass. En mann omkom. Flere skred i dalen denne natten.
<b>Mongeur II</b>	<b>4</b>	16.4.1951: Steinsprang som førte til skade på veg og jernbane. 16.6.1975: Stort steinskred som sperra veg og jernbane. 18.9.1986: Stort steinskred fra Mongehjellen, et av de største i nyere tid. 300 m bredt i utløpet. Blokker opptil 100 mill. tonn. 29.3.2010: Lite steinsprang som stoppet i grøfta.
<b>Mongeur I</b>	<b>3</b>	12.4.1858: Snøskred. 2 mennesker omkom. 12.12.1942: Fjellskred med høyt løsneområde som førte til skade på veg og jernbane. 28.3.1991: Steinskred som stoppet i vegkanten.
<b>Skirifonna</b>	<b>-</b>	Flere snøskred som har ført til full eller delvis stengning av vegen. Steinskred i anleggstiden for jernbanen.
<b>Kyrkjeura</b>	<b>1</b>	Ukjent årstall: Fjellskred som antas å være et av de største i Romsdalen. Demte opp elva. Lenger oppe i dalen kan en finne spor etter bosetning under yngre elveavsetninger.
<b>Flatmark</b>	<b>5</b>	12.4.1858: Stort snøskred fra Rangåa. 11 mennesker omkom. 1750: Snøskred fra Rangåa. Dokumentert i 1773. 1885: Fjellskred fra Nyskredå, gikk mellom søre og midte Flatmark. Flere hundre meter bredt i utløpet. 1700: Fjellskred ved Vassligjølet. Tok husmannsplass og gjorde deler av marken udyrkbare. 1799: Steinsprang. Tok flere bygninger.
<b>Grønnfonna</b>	<b>6</b>	1792: Stort steinskred som demte opp elva. Registreringen forteller om flere skred i fonna. 11.3.1822: Fjellskred. Sprekke i berget var observert i forkant. Tre mennesker omkom og det var omfattende skader på bebyggelse. 1952: Snøskred 1958: Snøskred 1965: Snøskred 18.1.1981: Snøskred. 130 m bredt i utløpet.

### 5.4.2 Store fjellskred

På fjellet vest for Marstein ligger Børa, et fjellplatå som ligger ca 1000 m over dalbunnen i Romsdalen. 100-200 m inne på platået er det en 3 km lang sprekkeseone som fortsetter opp til fjellet Mannen (1300 moh). Geofysiske undersøkelser har vist at denne sprekken går minst 100 m vertikalt ned i grunnen. Vannet kommer ut av sprekken ca 1000 m lenger nede, og et nedbørsfelt på 4km<sup>2</sup> blir drenert i denne sprekken (NGU m.fl., 2006).

Det har blitt gjort GPS-målinger årlig siden 2003. Disse viser bevegelse i to lokale parti ytterst på platået, med 1-2 cm/år. Dette er små parti, med de kan utvikle større skred ved at materiale i dalsiden dras med i skredbevegelsen (NGU m.fl., 2006).

Et skred fra dette området kan true lokal bosetning, men en antar at det ikke vil treffe vegen eller jernbanen. Et skred fra Mannen vil ha større og mer alvorlige konsekvenser. Et volum på 25-50 mill. m<sup>3</sup> kan utvikle et voldsomt skred ned i Romsdalen. Det er fare for strømmer av elvesand og skredmateriale både oppover og nedover i dalen. Et skred fra Mannen kan ramme hele dalbunnen i en lengde på 1-2 km, da er både bosetning, jernbanen og vegen i faresonen (NGU m.fl., 2006).

Fjellet er delt i to hovedblokker A og B ut fra geologiske strukturer og deformasjoner. Blokk A er frontpartiet av fjellet, med en størrelse 15-25 mill. m<sup>3</sup>. En del av denne blokken, A1, hadde i perioden 2006-2008 en bevegelse på 5-6 cm per år, men det kan ikke utelukkes at resten av blokk A har tilsvarende bevegelse. Blokk B er resten av det ustabile fjellpartiet. Det er ikke påvist målbare bevegelser i dag (Dahle m.fl., 2008).

Det er sannsynlig at 2-3 mill. m<sup>3</sup> fra blokk A går ut i ett skred, og at dette eventuelt kan dra med seg mer materiale i fjellskredet. Sannsynligheten for at blokk B raser ut kan ikke utelukkes, men er vesentlig lavere. Den årlige sannsynligheten for et skred fra Mannen på 2-3 mill. m<sup>3</sup> blir satt til 1/100. Et slikt skred kan krysse dalbunnen og ramme bosetningen, vegen og jernbanen. Elva Rauma kan demmes opp med fare for brudd og flom (Dahle m.fl., 2008).



Figur 5-14 Børa med Mannen lengst unna i bildet (Blikra m.fl., 2002).

## 5.5 Eksisterende sikringstiltak

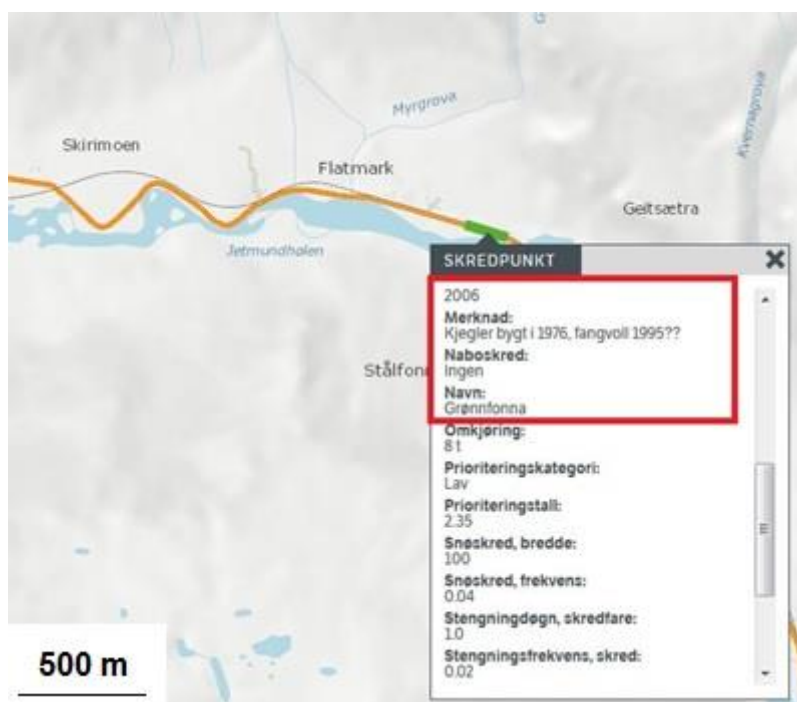
I perioden juni-juli 2013 ble eksisterende sikringstiltak mot skred i Møre og Romsdal registrert av undertegnede og Kari Linn Søreide, for bruk i nasjonal vegdatabank. Arbeidet ble gjort i tre deler; forarbeid ved bruk av kart og flyfoto, kartlegging i felt og registrering av innsamlede data i ArcGIS og Excel.

Arbeidet som ble gjort i forkant av feltarbeidet var å samle inn data om eksisterende sikringstiltak. Aktuelle områder ble videre sjekket i kart og flyfoto, for å anslå størrelse og nøyaktig plassering før feltarbeidet startet.

Til kartleggingen i felt ble det brukt registrerte skredpunkt i NVDB for å finne omtrentlig plassering av sikringstiltakene. Navnet på kjente skredpunkt ble brukt som navnet på sikringstiltaket. Etter dette ble det brukt håndholdt GPS for å markere den nøyaktige plasseringen av sikringstiltaket, samt i noen tilfeller for å finne lengden av tiltakene, der avstandsmåleren ikke gav gode nok resultat. Avstandsmåler ble brukt for å måle lengde, bredde og høyde på tiltakene, og det ble tatt bilder av alle sikringstiltakene.

Registreringen av innsamlede data fra felt ble gjort i Excel, i et regneark laget for direkte bruk i NVDB. Videre ble alle sikringstiltakene plottet i ArcGIS, med navn og id. Resultatene skal brukes i NVDB for å gi en oversikt over eksisterende sikringstiltak i fylket.

Det ble ikke registrert noen sikringstiltak på den aktuelle strekningen mellom Flatmark og Marstein. I følge Statens Vegvesen sine register skal det være bygd kjegler i 1976 ved Grønfonna, samt en voll i 1995 (usikkert årstall) se Figur 5-15, men disse ble altså ikke observert eller registrert i sommer.

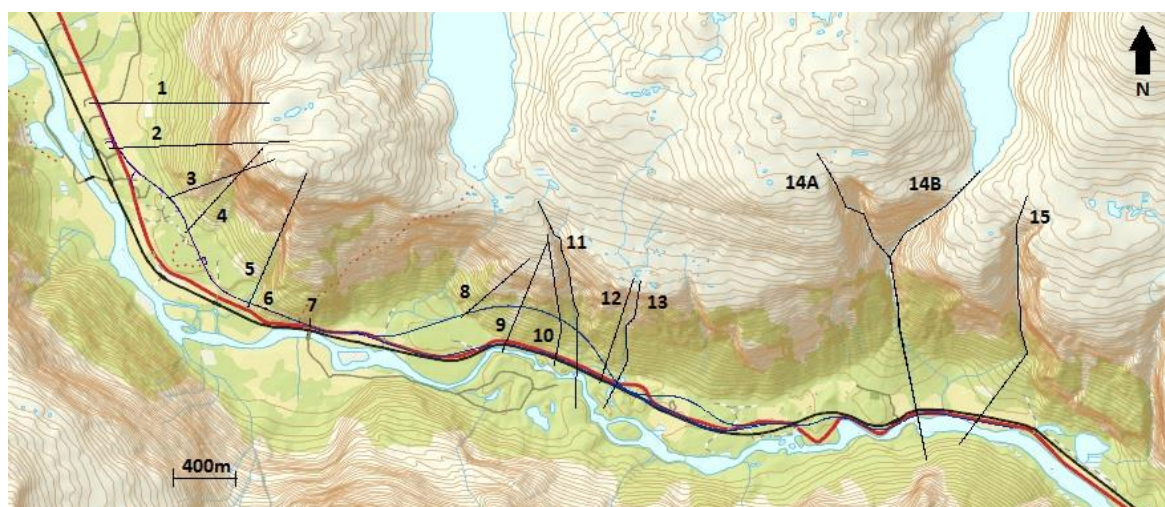


Figur 5-15 Tabell fra Statens vegvesens rasregister som viser sikringstiltak på Flatmark. Målestokk 1:30 000. (Statens Vegvesen Vegkart, 2013).



## 6 Resultater

Dette kapittelet inneholder resultater fra de forskjellige analysene som er utført i arbeidet. Det har blitt gjort steinsprangsimuleringer i RocFall, samt beregninger av utløpslengden for snøskred ved bruk av  $\alpha$ - $\beta$ -metoden og energilinjemodellen. Det er videre utført analyser i 15 profiler i området, disse er merket av i Figur 6-1. For profil 1-10, 12 og 13 er det gjort RocFall simuleringer, og for profil 11, 13, 14A, 14B og 15 er det beregnet utløpslengde for snøskred. Profilene ble valgt på grunnlag av feltkartlegging og tidligere rasfarevurderinger, se kapittel 2.3.1.



Figur 6-1 Plassering av profiler.

De ulike profilene er analysert og beskrevet hver for seg i det følgende kapittelet. For profil 13 hvor det er utført både RocFall-simulering og snøskredberegninger er disse beskrevet i samme kapittel.

### Tommelfingerregel for estimering av utløpslengde for steinsprang

For alle profiler med mulige steinsprang estimeres en utløpslengde ved hjelp av tommelfingerregelen for steinsprang. Høyden er funnet ved å bruke det høyeste punktet i alle profilene, selv om det i RocFall blir benyttet punkt som ligger noe lavere i terrenget. Det er beregnet utløpslengder for et løsnepunkt per profil.

### RocFall

Mange av parameterverdiene i RocFall bestemmes av brukeren, og vil variere for ulike prosjekter, se kapittel 3.5. I Tabell 6-1 er parameterverdiene brukt i denne oppgaven beskrevet og begrunnet.

Tabell 6-1 Parameterverdier i RocFall benyttet i denne oppgaven.

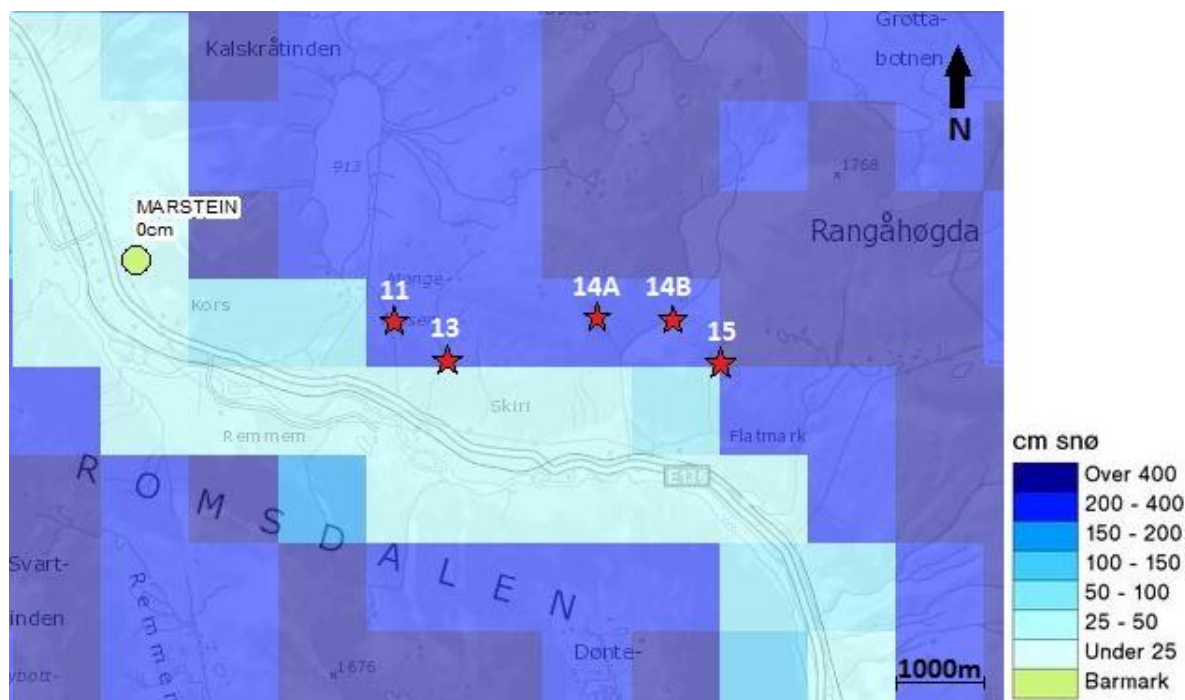
Parameter	Verdi	Begrunnelse
Antall blokker	1000	Høyt antall blokker gir et bedre estimat i skråninger med stor usikkerhet i andre parameterverdier
Egenvekt	2800 kg/m <sup>3</sup>	Se kap. 3.2
Størrelse	0,1 m <sup>3</sup> , 280 kg 1 m <sup>3</sup> , 2800 kg 10 m <sup>3</sup> , 28 000 kg	Vil se hvordan størrelsen påvirker blokkenes bevegelse langs skredløpet.
Vertikal fart	0 m/s	
Horisontal fart	0 m/s	
Horisontale punkt som blir analysert	50	Standardverdi.
Friksjonsvinkel	Kalkulert fra Rt	
Angular velocity	medregnet	
Restitusjonskoeffisienter	Se Tabell 6-2.	Verdier funnet i RocFall-tutorial for målinger gjort i Sogn og Fjordane, antar tilnærmede like egenskaper

Tabell 6-2 Restitusjonskoeffisienter benyttet i denne oppgaven. Se Error! Reference source not found. og Error! Reference source not found. i Vedlegg A.

Materiale	RN	STD (RN)	RT	STD (RT)
Asfalt	0,4	0,04	0,9	0,04
Ur	0,5	0,06	0,7	0,06
Ur med busker og små trær	0,5	0,06	0,65	0,06
Ur med skog	0,5	0,06	0,5	0,06
Rent, hardt grunnfjell	0,53	0,04	0,99	0,04
Jord med vegetasjon	0,3	0,04	0,8	0,04
Tynt jorddekke med vegetasjon	0,3	0,06	0,8	0,06

## Snøskredberegninger

I denne oppgaven ble det gjort beregninger for utløpslengden til snøskred i fem profiler, profil 11 og 13, 14A, 14B og 15. Til dette ble  $\alpha$ - $\beta$ -metoden og energilinje-modellen benyttet. Beregningsmodellene tar høyde for en returperiode på 100-300 år, krav ved bygging av ny veg er 20-50 år, se kapittel 4.5.

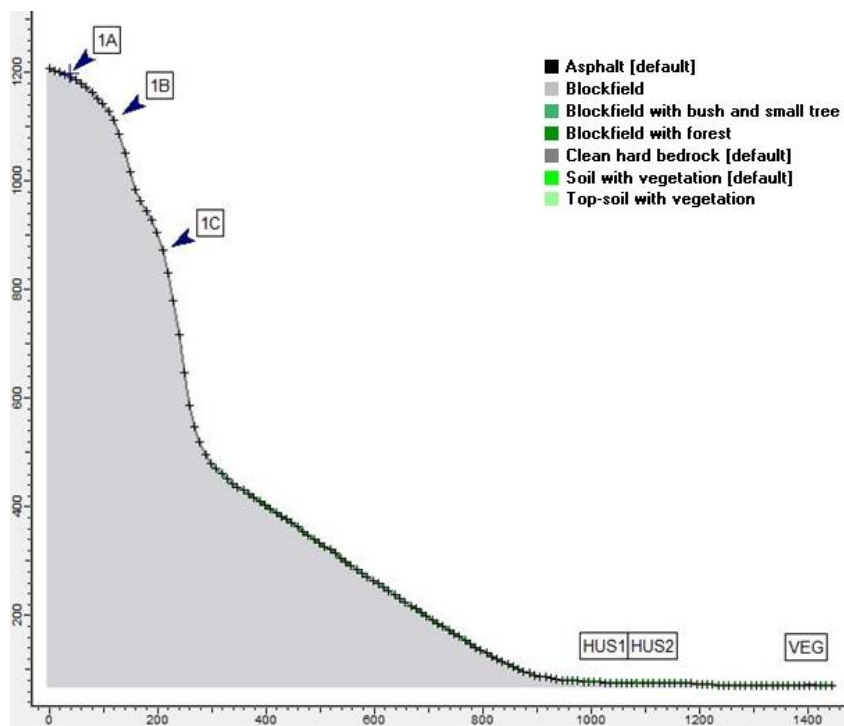


**Figur 6-2** Figuren viser den maksimale snødybden langs vegstrekningen for det hydrologiske året 2012. Røde stjerner markerer løsnedområder for snøskredene i de ulike profilene (Modifisert fra Figur 5-11).

For beregning med  $\alpha\beta$ -modellen ble det satt inn et standardavvik på  $1,15^\circ$  for å korrelere for nødvendig sikkerhet ved bygging av ny veg. Beregningene ble gjort på grunnlag av formel i kapittel 4.5.1.

Energilinjemodellen ble også benyttet for å beregne utløpslengden til skredet. Hastighetshøyden til skredene ble funnet ved bruk av formler i kapittel 4.5.2, denne ble brukt til å finne utløpslengden. Resultatene fra de to modellene blir sammenlignet for hvert profil.

## Profil 1



Figur 6-3 Profil 1 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Området hvor profil 1 ligger er en stor ur, bak husene på Marstein. Ved feltbefaringen i mai og september kunne det sees nylig nedfalte blokker, samt noe skade på vegetasjon. I dette punktet er det ikke planlagt noen endring av veglinjen i forhold til dagens plassering

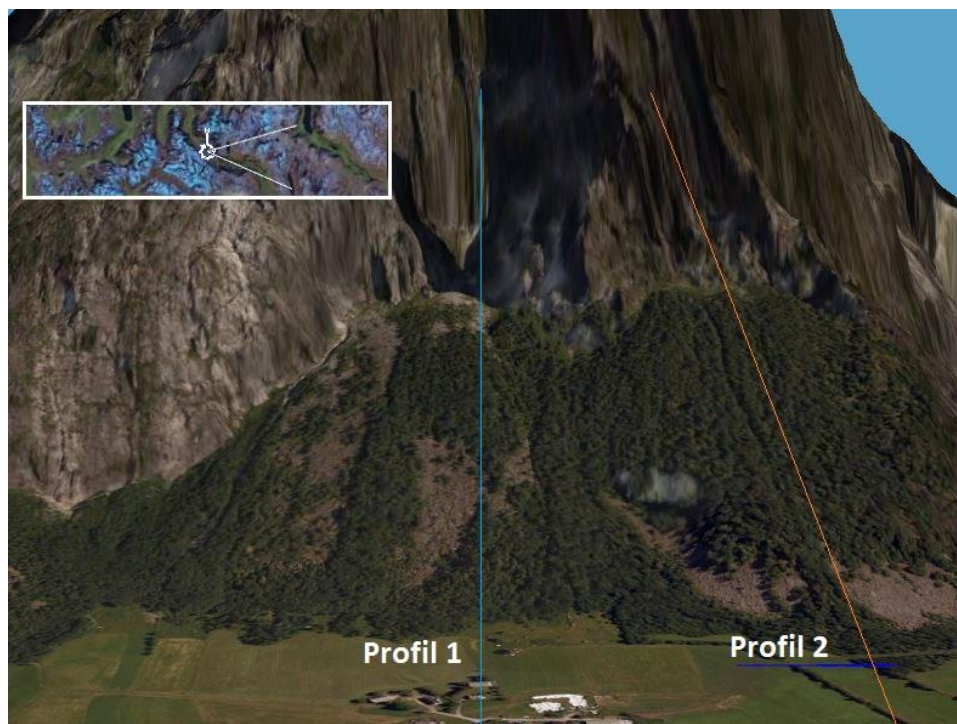
Aktsomhetskartet for steinsprang, Figur 5-5 i kapittel 5, viser både løsneområde og utløpsområde i det aktuelle profilet, men i følge reguleringsplanen er det liten skredfare i området (Statens Vegvesen, 2002).

I profilet er det satt inn to hus på henholdsvis  $x=990$  m og  $x=1080$  m. Vegen ligger på  $x=1400$  m, se Figur 6-3.

### **Estimering av utløpslengde**

Ved bruk av tommelfingerregelen for estimering av utløpslengde for steinsprang ble det beregnet en utløpslengde på  $x = 1276$  m. Dette punktet ligger forbi de to husene, men når ikke frem til vegen.





Figur 6-4 Bildet viser plasseringen av Profil 1 og Profil 2 (Modifisert fra Norgei3D).

### **RocFall**

Analysene viser at omtrent 60 % av blokkene fra 1A og 1B stopper rett ved det første huset. Noen få av blokkene gikk over det første huset, og bare få blokker gikk over hus nummer 2. Fra løsnepunkt 1A traff 2 blokker vegen, fra løsnepunkt 1B traff 8 blokker vegen. Fra løsnepunkt 1C stanser alle blokkene i ura. RocFall-analysene viser at den største andelen blokker stopper i  $x=361$  m. Dette punktet ligger i overgangen mellom bart fjell og ur.

Tabell 6-3 Tabellen viser fordelingen av blokker langs Profil 1. Tallene er gitt i prosent.

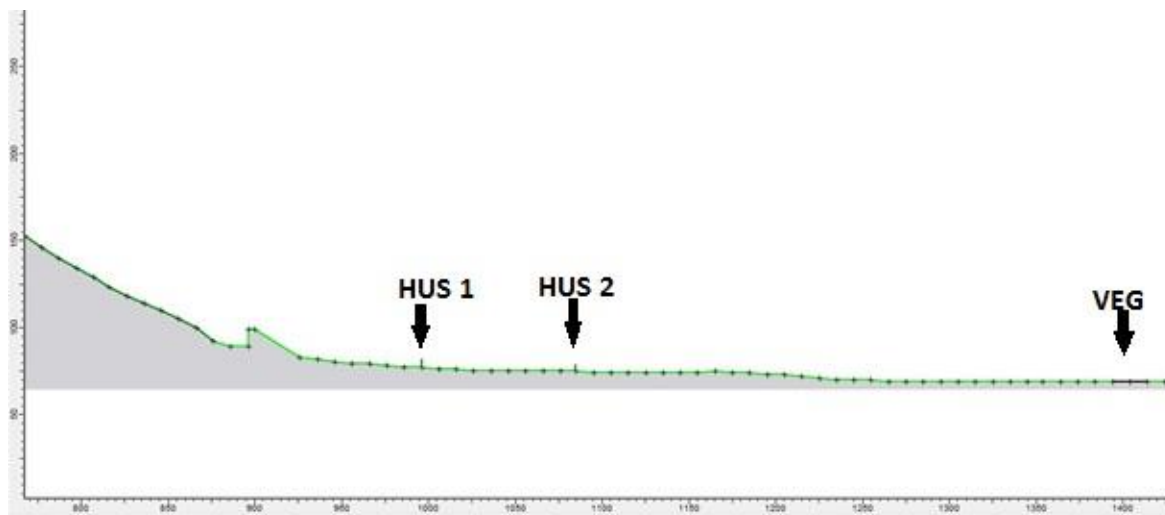
Løsnepunkt	Vekt	Andel blokker som treffer hus 1	Andel blokker mellom hus 1 og 2	Andel blokker på veg
<b>1A</b>	280 kg	60,2	4,3	0
	2800 kg	60,9	4,4	0,1
	28 000 kg	61,4	4,4	0,1
<b>1B</b>	280 kg	57,5	3,2	0,1
	2800 kg	58,1	3,2	0,6
	28 000 kg	58,4	2,9	0,1
<b>1C</b>	280 kg	0	0	0
	2800 kg	0	0	0
	28 000 kg	0	0	0

### **Sikringstiltak**

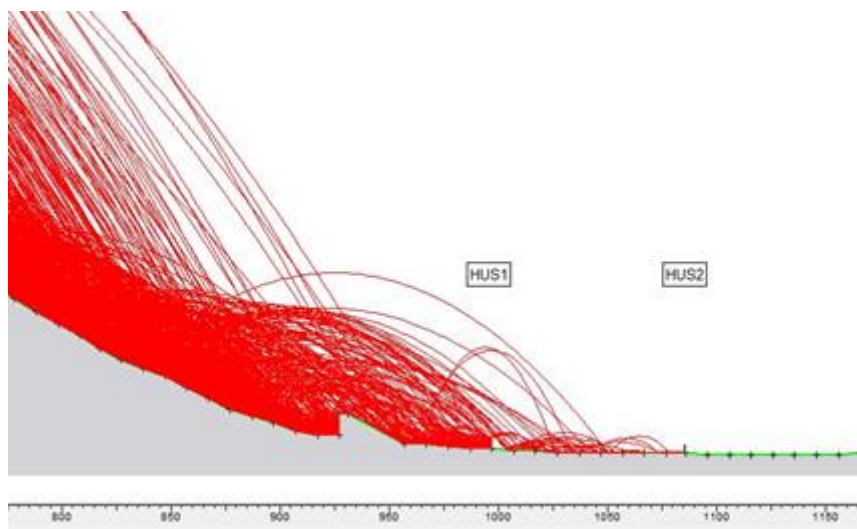
For profil 1 ble det satt inn en voll som sikringstiltak. Det ble prøvd to ulike plasseringer av vollen, i henholdsvis  $x=895$  m og  $x=926$  m. Disse punktene ble valgt fordi grafen for

total kinetisk energi, se Figur A-7 og Figur A-8 i Vedlegg A, viste en utflatende trend her for alle løsnepunkt og blokkstørrelser. Vollens effekt ble analysert for 1A og 1B for alle blokkstørrelser, fordi det kun var disse som potensielt ville treffe husene, se Tabell 6-3.

Det ble først utført vanlige RocFall analyser uten sikringstiltak, men de to husene ble satt inn som barrierer i RocFall. Det ble så satt inn voller for å se antallet blokker som traff husene og vegen. Vollene som ble satt inn hadde en høyde på 10 m, kronebredde på 4 m, bredden på foten var 27 m, og det ble satt en 90° helning på støtsiden, se Figur 6-5.



Figur 6-5 Sikringstak profil 1. Voll i x=895, 10 m høy. Aksene er angitt i meter.



Figur 6-6 Sikringstiltak Profil 1, x=926. Aksene er angitt i meter.

Tabell 6-4 Tabell som viser andelen blokker som gikk forbi x=896, med og uten voll. Tallene er gitt i prosent.

		280 kg	2800 kg	28 000 kg
Uten voll	1A	66,6	68,1	68,1
	1B	62,8	65,8	64,2
Med voll	1A	34,0	32,8	33,6
	1B	50,7	51,0	54,8

Antallet blokker som stopper etter  $x=896$  m er vist i Tabell 6-4. Det er tydelig at vollen er mest effektiv for blokkene som løsner fra 1A, med en effektivitet på 50,5 %. For 1B er effektiviteten 18,8 %. Dette gir en total effektivitet på 34,6 %.

**Tabell 6-5 Andelen blokker som stoppet forbi  $x=926$  m, med og uten voll. Tallene er gitt i prosent.**

		280 kg	2800 kg	28 000 kg
<b>Uten voll</b>	1A	64,5	65,4	65,9
	1B	60,8	61,9	61,7
<b>Med voll</b>	1A	29,1	28,1	32,7
	1B	34,1	31,9	33,1

Antallet blokker som stopper forbi  $x=926$  m er vist i Tabell 6-5. Effektiviteten for blokker fra 1A er 54 %. Vollens effektivitet for blokker fra 1B er 46,2 %. Dette gir en total effektivitet av vollen i  $x=926$  m på 50,1 %.

Ved å sammenligne resultatene fra de to vollene er det tydelig at vollen i  $x=926$  m har en betydelig større effektivitet. Dette er fordi denne vollen også stopper en stor andel av blokkene fra løsnepunkt 1B.

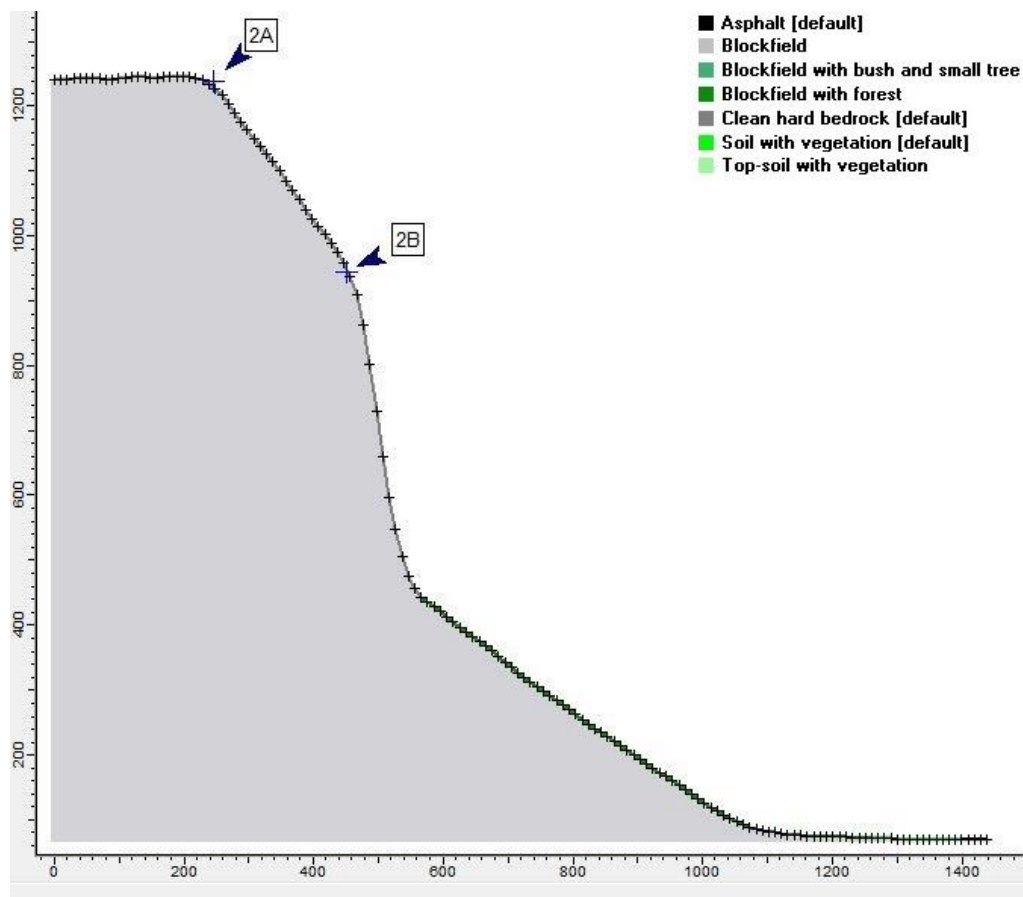
### **Diskusjon**

Simuleringene viser at det er omtrent 60 % prosent av blokkene som treffer det første huset. Ingen av blokkene som løsner fra det laveste punktet treffer. Det er ikke registrert noen skredhendelser som har truffet bebyggelse/veg i dette profilet, noe som må bety at enten er skredaktiviteten i området liten, eller så er blokkene som faller enten mindre enn den satte størrelsen eller så løsner de fra et lavere punkt. Det siste er nok mest sannsynlig, siden det ble observert tegn på nylig skredaktivitet ved feltbefaringen i mai/september.

Det ble satt inn en voll i utløpsområdet for å sjekke hvilken effekt denne ville ha. Vollens effekt var størst lengst borte fra urfoten. Dette kan bety at mange av blokkene mister mye energi når de kommer ned i et slakere terreng, og friksjon mot bakken fører til at blokkene har lavere hastighet når de treffer vollen. Det er ikke planlagt å gjøre noen sikringstiltak i området, og det er nok heller ikke nødvendig siden det ikke er registrert noen hendelser med skred mot bebyggelsen.

Beregningen med tommelfingerregelen gir en estimert utløpslengde på  $x = 1276$  m. Dette punktet ligger mellom husene og vegen, det er derfor ikke fare for at blokkene vil treffe vegen. En RocFall-simulering uten hus som barrierer viste at ingen av blokkene gikk frem til dette punktet, altså gir RocFall en kortere utløpslengde enn tommelfingerregelen i dette profilet.

## Profil 2



Figur 6-7 Profil 2 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Profil 2 ligger langs en ur med mye vegetasjon, se Figur 6-4. Profilet ligger vest for hammeren på Figur 6-11 og ender i det vestligste punktet for endringer av veglinjens plassering i forhold til dagens plassering,  $x=1420$  m.

### **Estimering av utløpslengde**

Ved bruk av tommelfingerregelen for estimering av utløpslengde ble det funnet en lengde på  $x = 1488$  m. i følge denne beregningsmetoden vil blokkene altså krysse vegen som ligger i  $x = 1420$  m.

### **RocFall**

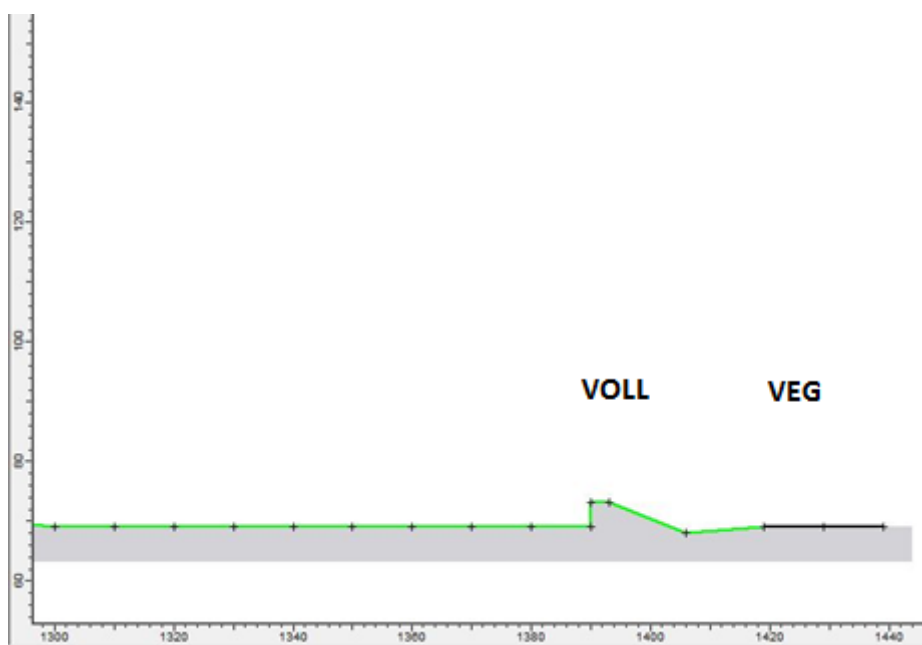
I dette profilet ble det gjort simuleringer med to forskjellige løsnepunkt. Simuleringen viser at blokkene fra punkt 2A ikke stopper før de kommer til det flate området nedenfor uren, men det er få blokker som treffer vegen, se vedlegg A, Figur A-10. Alle blokker som løsner fra punkt 2B ender i ura, se vedlegg A, Figur A-11. Tabell 6-6 viser prosentandelen blokker som treffer vegen fra de ulike løsnepunktene, med ulike størrelser.

Tabell 6-6 Andel blokker som stanser på/over veg i profil 2. Tallene er gitt i prosent.

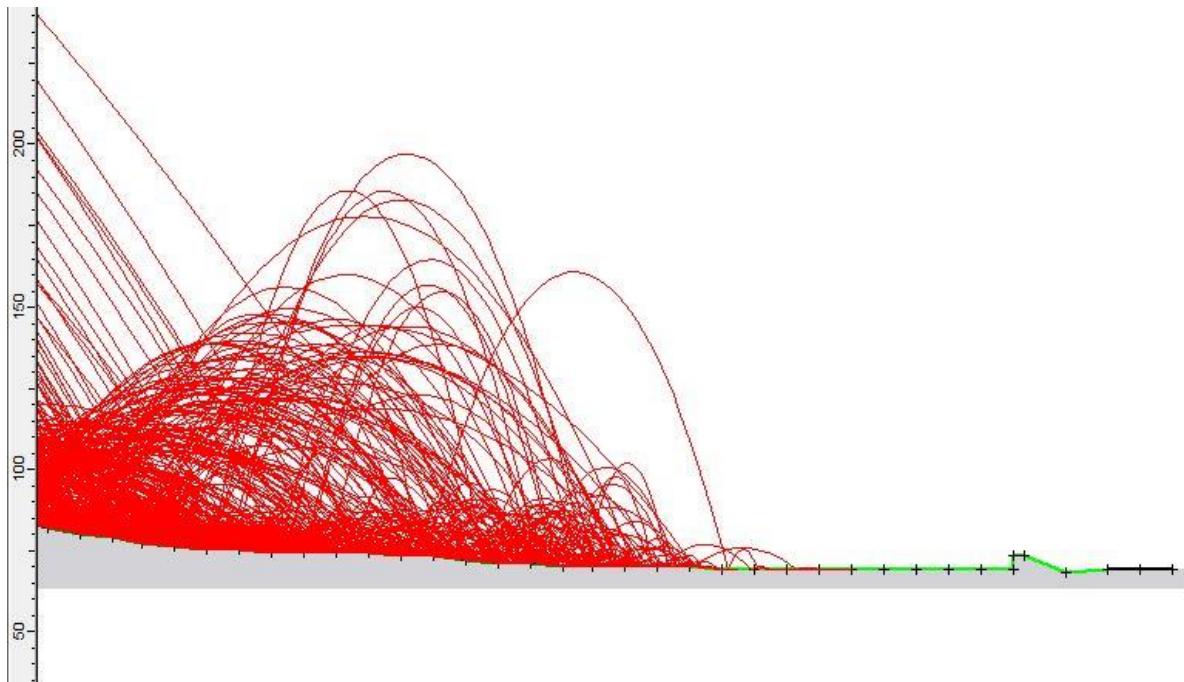
Løsnepunkt	Andel blokker som stopper på veg/ over veg 280 kg	Andel blokker som stopper på veg/over veg 2800 kg	Andel blokker som stopper på veg/over veg 28 000 kg
2A	0/0	0/0	0/0
2B	0/0	0,1/0	0/0

### Sikringstiltak

RocFall-analysene for profil 2 viste at det var en blokk som ville treffe vegen, se Tabell 6-6. Det ble derfor satt inn en liten voll i x=1390 m, med høyde 4 m, 3 m bredde på kronen og 90° helning på støtsiden, se Figur 6-8. Ved nye simuleringer nådde ikke blokkene frem til vollen eller vegen, se Figur 6-9.



Figur 6-8 Sikringstiltak profil 2. Voll med høyde 4 m. Aksene er angitt i meter.



Figur 6-9 Simulering med voll i  $x=1390$  m. Denne analysen viste at ingen blokker nådde frem til verken voll eller veg. Aksen er angitt i meter.

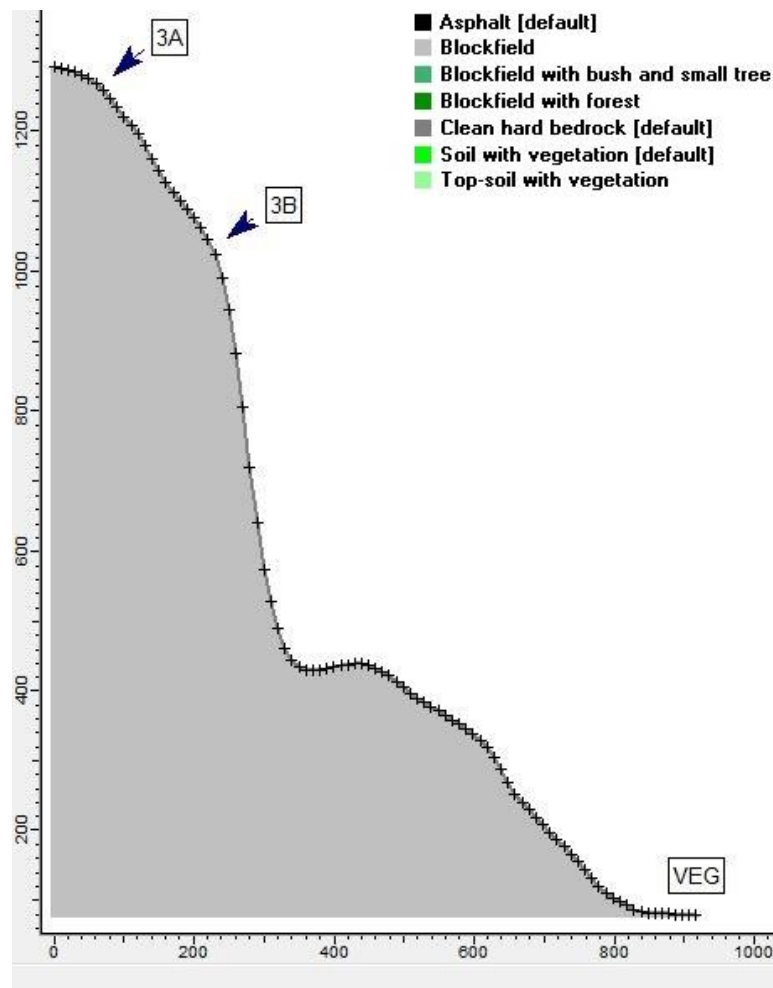
### **Diskusjon**

Simuleringen viser at alle blokkene utenom én stopper før de når vegen. Det ble derfor satt inn et sikringstiltak, men ved analysene med sikringstiltak når ikke blokkene frem til vollen. Ura som profil 2 ligger langs tar også opp materiale fra Profil 3. Det er ikke mulig å gjøre simuleringer for hvordan disse blokkene vil bevege seg i RocFall, men lite skredmateriale foran foten på ura indikerer at det er få av disse blokkene som kan komme til å lande forbi foten av ura.

Estimeringen av utløpslengden ved bruk av tommelfingerregelen gir en utløpslengde på  $x = 1488$  m. Dette punktet ligger forbi vegen. Simuleringene i RocFall viser at ingen av blokkene når frem til vegen, altså gir tommelfingerregelen et overestimat i forhold til RocFall i dette profilet.



## Profil 3



Figur 6-10 Profil 3 RocFall. Aksene er angitt i meter.



Figur 6-11 Den nye veglinjen ligger rett nedenfor denne hammeren. Markeringer viser kant som antas å lede skredmateriale bort fra området (Foto: Marie Drågen Belland).



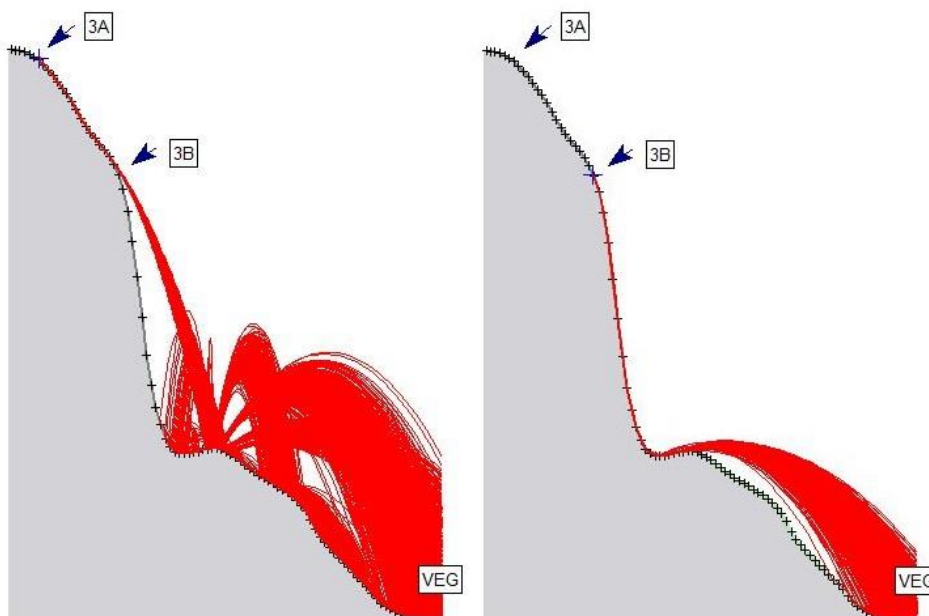
Profil 3 ligger langs fjellsiden og over en fjellhammer. Den nye veglinjen ligger rett ved denne hammeren, se Figur 6-1, i  $x=905$  m. Den nye veglinjen legges omtrent ved kraftlinjen går i dag, gjennom en skog. Det er lite skredmateriale i området, og det som finnes er gammelt.

### Estimering av utløpslengde

Tommelfingerregelen for beregning av utløpslengde gir en estimert lengde på  $x = 1246$  m. Dette punktet er over 300 m forbi den planlagte veglinjen.

### RocFall

Simuleringene i RocFall viser at hammeren virker som et springbrett for blokkene, se Figur 6-12. Noen få blokker treffer hammeren og faller tilbake mot fjellsiden. Siden det finnes lite skredmateriale i området, kan det tyde på at hammeren sprer skredmateriale ut til sidene, inn i området for profil 2 og profil 4.



Figur 6-12 Venstre: Profil 3, løsnepunkt A, med blokker på 280 kg. Blokkene treffer hammeren og spretter i alle retninger. Venstre: Profil 3, løsnepunkt B, med blokker på 280 kg. Fjellhammeren fungerer som springbrett for blokkene.

Tabell 6-7 Andel blokker som har endepunkt på eller over vegen. Fordi vegen ligger rett ved endepunktet for profilet er det ikke mulig å skille antallet blokker på vegen og over vegen. Tallene er gitt i prosent.

Løsnepunkt	Andelen blokker som stopper på vegen/over vegen 280 kg	Andelen blokker som stopper på vegen/over vegen 2800 kg	Andelen blokker som stopper på vegen/over vegen 28 000 kg
3A	77,7	77	77,2
3B	99,7	99,6	99,5

### **Sikringstiltak**

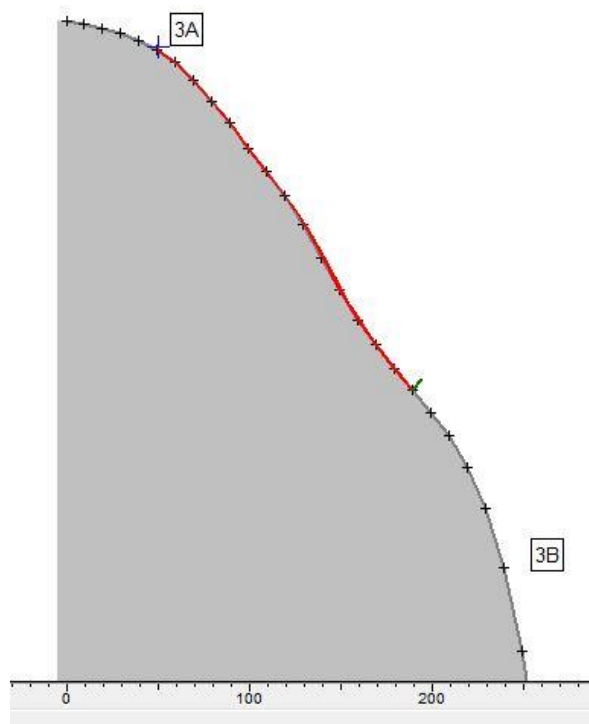
I profil 3 fungerer hammeren som et springbrett for blokkene. Fra løsnepunkt 3A treffer blokkene midt på hammeren og flyr i alle retninger. Det ble satt inn et fanggjerde øverst i fjellsiden, mellom løsnepunkt A og B, se Figur 6-13. Fanggjerdet er 5 m høyt, står normalt på fjellsiden og har en styrke på 5000 kJ. Fanggjerdet har en effektivitet på 100 % for blokkene fra 3A som veier 280 kg og 2800 kg. For blokkene med størrelse 28 000 kg hadde sikringstiltaket ingen effekt, fordi blokkene har for stor total kinetisk energi, se Figur A-21 i Vedlegg A.

Fra løsnepunkt 3B ruller blokkene langs fjellsiden ned til hammeren hvor de «skytes» ut. Det ble derfor prøvd å sette opp tre fanggjerder på hammeren for å hindre blokkene i utspringet. Fanggjerdene hadde en høyde på 5 m, står normalt på bakken og har en styrke på 5000 kJ.

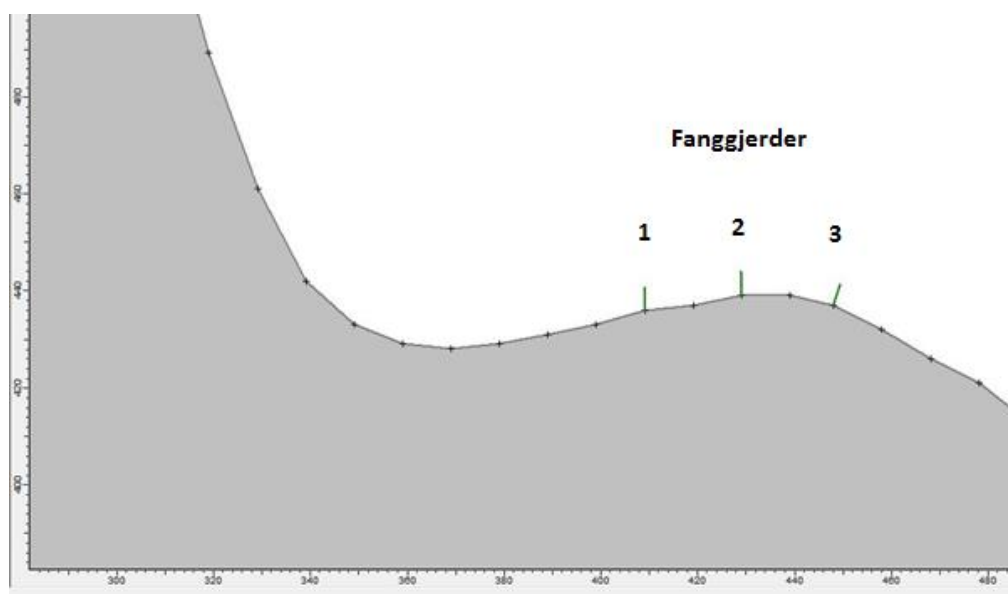
**Tabell 6-8 Andelen blokker på veg før og etter sikringstiltak ble satt inn. Tallene er gitt i prosent.**

	<b>280 kg</b>	<b>2800 kg</b>	<b>28 000 kg</b>
<b>Uten sikringstiltak</b>	99,7	99,6	99,5
<b>Med sikringstiltak</b>	13,6	17,2	99,5

Som man kan se i Tabell 6-8 stopper de tre fanggjerdene mange blokker med vekt 280 kg og 2800 kg. Blokkene på 28 000 kg har for stor total kinetisk energi til å bli stoppet av fanggjerdet.



Figur 6-13 Sikringstiltak profil 3, løsnepunkt A. Fanggjerdet med høyde 5 m, og styrke 5000kJ. Aksen er angitt i meter.



Figur 6-14 Fanggjerdet i profil 3. Høyde 5 m og styrke 5000 kJ. Aksene er angitt i meter.

### Diskusjon

Profil 3 viser stor skredfare på den nye veglinjen. I området nedenfor hammeren er det derimot ikke tegn til nylig skredaktivitet, noe som tyder på at blokkene må følge et annet løp enn det satte profilet.

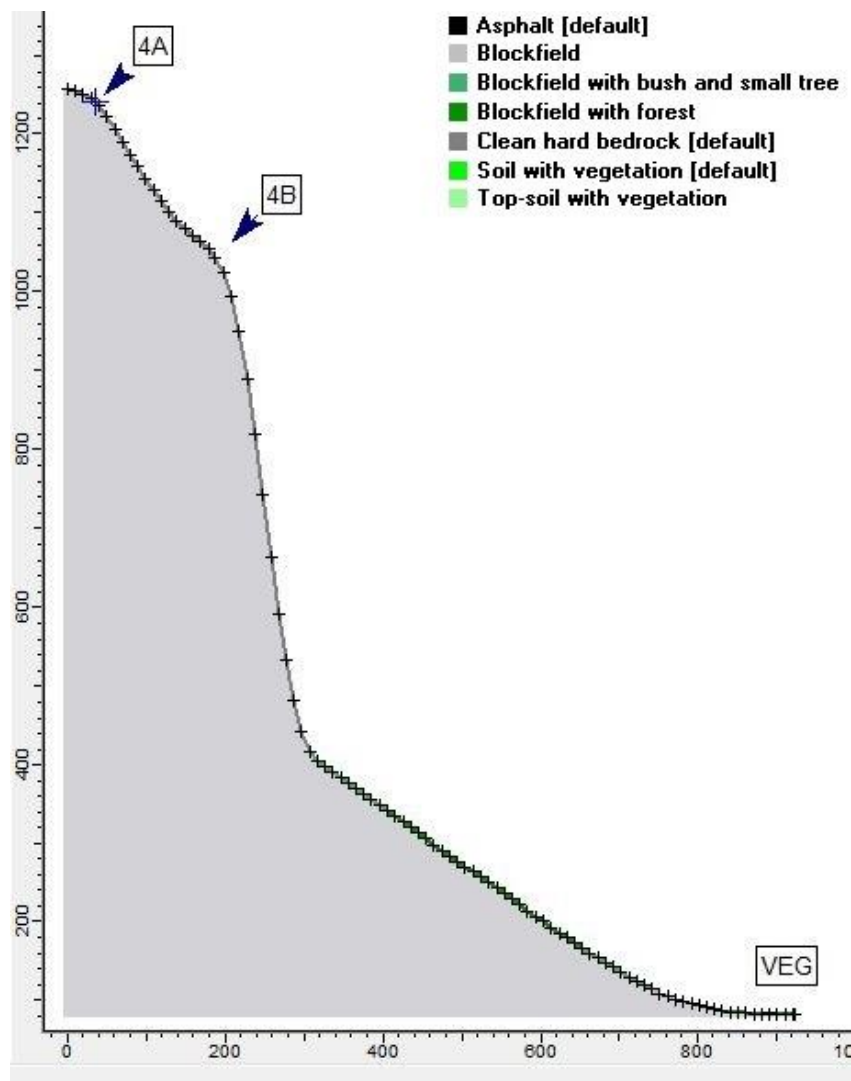
Fanggjerdet som ble satt inn høyt oppe i stoppet alle blokkene på 280 kg og 2800 kg. Dette er nok uansett ikke et alternativ til sikring, siden en fortsatt vil ha mulighet for løse blokker nedover i profilet. Det hadde også vært en utfordring å få på plass fanggjerdet i så høyt og bratt terreng. Vedlikehold ville også blitt vanskelig med en slik plassering.

Fanggjerdene på hammeren ble prøvd som et forsøk for å se om de i det hele tatt ville stoppe noen av blokkene. Analysene for sikringstiltak viste at de stoppet en del blokker. Plasseringen av disse gjerdene er nok ikke gunstig, da blokker som løsner høyt oppe vil kunne komme til å falle rett på gjerdet og ødelegge det, uten å bli stoppet.

I aktsomhetskartet for steinsprang i kapittel 5.2.1 er hammeren markert som potensielt løsneområde. Siden vegen nå skal legges nær hammeren nederst i profil 3 vil det være lurt å kartlegge skredfaren fra selve hammeren. Det blir nok ikke aktuelt å bruk fanggjerde for sikring av denne hammeren. Det vil være bedre med aktive sikringstiltak (se kap. 3.3.1) som bolter og nett. Disse tiltakene vil hindre blokken fra å løsne og falle i utløpsområdet.

Tommelfingerregelen for estimering av utløpslengden i profilet gir en lengde på  $x = 1246$  m. Dette punktet ligger langt forbi vegen i  $x = 905$  m. På grunn av hammeren i profilet vil nok dette estimatet ikke gi noe godt resultat i dette profilet til tross for at det samstemmer godt med resultatene fra RocFall, som gir en maksimal utløpslengde på omtrent 1400 m, funnet ved å gjøre en ny analyse i punktet. I dette punktet gir altså estimeringen en kortere utløpslengde enn RocFall-simuleringene, men det er knyttet store usikkerheter til bruk av beregningsmodellene i dette profilet.

## Profil 4



Figur 6-15 Profil 4 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Profil 4 krysser profil 3 i  $x=235$  m. Profilet ligger langs en ur som har utløp øst for hammeren beskrevet i Profil 3, se Figur 6-11. Profilet krysser vegen i  $x=890$  m.

### **Estimering av utløpslengde**

Ved bruk av tommelfingerregelen for utløpslengde ble det estimert en lengde på  $x = 1218$  m. Blokkene vil altså stanse 230 m forbi den planlagte veglinjen i  $x = 890$  m.

### **RocFall**

I dette profilet ble det gjort simuleringer i to løsnepunkter, se Figur 6-15. Simuleringene viste at alle steiner uansett størrelse vil treffe vegen fra punkt 4A. Ingen av blokkene som løsner fra punkt 4B vil treffe vegen, se Tabell 6-9.

Tabell 6-9 Andel blokker som stopper på vegen og over vegen i Profil 4. Tallene er gitt i prosent.

Løsnepunkt	Andel blokker som stopper på veg/over veg 280 kg	Andel blokker som stopper på veg/over veg 2800 kg	Andel blokker som stopper på veg/over veg 28 000 kg
4A	3,3/94,5	3,4/94,6	3,4/94,9
4B	0/0	0/0	0/0

### Sikringstiltak

For profil 4 ble det satt inn en voll i  $x=544$  m. Vollen hadde en høyde på 10 m, bredden på kronen var 2 m og bredden på foten var 17 m. I tillegg ble det satt et gjerde på toppen av vollen, med styrke 2000 kJ. Støtsiden hadde en helning på  $80^\circ$ . Plasseringen ble bestemt på grunnlag av nedslagpunktet til blokkene, se Figur 6-16. Dette området er ganske stort, så vollen vil bare ha mulighet til å fange opp noen av blokkene. Analysene viste at vollen fanget opp en liten del av blokkene, men førte til at mange av blokkene som før hadde landet over vegen nå ville lande i uren mellom vollen og vegen. En større andel blokker havnet nå på vegen, men andel blokker over vegen sank betraktelig, se Tabell 6-10.

Videre ble det satt inn et fanggjerde i  $x=168$  m. Dette var 5 m høyt og hadde en styrke på 5000 kJ. Fanggjerdet står normalt på overflaten. Analysene viser at fanggjerdet vil stoppe alle blokker av størrelse 280 kg og 2800 kg, men ingen av blokkene på 28 000 kg, fordi den totale kinetiske energien til blokkene overstiger 5000 kJ, se Figur A-26 og Figur A-27 i Vedlegg A.

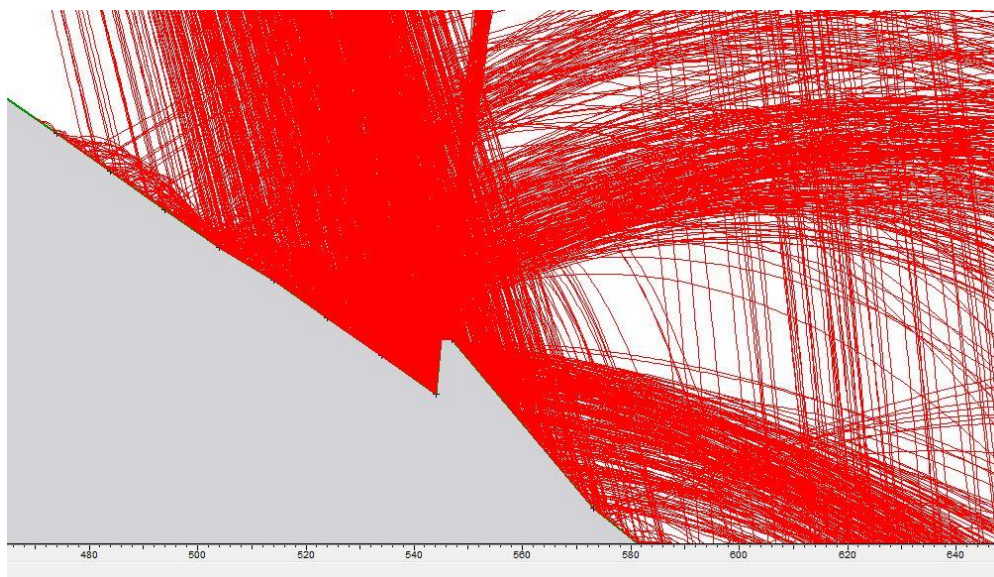
Tabell 6-10 Andel blokker over veg, på veg og i grøft for de ulike størrelsene blokker, med og uten voll/fanggjerde.

		280 kg	2800 kg	28 000 kg
<b>Uten voll</b>	Over veg	94,5	94,6	94,9
	På veg	3,3	3,4	3,4
	Grøft	2,2	2,0	1,7
	<i>Totalt</i>	100	100	100
<b>Med voll</b>	Over veg	37,5	42,3	45,9
	På veg	3,2	4,0	5,6
	Grøft	21,3	21,5	25,2
	<i>Totalt</i>	62,0	67,8	76,7
<b>Med fanggjerde</b>	Over veg	0	0	93,4
	På veg	0	0	3,7
	Grøft	0	0	2,9
	<i>Totalt</i>	0	0	100

En voll i  $x=544$  m vil føre til at andelen blokker som stopper forbi vollen vil være gjennomsnittlig 68,8 %. Effektiviteten til sikringstiltaket er da 31,2 %.



Et fanggjerde i  $x=168$  m vil stoppe 100 % av blokkene med størrelse 280 kg og 2800 kg. Det vil derimot ikke stoppe noen av blokkene med størrelse 28 000 kg.



Figur 6-16 Sikringstiltak profil 4. 10 m høy voll, med fanggjerde på 4 m på kronen. Aksen er angitt i meter.

### **Diskusjon**

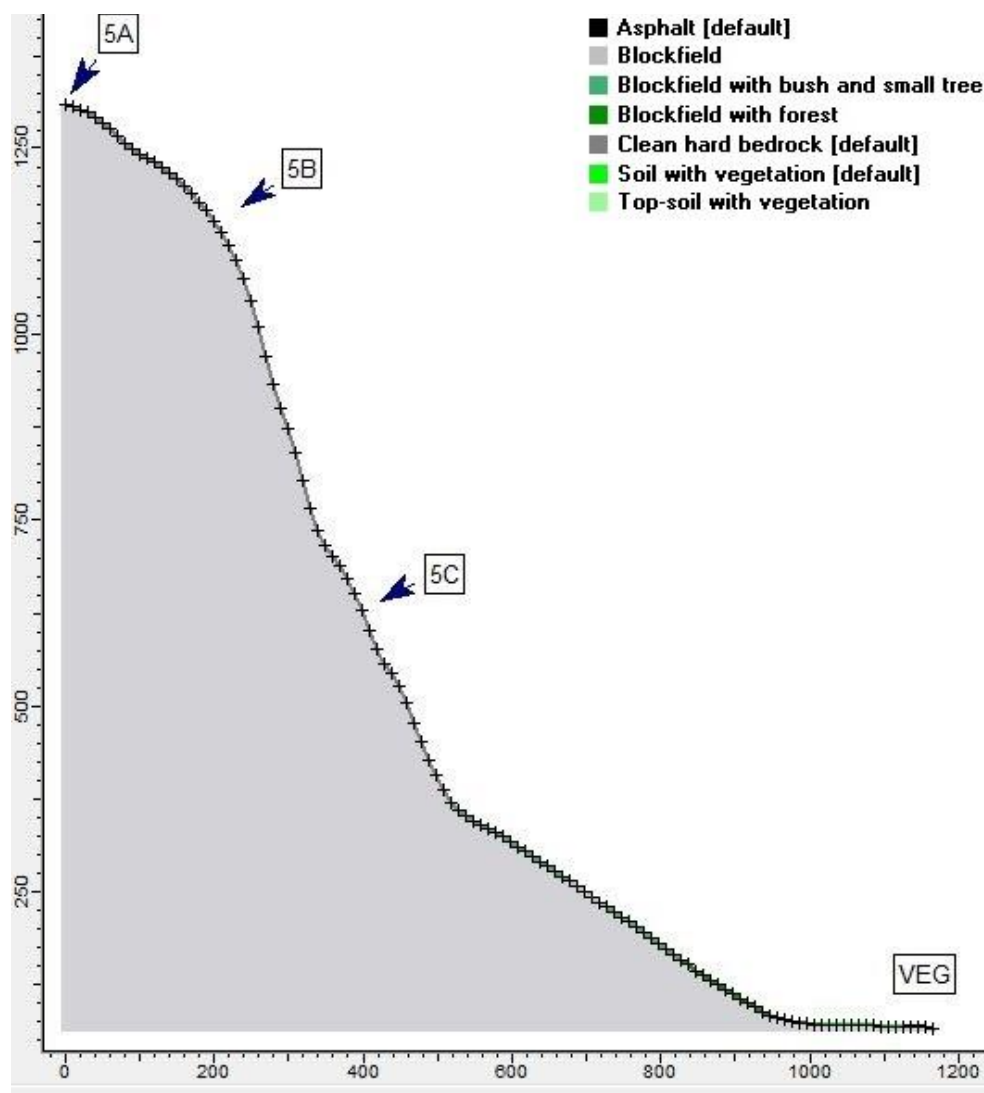
Simuleringene viste at blokkene som løsnet fra det øverste løsnepunktet ville treffe på og over vegen. Det ble satt inn en voll med gjerde på toppen som sikring. Plasseringen av denne er midt i nedslagsfeltet til blokkene. Grunnen til at den ikke ble satt i bunnen av ura var at alle blokkene hadde så stor spretthøyde her at vollen ikke ville hatt noen effekt.

Simuleringene gjort med voll viser at flere blokker havner i ura mellom vollen og vegen enn uten voll. Dette skyldes at mange av blokkene treffer vollen, men treffer ikke «godt nok» til å bli stanset av vollen.

Nedenfor foten av ura ble det heller ikke funnet nytt skredmateriale, og det var ikke synlige tegn på nylige skredhendelser, noe som kan tyde på at det ikke er særlig stor skredfare i dette området.

Estimeringen av utløpslengden for steinsprang gir en utløpslengde på  $x = 1218$  m. Dette punktet ligger 230 m forbi den planlagte veglinjen. En ny RocFall-simulering hvor profilet er dratt ut til å nå dette punktet viser at ingen blokker vil nå frem til  $x = 1218$ . I dette profilet gir altså tommelfingerregelen en lenger utløpslengde enn RocFall-simuleringene.

## Profil 5



Figur 6-17 Profil 5 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Profil 5 ligger rett vest for Mongehamran, og ender rett ved området for påhugget til tunnelen gjennom Mongehamran til Remmem. Profilet krysser den planlagte veglinjen i  $x=1086$  m. Dagens veglinje ligger i  $x = 1190$  m. Området fra vegen mot fjellsiden består av ur med store blokker. Tabell 5-2 i kapittel 5 viser at det har vært flere skredhendelser i området, blant annet et stort steinskred i 1982 som er det største skredet som er registrert i området i nyere tid.

### **Estimering av utløpslengde**

Ved bruk av tommelfingerregelen for estimering av utløpslengde får en utløpslengde på  $x = 1395$  m. Dette er langt forbi vegen og påhugget i profil 8 som ligger i  $x = 1086$  m.

### **RocFall**

I dette profilet er det utført simuleringer i tre punkt, se Figur 6-17. Mange av blokkene fra punkt 5A og 5B stopper på vegen eller over, mens blokkene fra 5C stopper før de

kommer til vegen, se Figur A-28 – A-37 i vedlegg A. I Tabell 6-11 er andelen blokker på veg/over veg gitt.



Figur 6-18 Påhuggsområdet for tunnel gjennom Mongehamran, endepunkt for profil 5 (foto: Marie Drågen Belland, 2013).

Tabell 6-11 Andel blokker på veg/over veg profil 5. Tallene er gitt i prosent.

Løsnepunkt	Andel blokker som stopper på veg/over veg 280 kg	Andel blokker som stopper på veg/over veg 2800 kg	Andel blokker som stopper på veg/over veg 28 000 kg
5A	7,1/35,9	6/34,5	6,2/35,5
5B	4,8/15	5/16,8	5/17,3
5C	0/0	0/0	0/0

### **Sikringstiltak**

I følge reguleringsplanen for Monge – Marstein er det planlagt en voll i dette området, mellom fjellet og den nye vegen. Vollen skal ha en høyde på 8-10 m.

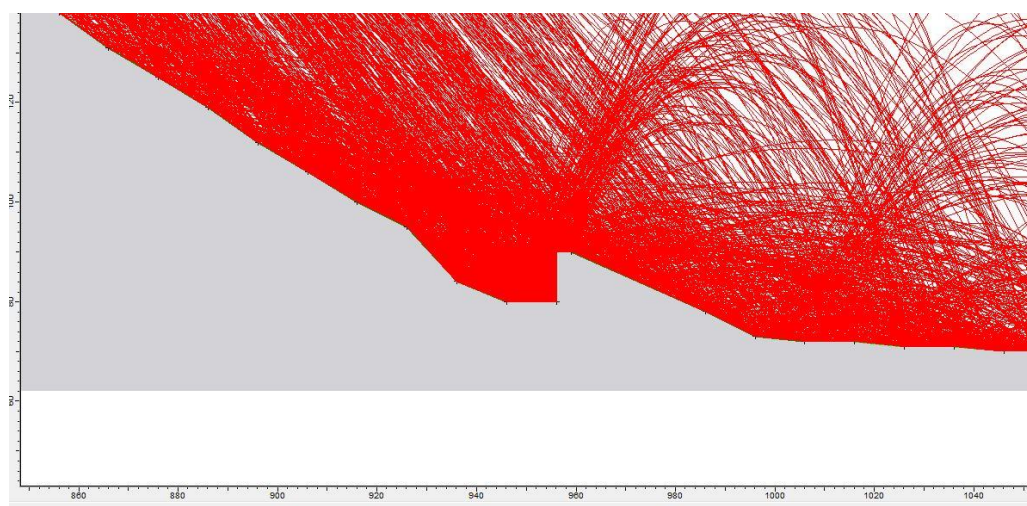
Det ble prøvd ulike plasseringer av vollen, som har fått en høyde på 10 m, bredde krone på 3 m og en helning på støtsiden på 90°. Vollene ble plassert i x = 956 m og x=1046 m.

Det er utført simuleringer med sikringstiltak for blokker med alle størrelser fra løsnepunkt 5A og 5B. Alle blokkene fra 5C stopper i uren.

Tabell 6-12 Andel blokker som stopper forbi x= 956 m, med og uten voll. Tabellen viser også effektiviteten til vollen for hvert tilfelle. Tallene er gitt i prosent.

Voll i x=956 m		280 kg	2800 kg	28 000 kg
<b>5A</b>	Uten voll	87,9	87,9	87,4
	Med voll	55,7	54,1	56,8
	Effektivitet	36,6	38,5	35
<b>5B</b>	Uten voll	62,4	62,3	60,9
	Med voll	23,3	24,8	23,8
	Effektivitet	62,6	60,1	60,9

Tabell 6-12 viser andelen blokker som stopper forbi x=956 m, med og uten voll. Effekten av vollen er beregnet for hvert punkt. Den gjennomsnittlige effekten for blokker fra 5A er 36,7 % og for blokker fra 5B er effektiviteten 61,2 %. Den totale effektiviteten til vollen i x=956 m blir da 48,9 %.

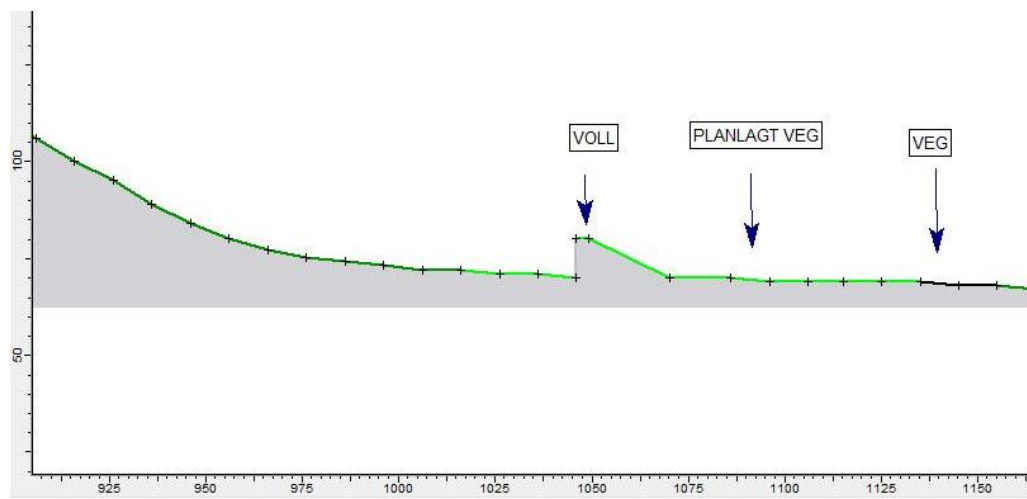


Figur 6-19 Sikringstiltak i profil 5, voll i x=956 m. Aksene er angitt i meter.

Tabell 6-13 Andelen blokker som stopper forbi x=1046 m, med og uten voll. Effekten for sikringstiltaket i hvert av tilfellene er beregnet. Tallene er gitt i prosent.

x=1046 m		280 kg	2800 kg	28 000 kg
<b>5A</b>	Uten voll	56,4	55,4	56,1
	Med voll	34,7	33,1	33,5
	Effektivitet	38,5	40,3	40,2
<b>5B</b>	Uten voll	33,5	33,9	33,0
	Med voll	9,0	7,0	7,5
	Effektivitet	73,1	79,3	77,3

Tabell 6-13 viser hvor mange blokker som går forbi x=1046 m, med og uten voll. Den gjennomsnittlige effekten for løsnepunkt 5A er 39,7 %. Den gjennomsnittlige effekten av vollen for blokker fra 5B er 76,6 %. Den totale effekten blir da 58,15 %.



Figur 6-20 Sikringstiltak i profil 5. VOLL i  $x=1046$  m, med høyde 10 m. Aksene er angitt i meter.

### Diskusjon

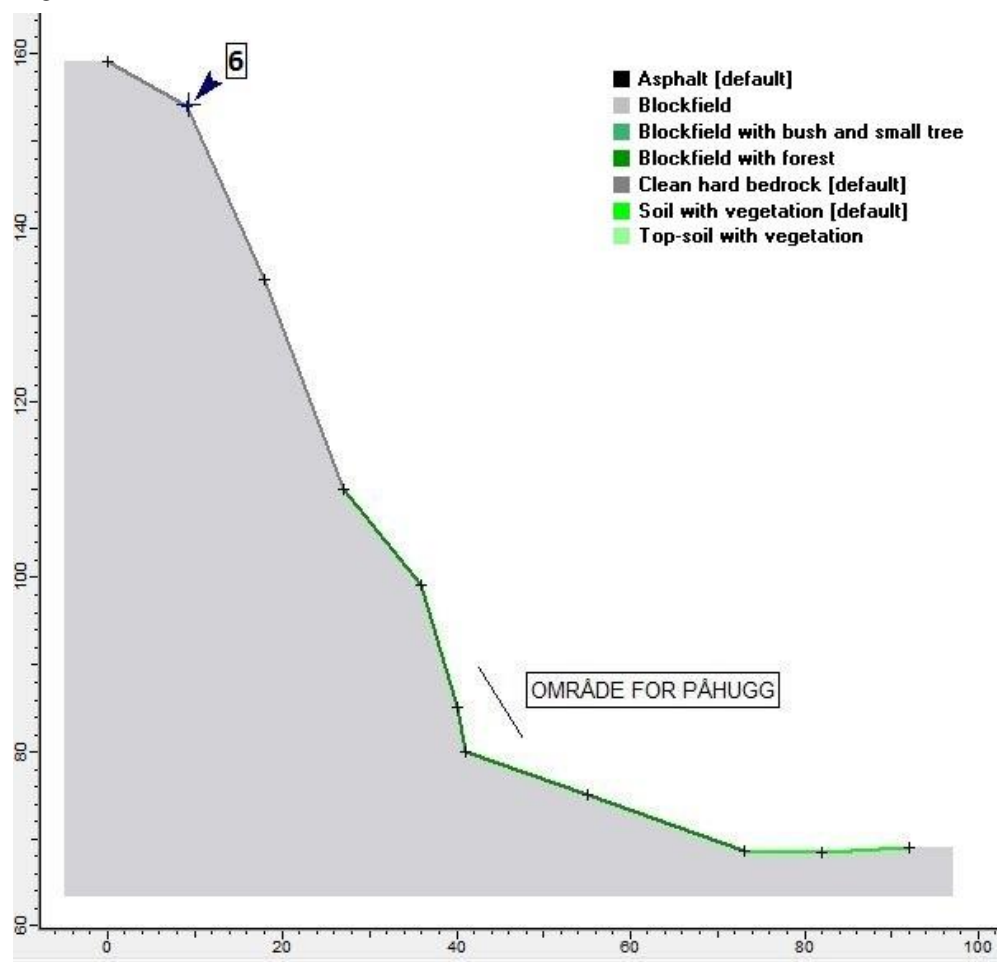
Sammenligning av de to vollene viser at det er mest effektivt å ha en voll så nærme vegen som mulig. Blokkene har da en lavere total kinetisk energi når de treffer vollen, fordi de taper fart når terrenget begynner å flate ut.

Området bak vollen består av veldig store blokker, klassifisert som urmateriale (blockfield) i RocFall. Andre områder klassifisert som urmateriale har betydelig mindre blokker, uten at restitusjonskoeffisienten er justert. De store blokkene ligger i et område med relativt slak helning, så en kan anta at blokker om faller på veg mot vollen vil bremse kraftig på grunn av den ujevne overflaten på urmaterialet.

Den estimerte utløpslengden i profilet ved bruk av tommelfingerregelen er  $x = 1395$  m. Steinsprang her vil altså treffe både den planlagte vegen og dagens veglinje. RocFall-simuleringene viser derimot ingen blokker opp mot 1300 m, så i dette profilet gir tommelfingerregelen en lenger utløpslengde enn RocFall.



## Profil 6



Figur 6-21 Profil 6 RocFall. Aksene er angitt i meter.



Figur 6-22 Påhuggsområdet for tunnel gjennom Mongehamran (Foto: Marie Drågen Belland, 2013).



Profil 6 ligger ved Mongehamran, langs blotningen som er tenkt til påhugg for tunnelen til Remmem. Området foran blotningen består av gammelt skredmateriale, se Profil 5. Området for påhugg ligger ved  $x = 40 - 50$  m.

### RocFall

For Profil 6 ble det gjort simuleringer i ett punkt, se Figur 6-22. Simuleringene viste at alle blokkene, uansett størrelse ville ha endepunkt forbi påhugget, se Tabell 6-14.

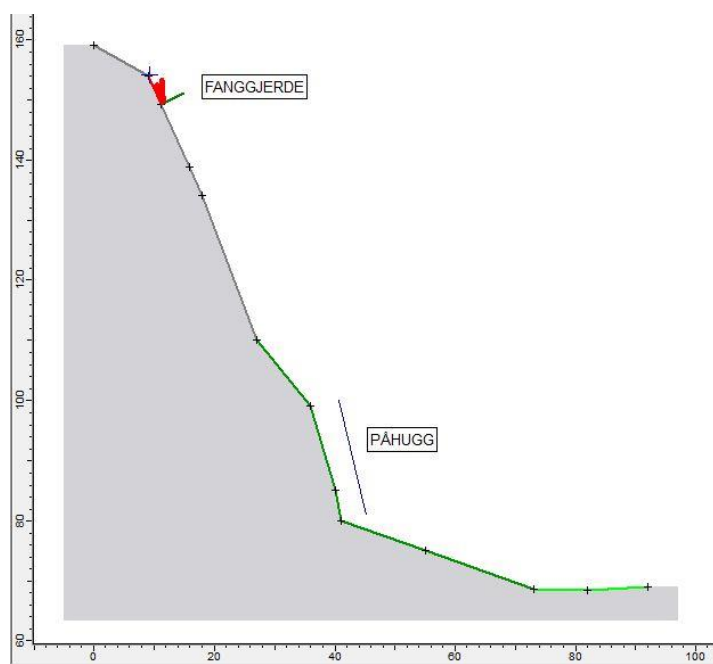
Tabell 6-14 Andel blokker som stopper forbi det planlagte påhugget. Tallet er gitt i prosent.

Løsneområdet	Andel blokker som stopper forbi påhugget, 280 kg	Andel blokker som stopper forbi påhugget, 2800 kg	Andel blokker som stopper forbi påhugget, 28 000 kg
6	100	100	100

### Sikringstiltak

Som sikring i profil 6 ble det satt inn et fanggjerde i  $x = 11$  m. Fanggjerdet er 4 m høyt, står normalt på overflaten og har en styrke på 5000 kJ, se Figur 6-23.

Det ble gjort forsøk på å sette fanggjerdet i  $x = 17$  m, men blokkene på 28 000 kg oppnår en total kinetisk energi høyere enn 5000 kJ før dette punktet, og sikringstiltaket vil derfor ikke stoppe disse blokkene.



Figur 6-23 Fanggjerde som sikring i profil 6. Gjerdet er 4 m høyt. Aksene er angitt i meter.

Tabell 6-15 Andel blokker ved påhugg i Profil 6, med og uten sikringstiltak.

Blokker ved/over påhugg	280 kg	2800 kg	28 000 kg
Uten sikring	100	100	100
Med sikring	0	0	0

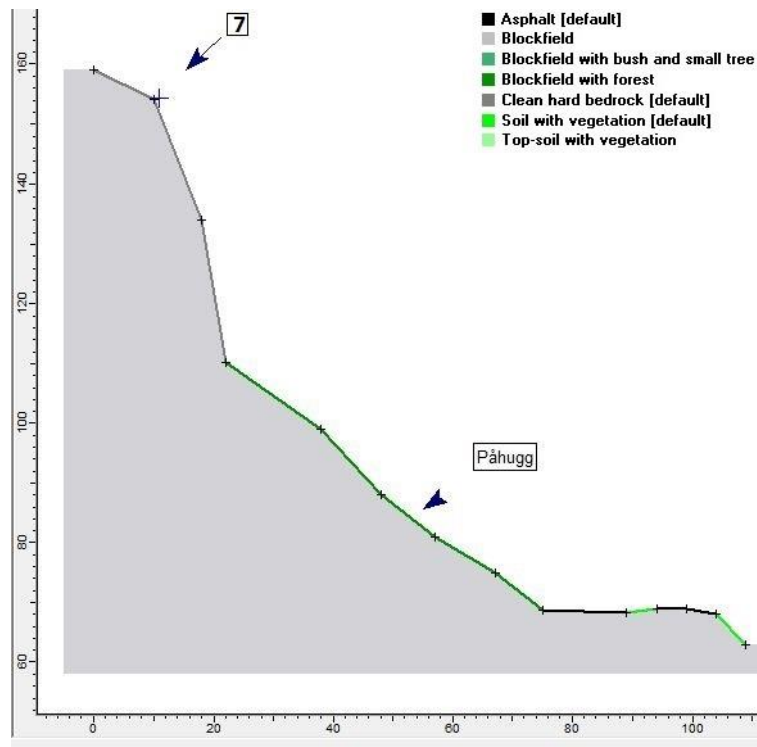
Fra Tabell 6-15 kan en se at effekten av fanggjerdet i x=11 er 100 %.

### **Diskusjon**

Påhuggsområdet for tunnelen er gjennom en hammer, som i følge aktsomhetskartet for steinsprang i kapittel 5.2.1, er definert som et løsneområde for steinsprang. Området oppe på hammeren er derimot utløpsområde, så en kan anta at det ikke vil løsne blokker fra toppen av hammeren som kan føre til økt skredfare ved påhugget.

Et fanggjerde vil bare fange blokker som løsner over det satte gjerdet. Ved bygging av tunnelen gjennom hammeren er det nok et bedre alternativ å bruke rensk, bolter og eventuelle steinsprangnett som sikringsmetode for å hindre nedfall på veg.

## Profil 7



Figur 6-24 Profil 7 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Profil 7 er et kort profil fra påhuggsområdet på østsiden til tunnelen gjennom Mongehamran.



Figur 6-25 Høyre: Område for påhugg av tunnelen gjennom Mongehamran. Venstre: Fjellhammeren hvor det kan gå mindre skred (Foto: Marie Drågen Belland, 2013).

### **RocFall**

Området for påhugget ligger ved  $x=50$  m. Dagens veg og jernbanen ligger på henholdsvis  $x=85$  m og  $x=95$  m. For profil 7 er det kjørt simuleringer fra ett punkt. Dette punktet ligger på kanten øverst på hammaren vist til høyre i Figur 6-25. Simuleringene viser at det er få blokker som stopper på det valgte påhuggsområdet, men det er i dette punktet spretthøyden er størst, se Figur A-41 i Vedlegg A. Størst andel blokker havner i elva, se Tabell 6-16.

**Tabell 6-16 Andel blokker i gitte punkt langs profilet. Tallene er gitt i prosent.**

	<b>280 kg</b>	<b>2800 kg</b>	<b>28 000 kg</b>
<b>Andel blokker som stopper på påhugg</b>	0,3	0,1	0,2
<b>Andel blokker mellom påhugg og veg</b>	6,4	7,0	7,5
<b>Andel blokker på veg</b>	1,2	2,3	1,9
<b>Andel blokker over veg</b>	92,1	90,6	90,1

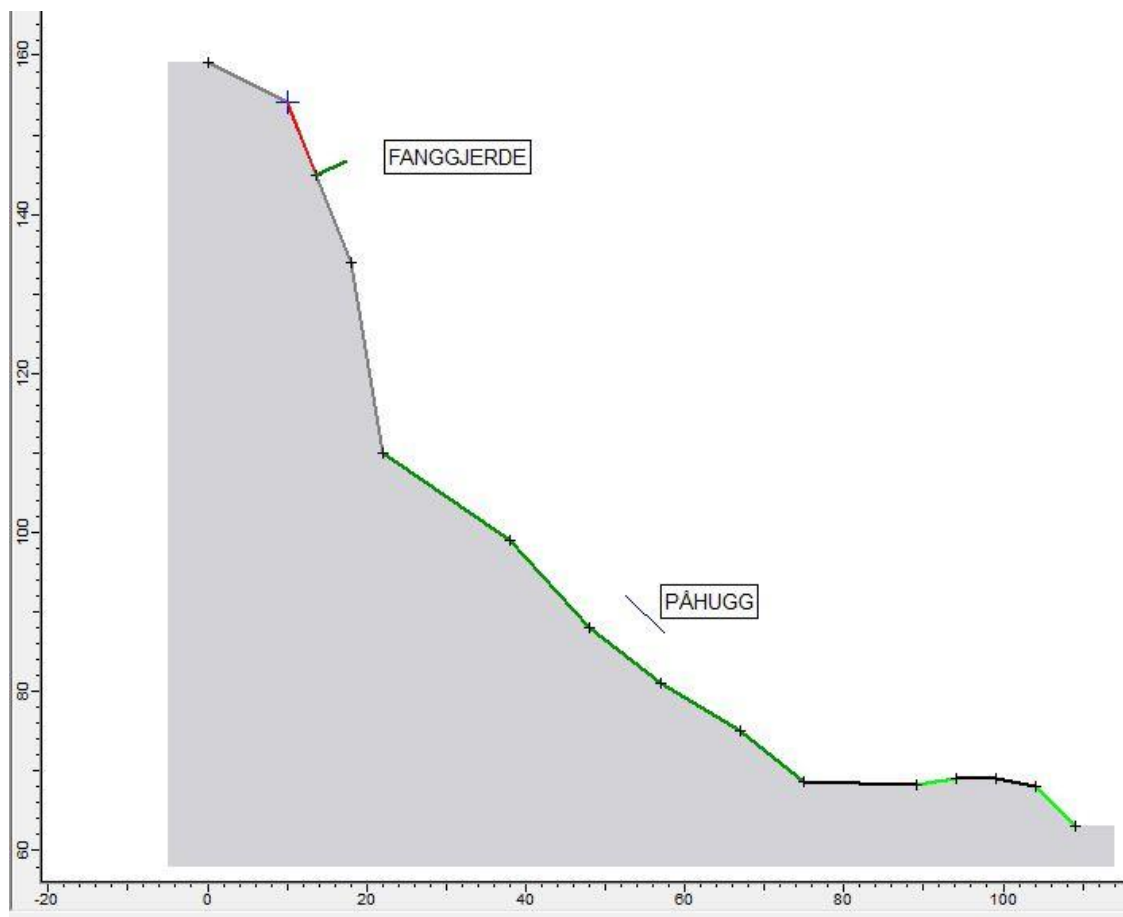
### **Sikringstiltak**

I profil 7 er det brukt fanggjerde som sikringstiltak for å fange opp mindre steinsprang. Høyden på fanggjerdet er 4 m, har en styrke på 5000 kJ og står normalt på overflaten. Ved å studere grafen for total kinetisk energi på Figur A-42 i vedlegg A kan en se at blokker på 28 000 kg vil overstige 5000 kJ allerede ved  $x=17$  m. Det er derfor satt inn et fanggjerde i  $x=13$  m, se Figur 6-26.

**Tabell 6-17 Andelen blokker som blir stoppet av fanggjerdet i  $x=13$  m. Tallene er gitt i prosent.**

	<b>280 kg</b>	<b>2800 kg</b>	<b>28 000 kg</b>
<b>Andel blokker stoppet av fanggjerde</b>	100	100	100
<b>Andel blokker forbi fanggjerdet</b>	0	0	0

Tabell 6-17 viser andelen blokker som blir stoppet av et fanggjerde i  $x=13$  m. Alle blokker i alle størrelser blir stoppet, altså er effektiviteten til fanggjerdet 100 % i dette punktet.



Figur 6-26 Sikringstiltak i profil 7. Fanggjerdje i x=13 m. Aksene er angitt i meter.

### Diskusjon

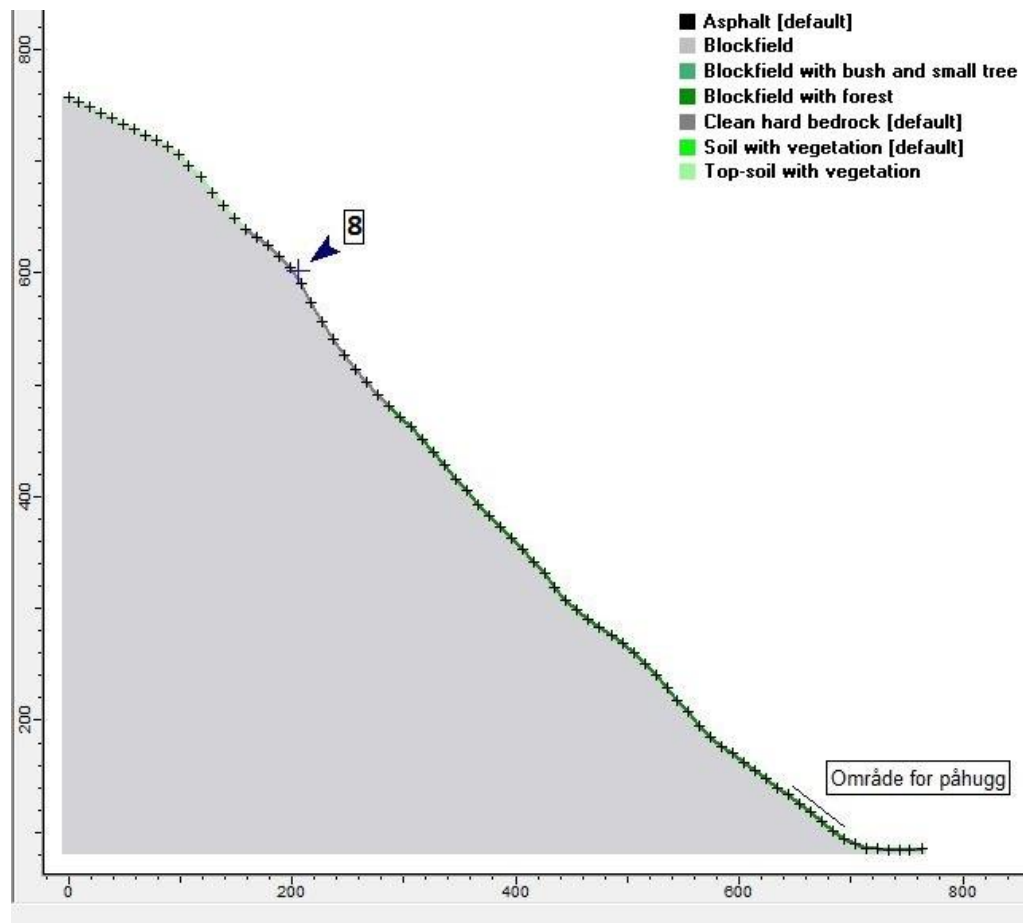
Aktsomhetskartet i kapittel 5.2.1 viser at hammeren er definert som et løseområde for steinsprang. Ved bygging av tunnelen må derfor området kartlegges grundigere. Fra Figur 6-25 kan det se ut som det er noe overheng i hammeren, som ikke har kommet frem i profilet. Dette kan skyldes bruk av 10 x 10 m DEM.

Området består av mye urmateriale som må fjernes ved bygging av tunnelen, det er da viktig å undersøke stabiliteten til blokkene videre oppover i ura mot hammeren.

For profil 7 ble det satt inn et fanggjerdje som sikringstiltak. Dette vil bare være et bra alternativ dersom det kun raser blokker fra øvre del av hammeren. For å sikre løse blokker og eventuelle mindre utrasinger vil nok rensk, bolter og steinsprangnett være et bedre alternativ enn et fanggjerdje.

Det er registrert en skredhendelse i området, med isnedfall på Remmem. Det antas at isen har løsnet fra svaberget langs vegen i området med for smal vegbredde, se Figur 2-3 i kapittel 2.1.

## Profil 8



Figur 6-27 Profil 8 RocFall. Aksene er angitt i meter.



Figur 6-28 Omtrentlig plassering av profil 8, ender i området for påhugg ved Rygg (foto: Marie Drågen Belland)



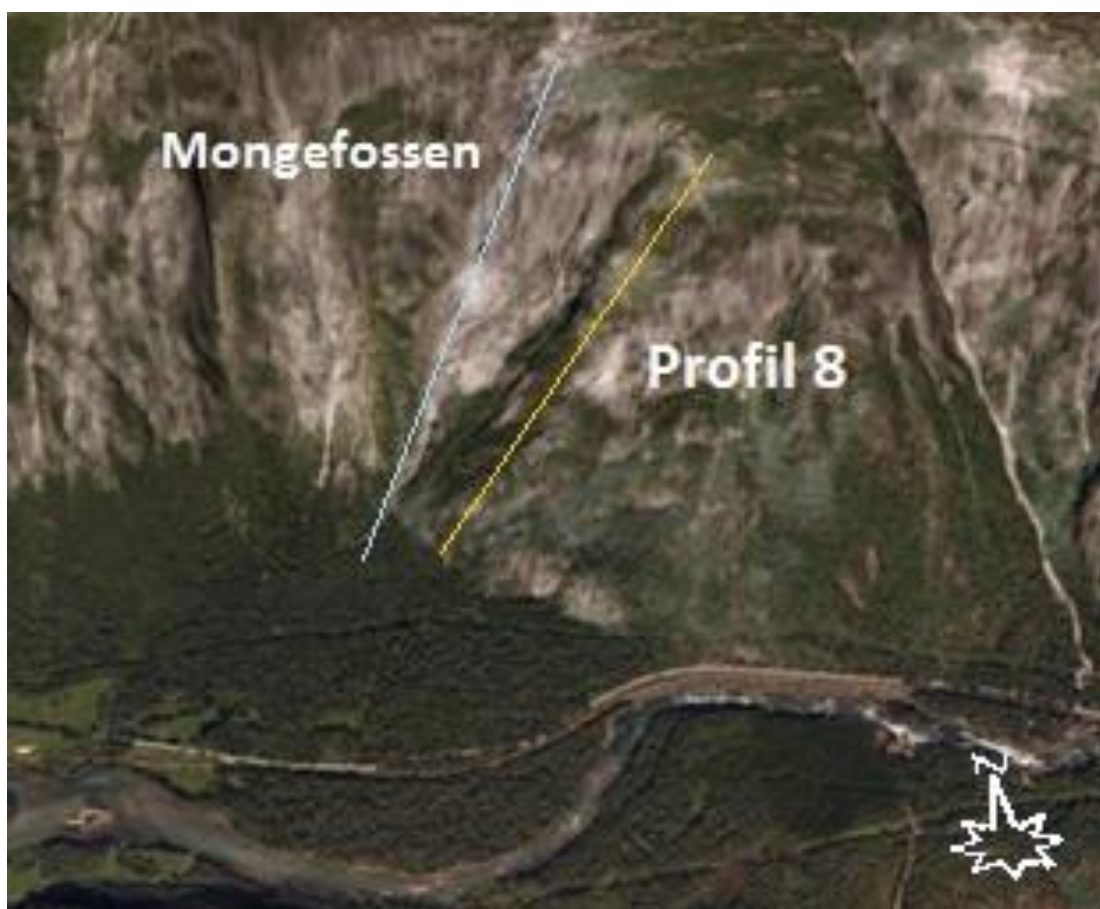
Profil 8 ligger langs en fjellrygg og ender i punktet for påhugget for tunnelen fra Rygg til Skiri, i  $x = 660$ . På grunn av denne ryggen ligger påhugget litt skjermet fra eventuelle skred fra området ved Mongefossen, se Figur 6-29.

### **Estimering av utløpslengde**

Bruk av tommelfingerregelen for utløpslengde gir et estimat av utløpslengden på  $x = 955$ . Dette punktet ligger langt forbi påhugget i  $x = 660$  m.

### **RocFall**

For profil 8 ble det gjort simuleringer fra ett punkt, se Figur 6-27. Ingen av blokkene vil treffe området for det planlagte påhugget, se Tabell 6-18.



Figur 6-29 Plassering av profil 8 i forhold til Mongefossen. (Skjermdump fra Norgei3d.no)

Tabell 6-18 Andelen blokker på veg i profil 8. Tallene er gitt i prosent.

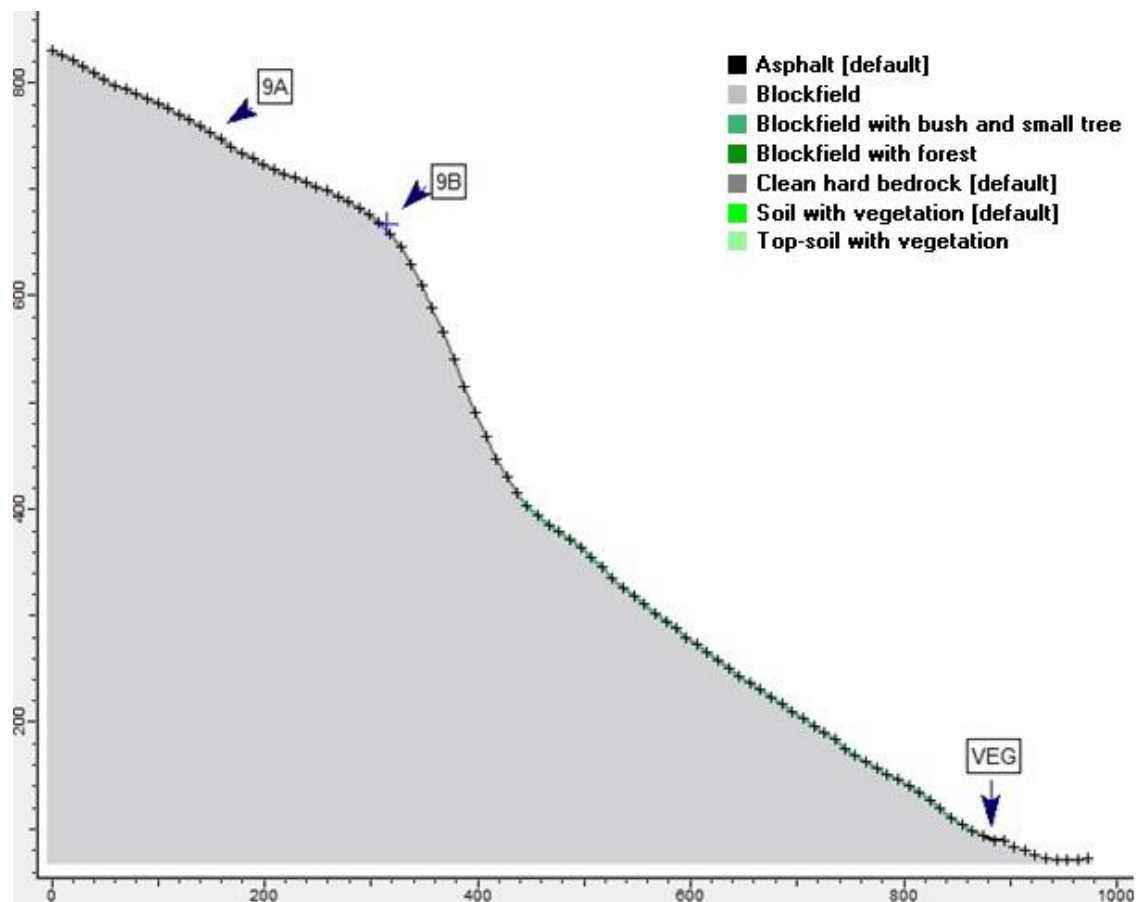
Løsnepunkt	Andel blokker som stopper i påhuggsområdet, 280 kg	Andel blokker som stopper i påhuggsområdet, 2800 kg	Andel blokker som stopper i påhuggsområdet, 28 000 kg
8	0	0	0

**Diskusjon**

Det er ikke påvist noen skredfare i profil 8 ved bruk av RocFall. Dette kan skyldes at profilet ligger langs en hammer med mye vegetasjon. Gjelet som ligger nord for profil 8 vil antagelig ta opp skredmasser fra området ved Mongefossen.

Estimeringen av utløpslengde ga en lengde på  $x = 955$  m. Dette punktet ligger langt forbi det planlagte påhugget. Det er heller ikke registrert noen skredfare ved påhugget i  $x = 660$  m ved bruk av RocFall. I dette profilet gir tommelfingerregelen en utløpslengde som er nesten dobbelt så lang som RocFall-simuleringene.

## Profil 9



Figur 6-30 Profil 9 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Profil 9 ligger langs et av skredpunktene i Statens Vegvesens rasregister, Mongeura II. Det er registrert fire skredhendelser i dette skredløpet, se Tabell 5-2 i kapittel 5.

Dette profilet ligger i et område hvor vegen og jernbanen ligger helt inntil hverandre mellom foten av ura og elva. Vegen ligger i  $x = 880$  m. Det har blitt vurdert å bygge rasoverbygg på strekningen, se kapittel 2.3, men dette er ikke anbefalt av vegvesenet på grunn av økt fare for skred på jernbanen. Anbefalingen er heller tunnel fra Rygg til Skiri, ved Profil 8 og profil 12.

### **Estimering av utløpslengde**

Bruk av tommelfingerregelen for estimering gir en utløpslengde på  $x = 1150$  m. Dette punktet ligger på motsatt side av elven.

### **RocFall**

Det er gjort simuleringer fra to punkt i profil 9. Resultatet fra simuleringene er vist i Tabell 6-19. Fra tabellen kan en se at det er skredfare på strekningen, men at den største delen av blokkene stopper i ura før de når vegen.

Tabell 6-19 Andel blokker på og over veg i profil 9. Tallene er gitt i prosent.

Løsnepunkt	Andel blokker på veg/over veg, 280 kg	Andel blokker på veg/over veg, 2800 kg	Andel blokker på veg/over veg, 28 000 kg
9A	0/1,8	0,1/1,2	0,1/2,0
9B	0/1,2	0,1/1,7	0,3/1,0

RocFall-analysen for profil 9 er ment som en bekreftelse på at det er skredfare på strekningen. Siden det er anbefalt av Statens Vegvesen å bygge tunnel på strekningen er det ikke gjort simuleringer av sikringstiltak for profil 9.

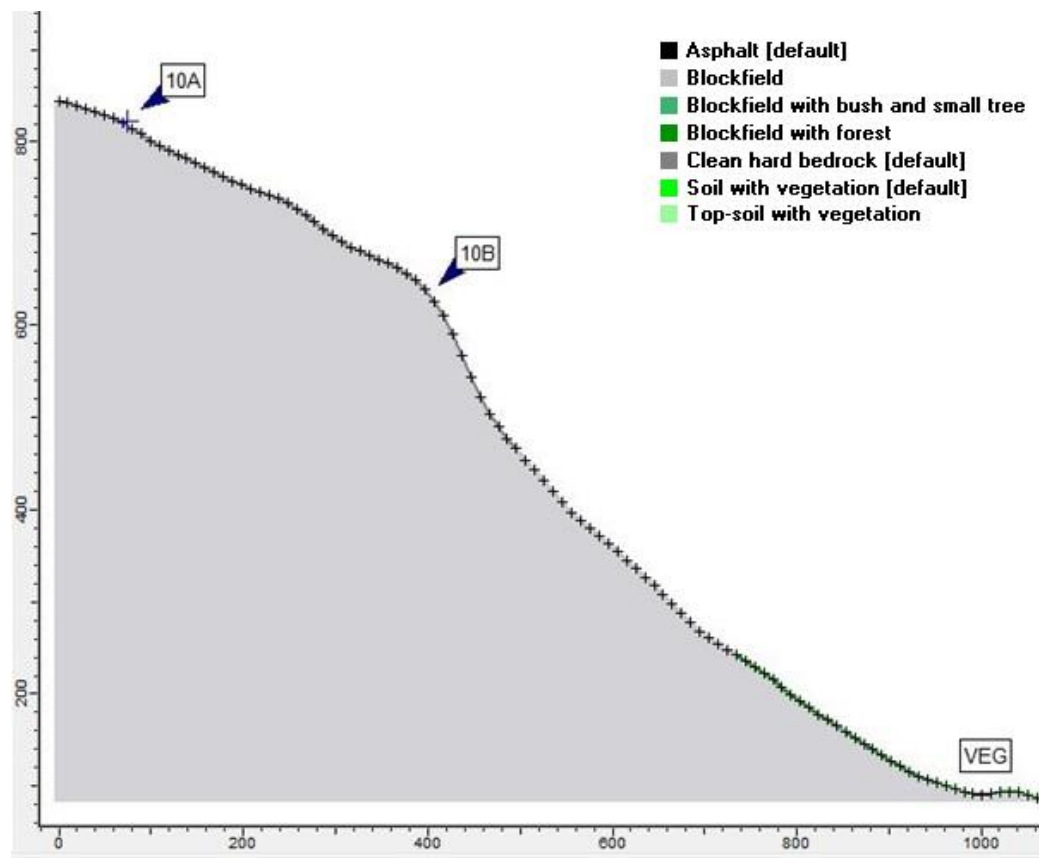
### **Diskusjon**

Simuleringene viser at det er sannsynlighet for skred på veg, men denne er liten. Mongeura er et av de kjente skredpunktene på strekningen, og det er registrert flere skred på veg her. Det er derfor noe bemerkelsesverdig at ikke flere av blokkene havner på vegen. Dette kan skyldes at løsnepunktene er plassert feil, eller at det er valgt feil restitusjonskoeffisient for materialene.

Et annet alternativ er at skredfaren i dette profilet er en reell skredfare. Vegen ligger i foten av ura, og det kan tenkes at materialet som treffer vegen er materialet som i andre tilfeller også havner nederst i ura, men som da ikke utgjør en fare.

Estimeringen ved bruk av tommelfingerregelen gir en utløpslengde på 1150 m. Dette punktet ligger på motsatt side av elven i forhold til vegen. Ingen av blokkene i RocFall-analysen når dette punktet. En kan anta at blokker som når elva vil stoppe der. Tommelfingerregelen gir et overestimat på utløpslengden i forhold til RocFall.

## Profil 10



Figur 6-31 Profil 10 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Profil 10 ligger langs et av de registrerte skredpunktene fra Statens Vegvesen, Mongeura I. I dette punktet er det registrert tre skredhendelser, to steinskred og ett snøskred. Det er mulig at snøskredet har gått i en elv som ligger like ved, så beregninger for snøskred er gjort i et eget profil, Profil 11.

Profil 10 ligger rett ved Profil 9 i Mongeura. Som i profil 9 ligger vegen og jernbanen tett mellom foten av ura og elva. Statens vegvesen anbefaler at vegen legges i tunnel forbi denne strekningen, se kap.2.3.

### **Estimering av utløpslengde**

Estimeringen av utløpslengden ved bruk av tommelfingerregelen gir en lengde på  $x = 1272$  m. Dette punktet ligger på motsatt side av elva i forhold til vegen.

### **RocFall**

Det er gjort simuleringer i to punkt for profil 10. Analysene viser at det bare er blokker fra løsnepunkt 10A som treffer vegen, men det er svært få blokker som blir liggende på vegen. De fleste blokkene går over vegen og lander i elva. Blokker fra 10B stopper i ura, se Tabell 6-20.

Tabell 6-20 Andel blokker som stopper på og over veg i profil 10. Tallene er gitt i prosent.

Løsnepunkt	Andel blokker på veg/over veg, 280 kg	Andel blokker på veg/over veg, 2800 kg	Andel blokker på veg/over veg, 28 000 kg
<b>10A</b>	0,3/9,5	0,2/10,6	0,3/10,2
<b>10B</b>	0/0	0/0	0/0

Fordi Statens Vegvesen anbefaler at vegen legges i tunnel forbi denne strekningen er det ikke gjort analyse for sikringstiltak i dette profilet.

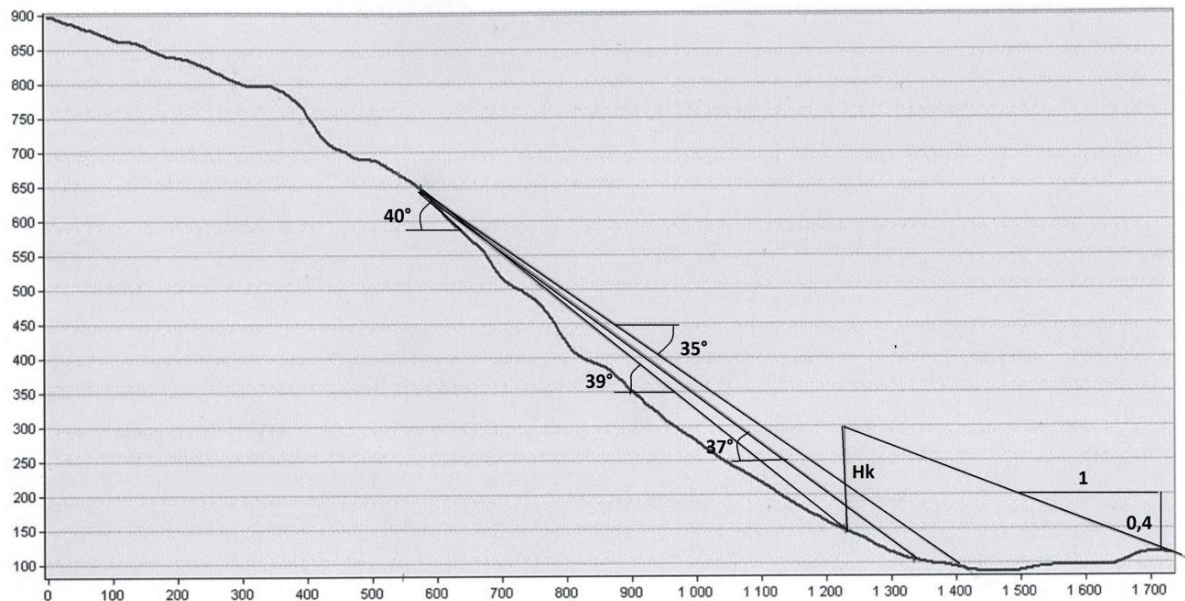
### **Diskusjon**

I dette profilet er det omtrent 11 % av blokkene som havner på eller over vegen. Dette er relativt liten skredfare, til tross for at profilet ligger i et kjent skredpunkt. En vet derimot at blokkene vil løsne i dette området, så det kan være at tallet en får i RocFall-analysene gir et riktig estimat av andelen blokker på veg. Vegen ligger i foten av ura, så det er mulig at blokkene som havner her er blokker som i andre tilfeller bare ville ha havnet i foten av ura og ikke ført til økt skredfare på veg.

Som i profil 9 havner blokkene på motsatt side av elva i forhold til vegen ved bruk av tommelfingerregelen, i  $x = 1272$ . RocFall-simuleringene viser at det bare er omtrent 10 % av blokkene som går forbi dagens veglinje, disse vil nok stoppe i elva. Modellen gir et overestimat i forhold til RocFall i dette profilet.



## Profil 11



Figur 6-32 Profil 11 Elv ved Mongeura. Modifisert fra ArcGIS. Aksene er angitt i meter.

Profil 11 ligger i en elv ved Mongeura. Det er registrert snøskred i Mongeura I som en antar har gått i denne elven, da avstanden mellom de områdene er kort og stedsreferansene er omtrentlige, se Tabell 5-2. Dagens veg ligger i  $x = 1400$  m. Utløpsområdet for skred ligger i  $x = 600$  m, 640 m.o.h.

Det er gjort beregninger for utløpslengden til snøskred i profil 11 ved bruk av  $\alpha$ - $\beta$ -metoden og energilinjemodellen, se kapittel 4.5.

Beregningene viser at en ved  $\alpha\beta$ -metoden får en utløp i  $x = 1410$  m og da en utløpslengde på 810 m, mens energilinjemodellen gir utløp i  $x = 1720$  m og da en utløpslengde på 1120 m, et punkt på andre siden av elven.

Begge disse metodene viser at snøskred kan påvirke dagens veg i  $x = 1400$  m.

Helning løsneområdet( $\theta$ ) =  $40^\circ$

*$\alpha\beta$ -metoden*

$\beta = 37^\circ$

$\alpha = 35^\circ$

Utløp i  $x = 1410$  m

Utløpslengde = 810 m

*Energilinjemodellen*

$\gamma = 39^\circ$

$h_\theta = 1,4$  m

$v_{\text{term}} = 55$  m/s

$H_k = 154$  m

Utløp i  $x = 1720$  m

Utløpslengde = 1120 m

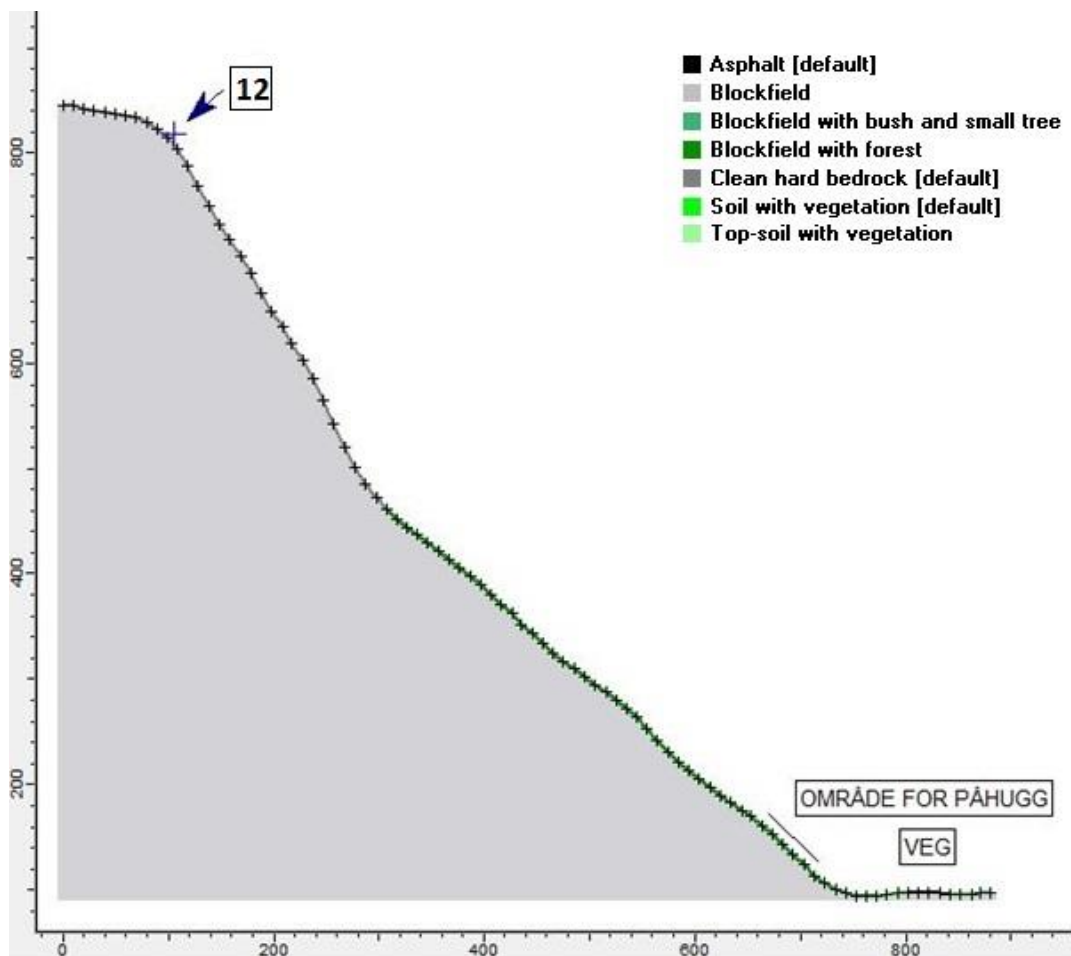
### **Diskusjon**

Det er registrert ett snøskred i profil 11. Det kan ha gått flere snøskred i profilet uten at disse har blitt registrert, særlig om de har stoppet rett før de nådde vegen. Beregningene viser at det er fare for at snøskred vil treffe vegen i profilet. Dersom snøskredet er stort nok vil det kunne nå til  $x = 1720$ , og dermed krysse elva. Mye av skredmaterialet vil nok stoppe i elva dersom det går så langt.

Skredets løsneområde ligger 650 m.o.h. I dette området er den maksimale snødybden satt til 200-400 cm, se Figur 6-2. Profilets løsneområde ligger i et smalt elvegjølet og derfor vil ikke snøskredet være så stort i løsneområdet, men det kan utvikle seg og bli større nedover i skredløpet, hvor det det kan dra med seg snømasser etterhvert som det beveger seg nedover. Det er lite vegetasjon langs det smale elvegjølet og skrentene mot skredløpet er bratte, så det vil nok ikke samles store snømengder langs kantene. Ura som elva renner langs består av grovt materiale og det er noe vegetasjon nedover ura. Vegetasjonen fører til at det ikke vil samle seg store snømengder i ura, samtidig som at dette området ligger ved lavere høydemeter, noe som fører til mindre snø på grunn av høyere temperaturer.

Snøskred langs profilet vil ikke bli veldig store, men kan oppnå store hastigheter på grunn av den relativt bratte helningen i profilet. Skredet vil dra med seg masser langs hele skredløpet, men det er usikkert hvor mye snø som legger seg langs de bratte sidene i gjølet og i ura. Vegetasjonen ser ut fra flyfoto til å bestå av løvskog, denne vil kunne brette dersom skredet oppnår store hastigheter, se kapittel 4.3.1.

## Profil 12

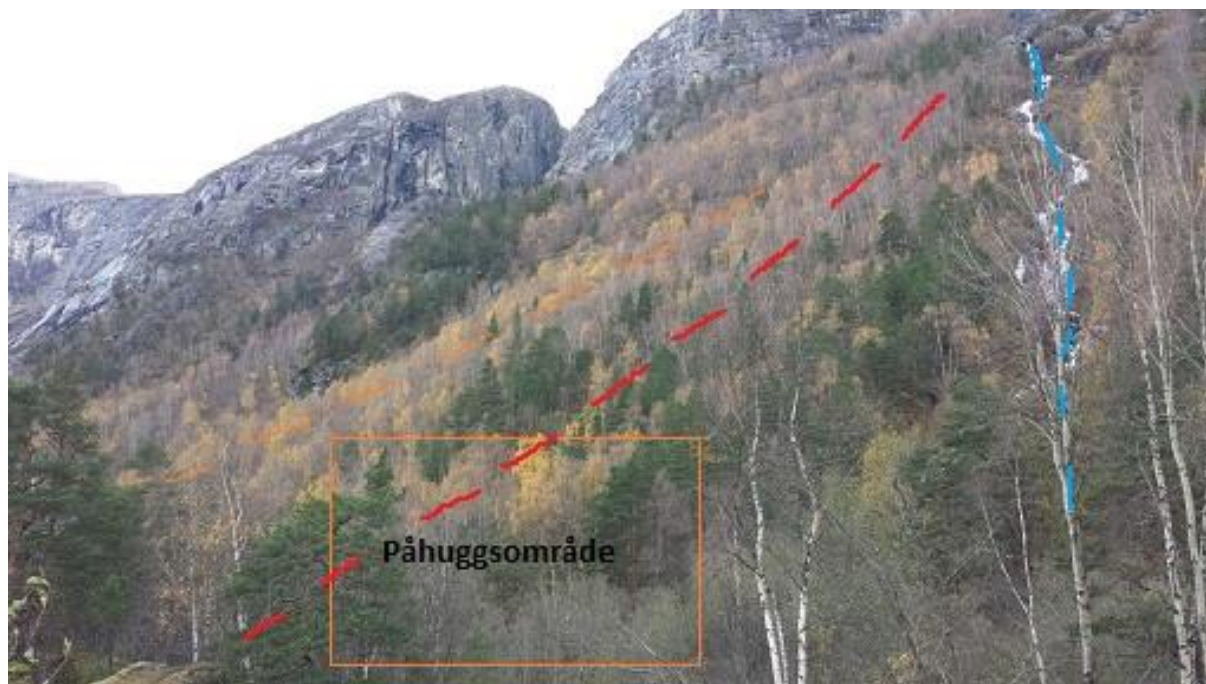


Figur 6-33 Profil 12 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Profil 12 ligger langs en fjellside, og ender i området med påhugg for tunnel fra Skiri. Dagens veg ligger i  $x=820$ . I Figur 6-34 viser området for påhugg, markert med oransje firkant. Oransje stiplet linje viser en rygg med avsatser og gjøl som gjør at eventuelle skred blir ledet bort fra området for påhugg. Avstanden til rasene på begge sider er kort, så en tunnellportalen bør gjøres lenger enn vanlig.

### **Estimering av utløpslengde**

Ved bruk av tommelfingerregelen for utløpslengden til steinsprang fås en lengde på  $x = 997$  m. Dette punktet ligger 150 m forbi dagens veglinje og nesten 300 m forbi det planlagte påhugget for tunnelen.



Figur 6-34 Påhuggsområdet for tunnel fra Skiri til Rygg. Oransje firkant viser området. Stiplet oransje linje viser skar som tar av for ras fra skaret i fjellet bak. Rød linje viser plasseringen av profil 12. Blå stiplet linje markerer elven i Skirifonna, profil 13. (Foto: Marie Drågen Belland)

### **RocFall**

For profil 12 er det gjort simuleringer fra ett punkt. Simuleringene viser at ingen blokker treffer det planlagte påhugget eller vegen. Ved å se på Figur A-58 i Vedlegg A kan en se at en stor andel av blokkene har endepunkt mellom  $x=300$  m og  $x=400$  m. Dette skyldes nok at det er en overgang fra bart fjell til ur i området. Tabell 6-21 viser at det ikke var noen blokker som traff påhugget/vegen.

Tabell 6-21 Andel blokker på påhugg/veg i Profil 12. Tallene er gitt i prosent.

Løsnepunkt	Andel blokker på påhugg/veg, 280 kg	Andel blokker på påhugg/veg, 2800 kg	Andel blokker på påhugg/veg, 28 000 kg
12	0/0	0/0	0/0

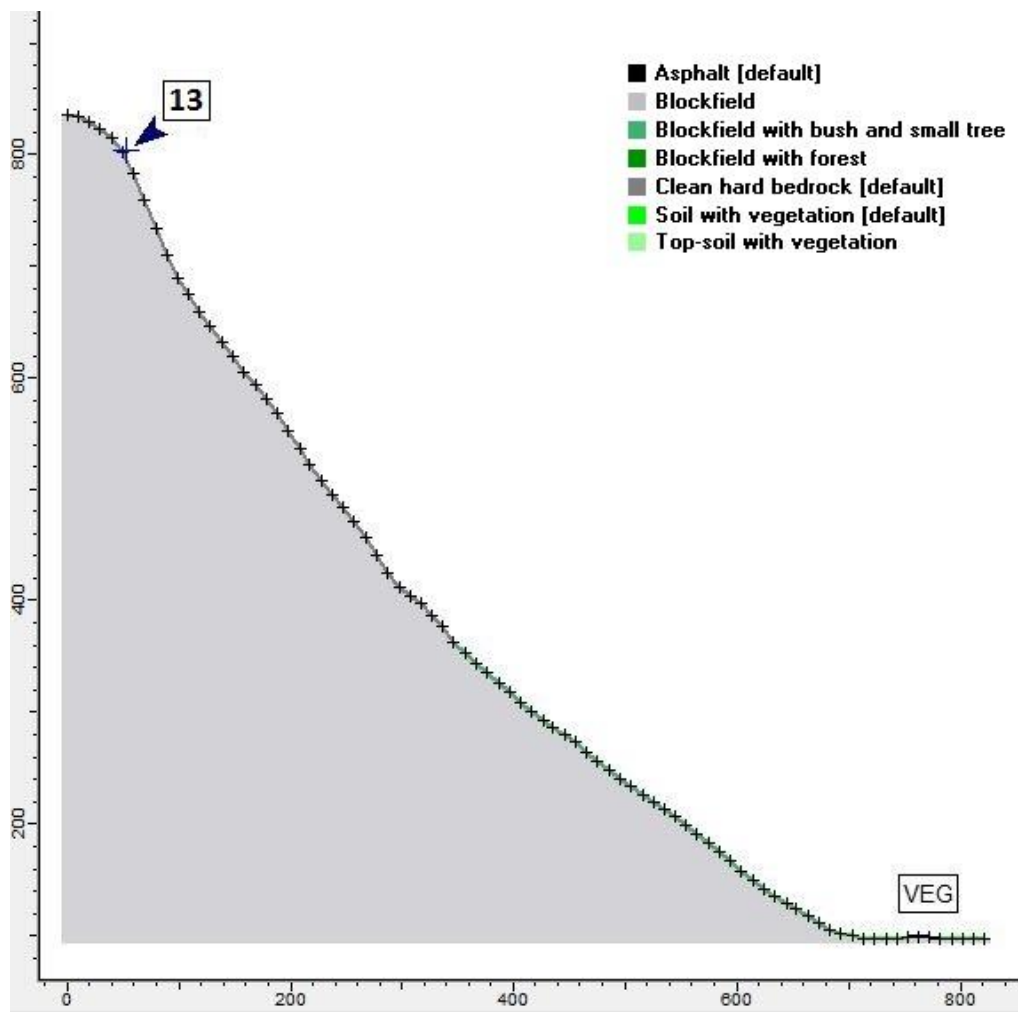
Siden det ikke er noen blokker som treffer påhugget/vegen i profil 12 er det ikke gjort noen vurderinger av sikringstiltak for det aktuelle profilet.

### **Diskusjon**

Påhugget i profil 12 blir ansett som det tryggeste påhugget i området, se kapittel 2.3.1. Dette til tross for to skredutsatte områder på hver side. Det er liten skredfare i profilet, men området for påhugg kan bli påvirket av snøskred fra profil 13 Dette kan løses ved å forlenge tunnelportalen, som anbefalt i kapittel 2.3.1.

Estimatet for utløpslengden gir en lengde som er over 300 m forbi påhugget. I følge RocFall er det ikke skredfare i området, så tommelfingerregelen gir et overestimat i forhold til RocFall i dette profilet.

## Profil 13



Figur 6-35 Profil 13 RocFall. Aksene er angitt i meter.

Profil 13 ligger langs et av de registrerte skredpunktene i Statens Vegvesen register, Skirifonna. I dette punktet har det gått flere snøskred som har ført til full eller delvis stengning av vegen, antallet er usikkert. I anleggstiden for jernbanen gikk det også et steinskred her, se

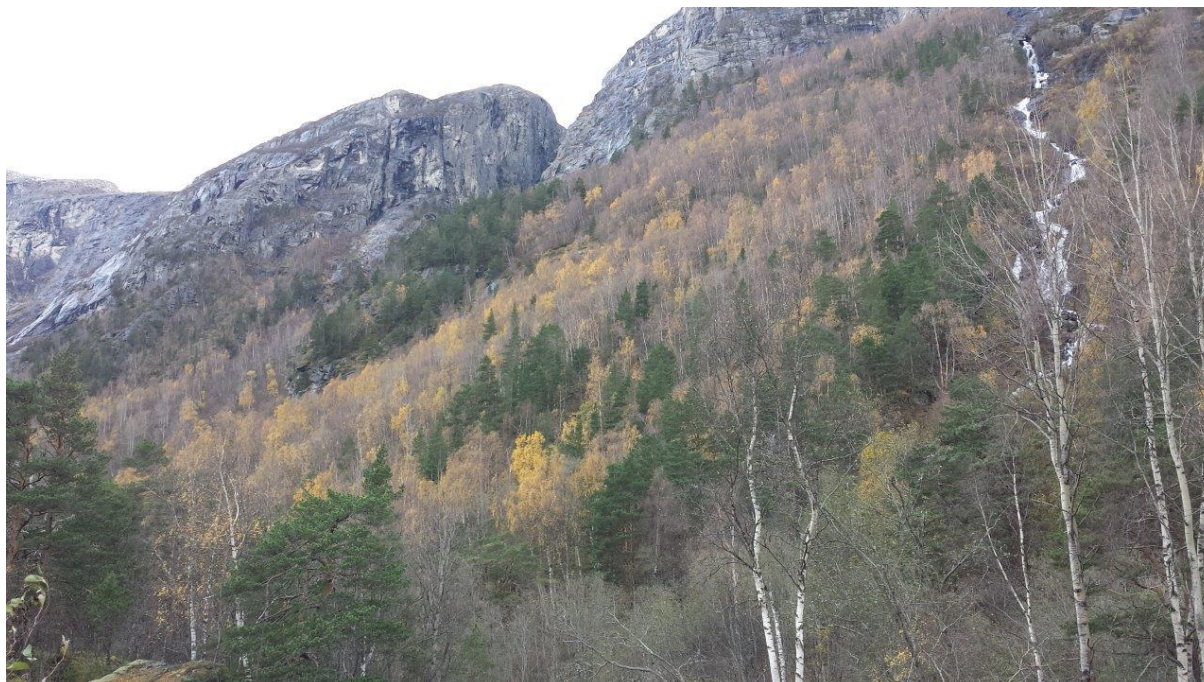


Tabell 5-2 i kapittel 7.

Ved bygging av tunnelen med påhugg i Profil 12 er det anbefalt å forlenge tunnelportalen for også å beskytte mot skredmassene fra profil 13 Skirifonna. Den planlagte veglinjen ligger i  $x=760$  m.

### **Estimering av utløpslengde**

Ved bruk av tommelfingerregelen ble det estimert en utløpslengde på  $x= 945$  m. Dette punktet ligger nesten 200 m forbi den planlagte veglinjen og 150 m forbi dagens veglinje, i  $x= 910$  m.



Figur 6-36 Skirifonna til høyre i bildet, hvor elven renner. (Foto: Marie Drågen Belland)

### **RocFall**

For Profil 13 ble det gjort simuleringer fra ett punkt. Analysene viste at en stor andel blokker landet på den planlagte veglinjen. Nesten ingen blokker blir avsatt før  $x=600$ , i området for skråningsvinkelen blir lavere, se Figur A-61 i Vedlegg A.

Tabell 6-22 Andel blokker på/over veg i profil 13. Tallene er gitt i prosent.

Løsnepunkt	Andel blokker på veg/over veg, 280 kg	Andel blokker på veg/over veg, 2800 kg	Andel blokker på veg/over veg, 28 000 kg
13	30,6/14,2	39,0/17,2	38,2/18,6

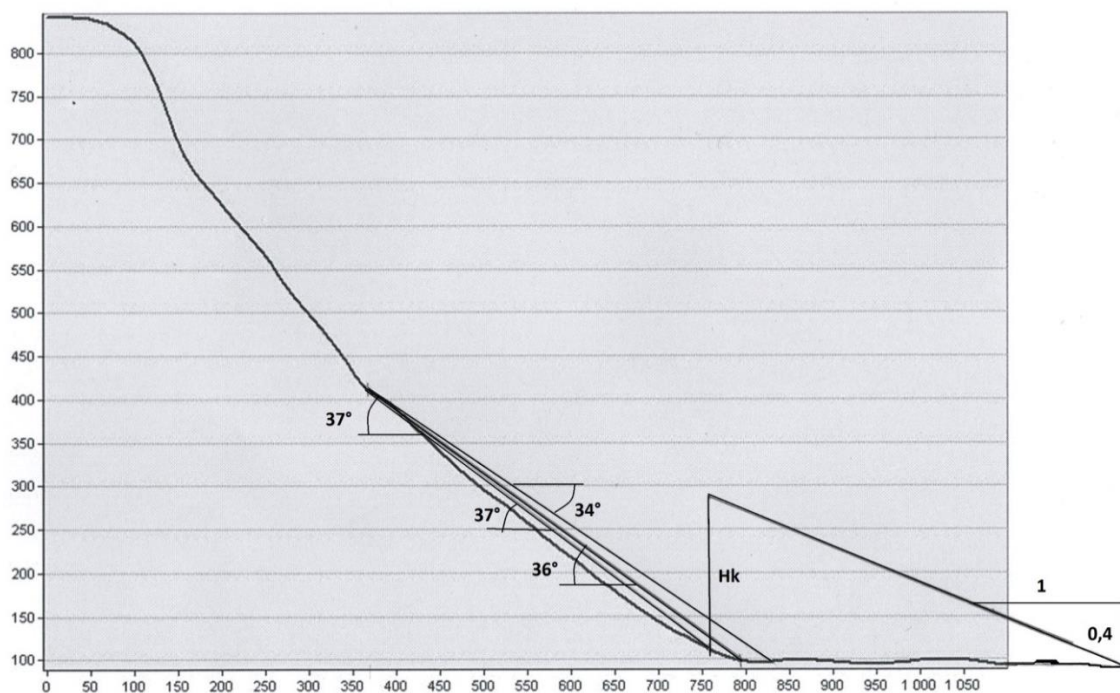
### **Sikringstiltak**

Dersom det skal bygges tunnel fra Skiri til Rygg blir det anbefalt å ha en tunnelportal som også skal fange opp skredmateriale fra Skirifonna. Et annet alternativ er å bygge en ledevoll i kombinasjon med fangvoll, se Figur 4-14 i kapittel 4. Dette er det ikke mulig å



simulere i RocFall, det er derfor ikke gjort noen simuleringer for sikringstiltak i punktet. Det er viktig at portalen blir lang og får høye ledevoller ved inngangen, slik at skredmateriale ikke renner over kanten og ned på veg.

## Snøskredberegninger



Figur 6-37 Snøskredberegninger profil 13 Skirifonna. Aksene er angitt i meter.

Det er gjort beregninger for utløpslengden til snøskred i Skirifonna, ved hjelp av  $\alpha$ - $\beta$ -metoden og energilinjemodellen, resultatene er vist i tekstboksen under.

Helning løsneområdet( $\theta$ ) =  $37^\circ$ .

*$\alpha$ - $\beta$ -metoden*

$\beta = 36^\circ$

$\alpha = 34^\circ$

Utløp i  $x = 830$  m

Utløpslengde = 470 m

*Energilinjemodellen*

$\gamma = 37^\circ$

$h_\theta = 1,55$  m

$v_{\text{term}} = 62$  m/s

$H_k = 195$  m

Utløp i  $x = 1250$  m

Utløpslengde = 890 m

$\alpha\beta$ -metoden gir utløps i  $x = 830$  m. Utløpslengden blir da 470 m. Energilinjemodellen gir utløp i  $x = 1250$  m, utløpslengden blir da 890 m. Den planlagte veglinjen ligger i  $x = 760$  m, altså gir begge beregningsmetodene utløp langt forbi den planlagte veglinjen.

Ved bygging av tunnel fra Skiri – Rygg blir det aktuelt å sikre dette området med en forlenget tunnelportal for å fange opp snøskred fra dette profilet.

### **Diskusjon**

Profil 13 er et profil hvor det er registrert både steinskred og snøskred. Det går hyppigst snøskred, antallet skred som har ført til stenging av vegen er ukjent.

RocFall-simuleringene viser at mange blokker havner på den planlagte veglinja, og mange går forbi dette punktet. Den planlagte forlengede tunnelportalen bør ta opp de skredmassene som eventuelt kommer.

Estimeringen av utløpslengden ved hjelp av tommelfingerregelen gir en utløpslengde på  $x = 945$  m. RocFall-analysene viser at ingen blokker når dette punktet, altså er det et overestimat for utløpslengden i dette profilet.

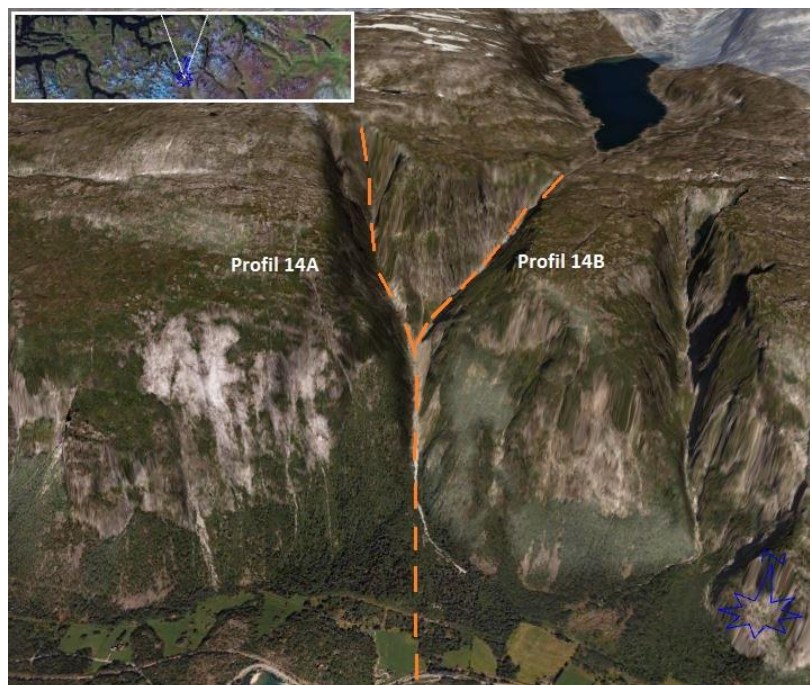
Det ble gjort beregninger ved hjelp av  $\alpha\beta$ -metoden og energilinjemodellen, men uten data om tidligere skred er det vanskelig å si noe om nøyaktigheten til beregningene av utløpslengden. Energilinjemodellen gir en utløpslengde som er dobbelt så lang som utløpslengden til  $\alpha\beta$ -metoden. Dette skyldes nok at energilinjemodellen ikke er justert til å beregne utløpslengder for skred med 20-50 års returperiode.

I følge Tabell 3-1 har det gått flere skred i fonna, men antallet skred er ukjent. Noen av skredene har stengt vegen helt, andre delvis. Dagens veglinje skal legges nærmere fjellsiden, så en kan anta at vegen vil være utsatt for skred i enda større grad enn før, før en ser på eventuelle sikringstiltak, siden begge beregningsmodellene gir utløp langt forbi dette punktet.

Løsneområdet til skredet ligger omtrent 400 m.o.h. Løsnepunktet ble satt såpass lavt i terrenget på grunn av den store helningen i profilet, men det er mulig løsneområdet til skredet ligger høyere oppe, da snøskred kan ha løsneområder opp til  $60^\circ$ , se kapittel 4.1. Snøen som faller havner i ett bratt terreng, så det blir ikke store mengder. Skredet vil kunne dra med seg skredmateriale nedover ura. Det er litt løvskog nedover ura, denne vil kunne hindre at skredet tar opp mye snø langs skredløpet. Mye av vegetasjonen langs skredløpet vil bli ødelagt ved eventuelle skred, se kapittel 4.3.1.

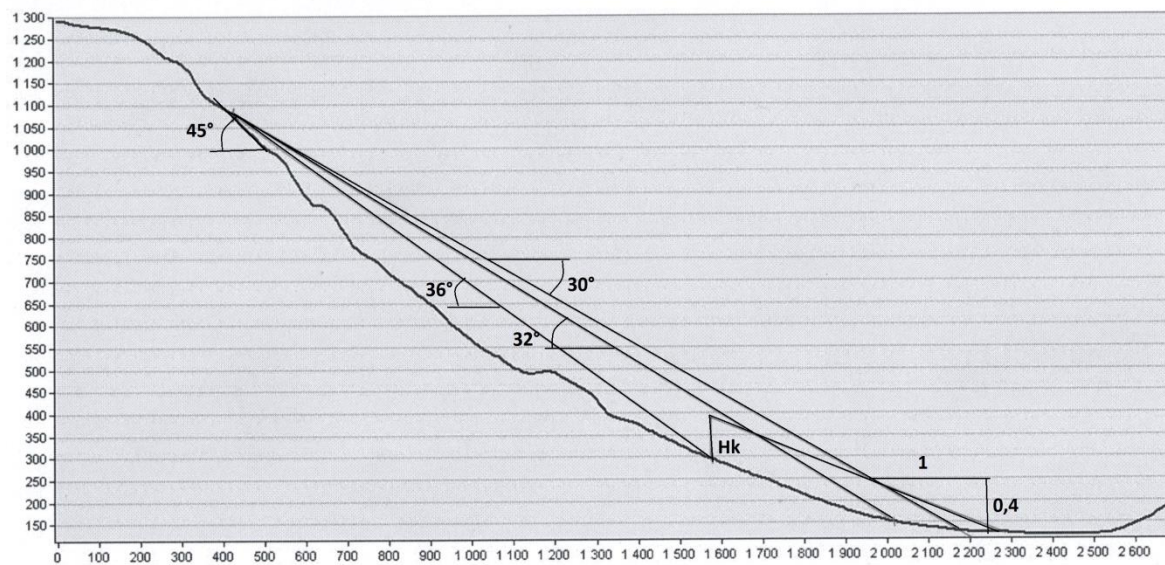
## Profil 14

Profil 14A og profil 14B ligger ved Rangåa. Rangåa er delt i to profiler fordi det ut fra flyfoto og 3Dbilder kan se ut som det er to utløpsområder. Profilene er lagt inn hver for seg, og det er gjort beregninger for begge. Figur 6-38 viser plasseringen av de to profilene i 3D.



Figur 6-38 Plassering av Profil 14A og Profil 14B. Modifisert fra Norgei3D.no.

## Profil 14A



Figur 6-39 Snøskredberegninger Profil 14A Rangåa. Profilet er modifisert fra ArcGIS. Aksene er angitt i meter.

Profil 14A ligger langs et skredløp fra Rangåa med utløp på Flatmark. Det følger samme løp som Profil 14B, men har et annet løsnepunkt, se Figur 6-1. Det har gått flere snøskred fra Rangåa, og det er registrert to snøskred som har tatt liv, se Tabell 5-2 i kapittel 5. Dagens veglinje ligger i  $x = 2300$  m. Det er gjort beregninger for utløpslengden til snøskred i profilet, resultatene er vist i tekstboksen under.

Helning løsneområdet( $\theta$ ) =  $45^\circ$ .

*$\alpha\beta$ -metoden*

$\beta = 32^\circ$

$\alpha = 30^\circ$

Utløp i  $x = 2180$

Utløpslengde = 1740 m

*Energilinjemodellen*

$\gamma = 36^\circ$

$h_\theta = 1,2$  m

$v_{\text{term}} = 41$  m/s

$H_k = 85$  m

Utløp i  $x = 2270$  m

Utløpslengde = 1830 m

Beregningene viser at skredet får utløp i  $x = 2180$  m ved bruk av  $\alpha\beta$ -metoden. Dette gir en utløpslengde på 1740 m. Energilinjemodellen viser utløp i  $x = 2270$  m, som tilsvarer en utløpslengde på 1830 m. Dagens veglinje ligger i  $x = 2330$  m, jernbanen ligger i 2300 m. Energilinjemodellen gir et utløp nesten opp mot denne lengden. Profilet går langs en gårdsveg fra  $x = 2170$  m. Eventuelle skred vil kunne treffe denne vegen.

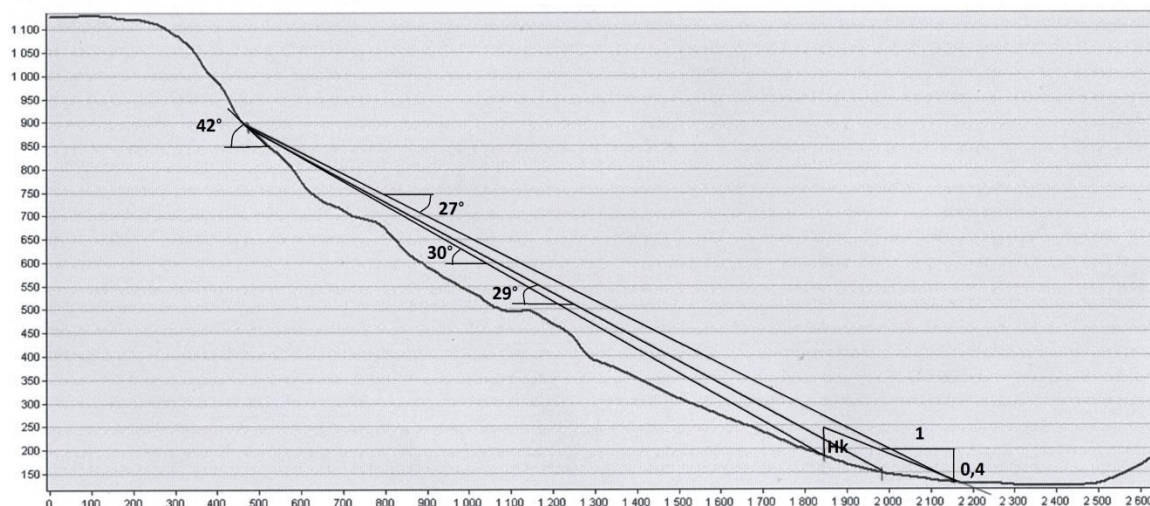
Profil 14A er et langt profil. Løsneområdet ligger ca 1000 m.o.h, i et område det er registrert maksimale snødybder på 200 – 400 cm. Løsneområdet er et elvegjøl med bratte sidekanter. Vind kan nok føre til at mye snø blir avsatt i gjølet, så initialscredet kan starte som et lite flakskred i denne gropa. Helningen i løsneområdet er  $45^\circ$ . Gjelet som skredet følger har en vinkel, dette vil kunne bremse skredet noe. Dette kommer ikke frem av profilet her. Det er lite vegetasjon i profilet frem til ura, hvor det er løvskog. Denne skogen vil kunne vise tydelige tegn dersom det går skred. At det ikke er tett barskog her viser også at det er skredhendelser her med jevne mellomrom.

Det er ikke gjort noen registreringer ved skred på veg i dette profilet, skredene som er registrert har tatt husene på gården. Det er ikke utenkelig at skredene har gått frem til område hvor dagens veg ligger.

Den beregnede utløpslengden er bare 150 meter lenger ved bruk av energilinjemodellen enn  $\alpha\beta$ -metoden. Dette er et godt samsvar mellom modellene, selv om energilinjemodellen ikke er regulert mot 20-50 års skred.

Det er ikke vurdert noen sikringstiltak ved Rangåa mot skred ved bygging av den nye vegen.

### Profil 14B



**Figur 6-40 Profil 14B Rangåa. Bildet er modifisert fra ArcGIS. Aksene er angitt i meter.**

Profil 14B ligger øst for Profil 14A i Rangåa. Profilet følger et skredløp hvor det har gått flere skred, se



Tabell 5-2 i kapittel 5. Dagens veg ligger i  $x=2310$  m. Jernbanen ligger i  $x=2880$  m. For dette profilet er det ikke planlagt noen endringer i veglinjen i forhold til dagens plassering. Det ble gjort beregninger av skredets utløpslengde ved bruk av  $\alpha\beta$ -metoden og energilinjemodellen., resultatene er vist i tekstboksen på neste side.

<p>Helning løsneområdet(<math>\theta</math>) = <math>42^\circ</math></p> <p><i><math>\alpha\beta</math>-metoden</i></p> <p><math>\beta = 29^\circ</math>  <math>\alpha = 27^\circ</math></p> <p>Utløp i <math>x= 1990</math>          Utløpslengde = 1500 m</p> <p><i>Energilinjemodellen</i></p> <p><math>\gamma = 30^\circ</math></p> <p><math>h_\theta = 1,2</math> m</p> <p><math>v_{\text{term}} = 34</math> m/s</p> <p><math>H_k = 58</math> m</p> <p>Utløp i <math>x= 2160</math> m</p> <p>Utløpslengde = 1670 m</p>
---

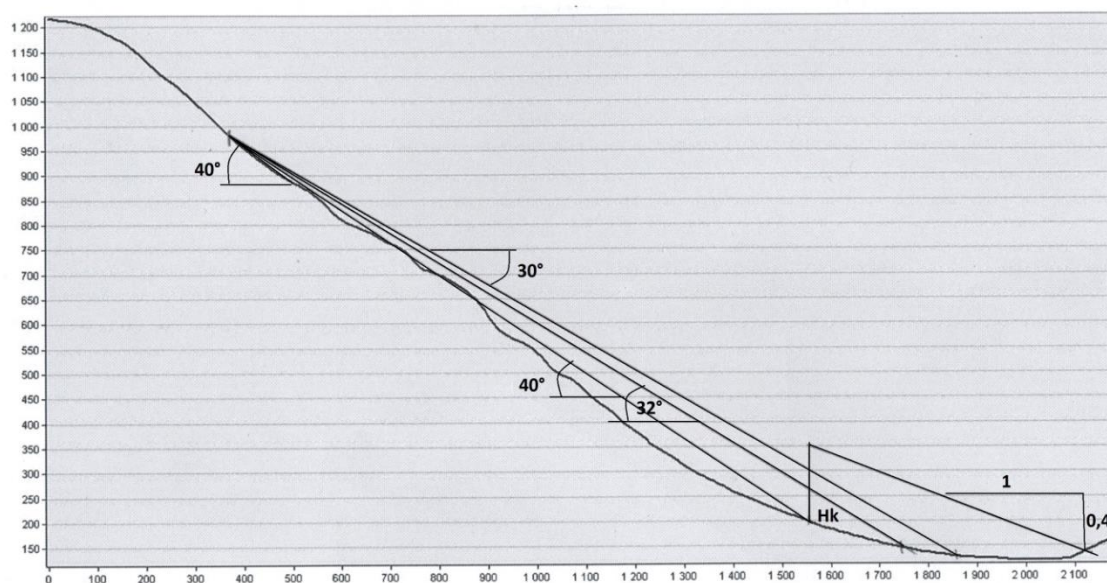
### **Diskusjon**

Det er registrert flere skredhendelser fra Rangåa, flere av dem har tatt liv. Skredet i 1858 er siste registrert skredhendelse i dette punktet, og det finnes derfor lite data om eventuelt løsnepunkt og utløpslengde. Skredene som har gått her er store, så det er ikke utenkelig at de har gått frem til området hvor dagens veglinje ligger. Skredet fra Rangåa kan treffe en gårdsveg som starter i  $x= 2140$  m.

Profil 14B er et langt profil. Løsneområdet ligger ca 900 m.o.h, i et område det er registrert maksimale snødybder på 200 – 400 cm. Løsneområdet er et elvegjøl med bratte sidekanter. Vind kan nok føre til at mye snø blir avsatt i gjølet, så initialscredet kan starte som et lite flakskred i denne gropa. Helningen i løsneområdet er  $42^\circ$ . Gjølet som profilet ligger langs følger ikke en rett linje, men har en avbøyning i  $x= 800$  m. Dette kan redusere farten til skredet noe.

Det er ikke vurdert noen sikringstiltak mot skred fra Rangåa i forbindelse med byggingen av den nye veglinjen.

## Profil 15



Figur 6-41 Profil 14 Grønfonna. Modifisert fra ArcGIS. Aksene er angitt i meter.

Profil 15 ligger i Grønfonna, som har utløp på Flatmark, se Figur 6-1. I følge Tabell 5-2 har det gått flere snøskred i fonna. I følge Statens Vegvesens vegkart er det registrert et sikringstiltak i form av kjebler ved Grønfonna, disse er ikke synlige på verken kart eller flyfoto, se kapittel 5.5. Dagens veg ligger i  $x = 1940$  m, og veglinjens plassering skal ikke endres ved dette profilet. Utløpslengden til snøskred i Grønfonna er beregnet ved bruk av  $\alpha$ - $\beta$ -modellen og energilinjemodellen. Resultatene er vist i tekstboksen under.

Helning løsneområdet( $\theta$ ) =  $40^\circ$

*$\alpha\beta$ -metoden*

$\beta = 32^\circ$

$\alpha = 30^\circ$

Utløp i  $x = 1860$

Utløpslengde = 1470 m

*Energilinjemodellen*

$\gamma = 40^\circ$

$h_\theta = 1,4$  m

$v_{\text{term}} = 57$  m/s

$H_k = 165$  m

Utløp i  $x = 2120$  m

Utløpslengde = 1730 m

$\alpha\beta$ -metoden gir utløp i  $x = 1860$  m. Dette gir en utløpslengde på 1470 m. Energilinjemodellen gir utløp i  $x = 2120$  m, som tilsvarer en utløpslengde på 1730 m. Dette punktet ligger på andre siden av elven. Dagens veg i  $x=1940$  ligger altså mellom de to utløpslengdene.

### **Diskusjon**

I Grønfonna er det beskrevet flere skredhendelser, men det er ikke registrert at noen av disse har truffet vegen. Beregninger gjort med energilinjemodellen for skred med 100-300 års returperiode viser derimot at skred kan treffe vegen, og gå over elva. Mest sannsynlig vil skredet stoppe i elva dersom det skulle gå så langt.

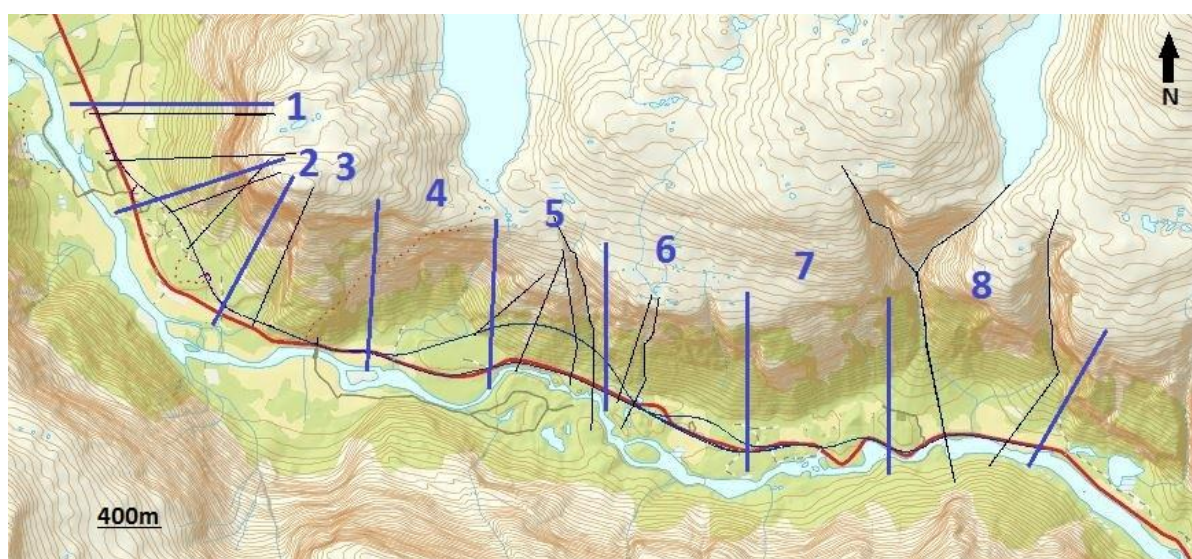
Løsneområdet for skredet ligger omtrent 1000 m.o.h, i grenseområdet for snødybder mellom 200-400 og over 400 cm. Skredet løsner i et gjøl hvor det kan samles en del snø ved store snøfall og vinden kan føre til at ekstra mye snø akkumuleres i gjølet, se 4.2.1. Snø som samles langs kantene i gjølet og faller ned på snødekket kan være en utløsende årsak for skredet. Skredløpet har flere vinkler før det når utløpsområdet, noe som vil føre til nedsatt fart i skredet. Høydeforskjellen fra løsneområdet til utløpsområdet er 950 m. På grunn av den store høydeforskjellen kan skredet kan oppnå store hastigheter langs skredløpet.

Statens vegvesens vegkart beskriver noen kjebler som skal være bygd for å stoppe skred fra Grønfonna, se kapittel 5.5. Det finnes ikke data om størrelse og plassering av disse kjeblene og effekten a sikringstiltaket er også ukjent.

## 7 Risikoaksept-vurderinger

Det er gjort en vurdering av akseptert risiko ved bruk av risikoakseptkriterier, se kapittel 2.4.4. Vegstrekningen er inndelt i 8 enhetsstrekninger, fra vest mot øst, se Figur 7-. I områder og skredløp med lite informasjon om tidligere skred er den nominelle sannsynligheten satt til 1/100. ÅDT på strekningen er estimert til 1700 for 2014, men denne vil stige før vegen er ferdig. Antar at vegen fortsatt vil ligge i samme konsekvensklasse etter økt trafikk, konsekvensklasse D med en ÅDT på 1500 - < 4000.

Risikoaksept-vurderinger blir gjort etter alle analysene, og tallfestingen av den nominelle sannsynligheten er vist til slutt i dette kapittelet.



Figur 7-1 Enhetsstrekningene langs vegstrekningen. Modifisert fra ArcGIS.

### Enhetsstrekning 1

Enhetsstrekning 1 omfatter profil 1 og 2. Det er ingen registrerte skredhendelser i området. Det ble observert noe ferskt skredmateriale i ura i profil 1, dette tyder på at det er aktivitet i området. Profil 1 blir satt til en nominell sannsynlighet på veg lik  $\frac{1}{200}$

RocFall-simuleringene viste at 1 blokk ville havne på veg i profil 2. Den årlige nominelle sannsynligheten i profil 2 blir satt til  $\frac{1}{100}$

Den nominelle sannsynligheten for skred på veg i enhetsstrekning blir da

$$\frac{1}{200} + \frac{1}{100} = \frac{1}{65}$$

Dette gir en akseptabel risiko for skred for veg, se Figur 7-1.

## Enhetsstrekning 2

Enhetsstrekning 2 omfatter profil 3 og 4. Disse profilene viser stor skredfare på den nye veglinjen, men det er lite nytt skredmateriale i området.

Profil 3 går over en hammer en antar vil lede materialet inn i to andre skredområder, profil 2 og 4. For profil 3 settes den nominelle sannsynligheten for skred på veg lik  $\frac{1}{100}$

Profil 4 viser stor skredfare på grunn av store spretthøyder i ura. For profil 4 settes den nominelle sannsynligheten for skred på veg lik  $\frac{1}{100}$

Den nominelle sannsynligheten for skred på veg i enhetsstrekning 2 blir da

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{1}{50}$$

Dette gir en akseptabel risiko, se Figur 7-1.

## Enhetsstrekning 3

Enhetsstrekning tre omfatter profil 5, 6 og 7. I området rundt profil 5 er det registrert tre skredhendelser, i henholdsvis 1757, 1927 og 1982. De registrerte skreden er store fjellskred. Det er mulig det har gått mindre skred i området som ikke er registrert. Det er planlagt å bygge en voll for å sikre vegen i profil 5.

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred på veg i Profil 5 settes til  $\frac{1}{50}$

Profil 6 er et tunnelpåhugg. Det antas at eventuelt rasmateriale på veg vil komme fra fjellblotningen ved påhugget. Antar at det er liten skredfare ved profilet per dags dato, men ved bygging av tunnelen kan rystelser fra sprengning føre til oppsprekking i bergmassene. Området rundt påhugget vil bli sikret med rensk, bolter og eventuelt steinsprangnett ved bygging av tunnelen. En kan likevel ikke forutsi hvilke spenningsendringer som vil skje i berget, og kan anta at det vil bli noe nedfall fra hammeren ved bygging av tunnelen.

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred i profil 6 settes til  $\frac{1}{50}$

Profil 7 ligger også ved et tunnelpåhugg. Dette påhugget ligger rett ved en fjellhammer med noe overheng. Det antas at eventuelt skredmateriale på veg i profilet kommer fra denne hammeren. Ved bygging av tunnelen må området detaljkartlegges for å vurdere eventuell sikring av hammeren. Området består av noe skredmateriale og hammeren er svært bratt, det må derfor vurderes sikring i profilet.

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred i profil 7 settes til  $\frac{1}{50}$

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred på veg i enhetsstrekning 3 blir da

$$\frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{50} \approx \frac{1}{17}$$

Dette gir en tolererbar risiko for skred på veg, se Figur 7-1.

#### Enhetsstrekning 4

Enhetsstrekning 4 omfatter profil 8. Registreringene viser en skredhendelse langs strekningen, dette var et snøskred i 1868. Plasseringen av skredet er ukjent. Det er mye mer vegetasjon i området nå enn den gang, en kan anta at skredfaren derfor er mindre. Det kan ha gått skred i området som ikke er registrert. Vurderinger gjort for rasfare ved tunnelpåhugget, viser at det ikke er skredfare her.

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred på veg settes til  $\frac{1}{100}$

Dette gir en akseptabel risiko, se Figur 7-1.

#### Enhetsstrekning 5

Enhetsstrekning 5 omfatter profil 9, 10 og 11. Profil 9 og 10 er kjente skredpunkt, Mongeura I og II. Vegen forbi skredpunktene er anbefalt at legges i tunnel på grunn av skredfaren og smal vegbredde.

Profil 9 er skredpunktet Mongeura II. Her har det gått 4 skred de siste 60 årene. Dette gir en årlig nominell sannsynlighet for skred på veg lik  $\frac{1}{15}$

Profil 10 er skredpunktet Mongeura I. Det er registrert tre skredhendelser i profilet. Det har gått to steinskred de siste hundre årene, dette gir en årlig nominell sannsynlighet for skred i profilet lik  $\frac{1}{50}$

Det ene skredet som er registrert i profil 10 er et snøskred, men i denne oppgaven blir det snøskredet vurdert til å gå i elva rett ved Mongeura, dette er behandlet som profil 11. Beregninger gir relativt store utløpslengder for snøskred i profilet, så den årlige nominelle sannsynligheten for skred på veg settes lik  $\frac{1}{50}$

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred på veg i enhetsstrekning 5 blir da

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{50} + \frac{1}{50} \approx \frac{1}{10}$$

Dette gir en uakseptabel risiko på enhetsstrekningen, se Figur 7-1. Statens Vegvesen anbefaler at det bygges tunnel forbi denne strekningen, noe som vil være den beste løsningen for denne strekningen. Et skredoverbygg vil være svært dyrt og gi større utfordringer til jernbanen, og vil heller ikke løse problemet med den smale vegbredden.



### Enhetsstrekning 6

Enhetsstrekning omfatter profil 12 og 13. Tunnelpåhugget til tunnelen mellom Skiri og Rygg ligger ved profil 12. Det er ikke registrert skredfare i dette profilet, emn på grunn av nærhet til andre områder med skredfare kan en ikke se bort fra skredhendelser i punktet.

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred settes til  $\frac{1}{200}$

Profil 13 er et registrert skredpunkt. Det gikk ett skred i anleggstiden for jernbanen, og det har gått flere snøskred i profilet, registreringen sier ikke noe om antallet.

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred i profil 13 settes til  $\frac{1}{50}$

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred i enhetsstrekning 6 blir da

$$\frac{1}{200} + \frac{1}{50} = \frac{1}{40}$$

Dette gir en tolererbar risiko, se Figur 7-1.

For å komme opp på et akseptabelt risikonivå anbefales det at tunnelportalen forlenges, slik at skred fra profil 13 blir tatt opp her.

### Enhetsstrekning 7

Enhetsstrekning 7 omfatter ingen skredpunkt. Det er ikke registrert skred på veg på denne enhetsstrekningen, men det er bratte skråninger hvor det er tegn til mindre steinsprangaktivitet i fjellsiden.

På grunn av de bratte fjellene rett ved settes den årlige nominelle sannsynligheten til  $\frac{1}{200}$

Dette faller innenfor en akseptabel risiko, se Figur 7-1.

### Enhetsstrekning 8

Enhetsstrekning 8 omfatter 3 profiler. Det er registrert både snø- og steinsred i profilet, men det er ingen registreringer for skred som har truffet veg. Beregninger viser at skredene har lange utløpslengder.




Profil 14 A og B er snøskred fra Rangåa. Det er registrert tre snøskred som har tatt liv, men det ikke beskrevet om disse når vegen. Beregningene som er gjort viser at skredene ikke vil nå vegen. Den årlige nominelle sannsynligheten settes til  $\frac{1}{200}$

Profil 15 er et skredpunkt hvor det har gått flere snøskred. Det kan finnes kjepler som sikringstiltak i profilet, men disse ble ikke funnet ved befaring. Beregninger som er gjort viser at utløpsområde til skred fra dette profilet kan gå til motsatt side av elva. På grunn av den lange utløpslengden og flere registrerte hendelser, settes sannsynligheten for skred på veg i profil 15 til  $\frac{1}{100}$ .

Den årlige nominelle sannsynligheten for skred på veg i enhetsstrekning 8 blir da

$$\frac{1}{200} + \frac{1}{100} \approx \frac{1}{65}$$

Dette gir en akseptabel risiko for skred på veg, se Figur 7-1.

Årlig nominell skredsannsynlighet pr. enhetsstrekning	I ≤ 1/2						
	II ≤ 1/5						
	III ≤ 1/10				③ ⑤		
	IV ≤ 1/20				⑥		
	V ≤ 1/50				① ② ⑧		
	VI ≤ 1/100				④ ⑦		
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 7-1 Enhetsstrekningenes risiko vist i risikoakseptmatrisen (Modifisert fra Dahle m.fl., 2012).



## 8 Diskusjon

---

### 8.1 Profiler

- Profilene benyttet ble valgt ut på grunnlag av rasfarevurderingen i kommunedelplanen og feltkartleggingen. Områdene er valgt ut fra nærheten til fjellside og ur, samtidig er alle de aktuelle tunnelpåhuggene analysert. Skredhendelser blir ofte bare registrert når de treffer veg eller gjør stor skade. Det kan derfor være områder hvor det går mindre skred som per dags dato ikke utgjør en trussel, men som kan bli en faresone ved endring av veglinjens plassering. Ved en grundigere feltkartlegging kunne en ha funnet disse områdene og utført og vurdert skredfaren i flere punkt.
- Bruk av ArcGIS til uthenting av profilene var svært effektiv, ulempen var at det kunne være vanskelig å se på kart og flyfoto akkurat hvordan topografien var. Noen av profilene kan derfor ligge på skrå mot fjellsiden, og da få en slakere helning og et lengre lengdeprofil.
- Det ble forsøkt laget en DEM av høydedata fra kartverket. Etter mye prøving og feiling måtte dette gis opp, det ble derfor brukt en DEM med 10 x 10 m oppløsning. Dette har gjort at profilene er unøyaktige, siden det bare er lagt inn høydedata for hver tiende meter. Høydemodellen antas likevel å være bra nok til å gi et greit resultat. En DEM med bedre oppløsning kunne ha fått frem bedre små overheng og knauser langs fjellsiden, og ville særlig gitt et bedre bilde av snøskredløpene.
- Profilene som ble hentet fra ArcGIS viste seg i noen tilfeller å være kortere enn utløpslengden som ble funnet ved bruk av denne modellen. Profilene kunne med fordel ha vært trukket lenger ut slik at en kunne se endepunktene til alle blokkene i RocFall.

### 8.2 RocFall

Steinsprang er et resultat av flere prosesser påvirket av klima og topografi, og er nesten umulig å forutsi. RocFall ble benyttet som programvare i denne oppgaven for å simulere ulike steinsprang. Resultatene viste generelt stor skredfare over hele strekningen, men feltkartleggingen på forhånd og samlingen av registrerte skredpunkter har vist at skredaktiviteten ikke er så stor som analysene viser. Siden RocFall er et 2D-program gir det kun et forenklet bilde av steinsprang.

- Løsnepunktene i profilet ble satt i områder med stor helning og i overgangssoner mellom slakt og bratt terreng. I fjellsider med så stor høydeforskjell som vi har her vil det kunne løsne blokker i flere punkt enn de som er satt, så analysene gir et konservativt resultat. Et alternativ kunne her ha vært å bruke et annet alternativ for løsnepunkt i RocFall, nemlig Line-seeder. En definerer da en linje som blokkene kan løsne fra, i stedet for et punkt. Blokkene blir så simulert fra et tilfeldig punkt

langs denne linjen. Denne metoden kunne ha gitt et mer nyansert bilde av blokkenes bane langs profilet enn det en har nå.

- I flere av profilene med stor skredfare ble det satt inn sikringstiltak i form av voller og fanggjerder for å sjekke effekten av disse. Flere steder ble det satt inn fanggjerder som sikring, selv om dette ikke er et reelt alternativ på grunn av kostnad og vedlikehold. Fanggjerdene har en begrenset styrke, og ville i de fleste tilfellene ikke ha noen effekt for de største blokkene. Et bedre alternativ for sikring i de små profilene rundt påhuggene uten store høydeforskjeller vil nok være rensk, bolting og eventuelt steinsprangnett. Disse sikringstiltakene er aktive sikringstiltak og sikrer blokkene i utløpsområdet.
- Vollene som ble satt inn var 10 m høye (unntatt voll i Profil 2). Ser at vollens plassering har stor betydning for sikringseffekten. Desto lenger bort fra foten av uren man kan plassere vollen jo større effekt. Dette skyldes at blokkenes totale kinetiske energi avtar når terrenget blir flatere. Noen steder har vollene liten effekt (Profil 4 og 5, henholdsvis 32 % og 58 %). Vollen i profil 4 hadde i tillegg et gjerde på toppen som tok opp en del blokker, altså er effekten av selve vollen enda mindre. Dette skyldes at vollen var plassert i nedfallsområdet for blokkene og ikke i utløpsområdet. Blokkene har fortsatt veldig stor energi i dette punktet. For å øke effekten av vollens plassering i dette punktet måtte vollen ha vært mye høyere, og med fordel også smalere, slik at blokkene som traff på vollen ikke kunne rulle men heller falle ned på lesiden. I profil 5 hvor vollen har en effekt på 58 % kunne vollen ha blitt plassert enda nærmere vegen. Det er lurt å plassere vollen så nær vegen så mulig slik at blokkene mister mye energi før de når vollen, om dette lar seg gjøre arealmessig.
- Noen av profilene som er valgt ut er ikke basert på om det faktisk er stor skredfare i området. Aktsomhetskartet viser at det i området for profil 2, profil 3 og profil 4 både er løsne- og utløpsområde, men ved feltbefaringen kunne det derimot ikke sees særlig mye skredmateriale av nyere alder, verken i ura eller forbi. Ura er jo et håndfast bevis på at det har vært skredaktivitet i området, men vegetasjon i ura forteller om lite skredaktivitet i nyere tid. Grunnen til at disse profilene ble valgt ut var nærheten til den nye vegen. RocFall-analysene viste derimot stor skredfare i profilene.
- For profil 9 og profil 10 i Mongeura traff bare en liten andel av blokkene vegen. Dette er et område med såpass stor skredfare og smal veg at Statens Vegvesen anbefaler at det bygges tunnel forbi strekningen. Det kan antas at skredfaren som blir simulert i RocFall er reell i disse profilene, men hva betyr det at skredfaren som simuleres er mye større i områder hvor en ikke finner skredmateriale og har liten skredaktivitet? Ved bruk av RocFall sjekker man bevegelsen til 1000 (valgt verdi i denne oppgaven) blokker langs et gitt profil. Dette betyr derimot ikke at 1000 blokker faktisk vil løsne og rase ut. RocFall gir bare en simulering for hvordan det kan forløpe dersom blokker løsner.

## Valg av parameterverdier

I RocFall kan brukeren velge og bestemme flere av inn-verdiene til analysen.

- Restitusjonskoeffisientene er valgt på grunnlag av studier gjort i Sogn og Fjordane. En antar at verdiene vil gi gode resultater også i Romsdalen, men for mer nøyaktige resultater skulle det blitt studert hvilke områder verdiene ble bestemt for i Sogn og Fjordane, slik at en kunne vært tryggere på at riktige verdier ble brukt.
- Det er lagt inn restitusjonskoeffisient for ur med skog, men ikke for skog på bar mark. Det har også vært vanskelig å se hvilken grunn skogen vokser på. For områder med skog på bar mark ble top soil vegetation koeffisienten benyttet, men det er usikkert i hvor stor grad trær er tatt med i beregningen av dette tallet.
- Parameterverdiene ble bestemt ut fra flyfoto. Dette kunne med fordel ha blitt gjort i felt, slik at en kunne ta høyde for variasjoner i vegetasjon og blokkstørrelser.
- Blokkene som ble simulert hadde en størrelse på  $0,1 \text{ m}^3$ ,  $1 \text{ m}^3$  og  $10 \text{ m}^3$ . De største blokkene ble valgt på grunnlag av observasjoner i felt. Langs den nye veglinjen forbi profil 3 og 4 lå flere gamle blokker med en størrelse på omtrent  $10 \text{ m}^3$ , men også noen som var større. Det vil også løsne blokker som er mindre enn de valgte størrelsens, med svært stor variasjon mellom størrelsene. Det antas likevel at de valgte blokkene gir et greit estimat for RocFall-analysen.

### 8.3 Tommelfingerregel-metoden for utløpsdistanse

Tommelfingerregelen for estimering av utløpslengden til steinsprang er en veldig enkel topografisk beregningsmetode. Metoden gir bare et estimat for utløpslengden, og benytter bare høyden og lengden som faktorer. Skråningens form, materialeegenskaper o.l er utelatt fra beregningen.

Metoden er benyttet bare som et første estimat av utløpslengden. Høyden av fjellsiden er tatt med i beregningen, og det er ikke tatt hensyn til at blokkene kan ha løsneområder lenger nede i fjellsiden. Dette vil gi noe lenger utløpslengder for steinsprang enn ved bruk av RocFall. I de aller fleste profilene ligger løsnepunktet derimot ikke langt fra toppen av profilet, derfor ble det valgt å gjøre alle estimeringene fra det høyeste punktet.

Modellen gir ofte lenger utløpslengder enn RocFall-analysene, dette gjelder alle profiler bortsett fra profil 3. I dette profilet er det derimot usikkert om metoden gir et bra svar, på grunn av hammeren.

### 8.4 $\alpha$ - $\beta$ -metoden

$\alpha$ - $\beta$ -metoden ble brukt til snøskredberegningene i denne oppgaven. Modellen er en enkel modell for å beregne utløpslengden til et snøskred.

- Siden det ikke finnes noen kjente utløpslengder for snøskredene som er gått i området er det vanskelig å si noe om modellen gir et godt estimat.



- Intervallene på x- og y-aksen i profilene er noen steder 200 m. Dette gjør at målingen av løsnepunkt og utløpspunkt kan bli noe unøyaktig. Kortere intervaller ville gjort disse resultatene bedre.
- Plassering av løsne- og 10°-punkt er gjort for hånd ved bruk av gradeskive. Dette kan gi relativt store feilkilder. I tillegg er strektykkelsen på profiloverflaten relativt stor, noe som også kan gi feilestimat.
- Det finnes lite data om løsnepunkt for snøskred og utløpslengde. Det har derfor blitt valgt et løsnepunkt for snøskred, med kriteriet at løsneområdet skal ha en helning på 35 – 45 °, som er helning hvor flest snøskred utløses.
- Bruken av standardavvik i oppgaven gir store forskjeller i resultatene. Standardavviket som ble satt til 1,15 ° ble valgt for å korrelere for avvik i modellen i forhold til 20-50 års skred mot 100 – 300 års skred som modellen er basert på.
- Metoden er enkel i bruk og det gjør at en fort kan beregne antatt utløpslengde, dersom en bruker litt tid på å få nøyaktige oppmålinger.
- Modellen gir generelt kortere utløpslengder enn energilinjemodellen, dette er nok på grunn av det innsatte standardavviket.

## 8.5 Energilinjemodellen

Energilinjemodellen ble brukt for å beregne utløpslengden til snøskred. Modellen er avhengig av flere parametere enn  $\alpha$ - $\beta$ -metoden, blant annet skredets flyte høyde og terminalhastigheten.

- Skredets flyte høyde ble bestemt ut fra helningen i løsneområdet. På grunn av lite detaljerte profiler er det store feilmarginer ved denne oppmålingen. Prøving av ulike vinkler viste at ved å minke gradtallet med 1 kunne utløpslengden øke med over 100 m. Profilene med størst helning i utløpsområdet får kortere utløpslengde, og har mer samsvar med  $\alpha$ - $\beta$ -metoden, slik som i profil 14A.
- Terminalhastigheten ble bestemt på grunnlag av flyte høyden og vinkelen til linja fra løsneområdet til 20°-punktet. Linja skal egentlig trekkes fra løsneområdets nedre begrensning til 20°-punktet, men dette punkt ble satt til å være det samme som løsneområdets øvre begrensning siden det finnes lite data om snøskredene og det da blir vanskelig å stedfeste det nedre løsneområdet.
- Terminalhastighetene funnet i denne oppgaven varierer fra 34 – 62 m/s. I følge litteraturen når snøskred hastigheter på 60 – 70 m/s i ekstreme tilfeller (Norem, 2011). Noen av hastighetene er derfor svært store. Fjellskredene som går i Romsdalen er preget av store høydeforskjeller, så selv om de er små er det ikke utenkelig at de kan oppnå store hastigheter. (Halgeir Dale, pers.kom., 2013).
- Energilinjemodellen er basert på grunnlag av skred med 100 – 300 års returperiode. Praksis for nye veger tilsier at det skal dimensjoneres for 20 – 50 års returperiode, se kapittel 4.4.1. 100-300 års skredene vil naturligvis ha en lenger utløpslengde enn 20-50 års skredene, men det er ikke gjort noe videre arbeid for å korrelere energilinjemodellen for dette.

- Det er usikkert i hvilken grad energilinjemodellen er beregnet for utløpslengden til snøskyen i et skred. Dersom det er tatt med som en del av utløpslengden kan det være en forklaring på at utløpslengden blir så lang i forhold til  $\alpha\beta$ -metoden.

## 8.6 Kartleggingen

- Det ble utført enkel kartlegging i felt til oppgaven. Kartleggingen kunne med fordel ha foregått over en lengre periode og med mulighet for innsamling av flere data, da spesielt med tanke på plassering av profiler og materialegenskaper i RocFall.
- Første runde kartlegging foregikk i juni. Det ble valgt å ha kartleggingen så seint for at snøen skulle ha forsvunnet, men på grunn av varmt vær i ukene før kartleggingen, var det kommet mye løv på trærne. Dette første arbeidet kunne med fordel ha blitt gjort tidligere på året slik at en hadde bedre sikt mot fjellsiden.
- Bildene som ble tatt til bruk i denne oppgaven gir ingen god oversikt over området. Det er derfor blitt benyttet ulike bildetjenester, som flyfoto og 3D-bilder.

## 8.7 Skredfare

### **Profil 1**

Det er fare for at skred fra profil 1 vil treffe husene i området, men de vil ikke treffe vegen. Veglinjens plassering skal heller ikke endres i området, så skredfaren på veg er liten.

### **Profil 2**

Eventuelle skred fra profil 2 vil ikke treffe veg. I dette profilet vil også skred fra profil 3 ha utløpsområde, men det er lite skredmateriale i området og ingen registrerte skredhendelser i nyere tid. Profilet ender i det vestligste punket hvor veglinjens plassering endres i forhold til dagens plassering. Faren for skred på veg fra profil 2 er liten.

### **Profil 3**

Profil 3 gir nok et bilde av skredfaren som ikke er reelt. Beregningene viser stor skredfare i området, men lite materiale og få skredhendelser tyder på noe annet. Det bør uansett gjøres en vurdering av skredfaren fra hammeren dersom vegen bygges langs den planlagte traseen.

### **Profil 4**

Analysene viser stor skredfare fra profil 4. Det er derimot ingen registrerte skredhendelser her, og det er lite nytt skredmateriale i ura og foran ura. På grunn av nærheten til ura bør området og ura kartlegges i større grad dersom veglinjen plasseres der det er planlagt.

### **Profil 5**

Profil 5 viser stor skredfare. Det er flere registrerte skredhendelser langs dette profilet, det siste registrerte skredet er ett av de største i nyere tid i Romsdalen. Skredfaren anses derfor å være relativt stor i området. Det er planlagt å bygge en 10 m høy voll mellom

fjellsiden og den planlagte veglinjen. Flere beregninger burde gjennomføres for å undersøke om vollen skulle vært høyere slik at den kunne ta opp større skred. Løsneområdet for steinsprang er høyt, så blokkene vil få stor fart og høy energi før de treffer bakken.

### **Profil 6**

Profil 6 ligger ved et tunnelpåhugg. Skredfaren i området kommer eventuelt fra skred i profil 5. Ved bygging av tunnel gjennom Mongehamran må det gjøres en detaljert kartlegging av hammeren, og eventuelle løst materiale må enten fjernes eller sikres.

### **Profil 7**

Profil 7 ligger ved det andre påhugget til tunnel gjennom Mongehamran. Her er faren en knaus med noe overheng rett ved tunnelpåhugget. Det er lite tegn til nylig skredaktivitet og en antar at blokker som ramler ned her ikke blir registrert fordi de ikke treffer vegen. Området for påhugg ligger delvis i ura, så det må gjøres en vurdering av stabiliteten videre oppover når vegen skal bygges. Eventuelt rasfarlig materiale fra knausen kan trolig sikres med rens, bolting og eventuelt steinsprangnett.

### **Profil 8**

Profil 8 ligger langs fjellsiden ned mot en bloting som skal benyttes for tunnel fra Rygg til Skiri. RocFall viser ingen skredfare ved påhugget. Profilet ligger langs en hammer på skrå, så en antar at blokker som løsner lenger oppe faller nedover fjellsiden langs et brattere spor. Blokker som løsner fra området ved Mongefossen antas å bli stoppet av hammeren før de når tunnelpåhugget. Skredfaren i området anses derfor å være liten.

### **Profil 9**

Profil 9 ligger i Mongeura, og er et av to registrerte skredpunkter. Det er registrert flere skredhendelser her. RocFall viser at noen blokker vil falle på veg i dette profilet, og siden vegen ligger i foten av ura antar en at RocFall gir et resultat som stemmer godt. Det er planlagt tunnel forbi denne strekingen, så dette profilet er ikke tatt med i vurderingen av skredfaren ved bruk av risikoakseptkriterier.

### **Profil 10**

Profil 10 ligger i Mongeura, og er det andre av to registrerte skredpunkt på strekingen. Registreringene viser flere skredhendelser her, og RocFall viser at flere blokker vil havne på vegen. På grunnlag av de registrerte hendelsene antar en skredfaren i profilet er stor. Det er anbefalt at vegen legges i tunnel forbi denne strekingen, så dette profilet er ikke tatt med i vurderingen av skredfaren ved bruk av risikoakseptkriterier.

### **Profil 11**

Profil 11 er en elv som renner langs Mongeura. Det er registrert ett snøskred her, med ukjent størrelse. Beregningene for snøskredets utløpslengde viser at skred i profilet kan treffe dagens veglinje. Det er anbefalt tunnel forbi denne vegstrekingen, så profilet er ikke tatt med i vurderingen av skredfaren ved bruk av risikoakseptkriterier.

**Profil 12**

Profil 12 ligger ved påhugget til tunnel fra Skiri til Rygg. Det er ikke registrert skredhendelser i profilet, men det går hyppige snøskred i profil 13 som ligger rett ved. Påhugget beskyttes av en rygg som antas å ta opp skredmateriale vest for påhugget. På grunn av nærheten til tunnelpåhugget er det vurdert sikringstiltak. Det er anbefalt en forlenget tunnelportal for å ta opp snøskred fra profil 13, denne portalen vil også ta opp skredmateriale fra eventuelle skred i profil 11.

**Profil 13**

Profil 13 viser generelt stor snøskredfare. Registreringene forteller om flere skredhendelser, både stein- og snøskred. Den største faren i dag er nok knyttet til snøskred. Det er anbefalt å sikre vegen med en forlenget tunnelportal fra påhugget ved profil 12. Ved bruk av risikoakseptkriterier blir den forlengede tunnelportalen ikke tatt med i vurderingen.

**Profil 14A**

Profil 14A viser at det kan gå snøskred på en gårdsveg, men de vil ikke treffe dagens veg. Det er ikke er planlagt noen endring av veglinjens plassering i dette punktet. Skredfaren på veg anses ikke som stor i dette profilet.

**Profil 14B**

Beregningene viser at det kan gå skred på en gårdsveg i profil 14B. Det er ikke registrert skredhendelser på veg i dette profilet, men på grunn av størrelsen av tidligere snøskred anses skredfaren som moderat.

**Profil 15**

Resultatene fra profil 15 viser at snøskred kan gå på vegen i dette profilet. Det er ikke registrert skredhendelser på veg de siste årene, men området har vært utsatt for flere store skredhendelser tidligere, så skredfaren anses som moderat.

**8.8 Risikoakseptkriterier for skred på veg**

Det er gjort en risikoaksept-vurdering ved skred på veg ved bruk av en risikoakseptmatrise. Resultatene viser at 5 av enhetsstrekningene har akseptabel risiko, 1 strekning har tolererbar risiko og 2 av strekningene har uakseptabel risiko. I området med tolererbar risiko er det allerede planlagt sikringstiltak i form av en forlenget tunnelportal. For områdene med uakseptabel strekningsrisiko er det planlagt en voll i enhetsstrekning 3 og tunnel forbi enhetsstrekning 6.



## 9 Konklusjon

---

- Beregningsmodellene i programmet RocFall gir gode estimat for skredbevegelse.
- Tommelfingerregelen gir generelt en lenger utløpslengde enn RocFall-simuleringene.
- I områder hvor det tidligere har forekommet skred burde løsneområdet blitt studert i større grad for å se etter flere løse blokker, løsneområdet burde generelt ha blitt studert mer detaljert
- Oppløsning til DEM på 10 x 10 m gir et greit estimat, men for å kunne gi gode resultat måtte en høydemodell med bedre oppløsning blitt brukt.
- Plassering av voll som sikringstiltak bør gjøres så nær vegen som mulig, slik at blokkenes hastighet avtar før de treffer vollen.
- Sikringstiltak i form av fanggjerdene anses ikke som et aktuelt sikringstiltak i noen av de undersøkte profilene.
- Ved påhuggene trengs detaljkartlegging før bygging, for å fastslå om det er behov for sikringstiltak i påhuggsområdene og rundt disse.
- Veg i tunnel fra Rygg til Skiri vil være det beste alternativet, da det ikke er plass til å bygge nye sikringstiltak i området. Undergraving av Mongeura vil kunne føre til utglidninger.
- Snøskredberegningene gir avvikende svar i forhold til hverandre, dette skyldes en korrelering av  $\alpha\beta$ -modellen til å gjelde for 20-50 års skred. De beregnede utløpslengdene stemmer godt overens med områder med registrerte skredhendelser på veg.
- Risikoakseptkriteriene viser at det er to områder med uakseptabel risiko på strekningen, i disse områdene er det allerede anbefalt sikringstiltak i form av voll og tunnel. I området med tolererbar risiko bør det bygges et forlenget tunnellop som fanger og skredmassene i profilet. Noen av områdene med akseptabel strekningsrisiko bør analyseres i større detalj for å kunne fastslå risikoen.
- Risikoakseptkriteriene er en enkel måte å få en oversikt over skredfaren langs en strekning. Etter hvert som registrering av skredhendelser blir mer systematisk vil det være lettere å anslå den årlige nominelle sannsynligheten for skred på veg.





## Referanser

---

- Bakkehøi, S. and H. Norem (1994). *Sammenlikning av metoder for beregning av maksimal utløpsdistanse for snøskred*. Norges Geotekniske Institutt, Oslo, rapport nr 581200-30.
- Bakkehøi, S. og Norem, H. (1992) *Estimating run-out distances for extreme snow avalanches*. Norges Geotekniske Institutt, Oslo, rapport nr 581200-27.
- Bjordal, H. m.fl. (2011). *Sikring av veger mot steinscred* (Grunnlag for veileder, Statens Vegvesen) Oslo: Vegdirektoratet. VD rapport nr 32.
- Blikra, L. H., Braathen, A., Anda, E., Stalsberg, K. og Longva, O.(2002). *Rock avalanches, gravitational bedrock fractures and neotectonic faults onshore northern West Norway: Examples, regional distribution and triggering mechanisms*. Oslo: Norges Geologiske Undersøkelse. NGU Report 2002.016.
- Dahle, H., Anda, E., Saintot, A. og Sætre, S. (2008). *Faren for fjellskred fra fjellet Mannen i Romsdalen*. Trondheim, Norges Geologiske Undersøkelse. NGU rapport nr 2008.087.
- Dahle, H., Norem, H., Bjordal, H., Larsen, J.O.(2012) *Forslag til risikoakseptkriterier for skredhendelser på veg*.(Notat) Molde: Statens Vegvesen.
- Dahle, Halgeir (2013) Personlig kommunikasjon.
- Devoli, G., Eikenæs, O., Taurisano, A., Hermanns, R., Fischer, L., Oppikofer, T. og Bunkholt, H. (2011). *Plan for skredfarekartlegging - Delrapport Steinsprang, steinscred og fjellskred*. Oslo, NVE. Rapport nr 15/2011.
- EKlima (2013) Meteorologiske data, hentet 1.12.2013, fra <http://eklima.met.no>
- Etzelmüller, B., Berthling, I., & Sollid, J. L. (1998, June). The distribution of permafrost in Southern Norway; a GIS approach. In *Seventh International Conference on Permafrost, Proceedings. Collection Nordicana. Centre d'Etudes Nordiques, Universite Laval, Quebec, PQ, Canada* (pp. 251-257).
- Flyfoto, Finn.no – karttjenester.(2013) Hentet 23.8.2013, fra <http://kart.no/finn>.
- Geodata Tromsø (2013) *Geocache*. Hentet 3.3.2013, fra ArcGISOnline (funksjon i ArcMap)
- GoogleMaps (2013). *Kart og fly/satellittfoto*. Hentet fra [maps.google.no](http://maps.google.no), 30.5.2013.
- Gulesider.no (2013) Kart og flyfoto. Hentet 15.12.2013, fra [gulesider.no/kart](http://gulesider.no/kart)
- Håland, G. (2012). *Kapittel 23 Skred og Skredsikring*. Hentet 15.9.2013, fra [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/404943/binary/697329](http://www.vegvesen.no/_attachment/404943/binary/697329)
- Kartverket (2013) Topografisk Norgeskart. Hentet 15.5.2013, fra <http://kart.statkart.no/adaptive2/default.aspx?gui=1&lang=2>.
- Kartverket (2013) Digital høydemodell (DEM). Hentet 3.3.2013 fra <http://data.kartverket.no/download/content/geodataprodukter?korttype=3595&aktualitet=All&datastruktur=All&dataskema=All>.

- Lied, K. og K. Kristensen (2003). *Snøskred. Håndbok om snøskred*. Nesbru, Norge, Vett & Viten AS.
- NGI (2013) [1] Bilde, hentet 14.8.2013, fra [http://www.ngi.no/upload/Utvalgte%20tema/Skred/Skredtyper/Steinsprang\\_josne\\_LaerdaL.jpg](http://www.ngi.no/upload/Utvalgte%20tema/Skred/Skredtyper/Steinsprang_josne_LaerdaL.jpg)
- NGI (2013) [2] Bilde, hentet 14.8.2013, fra <http://www.ngi.no/upload/Utvalgte%20tema/Skred/Skredtyper/steinskred.jpg>
- NGI (2013) [3] Bilde, hentet 14.8.2013, fra <http://www.ngi.no/upload/Utvalgte%20tema/Skred/Skredtyper/fjellskred.jpg>
- NGI (2013) [4] Bilde, hentet 13.11.2013, fra <http://snl.no/sn%C3%B8skred>
- NGI (2013) [5] Bilde, hentet 13.11.2013, fra <http://snl.no/sn%C3%B8skred>
- NGI (2013) [6] Bilde, hentet 13.11.2013, fra <http://snl.no/sn%C3%B8skred>
- NGI (2013) [7] Bilde, hentet 17.11.2013, fra <http://snl.no/sn%C3%B8skred>
- NGU (2013) [2] Berggrunnskart. Hentet 14.4.2013, fra <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>
- NGU (2013) [3] Marin grense. Hentet 14.4.2013, fra <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- NGU (2013) [4] Løsmassekart. Hentet 14.4.2013, fra <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- NGU (2013) [5] Aktsomhetskart for steinsprang. Hentet 15.9.2013, fra <http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/nedlasting/>
- NGU (2013) [7] Snø- og steinskred aktsomhetsområder. Hentet 15.9.2013, fra <http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/nedlasting/>
- NGU (2013) [6] Aktsomhetskart for snøskred. Hentet 15.9.2013, fra <http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/nedlasting/>
- NGU, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Statens landbruksforvaltning, Statens Vegvesen, Jernbaneverket, Statens Kartverk. (2006). *Store fjellskred i Norge*. Hentet 30.11.2013, fra [http://www.regjeringen.no/upload/kilde/lmd/rap/2006/0004/ddd/pdfv/295307-fjellskred\\_i\\_norge2.pdf](http://www.regjeringen.no/upload/kilde/lmd/rap/2006/0004/ddd/pdfv/295307-fjellskred_i_norge2.pdf).
- Norem, H. (2011). *Veger og snøskred, Håndbok om sikring mot snøskred, Høringsutgave*. Oslo, Norway, Statens vegvesen. VD rapport nr.27.
- Norgei3D(2013). 3Dbilder av terrenget. Hentet 14.10.2013, fra <http://www.norgei3d.no>
- Normann, Andreas. (Ukjent årstall). Rashistorier.
- NVE (2011). *Veileder: Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner. Vedlegg 2 til NVEs retningslinjer: Flom- og skredfare i arealplaner*. Oslo, NVE.
- Oterholm, A.I. (2008). *Bruk av ArcGIS*. Hentet 25.04.2013, fra <https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/16810715/arcgis-innf%C3%B8ring-2.pdf>.
- Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. (2006) *Landet blir til*. Oslo, Norsk geologisk forening.

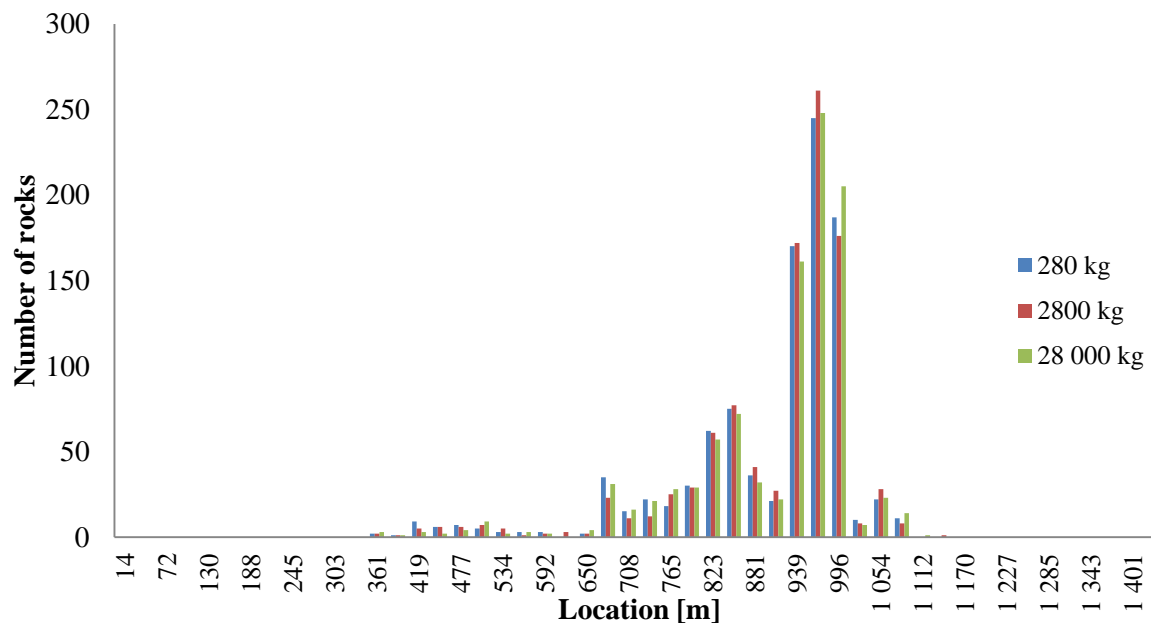
- RocScienceInc. (2003) *RocFall tutorial*. Hentet 15.9.2013, fra [http://www.rocscience.com/support/rocfall/RF\\_adv\\_tutor\\_1\\_tutorial.pdf](http://www.rocscience.com/support/rocfall/RF_adv_tutor_1_tutorial.pdf)
- RocScienceInc. (2013) *Statistical Analysis of Rockfalls*. Hentet 03.12.2013, fra <http://www.rocscience.com/products/12/RocFall>.
- Senorge.no (2013) *Snødybde data*. Hentet 10.12.13, fra <http://www.senorge.no/graphapp/index.html?X=131508&Y=6944208&searchT=10000&stationId=3000.61420.0.2002.1&app=senorge>.
- Sintef (2013). *Typiske materialdata for naturstein*. Hentet 13.9.2013, fra [http://www.sintef.no/upload/Teknologi\\_og\\_samfunn/Berg%20og%20geoteknikk/Lister/Typiske%20materialdata%20for%20naturstein.pdf](http://www.sintef.no/upload/Teknologi_og_samfunn/Berg%20og%20geoteknikk/Lister/Typiske%20materialdata%20for%20naturstein.pdf)
- Skrednett.no (2013) Skredhendelser. Hentet 14.4.2013, fra <http://skredatlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=Skredatlas&MapType=Skredhendelser&Extent=-100000,6410000;1140000,7960000>
- Statens Vegvesen (2002). *Monge – Marstein. Reguleringsplan*. (Reguleringsdelplan, Statens Vegvesen) Molde: Statens Vegvesen, Region midt.
- Statens Vegvesen (2007). *E136 Flatmark – Monge. Kommunedelplan med konsekvensutredning*. (Kommunedelplan, Statens Vegvesen) Molde: Statens Vegvesen, Region midt.
- Statens Vegvesen (2013) Vegkart. Hentet 12.9.13, fra <https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/>
- Statskog (2013) Bilde, hentet 28.10.2013, fra <http://www.flickr.com/photos/statskog/6969238192/>
- Stevens, W. (1998). *RocFall: A Tool for Probabilistic Analysis, Design of Remedial Measures and Prediction of Rockfalls*. (Masteroppgave, Applied Science, Graduate department of Civil Engineering, University of Toronto) Canada: University of Toronto. Hentet 10.11.2013, fra: <http://www.rocscience.com/assets/files/uploads/7756.pdf>
- Wikipedia (2013) Bilde, hentet 17.10.2013, fra [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Shotcrete\\_Covered\\_Cliff\\_Auckland.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Shotcrete_Covered_Cliff_Auckland.jpg).
- Wyllie, D.C. og Mah, C.W. (2004). *Rock slope engineering. Civil and mining*. (4. utgave) New York, USA: Spon Press.



# A VEDLEGG

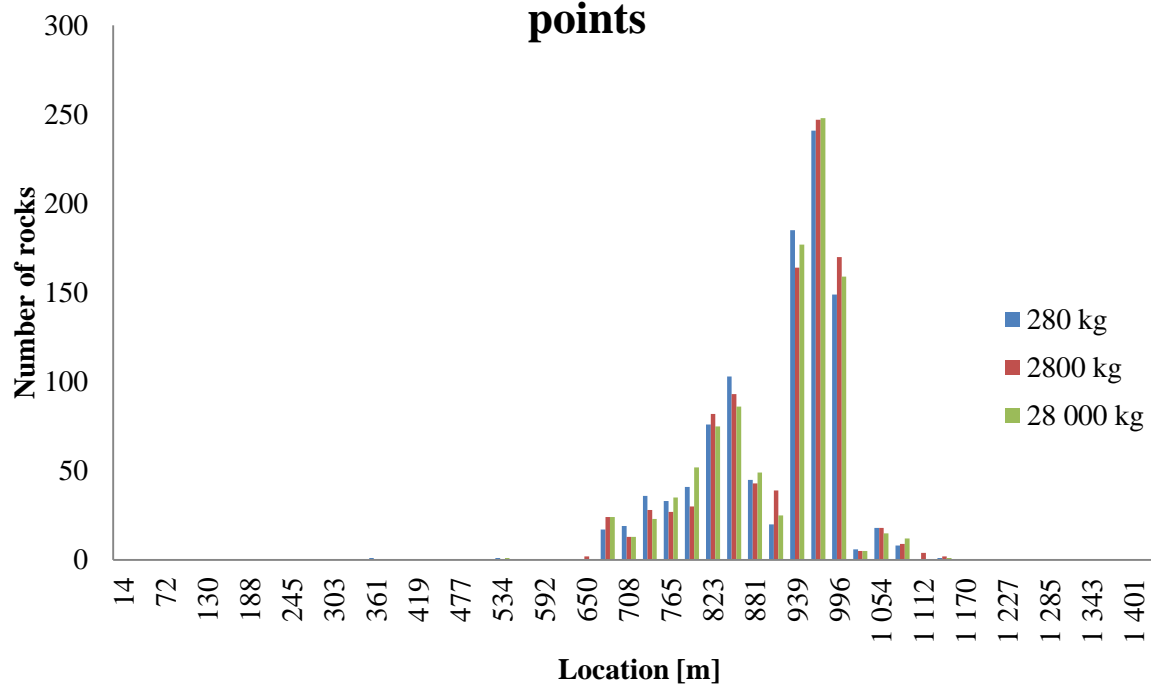
## Profil 1

### Profil 1 A - Horizontal Location of Rock End-points



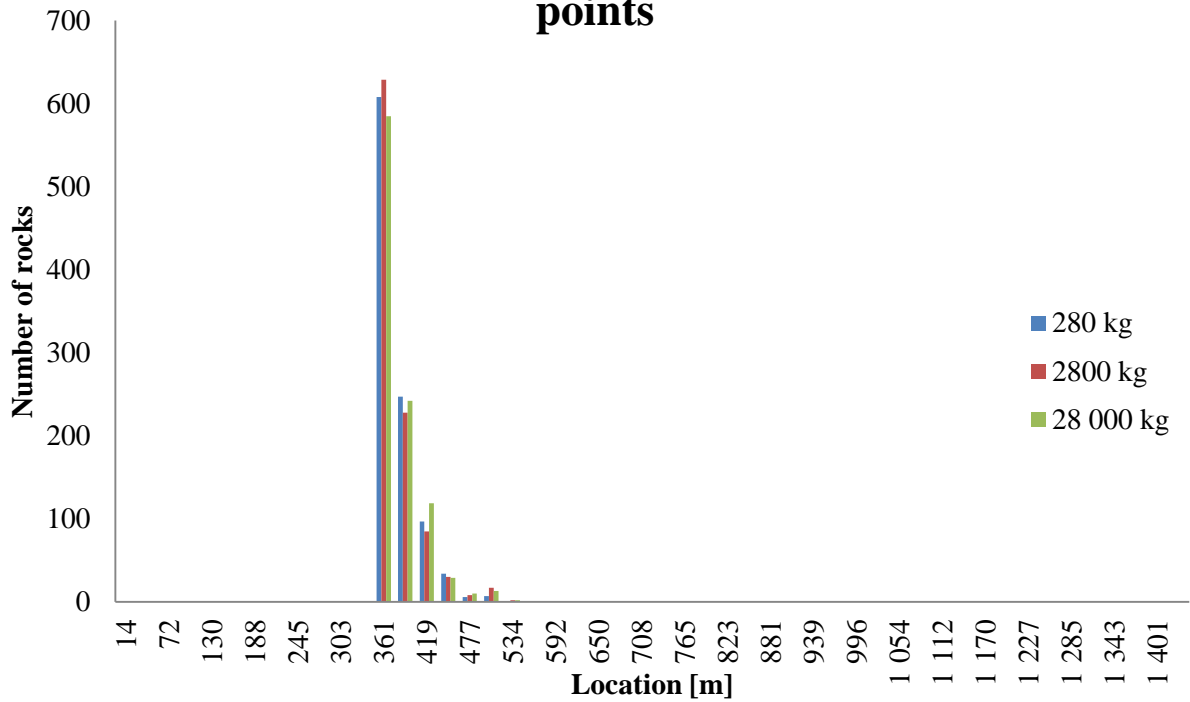
Figur A-1 Fordeling av endepunkt langs Profil 1A.

### Profil 1B - Horizontal Location of Rock End-points



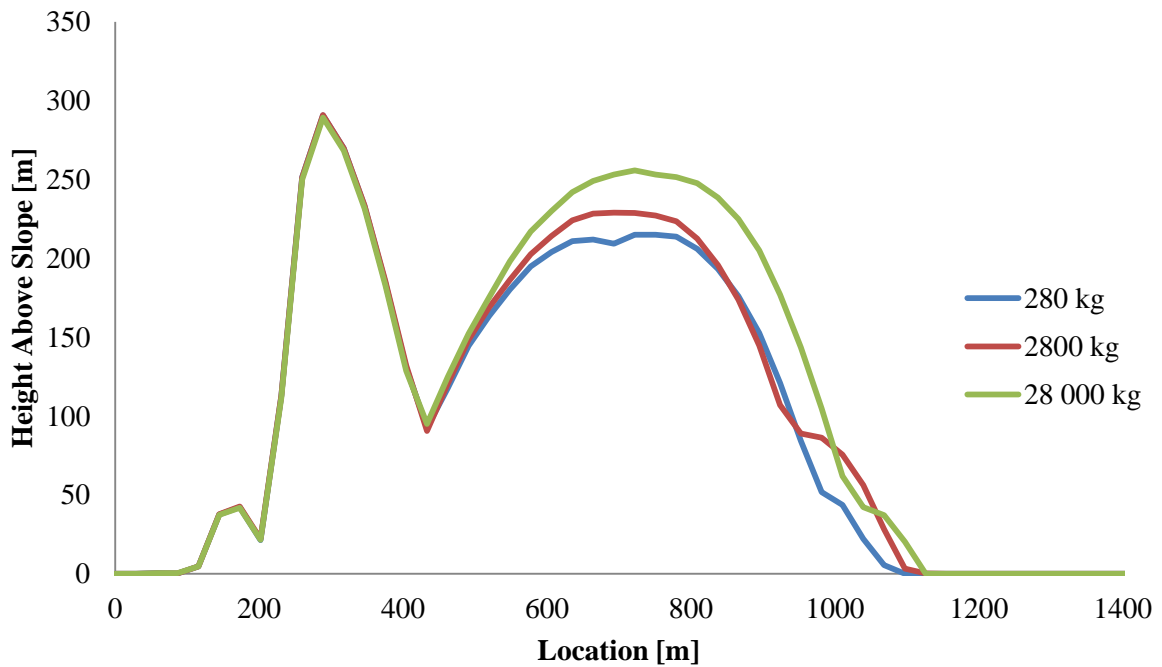
Figur A-2 Fordeling av endepunkt langs Profil 1B.

### Profil 1C - Horizontal Location of Rock End-points



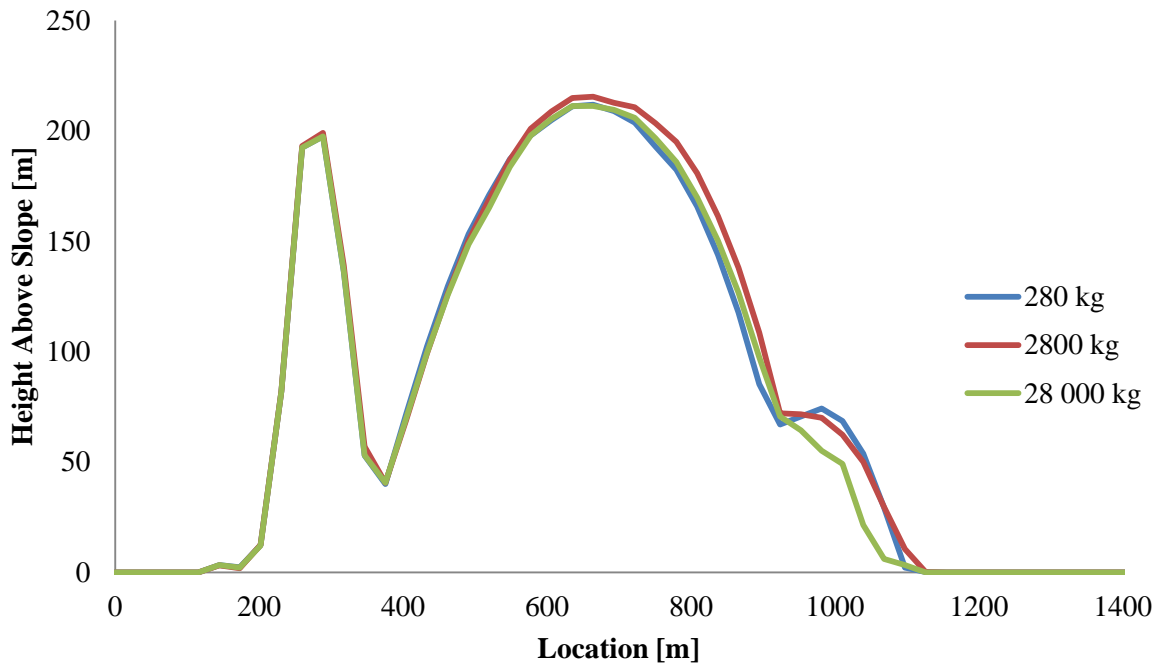
Figur A-3 Fordeling av endepunkt langs Profil 1C.

### Profil 1A - Bounce Height Envelope



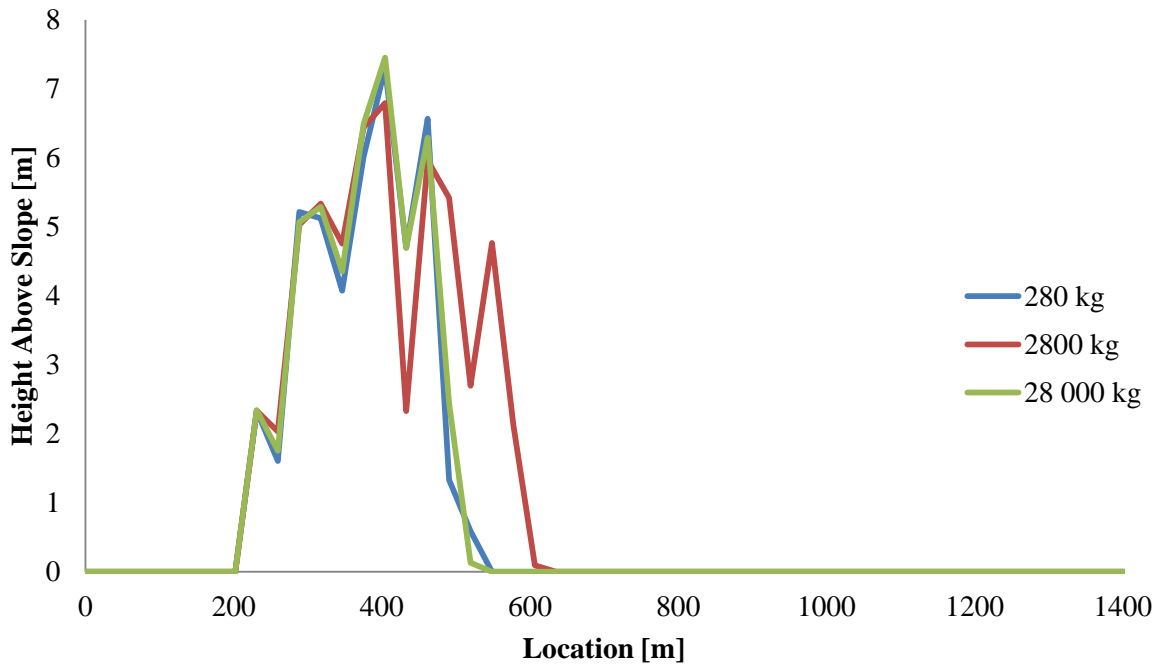
Figur A-4 Blokkenes spretthøyde langs Profil 1A.

## Profil 1B - Bounce Height Envelope



Figur A-5 Blokkenes spretthøyde langs Profil 1B.

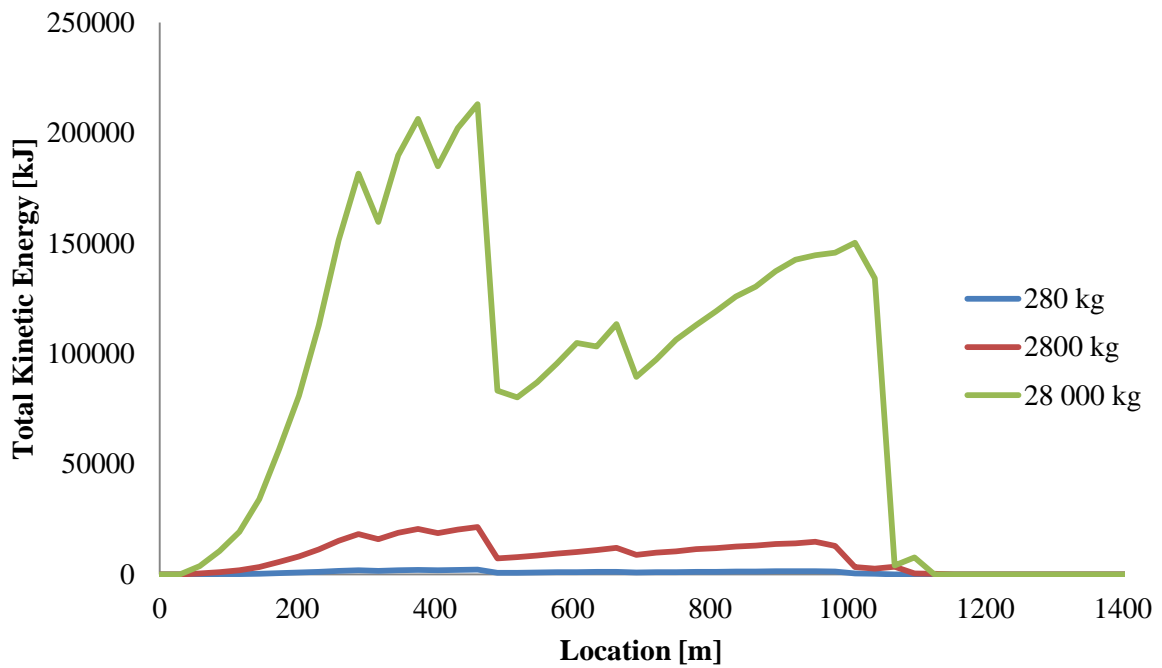
## Profil 1C - Bounce Height Envelope



Figur A-6 Blokkenes spretthøyde langs Profil 1C.

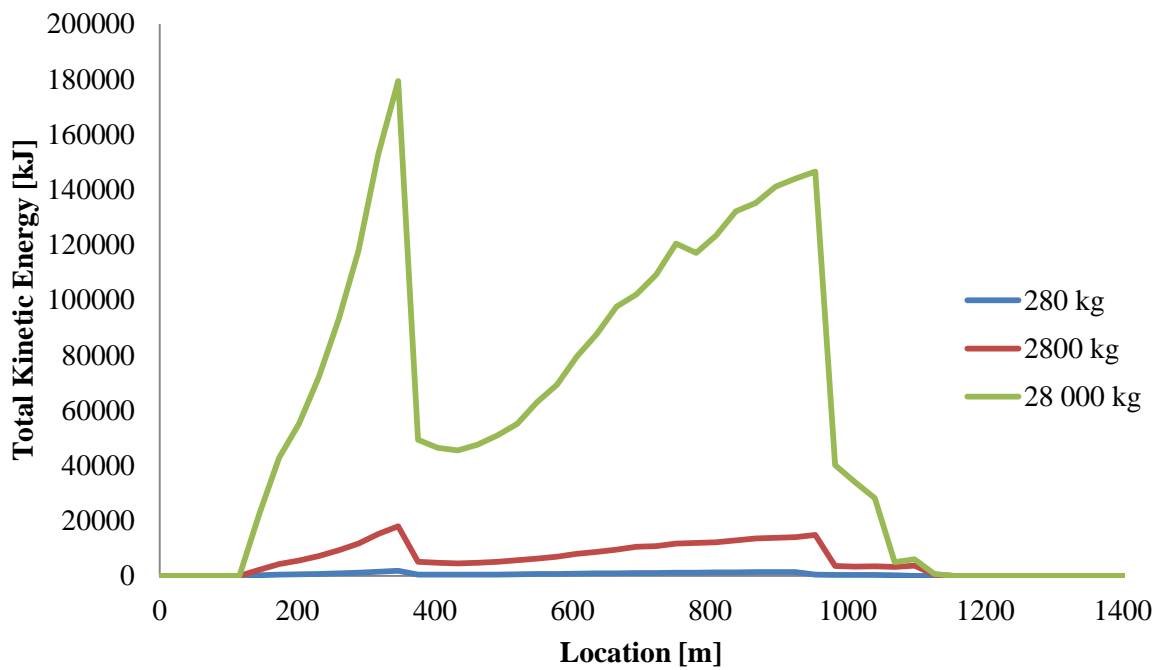


### Profil 1A - Total Kinetic Energy Envelope



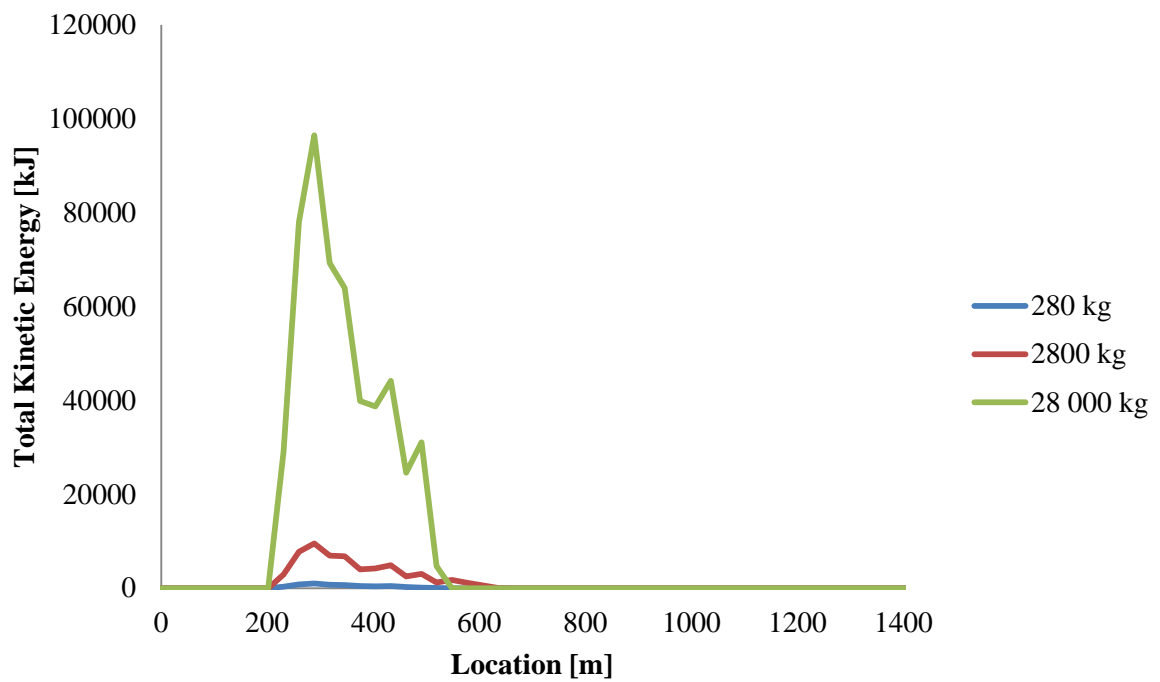
Figur A-7 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 1A.

### Profil 1B - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-8 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 1B.

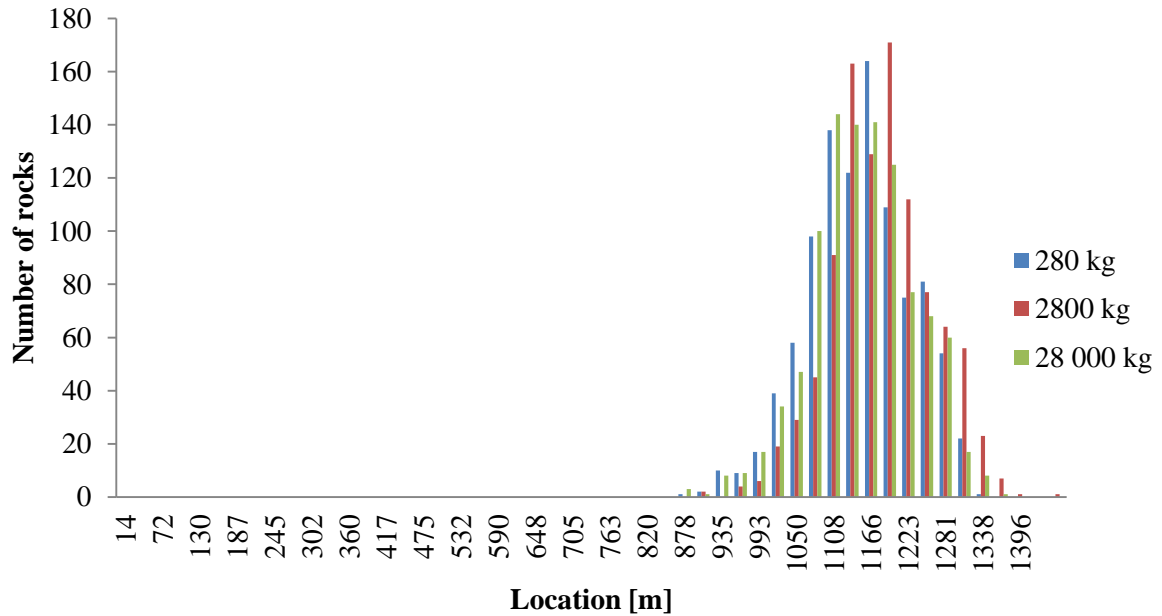
## Profil 1C - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-9 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 1C.

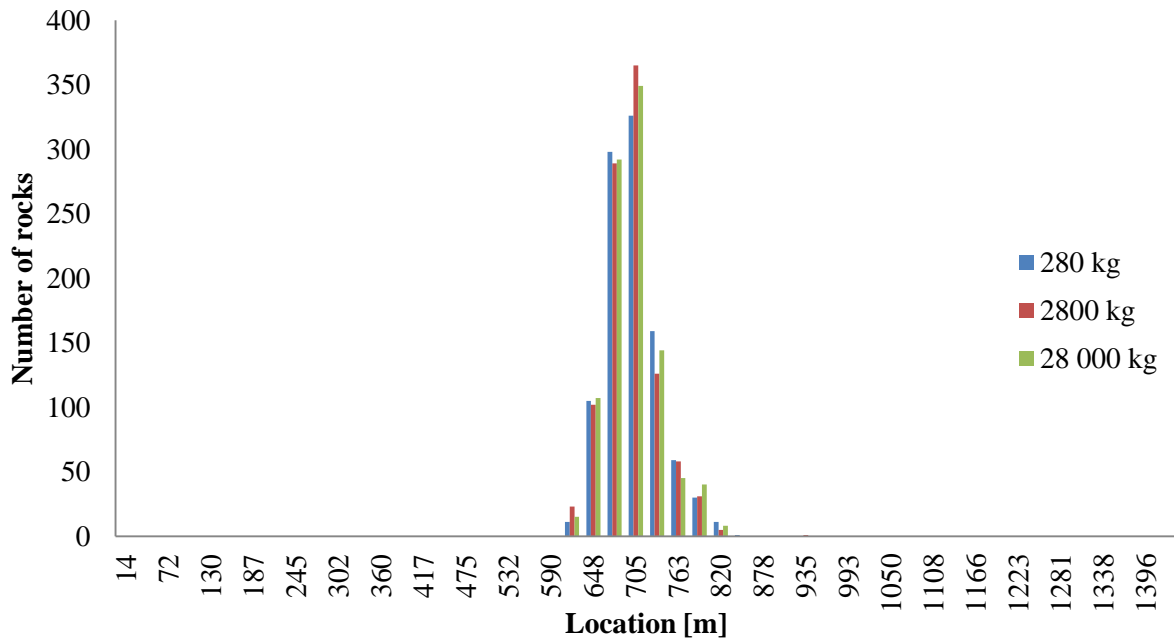
**Profil 2**

**Profil 2A - Horizontal Location of Rock End-points**



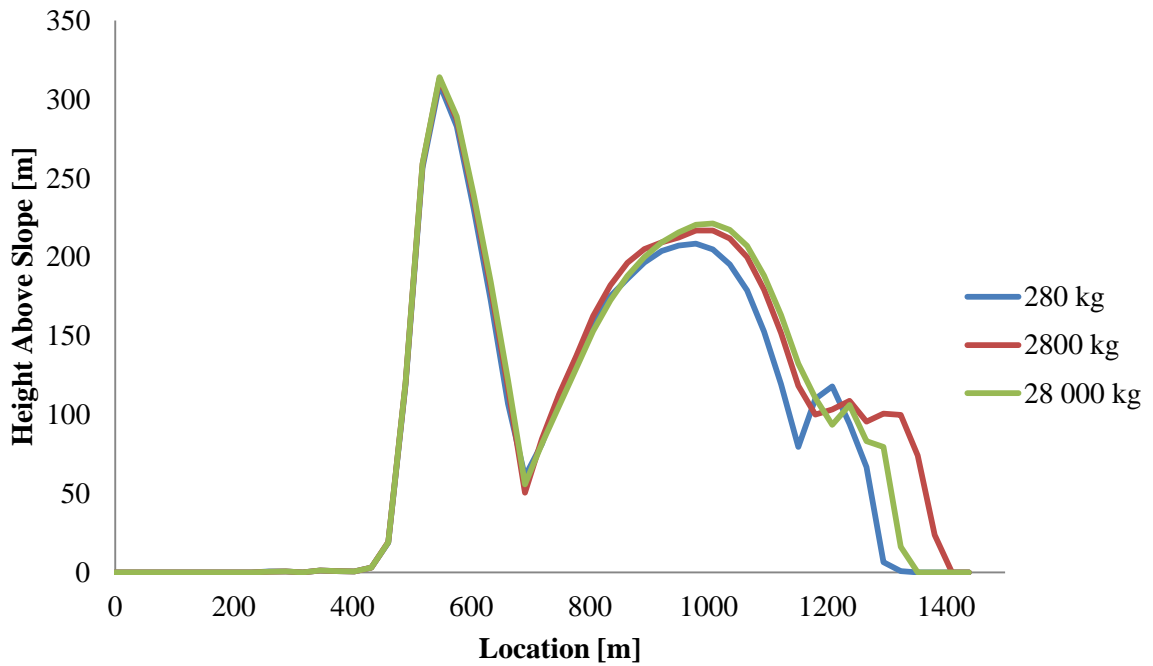
Figur A-10 Fordeling av endepunkt langs Profil 2A

**Profil 2B - Horizontal Location of Rock End-points**



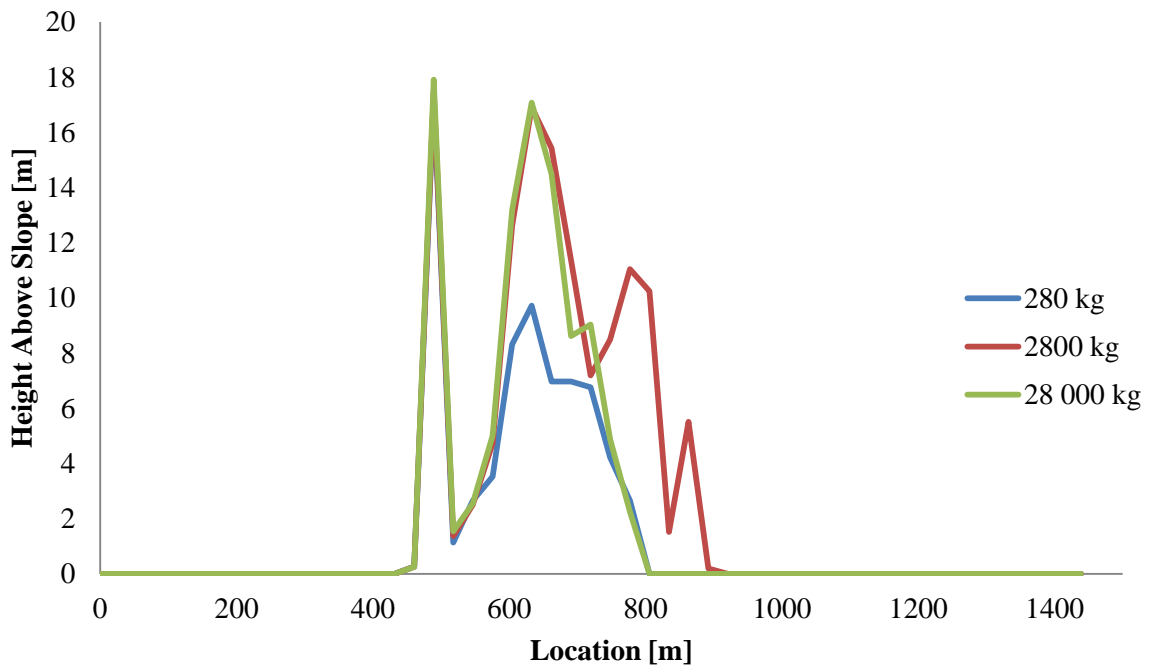
Figur A-11 Fordeling av endepunkt langs Profil 2B

## Profil 2A - Bounce Height Envelope



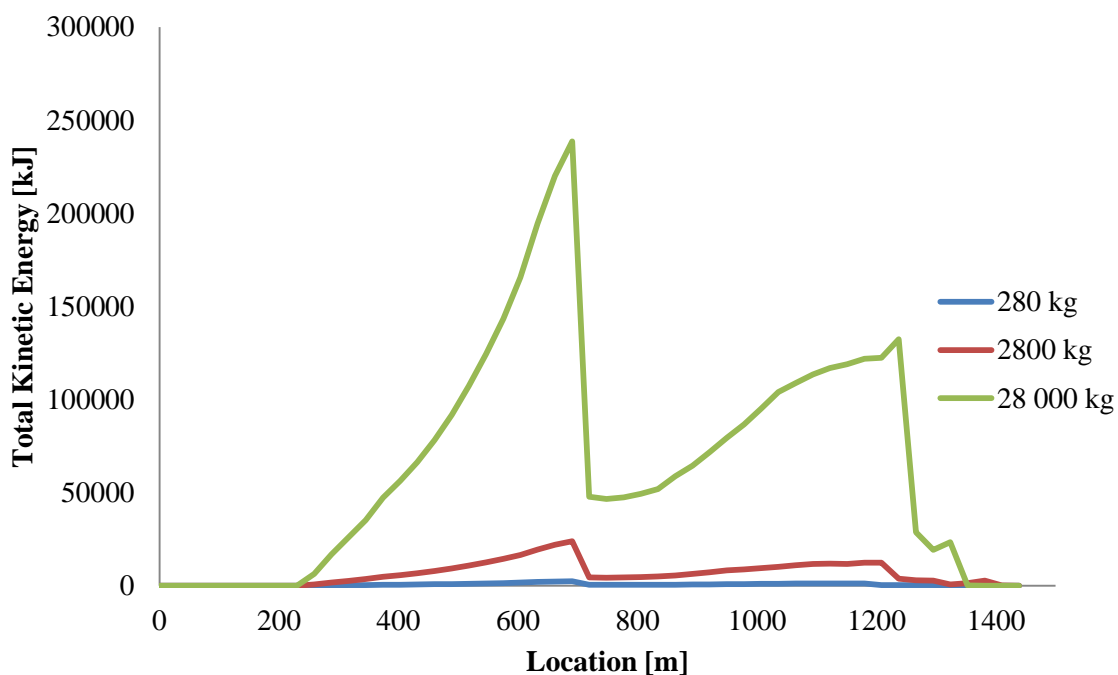
Figur A-12 Blokkenes spretthøyde langs Profil 2A.

## Profil 2B - Bounce Height Envelope



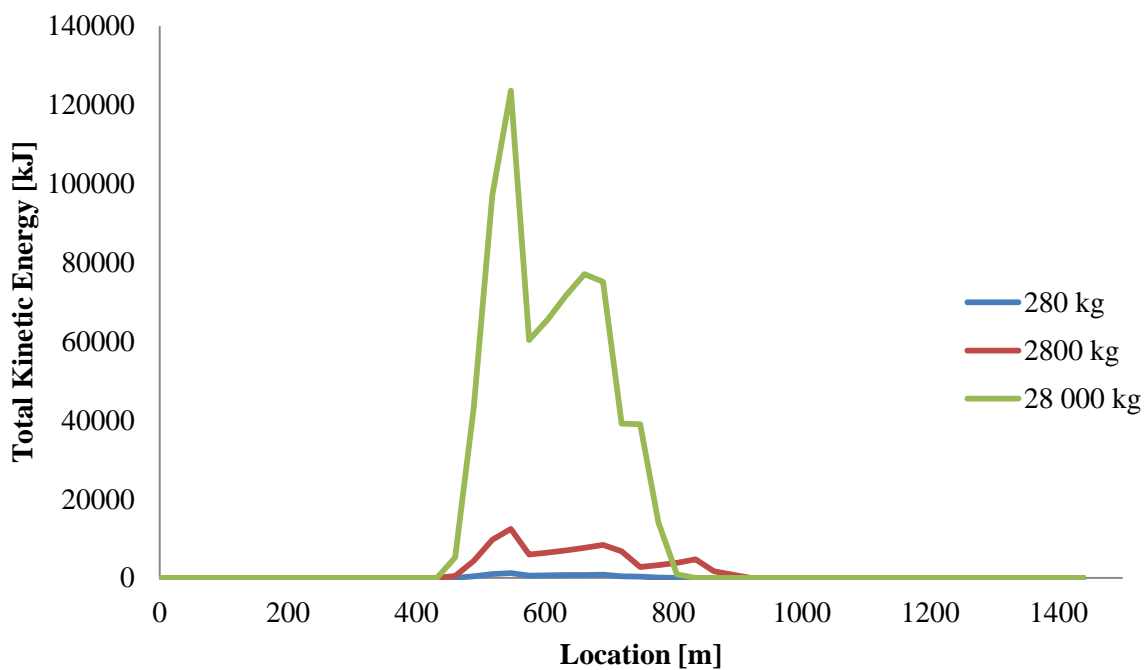
Figur A-13 Blokkenes spretthøyde langs Profil 2B.

## Profil 2A - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-14 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 2A.

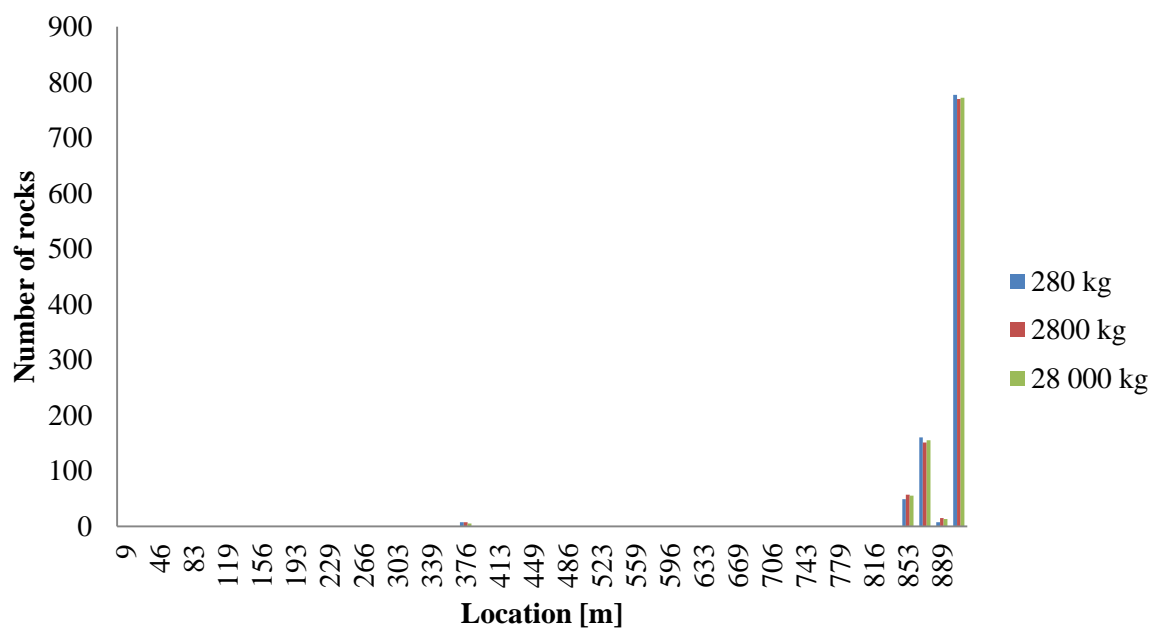
## Profil 2B - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-15 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 2B.

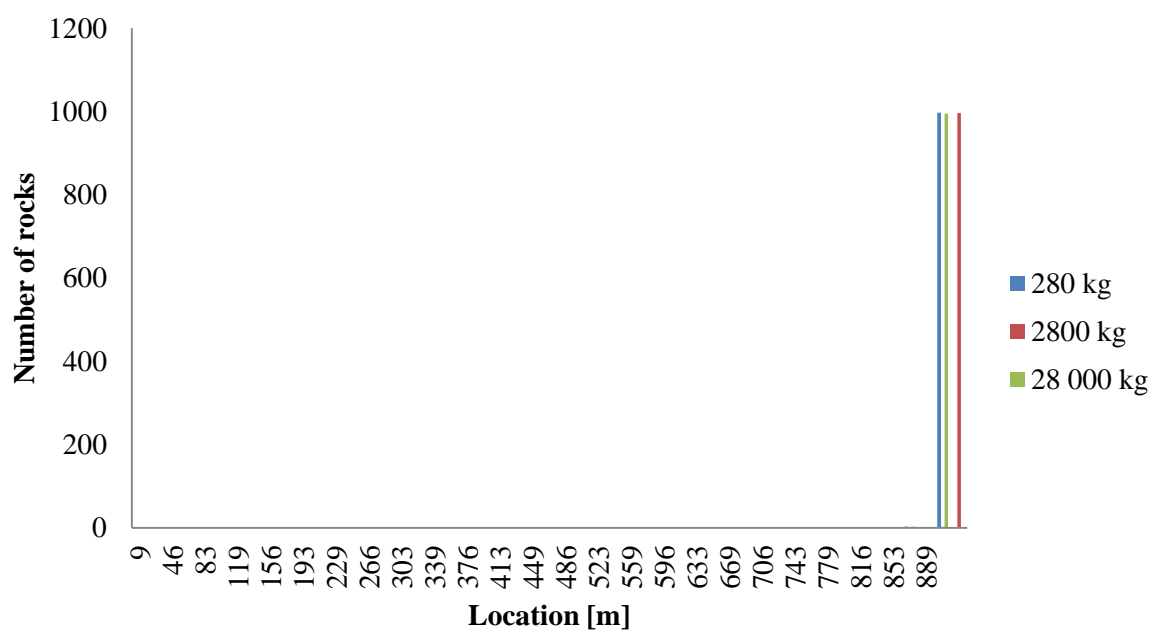
### Profil 3

#### Profil 3A - Horizontal Location of Rock End-points



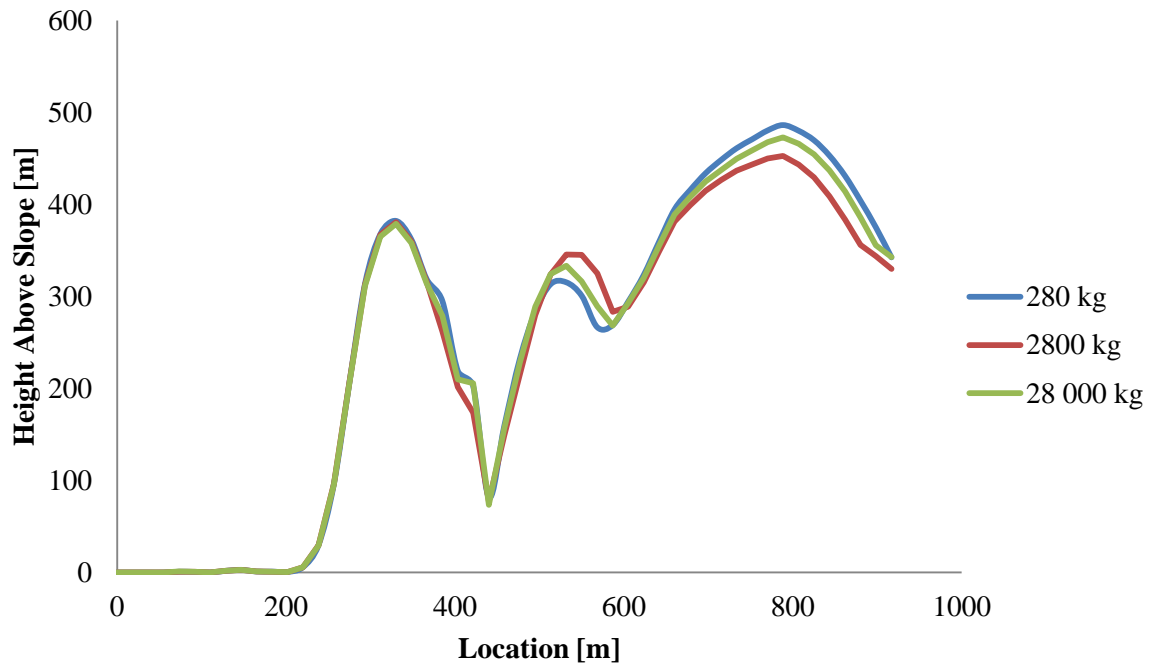
Figur A-16 Fordeling av endepunkt langs Profil 3A.

#### Profil 3B - Horizontal Location of Rock End-points



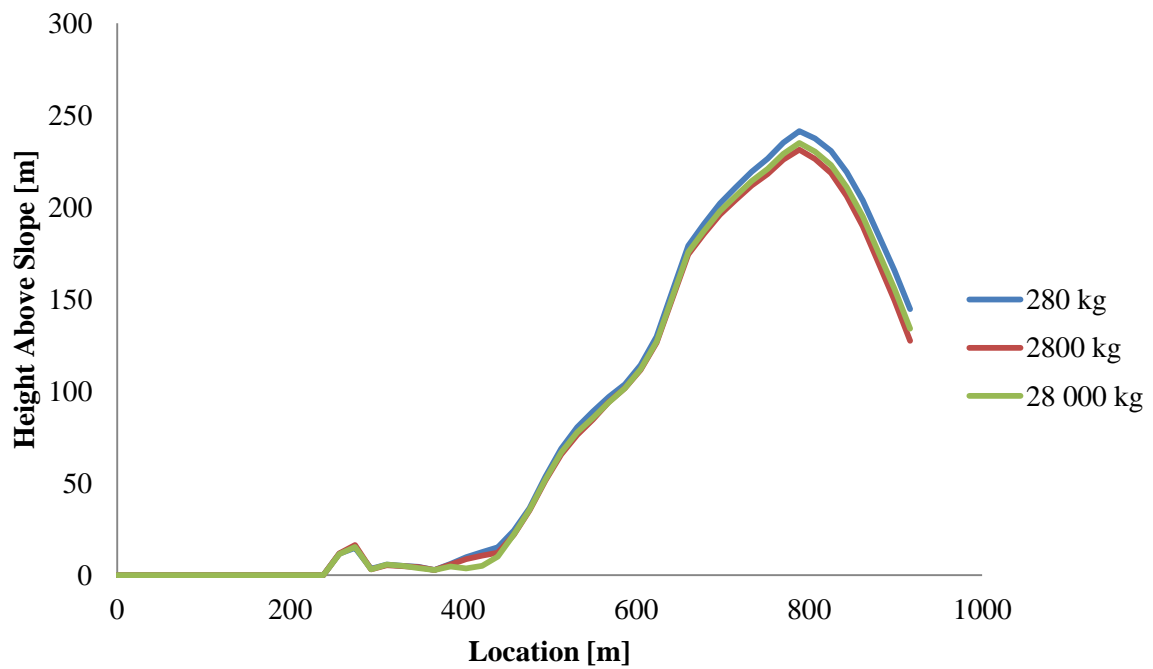
Figur A-17 Fordeling av endepunkt langs Profil 3B.

### Profil 3A - Bounce Height Envelope



Figur A-18 Blokkenes spretthøyde langs Profil 3A.

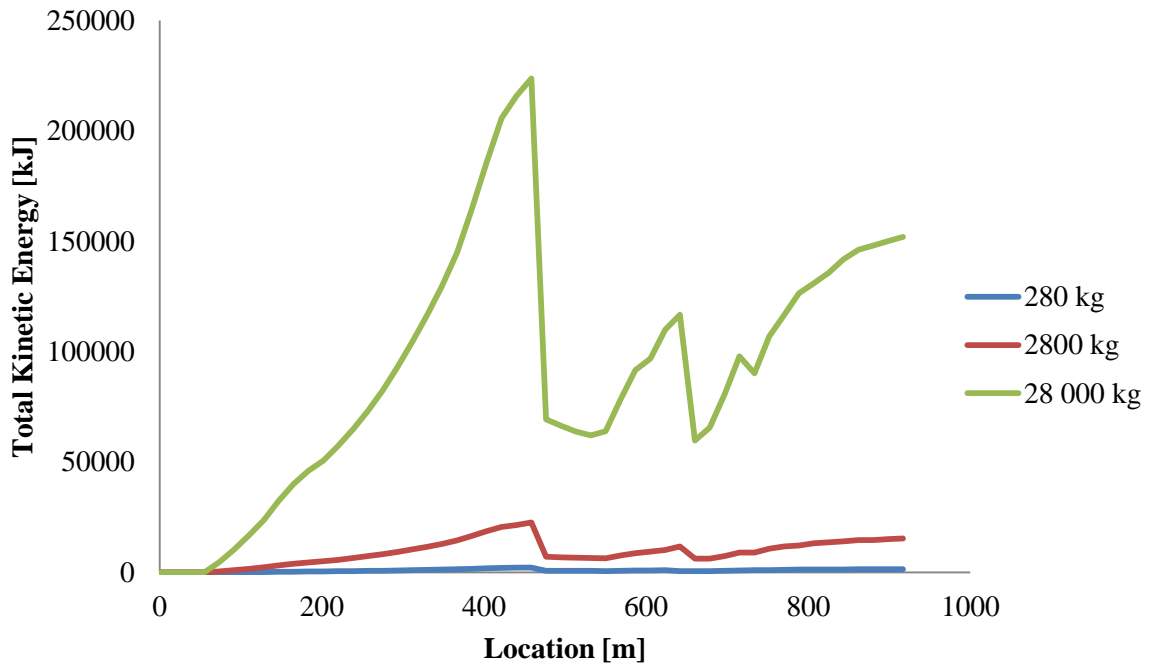
### Profil 3B - Bounce Height Envelope



Figur A-19 Blokkenes spretthøyde langs Profil 3B.

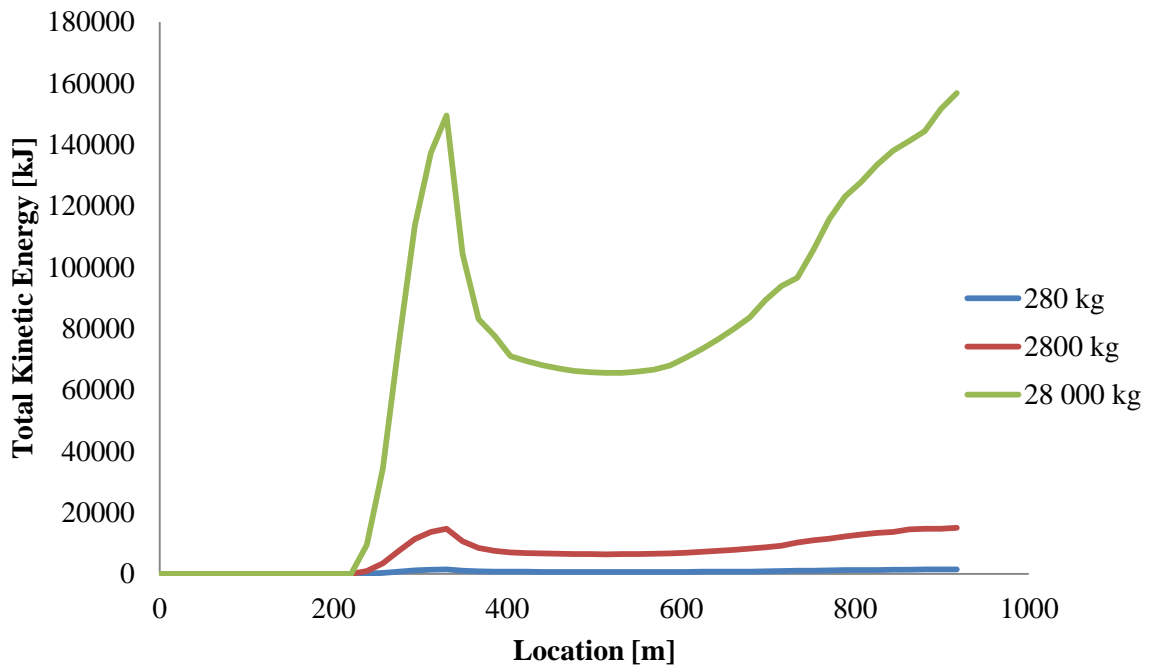


### Profil 3A - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-20 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 3A.

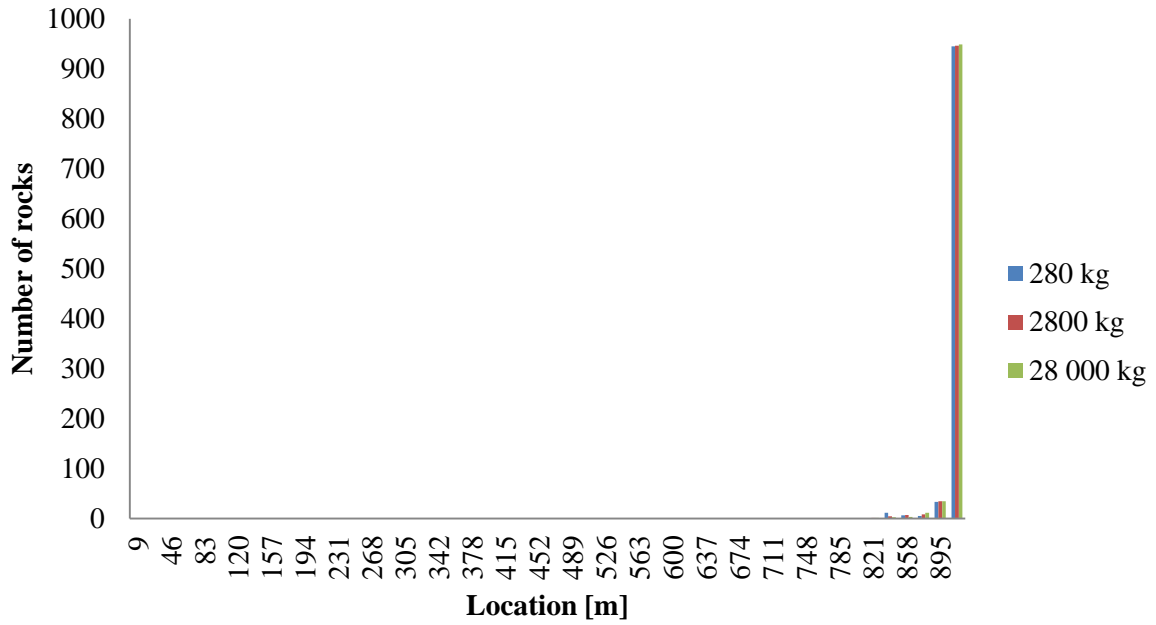
### Profil 3B - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-21 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 3B.

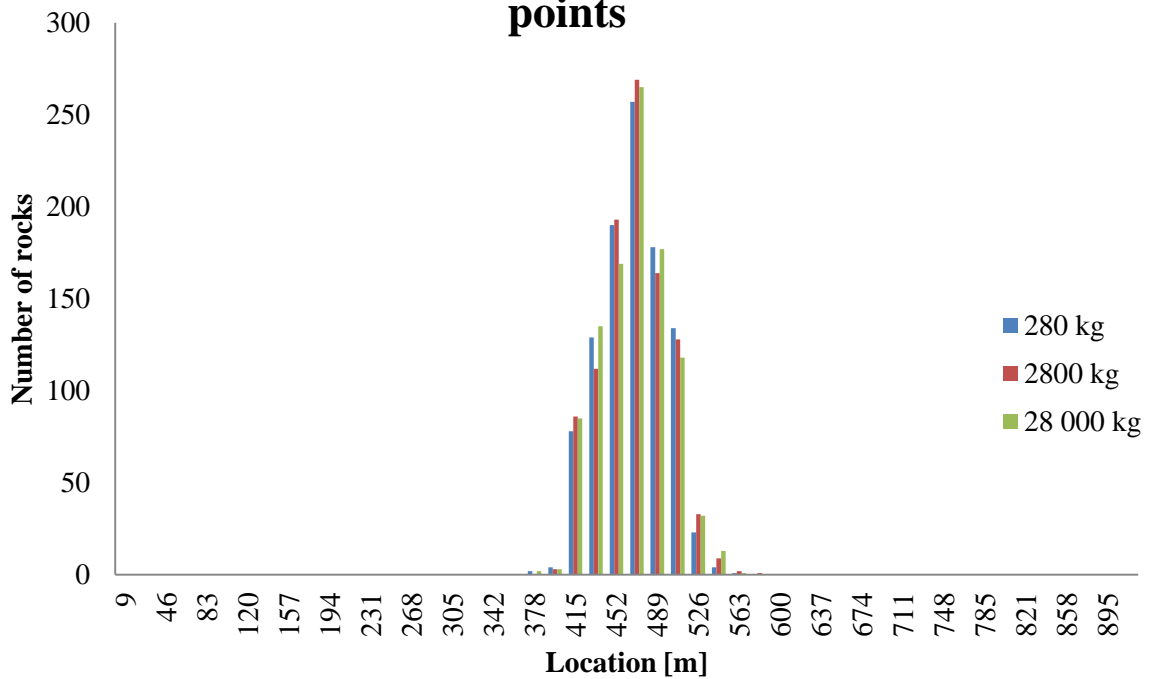
**Profil 4**

**Profil 4A - Horizontal Location of Rock End-points**



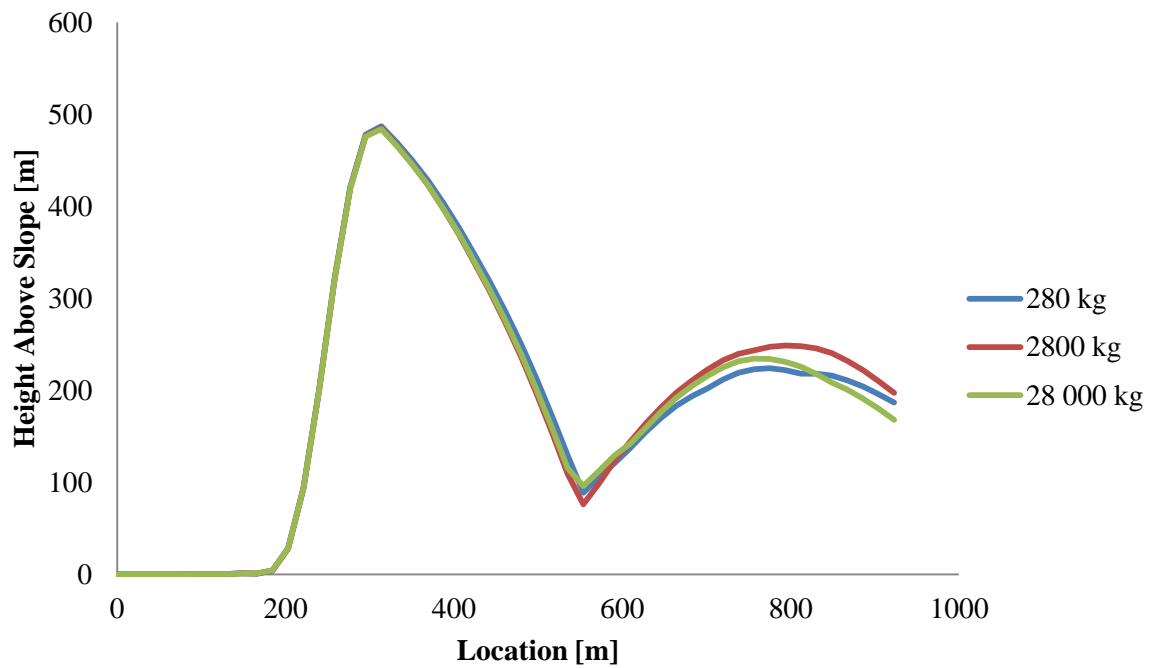
Figur A-22 Fordeling av endepunkt langs Profil 4A.

**Profil 4B - Horizontal Location of Rock End-points**



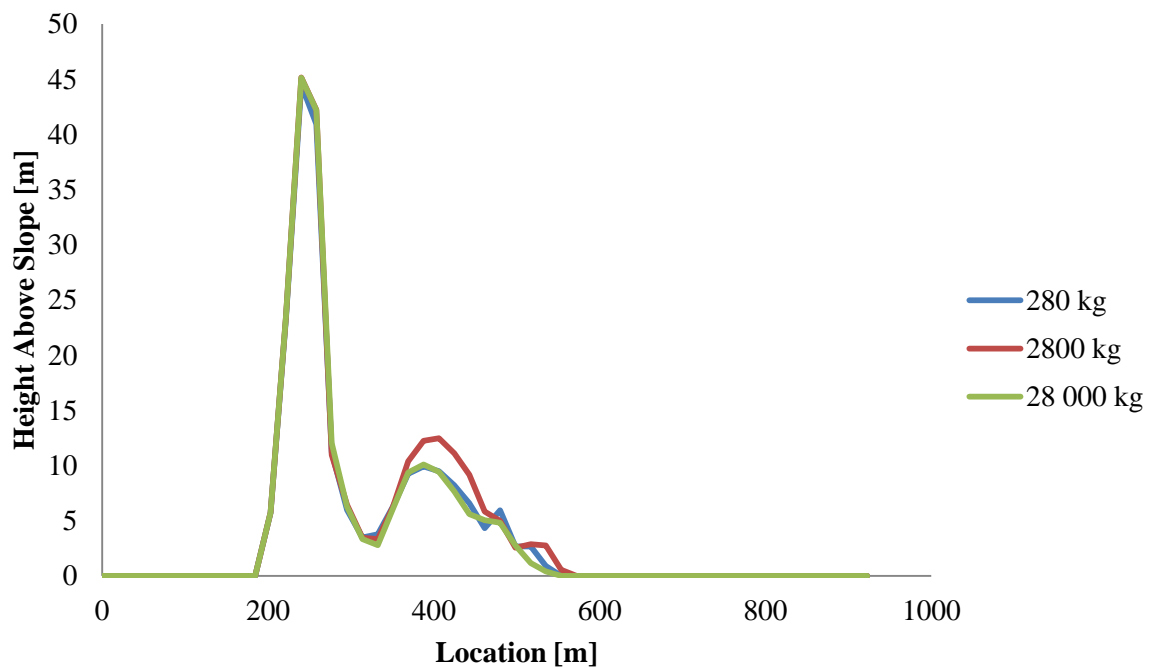
Figur A-23 Fordeling av endepunkt langs Profil 4B.

## Profil 4A - Bounce Height Envelope



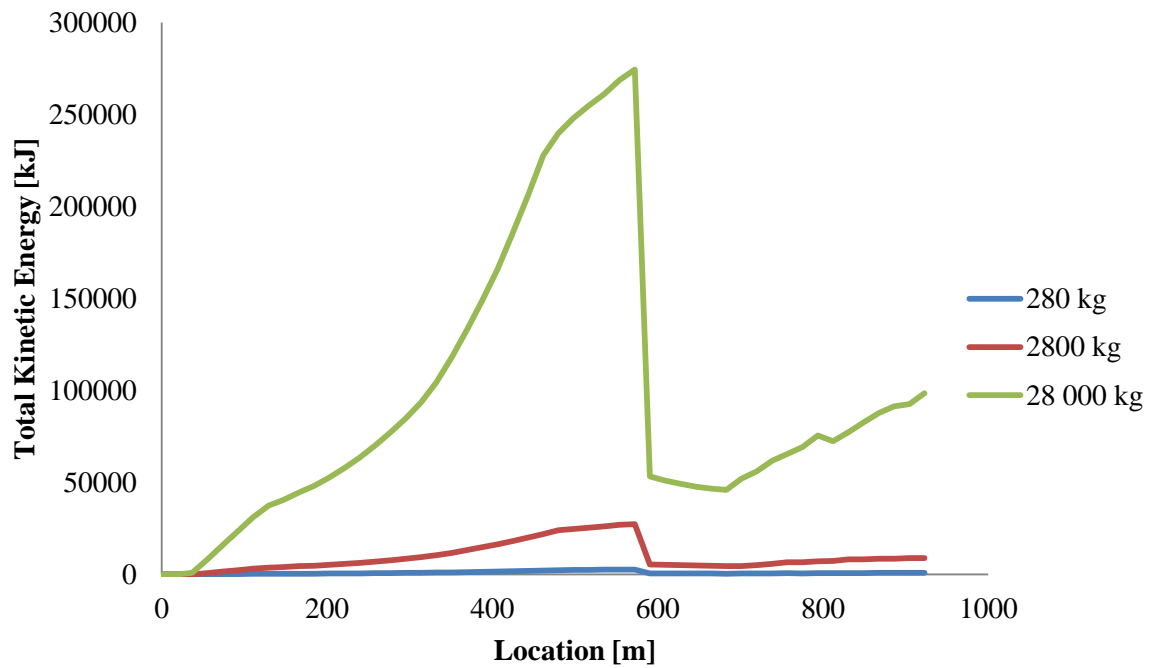
Figur A-24 Blokkenes spretthøyde langs Profil 4A.

## Profil 4B - Bounce Height Envelope



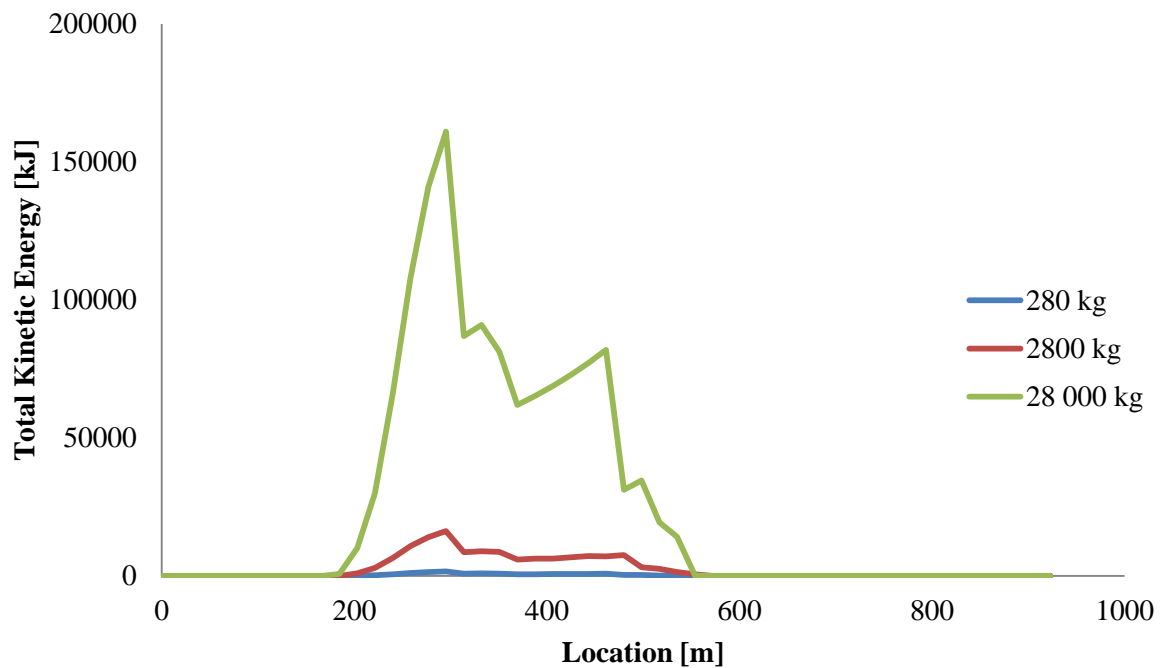
Figur A-25 Blokkenes spretthøyde langs Profil 4B.

### Profil 4A - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-26 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 4A.

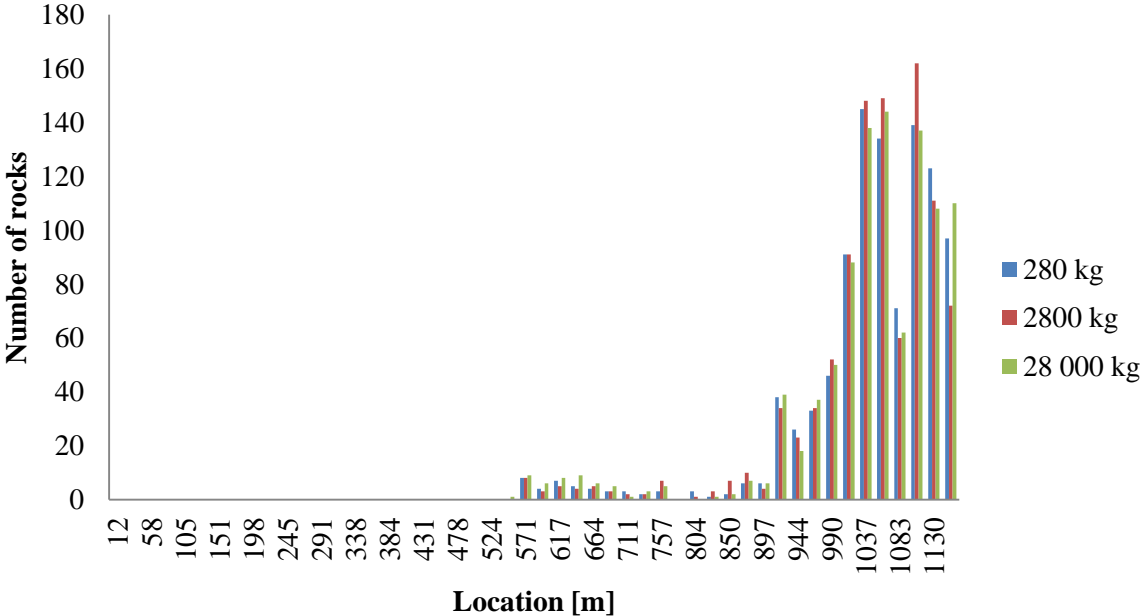
### Profil 4B - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-27 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 4B.

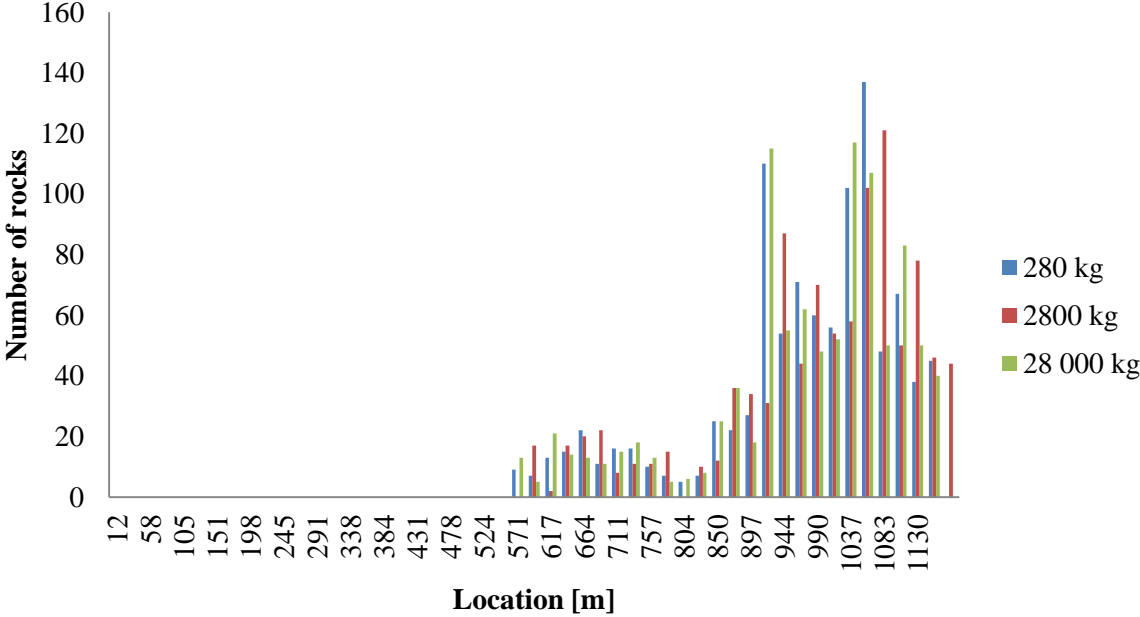
**Profil 5**

**Profil 5A - Horizontal Location of Rock End-points**



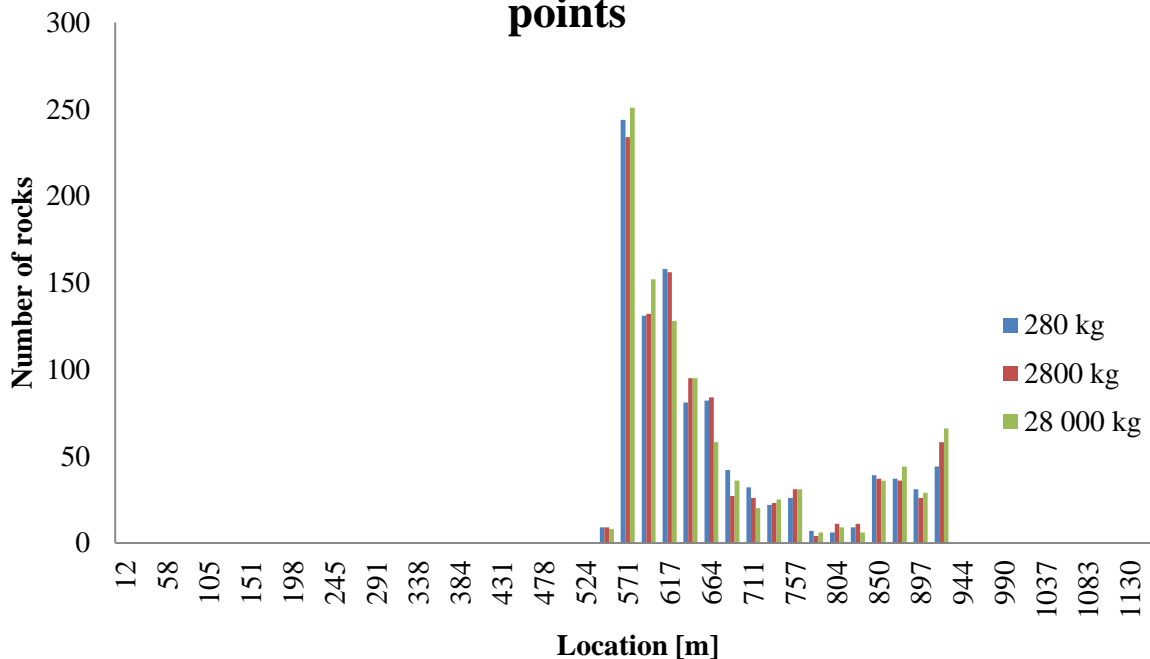
Figur A-28 Fordeling av endepunkt langs Profil 5A

**Profil 5B - Horizontal Location of Rock End-points**



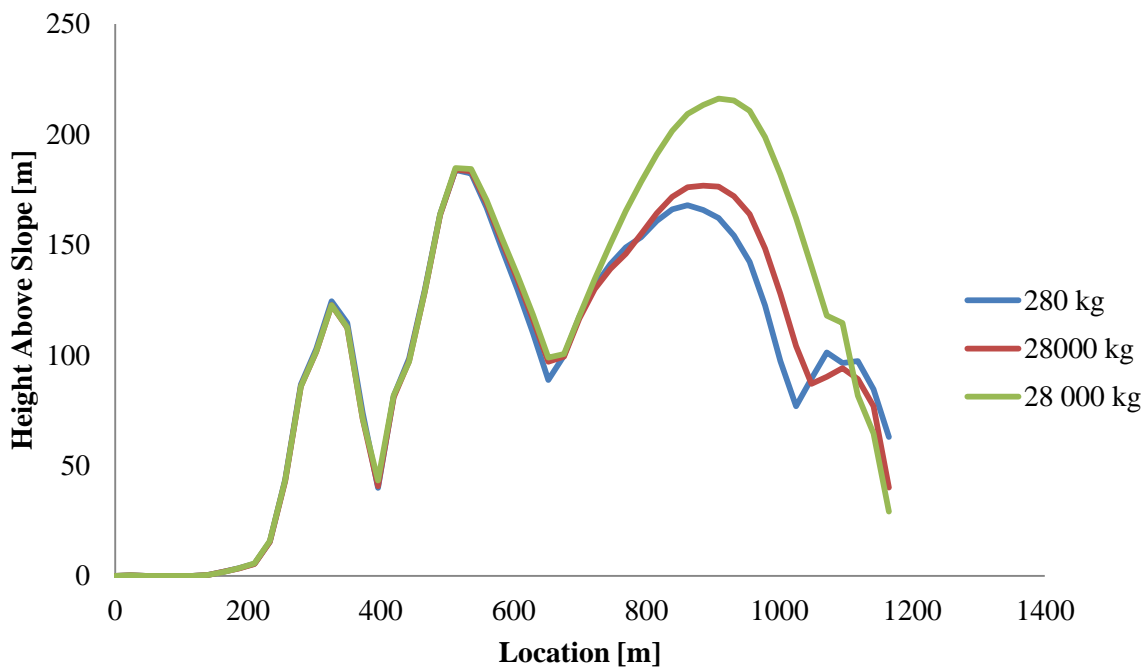
Figur A-29 Fordeling av endepunkt langs Profil 5B

### Profil 5C - Horizontal Location of Rock End-points



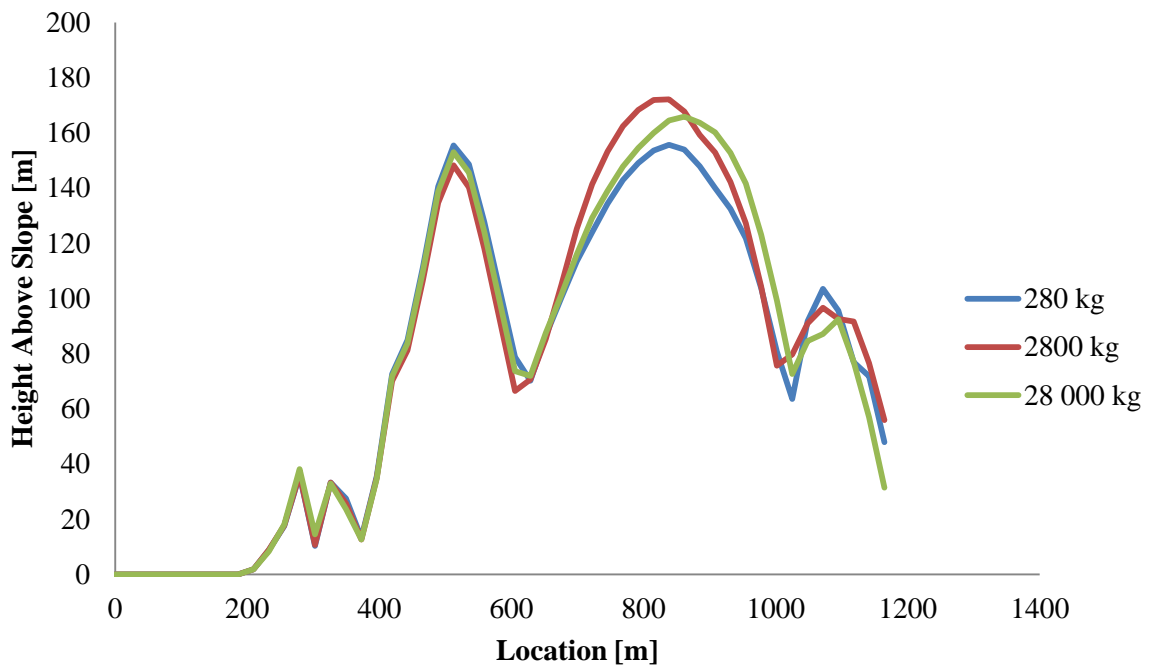
Figur A-30 Fordeling av endepunkt langs Profil 5C

### Profil 5A - Bounce Height Envelope



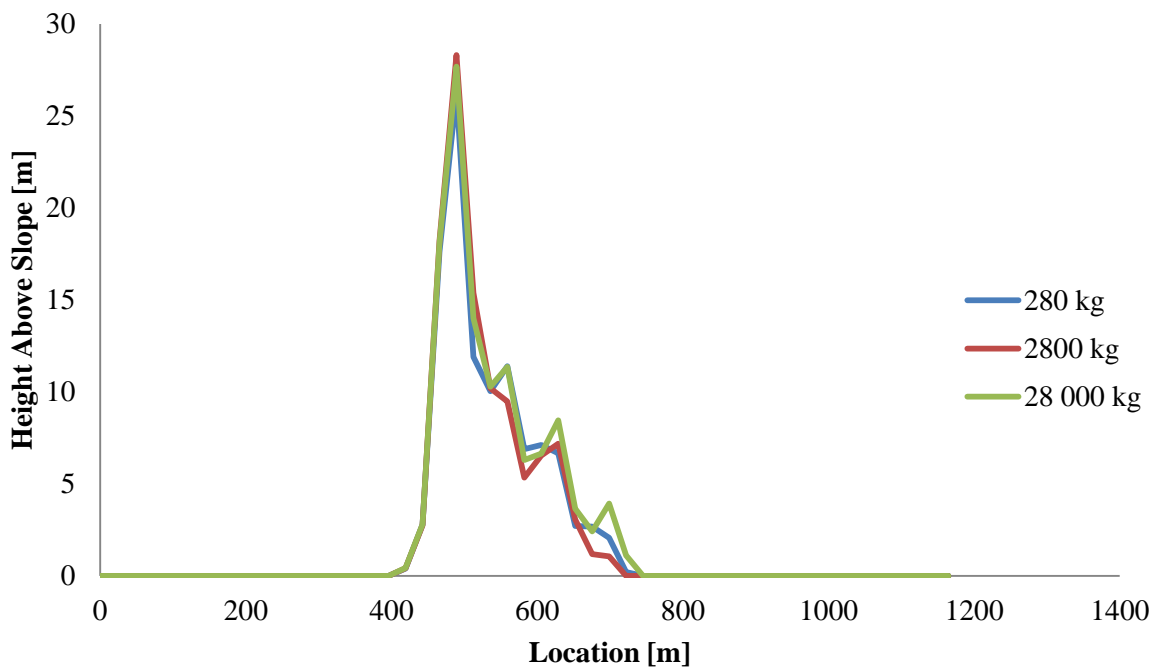
Figur A-31 Blokkenes spretthøyde langs Profil 5A.

## Profil 5B - Bounce Height Envelope



Figur A-32 Blokkenes spretthøyde langs Profil 5B.

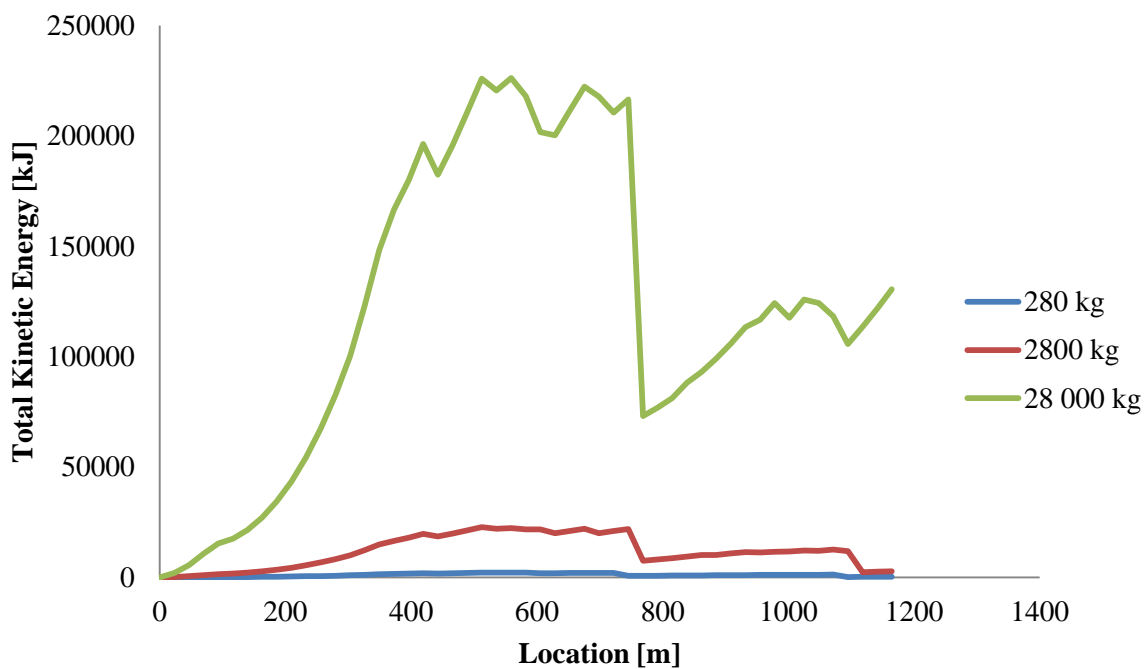
## Profil 5C - Bounce Height Envelope



Figur A-33 Blokkenes spretthøyde langs Profil 5C.

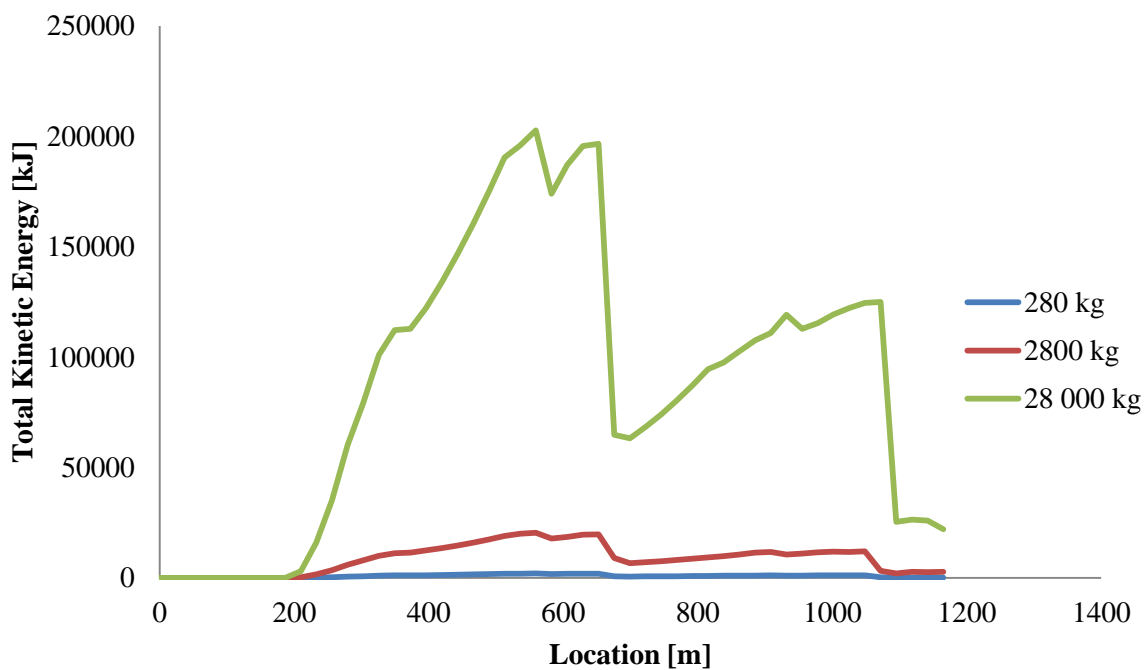


### Profil 5A - Total Kinetic Energy Envelope



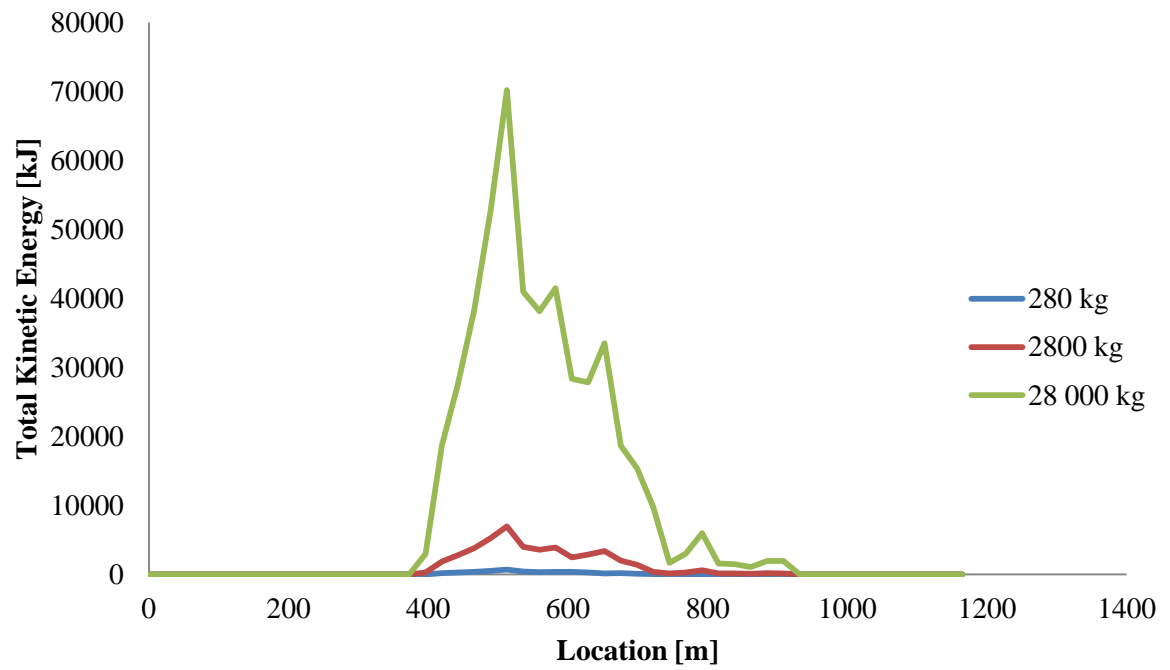
Figur A-34 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 5A.

### Profil 5B - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-35 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 5B.

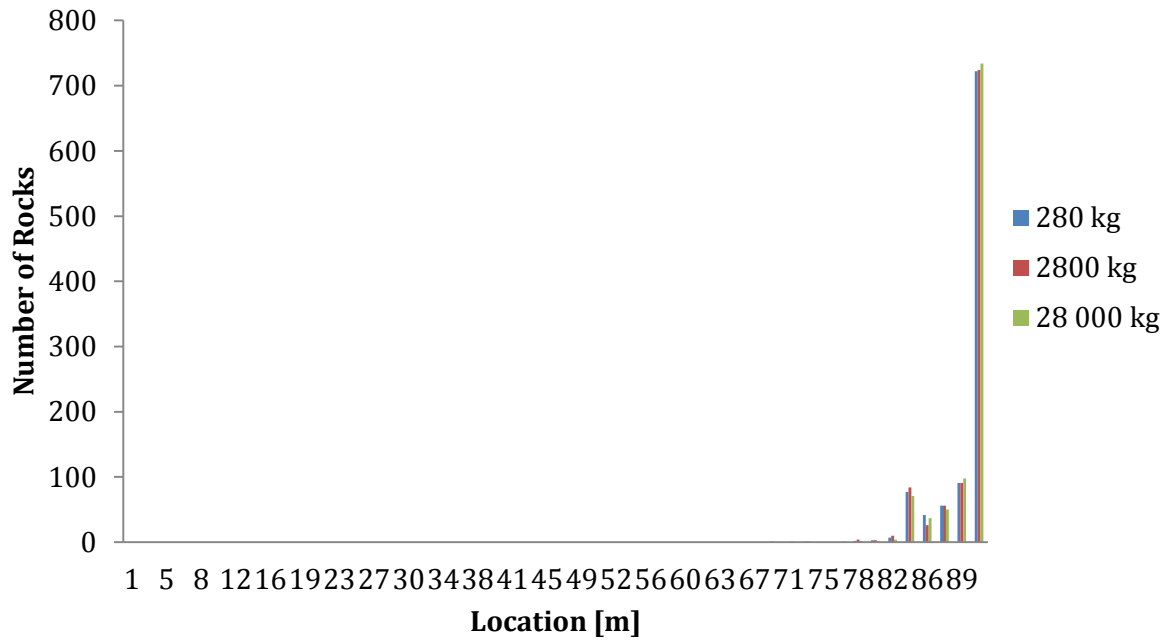
## Profil 5C - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-36 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 5C.

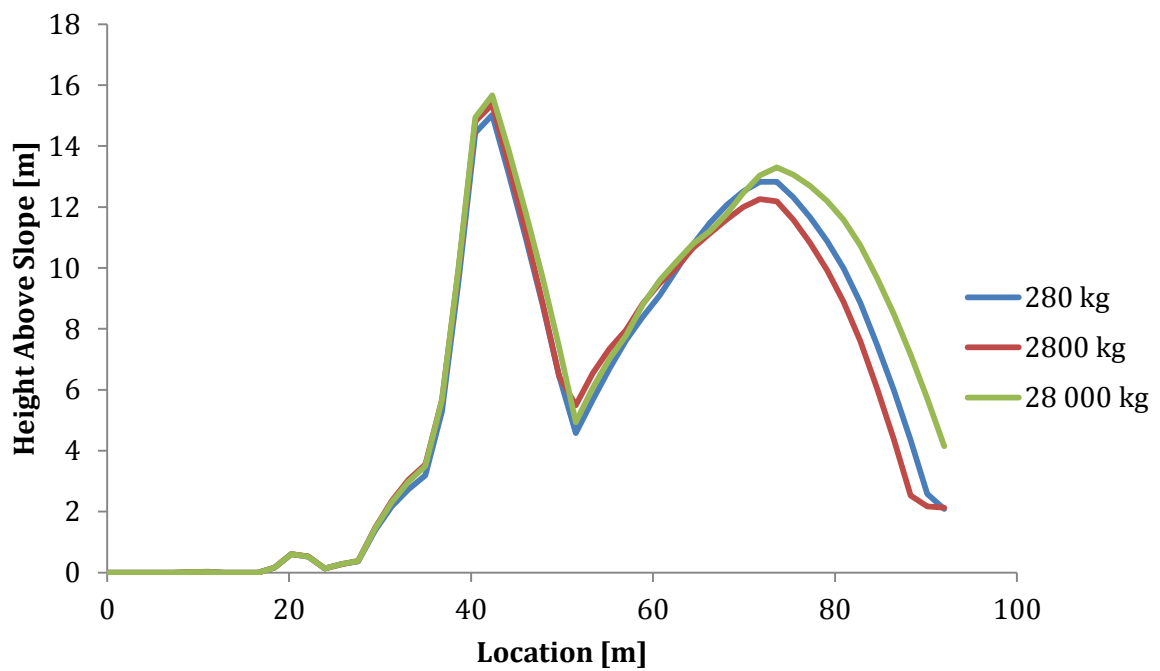
**Profil 6**

**Profil 6 - Horizontal Location of Rock End-points**



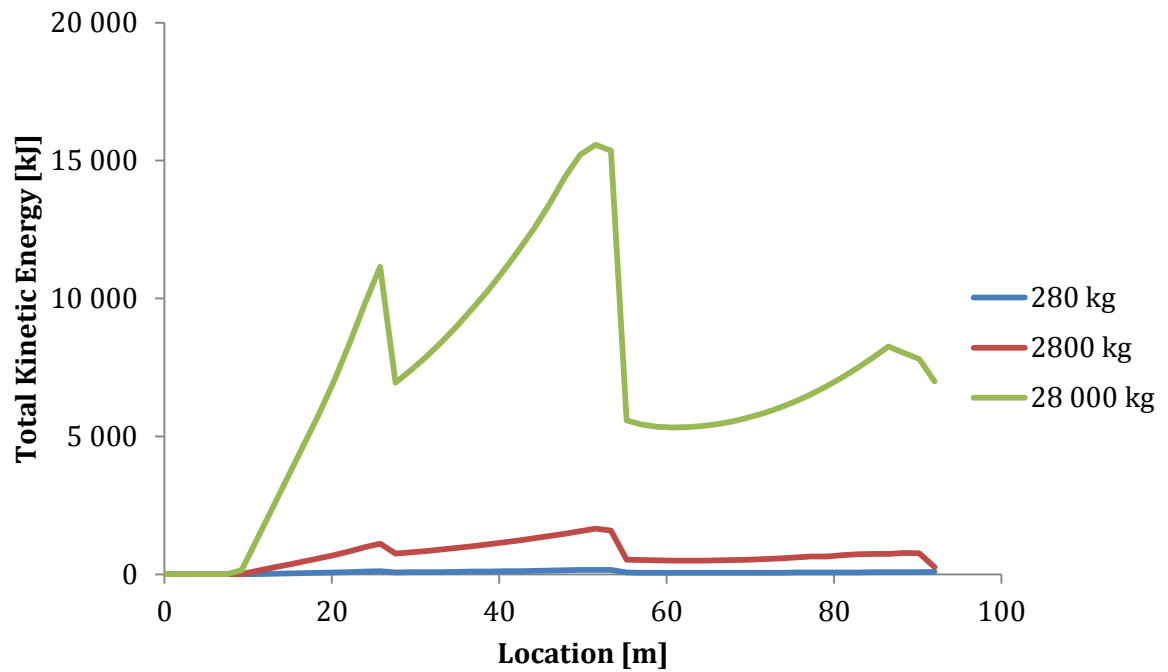
Figur A-37 Fordeling av endepunkt langs Profil 6.

**Profil 6 - Bounce Height Envelope**



Figur A-38 Blokkenes spretthøyde langs Profil 6.

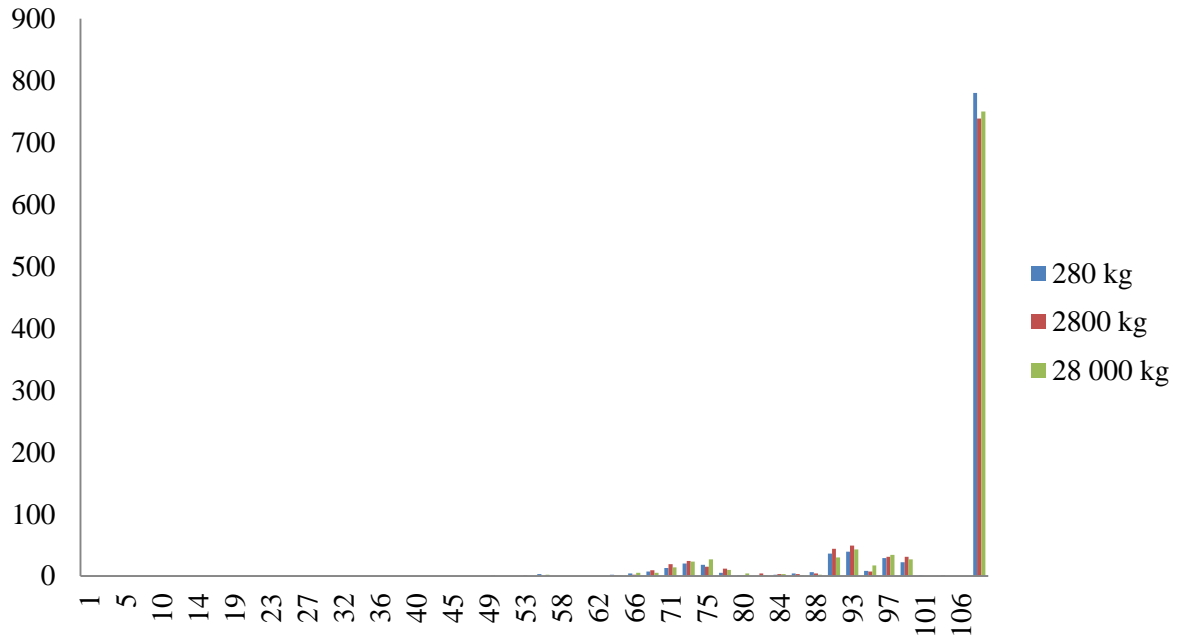
## Profil 6 - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-39 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 6.

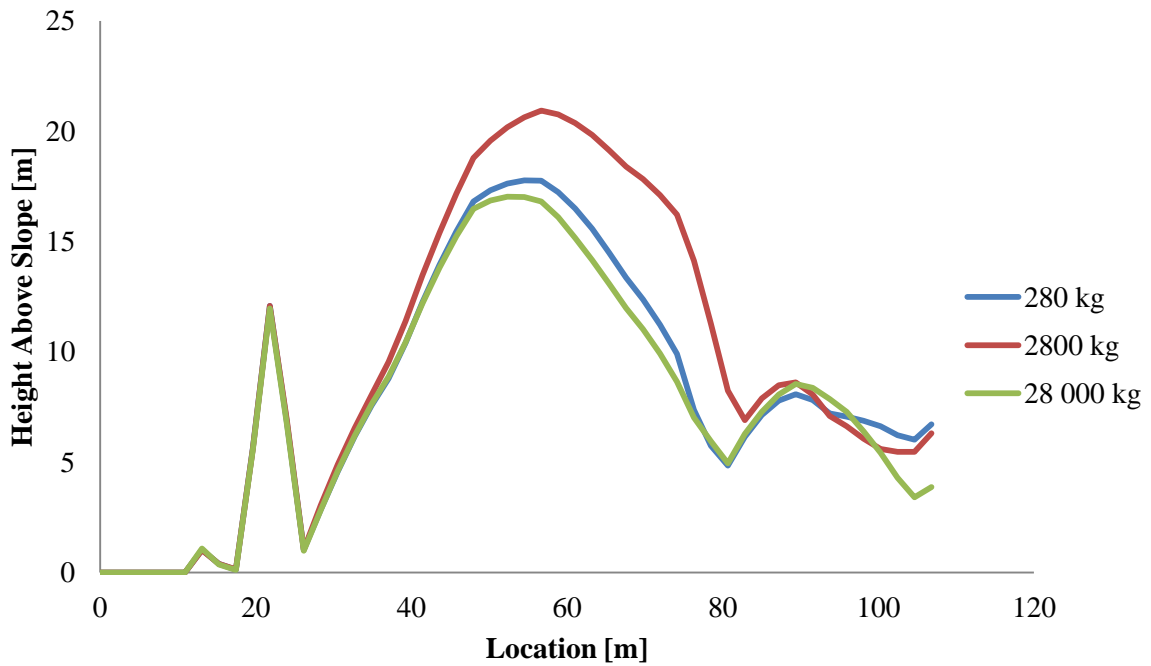
**Profil 7**

**Profil 7 - Horizontal Location of Rock End-points**



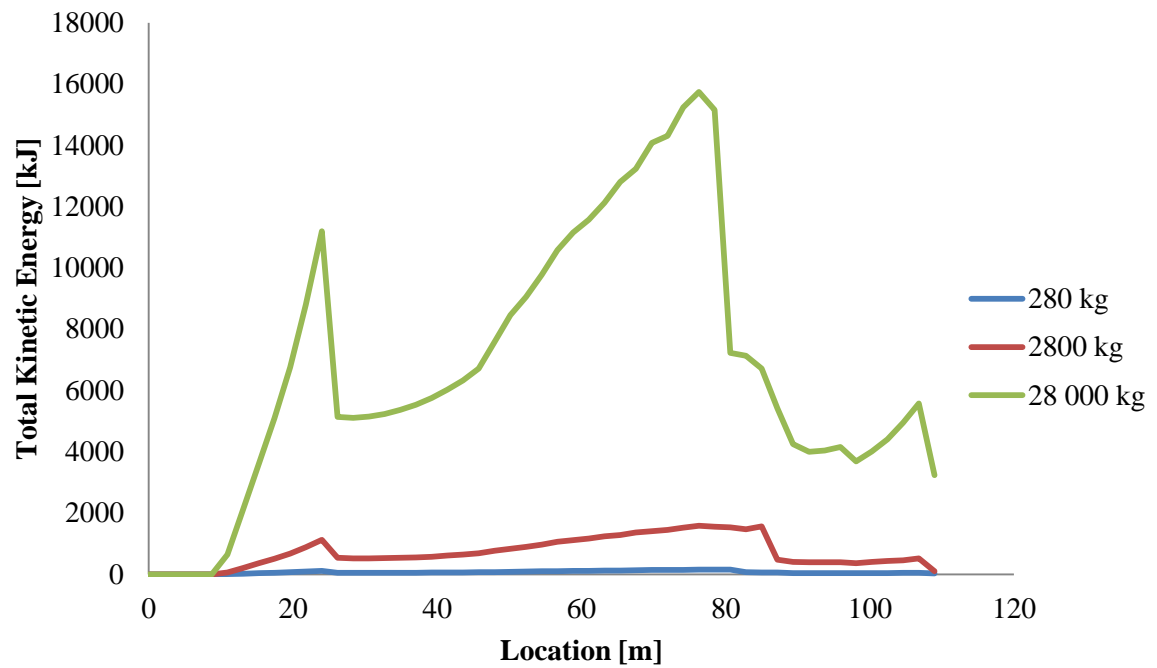
Figur A-40 Fordeling av endepunkt langs Profil 7.

**Profil 7 - Bounce Height Envelope**



Figur A-41 Blokkenes spretthøyde langs Profil 7.

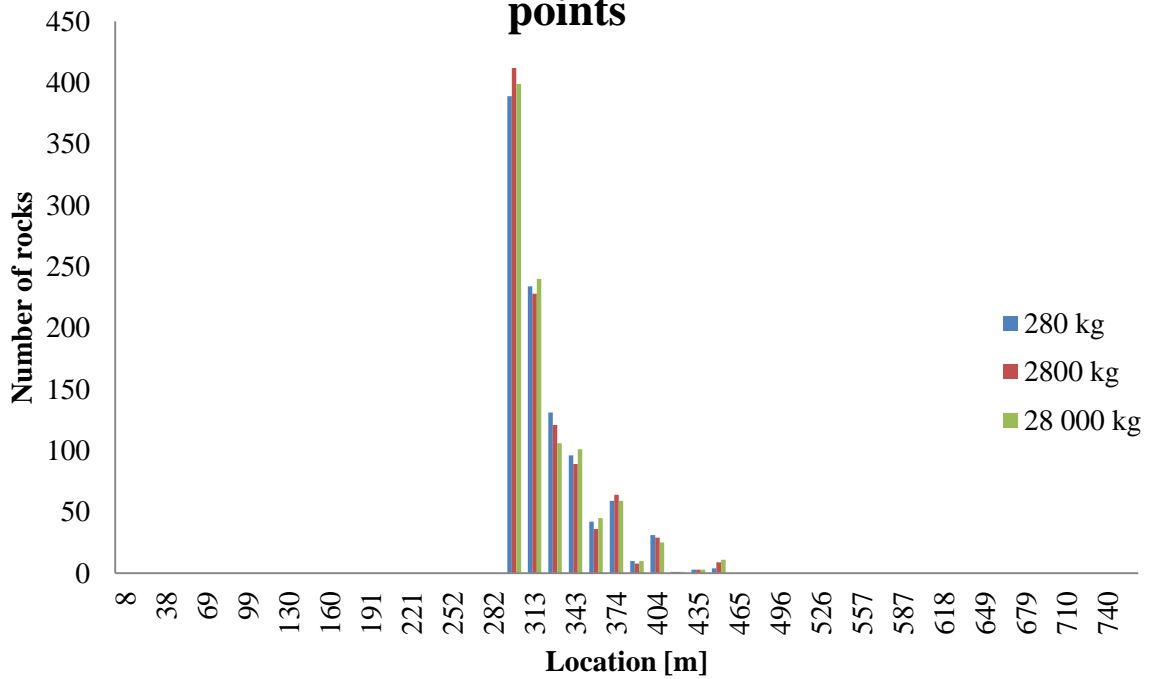
## Profil 7 - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-42 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 7.

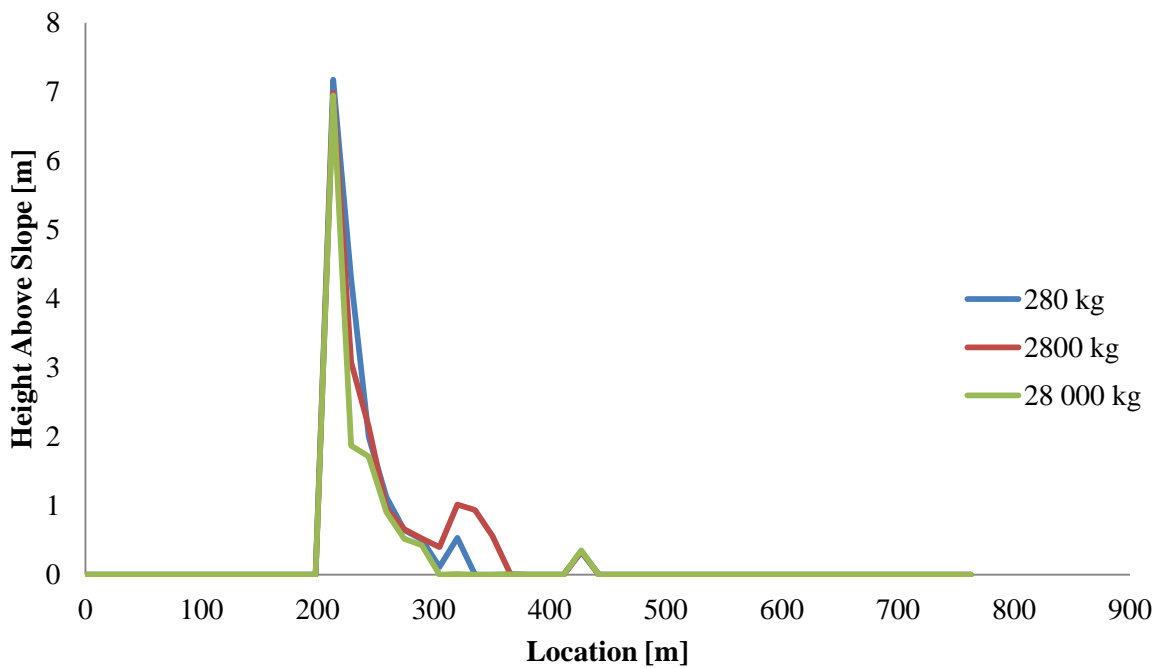
**Profil 8**

**Profil 8 - Horizontal Location of Rock End-points**



Figur A-43 Fordeling av endepunkt langs Profil 8.

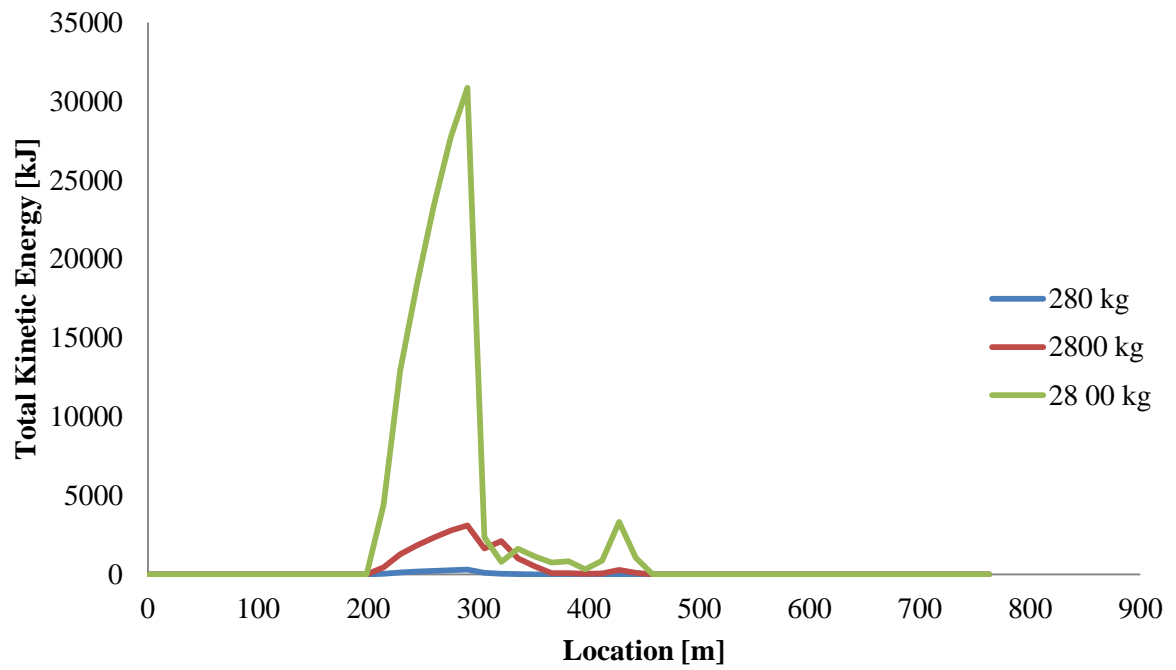
**Profil 8 - Bounce Height Envelope**



Figur A-44 Blokkenes spretthøyde langs Profil 8.



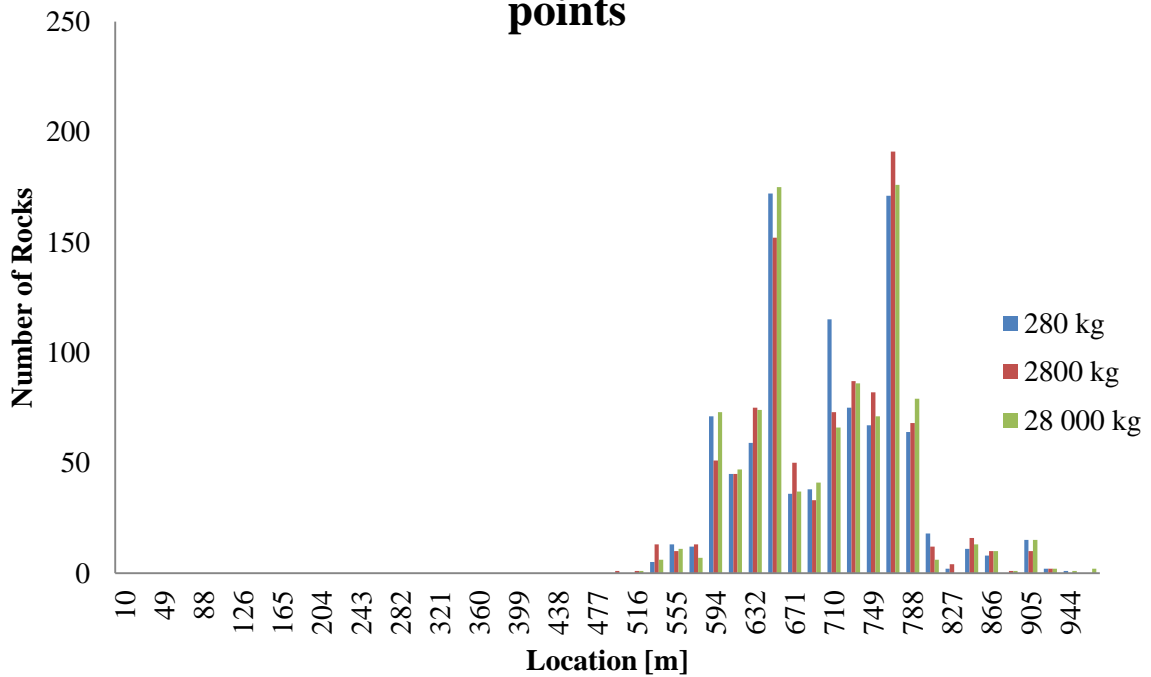
## Profil 8 - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-45 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 8.

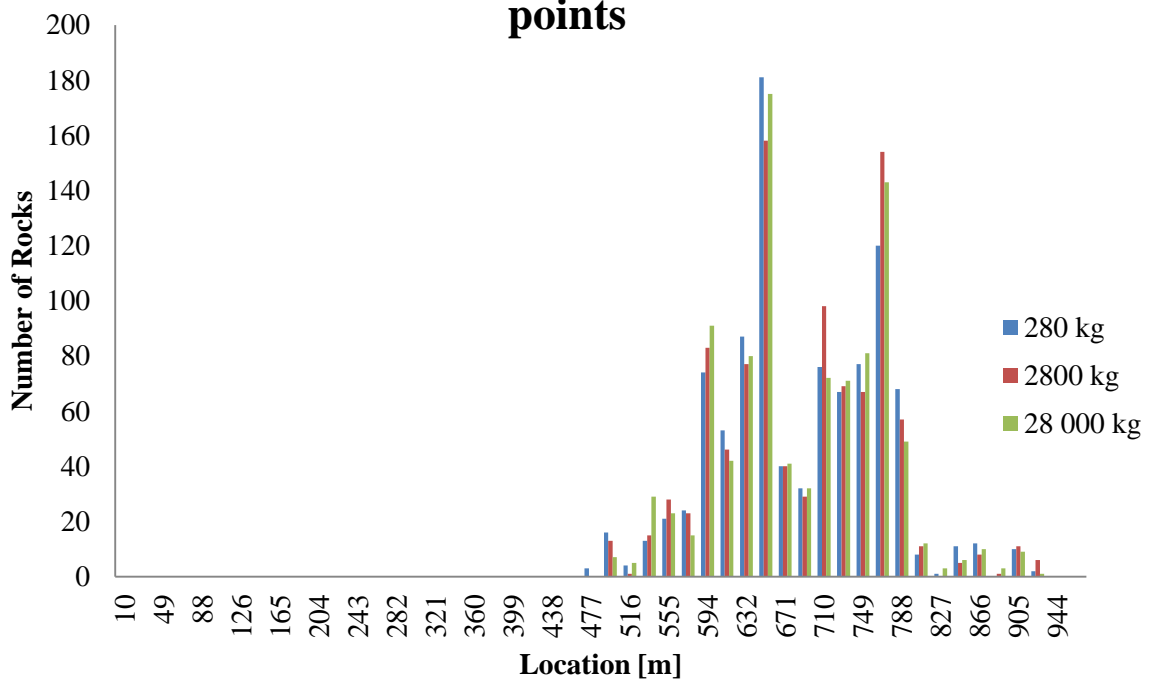
**Profil 9**

**Profil 9A - Horizontal Location of Rock End-points**



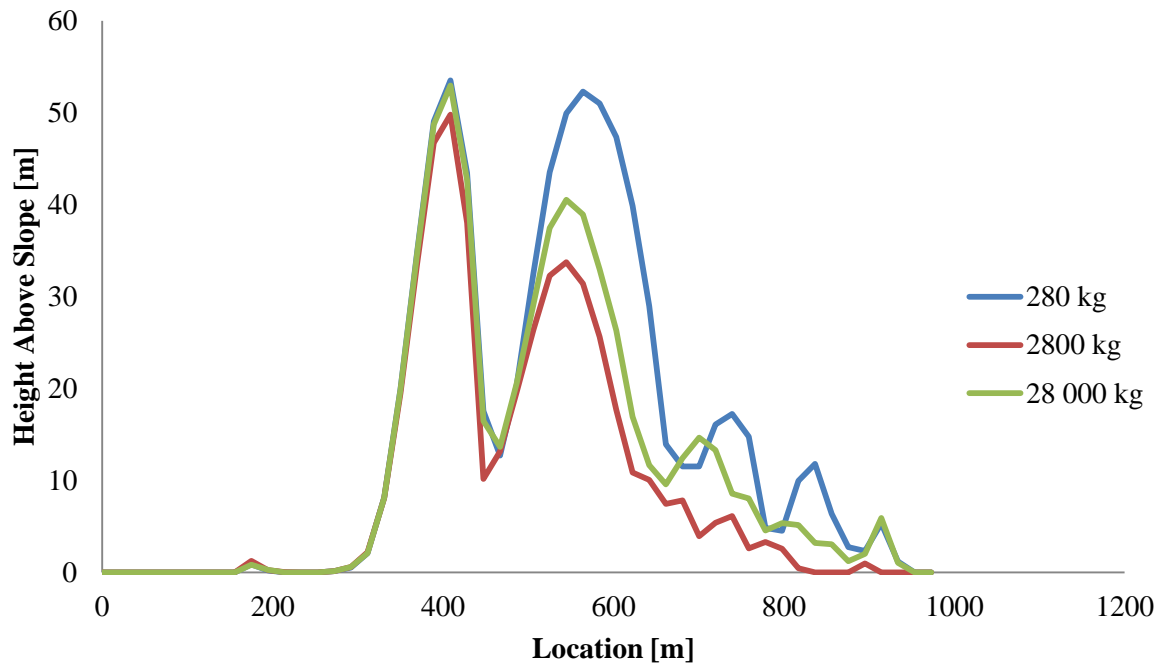
Figur A-46 Fordeling av endepunkt langs Profil 9A.

**Profil 9B - Horizontal Location of Rock End-points**



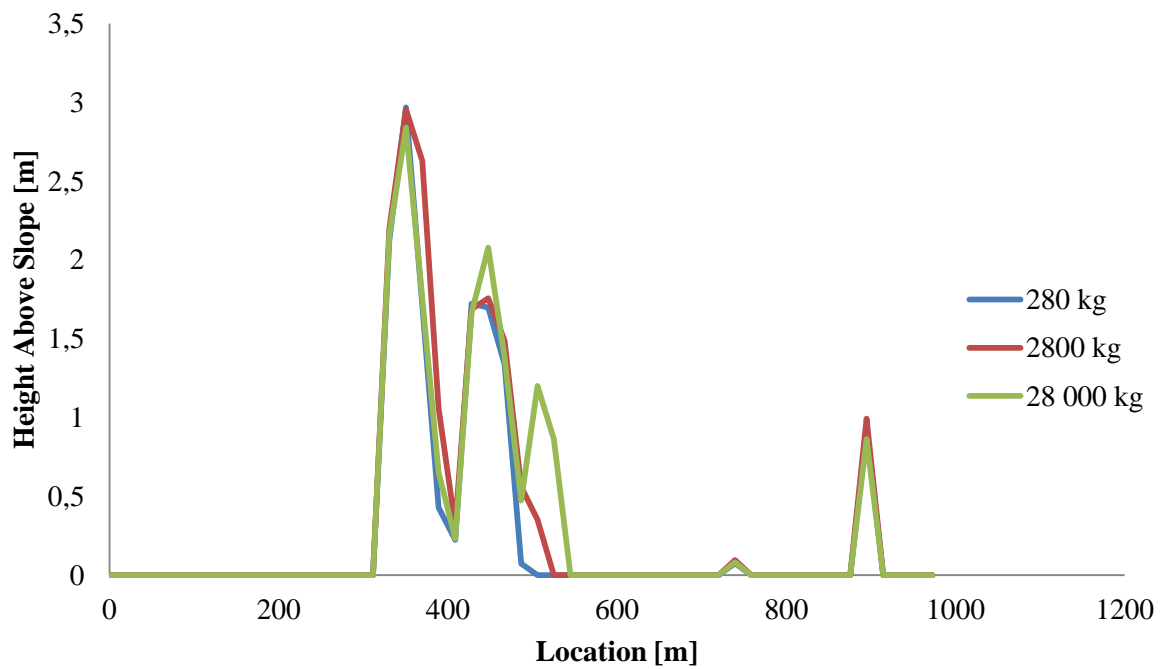
Figur A-47 Fordeling av endepunkt langs Profil 9B.

## Profil 9A - Bounce Height Envelope



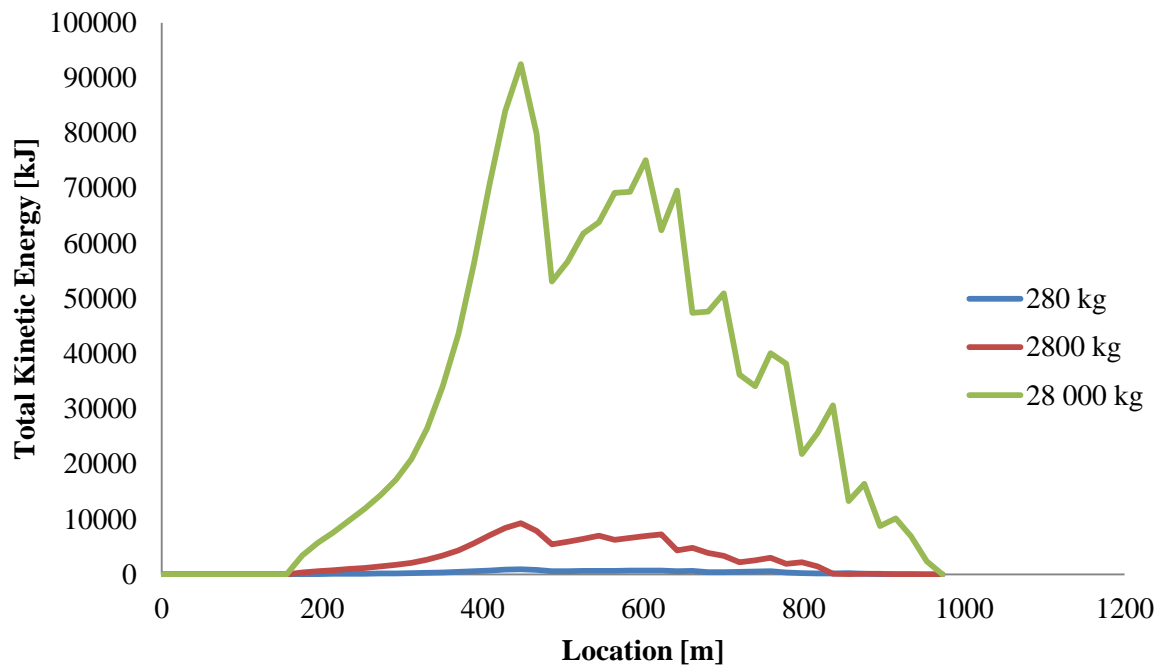
Figur A-48 Blokkenes spretthøyde langs Profil 9A.

## Profil 9B - Bounce Height Envelope



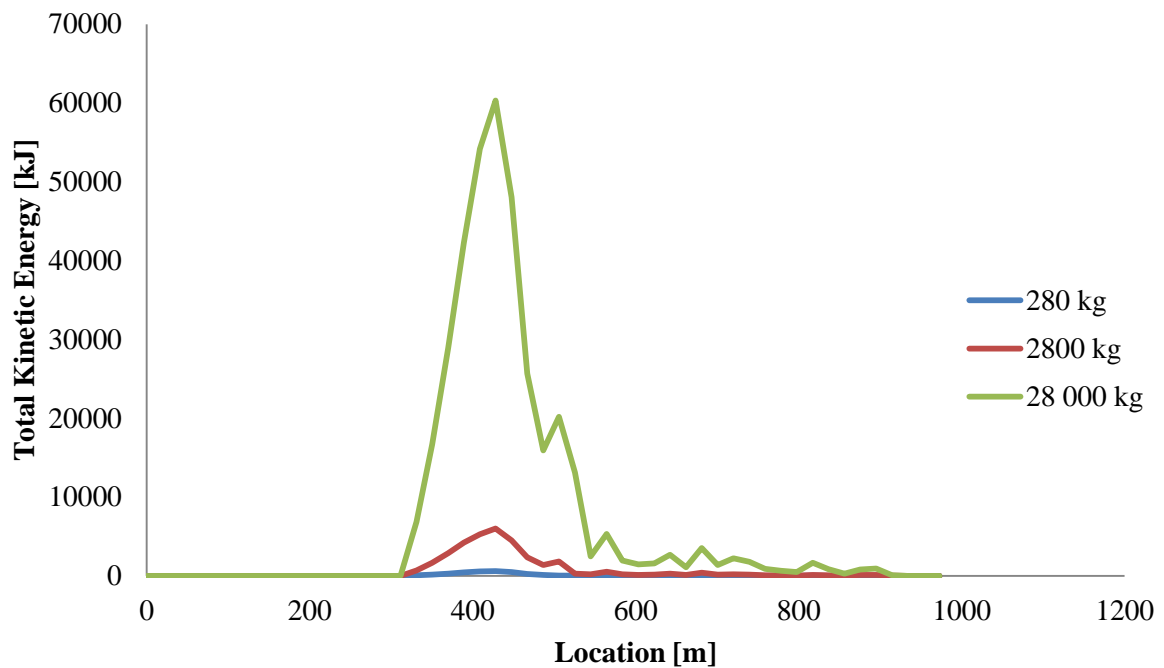
Figur A-49 Blokkenes spretthøyde langs Profil 9B.

### Profil 9A - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-50 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 9A.

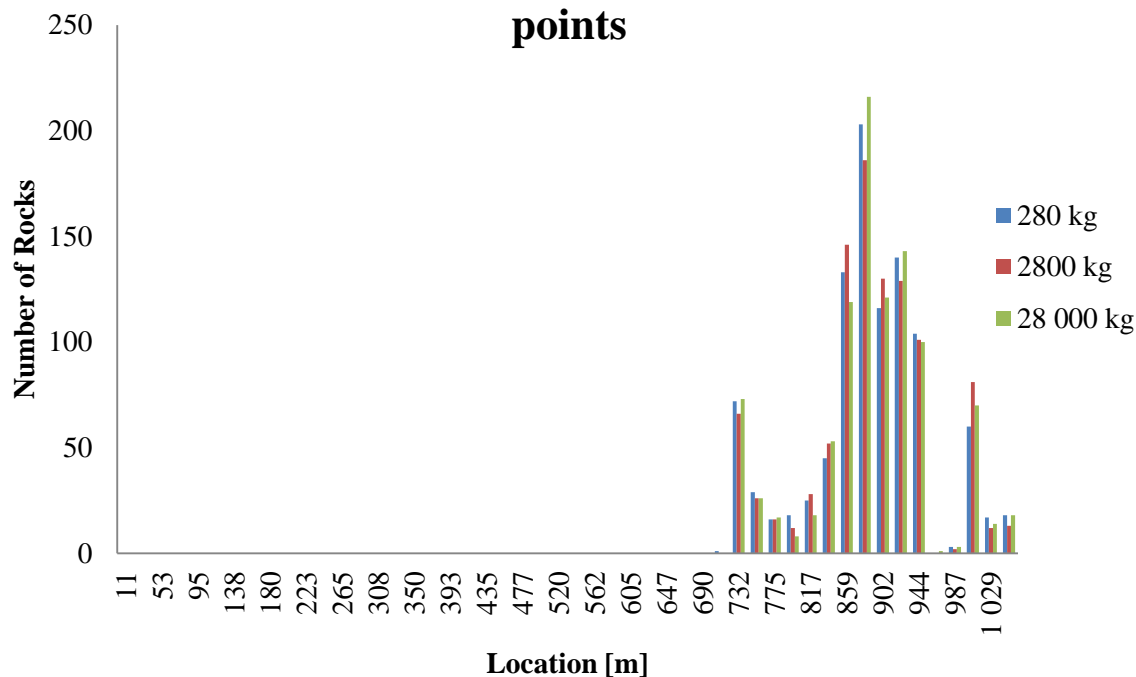
### Profil 9B - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-51 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 9B.

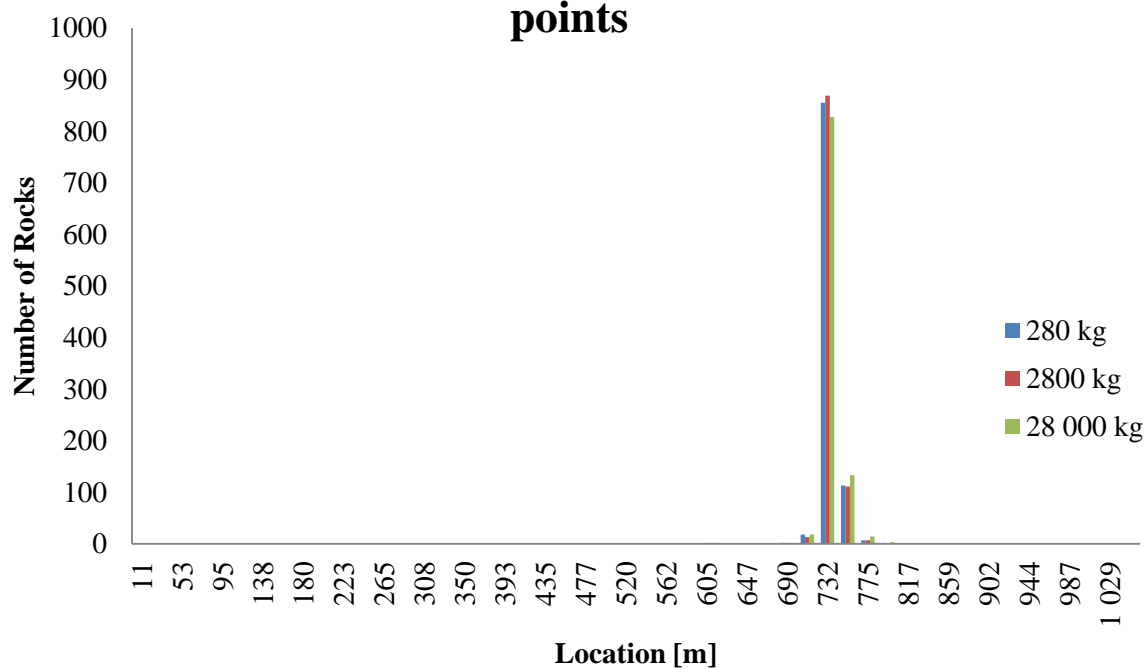
## Profil 10

### Profil 10A - Horizontal Location of Rock End-points



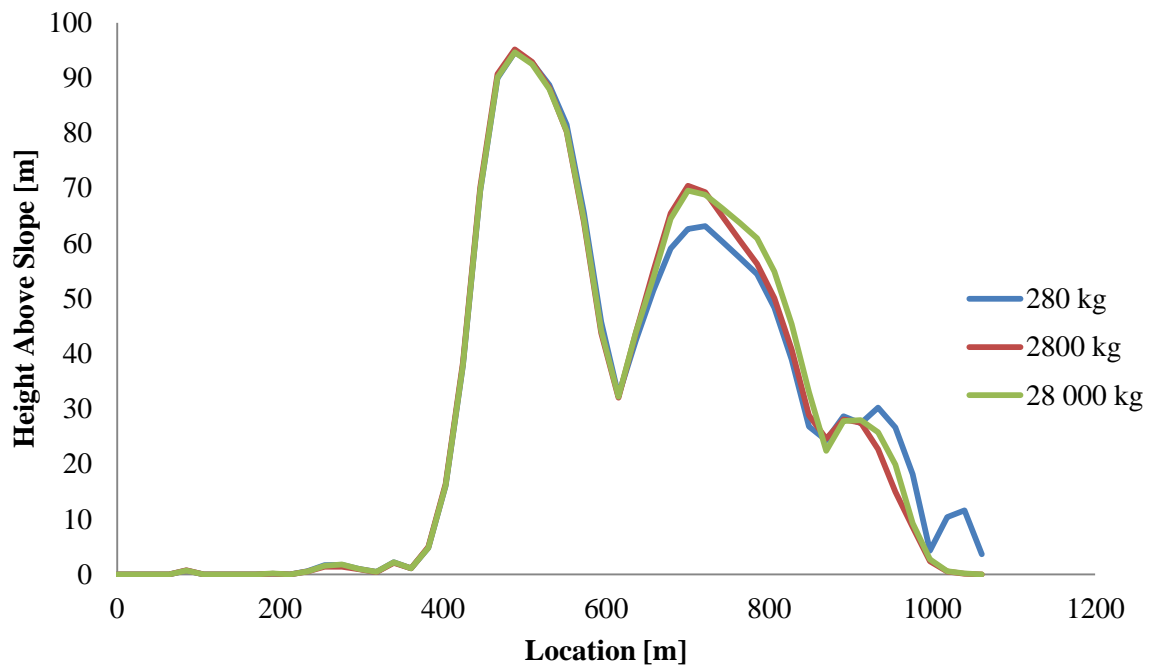
Figur A-52 Fordeling av endepunkt langs Profil 10A.

### Profil 10B - Horizontal Location of Rock End-points



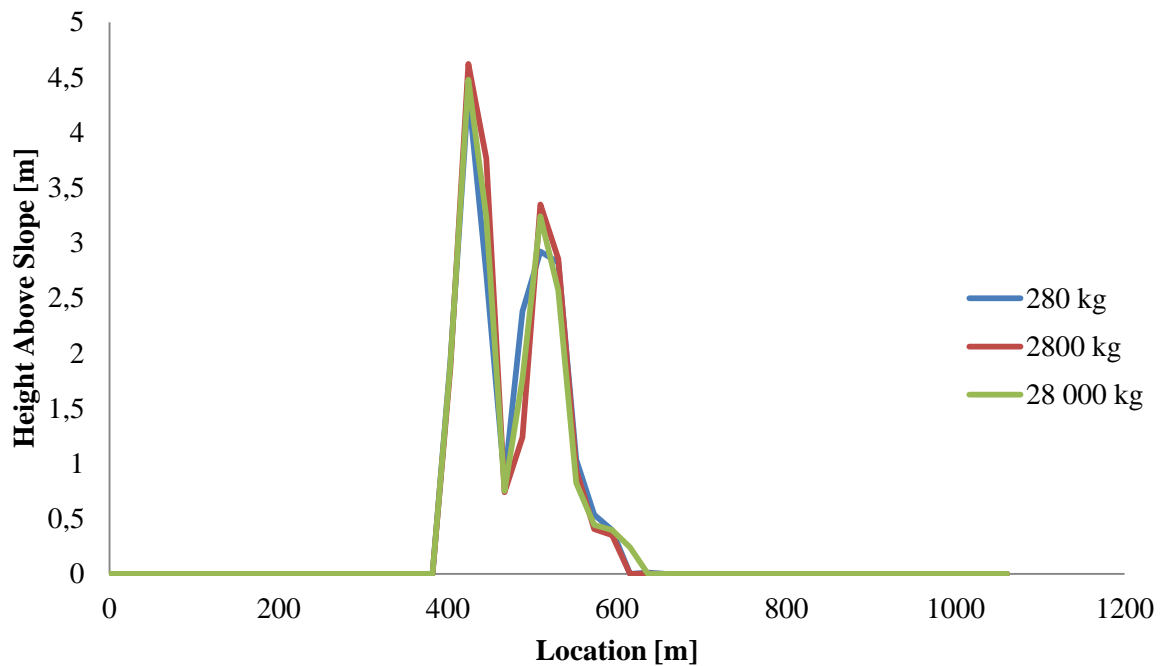
Figur A-53 Fordeling av endepunkt langs Profil 10B.

## Profil 10A - Bounce Height Envelope



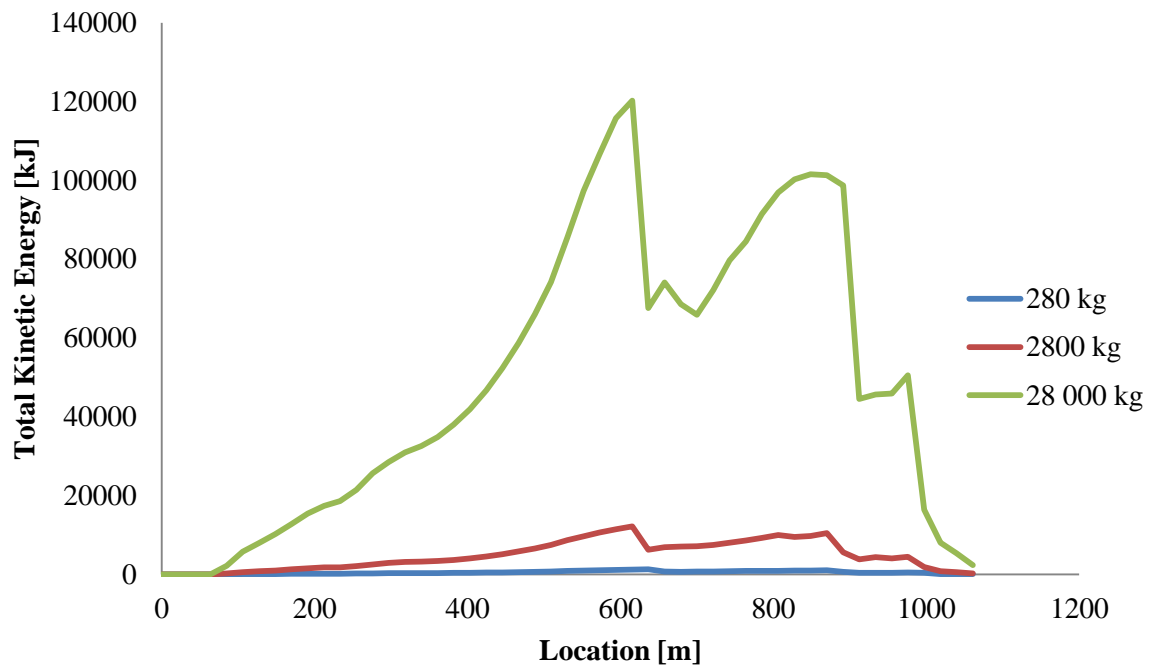
Figur A-54 Blokkenes spretthøyde langs Profil 10A.

## Profil 10B - Bounce Height Envelope



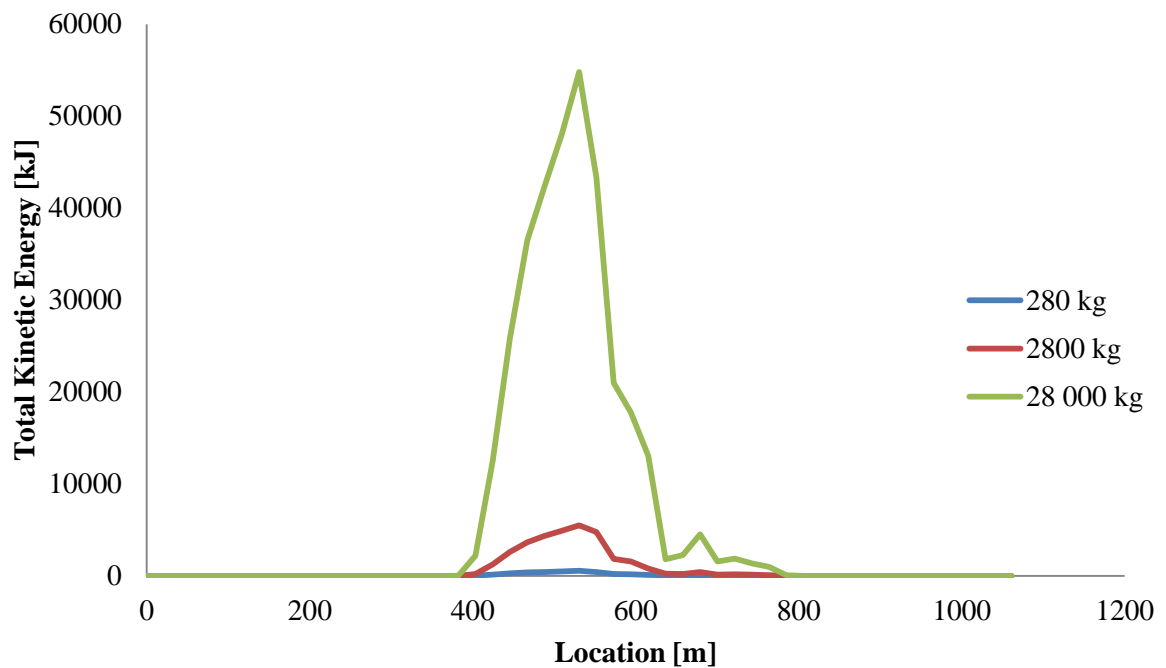
Figur A-55 Blokkenes spretthøyde langs Profil 10B.

## Profil 10A - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-56 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 10A.

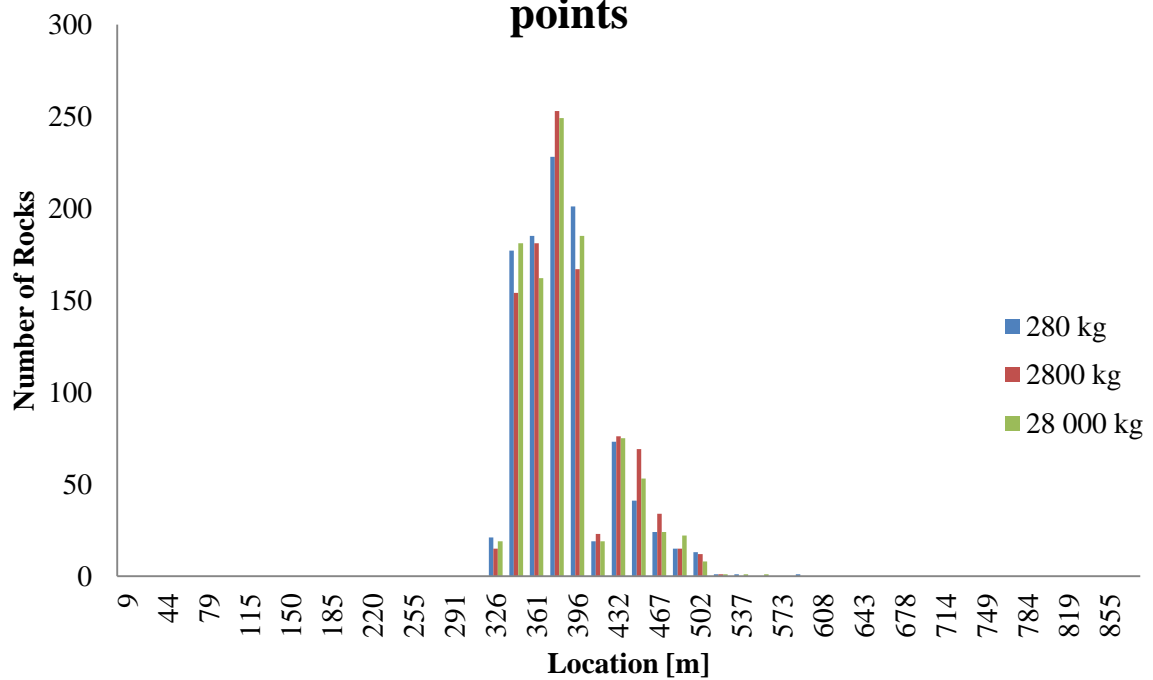
## Profil 10B - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-57 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 10B.

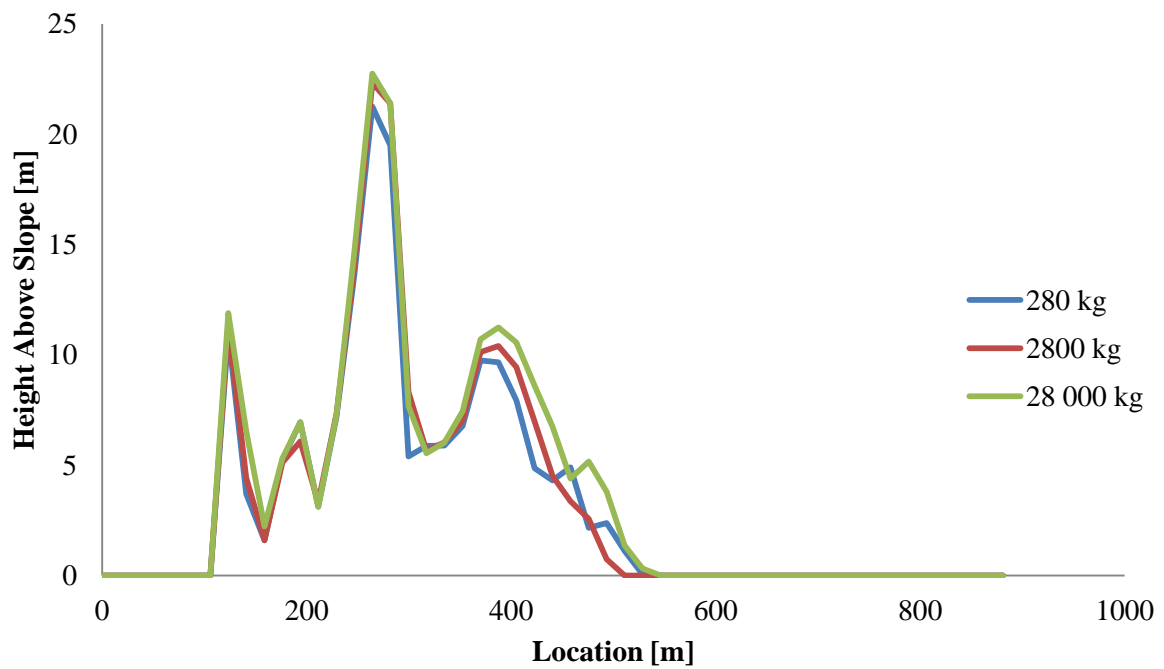
**Profil 12**

**Profil 12 - Horizontal Location of Rock End-points**



Figur A-58 Fordeling av endepunkt langs Profil 12.

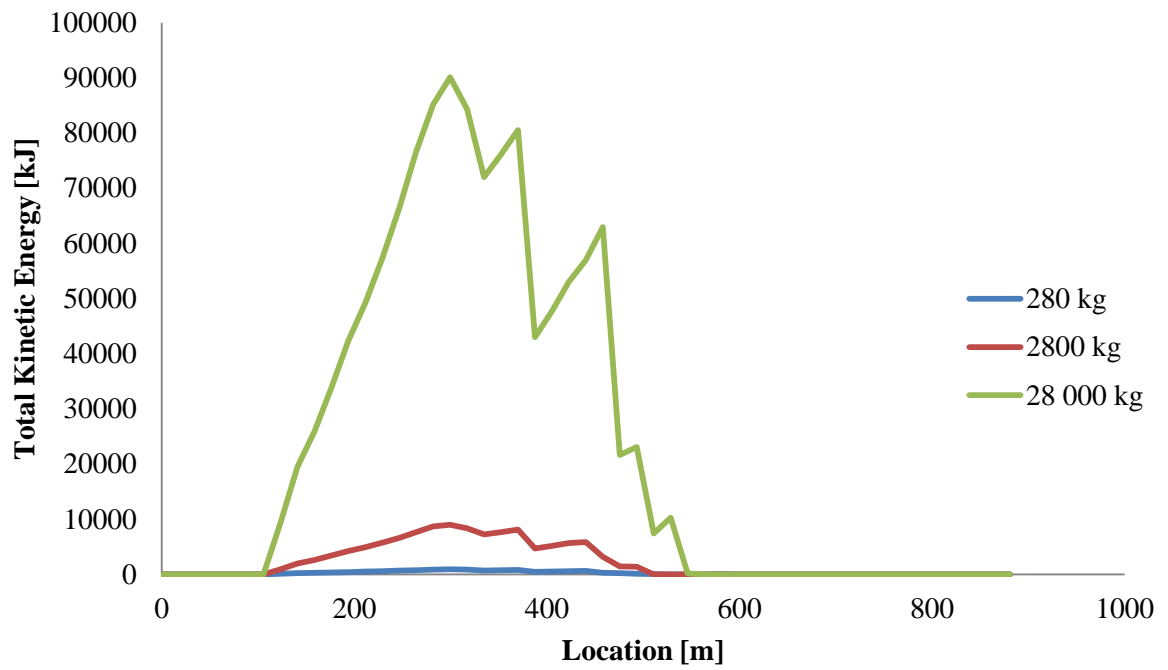
**Profil 12 - Bounce Height Envelope**



Figur A-59 Blokkenes spretthøyde langs Profil 12.



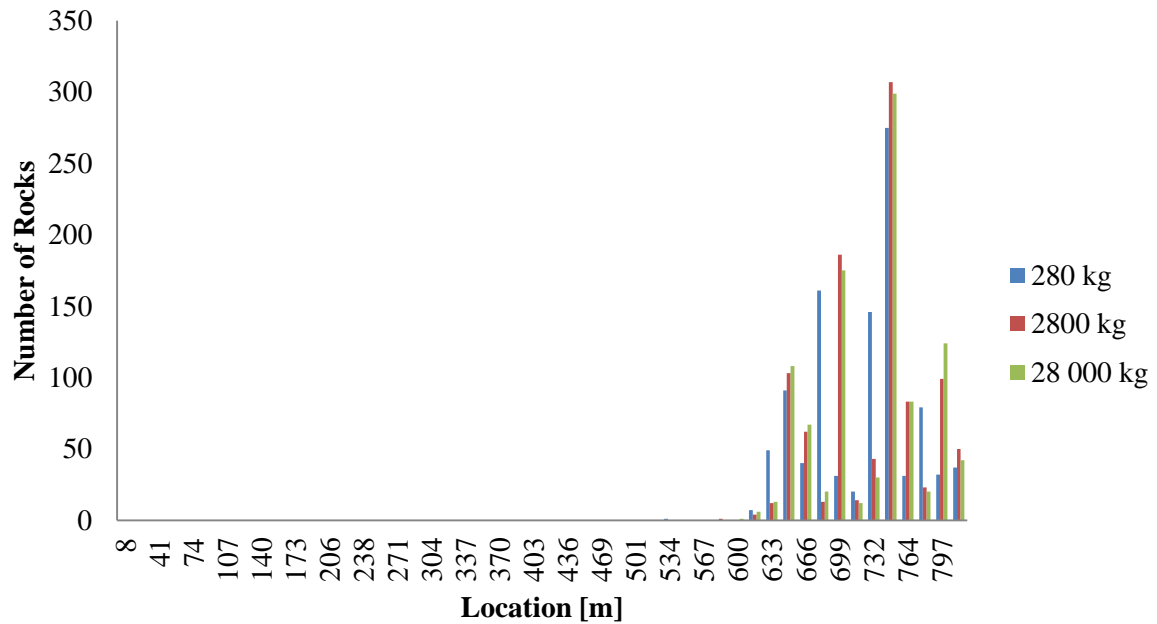
## Profil 12- Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-60 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 12.

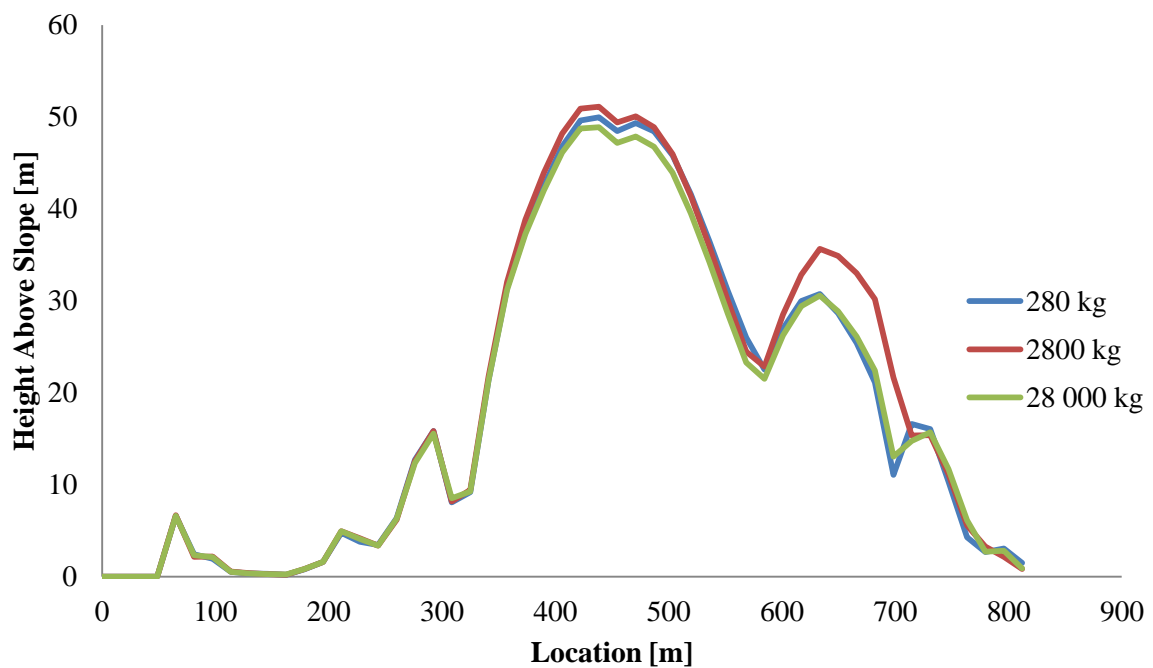
**Profil 13**

**Profil 13 - Horizontal Location of Rock End-points**



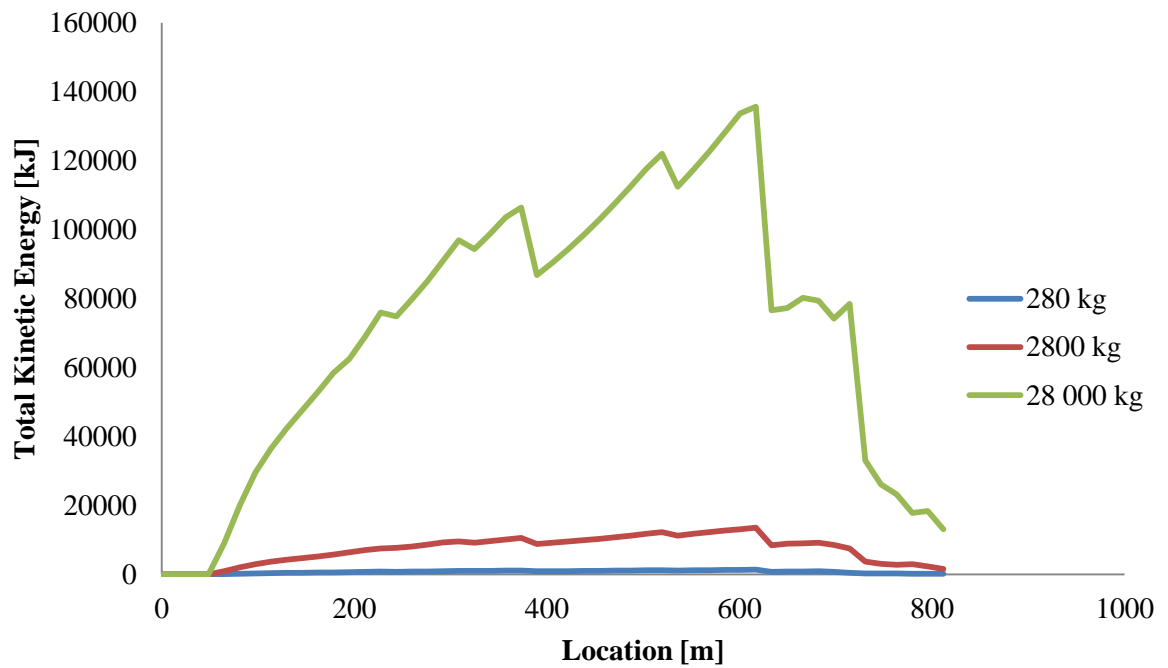
Figur A-61 Fordeling av endepunkt langs Profil 13.

**Profil 13 - Bounce Height Envelope**



Figur A-62 Blokkenes spretthøyde langs Profil 13.

## Profil 13 - Total Kinetic Energy Envelope



Figur A-63 Blokkenes totale kinetiske energi langs profil 13.